

29. IKT konferencija



ZBORNIK RADOVA

ISBN 978-86-85525-29-2

jul 2023.

Zbornik radova 29. IKT konferencije

“YU INFO 2023”

Urednici: Prof. dr Miodrag Ivković, Doc. dr Dražen Drašković

Tehnička priprema: Doc. dr Dražen Drašković, dr Nenad Korolija
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)

Izdavač: Informaciono društvo Srbije

Datum izdanja: 7. jul 2023.

Datum konferencije: 12-15. mart 2023. godine

Sajt konferencije: <http://www.yuinfo.org>

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

004 Рачунарство. Рачунарска техника.

004.4 Рачунарски софтвер

004.8 Вештачка интелигенција

005 Менаџмент

ISBN 978-86-85525-29-2

Sadržaj

Reč dobrodošlice.....	1
Programski i organizacioni odbor konferencije	2
Program konferencije po sesijama.....	3
Sesije / tematske oblasti konferencije “YU INFO 2023” :	5

Reč dobrodošlice

Poštovane kolegice i kolege,

dragi učesnici tradicionalne konferencije YU INFO,

zadovoljstvo nam je da smo se i ovog marta 2023. godine okupili na Kopaoniku i diskutovali o najnovijim trendovima iz oblasti informacionih tehnologija. Nastavljen je trend porasta broja autora i radova, pa je na ovaj 29. po redu konferenciji učestvovalo 147 autora, koji su predstavili 75 autorskih radova, od čega je 68 radova ušlo u Zbornik.

Radovi su bili podeljeni u 8 tematskih oblasti (sesija) koje obuhvataju veštačku inteligenciju, računarske mreže, zaštitu podataka i digitalnu forenziku, softverske sisteme i računarsku edukaciju, hardver sa računarskim primenama i pametne infrastrukture, softverske alate i simulacije, vojne primene i sisteme. Konferenciju je i ove godine održana u hibridnom režimu, što je jedan izazov za organizatore, ali sa željom da svi autori mogu da prezentuju svoje radove, uživo na Kopaoniku ili onlajn.

Naredne 2024. godine organizovaćemo jubilarnu 30. konferenciju na Kopaoniku i to će biti prilika da evociramo sve lepe uspomene od daleke Brezovice i 1995. godine, pa sve do danas. Do tada pripremamo novi bogatiji sadržaj konferencije, uz želju da nam se na konferenciji pridruži još veći broj predstavnika akademske i naučne zajednice, predstavnika IKT industrije i drugih zainteresovanih.

Srdačno vas pozdravlja,

Organizacioni odbor konferencije "YU INFO 2023"

Programski i organizacioni odbor konferencije

Prof. dr Miodrag Ivković, Univerzitet u Novom Sadu

Doc. dr Dražen Drašković, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Milan Zdravković, Univerzitet u Nišu

Prof. dr Zora Konjović, Univerzitet "Singidunum" Beograd

Prof. dr Miroslav Trajanović, Univerzitet u Nišu

Program konferencije po sesijama

Termin	nedelja, 12.3.2023.	ponedeljak, 13.3.2023.		utorak, 14.3.2023.		sreda, 15.3.2023.	
09:30		Sesija 1 (online): Softver, veštačka inteligencija i računarska edukacija		Sesija 4 (online): Hardver, računarske primene i pametne infrastrukture		Sesija 7: Vojne primene i sistemi	
10:00							
10:30							
11:00							
11:30							
12:00						Sesija 8 (poster): Vojne primene	
12:30							
13:00							
15:00			ICIST paralelne sesije: Business, finance and governance / ICT for health 1	Sesija 5: E- društvo	ICIST paralelne sesije: Digital Water / E-learning / Software engineering		
15:30		Sesija 2: Računarske mreže, zaštita podataka, digitalna forenzika					
16:00							
16:30							
17:00	YUINFO & ICIST 2023: Otvaranje konferencija i Keynotes predavanja	Prezentacija kompanije "Software one": Why companies need Microsoft 365 E5 security?	ICIST poster sesija 1	Prezentacija kompanije "SBS": IBM Spectrum Virtualize 3-Site Replication	ICIST poster sesija 2		
17:30		Sesija 3: Veštačka inteligencija	ICIST paralelne sesije: Industrial systems and product design / ICT for health 2	Sesija 6: Softverski alati i simulacije i IoT sistemi	ICIST paralelne sesije: Energy and environment / General ML & AI		
18:00							
18:30							
19:00							
19:30							
20:00							
20:30	YU INFO & ICIST 2023: Wine track						
21:00		YU INFO & ICIST 2023: Rock party					
21:30							
22:00							

Sale "Pančić A" i "Pančić B" nalaze se na nivou (-1) u hotelu "Grand" na Kopaoniku.

Sala "Sunčani vrhovi" (konf. sala "Karaman") nalazi se na nivou (-2) u hotelu "Grand" na Kopaoniku.

Termin	Sala	NEDELJA, 12. mart 2023.	
17:00	sala "Pančić A"	YU INFO 2023 & ICIST 2023 - Svečano otvaranje konferencija Pozdravna reč predsedavajućih	UŽIVO + ONLINE pristup
17:15		<i>Keynote predavanje 1:</i> Mihalis Kritikos, European Commission (DG-RTD) <i>Keynote predavanje 2:</i> Prof. Zlatan Car, Faculty of engineering University of Rijeka, Croatia	

Termin	Sala	PONEDELJAK, 13. mart 2023.	Link
9:30		YU-S1-ON1: Sesija 1 Softver, mašinsko učenje i računarska edukacija	ONLINE pristup
15:30	sala "Sunčani vrhovi"	YU-S2-RZF: Sesija 2 Računarske mreže, zaštita podataka, digitalna forenzika	UŽIVO
17:00	sala "Pančić A"	Prezentacija kompanije "Software One": Why companies need Microsoft 365 E5 security? (predavač: Anton Gribovskiy, <i>Digital Workplace Senior Consultant</i>)	UŽIVO + ONLINE
17:30	sala "Sunčani vrhovi"	YU-S3-VI: Sesija 3 Veštačka inteligencija	UŽIVO

Termin	Sala	UTORAK, 14. mart 2023.	Link
9:30		YU-S4-ON2: Sesija 4 Hardver, računarske primene i pametne infrastrukture	ONLINE pristup
15:30	sala "Sunčani vrhovi"	YU-S5-EDR: Sesija 5 E-društvo	UŽIVO
17:00	sala "Pančić A"	Prezentacija kompanije "SBS": IBM Spectrum Virtualize 3-Site Replication	UŽIVO
17:30	sala "Sunčani vrhovi"	YU-S6-SAI: Sesija 6 Softverski alati, simulacije i IoT sistemi	UŽIVO

Termin	Sala	SREDA, 15. mart 2023.	Link
9:30	sala "Sunčani vrhovi"	YU-S7-VPS: Sesija 7 Vojne primene i sistemi	UŽIVO
11:00		YU-S8-VPPS: Sesija 8 Vojne primene - poster sesija	

Sesije / tematske oblasti konferencije "YU INFO 2023":

Sesija 1: Softver, mašinsko učenje i računarska edukacija

Sesija 2: Računarske mreže, zaštita podataka, digitalna forenzika

Sesija 3: Veštačka inteligencija

Sesija 4: Hardver, računarske primene i pametne infrastrukture

Sesija 5: E-društvo

Sesija 6: Softverski alati, simulacije i IoT sistemi

Sesija 7: Vojne primene i sistemi

Poster sesija 8: Vojne primene

Oznaka sesije:

YU-S1-ON1

Naziv sesije:

Onlajn sesija 1: Softver, mašinsko učenje i računarska edukacija

14

Termin:

ponedeljak, 13. mart 2023. u 9:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
1.1.	<u>Miloš Živić</u> , Dejan Nemeć	Razvoj modela mašinskog učenja za predikciju dužine rada rezervnog baterijskog napajanja	15-20
1.2.	<u>Aleksandar Dimitrijević</u>	Procena kvaliteta grafičkih aplikacija profilisanjem na primeru GLProfiler biblioteke	21-25
1.3.	<u>Marko Blažić</u> , Dragan Ivetić, Srdjan Popov, Ivana Berković, Višnja Ognjenović	Pregled analitičkih kontrolnih tabli u nauci o podacima i njihove softverske arhitekture	26-31
1.4.	<u>Aleksandar Veljanovski</u> , Aleksandar Milenković, Marija Veljanovski, Petar Rajković, Dragan Janković	Realizacija softverskog sistema za sinhronizaciju propisane terapije sa softverskim sistemom apoteka	32-36
1.5.	<u>Dalibor Bogdanović</u> , Elmir Babović	Mašinsko učenje kao inteligentni pristup u detekciji mrežnih napada	37-40
1.6.	<u>Ivana Luknar</u> , Filip Jovanović	Veštačka inteligencija - izazovi i mogućnosti	41-45
1.7.	<u>Dragorad Milovanović</u> , Rajko Terzić	Odgovorna primena veštačke inteligencije (VI) u zdravstvu: Etički principi prakse i nova regulativa	46-49
1.8.	<u>Lazar Živojinović</u> , Svetlana Štrbac-Savić, Nenad Korolija, Miloš Popović	Društvena mreža Instagram kao podrška procesu elektronskog učenja	50-54
1.9.	<u>Dragana Glušac</u> , Marko Blažić, Vesna Makitan	Metodička pitanja nastave programiranja	55-59

Predsedavajući sesije: Dražen Drašković (Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet)

Aleksa Srbljanović (Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet)

Oznaka sesije:

YU-S2-RZF

Naziv sesije:

Računarske mreže, zaštita podataka, digitalna forenzika

60

Termin:

ponedeljak, 13. mart 2023. u 15:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
2.1.	Zoran Janković	Održivi razvoj u elektronskim komunikacijama	61-64
2.2.	Milan Čabarkapa, Mina Vasković Jovanović , Marijana Gavrilović Božović, Jasna Radulović	Korisnički interfejs nove generacije za zaštitu osetljivih grupa korisnika	65-69
2.3.	Slavko Gajin	Sistem za detekciju anomalija u mrežnom saobraćaju – od istraživanja do testiranja	70-73
2.4.	Aleksandar Aleksić, Saša Milić, Mina Vasković Jovanović , Denis Ilić, Radovan Radovanović	Primene veštačkih neuronskih mreža u forenzičkoj balistici	74-77
2.5.	Natalija Vugdelija , Nenad Kojić, Marija Zajeganović	Bezbedonosni rizici u pojedinim slojevima IoT arhitekture	78-82

Predsedavajući sesije: Slavko Gajin (Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet)

Oznaka sesije:

YU-S3-VI

Naziv sesije:

Veštačka inteligencija

83

Termin:

ponedeljak, 13. mart 2023. u 17:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
3.1.	Vlado Delić , Milan Sečujski, Siniša Suzić, Nosek Tijana, Vuk Stanojev, Branislav Popović, Darko Pekar	Progres u razvoju sinteze govora na osnovu teksta za srpski na bazi AI/DNN i potencijali njegove primene	84-89
3.2.	Branislav Popović , Edvin Pakoci, Milan Sečujski, Darko Pekar, Vlado Delić, Marko Janev, Lidija Krstanović	Implementacije sistema za automatsko prepoznavanje govora na srpskom jeziku	90-93
3.3.	Zorica Dodevska , Boris Delibašić, Dubravko Čulibrk, Dragiša Mišković	Optimizacija parametara odlučivanja za fer VIKOR rangiranje na bazi standardizovanih rang pozicija	94-99
3.4.	Ana Gjorgjevikj , Kostadin Mishev, Dimitar Trajanov	Comparing Transformer-Based Sentence Encoders Using Text Related to Sustainable Development	100-105
3.5.	Dražen Drašković , Milica Mitrić, Jelica Cincović, Boško Nikolić	Softverski alat za analizu sentimenta nad recenzijama	106-110
3.6.	Miloš Živadinović , Dejan Simić	Klasifikacija blokova na Ethereum blokčejn primenom Multi Layer Perceptron neuronske mreže i dubokog učenja	111-115
3.7.	Aleksa Srbljanović , Miloš Obradović, Jelica Protić	Izazovi rešavanja različitih kategorija analitičkih pitanja sa ponuđenim odgovorima iz oblasti programiranja uz pomoć alata ChatGPT	116-119
3.8.	Miloš Obradović , Aleksa Srbljanović, Jelica Protić	Mogućnosti upotrebe ChatGPT alata u generisanju koda za programske zadatke na jezicima Python i C	120-125
3.9.	Dragana Radojičić	Primena metoda uzorkovanja sa verovatnoćom u funkciji kvantifikacije poslovnih aktivnosti	126-130

Predsedavajući sesije: Vlado Delić (Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka)

Oznaka sesije:

YU-S4-ON2

Naziv sesije:

Onlajn sesija 2: Hardver, računarske primene i pametne
infrastrukture

131

Termin:

utorak, 14. mart 2023. u 9:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
4.1.	Miloš Popović, Nenad Korolija , Svetlana Štrbac-Savić	Hibridni procesor toka kontrole i protoka podataka: analiza granularnosti algoritama	132-137
4.2.	Siniša Zorica , Slobodanka Jelena Cvjetković, Ivan Vrljić, Sandra Antunović Terzić	Primena Arduino platforme i MIT app inventora u sistemu pametne kuće	138-142
4.3.	Radica Aleksandrov, Goran Miodragović, Slobodan Aleksandrov , Jelena Erić Obućin	Primena Arduino kontrolera u bežičnom Bluetooth upravljaču PLC	143-146
4.4.	Nebojša Andrijević , Vlade Urošević	Koncept pametnih košnica sa sistemom za zaštitu pčela od toksičnih poremećaja u vazduhu	147-150
4.5.	Slobodanka Jelena Cvjetković , Mihael Jeličić, Siniša Zorica, Predrag Đukić	Primena KNX standarda za kontrolu rasvete	151-156
4.6.	Ivan Knežević, Dejan Nemec	Analiza dinamičke virtuelne mreže sa više tačaka DMVPN - topologija, protokoli i projektovanje	157-162
4.7.	Ivan Knežević, Dejan Nemec	Pregled virtuelnih privatnih mreža sa akcentom na dinamički virtuelnu privatnu mrežu sa više tačaka DMVPN	163-168
4.8.	Bojana Zlatković , Biljana Samardžić	Uporedna analiza nekontrolisanih i kontrolisanih MIMO kaskadnih nelinearnih sistema	169-173
4.9.	Bojana Zlatković , Biljana Samardžić	Analiza stabilnosti MIMO kaskadnih nelinearnih sistema sa slučajnim parametrima	174-178
4.10.	Andrej Katin , Srđan Sladojević, Darko Stefanović	Koliko je električne energije potrebno za otplatu tehničkog duga u Blockchain tehnologiji zasnovanoj na hardverskim rešenjima?	179-182

Predsedavajući sesije: Miodrag Ivković (Univerzitet u Novom Sadu - Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin")

Mihajlo Ogrizović (Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet)

Oznaka sesije:

YU-S5-EDR

Naziv sesije:

E-društvo

183

Termin:

utorak, 14. mart 2023. u 15:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
5.1.	Jovanka Vukmirović	Big Data koncept u metodologiji kvantitativnih istraživanja (***) <i>PREDAVANJE PO POZIVU</i> (***)	184-189
5.2.	Dejana Kresović, Ranka Popovac, Stefan Radojičić, Nebojša Stanojević, Dragan Vukmirović, Aleksandar Krstić	Digitalno pismeno stanovništvo kao osnova razvoja e-uprave – primer Republike Srbije	190-193
5.3.	Ranka Popovac, Dejana Kresović, Željko Bolbotinović, Miloš Lončar, Dragan Vukmirović, Aleksandar Krstić	Izazovi HR analitike u malim i srednjim preduzećima	194-197
5.4.	Dalibor Petrović, Slobodan Antić, Lena Đorđević Milutinović	Upravljački model za izračunavanje cene koštanja proizvoda zasnovan na metodi obručna troškova po aktivnostima utvrđenim u vremenu	198-203

Predsedavajući sesije: Miograd Ivković (Univerzitet u Novom Sadu - Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin")

Oznaka sesije:

YU-S6-SAI

Naziv sesije:

Softverski alati i simulacije i IoT sistemi

204

Termin:

utorak, 14. mart 2023. u 17:30

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
6.1.	Jana Stojanović, <u>Predrag Obradović</u> , <u>Marko Mišić</u> , Jelica Protić	Softverski alat za generisanje kompleksne mreže zadatih karakteristika	205-208
6.2.	<u>Komlen Lalović</u> , Ivan Tot	Pregled biometrijskih podataka otiska prsta - skeniranje različitih prstiju	209-211
6.3.	Vidosav Majstorović, Vladimir Simeunović, <u>Dragan Stošić</u> , Žarko Mišković, Rastko Negočić, Filip Todorović, Radivoje Mitrović	ERP model i njegova primena u pametnom rudarstvu	212-217
6.4.	<u>Jordan Atanasijević</u>	Analiza podataka o saobraćajnim nezgodama korišćenjem sistema poslovne inteligencije	218-221
6.5.	<u>Danijela Aleksić</u> , Nada Petrović	NarrowBand IoT (NB-IoT) koncept mreže u domenu javnih mobilnih komunikacija	222-225
6.6.	<u>Stefan Ivanović</u>	IoT sistem za nadzor kvaliteta vazduha	226-229
6.7.	<u>Dejan Pavlović</u>	Neke od primena Lidar sistema u šumarstvu	230-234
6.8.	<u>Jana Vugdelija</u> , Miloš Danilović	Primena NEH heuristike za problem redosleda delova u protočnoj radionici	235-238
6.9.	<u>Ivan Vulić</u> , Radomir Prodanović, Ivan Tot	Savremeni rizici razvoja softvera - klasifikacija i značaj	239-241
6.10.	<u>Nenad Stojanović</u> , Boban Bondžulić, Ivana Stojanović, Vladimir Ristić	Procena kvaliteta JPEG komprimovanih slika kombinovanjem objektivnih mera	242-247

Predsedavajući sesije: Marko Mišić (Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet)

Oznaka sesije:

YU-S7-VPS

Naziv sesije:

Vojne primene i sistemi
sreda, 15. mart 2023. u 9:30

248

Termin:

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
7.1.	Momir Drakulić , Milenko Andrić	Model realizacije adaptivnog tempomata za vozila primenom fazi logike	249-252
7.2.	Milan Pantić , Nikola Milovanović, Borislav Đorđević, Nenad Kraljević	Matematičko modelovanje i analiza performansi sistema datoteka za hipervizore TIP-1 na primeru ESXi, PROXMOX i HYPER-V	253-257
7.3.	Nina Mitričević, Rade Pavlović	Besposadna zemaljska vozila u vojnim primenama	258-262
7.4.	Rade Pavlović , Justina Petrović	Praćenje dronova korišćenjem OpenCV algoritma	263-266
7.5.	Momir Stanković , Stojadin Manojlović	Postupak realizacije simulacija sa FPGA hardverom u petlji sistema automatskog upravljanja	267-270
7.6.	Milan Miljković , Katarina Miljković	Izazovi primene veštačke inteligencije u vojnim poslovima	271-275

Predsedavajući sesije: Miodrag Ivković (Univerzitet u Novom Sadu - Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin")

Oznaka sesije:

YU-S8-VPPS

Naziv sesije:

Vojne primene - poster sesija

276

Termin:

sreda, 15. mart 2023. u 11:00

R.br.	Autori	Naslov rada	Stranice
8.1.	Emilija Jovanović, <u>Ivan Tot,</u> Miloš Jovanović	Informacioni sistem za anketiranje kadeta Vojne akademije	277-280
8.2.	<u>Mihajlo Jovanović</u>	Informacioni sistem za evidentiranje naoružanja	281-283
8.3.	<u>Milica Marinković</u>	Merenje nivoa osvetljenosti prostorije upotrebom fotootpornika	284-287
8.4.	<u>Đorđe Cvijanović</u>	IoT sistem za nadzor temperature vazduha	288-290
8.5.	<u>Luka Veselinović</u>	Realizacija digitalnog sigurnosnog sistema korišćenjem FPGA ploče	291-293
8.6.	<u>Milomir Jovičević</u>	Primena FPGA ploče za upravljanje radom rampe auto-parka	294-296
8.7.	<u>Aleksandar Milošević</u>	Predstavljanje brojača heksadecimalnih brojeva na FPGA ploči	297-300
8.8.	<u>Nikola Vasić</u>	Realizacija generatora pseudoslučajnih osmobicnih brojeva korišćenjem FPGA ploče	301-303
8.9.	<u>Mihailo Tomić</u>	Implementacija dvofaktorske autentifikacije primenom otiska glasa	304-306
8.10.	<u>Sava Stanišić</u>	Primena senzora prepreka za brojanje slobodnih mesta na parkingu	307-310
8.11.	<u>Branislav Belotić</u>	Klasifikacija buke u prostoriji	311-313
8.12.	<u>Nemanja Kaplanović</u>	Uređaj za određivanje i pregled satelitske GPS lokacije	314-316
8.13.	<u>Marko Marković</u>	FM primopredajnik realizovan u SDR tehnologiji primenom GNU Radio kompleta za razvoj softvera	317-320
8.14.	<u>Miroslav Sabo</u>	Primena SpeakUp modula za prepoznavanje glasovnih komandi	321-323
8.15.	<u>Nikola Ćitić</u>	Primena ultrazvučnog senzora prepreka HC-SR04 za merenje promene količine padavina	324-327

Predsedavajući sesije: Miodrag Ivković (Univerzitet u Novom Sadu - Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin")



YU-S1-ON1: Sesija 1
Softver, mašinsko učenje i
računarska edukacija

RAZVOJ MODELA MAŠINSKOG UČENJA ZA PREDIKCIJU DUŽINE RADA REZERVNOG BATERIJSKOG NAPAJANJA

DEVELOPMENT OF A MACHINE LEARNING MODEL FOR PREDICTION OF BATTERY BACKUP POWER SUPPLY DURATION

Miloš Živić¹, Dejan Nemeč²

CETIN Serbia, Beograd, Srbija¹

Fakultet Tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija²

Sadržaj – Motivacija za pisanje ovog rada proistekla je iz želje autora da pokušaju da primene široko dostupne modele mašinskog učenja u rešavanju konkretnih izazova iz inženjerske prakse. U radu je izložen jedan predlog rešavanja problema koji se odnosi na izračunavanje tj. predikciju dužine rada rezervnog baterijskog napajanja na koje je povezana kompletna infrastruktura jedne lokacije mobilne mreže, sa pripadajućim baznim stanicama, u slučajevima kada dođe do prekida snabdevanja električnom energijom iz primarnih izvora (npr. elektrodistributivne mreže). Osnovna ideja odabranog pristupa sastoji se u tome da se prikupe relevantni podaci, iz više različitih izvora, koji se zatim kombinuju i prilagođavaju formatu ulaznih podataka kojima se trenira nekoliko različitih regresivnih modela mašinskog učenja. Ovi modeli kao izlaz daju procenjenju dužinu rada rezervnog baterijskog napajanja u definisanim okolnostima. Na osnovu uporedne analize performansi pojedinačnih modela bira se onaj koji ima najbolju generalizaciju, tj. onaj model koji je „najviše” naučio. Na kraju rada razmatraju se ograničenja ali i potencijalne dalje primene sličnih rešenja u procesima projektovanja novih i/ili nadogradnje postojećih sistema rezervnog baterijskog napajanja u mobilnim mrežama. Skupovi podataka koji se koriste u ovom radu su za potrebe prezentacije anonimizovani – nazivi baznih stanica su generički a sve numeričke vrednosti su normalizovane.

Abstract – This paper discusses a solution for predicting the length of battery backup power supply in mobile network base stations during power outages using a machine learning (ML) techniques. The basic idea of this approach is to gather relevant data from multiple sources, then combine and format the data to use as inputs for training several different regression ML models. These models output the estimated length of the battery backup power supply under specific conditions. The best-performing model is selected based on a comparative analysis of individual model performance. The potential for using it in the design and upgrade of battery backup power systems in mobile networks is further considered. The data sets used in this study are anonymized – base station names are generic, and all numerical values are normalized.

1. UVOD

Energetska kriza uslovlila je da se o potrošnji električne energije razmišlja kao o važnom činiocu koji može značajno da utiče na poslovanje nekog preduzeća. Tim pre ako je u pitanju telekomunikaciono preduzeće sa heterogenom mrežnom infrastrukturom. Tu se ne misli

isključivo na cenu električne energije, već i na njenu dostupnost. Stoga, obezbeđivanje i planiranje pouzdanih sistema rezervnog napajanja električnom energijom postalo je vrlo bitno za normalno funkcionisanje onih mrežnih servisa koji se na toj infrastrukturi realizuju. Bitni elementi mobilnih mreža jesu bazne stanice i transportni mrežni elementi koji obezbeđuju komunikaciju baznih stanica sa jezgrom mreže, a bitan aspekt je i raspoloživost radio pristupnog dela mreže. Raspoloživost mobilne mreže dobija još više na značaju ako se uzme u obzir i mobilna mreža pete generacije (5G), čija je implemetacija već uveliko u toku i koja zahteva još više vrednosti za raspoloživost (~99.999%) [1].

Raspoloživost mobilne mreže (*Network Availability*) je funkcija više promenljivih. Najčešće se računa kao prosečna vrednost raspoloživosti pojedinačnih ćelija baznih stanica, od kojih je mobilna mreža sastavljena, grupisanih po lokacijama i po tehnologijama (2G, 3G i 4G). Neka je A_{ij} raspoloživost bazne stanice i -te tehnologije na j -toj lokaciji mobilne mreže (A_{25} – raspoloživost bazne stanice 2G mreže na petoj lokaciji) tada se ukupna raspoloživost na nivou čitave mreže A^{NW} računa prema jednačini 1.

$$A^{NW} = \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^K A_{ij}}{T} \quad (1)$$

gde T predstavlja ukupan broj različitih tehnologija mobilne mreže, dok K predstavlja ukupan broj lokacija mobilne mreže.

Uzimajući u obzir da se jedna moderna mobilna mreža u Srbiji sastoji od preko 7000 ($T = 3$, $K = 2300$) baznih stanica [2] vrlo brzo postaje jasno koliki izazov predstavlja održavanje visokih vrednosti raspoloživosti na nivou čitave mreže. Adekvatno upravljanje kvarovima (*Fault Management*) i blagovremene akcije timova terenskog održavanja (*Field Maintenance*) mogu učiniti da se određeni problemi (havarije) u mreži relativno brzo i uspešno reše, ili čak i preveniraju. Ono što u potpunosti menja perspektivu u rešavanju pomenutih izazova i dodatno otežava situaciju su nestanci struje na lokacijama baznih stanica. Tada raspoloživost mreže na lokaciji zavisi prevashodno od sistema rezervnog baterijskog napajanja koji je tu instaliran. U takvim okolnostima posedovanje pouzdane predikcije o dužini rada rezervnog baterijskog napajanja može biti od presudnog značaja. Za primer će se uzeti pretpostavka da je istovremeno došlo do nestanka struje na dve različite lokacije, gde je prioritet prve lokacije viši u odnosu na prioritet druge lokacije. Procenjena dužina trajanja rezervnog baterijskog napajanja na prvoj lokaciji

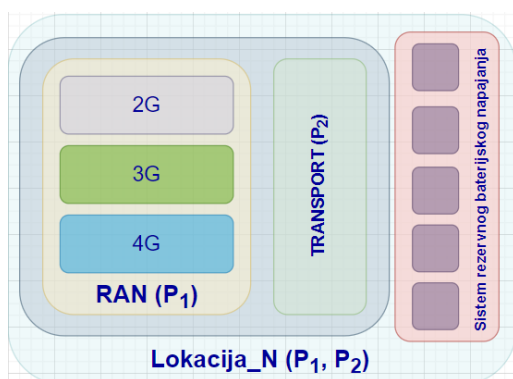
iznosi $PR_{L1} = 255$ min, dok je na drugoj ona nešto niža i iznosi $PR_{L2} = 165$ min. U skladu sa primenjenom baterijskom politikom pravilo je da se lokacije višeg prioriteta prve „brane” tj. da se na njih prvo šalju dodatni izvori rezervnog napajanja. Ali ako postoji pouzdana predikcija o dužini rada rezervnog baterijskog napajanja, i pored višeg prioriteta prve lokacije biće moguće optimalno raspoređivanje dodatnih izvora (npr. dizel agregata) na drugu lokaciju jer je recimo procena da će rezervno baterijsko napajanje tamo trajati kraće. Na taj način ostvariće se više benefita, među kojima su najvažniji bolje iskorišćenje rezervnog baterijskog napajanja i veće vrednosti raspoloživosti mreže.

Nakon što je izložena uvodna problematika, u drugom poglavlju predstavljene su osnovne postavke sistema. Treće poglavlje daje opis skupa podataka za obuku. Treniranjem modela i upoređivanjem performansi bavi se četvrto poglavlje. U zaključku se razmatraju trenutna ograničenja modela kao i potencijalne nadogradnje.

2. OSNOVNE POSTAVKE SISTEMA

Kako bi se moglo krenuti u proces razvoja sistema za predikciju dužine rada rezervnog baterijskog napajanja (u nastavku „prediktivni sistem”), neophodno je dati osnovne postavke koje će se podeliti u četiri celine.

(I) Prva postavka odnosi se na funkcionalnu reprezentaciju pojedinačnih lokacija. Jedna lokacija mobilne mreže se iz perspektive prediktivnog sistema posmatra kao mrežni entitet koji se sastoji od tri dela: radio-pristupni deo, transportni deo i sistem rezervnog napajanja. Radio-pristupni deo mreže (RAN – *Radio Access Network*) dalje se deli na pojedinačne tehnologije (2G, 3G, 4G). Svakoj lokaciji se prilikom projektovanja dodeljuju dva prioriteta. Prvi se odnosi na prioritet radio-pristupne mreže, a drugi na prioritet transportne mreže na toj lokaciji (dodeljivanje prioriteta zavisi od više faktora i prevazilazi okvire ovog rada). U skupu podataka za obuku modela postoje informacije o prioritetima koje će se koristiti u analizi kao i u merenju uticaja koji imaju na vrednosti predikcija tj. izlaza modela. Na slici 1 prikazana je Lokacija_N koja ima prioritet radio-pristupne mreže P_1 i prioritet transportne mreže P_2 .



Slika 1. Blokovski prikaz jedne lokacije mobilne mreže

(II) Druga postavka odnosi se na prikupljanje i analiziranje relevantnih alarmnih stanja, na nivou svake lokacije. Alarmna stanja se prikupljaju iz *Fault Management* modula, koji je deo sistema za upravljanje mrežom (NMS – *Network Management System*) zadužen za upravljanje kvarovima u mreži. Ovde se razlikuju tri kategorije alarmnih stanja (alarmna) koji su od posebnog značaja u našem slučaju. U narednoj sekciji posebna pažnja se posvećuje ovim alarmima jer se njihovom manipulacijom dobijaju labele, odnosno ciljane promenljive (*target variable*) koje su neophodne za obuku modela. Alarmi se prikupljaju na dnevnom nivou i skladište u bazi podataka iz koje se generiše skup podataka za obuku. Nazivi alarma i prateća objašnjenja prikazana su u tabeli 1. Podaci o alarmima se porede sa podacima iz *Performance Statistics* modula, koji je deo NMS-a zadužen za statističku analizu performansi mreže. Ovaj vid dodatne provere nam omogućava da postignemo bolju konzistentnost podataka za obuku (npr. efikasnija detekcija i eliminacija ekstremnih vrednosti, tzv. autlajera (*outliers*)).

Naziv alarma	Oznaka	Opis alarma
<i>Mains Input Failure</i>	Mains	Setuje se kada dode do prestanka napajanja iz primarnih izvora (npr. elektrodistributivne mreže).
<i>GSM Cell Out of Service</i>	OOS	Setuje se kada GSM ćelija radio-pristupne mreže prestane da pruža servis.
<i>Battery Power Unavailable</i>	BPU	Setuje se kada rezervno baterijsko napajanje prestane da bude dostupno.

Tabela 1. Prikaz alarmnih stanja

(III) Treća postavka odnosi se na prikupljanje podataka iz mrežnog „inventara“ (*Network Inventory*), u kojem se mogu nalaziti različiti podaci o mreži. Podaci koji su od posebne važnosti za obuku prediktivnog modela odnose se na informacije o baterijama (broj, kapacitet, starost, proizvođač i dr.) i na informacije o mrežnim elementima (broj baznih stanica i ćelija). Ukoliko postoji potreba mogu se prikupiti i dodatni podaci (npr. da li se na nekoj lokaciji nalazi veliki potrošač kao što je transportni DWDM (*Dense Wavelength-Division Multiplexing*) sistem i dr.).

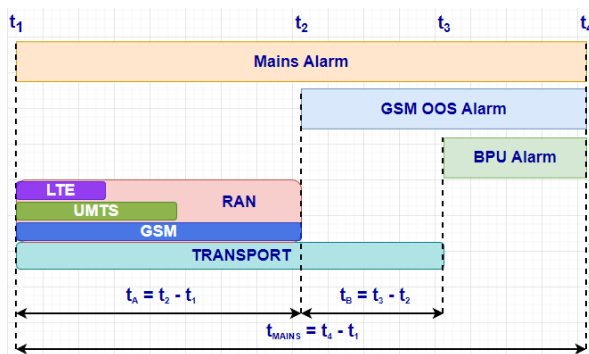
(IV) Četvrta postavka odnosi se na prikupljanje podataka o potrošnji električne energije na nivou svake lokacije sa ispravljajčkih sistema instaliranih na lokaciji. Uloga ispravljajčkog sistema je da naizmenični napon iz elektrodistributivne mreže konvertuje u jednosmerni napon kojim se napajaju svi aktivni mrežni elementi na lokaciji. Podaci (vrednosti jednosmernog napona i struje) prikupljaju se na satnom nivou i skladište u bazi podataka iz koje se generiše skup podataka za obuku.

3. KREIRANJE I ANALIZA SKUPA PODATAKA ZA OBUKU ML MODELA

U ovoj sekciji biće objašnjen postupak kreiranja tj. ekstrakcije labele (*target variables*) (I). Zatim će biti prezentovan skup svih ulaznih promenljivih (*features*) koje se koriste za obuku modela (II). Na kraju će se sprovesti

EDA analiza (*Exploratory Data Analysis*) nad određenim podskupom ulaznih promenljivih (III).

(I) **Ekstrakcija labela** je postupak u kojem se iz podataka za obuku izvlače oni podaci od kojih se kreira skup ciljanih promenljivih (izlazi prediktivnog sistema) kojima se obučavaju modeli vođenog učenja (*Supervised Machine Learning*). Da bi se uspešno ekstrahovale labela iz prikupljenih podataka neophodno je upoznati se sa značajnima pomenutih alarma kao i njihovih vremenskih odrednica. Mains (*Mains Failure*) alarm na nekoj lokaciji simbolizuje nestanak struje tj. prestanak napajanja iz primarnih izvora. Svaki alarm ima dve vremenske odrednice. Jedna predstavlja trenutak kada se aktivirao (*Event time*) a druga kada se deaktivirao (*Clear time*). Sa slike 2 može se videti da je prikazani Mains alarm bio aktivan tokom vremenskog intervala $[t_1-t_4]$ i da je trajao $t_4 - t_1$ minuta. Nakon što je izolovan navedeni Mains alarm sledi provera da li se tokom vremenskog intervala $[t_1-t_4]$ na posmatranoj lokaciji pojavio OOS (*GSM Cell Out of Service*) alarm. OOS alarm simbolizuje prestanak rada GSM ćelija. Ukoliko se OOS alarm pojavio tokom trajanja Mains alarma onda je on vrlo verovatno posledica upravo nestanka struje odnosno gašenja tehnologija usled primene baterijske politike. U nekim slučajevima OOS alarm može da se javi i kao posledica prekida prenosa u transportnoj mreži na koju je lokacija povezana. To je najčešće kada postoji neki problem na lokaciji preko koje se realizuje prenos za lokaciju koja se posmatra. Sa slike 2 može se videti da je prikazani OOS alarm bio aktivan tokom vremenskog intervala $[t_2-t_4]$ a da je trajao $t_4 - t_2$ minuta. Nakon OOS alarma analizira se i BPU (*Battery Power Unavailable*) alarm koji simbolizuju nedostupnost rezervnog baterijskog napajanja. To je najčešće trenutak kada se baterije u potpunosti isprazne i tada dolazi do gašenja kompletne aktivne mrežne opreme na lokaciji. Takođe, sa slike 2 može se videti da je prikazani BPU alarm bio aktivan tokom vremenskog intervala $[t_3-t_4]$ a da je trajao $t_4 - t_3$ minuta. Na osnovu navedenog mogu se uočiti dve labela. To znači da će za svaki Mains alarm postojati jedna labela koja predstavlja dužinu rada RAN mreže na baterije (BB_RAN) označenu sa t_A na slici 2 i druga labela koja predstavlja dužinu rada transportne mreže na baterije (BB_TRAN) označenu sa $t_A + t_B$ na slici 2.



Slika 2. Prikaz alarma i vremenskih odrednica

U postupku se analizira samo prestanak rada GSM ćelija, a ne UMTS i LTE ćelija. Razlog za to je baterijska politika,

ali i redukcija kompleksnosti prediktivnog modela. Naime baterijska politika nalaže da se prilikom nestanka struje na lokaciji prvo isključuje LTE, zatim UMTS, onda GSM i tek na kraju transportna mrežna oprema, koja radi dokle god se baterije u potpunosti ne isprazne. To se sprovodi tako što se postavljaju naponski pragovi ispod kojih se određena tehnologija gasi. Hipotetički moguće je računati predikciju dužine rada rezervnog baterijskog napajanja za svaku tehnologiju RAN mreže. To bi podrazumevalo kreiranje labela za svaku tehnologiju posebno, uz dodatnu labelu za transportnu mrežu.

(II) Kreiranje **skupa ulaznih podataka za obuku** je možda i najvažniji postupak u procesu razvoja prediktivnog modela. Nijedan model neće biti u stanju da generiše predikcije za one ciljane promenljive o kojima nema informacija u skupu ulaznih podataka. Recimo, posmatra se primer situacije u kojoj se nastoji predviđanje pola neke osobe samo na osnovu njenog prezimena [3]. To najčešće neće biti moguće jer se „informacija o polu” najčešće ne nalazi u prezimenu osobe, već u njenom imenu. Iz ovoga se može jasno zaključiti da je neophodno da se relevantne informacije nalaze u skupu podataka za obuku, jer jedino tako model može da nauči ono što je potrebno. S obzirom da se razvijaju dva prediktivna modela: jedan za predikciju dužine rada rezervnog baterijskog napajanja za elemente radio-pristupne mreže, a drugi za elemente transportne mreže, postojeće i dve različite labela. Labela za radio-pristupnu mrežu biće označena kao BB_RAN, dok će labela za transportnu mrežu biti označena kao BB_TRAN. Podaci iz kojih će se obučavati modeli da uče o ciljanim promenljivima nalaze se u tabeli 2 a njihovi detalji su objašnjeni u nastavku.

Sve ulazne promenljive su numeričkog tipa izuzev promenljive koja sadrži informaciju o proizvođaču baterije (b_man), koja je kategoričkog tipa i koja će se kodovati u numeričku promenljivu upotrebom tehnike *one-hot encoding*. Ulazne promenljive dodatno se mogu podeliti na osnovne i izvedene. Osnovne promenljive su one koje se direktno mogu dobiti iz podataka za obuku, bez bilo kakve dodatne obrade. Izvedene promenljive su nastale u procesu ekstrakcije (koja podrazumeva dodatnu obradu) onih informacija koje se mogu smatrati korisnima, iz skupa podataka za obuku (*feature extraction*). One su kreirane sa namerom da pomognu modelu da nauči „nešto” o procesu eksploatacije baterija u realnim okolnostima (učestalost nestanaka struje na lokaciji, prosečna dužina alarma, broj ciklusa punjenja u pražnjenja baterija i sl.). Tokom obuke i testiranja modela će se kombinovati različiti podskupovi skupa ulaznih promenljivih i upoređivaće se performanse modela, koji su iz njih nastali, nad skupom podataka za testiranje.

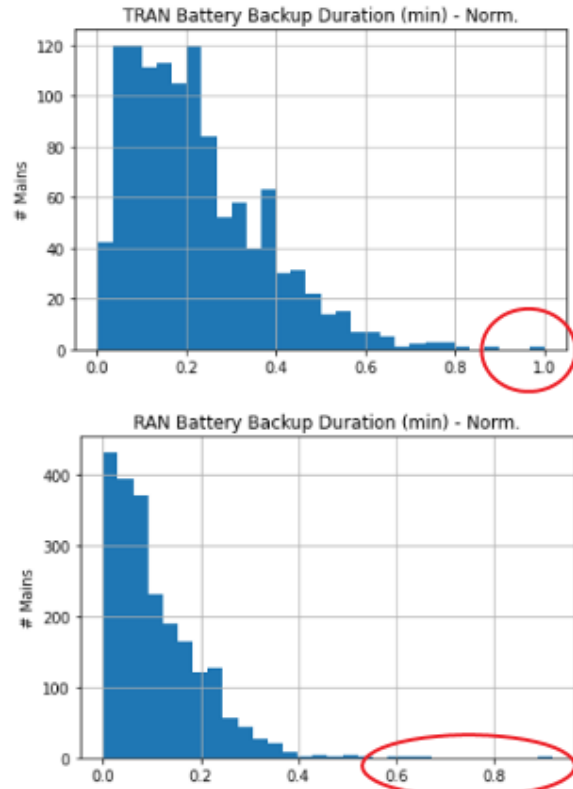
(III) Glavni zadatak **EDA analize** jeste da se bolje razumeju osnovne karakteristike skupa podataka za obuku modela. Tu se pre svega misli na raspodelu promenljivih, prisustvo *outlier*-a, nedostajući podaci, veze između promenljivih i sl. Na slici 3 može se videti broj Mains alarma u zavisnosti od dužine trajanja rezervnog baterijskog napajanja tj. raspodela ciljane promenljive za

oba modela. Ono što se odmah može uočiti je da ciljana promenljiva nema normalnu raspodelu (što je najčešće važan preduslov za linearne modele) već je ona pomerena ulevo. Takođe se mogu uočiti i *outlier*-i koji se nalaze usamljeni u donjem desnom uglu grafika.

Analizom je dodatno utvrđeno da nedostaju pojedini podaci o potrošnji (avg_p) za jednu lokaciju bazne stanice. U nastatavku rada rešavaće se ovi izazovi, pre započinjanja procesa obuke ML_RAN i ML_TRAN modela.

Podaci za obuku			
rb	Oznaka	Opis	Izvor podataka
I	BB_RAN	broj minuta koliko su RAN elementi radili na baterije	FMDB Fault Management Modul
II	BB_TRAN	broj minuta koliko su transportni elementi radili na baterije	
1	hour	sat u kojem se setovao Mains alarm	
2	w_day	dan u nedelji kada se setovao Mains alarm	
3	avg_p	prosek vrednosti snage ($P = I \times V$) na lokaciji merene na napajačkom elementu	Napajački elementi
4	v_traff	prosečna vrednost govornog saobraćaja (<i>Erl</i>) na lokaciji	NMS-PRS Network Management System Performance Statistics Modul
5	d_traff	prosečna vrednost data saobraćaja (GB/h) na lokaciji	
6	2g_cells	broj 2G ćelija na lokaciji	
7	3g_cells	broj 3G ćelija na lokaciji	
8	4g_cells	broj 4G ćelija na lokaciji	Network Inventory
9	pr_ran	prioritet RAN mreže na lokaciji	
10	pr_tran	prioritet transportne mreže na lokaciji	
11	b_ch_days	broj dana od kada je postavljena baterija na lokaciji	
12	b_cap_ah	kapacitet rezervnog baterijskog napajanja (Ah) na lokaciji	
13	b_age	starost baterija na lokaciji u godinama	
14	b_man	proizvođač baterije	
15	n_mains	ukupan broj Mains alarma na lokaciji od kada se prikuplja statistika	Izvedene promenljive
16	d_mains	prosečna dužina Mains alarma (u minutima) na lokaciji	
17	d_b2m	prosečno dužina (u danima) između dva Mains alarma na lokaciji	
18	f_mains	broj Mains alarma koji su se desili u istog dana na lokaciji pre posmatranog Mains alarma	
19	df_mains	dužina f_mains alarma u minutima	
20	df_mns_r	dužina (u minutima) koliko su RAN elementi radili na baterije tokom trajanja f_mains alarma	
21	df_mns_tr	dužina (u minutima) koliko su transportni elementi radili na baterije tokom trajanja f_mains alarma	
22	n_mcl7d	ukupan broj Mains alarma na lokaciji tokom perioda od 7 dana pre posmatranog Mains alarma	

Tabela 2. Promenljive za obuku modela



Slika 3. Raspodela ciljane promenljive i *outlier*-i

4. PREPROCESSING TEHNIKE, PROCES OBUKE MODELA I UPOREĐIVANJE PERFORMANSI

Proces obuke modela podrazumeva treniranje modela, zatim podešavanje odgovarajućih parametara modela (*hyperparameters*), i na kraju testiranje i analizu performansi tj. validaciju modela (II). Pre započinjanja procesa treniranja modela biće dat kratak osvrt na **preprocessing tehnike** (I) koje su sprovedene nad skupom podataka za obuku, kao i na opis konkretnih skupova podataka za obuku i njihova potencijalna ograničenja.

(I) Skup podataka za obuku RAN modela, u nastavku ML_RAN, sastoji se od 2214 zapisa koji su prikupljeni sa 617 različitih lokacija. Naspram njega, skup podataka za obuku transportnog modela, u nastavku ML_TRAN, sastoji se od 1175 zapisa koji su prikupljeni sa 400 različitih lokacija. Svaki od zapisa predstavlja jedan Mains alarm tokom kojeg je došlo do „proboja” rezervnog baterijskog napajanja iz ugla radio-pristupne mreže u slučaju ML_RAN modela, odnosno transportne mreže u slučaju ML_TRAN modela. Broj ovakvih alarma nije veliki i najčešće iznosi manje od 4% od ukupnog broja Mains alarma u mreži u slučaju radio-pristupne mreže, odnosno manje od 2% u slučaju transportne mreže. Upravo su ovakvi, relativno mali skupovi podataka i najveći ograničavajući faktor za obuku i performanse modela.

U procesu EDA analize uočeno je da u oba skupa podataka postoji po pet zapisa u kojima nedostaju podaci o prosečnoj potrošnji na lokaciji (*avg_p*) i ti zapisi su uklonjeni iz oba skupa. Pored uklanjanja zapisa sa nedostajućim podacima izvršeno je prevođenje kategoričkih promenljivih, koje sadrže podatke o proizvođaču baterije, u numeričke upotrebom tehnike *one-hot encoding*. Zatim je došlo na red uklanjanje *outlier*-a. Kriterijum za uklanjanje *outlier*-a je definisan prema sledećoj jednačini :

$$x_* < \mu - 3\sigma \vee x_* > \mu + 3\sigma \quad (2)$$

gde x_* predstavlja ciljanu promenljivu koja je *outlier*, a μ i σ predstavljaju srednju vrednost i standardnu devijaciju ciljanje promenljive, respektivno. Nakon toga na red dolazi podela podataka za obuku na način prikazan u tabeli 3. Podaci za treniranje/testiranje podeljeni su u odnosu 70/30, gde se 70% skupa ulaznih podataka koristi za treniranje modela, a 30% skupa za testiranje performansi modela. Skupovi skaliranih podataka za treniranje i testiranje performansi linearnih regresivnih modela nastali su nakon primene *MinMaxScaler* transformacije koja preslikava inicijalne vrednosti prediktora iz skupa $[\min, \max]$ u novi skup gde se vrednosti nalaze u intervalu $[0, 1]$. Sprovođenje ove *preprocessing* tehnike savetuje se gotovo uvek, izuzev za algoritme bazirane na stablima odlučivanja (*Decision Trees*), jer se na taj način smanjuje uticaj prediktora sa velikim apsolutnim vrednostima na preciznost modela [4].

(II) Treniranje modela podeljeno je na dva dela. U prvom delu se nad podacima za obuku sprovode dve transformacije. Prva se odnosi na skaliranje prediktora upotrebom *MinMaxScaler* transformacione funkcije, kao što je već pomenuto.

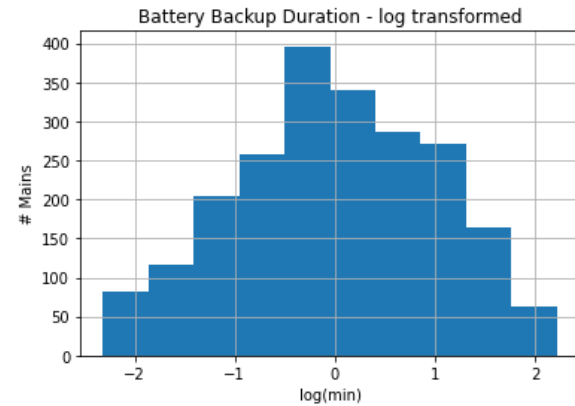
Kategorije podataka za obuku	
Oznaka	Opis
X_{train}	skup prediktora za treniranje modela
y_{train}	skup ciljanih promenljivih za treniranje modela
X_{test}	skup prediktora za testiranje performansi modela
y_{test}	skup ciljanih promenljivih za testiranje performansi modela
$X_{train\ scaled}$	skup skaliranih prediktora za treniranje linearnih modela
$X_{test\ scaled}$	skup skaliranih prediktora za testiranje performansi linearnih modela

Tabela 3. Kategorije podataka za obuku modela

Druga transformacija odnosi se na primenu logaritamske transformacije nad skupom ciljanih promenljivih, čime se njena raspodela koja je bila pomerena ulevo (Slika 3) dovodi u formu koja bliže reprezentuje normalnu Gausovu raspodelu (Slika 4). Na taj način su ispunjeni svi preduslovi za primenu linearnih i kNN algoritama.

Prvi deo je započet jednostavnijim algoritmima kao što su kNN (*k-Nearest Neighbors Regressor*) i Linearna regresija (*Simple Linear Regression*). Nakon toga su usledili *Lasso* i *Ridge* regresivni algoritmi, koji koriste L1 i L2 regularizacione metode, respektivno. Za kraj prvog dela ostavljen je SVR (*Support Vector Machines Regressor*)

algoritam. Vrednosti evaluacionih metričkih parametara (*RMSE – Root Mean Squared Error* i R^2) koje su modeli postigli se nalaze u tabeli 4.



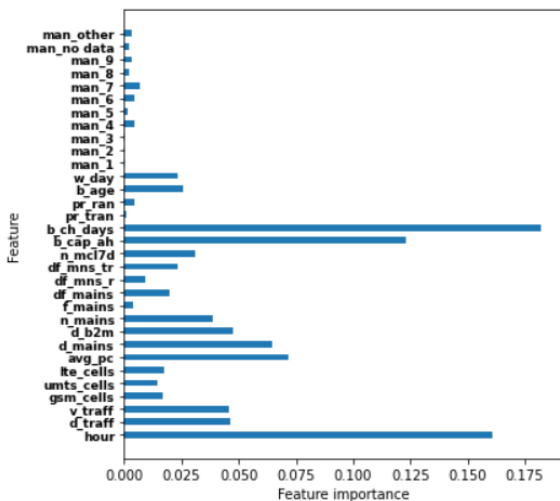
Slika 4. Raspodela ciljane promenljive nakon log transformacije

Drugi deo treniranja modela odnosi se na modele bazirane na stablima odlučivanja (*Decision Trees*) i njihovim ansamblima (*Random forest* i *Gradient boosted trees*). U ovom slučaju nije potrebno da se vrši skaliranje prediktora kao ni logaritamska transformacija ciljne promenljive. Vrednosti evaluacionih metričkih parametara koje su ovi modeli postigli su generalno bolji od onih iz prve grupe i mogu se videti u tabeli 4.

Prilikom kombinovanja različitih podskupova prediktora i analiziranja njihove važnosti u definiciji modela došli smo do zaključka da su podaci vezani za starost baterije na prvom mestu po važnosti, a da zatim slede podaci o satu u kojem se alarm setovao, kapacitetu baterije, potrošnji električne energije, saobraćaju, itd. Reprezentacija važnosti pojedinačnih prediktora dobijena upotrebom algoritma slučajnih šuma prikazana je na slici 5.

Model	ML_RAN			ML_TRAN		
	R^2		RMSE	R^2		RMSE
	train	test	test	train	test	test
<i>Decision trees</i>	0.46	0.37	83.56	0.50	0.35	139.07
<i>Random forest</i>	0.95	0.65	62.41	0.92	0.54	117.13
<i>Gradient b. trees</i>	0.95	0.65	62.20	0.95	0.56	114.64
<i>Linear Regression</i>	0.39	0.35	78.50	0.39	0.37	126.65
<i>Lasso Regression</i>	0.39	0.35	78.31	0.39	0.36	126.65
<i>Ridge Regression</i>	0.37	0.34	78.50	0.37	0.31	131.33
SVR	0.53	0.49	73.21	0.76	0.51	115.29
kNN	0.54	0.36	77.37	0.42	0.36	127.37

Tabela 4. Upoređivanje performansi modela



Slika 5. Reprzentacija važnosti prediktora

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu podataka iz tabele 4 može se primetiti da modeli nisu postigli naročito reprezentativne performanse kada je u pitanju količina naučenih informacija iz skupa podataka za obuku. Tu se pre svega misli na R^2 metriku koja meri količinu promena (varijanse) ciljane promenljive koje je model u stanju da opiše koristeći dostupne prediktore. Neke od tehnika koje mogu doprineti povećavanju sposobnosti modela da nauči veću količinu promena ciljane promenljive, tj. poboljšavanju performansi modela, su svakako povećavanje skupa podataka za obuku, zatim veća rezolucija (detaljniji podaci) određenih ulaznih promenljivih kao što su prosečna potrošnja, prosečan saobraćaj i sl. Takođe dodavanje novih promenljivih u skup podataka za obuku može biti od velike koristi. Na taj način bi, barem teorijski, model trebalo da stekne bolju predstavu o vezama između prediktora i ciljane promenljive.

Sa druge strane ako se metrika RMSE, koja meri prosečnu razliku između procenjene vrednosti i stvarne vrednosti dužine rada rezervnog baterijskog napajanja bude tumačila kao neka vrsta tolerancije (oko 62 minuta za RAN mrežu,

i oko 114 minuta za transportnu mrežu u slučaju modela sa najboljim performansama) koja se mora uzeti u obzir, a koja je uslovljena nekim dodatnim faktorima kao što je npr. temperatura (o kojima nemamo saznanja u ovom skupu podataka, a samim tim ni načina da ih uključimo u računicu) u tom slučaju moći će se sagledati barem opšta slika sistema rezervnog baterijskog napajanja na nivou čitave mreže. Ukoliko bi se ovako dobijene vrednosti poredile sa projektovanom dužinom trajanja baterijskog napajanja prema primenjenoj baterijskoj politici moglo bi se relativno lako otkriti potencijalne slabe tačke tj. lokacije sa nedovoljnim kapacitetom rezervnog baterijskog napajanja u mobilnoj mreži.

Imajući u vidu da je proces obrade alarma i sakupljanja relevantnih podataka automatizovan, veličine skupova podataka za obuku ova dva modela će se vremenom samo uvećavati što bi trebalo da ima za posledicu kreiranje modela sa sve boljim i boljim performansama, kako vreme bude proticalo.

ZAHVALNICA

Izradu ovog rada pomogao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom „Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije”.

LITERATURA

- [1] Martin Sauter, *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G*, John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, NJ, 2021.
- [2] <https://www.cetin.rs/about-us/>, Januar 2023.
- [3] Andreas C. Müller, Sarah Guido, *Introduction to Machine Learning with Python*, O'Reilly Media, Sebastopol, CA, 2017.
- [4] Andreas Lindholm, Niklas Wahlström, Fredrik Lindsten, Thomas B. Schön, *Machine Learning A First Course for Engineers and Scientists*, Cambridge University Press, Cambridge, 2022.

PROCENA KVALITETA GRAFIČKIH APLIKACIJA PROFILISANJEM NA PRIMERU GLPROFILER BIBLIOTEKE

QUALITY ASSESSMENT OF GRAPHICS APPLICATIONS BY PROFILING USING THE EXAMPLE OF THE GLPROFILER LIBRARY

Aleksandar Dimitrijević
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet

Sadržaj – Profilisanje je proces praćenja i analize izvršenja aplikacija u realnom okruženju, u cilju utvrđivanja performansi i pružanja mogućnosti za optimizaciju. Međutim, profilisanje može pomoći i u evaluaciji i dokumentovanju kvaliteta, posebno kada su u pitanju grafičke aplikacije. Uvođenje dodatnih metrika, kao što je površina poligona u prostoru ekrana, vizuelizacija prostorne raspodele posmatrane karakteristike i dodatna analiza kroz postprocesiranje rezultata profilisanja, pružaju ne samo efikasno sredstvo za procenu i dokumentovanje kvaliteta, već i za objektivnu komparaciju rešenja. U radu je prikazana primena unapredene verzije GLProfiler biblioteke, namenjene profilisanju grafičkih aplikacija za MS Windows operativne sisteme koje koriste OpenGL API, na primeru procene karakteristika teselacije pri vizuelizaciji terena.

Abstract - Profiling is the process of monitoring and analyzing the execution of applications in a real environment with the goal of determining performance and providing optimization opportunities. However, profiling can also help evaluate and document quality, especially for graphics applications. The introduction of additional metrics, such as the area of polygons in screen space, visualization of the spatial distribution of the observed feature, and additional analysis through post-processing of profiling results, provide not only an effective tool for evaluating and documenting quality, but also for objectively comparing solutions. The paper demonstrates the application of the improved version of the GLProfiler library, intended for profiling graphics applications for MS Windows operating systems that use the OpenGL API, on the example of evaluating the properties of tessellation in terrain rendering.

1. UVOD

Profilisanje, u okviru softverskog inženjerstva, predstavlja proces praćenja i analize izvršenja aplikacija u realnom okruženju, kako bi se utvrdile performanse, locirali problemi koji izazivaju zastoje ili usko grlo, i pružila mogućnost za optimizaciju. Osim praćenja i podrške za poboljšanje performansi, profilisanje može biti vrlo značajno sredstvo u procesu evaluacije i dokumentovanja kvaliteta softvera. Upravo ova primena je obrađena u radu, i to na primeru grafičkih aplikacija sa trodimenzionalnim prikazom.

Zbog mnoštva aspekata koje može da obuhvati, procena kvaliteta u računarskoj grafici je vrlo složena. Ukoliko se ograničimo na trodimenzionalni prikaz, procena se

najčešće oslanja na kvalitet poliedarske aproksimacije površina [1], uz merenje izobličenja i njihovu korelaciju sa vizuelnom percepcijom čoveka [2], kao i vidljivost artefakata [3], koji mogu poticati od primenjenih modela ili nastati u samom procesu vizuelizacije.

Alati, biblioteke i okruženja za profilisanje, analizom prikupljenih podataka, pre svega ukazuju na efikasnost izvršenja, što jeste jedan od aspekata kvaliteta implementacije. Pod efikasnošću se podrazumeva mogućnost prikaza scene sa istim nivoom detalja za kraći vremenski period. Međutim, funkcionalnost profilisanja se može proširiti uvođenjem dodatnih metrika, kao što su na primer: procena veličine iscrtanih poligona u prostoru ekrana ili odnos ukupnog broja primitiva poslatih u grafički protočni sistem i broja primitiva koje su rasterizovane. Analizom veličine iscrtanih poligona procenjuje se kvalitet teselacije objekata, dok odnos prosluđenih i rasterizovanih primitiva definiše preciznost odbacivanja primitiva koje nisu vidljive. Primena ovih metrika prikazana je na primeru unapredene verzije GLProfiler biblioteke [4], namenjene profilisanju grafičkih aplikacija za MS Windows operativne sisteme, koje koriste OpenGL API.

Rad je podeljen u šest sekcija. Nakon uvoda, u sekciji 2 dat je kratak pregled postojećih rešenja, koja se koriste u profilisanju grafičkih aplikacija. Sekcija 3 prikazuje strukturu GLProfiler biblioteke, dok je njena podrška za evaluaciju kvaliteta predstavljena u sekciji 4. Sekcija 5 sadrži ilustrovani primer procene kvaliteta teselacije terena korišćenjem histograma. Zaključak i potencijalne primene date su u poslednjoj sekciji.

2. ALATI, BIBLIOTEKE I OKRUŽENJA ZA PROFILISANJE

Performanse predstavljaju osnovni parametar kvaliteta grafičkih aplikacija, obzirom da bolje performanse omogućuju bogatije scene, a time i veću prihvatljivost od strane korisnika. Zato profilisanje predstavlja vrlo važan element razvoja, a potreba za kvalitetnim alatima i okruženjima koji to pružaju uslovala je ekspanziju različitih rešenja.

Prema načinu interakcije sa aplikacijom, svi alati za profilisanje mogu se podeliti u dve velike grupe:

- alate za instrumentaciju koda i
- alate za presretanje funkcijskih poziva.

Instrumentacija koda podrazumeva da alat ima odgovarajući API, čiji se funkcijski pozivi umeću u analizirani program. Ovakvi alati se najčešće distribuiraju kao biblioteke, a obzirom da se direktno uključuju u druge programe, često se nazivaju i *ugrađenim alatima*. Poznati i trenutno aktuelni predstavnici ove grupe alata za profilisanje su: *NVIDIA Nsight Perf SDK* [5] i *GPU Performance API* [6].

Za razliku od instrumentacije, presretanje funkcijskih poziva ne zahteva nikakve izmene ispitivane aplikacije, čime nestaje potreba i za izvornim kodom. Alati iz ove grupe su samostalne aplikacije sa složenim grafičkim interfejsima, koje omogućuju ne samo akviziciju već i bogatu vizuelizaciju prikupljenih podataka. Najpoznatiji i trenutno aktuelni predstavnici ove grupe su: *NVIDIA Nsight Graphics* [7], *AMD Radeon GPU Profiler* [8] i *Intel Graphics Performance Analyzers (Intel GPA)* [9].

Osim alata velikih svetskih proizvođači hardvera [5-9], i okruženja za razvoj video-igara imaju sopstvena rešenja za profilisanje aplikacija razvijanih u njima, kao što su: *Unity GPU Usage Profiler* modul [10] i *Unreal Insights* [11]. Ovi alati su već uključeni u sama okruženja ili su nezavisni sistemi za profilisanje koji se integrišu sa okruženjem, da bi prikupili i vizuelizovali podatke koje okruženje emituje.

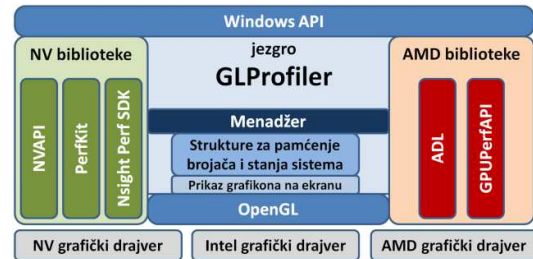
Kolekciju alata za profilisanje upotpunjuju i rešenja otvorenog koda, kao što je *RenderDoc* [12], koja sve više dobijaju na popularnosti. Osim što pružaju uvid u implementaciju samog alata i mogućnost prijavljivanja otkrivenih grešaka od strane čitave zajednice koja koristi ovakva rešenja, oni omogućuju i proširenje funkcionalnosti na osnovu zahteva prikupljenih upravo od korisnika.

3. GLPROFILER

Bez obzira na bogatstvo postojećih rešenja za profilisanje grafičkih aplikacija, stalno pojavljivanje novih rešenja ukazuje na potrebu za daljim usavršavanjem ili rešavanjem specifičnih problema. *GLProfiler* [4] je jedno takvo rešenje. Inicijalno je nastao kao podrška za razvoj algoritma za prikaz geodetski preciznog terena planetarnih razmera [13], zbog potrebe da se omogući:

- akvizicija podataka potrebnih za profilisanje uz minimalni uticaj na performanse sa mogućnošću snimanja rada i prikaz parametara u realnom vremenu,
- objedinjavanje interfejsa ka bibliotekama različitih proizvođača hardvera i pristup brojačima i stanjima specifičnim za svakog od proizvođača, uz dinamičko utvrđivanje funkcionalnosti zavisno od proizvođača, generacije hardvera i verzije drajvera,
- praćenje stanja performansi (P-stanja),
- signalizaciju grešaka i
- dodatne funkcionalnosti, koje nisu raspoložive u standardnim bibliotekama za profilisanje.

Na slici 1 prikazana je struktura *GLProfiler* biblioteke, koju čini jezgro i eksterne biblioteke, ali i čitav ekosistem aplikacija za naknadnu obradu i vizuelizaciju rezultata merenja.



Slika 1. Struktura *GLProfiler* biblioteke

Jezgro *GLProfiler* biblioteke oslanja se na funkcijske pozive operativnog sistema i grafičkog API, uz podršku grafičkog hardvera različitih proizvođača. Potreba za univerzalnošću ograničava funkcionalnost jezgra na:

- očitavanje vremenskih intervala na centralnom i grafičkom procesoru,
- brojanje primitiva koje ulaze ili izlaze iz odgovarajućeg stepena grafičkog protočnog sistema i
- brojanje izvršenja različitih tipova šejdera.

Osim očitavanja odgovarajućih vrednosti, zadatak jezgra je i da omogući njihovu akviziciju uz minimalni uticaj na performanse aplikacije čiji se parametri prate, kao i prikaz izabраних izmerenih vrednosti na ekranu, u realnom vremenu. Rezultati akvizicije su tekstualne datoteke u CSV i slike u PNG formatu, koje postprocesiraju aplikacije iz ekosistema, izvlačeći informacije vezane za određene aspekte izvršenja nadgledane aplikacije. Prikaz izabраних vrednosti na ekranu u obliku grafikona, omogućuje korisniku prepoznavanje ključnih scena koje utiču na performanse, tokom same interakcije sa aplikacijom.

Centralna komponenta jezgra je *menadžer* biblioteke, čiji je zadatak inicijalizacija i upravljanje ostalim delovima biblioteke. Osim toga, ona kreira specifičirani OpenGL kontekst iscrtavanja, detektuje proizvođača, tip i verziju drajvera grafičkog hardvera na kome se aplikacija izvršava, i u skladu sa tim inicijalizuje odgovarajuće eksterne biblioteke.

Eksterne biblioteke proširuju funkcionalnost jezgra, omogućujući pristup brojačima i stanjima koja su specifična za konkretnog proizvođača grafičkog hardvera. U skladu sa podrškom samih proizvođača, *GLProfiler* uključuje najviše biblioteka kompanije NVIDIA, zatim kompanije AMD, dok je hardver kompanije Intel podržan samo funkcionalnošću jezgra biblioteke.

Jezgro i eksterne biblioteke prikupljaju podatke vezane za izvršenje aplikacije, uz minimalni uticaj na performanse. Evaluacija prikupljenog materijala, sa druge strane, može biti vremenski vrlo zahtevna, pa se vrši naknadno, da ne bi uticala na proces merenja. Primena standardnih formata

za zapis rezultata profilisanja (CSV za numeričke podatke i PNG za slike), omogućuje korišćenje širokog dijapazona aplikacija za prikaz i analizu rezultata. Međutim, za evaluaciju pojedinačnih aspekata izvršenja vrlo često je pogodnije implementirati zasebnu aplikaciju, specijalizovanu upravo za to. Skup svih aplikacija sposobnih da interpretiraju, analiziraju i prikažu rezultate profilisanja čine *ekosistem*, koji se vrlo brzo i lako širi, obzirom na slabu spregu između njegovih članica, samo na osnovu podataka koje razmenjuju.

4. PROCENA KVALITETA

Alati za profilisanje koriste se prvenstveno za prikupljanje podataka vezanih za efikasnost izvršenja aplikacija. Međutim, prikupljeni podaci ukazuju i na kvalitet same aplikacije, pogotovu ako se funkcionalnost biblioteke za profilisanje upotpuni dodatnim aspektima koji potpomažu ovaj proces. *GLProfiler* pruža mogućnost procene kvaliteta trodimenzionalnih grafičkih aplikacija na osnovu parametara podeljenih u pet kategorija:

- vreme izvršenja,
- zauzeće resursa,
- stanje performansi,
- eliminisanje nepotrebnih poligona i
- karakteristike teselacije.

Vreme izvršenja predstavlja jedan ciklus iscrtavanja scene, pri čemu je potrebno nezavisno meriti vreme na centralnom [14] i grafičkom procesoru [15]. Spada u jednostavne kriterijume kvaliteta, jer se poređenje obavlja samo na osnovu vrednosti. Manja vrednost predstavlja bolji kvalitet.

Zauzeće resursa predstavlja kvantitativnu meru iskorišćenosti kapaciteta koji su na raspolaganju (centralnog i grafičkog procesora, centralne i grafičke memorije, pojedinih stepena u protočnom sistemu grafičkog procesora, itd.). Takođe spada u jednostavne kriterijume kvaliteta, ali je procena mnogo složenija, obzirom da je potrebno uzeti u obzir više različitih resursa, što onemogućuje dobijanje jedinstvene objektivne ocene kvaliteta. Na primer, ne može se reći da li je bolja aplikacija koja zahteva više procesorske snage a manje memorije ili obrnuto.

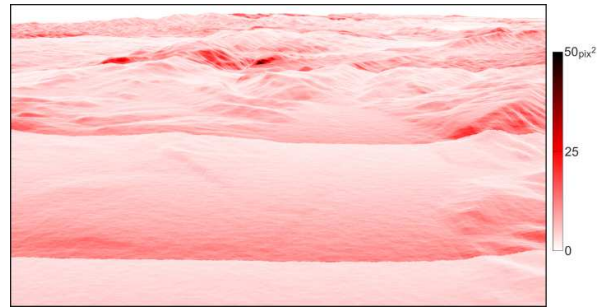
Stanje performansi je stanje u kome mogu da se nalaze grafički procesor i memorija, u skladu sa opterećenjem kojem su izloženi [16]. Najčešći indikatori su radne frekvencije i naponi napajanja, a posledica su dinamičkog upravljanja potrošnjom, a time i disipacijom uređaja. Ukoliko grafički podsistem nije fiksno postavljen u stanje maksimalnih performansi, niže stanje performansi prilikom izvršenja aplikacije ukazuje na njen viši kvalitet, obzirom da omogućuje interaktivni prikaz i sa smanjenom potrošnjom. Ovo je posebno važno kod prenosnih uređaja, jer se produžava trajanje baterije i smanjuje zagrevanje uređaja.

Eliminisanje nepotrebnih poligona smanjuje broj primitiva koje se obrađuju u grafičkom protočnom

sistemu, i time direktno utiče na poboljšanje performansi. Meru efikasnosti predstavlja odnos broja ulaznih primitiva i broja primitiva koje napuštaju fazu odsecanja, odnosno broja rasterizovanih primitiva [17]. I ovo spada u jednostavne kriterijume kvaliteta, jer se ocena vrši samo na osnovu jedne numeričke vrednosti. Eliminisanje se smatra efikasnijim što je ova vrednost bliža jedinici. Obično je ona znatno veća od 1.

Karakteristike teselacije predstavljaju složeni kriterijum kvaliteta, jer se zasnivaju na više karakterističnih vrednosti i njihovoj distribuciji. *GLProfiler* omogućuje merenje veličine trouglova u prostoru ekrana, na osnovu projektovane površine ili dužine najduže stranice.

Izračunavanje dimenzija trouglova vrši se u geometrijskom šejderu (eng. *geometry shader*), dok se analiza ostvaruje postprocesiranjem finalnih slika dobijenih bojenjem piksela u *fragment* šejderu, na osnovu izabrane karakteristike trouglova kojima fragmenti pripadaju. Bojenje može biti orijentisano ka izračunavanju, dozvoljavajući veću preciznost, ili ka vizuelizaciji, stvarajući slike pogodne za dokumentaciju i prezentaciju. Primer prikaza terena na osnovu površine trouglova u prostoru ekrana, u obliku pogodnom za prezentaciju, dat je na slici 2.



Slika 2. Primer grafičkog prikaza projektovane površine trouglova u prostoru ekrana.

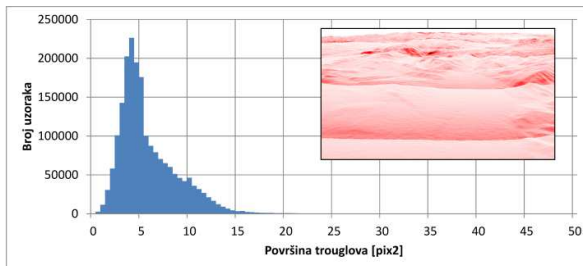
U prvoj fazi obrade slika, dobijenih senčenjem terena na osnovu izabrane karakteristike, izračunavaju se maksimalne i srednje vrednosti date karakteristike, kao i histogrami distribucije vrednosti, recimo projektovane površine trouglova. Za njom sledi druga faza analize, gde se na osnovu histograma procenjuje kvalitet teselacije. Primer procene kvaliteta prikaza terena na osnovu karakteristika teselacije primenom histograma prikazan je u narednoj sekciji.

5. PRIMER PROCENE KVALITETA PRIKAZA TERENA NA OSNOVU KARAKTERISTIKA TESELACIJE PRIMENOM HISTOGRAMA

Histogrami predstavljaju grafičku reprezentaciju distribucije vrednosti u okviru određenog skupa podataka. Oni otkrivaju mnogo više svojstava datog skupa, ili reprezentativnog uzorka, nego što to mogu sumarne statističke vrednosti, kao što su srednja vrednost ili standardna devijacija. Sumarne statističke vrednosti vrše

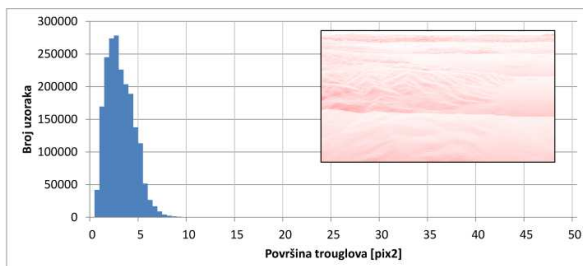
kvantifikaciju karakteristika u vidu jedinstvenih numeričkih podataka, koje predstavljaju određenu meru datog skupa, recimo centralnu tendenciju ili disperziju. Međutim, primena samo jedne vrednosti za opis čitavog skupa često previše pojednostavljuje reprezentaciju datog skupa. Grafičkom reprezentacijom distribucije podataka otkrivaju se i karakteristike koje su potpuno skrivene sumarnom analizom.

Primena histograma u analizi teselacije trodimenzionalne scene prikazana je u nastavku, na primeru terena planetarnih razmera, korišćenjem ECM algoritma za vizuelizaciju [13]. Kao kriterijum kvaliteta izabrana je *uniformnost teselacije*. Obzirom da je ECM algoritam zasnovan na geometrijskim klipmapama [18], bez upravljanja složenošću teselacije na osnovu grešaka u prostoru ekrana, primena *GLProfiler* biblioteke pruža vrlo koristan uvid u kvalitet formirane scene.



Slika 3. Histogram projektovane površina trouglova za pogled usmeren ka horizontu u pravcu istoka.

Na slici 3 prikazan je histogram projektovane površine trouglova za scenu u kojoj se posmatrač nalazi na 43.3° severne geografske širine, 21.9° istočne geografske dužine i 2800m nadmorske visine, okrenut u pravcu istoka, sa pogledom nagnutim za 18°. U okviru histograma prikazana je i slika same scene, obojene u skladu sa kriterijumom analize. Može se videti da je distribucija malo iskrivljena udesno, ka većim vrednostima, što ukazuje na to da je ovakav pogled nešto nepovoljniji od proseka, jer generiše veće trouglove.

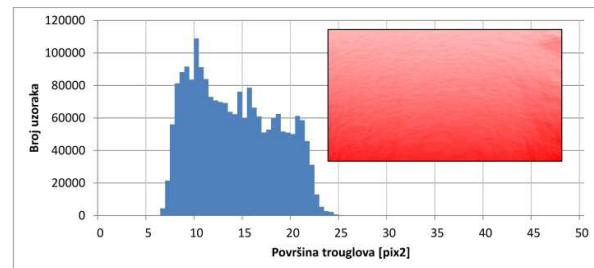


Slika 4. Histogram projektovane površina trouglova za pogled usmeren ka horizontu u pravcu juga.

Okretanjem pogleda prema jugu, dobija se scena čiji je histogram prikazan na slici 4. Distribucija je mnogo bliža *normalnoj (Gausovoj) raspodeli*, sa manjom disperzijom i pomeranjem centralne tendencije ka manjim vrednostima. Ovakva promena sa azimutom pogleda ukazuje na prisustvo *distorzije* u projekciji geografskih podataka.

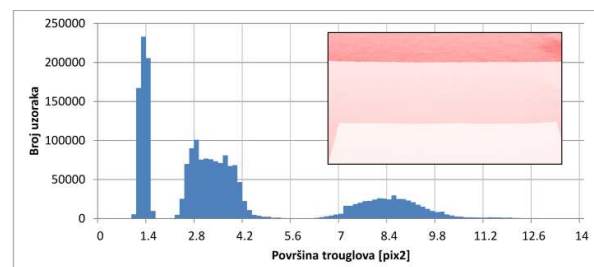
Naime, izvorni podaci koji se koriste za vizuelizaciju definisani su mrežom koja je uniformna u prostoru podataka, ali se „krivi“ i menja gustinu projekcijom na sferoidnu površinu planete. Ovo je standardni problem u kartografiji, za koji ne postoji adekvatno rešenje.

Spuštanjem pogleda okrenutog ka istoku za 60° dobija se scena čiji je histogram prikazan na slici 5. Disperzija vrednosti je značajno veća, nego u slučaju pogleda usmerenog ka horizontu, a centralna tendencija se pomera ka većim vrednostima. Očigledno je da su trouglovi u ovom pogledu značajno veći. Međutim, obzirom da promena visine terena u temenima trouglova, kod ovoliko spuštenog pogleda, ne utiče na promenu siluete terena, ovakva teselacija predstavlja dobro rešenje.



Slika 5. Histogram projektovane površina trouglova za spušten pogled u pravcu istoka.

Česta greška u implementacijama vizuelizacije terena zasnovanim na geometrijskim klipmapama je uvođenje nepotrebno detaljnih nivoa. Na slici 6 prikazan je histogram scene sa slike 5, ali sa dva dodatna nivoa detalja. Jasno se uočava multimodalna distribucija, što je vrlo nepoželjna pojava sa stanovišta uniformnosti teselacije. Ne samo da je mreža previše gusta, već se i značajno razlikuju vrednosti u susjednim nivoima, na šta ukazuju razdvojene distribucije.



Slika 6. Histogram projektovane površina trouglova za spušten pogled u pravcu istoka sa dodatnim nivoima detalja.

Iz prethodnih primera može se videti da analiza histograma može pružiti vrlo koristan uvid u konzistentnost teselacije terena. Generalno, teselacija se smatra uniformnijom ako je distribucija monomodalna i ne menja se značajno sa promenom azimuta pogleda. Promena distribucije sa azimutom ukazuje na distorziju primenjene projekcije, a multimodalna distribucija na nepotrebno detaljne nivoe. Pomeranje centralne tendencije ka većim vrednostima sa spuštanjem pogleda

ne bi trebalo da utiče na kvalitet teselacije, obzirom da se varijacije u visini terena sve više orijentišu ka pravcu pogleda i samim tim postaju neprimetne.

6. ZAKLJUČAK

Proširivanjem funkcionalnosti alata za profilisanje, dodavanjem mogućnosti merenja, analize i prikaza karakteristika generisane geometrije, ostvaruje se ne samo uvid u efikasnost već i *kvalitet vizuelizacije*. Procena kvaliteta ostvaruje se merenjem vremena izvršenja i zauzeća resursa, utvrđivanjem stanja performansi potrebnih za interaktivni rad i efikasnosti eliminisanja nepotrebnih poligona, kao i analizom karakteristika teselacije.

Dobijene sumarne statističke vrednosti daju dobru procenu karakteristika kroz njihovu kvantifikaciju u vidu jedinstvenih numeričkih vrednosti. Međutim, analizom histograma dobijaju se informacije o distribuciji vrednosti, čime se mogu otkriti karakteristike skrivene u sumarnim vrednostima. Jedan o primera primene je procena kvaliteta vizuelizacije terena na bazi karakteristika teselacije prikazana u ovom radu.

Senčenje scene na osnovu izmerenih prostornih karakteristika, kao što je projektovana veličina trouglova u prostoru ekrana, predstavlja preduslov za formiranje histograma i dalju analizu, ali može poslužiti i kao vrlo pogodno sredstvo za dokumentovanje kvaliteta kroz prikaz prostorne raspodele vrednosti. Sumarne statističke vrednosti, zajedno sa histogramima i prostornom raspodelom vrednosti u okviru scene pružaju kompletan uvid u stanje i distribuciju merenih veličina.

Na ovaj način omogućeno je i kvantitativno i vizuelno dokumentovanje kvaliteta, a to je preduslov i za objektivnu komparaciju različitih rešenja. Kako dokazi doprinosa u naučnim radovima i studijama često zahtevaju poređenje sa drugim rešenjima, primena profilisanja u dokumentovanju kvaliteta može da pomogne i u bržoj i kvalitetnijoj izradi naučnih publikacija.

LITERATURA

- [1] Frey, P. and Borouchaki, H. „Surface mesh quality evaluation“, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 45(1), pp.101–118, 1999.
- [2] Lavoué, G. „A Multiscale Metric for 3D Mesh Visual Quality Assessment“, *Computer Graphics Forum*, 30(5), pp.1427–1437, 2011.
- [3] Lavoué, G., and Mantiuk, R. „Quality Assessment in Computer Graphics“, *Visual Signal Quality*

Assessment, Springer International Publishing, pp.243–286, 2014.

[4] Dimitrijević, A. and Rančić, D. „GLProfiler – Biblioteka za profilisanje OpenGL grafičkih aplikacija“, in *Proc. YUINFO 2012*, pp.571-576, 2012.

[5] NVIDIA Nsight Perf SDK, 2022.3, NVIDIA Corp. 29. 11. 2022. URL: <https://developer.nvidia.com/nsight-perf-sdk>

[6] GPU Performance API, v3.12, AMD, 13. 12. 2022. URL: <https://gpuopen.com/gpuperfapi/>

[7] NVIDIA Nsight Graphics, 2022.5, NVIDIA Corp. 12. 10. 2022. URL: <https://developer.nvidia.com/nsight-graphics>

[8] AMD Radeon GPU Profiler, v1.14, AMD, 05. 01. 2023. URL: <https://gpuopen.com/rgp/>

[9] Intel® Graphics Performance Analyzers (Intel® GPA), 2022.3 URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/tools/graphics-performance-analyzers/download.html>

[10] Unity GPU Usage Profiler module, Unity User Manual 2021.3 (LTS), URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/ProfilerGPU.html>

[11] Unreal Insights, Unreal Engine 5.1 Documentation, URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/unreal-insights-in-unreal-engine/>

[12] RenderDoc, v1.25, feb. 2023. URL: <https://renderdoc.org>

[13] Dimitrijević, A. and Rančić, D. „Ellipsoidal Clipmaps – A planet-sized terrain rendering algorithm“, *Computers & Graphics Vol.52*, pp.43–61, 2015.

[14] „QueryPerformanceCounter function“, Microsoft Corporation, 2021. URL: <https://learn.microsoft.com/en-gb/windows/win32/api/profileapi/nf-profileapi-queryperformancecounter>

[15] Daniell, P, Mamode, A, Paul, B, Merry, B, Jones, J, Brown, P, et al. „ARB timer query“, Khronos Group Inc.; 2014. URL: https://registry.khronos.org/OpenGL/extensions/ARB/ARB_timer_query.txt

[16] Dimitrijević A. „Performance State Tracking“, In: Cozzi P, Riccio C, editors. *OpenGL Insights: CRC Press*, 2012. ISBN 978-1439893760

[17] Paul, B, Rakos, D, Sellers, G. et al. „ARB pipeline statistics query“, Khronos Group Inc, 2017. URL: https://registry.khronos.org/OpenGL/extensions/ARB/ARB_pipeline_statistics_query.txt

[18] Losasso, F, Hoppe, H. „Geometry clipmaps: Terrain rendering using nested regular grids“, *ACM Trans Graph* 2004;23(3):769–776. doi:10.1145/1015706.1015799.

An Overview of analytical dashboards in data-science and their software architecture

Marko Blažić^{1,2}, Dragan Ivetić¹, Srđan Popov¹, Ivana Berković², Višnja Ognjenović²
University of Novi Sad, Faculty of Technical Science, Novi Sad²
University of Novi Sad, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin,¹

Abstract - This paper presents software architecture of analytical dashboards in data-science. It gives a short overview on dashboards in general, their features and purposes and their most suitable fields. Architecture is considered by different aspects that should be understood such as system, structure, environment, and stakeholders. Architecture types are displayed and the assessment is done based on the types of dashboards. The evaluation of the most commonly used dashboard architecture is done for the current analytical dashboards. The paper is reinforced with two examples.

1. DASHBOARD OVERVIEW

Among many definitions, dashboard could be displayed as an important tool for user, which helps user to understand complexity of infrastructure and application. Dashboard presents user-defined interface, with key performance indicators (KPIs), suitably interpreted by the user [1]. Wexler presents the definition of dashboard as "visual display of data used to monitor condition and/or facilitate understanding" [2]. All things considered the term "dashboard" is used to represent many entities and could also be represented as crucial method of presentation for enterprise level applications.

The concept of dashboard has started from single-view reporting screen to multi-view interactive interface including: learning, communication and certainly users support.

Visual and functional perspective can be discussed as two major design factors. Visual perspective of a dashboard is presented in structured form of layout with simple charts. Functional perspective represents a real-time monitoring and updating data [3].

With the evolution of dashboards, some aspects have been determined to be reusable for other dashboards [1]. Many dashboards have the same functionality, but visual perspective is different, based on purpose of dashboard.

Because of the way the dashboard is created in ad-hoc manner, some of the features, like organization, sharing or usability, may bring the issue at enterprise level [1].

The structure of the paper is as follows: First section gives information about dashboard in general. The second and third section gives a short overview of dashboard features and their purposes. Next, architecture of analytical dashboards and classification of the following areas of application those are the most suitable for the same

dashboards are presented. In the end, two examples of implemented dashboards with architecture in practice are going to be presented.

2. DASHBOARD FEATURES

First, features will be mentioned together with the abilities of the dashboard for specific dashboard type. Grid lines, color combinations or pages are just some of the examples. They can be divided into functional and visual features. Functional features present abilities of the dashboard without dashboard visualization presentation. Visual features refer on how the data is shown to the customer. For example: usage of color combination, grid lines etc [4].

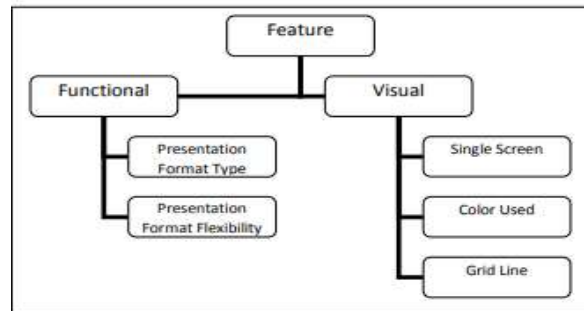


Figure 1. Dashboard features

3. DASHBOARD PURPOSE

Dashboard purpose was observed from the point of decision support, and communication and learning.

3.1. DECISION SUPPORT

Decision support represents support for actions that are designed by dashboard. This support could be seen in evaluating strategy, choosing tactic or reconciling their operations. Based on the decision support strategic, tactical and operational dashboard are considered.

Operational dashboards describe present and near past time, with the results that can be tied to their entities. For example, stock market and their warning markers that can indicate the problem [5,6].

They are also very fast and providing analytics information within company. On this level, users are able to track individual or group information in addition to monitoring activity and finding any relevant information [7]. On this level, users also receive feedback

informations on their performance, through the way of communicate with upper layers of organization [8].



Figure 2. Operational dashboard (LinkedIn)

Strategic dashboards are used for decision-making for a long-term period. These three categories are not mutually exclusive, which means that a single dashboard cannot be specified as single-category dashboard [2].

The visual feature that is preferred for this specific dashboard is simple screen with grid overlay. On the other hand, functional features that are commonly used are pie and bar chart or graph to present the data [9].



Figure 3. Strategic dashboard (management)

The purpose of the tactical dashboards are monitor, communication, analysis and consistency. This dashboard can deliver standardized service to the customers on the operational level, and then it is used from managers to track market or performance from employees. After collection results, manager of the sector can review them and analyze performance of that group or department [10]. Dashboard allows managers to talk to frontline workers. The most common used functional features of this dashboard are: gauge chart, bar chart, fusion chart, historical chart, reports, alerts, prints, drag and drop of the component etc. The most preferable visual feature is single screen resolution [11].



Figure 4. Tactical dashboard

3.2. COMMUNICATION AND LEARNING

Communication and Learning dashboard is visually similar to standard dashboard but functionally it is different. The main goal of this dashboard is to educate people [2].



Figure 5. Communication and learning dashboard (Social media)

In the next figure, the purpose of dashboards in general will be presented, even through all types (strategic, tactical, operational) have the same purpose, they are not functioning on the same way. Monitoring performance is required by all three types, but in the different perspectives. If organization is taken for example, on strategic level, it will track performance by the organization as unit, meanwhile on tactical level, it will track performance by the division, separately.

4. ARCHITECTURE OF ANALYTICAL DASHBOARD AND THEIR CLASSIFICATION

Architecture of analytical dashboard can be described as a set of components and relations between them. Other definition by (IEEE) technology is: "Architecture is the fundamental organization of a system embodied in its components, their relationships to each other, and to the environment, and the principles guiding its design and evaluation" [12].

There are couple of architecture aspects that should be understood before the classification is presented [12]:

1. System – a set of components that are working together to achieve ordinary functionality.
2. Structure – represents a set of elements, grouped by rule or principle. Elements can be parts of hardware or software systems.
3. Environment – Specific situation or circumstance for what this system is build
4. Stakeholder – a pearson or a group of people, who has benefits from the product and its success.

Type of architecture that is implemented in analytical dashboards, depends on performance and purpose of the dashboard itself. There are several types of dashboard architecture covered in [13], such as:

1. Direct query – this architecture is suitable for creating operational dashboards, because there is no need for too much analysis or processing data. Data from multiple systems can be overviewed in this dashboard by a user. Direct query supports SQL and OLAP(online analytical processing) database as well as numerous file types. Also this tools, usually, don't have a semantic layer [14].
2. BI tools- A BI type of architecture has semantic layer, which simplify data access, by converting data into objects, which are represened into dashboards. Users can easily drag and drop items from or on dashboard [14].
3. Mashboards – Mashboards allows user to drag and drop predefined items from a dashboard with the content from external web pages and „mash“ them together. This type of architecture is convenient for ad-hoc dashboards [13].
4. In-Memory Dashboards – This type of architecture became pretty popular lately because they are fast, cheap and easy to develop. In-memory loads a lot of data into memory which provides quick visual analysis of the data. Also known as visual analysis tools, they are convenient for dashboards of the departmants [14].
5. Data Federation – It is based on distributed query technology, which allows joining data from multiple source and displaying it on the dashboard. This type is ideal for the dashboards where the data is stationed on multiple systems and user wants to have insight in all sources for consolidation [14].
6. Data Marts – This one creates a local store in purpose of supporting dashboard performance [15]. They are designed to provide quality performance for dashboard metrics, this includes what-if modeling, collaboration, reporting etc. Some of them can store only summerized data, but the one that supports operational or tactical dashboard can contain detailed data [14].

7. Complex event processing(CEP) – Concept of this architecture is capturing and filtering real time events, that will trigger predefined rules. CEP is ideal for operational dashboards, because they are used for monitoring real-time processes, such as radio-frequency identification chips, traffic data for computer network, transportation systems etc [14]. Based on section second and third, it is generaded table of valuation for types of architecture and their most suitable types of dashboards, see Table 1. As it could be seen, one type of architecture can build different kinds of dashboards. Also the most versatile type of dashboard is operational, which can be seen from table 1, and practically can be build from any type of architecture.

Table1 . Types of architecture and their most suitable types of analytical dashboards

Type	Strategic	Operational	Tactical
Direct query		+	
BI tools			+
Mashboards	+		+
In-Memory		+	+
Data Federation	+	+	+
Data Marts	+	+	+
Complex event processing		+	

Data Federation is currently trending in the world, so it is safe to assume that this architecture is going to develop even more in near future.

In the next section, because of the importance of establishing connection between architecture and area of application, a small research was conducted.

5. DASHBOARD USABILITY THROUGH AREAS OF APPLICATION

There are many dashboard usabilities through area such as: mathematics, data analysis, administration, marketing, management etc. In our short research, we have analyzed fifty different analytic dashboards:

1. Google Charts
2. Google Data Studio
3. Zoho Analytics
4. Plotly
5. Google Analytics
6. IBM Cognos
7. Mixpanel
8. Monday.com
9. Geckoboard
10. Domo
11. Tableau Public
12. GoodData
13. Microsoft Power BI
14. Databox

15. Kumu
16. Vizzlo
17. Visme
18. Piktochart
19. Infogram
20. Canva
21. ClickUp
22. Grafana
23. DashThis
24. FineReport
25. Smartsheet
26. Yellowfin
27. Dasheroo
28. TruOl
29. Klipfolio
30. Datapad
31. Rapidminer
32. Rattle gui
33. Qlikview
34. Weka
35. Knime
36. Visio
37. Power view
38. FusionCharts
39. Stol
40. NodeXL
41. MetaBase
42. Matomo
43. Inetsoft
44. Scor
45. Datapine
46. Bilbeo
47. Target Dashboard
48. InfoCaptor
49. Grow
50. Sisense

- Data Analysis – 26%
- Business – 25%,
- Data storage – 16%,
- Management – 10%

Based on previous percents, we have concluded that the most developed architecture is intended for operational and tactical dashboards, and simultaneously these dashboards are most commonly used in previously listed areas.

6. EXAMPLE 1 - SMART CITY RIO DE JENEIRO

In reference[16] there are two dashboard presented. First is traffic dashboard, which is used for providing information about traffic jams and car accidents, so the drivers could find alternative routes to their destination. Second is public transport dashboard, users can see information about traffic jams, and can decide which route they would like to take with transport.

6.1 TRAFFIC DASHBOARD

In this case, the app called Waze allows people from the city to send real-time data about trafficking and vehicle accidents in the city. The government then, through app, sends information for route change, or traffic jams etc.

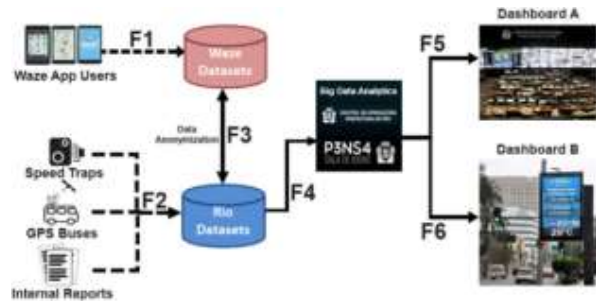


Figure 7. Traffic dashboard

As it can be seen from the figure, in this example two dashboards are created. First dashboard shows in real time 24/7 where are accidents or traffic jams. Combining that with 900 cameras that has 360 ° field of view, allows state authorities to solve traffic problems. Thanks to the cameras, accidents and problems of all kinds are recored, and teams most suitable for that type for problem, are sent to the scene.

The second dashboard works with the same data as the first, but this one is not interactive type of dashboard. Instead, it presents textual information to the citizen about most suitable routes between two regions in order to prevent delay due to jams.

6.2 PUBLIC TRANSPORT DASHBOARD

This dashboard is built in social app for buses. It gives opportunity users to choose which route they would like to take with bus, from point A to point B, based on real-

In our small research, we grouped all above dashboards into groups, based on their area of application. We have area such as management, data analysis, marketing etc.



Figure 6. Area of application of fifty researched dashboards

As presented on previous pie, current the most area of application suitable for dashboards are:

time data about traffic jams or vehicle accidents. This dashboard way of work through the app function goes in the following way: API takes data from the buses and then app calculates approximate time between bus stops and target destination. This system shows trustworthy in big events such as World Cup 2014 and Olympic games 2016, when traffic was more densed that usual .

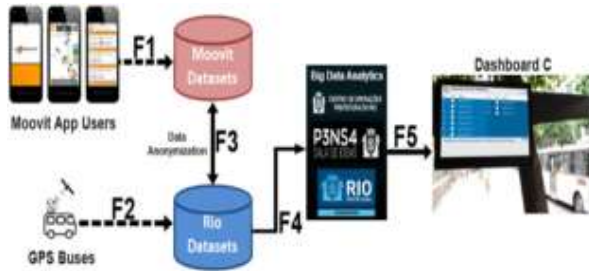


Figure 8. Public transport dashboard

7. EXAMPLE 2 - CITYVERVE PROJECT

In reference[17] it is presented latest IoT technology and address barriers to smart city, such as government.

The purpose of this project is to join IoT with address barriers such as scalability and interoperability. Project covers four area: the public and culture, health, energy and trasport. Architecuture is based on PoP(platform of platforms), layer that provides available data. A component that is the key of this architecture, is Hypercat specification [18] , a catalog that allows users to discover information about sensor data assets over the web.

7.1 THE MIDDLEWARE OF DASHBOARD ARCHITECTURE

The middleware layer is made of four components:

- Stream search: the Hypercat search allows user to search through the catalogue of values by passing single values [19].
- Data call/fetch: this library makes connection between APIs restful data-points and URIs request, that will fetch these data-points [20].
- The Rest API poller: this library will continually use previous library to poll the selected data streams and the returned data is stored in InfluxDb.
- Query processor: selected data is being manipulated by the user and converted into query, which will be stored in InfluxDb.

7.2 DASHBOARD FUNCTIONALITY

On showed architecture, several functionalities are enabled, such as:

- Stream states – Given the search mechanism, streams of the storage have to be in one of the next states : unused, previous, live, derived
- Searching for streams - Once the user has successfully logged in and selected data hubs, the first thing that is shown is the seach web-page. Dashboard allows user to explore the data from the each hub.
- Data manipulation – This feature is very convinient in case when there is some missing data, noise or data analysis is challenging. This data manipulation also can reduce redudance of data or wipe away irrelevant features. The manipulation technique currently available are: filtering, cleaning, transformation, discretisation.
- Analysing data streams - Data analysis and methods for visualisation are implemented, in purpose to give users opportunity to find patterns in data. Feature allows user to analyze one stream or multiple streams, even combine them to analyze data. Techniques that are currently available are:Time series analysis, correlation analysis, hierarchical clustering.

Based on functionality of previously mentioned example, it can be concluded that several architectures are suitable for design. One of the choices would be Data federation, because it allows user to combine data from multiple sources and mash them into one dashboard, in addition, this technology works with cloud. Also, mashboard could be a choice, similar to data federation, but it allows user to combine data from dashboard with content from external page.

CONCLUSION

This paper was presented a basic component of software architecture of analytical dashboards. This subject is still new and yet to be explored. Shownd architecture allows further research developing architecture of this type. Cloud is in expansion and it can be assumed that this architecture will be developed even more in the future. With great certainty, dashboard will be presented in every aspects of life, allowing users to modify their own commonly tasks using dashboards.

ACKNOWLEDGMENT

This research is supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia under the project number TR32044 "The development of software tools for business process analysis and improvement," 2011-2023.

REFERENCES

- [1] ServiceNow, I. (Santa C.C. (2021) 'Dashboard overview navigation and search system'. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edspr&AN=edspr.10992530&site=eds-live>
- [2] S. Wexler, J. Shaffer, and A. Cotgreave. *The Big Book of Dashboards: Visualizing Your Data Using Real-World Business Scenarios*. John Wiley & Sons, 2017
- [3] Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2018). What Do We Talk About When We Talk About Dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1–1. doi:10.1109/tvcg.2018.2864903
- [4] O. M. Yigitbasioglu and O. Velcu, "A review of dashboards in performance management: Implications for design and research," *Int. J. Account. Inf. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 41–59, 2012
- [5] W. W. Eckerson. *Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business*. John Wiley & Sons, 2010.
- [6] S. Few. *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O'Reilly, Cambridge, MA, 2006.
- [7] K. Pauwels et al. "Dashboards as a service: why, what, how, and what research is needed?," *Journal of Service Research*, vol 12, no. 2, pp. 175-189, 2009.
- [8] L. Corrin and P. De Barba, "How do students interpret feedback delivered via dashboards ?," In *Proceeding of the Fifth International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pp. 430–431, 2015
- [9] A. A. Rahman, Y. B. Adamu and P. Harun, "Review on dashboard application from managerial perspective," 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), Langkawi, Malaysia, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICRIIS.2017.8002461.
- [10] S. E. Dragomirescu, and D. C. Solomon "The Role of the Performance Dashboard," *Stud. Sci. Res.*, vol. Economics, no. 18, pp. 166–176, 2013.
- [11] W. W. Eckerson, "Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business," *Business*, p. 321, 2011
- [12] Anand Balachandran Pillai (2017) *Software Architecture with Python: Architect and Design Highly Scalable, Robust, Clean, and Highly Performant Applications in Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing
- [13] M. Abdelfattah, "A Comparison of Several Performance Dashboards Architectures," *Intelligent Information Management*, Vol. 5 No. 2, 2013, pp. 35-41. doi: 10.4236/iim.2013.52005.
- [14] W. W. Eckerson, "Performance Dashboards Measuring, Monitoring, and Managing Your Business," John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011 [Citation Time(s):8]
- [15] C. Vercellis, "Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making," John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, 2009. [Citation Time(s):1]
- [16] Ricardo Matheus, Marijn Janssen, Devender Maheshwari, *Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities*, *Government Information Quarterly*, Volume 37, Issue 3, 2020, 101284, ISSN 0740-624X,
- [17] A. Gledson, T. B. Dhafari, N. Paton and J. Keane, "A Smart City Dashboard for Combining and Analysing Multi-source Data Streams," 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Exeter, UK, 2018, pp. 1366-1373, doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00226.
- [18] HyperCat: an IoT interoperability specification. 2013., http://www.research.lancs.ac.uk/portal/services/download/Register/53462399/Interoperability_Action_Plan_1v1_spec_on_ly.pdf.
- [19] T. Jaffey, J. Davies, and P. Beart, "Hypercat 3.00 specification," Hypercat Limited, 2016
- [20] M. d'Aquin, J. Davies, and E. Motta, "Smart cities' data: Challenges and opportunities for semantic technologies," *IEEE Internet Computing*, vol. 19, no. 6, pp. 66–70, 2015.

Realizacija softverskog sistema za sinhronizaciju propisane terapije sa softverskim sistemom apoteka

Realization of Software System for Synchronization of Prescribed Therapy with the Software System of Pharmacies

Aleksandar Veljanovski, Aleksandar Milenković, Marija Veljanovski, Petar Rajković, Dragan Janković
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

Sadržaj – U ovom radu razmatrane su dobre i loše strane uvedenog informacionog sistema apoteka eDoktor. Sinhronizacija MIS-a sa IS apoteka predstavlja vitalan deo digitalizacije u zdravstvu. Način na koji je sinhronizacija recepata rešena, otklonila je veliki broj problema koji su postojali sa pisanim receptima, ali je sa druge strane stvorilo neke nove probleme kao posledica sinhronizacije. Uz male modifikacije uvedenog sistema, novo nastali problemi u sinhronizaciji recepata bi mogli da se svedu na minimum.

Ključne reči: sinhronizacija, elektronski recept, medicinski informacioni sistem, eDoktor, MEDIS.NET

Abstract - This paper will discuss the good and bad sides of the introduced pharmacy information system eDoktor. The synchronization of MIS with IS pharmacies is vital in digitalization in healthcare. The way recipe synchronization was introduced, eliminated several problems that existed with written recipes, but on the other hand, created some new problems as a side effect of synchronization. With small modifications to the introduced system, the newly created problems in the synchronization of recipes could be minimized.

Keywords: Synchronization, electronic prescription, medical information system, eDoktor, MEDIS.NET

1. UVOD

Propisivanje terapije od strane lekara, i to najčešće izabranog lekara, i izdavanje lekova pacijentima u apoteci je dugo vremena predstavljalo značajan problem kako za same lekare koji propisuju terapiju tako i za pacijente i za radnike apoteke. Postojali su brojni problemi:

- terapija napisana teško čitljivim rukopisom lekara na papirnom obrascu recepta,
- gubitak papirnog recepta od strane pacijenta,
- višestruko podizanje lekova pomoću istog recepta,
- modifikovanje propisane terapije na obrascu recepta od strane pacijenta (broj pakovanja, jačina leka, ...),
- nepostojanje povratne informacije od apoteke prema zdravstvenoj ustanovi (lekar koji je propisao terapiju pacijentu nema potvrdu da li je pacijent i kada podigao propisanu terapiju),
- enormne gužve u čekaonici izabranog lekara kako bi se samo produžila već propisana poznata terapija hroničnim pacijentima (dobili novi papirni recept kojim mogu da preuzmu terapiju u apoteci),
- falsifikovanje propisanih recepata ukoliko je propisivana naročito skupa terapija i/ili narkotici.

Svi ovi problemi prepoznati su u zdravstvu u Republici Srbiji, a zatim se i krenulo sa sistematskim rešavanjem problema uvođenjem centralizovanog držanog repozitorijuma za evidentiranje propisane terapije i izdavanje lekova. Kao rezultat tog procesa neophodno je bilo ostvariti sinhronizaciju medicinskih informacionih sistema (MIS) i informacionih sistema apoteka (ISA) upotrebom centralizovanog držanog repozitorijuma u kojem se evidentira propisana terapija.

Sinhronizacija MIS-a i ISA je veoma bitan deo procesa digitalizacije u zdravstvu u Republici Srbiji. Sam zahtev za digitalizaciju propisane terapije nastao je kao inicijativa Ministarstva zdravlja Republike Srbije i Republičkog fonda za zdravstveno osiguranje (RFZO), [1]. Kao rezultat ovog zahteva nastao je elektronski recept (ERecept) koji sadrži sve podatke bitne za podizanje propisane terapije u apotekarskoj ustanovi. Na samom početku realizacija elektronskog recepta (podizanje lekova u apoteci) bila je moguća samo u državnim a kasnije i u privatnim apotekama uz posedovanje identifikacionog dokumenta, odnosno zdravstvene knjižice. Kako bi ceo proces mogao da funkcioniše od trenutka dolaska pacijenta kod lekara, najčešće u domu zdravlja, do realizacije elektronskog recepta u apoteci neophodno je bilo razviti centralni državni repozitorijum za čuvanje propisanih elektronskih recepata. Potom, implementirati i izmeniti elektronski karton kojim lekar propisuje terapiju i promeniti softver na strani apotekarske ustanove koji bi imao mogućnost preuzimanja propisane terapije iz centralnog državnog repozitorijuma. U ovom radu, akcenat je na realizaciji dela softverskog sistema koji lekar koristi u svojoj ordinaciji tokom kreiranja elektronskog recepta u okviru elektronskog kartona pacijenta:

- dorada elektronskog kartona pacijenta,
- omogućiti komunikaciju između elektronskog kartona pacijenta i centralnog državnog repozitorijuma za skladištenje elektronskog recepta.

Medicinski informacioni sistem MEDIS.NET, [2-4], razvijen je na Elektronskom fakultetu u Nišu u Laboratoriji za medicinsku informatiku i licenciran je za upotrebu u primarnom zdravstvu od strane Ministarstva zdravlja Republike Srbije. Svakodnevno se koristi u više od dvadeset zdravstvenih ustanova primarnog zdravstvenog nivoa za evidentiranje pregleda pacijenata kroz elektronski karton pacijenta, propisivanje terapije upotrebom elektronskog recepta, pisanje uputa, zakazivanje pregleda kod lekara određene specijalnosti kao i na dijagnostičkim uređajima, kreiranje različitih tipova izveštaja za praćenje određenih bolesti, učinka lekara, potrošnje medikamenata, kreiranje XML izveštaja

o pruženim uslugama (elektronska faktura) koji se mesečno šalje RFZO-u, [5], itd. Potrebne softverske modifikacije izvršene su u MIS-u MEDIS.NET kako bi se terapija, propisana kroz elektronski recept u elektronskom kartonu pacijenta, bila vidljiva u centralnom državnom repozitorijum propisanih receptata, ali i u apotekarskoj ustanovi gde pacijent podiže lekove na osnovu propisanog recepta. Zbog toga je, u ovom radu, prikazana sinhronizacija propisane terapije pomoću elektronskog recepta.

Sistem eDoktor, [6-7], predstavlja centralizovani državni repozitorijum za povezivanje apotekarskih ustanova i zdravstvenih ustanova primarnog nivoa zdravstvene zaštite. Ideja sistema je da omogućiti centralizaciju svih kreiranih receptata od strane izabranih lekara i lekara specijalista koji imaju mogućnost propisivanja preporučene terapije pacijentima i koji koriste MIS i elektronski recept iz elektronskog kartona pacijenta kao i praćenje statusa recepta do njegove realizacije (pacijent podigao propisan lek u apotekarskoj ustanovi, propisana terapije nikada nije realizovana, važenje recepta je isteklo). Uz pomoć elektronskog recepta, koji nastaje u okviru elektronskog kartona, tokom posete pacijenta lekaru, propisani elektronski recept biće prosleđen centralizovanom državnom repozitorijumu. Svaka apotekarska jedinica na osnovu validne zdravstvene knjižice pacijenta moći će da izda propisanu terapiju na osnovu preuzetih podataka iz centralnog državnog repozitorijuma (eDoktor).

Mojdoktor, slično kao eDoktor, predstavlja centralizovani državni repozitorijum za povezivanje zdravstvenih ustanova sekundarnog nivoa zdravstvene zaštite. Uveden je kako bi se rešio problem zakazivanja, pre svega specijalističkih uputa iz primarnog nivoa zdravstvene zaštite ka sekundarnom nivou zdravstvene zaštite, ali i ostalih zakazivanja u primarnom zdravstvu kao što su pregled kod izabranog lekara, savetovališta za decu, zakazivanja za pregled na aparatu itd. Zahtev sistema je sinhronizacija svih podataka iz zdravstvenih ustanova primarnog zdravstva, kompletnog pregleda, u Mojdoktor, a zatim izbor, zakazivanje, termina za specijalističke upute ukoliko su takvi kreirani kao posledica pregleda.

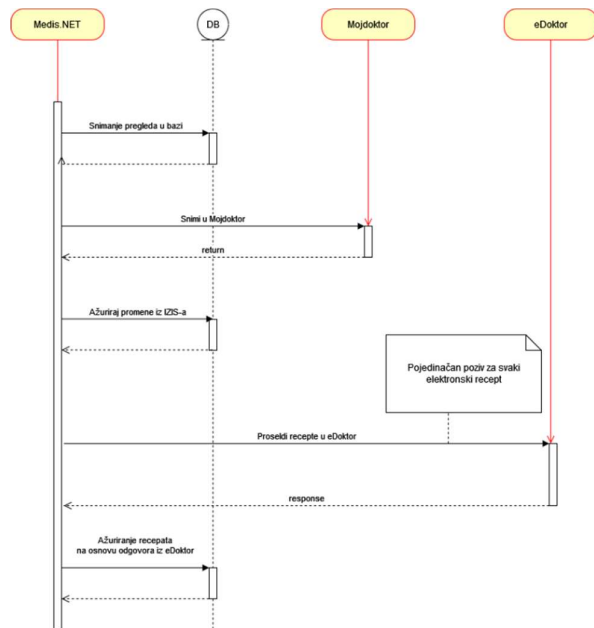
U ovom radu, autori detaljno prikazuju realizovanu sinhronizaciju između MIS-a MEDIS.NET i sistema apoteka uz pomoć eDoktor-a, ujedno prikazuju i prednosti koje je donela ova sinhronizacija.

2. SINHRONIZACIJA MIS-A MEDIS.NET I EDOKTOR-A

Sa tačke gledišta medicinskih informacionih sistema, osnovu sistema eDoktor čini REST web servis preko koga se obavlja komunikacija. Sinhronizacija se obavlja tako što MIS poziva dostupne web metode servisa. Proces snimanja obavljenog pregleda u elektronskom kartonu pacijenta dodavanjem dodatnih poziva eksternih servisa za sinhronizaciju određenog skupa podataka, postao je prilično kompleksan. MIS obezbeđuje da su svi potrebni podaci tokom obavljenog pregleda uneti.

Administrator svake zdravstvene ustanove konfigurise skup podataka koji su obavezni tokom registracije pregleda pacijenta. Taj skup podataka zavisi od velikog

broja faktora (vrste korisnika, specijalizacije lekara, starosti pacijenta, itd...)[8]. Dodavanjem eksternog sistema s kojim se vrši sinhronizacija (u ovom slučaju eDoktor), MIS mora da ispuni i zahteve nametnute od tog sistema. Taj zahtev ogleda se da korisnik MIS-a koji propisuje terapiju je u obavezi da unese odnosno izabere potrebne podatke. Tokom sinhronizacije elektronskog recepta sa eksternim sistemom eDoktor-om svaki među rezultat se skladišti u lokalnu bazu MIS-a. Nakon standardne obrade ulaznih podataka i njihovog skladištenja, snimanje obavljenog pregleda sa propisanom terapijom u MIS-u, podaci se pripremaju i pakuju za slanje u eksterni sistem Mojdoktor, [9], a dobijen odgovor od eksternog sistema Mojdoktor se pridružuje snimljenim podacima u MIS-u. Nakon toga deo snimljenih podataka se šalje u centralizovani državni repozitorijum eDoktor, pri čemu se šalje recept po recept pojedinačno i pri tome dobijeni odgovori za svaki poslat recept se snimaju u MIS-u.

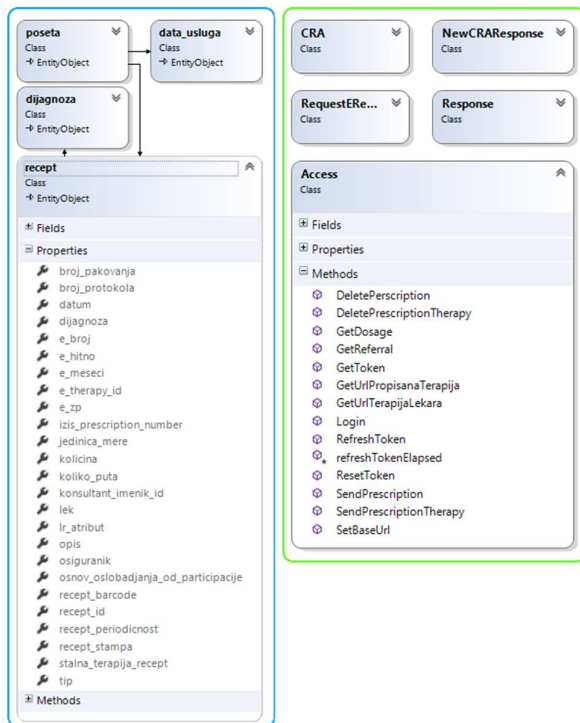


Slika 1. Proces snimanja obavljenog pregleda u MIS-u MEDIS.NET sa ostvarenom sinhronizacijom sa eksternim servisima centralizovanog softverskog sistema eDoktor

Sekvenca koraka i poziva je sledeća (Slika 1):

- MIS u elektronskom kartonu pacijenta proverava validnost unetih podataka za elektronski recept i snima celokupni pregled sa svim elektronskim receptima u lokalnoj bazi (DB).
- MIS izdvaja tražene podatke za sinhronizaciju sa Mojdoktor.
- Snimljeni pregled se ažurira dodavanjem odgovora iz sistema Mojdoktor.
- MIS izdvaja podatke (recepte i podatke o osiguraniku) za sinhronizaciju sa eDoktor.
- Prvo se kreira „omot“, koji odgovara pregledu u MIS-u.
- Izdvojeni elektronski recepti se šalju jedan po jedan u eDoktor, dok se svaki odgovor pojedinačno snima u lokalnu bazu MIS-a.

Za potrebe implementacije sinhronizacije osnovni softverski model je proširen odgovarajućim klasama, gde sve one učestvuju u prenosu podataka, osim klase *Access* (Slika 2). U klasi *Access* se nalazi kompletna logika za komunikaciju sa eksternim sistemom eDoktor. Od postojećih klasa, klasa *recept* mora biti proširena za dodatna polja koja zahteva eDoktor. Slika dva detaljno prikazuje sve učesnike sinhronizacije. Sa leve strane prikazane su klase koje modeliraju elektronski recept dok sa desne strane prikazane su klase koje su zadužene za sinhronizaciju sa eksternim servisom eDoktor.



Slika 2. Prikaz najbitnijih klasa potrebnih za sinhronizaciju MIS-a MEDIS.NET i eDoktor

Ukoliko se neki od elektronskih recepata ne prosledi u eDoktor, MIS dobija odgovarajuću poruku o grešci i omogućava korisniku da te elektronske recepte izmeni u skladu sa informacijama iz dobijene poruke i da pokuša ponovo slanje. U izuzetnim slučajevima, kao što nestanak internet veze, podaci se ne šalju eksternim sistemima. U tim slučajevima, moguće je naknadno slanje pregleda tako što lekar pokrene ili ovlašćeno lice pokrene proces sinhronizacije u MIS-u.

3. PREDNOSTI, PROBLEMI I PREDLOŽENA REŠENJA

Implementirani sistem rešio je dosta problema koji su pacijenti imali sa papirnim receptima. Zbog nečitkog rukopisa na papirnom receptu, dešavalo se da osiguranci budu vraćeni iz apoteke, da dobiju pogrešan lek ili pak da im bude napisana pogrešna doza i način primene terapije. S obzirom da je rukopis eliminisan elektronskim receptom i sinhronizacijom, ovi problemi više apsolutno

ne postoje. Takođe, dešavalo se da pacijenti zaborave papirni recept tokom dolaska u apoteku. Implementiranjem sinhronizacije za podizanje recepata potrebna je samo važeća zdravstvena knjižica. Sa papirnim receptima, dešavalo se da pacijent podigne terapiju i znatno kasnije jer u tom trenutku terapija njemu nije bila neophodna. Sada to nije moguće, propisani elektronski recept važi mesec dana od dana propisivanja osim u slučajevima kada lekar propisuje hroničnu terapiju. U tom slučaju pacijent može podići više od jedne kutije propisanog leka (kako je naznačeno u receptu od strane lekara), ali prvo podizanje mora biti u roku od mesec dana, dok preostale kutije može podići u pravilnim vremenskim razmacima koji se obračunavaju prema količini leka (broj tableta, pilula, ampula, ...) u pakovanju i propisanom doziranju. Ovim rešenjem su većina navedenih problema rešeni ili njihovo pojavljivanje svedeno na minimalan broj slučajeva.

Iako ovako osmišljen sistem rešava sve uočene probleme, uvođenje ovakvog sistema dovelo je do novih problema u praksi. Neki od novonastalih problema je pad performansi postojećih medicinskih informacionih sistema usled neophodnog dodatnog koraka sinhronizacije što zahteva i brzu internet konekciju koja nekad nije moguća u ruralnim sredinama.

Inicijalno, snimanje celog pregleda podrazumevalo je jedno obraćanje bazi. Usled već spomenutih dodatnih koraka, to više nije slučaj. Potreban je najmanje još jedan poziv (prosleđivanje podataka) po eksternom sistemu i skladištenja odgovora uz sinhronizovani pregled. Nažalost, sinhronizacija ovih podataka ne može da se uradi u pozadini, već lekar mora da sačeka da sistem završi sa sinhronizacijom jer u nekim slučajevima lekar dobija odgovarajuće poruke pa je potrebna i njegova interakcija sa sistemom. Kod sistema eDoktor, moguće je da recept ne bude poslat ili prihvaćen, pa je potrebno potencijalno promeniti i poslati ponovo. Mogući problemi mogu biti i da izabran lek na elektronskom receptu ne odgovara dijagnozi, da doziranje leka na elektronskom receptu nije odgovarajuće.

Takođe, sistem sada zahteva stabilnu internet vezu, što nije ostvarivo u svim objektima primarne zdravstvene zaštite, naročito u ruralnim sredinama. Ovdje naročito dolazi do izražaja kada istekne *timeout* pri pokušaju sinhronizacije, a recept je zapravo snimljen u eDoktor-u ali odgovor još uvek nije stigao do MIS. Problem nastaje na zato što MIS prema opisu greške smatra da elektronski recept nije sinhronizovan sa eDoktor-om i šalje ponovo isti elektronski recept na sinhronizaciju, a pri tome nema načina da proveri da li se taj elektronski recept već nalazi u eDoktor. Rešenje bi moglo biti da lokalni MIS generiše ID (jedinostveni identifikator recepta) elektronskog recepta, umesto da elektronski recept dobije neki ID od eDoktor-a nakon uspešne sinhronizacije. Potencijalni problem sa ovim rešenjem je da više lokalnih MIS-a generišu isti ID. Ovo bi moglo da se zaobiđe ako bi bilo naloženo da svaki MIS generiše ID na osnovu šifre ustanove, identifikatora lekara i slobodno generisanog dela, odnosno dela ID koji bi svaki MIS jednoznačno kreirao. Time bi se dobila kombinacija koja ne bi mogla da se ponovi, jer lekar u jednom trenutku radi u jednoj ustanovi.

Odnos među sistemima nije dobro definisan. Tačnije, svaki sistem se ponaša kao master usled čega dolazi do pada performansi jer se pojedini procesi usložnjavaju zbog čestih ažuriranja istih grupa podataka, koja su posledica sinhronizacije sa eksternim sistemima. Metode za sinhronizaciju ne podržavaju ažuriranje elektronskih recepata. Tačnije, da bi se obavilo ažuriranje sinhronizovanog recepta, neophodno je prethodnu verziju obrisati u eDoktor, zatim taj recept u MIS-u obeležiti kao ne-sinhronizovani, odnosno novo dodati recept. Ovo dovodi do dodatne komunikacije između MIS-a i eDoktor-a koja u slučaju lošije internet veze može blokirati rad lekara koji stiče utisak da je ceo sistem pao. U praksi se dešavalo da lekar dobije informaciju da je elektronski recept uspešno poslat u eDoktor. U apoteci recept nije vidljiv što uglavnom rezultira time da se pacijent vraća lekaru na ponovno propisivanje istog recepta. U ovakvim slučajevima grešku ne treba tražiti isključivo na jednoj strani. Do ovakvih situacija obično dolazi kada je za propisivanje određenih lekova promenjena procedura propisivanja lekova, tj. potrebno je uz recept obeležiti dodatna polja koja u trenutku kreiranja elektronskog recepta na strani MIS-a nisu bila obavezna (kasnije su ta pravila za propisivanje izabranog leka uvedena). Lekar nije obeležio/selektovao određene vrednosti za izabrani lek na elektronskom receptu u MIS-u, sistem ga nije upozorio prilikom sinhronizacije, nije došlo do greške, odnosno recept nije odbijen što rezultira da se lekaru prikazuje da je sve u redu sa propisanim elektronskim receptom. Lekar ima priliku da recept proveriti i u lokanom MIS-u i preko linka na eDoktor, ali oba sistema prikazuju da je sve u redu sa sinhronizovanim elektronskim receptom, tj. ne prijavljuju grešku. Problem nastaje kod apoteke. Recepta nije dostupan u ISA odnosno sistem u apoteci ne prikazuje recept jer nisu zadovoljeni svi uslovi.

Problem bi delimično mogao biti suzbijen ako bi se u šifarniku lekova, koji objavljuje RFZO, uključili i uslovi koje je potrebno ispuniti prilikom propisivanja konkretnog leka, kao što je urađeno za dijagnoze (Slika 3).

Slika 3. Obaveštenje korisniku sistema (lekaru) da lek ne odgovara dijagnozi

Na ovaj način bi sistem elektronskog kartona, kao prvi u lancu, mogao da obavesti korisnika, lekara, o podacima koje je lekar bio u obavezi da unese. Nakon toga prilikom

sinhronizacije može se dodatno proveriti da li su svi uslovi ispunjeni. Sistem ne sme da spreči lekara da propiše terapiju pacijentu ali je potrebno da obavesti lekara da nije popunio sve potrebne podatke vezane za terapiju.

U Tabeli 1 su sumirani sve dobre strane i nedostaci uvedenog sistema.

TABELA 1. PREDNOSTI I NEDOSTACI UVEDENOG CENTRALIZOVANOG DRŽAVNOG REPOZITORIJUMA ELEKTRONSKIH RECEPTA

Prednosti	Nedostaci
Rešen problem nečitkog rukopisa	Pad performansi sistema
Sprečavanje gubitka recepta	Komplikovana procedura sinhronizacije
Rok važenja recepta	Nedefinisan master-slave odnos
Veća kontrola izdavanja recepta	Mogućnost višestruke sinhronizacije
Manje prostora za zloupotrebe izdavanja recepata	
Pojednostavljena procedura izdavanja recepata hroničnih bolesnika	
Lekar ima uvid da li je pacijent podigao propisanu terapiju	

4. ZAKLJUČAK

Uvođenjem centralizovanog državnog repozitorijuma eDoktor, urađen je odličan posao u oblasti propisivanja recepata i kontrole izdavanja lekova. Onemogućeno je izdavanje lekova bez pokrića, drastično je smanjen broj poseta hroničnih bolesnika itd. Ipak, kao posledica sinhronizacije, nastali su neki novi nedostaci kao što su komplikovana procedura sinhronizacije i nedefinisan master-slave odnos između MIS-a i ISA. I pored novonastalih nedostataka, uvedeni sistem predstavlja jako dobru odluku Ministarstva zdravlja Republike Srbije i RFZO-a. Sam sistem kao i kolaboracija sa lokalnim MIS-om poseduje mogućnosti za dalji razvoj i usavršavanje uvedenog sistema.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije [451-03-68/2022-14/200102].

LITERATURA

- [1] <https://rfzo.rs/index.php>, datum poslednjeg pristupa: 13.02.2023.
- [2] Rajkovic P., Jankovic D., Tosic V., "A Software Solution for Ambulatory Healthcare Facilities in the Republic of Serbia", proc. of HealthCom 2009, Sydney, Australia, IEEE, p. 161 – 168.
- [3] Petar Rajković, Dragan Janković, Aleksandar Milenković, „Developing and deploying medical information systems for Serbian public healthcare: Challenges, lessons learned and guidelines“, Computer Science and Information Systems 2013 Volume 10, Issue 3, Pages: 1429-1454.

[4] Dragan Janković, Petar Rajković, “Medicinski informacioni sistemi – značaj i struktura”, XXXI Simpozijum o operacionom istraživanju, Iriški venac, Fruška Gora, 14-17.09.2004, 173-176.

[5] Aleksandar Milenković, Dragan Janković, Petar Rajković, Tatjana Stanković, Ivica Marković, „MODUL ZA FAKTURISANJE PRUŽENIH ZDRAVSTVENIH USLUGA KAO DEO MEDICINSKOG INFORMACIONOG SISTEMA MEDIS.NET“, INFOTEH-JAHORINA Vol. 10, Ref. E-I-21, p. 490-494, March 2011.

[6] <https://edoktor-api.mojdoktor.gov.rs/Help>, datum poslednjeg pristupa: 14.02.2023. Uputstva za implementaciju

[7] <https://edoktor.e-zdravlje.gov.rs/>, datum poslednjeg pristupa: 14.02.2023.

[8] Aleksandar Milenković, Petar Rajković, Dragan Janković, Elektronski fakultet u Nišu, „Modul za konfigurisanje korisničkih privilegija u medicinskom informacionom sistemu“, INFOTEH-JAHORINA Vol. 9, Ref. E1-2, p. 894-898, March 2010. 894, Elektronski fakultet u Nišu.

[9] <https://www.mojdoktor.gov.rs/about>, datum poslednjeg pristupa: 13.02.2023.

Mašinsko učenje kao inteligentni pristup u detekciji mrežnih napada

Mr Dalibor Bogdanović
Fakultet tehničkih nauka Čačak
Univerzitet u Kragujevcu
Čačak, Republika Srbija
daliborbogdanovic@hotmail.com

Dr Elmira Babović
Fakultet informacionih tehnologija
Univerzitet Džemal Bijedić Mostar
Mostar, Bosna i Hercegovina
elmir.babovic@edu.fit.ba

Sadržaj - Mrežni napadi su glavne prijetnje podacima institucija ili kompanija kao i samoj mrežnoj eternet infrastrukturi u istim. Sistemi za detekciju i otkrivanje mrežnih napada su neophodni na različitim razinama mrežnih infrastruktura. Osnovni cilj ovog naučno istraživačkog rada je unaprijedjenje i preduprijedjivanje sistema za detekciju mrežnih eternet napada ili upada u sisteme kompanija koje raspolažu podacima od interesa za napad i samo onemogućavanje rada mrežne infrastrukture. Adekvatnim metodološkim pristupom odnosno primjenom mašinskog učenja kao što je klasifikacija, klasterovanje i drugih metoda mašinskog učenja moguće je smanjiti rizik od vanjskih napada i poboljšati odbrambeni mehanizam zaštite podataka od interesa. Pravilnom izgradnjom inteligentnog stabla odluke kao rješenja u klasifikaciji mrežnih napada dobija se model koji odgovara na adekvatan način u realnom vremenu. U radu je opisan eksperiment koji se provodi nad skupovima podataka KDDCUP99 baziran nad karakteristikama od značaja. Cilj ovog istraživačkog rada je poboljšati performanse sistema za odbranu i otkrivanje napada primjenom tehnika mašinskog učenja na bazi stabla odlučivanja detekcije i klasifikacije napada.

Ključne riječi - Mrežna eternet infrastruktura; Mašinsko učenje; Stablo odluke; Veštačka inteligencija; Weka ;

I. UVOD

Shodno razvoju informacionih sistema širom svijeta digitalni zapisi i baze podataka eksponencijalno rastu i time postaju ranjivije od strane mrežnih-digitalnih napada. Sa aspekta zaštite mrežnih infrastruktura i podataka u repozitorijumima baza podataka koji imaju izlaze prema internetu neophodno je razviti inteligentne sisteme za detekciju i otkrivanje neovlaštenih napada odnosno upada [1]. Mehanizam rada sistema za detekciju mrežnih napada sastoji se od tri ključne tačke: (monitoring) nadgledanje eternet mreže, (checking) provjera događanja u mreži i (reporting) izvještavanje o događajima koji se ne podudaraju sa sigurnosnim politikama mrežnog administratora sistema. Informatički stručnjaci odnosno informatički administratori koji kontrolišu mrežne sisteme analiziraju logovanja na sistem i tako otkrivaju upade u isti kako bi mogli da naprave razliku između nametljivog i nenametljivog mrežnog saobraćaja [2]. Detekciju napada možemo klasifikovati u dvije glavne vrste

[1]. Prva metoda je zasnovana na digitalnom potpisu, koji se bazira na analizi mrežnog saobraćaja za niz bajtova ili sekvenci mrežnih paketa, a druga je zasnovana na detekciji mrežnih anomalija. Jedan od nedostataka i zapažanja koja se mogu otkriti kod ove vrste napada su digitalni potpisi koje je relativno lakše otkriti [3]. U posljednje vrijeme većina efikasnih detekcionih sistema za detekciju napada oslanja se na principu sistema mašinskog učenja, gdje su mehanizmi mašinskog učenja vrlo funkcionalni tako da pružaju veliku mogućnost otkrivanja upada u mrežu. Mašinsko učenje daje sistemima sposobnost odnosno inteligenciju da se isti prirodno prilagođavaju odnosno poboljšavaju kao autonomni sistemi, bez posebnog prilagođavanja okolnim procesima. Mašinsko učenje usredsređeno je na napredak računarskih programa koji mogu doći do informacija i iskoristiti ih kako bi inteligentni sistemi naučili i sami preduprijedili daljnje otkrivanje nepoznatih napada [3]. Stablo odluke definiše se kao stablo koje sadrži unutrašnje čvorove za izražavanje testa određene karakteristike, grane koje predstavljaju rezultat odredjenog testa i listove koje predstavljaju čvorove kao oznake klasa. Svrha klasifikacije u metodološkom pristupu stabla odlučivanja je uokviriti podatke tako da sadrže i korijenski i listni čvor samog rješenja zamišljenog konceptualnog modela. Stablo odlučivanja može ispitati informacije i prepoznati kritične attribute u sistemu koje ilustruju zlonamjerne aktivnosti. Empirijski se mogu uočiti obrasci odnosno paterni koji promovišu provjeru, napredovanje potpisa napada i različite aktivnosti provjere samog napada. Ono što razlikuje upotrebu metoda stabla odlučivanja od ostalih metoda je to što stablo odlučivanja daje bogat raspored pravila koja su jednostavna i koja se lako mogu integrisati sa tehnologijama u realnom vremenu [1]. Sistemi za otkrivanje upada u mrežu (NIDS- Network intrusion detection systems) postali su standardna komponenta u sigurnosti mrežne infrastrukture jer omogućavaju mrežnim administratorima otkrivanje kršenja mrežnih pravila. Mreže zasnovane na anomalijama tj. sistemi za otkrivanje upada (A-NIDS, Anomaly- Network intrusion detection system) trenutno su glavni fokus istraživanja i razvoja u polju otkrivanja mrežnih napada. Sistemi za otkrivanje anomalija (ADS) nadziru ponašanje sistema i označavaju značajna odstupanja od normalne aktivnosti kao anomalije. Odnedavno je u upotrebi metoda otkrivanja anomalija za prepoznavanje napada u računarskim mrežama,

zlonamjernih aktivnosti u računarskim sistemima i zloupotrebama u web sistemima. Novija klasa ADS-a razvijena korištenjem tehnika mašinskog učenja poput vještačkih neuronskih mreža, fuzzy klasifikatora, multivarijantne analize i drugih metoda su postale popularne zbog svojih visokih preciznosti otkrivanja napada i imaju nisku lažnu pozitivnu stopu. Sistem za otkrivanje napada (IDS) je sistem koji nadgleda mrežnu infrastrukturu radi provjere štetnih aktivnosti u mrežnim sistemima i izvještava o događajima koji ne ispunjavaju sigurnosne kriterije mrežnom administratoru. IDS-ovi jesu kategorizovani kao "potpis" i "anomalija". IDS koji je zasnovan na potpisu koristi razne tehnike koje lociraju sličnost među ponašanjima sistema i prethodno prepoznaje napade koji su pohranjeni u potpisu baza podataka. IDS koji je zasnovan na anomaliji otkriva aktivnosti u mreži koje odstupaju od uobičajenog pohranjenog ponašanja u bazi podataka profila. Postoje razni klasifikatori koji su primjenjivi za otkrivanje na bazi zloupotrebe. Neki su zasnovani na stablu odluke [4] i slučajnim šumama [5], dok se neki baziraju na pravilima, poput oneR [6], a neki su zasnovani na funkcijama kao što je SVM (Support Vector Machine) [7]. Da bi se efikasno koristio svaki ulazni podatak korijenski čvor se odabere tako da je to najistaknutiji atribut klasifikacije. Nakon što se stablo formira, ono se može prekonfigurirati novim dolaskom podataka (uzoraka), počevši od korijenskog čvora do lišnog čvora koji obilazi sve unutrašnje čvorove na putu zavisno od ispitnih uslova atributa za svaki čvor [8]. Glavno pitanje u konstruisanju stabla odluke je, koja se vrijednost odabira za razdvajanje čvora u konstruisanom stablu. Stabla odlučivanja mogu analizirati podatke i prepoznati značajne karakteristike u mreži koje ukazuju na zlonamjernost aktivnosti spoljnih napada. Upotrebom odgovarajućeg stabla odluke moguće je prepoznati trendove i obrasce koji poboljšavaju daljnju istragu, razvoj napada i druge aktivnosti praćenja malicioznih napada vanjskih napadača. Glavna prednost upotrebe stabala odlučivanja u odnosu na druge klasifikacijske tehnike je da pruža bogat skup pravila koja su lako razumljiva, a mogu biti integrisani sa informacionim tehnologijama u realnom vremenu [9] gotovo u svim dinamičkim okruženjima. NSL-KDD je najnoviji skup podataka za otkrivanje upada koji se koristi u raznim metodološkim naučnim analizama i naučnim istraživanjima. Ovaj skup podataka sastoji se od 41 karakteristike, ali nisu sve karakteristike od jednake važnosti. Kada se kompletan skup karakteristika koristi za ulazne podatke klasifikacije, klasifikatoru (determinatoru) će trebati više vremena za otkrivanje napada, a može i utjecati na tačnost klasifikatora. Zbog toga prije izvođenja bilo koje klasifikacije, mora se smanjiti ovaj skup primjenom neke od metoda odabiranja značajnih karakteristika. Odabiranje karakteristika se vrši radi uklanjanja nebitnih i suvišnih karakteristika kako bi se poboljšao konceptualni model. U literaturi postoje razne metode odabiranja karakteristika poput dobijanja korisnih informacija [10], PCA (Principle Component Analysis) i GA (Genetic Algoritam). Za klasifikaciju mrežnih podataka dostupni su naprimjer klasifikatori poput KNN (k-najbliži susjed), SVM, ANN (Vještačka neuronska mreža) i stablo odluke. C4.5 gradi stablo odluke pomoću pojma entropije informacija iz skupa treninga podataka. Na svakom čvoru stabla odlučivanja algoritam odabira atribut koji najefikasnije dijeli skup datih podataka u manje podskupove povezane s bilo

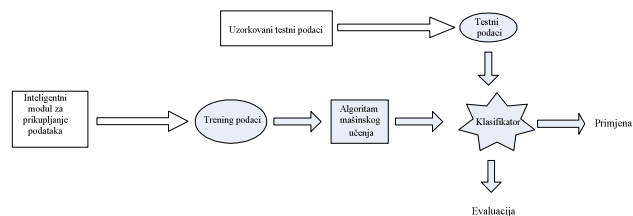
kojom klasom u zadatom trening skupu. U ovom metodološkom pristupu faktor podjele je omjer dobitka informacije. Atribut s najvećim omjerom dobitka informacije je odabran za donošenje suda detekcije [11].

II. IMPLEMENTACIJA MODELA VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE KORISTEĆI METODU MAŠINSKOG UČENJA ZA DETEKCIJU MREŽNIH NAPADA

Da bi se preduprijedili i otkrili mrežni napadi odnosno upadi u računarske i mrežne sisteme potrebno je razviti model koji će biti dovoljno efikasan u realnom vremenu. Konceptualni model za detekciju sadrži osnovne metode odnosno načine mrežnih napada i na osnovu toga se kreira trening model koji je adaptibilan i efikasan u detekciji mrežnih napada. Model razvijen u ovom radu je razvijan na osnovu primjera koji su dostupni na internetu i na osnovu takvih primjera kreiran je konkretan model koji je efikasan u detekciji mrežnih napada nad podacima u mrežnoj infrastrukturi.

Prije upotrebe odnosno odabira instanci (primjeraka) koje će biti testirane potrebno je odrediti attribute koji su od značaja za testiranje i analizu mrežnih napada. Shodno dostupnim podacima (instancama) na internetu KDDCUP99 a kojih ima ukupno 41 atributa neophodno je smanjiti navedeni broj atributa (svojstava) koji nisu relevantni i koristiti samo one koje su od ključnog i praktičnog značaja. Kao što je predstavljeno u svim naučno istraživačkim radovima poznat je pojam (curse of dimensionality) [12] u metodama i tehnikama rudarenje podataka (data miningu) i isto je izbjegnuto u ovom naučnom radu u konkretnom odabiru atributa sekvenci mrežnih ethernet paketa u programskom paketu Weka selekcijom koja je od značaja za ekstrakciju znanja odnosno dobitka informacija za detekciju mrežnih napada.

Za konkretnu klasifikaciju instanci (uzoraka) i predikciju istih upotrijebljen je (Random Forest, Random Free i drugi algoritmi klasifikacije) koji daju zavidnu tačnost predikcije mrežnih napada. Rezultati predikcije prikazani su grafički u dijelu eksperimentalnih rezultata istraživanja. Na slici 1. predstavljen je koncept inteligentnog modela sistema za detekciju mrežnih napada u mrežnoj infrastrukturi koju nadgleda i upravlja inteligentni sistem.



Slika 1. Koncept modela inteligentnog sistema detekcije mrežnih napada.

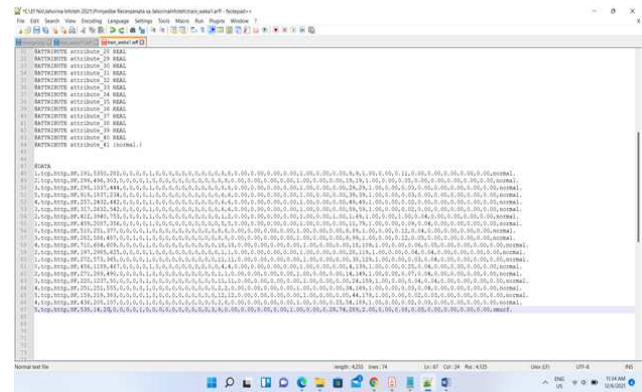
Svrha metode inteligentnog sistema za detekciju mrežnih napada je izgradnja stabla odluka za validaciju dolaznog prometa mrežnog paketa, zavisno o raspoloživom skupu podataka koji ga može osposobiti za tačno grupisanje novih slučajeva koje inteligentni sistem ne raspoznaje.

Očekivana analiza primjera skupa podataka predstavljena je kao normalna i kao "abnormalna", odnosno postoje četiri slučaja klasifikacije. Kao što je prikazano u tabeli I, odnosno pozitivno tačno, pozitivno netačno, negativno tačno i negativno netačno. Prvo podrazumijeva da je klasifikacija ispravna, dok "False positive" podrazumijeva da klasifikacija nije ispravna. Pozitivno podrazumijeva da klasifikator odvaja odnosno klasifikuje uobičajene primjere i negativno podrazumijeva da klasifikator klasifikuje neobičajene primjere. Skup podataka u KDDCUP99 sastoji se od propisanih četrdeset i jedne karakteristike i oznake klasa. U njima su opisane četiri vrste napada, naime U2R (neovlašteni pristup lokalnom super korisniku), R2L (neovlašteni pristup s udaljene mašine), DOS (uskraćivanje usluge) i ispitivanje (nadzor i ostalo ispitivanje) imaju detaljnija razdvajanja.

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

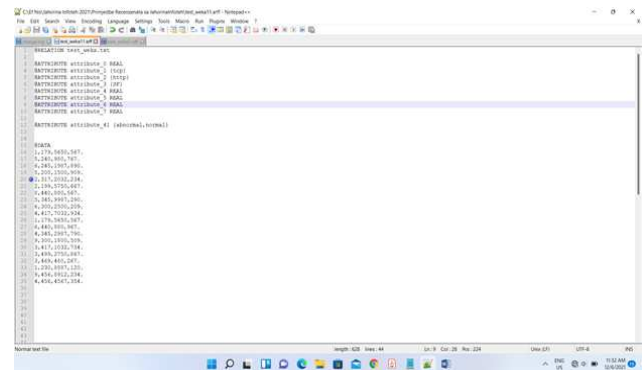
Za eksperimentalnu analizu u ovom naučnom radu upotrijebljena je Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) programski paket nad podacima iz KDDCUP99 baze podataka (koji su dostupni na internetu). Uz prikaz grafičkih dijagrama upotrijebljen je okvir za mašinsko učenje otvorenog koda -Weka [13] (verzija Weka 3.9.4). To je zbirka algoritama mašinskog učenja za rudarenje podataka i ista sadrži alate za preprocesiranje (obradu podataka), klasifikaciju, regresiju, klasterovanje, pravila pridruživanja i vizualizaciju uzorkovanih podataka. Eksperimentalna analiza provodi se procjenom ovakvog sistema za otkrivanje napada nad glavnim skupom podataka KDDCUP99. Dobitak informacija postiže se pomoću uređaja za "hvatanje mrežnih paketa" kao što su Libdump, TCPdump i Wireshark, a nakon toga se stvara zapis pridruživanja kao osnova informacija za navedeni sistem. U ovom istraživačkom radu testirani skup podataka koristi se skup podataka KDDCUP99. Za eksperimentalnu analizu uzet je kddcup.data_10_percent.gz kao osnovni trening skup podataka koji je dostupan na internet (world wide web). Takodje za testni skup podataka uzet je kddcup.testdata.unlabeled_10_percent.gz koji je dostupan na internetu. Radi jednostavnijeg prikaza obradjenih rezultata uzeti su za obradu podataka reprezentativnih 10000 uzoraka i od trening skupa i od testnog skupa koji su dostupni na internetu. Takodje, za potrebe eksperimenta napravljen je omjer testni skup naprema trening skup podataka 1:1. Glavne karakteristike uzoraka u ovoj analizi detekcije mrežnih napada su (duration, src_bytes, dst_bytes, dst_host_srv_count). To su osnovne karakteristike koje su od značaja za izračunavanje detekcije napada. Ostale karakteristike kao što su (land, wrong, urgent.itd) nisu od značaja i ne utiču značajno na grešku detekcije mrežnih napada. U eksperimentalnoj analizi uzorkovanih podataka mrežnog prometa upotrijebljen je algoritam Random Forest. Pomoću ovog algoritma rudarenja podataka dobijaju se rezultati koji su prikazani u tabeli I.

Na slici 2 je prikazan uzorkovani trening skup podataka koji su od značaja za ekstrakciju znanja pomoću Weka softvera i isti su prikazani Notepad++ okruženju.



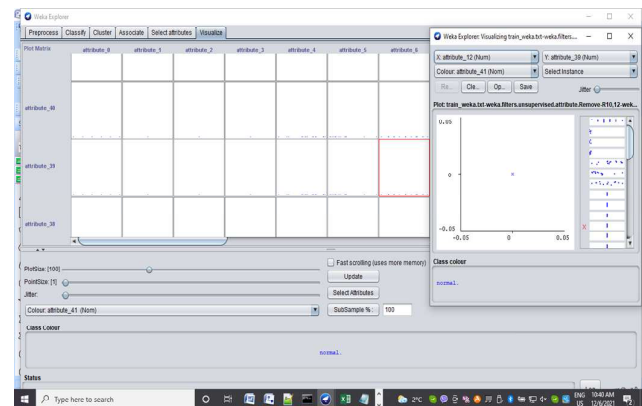
Slika 2. Uzorkovani trening skup podataka.

Na slici 3. je prikazan testni uzorak za analizu i detekciju znanja u softveru Weka.



Slika 3. Uzorkovani testni skup podataka.

Na slici 4. je prikazan vizuelni pregled detekcije znanja eksperimentalnih podataka u softveru Weka.



Slika 4. Vizualizacija eksperimentalnih podataka

Shodno izvedenom eksperimentu dobijaju se dosta dobri rezultati detekcije reprezentativnih slučajeva koji se odnose na prepoznavanje mrežnih napada.

U tabeli I su prikazani rezultati detekcije za izabranih 10000 testnih primjeraka podataka koji su uzorkovani i primijenjeni za analizu modela treninga skupa podataka kroz matricu "zabune" odnosno prikazana je efektivnost predstavljene metode mašinskog učenja u pronalasku "pravih" mrežnih napada.

Koristeći podatke koji su dostupni u detekciji mrežnih napada i shodno eksperimentalnoj analizi upotrebom Random Forest stabla odluke dobija se slijedeća tabela "matrica konfuzije".

TABELA I. MATRICA KONFUZIJE

10000 Uzora ka	Matrica konfuzije	
	Predikcija DA	Predikcija NE
Stvarno DA	TP=5585	FN=415
Stvarno NE	FP=1115	TN=2885

IV. ZAKLJUČAK

Primjenom modela detekcije mrežnih napada nad konkretnim podacima koji su dostupni na KDDCUP99 uz koncept mašinskog učenja upotrebom algoritma klasifikacije Random Forest pomoću programskog paketa Weka dobija se dobar nivo detekcije (otkrivanja) mrežnih napada koji pomaže mrežnim administratorima kao čuvarima mrežne sigurnosti implementirane ethernet informacione mreže.

U daljnjem istraživanju ovog problema (napada) potrebno je sagledati sve relevantne parametre koji se mogu dobiti očitavanjem atributa koji su od interesa za analizu i klasifikaciju u mrežnom prometu podataka koji odstupaju od uobičajenog u mrežnom saobraćaju.

Dalje, u budućim istraživanjima potrebno je primijeniti i druge metode i tehnike vještačke inteligencije koje će adekvatno moći odgovoriti na nove i sve učestalije napade koje anonimni i svi drugi inkriminirani izvršioци nedozvoljeno žele pristupiti i tako zloupotrijebiti podatke od interesa u bazama podataka.

LITERATURA

- [1] J. Markey, Using Decision Tree Analysis for Intrusion Detection: A How-To Guide, SANS Institute InfoSec Reading Room, June, 2011. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] A. Alazab, M. Hobbs, J. Abawajy, and M. Alazab, Using Feature Selection for Intrusion Detection System, International Symposium on Communications and Information Technologies, 2012.
- [3] A.S.A. Aziz, A.E. Hassanien, S. El-Ola Hanafy, M.F. Tolba, Multi-layer hybrid machine learning techniques for anomalies detection and

classification approach, 13th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS), 2013, IEEE. M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

- [4] P. Aggarwal, and S.K. Sharma, An Empirical Comparison of Classifiers to Analyze Intrusion Detection, *Proc. of Fifth International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies*, 2015.
- [5] Ho, and Tin Kam, Random Decision Forests *Proc. of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*, Montreal, QC, 14–16 August 1995. pp. 278–282.
- [6] <http://www.saedsayad.com/oner.htm>
- [7] C. Cortes, and V. Vapnik, (1995). Support-vector Networks *Machine Learning* 20 (3): 273.
- [8] P.N. Tan, M. Steinbach, V. Kumar, Introduction to Data Mining, *Pearson Addison Wesley*, 2005.
- [9] J. Markey, Using Decision Tree Analysis, for Intrusion Detection: A How-To Guide, *SANS Institute InfoSec Reading Room*, June, 2011.
- [10] T. M. Mitchell, (1997). Machine Learning. *The Mc- Graw-Hill Companies*, Inc. ISBN 0070428077.
- [11] J.R. Quinlan, C4.5, Programs for Machine Learning, *Morgan Kaufmann Publishers*, 1993.
- [12] T. Poggio, H. Mhaskar, L. Rosasco, B. Miranda, Q. Liao, Why and When Can Deep-but Not Shallow-networks Avoid the Curse of Dimensionality: A Review. *International Journal of Automation and Computing* 14(5), October 2017, 503-519 DOI: 10.1007/s11633-017-1054-2.
- [13] S. Singhal, M. Jena, A Study on WEKA Tool for Data Preprocessing, Classification and Clustering. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* ISSN: 2278-3075, Volume-2, Issue-6, May 2013.
- [14] A. Cutler, D. R. Cutler, J. R. Stevens. Random Forests. *Research Gate*. Chapter in *Machine Learning*. DOI: 10.1007/978-1-4419-9326-7_5 . Source: DBLP .January 2011.

ABSTRACT

Network attacks are the main threats to the data of institutions or companies as well as the network infrastructure implemented in them. Network attack detection and detection systems are needed at different levels of companies' network infrastructures. The main goal of this scientific research work is to improve and prevent network attacks or intrusions into the network systems of individual institutions or companies that have data of interest for the attack. Adequate methodological approach or application of machine learning such as classification, clustering and other methods can reduce the risk of external attacks by attackers to a significant extent and improve the defense mechanism of data protection of interest. By properly building an intelligent decision tree in the classification of network attacks, a model is obtained that responds in the right way in real time to an external attack from known and unknown attackers. The paper describes an experiment performed on KDDCUP99 datasets based on significant characteristics. The aim of the research work is to improve the performance of attack detection systems by applying machine learning techniques based on the decision tree for detection and classification of attacks.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN NETWORK INTRUSION DETECTION

Mr Dalibor Bogdanović, Dr Elmira Babović

VEŠTAČKA INTELIGENCIJA IZAZOVI I MOGUĆNOSTI

ARTIFICIAL INTELLIGENCE CHALLENGES AND POSSIBILITIES

Ivana Luknar¹, Filip Jovanović²
Institut za političke studije¹
Fakultet za projektni i inovacioni menadžment²

Sadržaj – Otkriće veštačke inteligencije je bombastično, kao i otkriće interneta i električne energije. Veštačka inteligencija je iznenađujuće brzo postala od štreberskih diskusija na univerzitetu realnost širom sveta. Zatekla je čovečanstvo nespremno i neujedinjeno o ovom pitanju. Perspektive se razlikuju; jedni je vide kao neizbežan deo progresa, dok se drugi boje. Kontinuirani napredak i mogućnosti primene istakle su pitanje veštačke inteligencije u prvi plan. Rad pruža objašnjenje pojma veštačke inteligencije. U radu je primenjena metoda analiza sadržaja da objasni osnovni koncept. Cilj rada je da pruži teorijski okvir o veštačkoj inteligenciji i da podstakne debatu na ovu temu.

Abstract - Discovery of Artificial Intelligence (AI) is bombastic, like the discovery of the internet and electricity. AI has emerged surprisingly fast from nerdy discussions in university into reality worldwide. It finds society unprepared and disunited about this issue. Perspectives differ; ones see it as inevitable part of progress, while others afraid. Continuous progress and artificial intelligence possibilities pointed out question of AI. Paper offers explanation of the concept of artificial intelligence. Content analysis method was applied to explain the basic concept of the paper. Purpose of the paper is to offer theoretical frame about AI and stimulate debate on this topic.

1. UVOD

Algoritmi veštačke inteligencije su moćno sredstvo za rešavanje najkompleksnijih zadataka. U poslednjih nekoliko godina primena veštačke inteligencije povećava se enormnom brzinom. Gotovo svakodnevno koristimo proizvode i usluge čiji rad je sistemski zasnovan na veštačkoj inteligenciji.

Veštačka inteligencija se razlikuje od ostalih tehnologija po tome što ima potencijal da utiče i menja osnovne postavke društva, dosadašnja pravila i zakone. Dok jedni mislioci ukazuju na prednosti veštačke inteligencije, drugi u prvi plan ističu pretnje po savremeno društvo koje proizilaze iz njene primene, kao i eventualne zloupotrebe ove tehnologije. Brza implementacija algoritama veštačke inteligencije pospešuje potrebu za njenim regulisanjem i doprinosi povećanju tenzija.

Razvoj veštačke inteligencije nije usledio naglo i iznenada. Bilo je potrebno vreme da se stvore uslovi za njenu primenu i izlazak iz laboratorije. Ovoj tehnologiji je prethodio višedecenijski rast računarskih performansi, postojanje mega baza podataka i njihova dostupnost za

obuku sistema koji služe za mašinsko učenje, kao i porast investicija u ovoj oblasti.

Tehnologija se razvija takvom brzinom koja gotovo da izmiče oku posmatrača. Pažnju ljudi okupiraju svakodnevne životne aktivnosti. Ljudi širom sveta gotovo da nisu svesni brzine kojom je tehnologija postala neizostavi deo poslovnog i privatnog života. Živimo u svetu u kojem kompjuterski algoritmi na osnovu baza podataka sa kojima raspoložu umnogome utiču na naše procene i odluke u životu: ne samo kroz rezultate istraživanja i personalizovane onlajn sisteme informisanja, nego i pomoću edukativnih sadržaja, evaluacija i procena tržišta i političkih kampanja, pa sve do dizajniranja javnog mnjenja i načina na koji javni servisi funkcionišu. Razumevanje načina na koji ovi algoritmi rade nije jednostavno, što ostavlja prostora za brojne nejasnoće po pitanju njihovog uticaja i moći na članove društva.

Naučnici širom sveta svakodnevno rade na proširenju primenljivosti algoritama veštačke inteligencije. Zemlje širom sveta se utrkuju u primeni najsavremenijih tehnoloških inovacija. Ipak, savremeno društvo nije još uvek pravno regulisalo primenu algoritama veštačke inteligencije. Na internetu su dostupni video sadržaji koji prikazuju robote, dronove i ostale uređaje koji funkcionišu pomoću AI algoritama. Svet kasni nekoliko koraka po pitanju regulisanja AI. Tehnologija veštačke inteligencije zahteva urgentno reagovanje kako bi se sprečile eventualne zloupotrebe i garantovala bezbedna primena AI koja služi opštem dobru čovečanstva, a ne preti njegovom opstanku.

Svrha ovog članka je dvostruka. S jedne strane članak doprinosi boljem razumevanju pojma veštačka inteligencija i njene uloge, odgovornosti i perspektive u savremenom društvu. S druge strane, članak ukazuje na urgentnu potrebu za pravnom regulacijom razvoja i primene veštačke inteligencije, i podstiče debatu na pomenutu temu. Cilj rada je da ukaže da je savesna primena veštačke inteligencije nužna, jer jedino tako ova tehnologija ne ugrožava bezbednost društva kakvo poznajemo.

2. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Veštačka inteligencija je tehnologija koja poseduje potencijal da izmeni svet kakav poznajemo. Algoritmi AI su primenljivi u najraznovrsnijim industrijskim granama. Temelje u oblasti veštačke inteligencije pripisujemo Alanu Turingu koji je predložio razmatranje pitanja da li mašina može da misli. Džon Šo (John Shaw), Herbert Sajmon (Herbert Simon) i Alen Njuel (Allen

Newell) razvili su prvi AI program 1955. godine.[1] Izraz veštačka inteligencija skovao je Džejms Mur 1956. godine.[2] Pomenuti izraz koristi se da označi računarski sistem koji da bi izvršio određeni zadatak oponaša ljudsku inteligenciju. Ova savremena tehnologija je do te mere značajna da okupira pažnju svetske javnosti i predstavlja važnu komponentu razvoja savremenih zemalja.

Razlike u razumevanju i definisanju veštačke inteligencije proizilaze iz razlika u oblastima u kojima se ova tehnologija primenjuje. U zavisnosti od primene, veštačku inteligenciju delimo na opštu (generalnu) i usku (specijalizovanu) veštačku inteligenciju za određene oblasti.[3] Na primer, veštačka inteligencija može da bude specijalizovana za rad inteligentnih automatizovanih sistema u industriji [4], medicini [5], za rad automatizovanih automobila [6], kosmičkih sistema, bankarstva [7], edukacije [8] i dr.

Najgrublje rečeno veštačku inteligenciju možemo podeliti na: 1) sisteme koji svoj rad zasnivaju na unapred zadatim pravilima i 2) sisteme koji oponašaju učenje, odnosno koriste velike količine podataka kako bi otkrili pravilnosti koje mogu da upotrebe za rešavanje određenih zadataka. U ovu kategoriju najčešće ubrajamo oblast mašinskog učenja, koje se odvija po uzoru na proces učenja kod ljudi.

Algoritmi veštačke inteligencije unapređuju performanse i doprinose boljoj produktivnosti, racionalnijem i efikasnijem poslovanju. Pametne mašine rešavaju zadatke primenom različitih metoda: učenje pomoću neuralnih mreža [9], primena sistema za preporučivanje. [10] Veštačka neuronska mreža (ANN) je najnaprednija tehnologija veštačke inteligencije koja je sačinjena od algoritama koji oponašaju biološki proces učenja kod ljudi pomoću složenih nelinearnih mapiranja. Takve mašine primenjuju metodu regresije i daju precizne rezultate klasifikacije, prepoznaju određene obrasce i koriste se za predikcije.

Ne možemo zanemariti činjenicu da je veštačka inteligencija tehnologija koja ima značajan socijalni efekat. Autori ukazuju na tri procesa razvoja između čoveka i mašine:

1. tehnologija postaje sve samostalnija i tako preuzima funkcije i zadatke od ljudi;
2. tzv. poboljšanje ljudskih neurološko-kognitivnih komponenti kroz ugradnju AI algoritama;
3. spajanje ljudskog mozga i A.I. sistema [11, p.7]

Gerd Leonhart (Gerd Leonhard) napominje da će megapromene dovesti do raskola između čoveka i mašine. Pomenuti raskol će vremenom da bude intenziviran i eksponencijalizovan kao posledica sledećih megapromena:

1. "digitalizacija;
2. mobilizacija i medijacija;
3. ekranizacija i interfejs;
4. bez-međuposredovanja (disintermediation);
5. transformacija;
6. proširenje intelektualnih moći na mašine (intelligization);

7. automatizacija;
8. virtuelizacija;
9. anticipacija;
10. robotizacija" [12]

Leonhart uvodi pojam megapromene da označi promene koje se razlikuju od onih kakve poznajemo u prošlosti. Nekada su bile potrebne decenije, nekada vekovi da se naprave evolucionari koraci koji su znatno promenili čovečanstvo. Međutim, megapromene koje nastaju kao posledica razvoja tehnologije se oslanjaju jedna na drugu i preklapaju, odlikuje ih kompleksnost i tempo razvoja koji se odvija na relativno sekvencijalni način.

Prva megapromena je digitalizacija koja se odvija u nekoliko talasa. Najpre je usledila digitalizacija medijskih sadržaja (muzike, filmova, knjiga, novina), zatim bankarstva, osiguranja, zdravstvene zaštite, transporta. U toku je treći talas digitalizacije logistike, privrede, industrije hrane, energije i dr. Pomenuta digitalizacija se ne odvija istom brzinom u svim delovima sveta, ali neizbežno vodi ka tome. Zahvaljujući digitalizaciji određeni proizvodi i usluge su postali dostupniji i jeftiniji, dok s druge strane to podrazumeva manjak poslova i niže plate.

Druga megapromena se odnosi na mobilne telefone koji su u znatnoj meri zamenili kompjutere, do te mere da sve što je moguće da se mobilizuje će pre ili kasnije da bude dostupno putem mobilnog telefona. Međutim, aplikacije na mobilnom telefonu pohranjuju mnoštvo informacija o zdravstvenom stanju, kretanju, fotografijama, video sadržajima svojih korisnika i informacije o mnogim drugim podacima. Nameće se pitanje: da li je zaista neophodno da svaka mobilna aplikacija zarad pružanja usluge svojim korisnicima treba da ima pristup mikrofону, kameri i ostalim podacima na mobilnom uređaju?

Sledeća megapromena podrazumeva ekranizaciju, odnosno prebacivanje svih sadržaja koji su nekada bili dostupni u papirnoj formi (magazini, mape, knjige, i dr.) na ekran. Međutim, ova megapromena ide korak dalje, otuda danas imamo mogućnosti vizuelnih video poziva i AR/VR holograma.

Jedan od aktuelnih trendova je nastanak raznovrsnih platformi (na primer YouTube, Airbnb, eBook, Amazon, Uber i dr.) koje ometaju i onemogućavaju procenat zarade ranijim članovima kartela. Tehnologija stvara novu infrastrukturu. Na primer, Airbnb nam omogućava da privatno rezervišemo smeštaj direktno preko vlasnika apartmana.

Sledeća promena intenzivnije je usledila 2015. godine kada je većina kompanija i organizacija prigrlila tzv. digitalnu transformaciju kao neminovnost u svom razvoju i poslovanju. Savremeno tržište kapitala podrazumeva kompjutersku povezanost svih svojih aktera.

Sledeća megapromena je prelomna tačka između mašine i čoveka, jer podrazumeva da mašine dobijaju sposobnost učenja, odnosno postaju inteligentne. To je prvi korak gde se granica između ljudi i mašina zamagljuje.

Automatizacija predstavlja korak dalje i omogućava da mašina zameni određene ljudske aktivnosti; obzirom da mašine imaju potencijal da efikasnije, preciznije i brže obavljaju određene poslove umesto ljudi. Na primer, automatizovana robotska ruka može da asistira doktoru tokom operacije i slično.

Sledeća megapromena je virtuelizacija, koja se odnosi na mogućnost kreiranja nefizičke, digitalne verzije nečega. Za to je potrebna IT infrastruktura u *Cloud*-u, tzv. oblaku kojem se pristupa preko terminala ili aplikacije na desktopu ili smartfonu. Ova usluga omogućava smanjenje troškova i bržu uslugu. Na primer, Amazon je virtuelna knjižara koja šalje fajlove u digitalnom obliku svojim korisnicima, što omogućava značajnu uštedu troškova za magacinski prostor. Virtuelizacija će se uskoro proširiti na skoro sve sektore. Neke farmaceutske kompanije već obavljaju svoje usluge pomoću *cloud* platformi i onlajn prodaju medikamente.

Robotizacija je takođe jedna od megapromena koja će znatno da izmeni svet kakav poznajemo. Uporedo sa razvojem nauke možemo da očekujemo pad cena robota, dok će istovremeno njihove performanse vremenom da postaju sve naprednije:

- razumevanje prirodnog jezika
- prepoznavanje slika
- napajanje baterije
- novi materijali koji će omogućiti bolje veštine kretanja i dr.).

Tehnologija postepeno postaje neizostavan deo našeg života. Neke države su već usvojile strateška dokumenta za razvoj veštačke inteligencije. Prema indeksu spremnosti vlade za veštačku inteligenciju (*Government AI Readiness Index*) USA, Singapur i Velika Britanija su daleko ispred drugih zemalja. [13]

Sve veće oslanjanje na algoritme veštačke inteligencije otvara pitanje njene regulacije, kako na nacionalnom, tako i na međunarodnom nivou. Vladini regulatori međunarodni i državni igraju ključnu ulogu u regulisanju bezbednosti veštačke inteligencije. Generalno, u svetu je potrebno više zakonodavnog rada kako bi se osiguralo da građani budu zaštićeni od bilo koje moguće štete od tehnoloških inovacija koje se dešavaju kako u javnom, tako i u privatnom sektoru.

Obzirom na šarolikost primene veštačke inteligencije predlog je dati generalne smernice za njeno istraživanje, razvoj, primenu i pravno procesuiranje (kažnjavanje) usled nepoštovanja tih pravila. Najpre je potrebno na međunarodnom nivou formirati pomenute smernice koje se mogu u određenoj meri implementirati u zakonodavstvo svake zemlje ponaosob. Takođe, potrebno je formirati međunarodnu AI zajednicu koja poštuje pomenuta pravila i uređenost, pa samim time podrazumeva i određene tržišne privilegije i sankcije usled nepoštovanja tih pravila.

Socio-ekonomske razlike među zemljama predstavljaju rizik da će pomenuta pravila usvojiti samo nekolicina najrazvijenijih i najbogatijih zemalja, te se može stvoriti

vakum i otvoriti prostor za različite zloupotrebe. Otuda treba razmišljati o načinima da se prevaziđe ovaj izazov, obzirom da negativne posledice AI prete čitavom čovečanstvu. Kada je u pitanju specijalizovana AI potrebno je pravnu regulativu proširiti u skladu sa zahtevima koji proizilaze iz njene specijalizacije.

3. INICIJATIVE

U Asilomaru je 1975. godine održana konferencija na kojoj je pokrenuta jedna od najranijih inicijativa koja je apelovala na društvenu odgovornost nauke i regulisanje naučnih istraživanja pomoću određenih pravila, procedura i kontrola. Pomenuti pravilnici se odnose na gradnju, opremanje i korištenje naučnih laboratorija.

Asilomar principi postavili su temelje naučne diplomatije. Iako su se ovi principi prevashodno odnosili na eksperimente s genetičkim materijalom, Asilomar principi mogu da posluže kao podsetnik savremenoj civilizaciji da savesno rukuje veštačkom inteligencijom. Međutim, pomenuti principi su:

- opšti i zasnovani na tehničko optimističkoj koncepciji budućnosti
- bave se brojnim etičkim pitanjima i opisuju moralno izvedene najbolje prakse vezane za AI, ali pružaju širok obim za tumačenje
- koriste brojne nedefinisane pravne termine koje je potrebno razviti i precizno definisati da bi mogli da služe kao instrukcije za upravljanje AI
- otvara se pitanje ko ima pravo da definiše pomenute instrukcije.

Dakle, Asilomar principi su nepotpuni i nedovoljni za regulaciju veštačke inteligencije. Brojne aplikacije zarad pružanja usluga ugrožavaju osnovna ljudska prava korisnika tako što zahtevaju pristup lokaciji, mikrofону i kameri svojih korisnika. Na taj način tehnologija predstavlja pretnju po vladavinu prava i ljudska prava. Mislioci ukazuju na nekoliko ključnih pitanja koja je potrebno rešiti:

- Ko određuje šta je "dobro" kada tehnologija praktično sveobuhvatno utiče na sve, a ne samo na one koji su korisnici određenog proizvoda zasnovanog na AI performansama?
- Da li imamo konsenzus oko opasnosti/rizika koje smo spremni da prihvatimo da bismo imali koristi od AI?
- Kako je moguće postići pomenuti konsenzus na globalnom nivou?
- Da li će ovaj jednom uspostavljen konsenzus nastaviti da postoji i u budućnosti kada stvari koje rezultiraju od konsenzusa više ne mogu da se ponište?
- U slučaju uspostavljanja određenog skupa pravila za kontrolu veštačke inteligencije, ko može da garantuje da veštačka inteligencija sama neće poništiti ovaj skup pravila i uspostaviti sopstvene standarde (uključujući i etičke), i da će to učiniti takvom brzinom koja bi efikasnu ljudsku kontra reakciju učinila nemogućom?

- U kojoj meri na istraživanje i razvoj AI mogu da utiču spoljni ciljevi (npr. nacionalna bezbednost, preduzetnička dobit i dr.)?
- Da li je u realnosti izvodljivo da upotreba AI bude regulisana isključivo dobrovoljnim sporazumima između istraživača bez formalnog regulisanja na institucionalnom i političkom nivou [11, p.8-9]

Globalna zajednica tehnologiju veštačke inteligencije vidi istovremeno kao potencijalni faktor razvoja i izvor brojnih mogućnosti, ali i kao remetilacki faktor. Otuda se na globalnom nivou vodi dijalog o njenom budućem razvoju, smernicima i etičkim principima na kojima veštačka inteligencija treba da bude zasnovana. Pokrenuta je i globalna inicijativa "AI for Good" koju su podržale brojne multinacionalne kompanije: Google, SAP, IBM, Microsoft, Deutsche Telekom, Telefonica i dr. [3, p.109]

Međutim, sve što je do sada urađeno po pitanju politike prema veštačkoj inteligenciji je nedovoljno. Mislioci širom sveta se još uvek nisu usaglasili oko toga da li politike prema AI treba uvrstiti u sajber bezbednosne politike, ili je potrebno AI zasebno odvojiti i razmatrati. Bela kuća pominje veštačku inteligenciju u nacionalnoj strategiji za sajber bezbednost za 2023. godinu kao rastući trend koji može da "deluje na načine neočekivane čak i za njene sopstvene kreatore" [14, p. 2], što povećava složenost i rizike za sve tehnološke sisteme sa kojima je AI povezana. U pomenutoj strategiji kao jedan od ciljeva pominje se potreba za ulaganjima, osveživanjem i razvojem sajberbezbednosti tako da se ona proširi i bude elastična za polje veštačke inteligencije, operativne tehnologije, industrijske kontrolne sisteme, *cloud* infrastrukture, telekomunikacije, enkripcije, transparentnost sistema i analitiku podataka koji se koriste u kritičnoj infrastrukturi. [14, p.24]

Kina je u decembru 2021. objavila "Pozicioni dokument Narodne Republike Kine o regulisanju vojnih primena veštačke inteligencije (AI)" (*Position Paper of the Peoples' Republic of China on Regulating Military Applications of Artificial Intelligence*) pozivajući strane da poštuju nacionalne ili regionalne etičke norme za veštačku inteligenciju. Pomenuti dokument obuhvata četiri aspekta AI:

- 1) regulaciju AI;
- 2) njeno istraživanje i razvoj,
- 3) upotrebu AI,
- 4) međunarodnu saradnju [15]

Vlada Srbije je takođe prepoznala značaj veštačke inteligencije. Otuda je 26. decembra 2019. godine usvojila Strategiju razvoja veštačke inteligencije za period 2020-2025. godine. [16] U Strategiji je navedeno da je Srbija prva zemlja u regionu Jugoistočne Evrope koja je objavila ovakvu strategiju. Ključni preduslovi koji uslovljavaju razvoj i primenu ove tehnologije su: "postojanje adekvatne infrastrukture i dostupnost podataka kao resursa, ali i postojanje adekvatnog pravnog okvira koji će omogućiti istraživanje, razvoj i korišćenje društveno korisnih rešenja zasnovanih na veštačkoj inteligenciji." [16] Pored ovih

preduslova za razvoj veštačke inteligencije u Strategiji su takođe navedeni: "sprečavanje zloupotrebe ove tehnologije i obezbeđivanje etičnosti i zaštićenost pojedinca." [16] Vlada RS je takođe osnovala odgovorne institucije za praćenje i realizaciju Strategije: Savet za veštačku inteligenciju i Institut za veštačku inteligenciju koji je osnovan krajem oktobra 2019. godine pri Naučno-tehnološkom parku Beograd.

Međutim, pravna regulativa društvenih odnosa koji proizilaze iz primene najsavremenijih tehnologija još uvek nije dovoljno uređena. Republika Srbija nema propise koji regulišu veštačku inteligenciju kao neki *lex specialis*. Deo koji se odnosi na AI se nalazi u okviru zakona o autorskim i srodnim pravima o softveru i bazi podataka kao autorko delo. Veoma je značajna spremnost svake države ponaosob da se reorganizuje i restrukturiše u skladu sa svetskim trendovima razvoja. Prema indeksu spremnosti vlade za veštačku inteligenciju za 2022. godinu Srbija ima skor od 52,96 i nalazi se na 59. mestu među 181 analizirane zemlje u svetu [13].

Ostvarenje punog potencijala razvoja i primene veštačke inteligencije povlači za sobom i određene rizike:

- vlasništvo nad AI, odnosno pitanje vlasništva nad programima koji se u svom radu oslanjaju na veštačku inteligenciju. AI treba da bude u ljudskom vlasništvu.
- zaštita baza podataka kojima operiše AI
- zaštita podataka o ličnosti
- prilagođavanje obrazovnog sistema i kvalifikacija
- etički izazovi koji se najpre odnose na prevenciju diskriminacije po bilo kom osnovu
- pravno uređivanje primene i razvoja nove tehnologije
- pitanje transparentnosti pravila po kojima AI sistem donosi odluke
- uticaj AI na tržište rada
- kontinuirano praćenje potreba na tržištu rada.

4. PREPORUKE

Bavljenje veštačkom inteligencijom iziskuje strateško planiranje koje obuhvata njen razvoj i upotrebu, koji treba da budu podržani odgovarajućom pravnom regulativom. Potrebno je postojeću pravnu regulativu prilagoditi i upotpuniti tako da reguliše pitanje vlasništva nad AI, i da reguliše zaštitu baza podataka sa kojima AI operiše.

Upotreba AI treba da bude zasnovana na etičkim principima, koji takođe treba da budu zaštićeni pravima. Istovremeno, država treba da radi na razvoju internih digitalnih kapaciteta, da razvija veštine i prakse koje pružaju laku prilagodljivost novim najsavremenijim tehnologijama.

Preporučuje se ulaganje u tehnološki sektor zemlje, razvijanje njenih kapaciteta za tehnološke inovacije, razvijanje poslovnog okruženja, ljudskog kapitala koji se bavi AI, kao i razvijanje i regulisanje dostupnosti infrastrukture podataka koji su neophodni za napajanje AI alata.

Preporuka je da razvoj veštačke inteligencije prati potrebe na tržištu rada kako bi ova tehnologija korisno doprinosila društvu, a da pri tom ne remeti tržište rada, stvara nezaposlenost i potiskuje ljude sa radnih mesta.

Veštačka inteligencija poseduje brojne potencijale i zahteva planski regulisanu i postepenu primenu koja će da prati njenu regulativu. Na taj način benefiti ove tehnologije mogu da prednjače nad rizicima. Pred čovečanstvom je veliki zadatak od kojeg zavisi kako ćemo i kojom brzinom urediti i usmeriti dalji razvoj veštačke inteligencije i njenu primenu. Imajući u vidu da se algoritmi veštačke inteligencije već primenjuju u određenim proizvodima, može se reći da kasnimo u odgovorima i da je potrebno urgentno reagovanje.

LITERATURA

[1] Ventre, D., Artificial Intelligence, Cybersecurity and Cyber Defense, Wiley: ISTE Ltd., 2020.

[2] Moor, J., "The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years", AI Magazine Vol. 27, No. 4, pp 87-91, 2006.

[3] Renda, A., Artificial Intelligence Ethics, governance and policy challenges Report of a CEPS Task Force, Brussels: Centre for European Policy Studies, 2019.

[4] Soltani-Fesaghandis, G. and A. Pooya, "Design of an artificial intelligence system for predicting success of new product development and selecting proper market-product strategy in the food industry", International Food and Agribusiness Management Review Vol. 21, No. 7, pp 847–864, 2018.

[5] Chen, X., Gong, L., Wei, L., Yeh, S. C., Xu, L., Zheng, L., & Z. Zou, "A wearable hand rehabilitation system with soft gloves", IEEE Transactions on Industrial Informatics Vol. 17, No. 2, pp 943–952, 2020.

[6] JafariNaimi, N. "Our Bodies in the Trolley's Path, or Why Self-driving Cars Must *Not* Be Programmed to Kill Science", Technology & Human Values 2018, Vol. 43, No. 2, pp 302-323, 2018.

[7] Crossland, T. "Artificial Intelligence: The Next Leap Forward in the Payments Revolution", in *The AI Book: The Artificial Intelligence Handbook for Investors, Entrepreneurs and FinTech Visionaries*, FINTECH Circle Ltd., 2020, pp 102-104.

[8] Qu, J., Zhao, Y., Y. Xie, "Artificial intelligence leads the reform of education models", System Research Behavioral Science 39, pp 581–588, 2022.

[9] Jürgen Schmidhuber. "Deep learning in neural networks: An overview", Neural networks, Vol. 61, pp 85–117, 2015.

5. ZAKLJUČAK

Uticaj računara na ljude postaje sve veći i značajniji. Računarske tehnologije postaju važni elementi u kreiranju i predviđanju naših potreba. Veštačka inteligencija kao jedna od najsavremenijih tehnologija intrigira javnost. Primena AI povlači za sobom određene rizike i otvara mnoga pitanja za čije rešavanje je potreban multidisciplinarni pristup. Obzirom da se algoritmi veštačke inteligencije već uveliko primenjuju, potrebno je urgentno reagovanje i regulisanje AI kako na međunarodnom, tako i na nacionalnom nivou. Savesna upotreba AI je moguća jedino ukoliko se osnovne etičke smernice garantuju pravima koje treba da usvoji svaka zemlja ponaosob. Da bi se izbegle eventualne zloupotrebe i razlike u regulativi potrebno je na međunarodnom nivou dogovoriti osnovne etičke postavke.

[10] Thai-Nghe, N., Drumond L., Krohn-Grimberghe A., L. Schmidt-Thieme, "Recommender system for predicting student performance", Procedia Computer Science, Vol.1, No.2, pp 2811-2819, 2010.

[11] Bartosch, U., Bauberger, SJ, S., Tile von Damm, Engels, R., Rehbein, M., Schmiedchen (Leader) F., Stapf-Finé, H., Sülzen, A. Policy Paper on the Asilomar Principles on Artificial Intelligence, Office of the Federation of German Scientists: Federation of German Scientists e.V. (VDW), 2018.

[12] Leonhard, G. Technology vs. Humanity – The coming clash between man and machine, Future Scopes: Fast Future Publishing, 2016.

[13] Rogerson, A., Hankins, QE., Nettel, F. P., Rahim, S., Government AI Readiness Index, Oxford Insights, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2023-01/Government_AI_Readiness_2022_FV.pdf

[14] National cybersecurity strategy, The White House, Washington, March 2023, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/National-Cybersecurity-Strategy-2023.pdf>

[15] Position Paper of the People's Republic of China on Strengthening Ethical Governance of Artificial Intelligence (AI), Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China, 17.11.2022. https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/wjdt_665385/wjzcs/202211/t20221117_10976730.html

[16] Strategija razvoja veštačke inteligencije u Republici Srbiji za period 2020-2025. godine, <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/strategija/2019/96/1/reg>

ODGOVORNA PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U ZDRAVSTVU: Etički principi prakse i nova regulativa

Responsible application of Artificial Intelligence in healthcare: Ethical principles of practice and new regulations

Dragorad Milovanović¹, Rajko Terzić²
AFB Sportska akademija, Beograd¹
Gradski zavod za javno zdravlje, Beograd²

Sadržaj – Ograničeni resursi i sve veći zahtevi, nameću kontinuirani pritisak na zdravstveni sistem. Istovremeno, upotreba digitalnih tehnologija raste i došlo je do ekspanzije podataka u svim zdravstvenim ustanovama. Tehnologije veštačke inteligencije AI (Artificial Intelligence) i mašinskog učenja ML (Machine Learning) se sve više koriste u zdravstvu i stoga je neophodno da se odgovorno primenjuju. Ako postoje moralne dileme u upotrebi AI, nekorišćenje AI je takođe verovatno nenaučno i neetično. Međutim, za razliku od lekara, eksperti u pojedinim oblastima IKT nisu po zakonu obavezni da odgovaraju za svoje postupke; umesto toga, u ovom sektoru se primenjuju etički principi prakse. Trenutno ne postoje dobro definisani propisi koji bi se bavili pravnim i etičkim pitanjima koja mogu nastati usled upotrebe AI u zdravstvenom sistemu. Kao rezultat toga, neophodno je da tehnički eksperti, kreatori politike, zakonodavci i drugi donosioci odluka prihvate odgovornost. Postoji potreba za strukturiranim pristupom upravljanju tehničkim i etičkim izazovima primene veštačke inteligencije u zdravstvu i medicini. U prvom delu ovog rada smo razjasnili AI/ML naučne discipline i dali pregled trendova i strategija odgovorne primene. U drugom delu rada, analizirali smo nove regulativne i standardizacione radne okvire, i predložili smernice.

Abstract – Resource constraints and increasing demands, impose continuous pressure on healthcare system. Simultaneously, the usage of digital technologies is rising, there has been an expansion of data in all healthcare settings. AI (Artificial Intelligence) and ML (Machine Learning) technologies are going to be increasingly used in healthcare and hence needs to be responsible use. While there are moral dilemmas in the use of AI, it is not using AI is also possibly unscientific and unethical. Unlike doctors, expert in a particular field of ICT is not obligated by law to be accountable for their actions; instead, ethical principles of practice are applied in this sector. Currently, there are no well-defined regulations in place to address the legal and ethical issues that may arise due to the use of AI in healthcare settings. As a result, technical experts, policymakers, legislators, and other decision-makers should take responsibility. There is a need for a structured approach to management of technical and ethical challenges of applying artificial intelligence in health and medicine. In the first part of this paper, we clarified AI/ML scientific disciplines and present an overview of trends and strategies of responsible application. In the second part of the work, we analysed the new regulatory and standardization frameworks, and propose guidelines.

1. UVOD

Tehnologije veštačke inteligencije VI (*artificial intelligence*) i mašinskog učenja ML (*machine learning*) ubrzano se razvijaju i donose brojne ekonomske i društvene koristi u svim segmentima industrije i društvenih aktivnosti. Poboljšanjem predviđanja, optimizacijom alokacije resursa i personalizacijom pružanja usluga, upotreba AI podržava društveno i ekološki održive ciljeve i obezbeđuje ključne konkurentske prednosti kompanijama. Akcija je posebno neophodna u sektorima sa velikim uticajem, uključujući životnu sredinu i zdravlje, klimatske promene, javni sektor, finansije, mobilnost, unutrašnje poslove i poljoprivredu. Međutim, elementi i tehnike koje pokreću socio-ekonomske koristi od veštačke inteligencije, potencijalno donose i nove izazove ili negativne posledice za pojedince i društvo [1, 2, 3].

Poslednjih godina raste interesovanje za primenu veštačke inteligencije u zdravstvu. Od otkrivanja lekova i precizne medicine, dijagnostike i vizualizacije, pametnih uređaja i robotike, do pružanja zdravstvene zaštite i ambijentalno potpomognute nege pacijenata, veštačka inteligencija raspolaže potencijalom da revolucionariše oblast zdravstva. Tehnologije veštačke inteligencije poboljšavaju pristup zdravstvenoj zaštiti i način na koji se pacijenti leče, ali takođe optimizuju način na koji se resursi dodeljuju, pomažući tako zdravstvenim sistemima da funkcionišu efikasnije. Osnovne primene VI u medicini su kvantifikacija dijagnostičkih slika, automatska analiza genetskih podataka, predviđanje oboljevanja, medicinska robotika, telemedicina i virtualni doktori [4-7].

Primena veštačke inteligencije u zdravstvu raspolaže ogromnim potencijalom poboljšanja zdravstvene zaštite, ali takođe postavlja etička pitanja koja je sada neophodno rešavati. Kako bi se u potpunosti ostvario potencijal veštačke inteligencije u zdravstvu, neophodno je odgovoriti na osnovna etička pitanja privatnosti, diskriminacije i predrasuda, gubitak kontrole i humanosti.

Postoji potreba za strukturiranim pristupom proceni i upravljanju rizikom koji se posebno bavi tehničkim, kliničkim i etičkim izazovima veštačke inteligencije u zdravstvu i medicini. Počecemo tako što ćemo ukratko razjasniti šta je VI i dati pregled trendova i strategija u vezi sa etikom i pravom veštačke inteligencije u zdravstvu u EU. Nakon toga će uslediti analiza etičkih izazova veštačke inteligencije u zdravstvu, kao i preporuka i smernica. U prvom delu rada smo predstavili AI/ML naučne discipline i dali pregled trendova i strategija odgovorne primene. U drugom delu rada, analizirali smo nove regulativne i standardizacione radne okvire, i predložili smernice.

2. ODGOVORNA PRIMENA: Principi i izazovi

Teorijsko i primenjeno polje veštačke inteligencije (VI) je ogromno i prilično raznoliko. Alati i tehnike (mašinsko učenje, napredna analitika, neuronske mreže) se ubrzano razvijaju. Veštačka inteligencija obuhvata sisteme koji pokazuju razumno i inteligentno ponašanje, i na osnovu analize svog okruženja donose odluke – sa određenim stepenom autonomije – kako bi ostvarili konkretne ciljeve. Sistemi zasnovani na veštačkoj inteligenciji mogu biti bazirani isključivo na softveru (virtuelni asistenti, softveri za analizu fotografija, internet pretraživači, sistemi za prepoznavanje govora i lica) ili mogu biti ugrađeni u uređaje/hardver (napredni roboti, autonomna vozila, dronovi).

Komplikovano je pratiti najnovije rezultate u oblasti, posebno iz primenjene perspektive. Nakon uspona VI iz tehnološke perspektive, etička pitanja primene u različitim industrijskim sektorima i životnim aspektima dobijaju sve značajniju pažnju. Razvoj veštačke inteligencije nameće brojna pitanja odgovorne primene (u smislu AI metoda i aplikacija). Preovlađujuća ideja je da je neophodna odgovorna AI, objašnjiva, transparentna i pravedna za sve organizacije i pojedince.

- **Algoritamska pristrasnost** (*bias*) opisuje sistemske i ponovljive greške koje stvaraju nepravedne ishode, kao što je privilegovanje jedne kategorije nad drugim, na način koji se razlikuje od predviđenih funkcija.
- **Objašnjiva VI** je skup alata i radnih procesa koji podržavaju karakterizaciju tačnosti modela, pravičnosti, transparentnosti i ishode u donošenju odluka koje pokreće veštačka inteligencija, kao i u usvajanje odgovornog pristupa razvoju.
- **Odgovorna veštačka inteligencija** je tehnički pouzdana i bezbedna, u skladu sa zakonom i u skladu sa utvrđenim etičkim principima i vrednostima. Svaka od navedene tri komponente se posmatra zasebno, tako da uslovi ocene i ishod same ocene jedne od komponenti, ne predstavlja uslove ocene i ishod ocene druge komponente. Neophodno je da su navedene komponente u harmonizovanom odnosu, tako da ispunjenje sve tri, ocenjuje veštačku inteligenciju kao pouzdanu i odgovornu..

Primena veštačke inteligencije otvara brojne etičke i bezbednosne izazove na koje je neophodno odgovoriti i preduprediti. Sa ovim izazovima se susreću i brojne države, tako da je neophodno pratiti i internacionalne standarde. Etičnost i bezbednost u razvoju AI je neophodno obezbediti najpre u pogledu zaštite podataka o ličnosti, zaštite diskriminacije prilikom mašinskog učenja i uspostavljanja odgovornog razvoja AI u skladu sa internacionalnim etičkim principima. Cilj je da se formiraju preventivni mehanizmi koji omogućavaju odgovoran razvoj AI i načini verifikaciju da su sistemi zasnovani na mašinskom učenju u skladu sa najvišim etičkim i bezbednosnim standardima zaštite ličnih podataka, zaštitu od diskriminacije, kao i obezbeđivanje odgovornog razvoja veštačke inteligencije u skladu sa međunarodnim etičkim standardima.

Principi odgovorne veštačke inteligencije zasnivaju se na empatiji, pravičnosti, transparentnosti i odgovornosti. VI i modeli mašinskog učenja koji ga podržavaju treba da budu

sveobuhvatni, objašnjivi, etični i efikasni. Sveobuhvatna veštačka inteligencija raspolaze jasno definisanim kriterijumima za testiranje i upravljanje. Objašnjiva AI je programirana da opiše svoju svrhu, obrazloženje i proces donošenja odluka na način koji može da razume prosečni krajnji korisnik. Etične AI inicijative obuhvataju procese za traženje i eliminisanje pristrasnosti u modelima mašinskog učenja. Efikasna AI je u stanju da radi neprekidno i brzo reaguje na promene u operativnom okruženju.

Danas organizacije raspolazu brojnim načinima na koje mogu da implementiraju odgovornu veštačku inteligenciju i pokažu da su eliminisale VI *modele crne kutije*. Trenutne strategije uključuju sledeće:

- obezbediti da su podaci objašnjivi na način koji korisnik može da protumači,
- osigurati da su procesi dizajna i donošenja odluka dokumentovani do tačke u kojoj, ako dođe do greške, može se izvršiti reverzni inženjering da bi se utvrdilo šta se dogodilo,
- izgraditi raznoliku radnu kulturu i promovisati konstruktivne diskusije za ublažavanje pristrasnosti,
- kreirati rigorozan razvojni proces koji vrednuje vidljivost latentnih karakteristika svake aplikacije.

Odgovorna VI je okvir upravljanja koji dokumentuje kako se određena organizacija suočava sa izazovima u vezi sa i sa etičke i sa pravne tačke gledišta. Rešavanje dvosmislenosti o raspodeli odgovornosti značajan je pokretač odgovornih inicijativa.

Pravna i etička pitanja sa kojima se suočava društvo obuhvata privatnost i nadzor, pristrasnost ili diskriminaciju i potencijalni izazov je uloga ljudske procene. Etika VI obuhvata zaista zanimljive i značajne faktore koje je neophodno razmotriti: privatnost, pristrasnost ili diskriminacija, moralni status, gubitak kontrole, vlasništvo, ekološka zabrinutost, humanost.

3. REGULATIVNI I PRAVNI RADNI OKVIR

Neophodno je da VI sistemi ispunjavaju etičke, pravne i regulatorne standarde. Primena donosi specifične prednosti ali i rizike, tako da je neophodno formirati sopstveni skup regulatornih okvira koji se bave društveno-etičkim implikacijama upotrebe. Iako implementacija u zdravstvu je obećavajuća, oblast koja se brzo razvija takođe prouzrokuje zabrinutost pacijenata, zdravstvenih sistema i društva, kao što su povrede pacijenata usled grešaka veštačke inteligencije, zloupotreba medicinskih AI alata, pitanja kliničke bezbednosti, pravičnog pristupa, privatnosti i bezbednosti, odgovarajuće upotrebe, kao i odgovornosti i regulativa. Stoga su istraživači, šira javnost i kreatori politike ukazali na značaj etičkih pitanja, kao što su procena rizika i koristi od VI u zdravstvu, kako uspostaviti odgovornost u bio-medicinskim istraživanjima i kako regulisati upotrebu.

Osnov za donošenje naših smernica je *Strategija razvoja veštačke inteligencije u Republici Srbiji za period 2020-2025*, koja je kao jedan od svojih 5 ciljeva postavila etičku i pouzdanu primenu veštačke inteligencije i definisala *Akcionni plan* za period 2020-2022. Etičke smernice za razvoj, primenu i upotrebu pouzdane i odgovorne veštačke inteligencije su usvojene 2023 [8, 9, 10].

Trenutno, važeći propisi za medicinske alate veštačke inteligencije u EU su uredbe o medicinskim uređajima MDR 2017/745 i IVDR 2017/746, koji su doneti 2017. Međutim, publikovani su u vreme ranog razvoja AI, tako da mnogi specifični aspekti nisu obuhvaćeni, kao što je kontinuirano obučavanje VI modela ili identifikovanje algoritamskih pristrasnosti.

Jedan od prvih predloženih propisa za procenu rizika u oblasti veštačke inteligencije pojavio se 2018. godine, kada je komisija za etiku podataka u Nemačkoj predložila da se rizici opštih algoritama odlučivanja klasifikuju na osnovu kritičnosti, odnosno potencijalu sistema da nanese štetu.

EC je objavila 2021. dugo očekivani predlog uredbe o veštačkoj inteligenciji i usklađivanju pravila koja regulišu VI tehnologije na način koji se bavi pitanjima bezbednosti i ljudskih prava [11]. Nacrt je definisao veštačku inteligenciju zasnovanu na riziku, zajedno sa obaveznim zahtevima za visokorizične sisteme veštačke inteligencije. Konkretno, dokument preporučuje da se alati VI klasifikuju na osnovu tri osnovna nivoa rizika: neprihvatljiv rizik, visok rizik, nizak ili minimalan rizik.

- Najviša kategorija rizika odgovara VI alatima koji su u suprotnosti sa vrednostima prihvaćenim u EU i stoga bi trebalo da budu zabranjeni. Dokument (naslov II, član 5) navodi primere: podsvesna manipulacija, iskorišćavanje ranjivosti koje rezultiraju fizičkim/psihološkim povredama, socijalno bodovanje, biometrijska identifikacija u realnom vremenu u javnim prostorima (sa nekoliko izuzetaka).
- Srednja kategorija je od posebnog interesa i odgovara visokorizičnoj VI, koja se može dozvoliti samo kada su alati u skladu sa specifičnim zahtevima. Dokument (naslov III, Poglavlje 1) obuhvata sigurnosne komponente regulisanih proizvoda (uključujući medicinske uređaje), i određene samostalne VI sisteme u oblastima kao što je kritična infrastruktura, pristup privatnim uslugama, kao i zapošljavanje i upravljanje radnicima. Predlog predviđa konkretne zahteve i obaveze za adekvatno upravljanje rizikom.
- Najniža kategorija se odnosi na VI alate sa minimalnim rizikom, koji nemaju specifične obaveze, ali EC podstiče izradu kodeksa ponašanja, kao i dobrovoljnu primenu zahteva za visokorizične VI sisteme (član 69).

Pored ove tri kategorije rizika, dokument (član 52) navodi i dodatne kategoriji VI sistema, kao što su oni koji komuniciraju sa pojedincima i izlažu emocionalnom ili biometrijskom prepoznavanju, za koje postoji izričita obaveza transparentnosti. U ovom slučaju, pojedinci moraju biti obavesteni da su u interakciji sa VI sistemom.

Kako bi se minimizirali rizici VI i istovremeno maksimizirale koristi primene u zdravstvenoj zaštiti, značajno je identifikovati, analizirati, razumeti i pratiti potencijalne rizike od slučaja do slučaja za svaki novi algoritam VI i aplikaciju. Značajan korak u postupku procene rizika je osmišljavanje metodologije za klasifikaciju identifikovanih rizika u više kategorija koje predstavljaju različite nivoe i vrste rizika. Za svaki nivo, skup testova ili propisa neophodno je specificirati ublažavanje i rešavanje VI rizika, tako da više klase rizika zahtevaju više testiranja i regulacije, dok niži rizici

rezultiraju ograničenim merama za ublažavanje rizika. Odgovarajuća klasifikacija VI rizika na osnovu nivoa rizika i verovatnoće omogućava proizvođačima medicinske opreme, pružiocima usluga i regulatorima da intervenišu upravo onoliko koliko je potrebno kako bi se obezbedila zaštita pacijenata, kao i njihovih prava. Međutim, neophodno je i da klasifikacija, koliko je to moguće ne ometa VI inovacije u zdravstvu.

Postoje inicijative politike koje se odnose na regulisanje sistema veštačke inteligencije širom sveta (*EU AI Act, US AI bill of rights, Japanese guidelines on AI governance for implementation of AI principles*). Dok su neke inicijative u toku u više regiona, poželjno je postići određeni nivo doslednosti. U idealnom slučaju, zahtevi za pristup tržištu su globalno usklađeni sa ciljem da se izbegnu različiti dizajni proizvoda prilagođeni potencijalno različitim zahtevima za svaki region. Jedan od ključnih ciljeva EU zakona o veštačkoj inteligenciji je rešavanje društvenih izazova obezbeđenja osnovnih ličnih prava i bezbednost, kao i obezbediti zdravlje ljudi. Međutim, pojedinačni nacrti zakona koji se odnose na pravnu odgovornost za kršenje gore navedenih principa nisu prikladni za rešavanje zahteva odgovornosti za štetu prouzrokovanu VI proizvodima i uslugama. Neophodno je da oštećeni dokažu pogrešnu radnju ili propust osobe koja je prouzrokovala štetu, što može biti komplikovano ili skupo za oštećene.

Zakon o veštačkoj inteligenciji mogao bi da postane globalni standard, kao EU GDPR *Opšta uredba o zaštiti podataka*. Sa druge strane, neophodno je da organizacije za standardizaciju posvećeno rade na podršci u primeni zakona o veštačkoj inteligenciji. Preporuka je da se svaki novi rad sprovodi u kontekstu postojećih standarda i tekućeg rada na standardizaciji, kao i zajedničke konceptualne osnove. Neophodno je obezbediti da posao koji je već obavljen za IKT sisteme koji nisu zasnovani na VI, ne bude dupliran za sisteme zasnovane na veštačkoj inteligenciji. Hitno je neophodna aktivnost koja identifikuje postojeće standarde koji se mogu ponovo koristiti nepromenjeni ili revidirani za sisteme zasnovane na veštačkoj inteligenciji. Zajednička terminologija dogovorenih termina (reči i izraza) je preduslov za uspešan razvoj dokumenata VI standarda [12, 13, 14].

4. ETIČKE SMERNICE ZA RAZVOJ I UPOTREBU
Interdisciplinarnе studije zasnovane na sveobuhvatnom (ali nesistematskom) pregledu publikovanih referenci i novijih smernica i propisa, ukazuju na potencijal veštačke inteligencije u medicini za rešavanje hitnih pitanja, posebno starenja stanovništva i porasta hroničnih bolesti, nedostatka zdravstvenog osoblja, neefikasnosti zdravstvenih sistema, nedostatka održivosti i zdravstvenih nejednakosti. Izveštaji takođe detaljno opisuju različite oblasti u kojima medicinska VI može dati najznačajniji doprinos: klinička praksa, bio-medicinska istraživanja, javno zdravlje i zdravstvena administracija. Javno zdravlje je fokusirano na prevencije bolesti, produženja života i unapređenja zdravlja kroz organizovane napore i informisane izbore društva, organizacija, javnih i privatnih, zajednica i pojedinaca [15, 16].

Studije prezentuju načine na koji VI može da koristi u budućnosti, posebno u povećanju efikasnosti kliničara,

poboljšanju medicinske dijagnoze i lečenja, kao i optimizacije alokacije ljudskih i tehničkih resursa. Izveštaj identifikuje i pojašnjava osnovne kliničke, društvene i etičke rizike primene VI u zdravstvenoj zaštiti: potencijalne greške i pretrpljena šteta pacijenata, rizik od pristrasnosti i povećane zdravstvene nejednakosti, nedostatak transparentnosti i poverenja, kao i ranjivost na hakovanje i narušavanje privatnosti podataka [17].

Studije su identifikovale i pojašnjavaju osnovne rizike VI u medicini i zdravstvenoj zaštiti: povreda pacijenata usled grešaka, zloupotreba medicinskih VI alata, pristrasnost VI i održavanje postojećih nejednakosti, nedostatak transparentnosti, pitanja privatnosti i bezbednosti, praznine u odgovornosti i prepreke u implementaciji. Postoji potreba za strukturiranim pristupom proceni i upravljanju rizikom koji se posebno bavi tehničkim, kliničkim i etičkim izazovima veštačke inteligencije u zdravstvu i medicini [18, 19, 20].

Studije predlažu mere ublažavanja i opcije politike kako bi se minimizirali rizici i maksimizirale prednosti primene VI u medicini, uključujući angažovanje zainteresovanih strana kroz životni ciklus VI produkcije, povećanje transparentnosti i sledljivost, detaljnu kliničku validaciju VI alata, kao i obuku i obrazovanje za kliničare i građane:

- ✓ proširiti regulatorne okvire i kodekse VI da obuhvate rizike i zahteve specifične za zdravstvenu zaštitu,
- ✓ promovisati angažovanje više zainteresovanih strana i ko-kreaciju tokom celog životnog ciklusa VI algoritama,
- ✓ kreirati VI pasoš i mehanizme sledljivosti za povećanu transparentnost i poverenje,
- ✓ razviti okvire za poboljšanje definicije odgovornosti i praćenja odgovornosti,
- ✓ uvesti obrazovne programe i kampanje za unapređenje veština zdravstvenih radnika i pismenost šire javnosti,
- ✓ promovisati dalja istraživanja o kliničkoj, etičkoj i tehničkoj robusnosti medicinske veštačke inteligencije.

EU je poslednjih godina značajno investirala u veštačku inteligenciju, ali nejednakosti i dalje postoje u različitim državama. Podela se može objasniti strukturnim razlikama u istraživačkim programima i tehnološkim kapacitetima, kao i različitim nivoima ulaganja iz javnog i privatnog sektora. Dispariteti u razvoju i primeni veštačke inteligencije EU zemalja posebno su izraženi u medicinskoj veštačkoj inteligenciji. Neophodno je da strategije obuhvate konkretne akcije za jačanje tehnoloških, istraživačkih i industrijskih kapaciteta [21].

5. ZAKLJUČAK

U radu razmatramo osnovne regulatorne i društveno-etičke aspekte VI u medicini i zdravstvu. Etičke smernice za razvoj, primenu i upotrebu pouzdane i odgovorne veštačke inteligencije imaju za cilj uvođenje preventivnog mehanizma koji omogućava odgovoran razvoj i postupke verifikacije. Neophodni su VI sistemi u skladu sa najvišim etičkim i bezbednosnim standardima u pogledu zaštite podataka o ličnosti, zaštite od diskriminacije prilikom primene mašinskog učenja i uspostavljanje odgovornog razvoja veštačke inteligencije u skladu sa internacionalnim etičkim principima. Prezentovali smo opcije politike čiji je cilj minimiziranje rizika medicinske veštačke inteligencije, unapređenje upravljanja i jačanje odgovornog razvoja.

LITERATURA

- [1] M.D.Dubber, F.Pasquale, S.Das, *The Oxford Handbook of ethics of AI*, Oxford University Press 2020.
- [2] M. Coeckelbergh, *AI ethics*, MIT Press 2020.
- [3] S.Gerke, T.Minssen, G.Cohen, *Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare*. In *Artificial intelligence in healthcare* (Eds. A.Bohr, K,Memarzadeh), pp.295-336, Academic Press, 2020.
- [4] EC JRC, *Artificial Intelligence in medicine and healthcare: Applications, availability and societal impact*, EUR 30197 EN, 2020.
- [5] EC Study on *Discrimination, Artificial Intelligence, and algorithmic*, 2018.
- [6] EC High-level Expert Group on AI, *Ethics guidelines for trustworthy AI*, 2019.
- [7] EC White paper on Artificial Intelligence, *A European approach to excellence and trust*, 2020.
- [8] *Strategija razvoja veštačke inteligencije u Republici Srbiji za period 2020–2025. godine*, 2019.
- [9] *Akcioni plan za period 2020–2022. godine za primenu strategije razvoja veštačke inteligencije u Republici Srbiji za period 2020–2025. godine*, 2020.
- [10] *Etičke smernice za razvoj, primenu i upotrebu pouzdane i odgovorne veštačke inteligencije*, 2022.
- [11] EU Regulation AI Act, *Proposal for a regulation laying down harmonised rules on Artificial Intelligence*, Annexes 1 to 9, April 2021.
- [12] EU Regulation 2016/679G *General Data Protection Regulation* (GDPR), May 2018.
- [13] ETSI White paper No.52, *Activities in the field of Artificial Intelligence: Preparing the implementation of the European AI Act*, Dec. 2022.
- [14] ETSI TR 103477, *eHEALTH; Standardization use cases for eHealth*, Aug. 2020.
- [15] EU Parliamentary research service, *The ethics of artificial intelligence: Issues and initiatives*, March 2020.
- [16] EC DG Research and innovation, *Ethics by design and ethics of use approaches for Artificial Intelligence*, Nov. 2021.
- [17] EC DG EPRS, *Artificial intelligence in healthcare: Applications, risks, and ethical and societal impacts*, Panel for the Future of science and technology, 2022.
- [18] R.Manne, S.C.Kantheti, *Application of artificial intelligence in healthcare: Chances and challenges*, *Current Journal of Applied science and technology*, 40(6), pp.78-89, 2021.
- [19] D.B.Larson et al., *Regulatory frameworks for development and evaluation of artificial intelligence-based diagnostic imaging algorithms: Summary and recommendations*, *Journal of the American College of radiology*, 18(3), pp.413-424, 2021.
- [20] M.P.Recht, et al., *Integrating artificial intelligence into the clinical practice of radiology: Challenges and recommendations*, *European Radiology*, 30(6), pp.3576-3584, 2020.
- [21] EC *Coordinated Plan on Artificial Intelligence Review*, April 2021.

DRUŠTVENA MREŽA INSTAGRAM KAO PODRŠKA PROCESU ELEKTRONSKOG UČENJA

THE SOCIAL NETWORK INSTAGRAM AS A SUPPORT FOR THE PROCESS OF E-LEARNING

Lazar Živojinović¹, Svetlana Štrbac-Savić², Nenad Korolija³, Miloš Popović⁴

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu¹

Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija Beograd²

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu³

Beogradska akademija poslovnih i umetničkih strukovnih studija⁴

Sadržaj – Društvena mreža Instagram, na svakodnevnom nivou, koristi se od strane velikog broja studenata. Koristeći ovu društvenu mrežu, studenti mogu postavljati različite sadržaje, kao što su fotografije i kratki video zapisi, ostavljati komentare i komunicirati sa drugim korisnicima. Pored ovakvog načina upotrebe, Instagram je moguće koristiti i u edukativne svrhe. Cilj ovog rada jeste ispitivanje mogućnosti primene društvene mreže Instagram u procesu elektronskog učenja u ustanovama visokoškolskog obrazovanja, čije je korišćenje usmereno ka poboljšanju obrazovnog procesa, rezultata koje studenti postižu i nivoa njihove motivisanosti. U okviru rada predstavljene su aktivnosti elektronskog učenja na Instagram-u u visokoškolskom obrazovanju, koje su organizovane u formi izazova i kviza, odnosno kratkih testova za proveru znanja, koje su kreirane sa ciljem podsticanja kreativnog razmišljanja i motivacije studenata, u pogledu unapređenja i sticanja novih znanja iz određene oblasti. Katedra za elektronsko poslovanje, na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, počevši od školske 2019/2020. godine, pored uobičajenih načina održavanja nastave, za potrebe edukacije studenata koristi i društvene mreže Instagram i TikTok. Rezultati ukazuju na spremnost studenata za primenu Instagram-a kao podrške procesu elektronskog učenja i da su njihova postignuća, nakon uvođenja ove društvene mreže, bolja.

Abstract – A lot of students use the social network Instagram on a daily basis for social purposes. They post various content, such as photos and short videos, leave comments, and interact with other users. In addition to this, Instagram can also be used for educational purposes. This paper aims to examine the possibility of using the social network Instagram in the process of electronic learning in higher education institutions. The main goal is to improve the educational process, the results achieved by students, and the level of their motivation. Electronic learning activities on Instagram in higher education are presented, organized in the form of challenges and quizzes, i.e. short tests for knowledge testing. These activities were created to encourage creative thinking and motivating students, in terms of improving and acquiring new knowledge from a specific field. The Department for e-business, from the Faculty of Organizational Sciences, the University of Belgrade, starting from the school year 2019/2020, in addition to the conventional teaching methods, also uses the social networks Instagram and TikTok. The results indicate that

students are willing to use Instagram as a support for the process of electronic learning and that their usage of social networks is correlated with better achievements.

1. UVOD

Društvene mreže i mobilne tehnologije postale su integralni deo svakodnevice u životima velikog dela svetske populacije. Sagledavano kroz istoriju, ovi alati inicijalno su upotrebljavani u cilju zabave i ostvarenja direktne komunikacije. Postepeno, njihovo korišćenje se sve više ogleda u okviru poslovne komunikacije i saradnje [1], [2].

U današnje vreme, prisutna je i sve češća primena ovih tehnologija u procesu nastave, a, takođe, i veća zainteresovanost akademske zajednice, kao i broj istraživanja iz oblasti povezanih sa ovom temom. Dostići nivo gde društvene mreže i mobilne tehnologije predstavljaju pomoć profesorima sa ciljem poboljšanja edukativnog procesa, a ne označavaju se kao problem u okviru ovog procesa, predstavlja osnovnu ideju [3].

Primena društvenih medija kao pomoć u obrazovnom procesu postaje značajna u trenutku kada je na Univerzitetima i drugim obrazovnim ustanovama prepoznat potencijal njihove upotrebe [4]. Korišćenje mobilnih i veb tehnologija od strane društvenih medija jeste u cilju kreiranja interaktivne platforme, gde je pojedincima i zajednicama omogućeno deljenje, pravljenje, kao i menjanje sadržaja, koji postavljaju njihovi korisnici [5].

Najveći broj naučnih radova u okviru kojih autori navode poboljšanje procesa učenja upotrebom savremenih društvenih mreža, u vezi je sa kontekstom visokoškolskog obrazovanja [2], [6]. Upotrebom društvenih medija omogućeno je kreiranje procesa učenja pomoću društvenih interakcija i onlajn saradnje, kao i to da fizička udaljenost učesnika ne utiče na odvijanje samog procesa [7]. Podela informacija, znanja i iskustva, korišćenjem različitih alata, dostupnih na društvenim medijima, korisnicima omogućava učenje, kao i dobijanje društvene podrške kroz učestvovanje u aktivnostima, koje se organizuju onlajn i saradnju sa drugima [8].

Cilj ovog rada jeste ispitivanje mogućnosti primene društvene mreže Instagram u procesu elektronskog učenja u ustanovama visokoškolskog obrazovanja, čije je

korišćenje usmereno ka poboljšanju obrazovnog procesa, rezultata koje studenti postižu i nivoa njihove motivisanosti. Zbog sve veće zastupljenosti i trenda porasta upotrebe društvenih mreža, predstavljeni metodološki postupak jednostavan je za primenu u nastavnom procesu visokoškolskih ustanova.

2. PROCES ELEKTRONSKOG UČENJA NA DRUŠTVENIM MEDIJIMA

Pored toga što se na različitim društvenim poljima (političko, ekonomsko, socijalno i komunikacijsko) mogu uočiti implikacije društvenih medija, tako ni polje obrazovanja nije izuzetak. Promenu modela funkcionisanja visokog obrazovanja moguće je uočiti usled upliva društvenih medija. Studenti, okruženi digitalnom erom i napretkom informacionih tehnologija, nalaze se i pod konstantnim uticajem društvenih medija koji su infiltrirani u sve životne sfere [1].

Društveni mediji se sa aspekta visokoškolskog obrazovanja mogu primenjivati za razvijanje neformalnog, ali mogu biti podrška i formalnom tipu usvajanja znanja [9]. Potencijal društvenih medija je prepoznat od strane visokoškolskih ustanova na način da podstiču kolaborativno učenje, socijalne interakcije i prenose znanje unutar zajednica kojima studenti pripadaju [10].

Društveni mediji kroz sferu obrazovanja mogu pospešiti nivo efikasnosti pedagoških procedura, kao i samog toka nastave, pri čemu je uspeh najčešće proporcionalan umeću predavača da primeni određeni medij. Iz tog razloga veoma je važno podržati i motivisati predavača u svakodnevnom radu [11]. Kolaborativno učenje podrazumeva mogućnost da se drugim metodama pristupi nastavnom modelovanju, osmišljavanju nastavnih materijala, evaluaciji napredovanja i administraciji studenata. Oslanjajući se na ovaj metod, studenti imaju interaktivnu funkciju, pri čemu mogu razmenjivati znanja, iskustva, veštine, fizičke i virtuelne mogućnosti, imati pravo glasa i evaluirati pojedine nastavne sadržaje i aktivnosti [12].

Pri kolaborativnom učenju kod studenata se povećava nivo interesovanja za usvajanjem znanja posredstvom razmenjivanja ideja i diskutovanjem istih i na taj način se formira i kritičko stanovište studenata [13]. Spektar kolaborativnih aktivnosti u sferi obrazovanja je veoma širok: kreće se od opštishvatljivih aktivnosti (diskusije unutar učionica), pa do onih koje odlikuje kompleksnost i iziskivanje dugotrajnih istraživanja [14].

Društvene mreže predstavljaju kanal društvenih medija, koji se najčešće koristi, a među njima dominiraju Facebook i Instagram, posebno poslednjih godina [15]. Pomenute društvene mreže, sa aspekta visokoškolskog obrazovanja, mogu se primeniti pri postavljanju, pretraživanju, preuzimanju i deljenju sadržaja za usvajanje znanja, testiranju znanja, komunikacionim interakcijama studenata, ... Na ovakav način kod studenata se povećava motiv za usvajanjem znanja,

pospešuje nivo komunikacije i kolaboracije među učesnicima obrazovnog procesa. Na koji način će društvena mreža u procesu obrazovanja biti korišćena zavisi od kreativnosti predavača, koji nalaze načine za modelovanje edukativnih aktivnosti kako bi studentima što više približili i olakšali razumevanje nastavnog materijala [16].

Da Facebook obezbeđuje značajne prednosti kao podrška procesu elektronskog učenja pokazala su brojna istraživanja [11], [13]. Reč je o komunikaciji posredstvom platforme koja je bliska studentima i koji je primenjuju u svakodnevnom životu, pa tako predstavlja određenu vrstu komfora za njih. Realizacija takvog načina komunikacije rezultira pozitivnim ishodom poput porasta interakcije na relaciji predavač-student i student-student. Takođe, istraživanja pokazuju da studenti Facebook smatraju korisnim obrazovnim sredstvom sa aspekta usvajanja znanja zbog toga što im pomaže pri komunikaciji, saradnji i razmeni materijala, kao i napredovanju pri korišćenju mrežnih tehnologija u sredinama za usvajanje znanja [13]. Proces elektronskog učenja posredstvom društvene mreže Facebook rezultirao je poboljšanjem interaktivnog učenja, dok studenti to vide kao efikasnu sredinu za usvajanje znanja, što je doprinelo uspešnom kolaborativnom učenju i pozitivnom ishodu istraživanja [13]. Iz toga može se izvesti zaključak da su društveni mediji efikasna sredstva koja predavači mogu upotrebljavati u svojim učionicama. Ova sredstva korišćena su, od strane studenata, i u socijalne i u obrazovne svrhe. Na taj način učenje postaje motivaciono, interesantno i povezano sa učenjem kroz svakodnevnicu, gde studenti mogu imati komunikaciju sa svojim vršnjacima, predavačima i drugim osobama koje im bude sferu interesovanja [17].

Realizacija društvene povezanosti zajednice studenata može se ostvariti korišćenjem Instagram-a u cilju usvajanja znanja na taj način što sama platforma omogućava studentima ostvarenje međusobne interakcije izvan margina učionice. Uz to, pomenuta društvena mreža je u mnogim prilikama upotrebljavana mreža koju studenti skoro potpuno poznaju i koriste. Ovakav vid usvajanja znanja praćen je velikim potencijalom za usvajanje znanja u formi pisanog, audio i video sadržaja, koji omogućavaju vežbanje i receptivne i produktivne kompetentnosti [18].

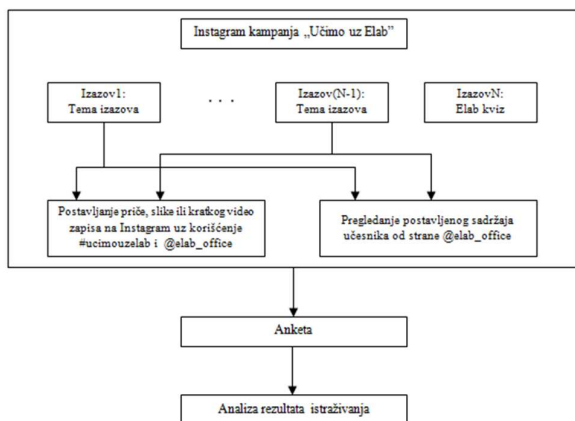
Osnovna edukativna primena Instagram-a jeste razmena fotografija koje su u sprezi sa nastavnim materijalom ispredavanim u učionici, u cilju referenciranja i analize. Uz to, na raspolaganju su i raznovrsne edukativne mogućnosti, kao što su pojednostavljena komunikacija, podrška direktne komunikacije na relaciji student-predavač, podizanje nivoa iskustva usvajanja znanja posredstvom objava o relevantnim člancima ili video materijalima i potenciranje angažovanja između studenata u okviru ili van učionice [19]. Veliki broj istraživanja govori o primeni Instagram-a u cilju edukovanja koji potvrđuje da se kvalitetnom metodom pospešuje izražavanje misli i kreativnost u pogledu relevantnog materijala, podiže nivo spremnosti za dugoročnu

komunikaciju, za razliku od one koja se odvija u učionici [2], [3].

Predavači treba da imaju za cilj izvlačenje maksimuma iz pomenute društvene mreže, jer ona može postati odličan edukativni alat, koji tok obrazovanja može pojednostaviti i učiniti interesantnijim. Veliki broj aktivnosti se može realizovati upotrebom Instagram-a pri usvajanju znanja. Njegovom primenom studenti mogu diskutovati, razmenjivati mišljenje i stavove na veliki broj tema. Uz to, studenti mogu uzeti učešće u timovima gde svaki od njih može iziskivati od drugih komentarisane fotografije ili video materijala, što im obezbeđuje razmenu iskustava i znanja, kako međusobno, tako i sa predavačima [18]. Raznovrsne su aktivnosti koje predavači mogu upotrebljavati, kroz korišćenje Instagram-a, na predavanjima. Neke od njih su: mogućnost digitalnog prezentovanja priča, vežbanja gramatike kroz natpise fotografija, bavljenja foto reportažama, pronalaženja poređenja u okviru određenih fotografija, pravljenja foto-blogova, vežbanja umetničkog i kreativnog iskaza posredstvom preuzetih fotografija, ... Postoje i raznovrsne aktivnosti za primenu Instagram-a kod učenja jezika. One obuhvataju učestvovanje cele grupe ili školske ustanove na Instagram-u upotrebom sveobuhvatnog hashtag-a za deljenje sadržaja sa drugima. Predavač sa svog Instagram profila može deliti koristan materijal za učenje jezika. Takođe, može objavljivati sve ono što studente može podstaći na efikasno učenje jezika i deliti znanje i druge Instagram izvore [20].

3. METODOLOŠKI POSTUPAK PRIMENE AKTIVNOSTI ELEKTRONSKOG UČENJA NA DRUŠTVENOJ MREŽI INSTAGRAM

Na sledećoj slici prikazan je metodološki postupak primene aktivnosti elektronskog učenja na društvenoj mreži Instagram u visokoškolskom obrazovanju.



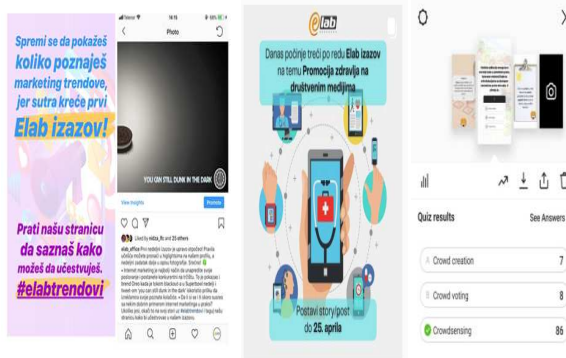
Slika 1. Metodološki postupak primene aktivnosti elektronskog učenja na društvenoj mreži Instagram

Aktivnosti e-učenja organizovane su u vidu izazova i kvizova, čiji je cilj podsticanje kreativnosti i nivoa motivacije studenata za učenjem.

4. PRIMENA ELEKTRONSKOG UČENJA NA DRUŠTVENOJ MREŽI INSTAGRAM U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU

Sa ciljem analiziranja potencijala upotrebe društvene mreže Instagram kao podrške tokom procesa elektronskog učenja, pospešivanju kolaborativnog učenja na Instagram-u i promovisanju visokoškolskog obrazovanja, Instagram kampanje „Učimo uz Elab“ su kreirane. Upotreba pomenute društvene mreže u cilju edukacije jeste dobrovoljna vannastavna aktivnost za studente, koja njima obezbeđuje dodatne poene, dok predavačima obezbeđuje nadgledanje tih aktivnosti i dinamike zalaganja studenata. Istraživanja „Učimo uz Elab“ su realizovana na osnovnim akademskim studijama počevši od školske 2019/2020. godine, u toku zimskih i letnjih semestara i bila su predviđena za studente koji su na predavanjima i vežbama iz predmeta Elektronsko poslovanje, Internet marketing i Internet inteligentnih uređaja, Katedre za elektronsko poslovanje na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, koja realizuje i onlajn kurseve u okviru osnovnih, master i doktorskih akademskih studija.

„Učimo uz Elab“ kampanje, uz svoje prateće izazove, realizovane su kroz objave i priče na Instagram profilu Katedre za elektronsko poslovanje (@elab_office), koje su sadržale promovisanje izazova, kviza i pravila za uzimanje učešća. Teme pratećih izazova pomenutih kampanja pratile su nastavu (predavanja i vežbe), koja je realizovana iz predmeta Elektronsko poslovanje, Internet marketing i Internet inteligentnih uređaja. Posredstvom Instagram priča, prvi izazovi su oglašeni dan ranije, dok su na dan realizacije izazovi oglašeni objavom, koja je sadržala primer uspešno realizovanog izazova, praćenog pojedinostima sa svim zahtevima koji su u sprezi sa datim izazovom. Rešenja samih izazova mogla su biti postavljena narednih 5 radnih dana. Poslednji izazov je uključivao kviz realizovan kroz 5 radnih dana. Nakon što su kampanje završene, izvršeno je anonimno i dobrovoljno anketiranje studenata, kako bi se ispitala njihova spremnost i stavovi za navedeni model upotrebe društvene mreže Instagram tokom procesa obrazovanja.

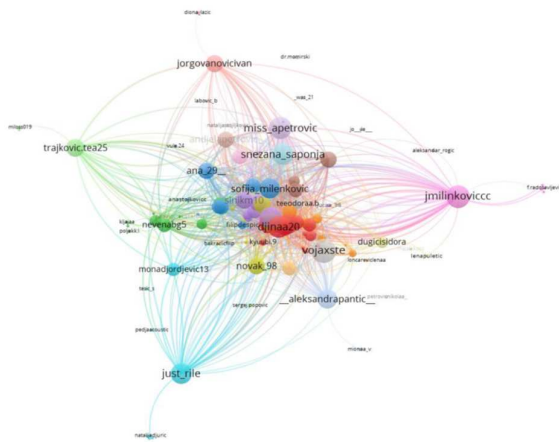


Slika 2. Primeri najava, objava, uspešno realizovanog izazova i jednog pitanja Elab kviza

Primeri najava, objava, uspešno realizovanog izazova i jednog pitanja, koje je bilo deo Elab kviza prikazani su na prethodnoj slici.

Podaci su sakupljeni metodom popisivanja ocena studenata za svaki od izazova sa postavljenih priča (story-a). Poll (slajder) je smešten na svim postavljenim pričama u čijem obuhvatu su drugi studenti vršili evaluaciju nivoa realizacije izazova od strane studenta, tj. nivoa pružanja podesnog odgovora na isti. Shodno označavanju u okviru poll-a, spektar ocena je bio od 1 do 5. Analiza podataka sa društvenih mreža bila je bazirana na modelovanju dataset-a nakon prikupljenih podataka, na osnovu čega je formiran Comma-separated values (.csv) fajl, pomoću čijeg učitavanja se odgovarajući grafikon kreira.

Primenom VOSviewer alata, u okviru koga je moguće kreirati grafički prikaz interakcija među učesnicima (studentima), izvršena je analiza podataka sa društvenih mreža. Na pomenutom grafičkom prikazu, čvorovi predstavljaju studente, dok linije predstavljaju interakcije između njih. Prikaz čvorova (studenata) i linija (ostvarenih interakcija) je u različitim bojama i različitim veličinama čvora, shodno broju realizovanih interakcija.



Slika 3. Prikaz interakcija između studenata na nivou jedne od sprovedenih Instagram kampanja

Slika 3. daje mogućnost identifikacije interakcija između studenata na nivou jedne od sprovedenih Instagram kampanja „Učimo uz Elab“.

5. ZAKLJUČAK

Usvajanje znanja primenom društvene mreže Instagram predstavlja potencijal za korišćenje u procesu obrazovanja, ali i za podizanje nivoa saradnje među studentima. Usputne analize su korisne kako bi se odredio uticaj koji pomenuta forma učenja ima na sam ishod učenja.

Kroz ovakvu analizu, koja je bolja sa metodološkog aspekta, moguće je zaključiti da se interesovanje studenata povećava vremenom, što predstavlja razliku u poređenju sa preliminarnim rezultatima studija koje su ranije sprovedene i koje govore da se interesovanje

studenata smanjivalo. Na kampanju je imalo uticaja to što su predavači iziskivali kolaboraciju od studenata i što su kao podsticaj bili uključeni i dodatni poeni iz predmeta.

Pomenuti tip istraživanja praćen je i određenim ograničenjima, dok je jedno od njih komplikovanost pri sakupljanju podataka sa društvene mreže Instagram.

Fokus budućih istraživanja će biti na poboljšanju postupka sakupljanja podataka sa Instagram-a, kao i izazova, tako što će nove aktivnosti, bazirane na mišljenju i smernicama od strane studenata, biti dodate, primeni na društvenoj mreži TikTok, upotrebi drugih alata za analizu podataka sa društvenih mreža, kao i na primeni ovakvog koncepta i na drugim predmetima.

LITERATURA

- [1] Stojanović, D., Bogdanović, Z. and Nedeljković, N. “Upotreba mobilnih tehnologija u srednjoškolskom obrazovanju”, Zbornik radova, XLIII Simpozijum o Operacionim Istraživanjima, pp 71–74, 2016.
- [2] Bogdanović, Z., Labus, A., Barać, D., Naumović, T. and Radenković, B. “Challenging E-Learning in Higher Education via Instagram”, Smart Innovation, Systems and Technologies, pp 479–491, 2021.
- [3] Stojanović, D., Bogdanović, Z., Despotović-Zrakić, M., Naumović, T. and Radenković, M. “An approach to using Instagram in secondary education”, The 14th International Conference on Virtual Learning, pp 247–253, 2019.
- [4] Arceneaux, P. C. and Dinu, L. F. “The social mediated age of information: Twitter and Instagram as tools for information dissemination in higher education”, New Media & Society, pp 4155–4176, 2018.
- [5] Labus, A., Despotović-Zrakić, M., Radenković, B., Bogdanović, Z. and Radenković, M. “Enhancing formal e-learning with edutainment on social networks”, Journal of Computer Assisted Learning, pp 592–605, 2015.
- [6] Chugh, R. and Ruhi, U. “Social media in higher education: A literature review of Facebook”, Education and Information Technologies, pp 605–616, 2018.
- [7] Bogdanović, Z., Barać, D., Jovanić, B., Popović, S. and Radenković, B. “Evaluation of mobile assessment in a learning management system”, British Journal of Educational Technology, pp 231–244, 2014.
- [8] Hajli, M., Bugshan, H., Lin, X. And Featherman, M. “From e-learning to social learning - a health care study”, European Journal of Training and Development, pp 851–863, 2013.
- [9] Dabbagh, N. and Kitsantas, A. “Personal Learning Environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning”, Internet and Higher Education, pp 3–8, 2012.
- [10] Al-Rahmi, W. M. and Zeki, A. M. “A model of using social media for collaborative learning to enhance learners’ performance on learning”, Journal of King Saud

University - Computer and Information Sciences, pp 526–535, 2017.

[11] Shin, W. S., Han, I. and Kim, I. “Teachers’ Technology Use and the Change of Their Pedagogical Beliefs in Korean Educational Context”, *International Education Studies*, pp 11–22, 2014.

[12] Estellés-Arolas, E. And González-Ladrón-De-Guevara, F. “Towards an integrated crowdsourcing definition”, *Journal of Information Science*, pp 189–200, 2012.

[13] Dooly, M. A. “Constructing knowledge together”, *Telecollaborative Language Learning: A guidebook to moderating intercultural collaboration online*, pp 21–45, 2008.

[14] Abubakar, A. B. and Arshad, M. Y. “Collaborative Learning and Skills of Problem-based Learning: A Case of Nigerian Secondary Schools Chemistry Students”, *Asian Social Science*, pp 53–62, 2015.

[15] Shane-Simpson, C., Manago, A., Gaggi, N. and Gillespie-Lynch, K. “Why do college students prefer Facebook, Twitter, or Instagram? Site affordances, tensions between privacy and self-expression, and implications for social capital”, *Computers in Human Behavior*, pp 276–288, 2018.

[16] Hrastinski, S. and Aghaee, N. M. “How are campus students using social media to support their studies? An explorative interview study”, *Education and Information Technologies*, pp 451–464, 2012.

[17] Josefsson, P., Hrastinski, S., Pargman, D. and Pargman, T. C. “The student, the private and the professional role: Students’ social media use”, *Education and Information Technologies*, pp 1583–1594, 2016.

[18] Handayani, F. “Instagram as a teaching tool? Really?”, *Proceedings of ISELT FBS Universitas Negeri Padang*, pp 320–327, 2015.

[19] Gauthier, T. P., Bratberg, J., Loi, K. and DiVall, M. V. “Delivery of educational content via Instagram”, *Medical Education*, pp 575–576, 2016.

[20] Carpenter, J. P., Morrison, S. A., Craft, M. and Lee, M. “How and why are educators using Instagram?”, *Teach Teaching and Teacher Education*, pp 103-149, 2020.

METODIČKA PITANJA NASTAVE PROGRAMIRANJA

METHODICAL ISSUES OF TEACHING PROGRAMMING

Dragana Glušac, Marko Blažić, Vesna Makitan
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin
Univerzitet u Novom Sadu

Abstrakt: U ovom radu obrađena je interdisciplinarna tema koja povezuje metodiku nastave i informacione tehnologije. Jedno od ključnih metodičkih pitanja u ovoj oblasti jeste priprema lako dostupnog i adekvatnog nastavnog materijala, kao i metodički put za „isporuku i konzumaciju” gradiva. Predstavljena je tutorska podrška kreirana na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin” u Zrenjaninu, a namenjena studentima IV godine studijskog programa Informacione tehnologije kao dopuna redovnim vežbama na predmetu Internet alati i servisi koje su sprovedene u učionici. Kroz tutorijale obrađen je PHP Laravel framework. Tutorska podrška je korištena kao dopunsko nastavno sredstvo u zimskom semestru 2022/2023. godine. Nakon završene nastave, sprovedeno je istraživanje o stavovima studenata o o motivisanosti i svrsishodnosti ovakvog načina učenja.

Abstract: This paper deals with a topic that belongs to interdisciplinary fields, that is, it connects teaching methodology and information technology. Tutoring support created at the Technical Faculty „Mihajlo Pupin” in Zrenjanin and intended for IV year students of the Information Technology study program was presented as a supplement to regular exercises on the subject Internet tools and services, which were conducted in the classroom. The PHP Laravel framework is covered through tutorials. Tutor support was used as a supplementary teaching tool in the winter semester 2022/2023. After the end of the class, a survey was conducted on students' views on the expediency of this way of learning.

1. UVOD

Ideja za rad proizašla je iz dugogodišnjeg rada autora na računarskim predmetima u visokom obrazovanju, ali i predmetima vezanim za metodiku nastave informatike. Takođe, problematika učenja programiranja i svakodnevno susretanje sa saznanjima da studenti rado uče sa tutorijala koje sami pronalaze na internetu. Masovna pojava informalnog učenja programiranja pomoću tutorijala, najčešće sa YouTuba, inicirali su autore da ponude studentima, a kasnije i učenicima srednjih škola, tutorsku podršku u vidu dodatnih nastavnih materijala.

Ovakav način podrške nastavi programiranja, po saznanjima autora, česta je pojava na visokoškolskim institucijama, a naročito je intenzivirana u vreme vanrednih pandemijskih

nastavnih okolnosti. Međutim, ova podrška je u potpunosti prepuštena entuzijazmu nastavnika i ne postoji jedinstvena institucionalna preporuka niti standardizacija.

Dakle, pripremljen je nastavni materijal u vidu seta tutorijala koji su sukcesivno postavljeni na Google učionici u skladu sa redovnom predviđenom dinamikom nastave. Obrađivani su konkretni primeri koji su usmeravali studente da samostalno rešavaju probleme koji su im zadavani na redovnim časovima. Pritom, obezbeđena je stalna korespondencija sa nastavnicima.

Nakon odslušanog semestra pristupilo se empirijskom istraživanju zasnovanom na stečenom iskustvu studenata. Sprovedena je anketa u kojoj su traženi odgovori o svrsishodnosti tutorske podrške i motivaciji i mišljenju studenata za ovakav način rada. Polazna pretpostavka je da studenti u velikoj meri koriste tutorijale iz neformalnih izvora za dopunu formalnih oblika obrazovanja iz oblasti programiranja, i da će imati pozitivan odnos prema dobijenoj tutorskoj podršci.

2. TEORIJE UČENJA

Metodika informatičkog obrazovanja je posebna naučna disciplina koja proučava zakonitosti procesa obrazovanja na specifičnim informatičkim sadržajima. Svaka metodika nastave, bez obzira na predmetnu oblast, ima karakter multidisciplinarnosti čime se izražava specifičan odnos između pedagoške i predmetnih nauka. „Multidisciplinarnost metodike informatičkog obrazovanja proizilazi iz specifičnih odnosa i relacija sa kibernetikom, informatikom, pedagogijom i didaktikom” [1]. S obzirom na svu složenost područja proučavanja metodike informatičkog obrazovanja jedan broj pedagoga i informatičara pokušava ukazati na potrebu podele ove discipline na više njenih grana ili područja. Takva podela se vrši u „zavisnosti od sadržaja i stupnja obrazovanja, pa imamo: metodiku početne nastave, metodiku nastave hardvera, metodiku nastave softvera, metodiku nastave programiranja u osnovnoj školi, metodiku nastave programiranja” [2].

Novi metodički pravci u efikasnom poučavanju informatičkih sadržaja, a naročito programiranja u poslednjoj deceniji ogleda se kroz nastavne metode koje proizilaze iz teoriji bihevizma, kognitivizma,

konstruktivizma i konektivizma. To su teorije koje se najviše izdvajaju po orijentisanosti na aktivan proces učenja, i interesantno je to što su nastale mnogo pre nastanka i primene digitalne tehnologije u nastavnom procesu. Kognitivna, bihevioristička i konstruktivistička su osnovne teorije učenja priznate i veoma su proučavane u pedagoškoj literaturi, ali savremene teorije učenja kao što je konektivistička, usko su vezane učenje programiranja [3].

Bihevioristička teorija je direktno primenjena na tutorijale koji služe za dril i vežbu. Temelji se na ponavljanju akcija od strane učenika. Kognitivne teorije učenja bave se psihološkim saznanjima koja objašnjavaju kako to čovek uči. U tome leže o ključni argumenti za njenu primenu u modelima učenja programiranja. Učenje po ovoj teoriji obuhvata mentalne procese: pamćenje, razmišljanje, apstrakciju, motivaciju i metakogniciju. Informacija pristigla iz spoljnog sveta putem čula zadržava se u senzornom skladištu manje od sekunde [3]. Ukoliko se odmah ne prebaci u kratkotrajnu memoriju biva zauvek izgubljena. Iz kratkotrajne memorije informacija se dostavlja u dugotrajnu memoriju samo ako je efikasno obrađena. Kognitivne teorije učenja proučavaju strategije i stilove učenja zbog efikasne obrade informacija na svakom od stadijuma pamćenja. Motivacija i podizanje pažnje učenika potrebni su da bi se informacija iz senzornog skladišta prebacila u kratkotrajnu memoriju. Neretko čujemo od učenika izjave tipa „učimo ono što nam nikada neće trebati“ koje govore u prilog ovoj teoriji.

Učenje programiranja se može posmatrati kroz konstruktivistički pristup prema kojem znanje nastaje aktivnošću učenika. Učenici sami stiču i "konstruišu" svoje znanje, nastavnici bi ih u tome samo trebali voditi i usmeravati. Upravo je to razlog sve prisutnijeg informalnog obrazovanja koje proizilazi iz sopstvenih interesovanja i svakodnevnih aktivnosti. Zadatak je nastavnika da učenicima osiguraju potrebne izvore informacija i druge materijale kojima će sopstvenom aktivnošću izgraditi svoje znanje. Znanje se, pak, stiče u socijalnom kontekstu te je šira društvena sredina u kojoj učenik stiče znanja od velike važnosti za proces učenja. Savremen koncept od nastavnika očekuje da nauče učenike kako da sami uče. Podsticanje učenika ka oblikovanju novih pojmova koji se povezuju sa ranije usvojenim algoritimima i ugrađuju u složene strukture na osnovu kognitivne aktivnosti i praktičnom iskustvu i delovanju. "Konstruktivizam je teorija učenja koja tvrdi da učenici konstruišu znanje, a ne samo primaju i pohranjuju znanje preneseno od strane nastavnika" [4].

Konektivistička, alternativna teorija učenja digitalnog doba, prvi put u literaturi spomenuta kao takva 2004. godine, postavlja učenika u središte obrazovnog procesa. Principi konektivizma zasnovani su na uočavanju povezanosti između različitih domena, ideja i koncepata. Konektivizam ističe veštine potrebne učenicima za uspeh u digitalnom dobu u kojem je sposobnost da naučimo ono što će nam biti

potrebno sutra mnogo važnija od onoga što znamo danas. Znanje se može opisati kao sistem koji obuhvata široko shvaćene entitete i relacije koje vladaju među tim entitetima. Konektivizam je teza da se znanje distribuira putem mreže veza koje vladaju među entitetima, a učenje je sposobnost umrežavanja.

3. METODIKA PROGRAMIRANJA

Pomenute teorije učenja primenjene na oblast programiranja mogu se direktno primeniti na tutorijale koji služe za dril i vežbu, odnosno ponavljanju akcija od strane učenika u cilju postizanja ishoda, ciljeva i zadataka nastave programiranja. Ishodi, ciljevi i zadaci nastave koji se strategijski i operativno utvrđuju, osnovni su kriterijumi za odabir i primenu nastavnih metoda i postupaka, jer savremena nastava je model nastave orijentisan ka cilju, a baziran na ličnim doživljajima učenika. Po Prodanoviću – svaka nastavna metoda „potvrđuje svoje vrednosti korelativnim odnosom prema ostalim nastavnim metodama"[11]. Prisutnost korelativnih veza jedne nastavne metode otkriva realne dimenzije njene primene u nastavnom radu. To znači da je optimalna efikasnost svake primenjene metode uslovljena dimenzijom njenih korelativnih didaktičkih veza. Ukoliko u svakoj nastavnoj situaciji deluje više svrsishodno povezanih nastavnih metoda, utoliko je efekat nastavnog rada zapaženiji i bolji, a takođe i rezultati takvog rada valjaniji, a funkcija metoda potpunija i delotvornija. Otkrivajući najfunkcionalniji korelativni odnos prema drugim metodama, u određenoj nastavnoj situaciji, nastavnik istovremeno izgrađuje najsigurniji oslonac za savremenu organizaciju nastavnog rada.

Ključno istraživačko pitanje je: da li studenti imaju pozitivan odnos prema tutorskim podrškama koje nastavnici pružaju?

Brojni autori koji se bave ovom tematikom ispituju efekte različitih načina učenja tražeći najpogodniji za usvajanje programerskih koncepata koji zbog apstraktnosti mogu biti vrlo kompleksni [5]. Kompleksnost uključuje sintaksu programskog jezika, algoritamski način rešavanja problema, razumevanje načina na koji mašina "razmišlja", imati predstavu o tome kako će se program izvršavati itd. Studenti se bore sa razumevanjem osnovnih koncepata programiranja i učenjem sintakse kako bi izgradili rešenje za postojeći problem [6]. Korišćenje aktivnog učenja integrisanog sa pedagoškim aspektima za poboljšanje studentovog iskustva učenja u programiranju i srodnim konceptima.

Tako kompleksan problem može delovati ponekad obeshrabrujuće, i dovesti do niske prolaznosti na ispitima, odustajanja studenata od programiranja. Formulirane su strategije učenja programiranja zasnovane na specifičnim metodičkim pristupima koje su se uglavnom zasnivale na aktivnom učenju koje uključuje korišćenje specijalizovanih platformi za učenje, didaktičke obrazovne softvere, timski rad ili radu u paru, problemsku i projektnu metodu.

Različita međunarodna i nacionalna ispitivanja [12] pokazala su nedovoljan kvalitet obrazovnih dostignuća učenika srednjih škola u Republici Srbiji kao i sklonost ka reprodukciji, a ne samostalnom istraživanju i formiranju veština u rešavanju problema. Shodno tome osim formalnih promena u nastavnim programima neophodno je didaktičko osavremenjivanje i inovacije u metodičkom pristupu u nastavi. Frontalni rad, tradicionalni pristup u ovom društvenom i civilizacijskom momentu ne može odgovoriti na ubrzane i multimedijalne zahteve ueničke percepcije. Na kraju srednjeg obrazovanja prelaskom u akademske obrazovne institucije često dolazi do situacija „studentskih anksioznosti“, odnosno suočavanja učenika sa sasvim novim konceptom učenja i ličnog angažovanja u učenju.

4. TUTORSKA PODRŠKA

Specifičnost koja je trenutno najprisutnija u informalnom obrazovanju IT stručnjaka, studenata pa i učenika kao i kod nekih tehničkih predmeta jesu digitalni zapisi u formi video tutorijala. Internet tržište preplavljeno je milionima takvih video materijala namenjenih informalnom učenju, odnosno „samoobrazovanju“. Troše se ogromne satnice na pronalaženje adekvatnog materijala, koji se često prekidaju i traže novi zbog neodgovarajućeg stila, neprofesionalnih predavača, loše sistematizacije gradiva, dužine trajanja i ostalih metodičkih karakteristika. Postoji naravno i veliki broj specijalizovanih YouTube kanala koji su se orijentisali na vrlo profesionalnu proizvodnju edukativnih materijala. Formalno obrazovanje previda i ignoriše činjenicu ogromne popularnosti ovakvog načina učenja, iako u tome leži izuzetan obrazovni potencijal.

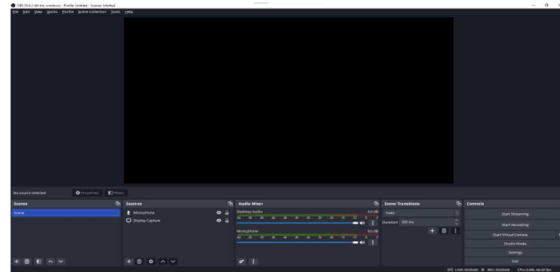
Primena tutorijala u nastavi po svojoj didaktičkoj orijentaciji spada u domen demonstrativno praktičnog rada. To su metode nastavnog rada koje omogućavaju inteziviranje senzualne, kreativne i radno - profesionalne aktivnosti učenika. Ova metoda se najuspešnije koristi kada se adekvatno kombinuje sa ostalim metodama rada u nastavi. Interaktivni računarski tutori - sistemi koji interaktivno isporučuju sadržaj za učenje - postali su sve prisutniji u onlajn postavkama za nastavne veštine kao što je kompjutersko programiranje. Istraživanja su pokazala efikasnost i efektivnost učenja programiranja od nastavnika, interaktivnih računarskih tutora i kombinacije oba. [7]

Tutorijal u tehničkom smislu predstavlja kontinuirano snimanje pokrenutih softverskih aplikacija na ekranu sa mogućnošću dodavanja audio komentara predstavlja screencasting i na taj način oblikuje materijal koji se može koristiti za kreiranje multimedijalnih uputstava. Alati koji snimaju video zapis svega što se događa na ekranu zajedno sa zvučnim signalom rezultuju video zapisom koji „tutorišu“ odnosno vode korisnika metodom „korak po korak“ kroz određen sadržaj u cilju usvajanja konkretne veštine. Tutorijali su stihijski pronašli svoje mesto u neformalnom učenju zahvaljujući prvenstveno dostupnosti besplatnih materijala na Internetu.

Vodeći servis YouTube postaje deo popularne kulture i ima značajan uticaj na mlade zbog lakoće pristupa i učenja [8], uključujući njihovu zavisnost od tutorijala za učenje, njihove kognitivne potrebe, u učenju veštine za razvijanje razumevanja određenog programa ili softvera od približnog početničkog nivoa [9]. U svom istraživanju Bringula [10] u kom su proučavane povratne informacije od strane korisnika YT koji su učili programski jezik C++, reči „hvala“ bile su najčešće reči u komentarima YouTube video snimka – što ukazuje na uvažavanje, korisnost i pozitivna osećanja prema video snimcima tutorijala.

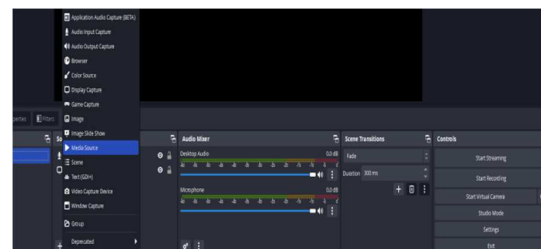
5. TUTORIJALI ZA PREDMET INTERNET ALATI I SERVISI - TIAS

Tutorijali iz paketa TIAS snimljeni su u aplikaciji OBS Studio, programu koji je besplatan i koji daje mogućnost strimovanje i snimanje korisničkog ekrana. Funkcionalnosti koje ovaj program obezbeđuje su brojne.



Slika 1. Prikaz OBS studio dashboard-a

Prilikom pokretanja programa, dobija se dashboard sa slike, gde je potrebno odabrati izvore podataka što je ujedino i prvi korak (u ovom slučaju pošto se snima ekran, potrebno je odabrati snimanje desktopa i zvuka preko mikrofona). Drugi korak bi bio odabir strimovanja preko interneta ili snimanje desktopa.

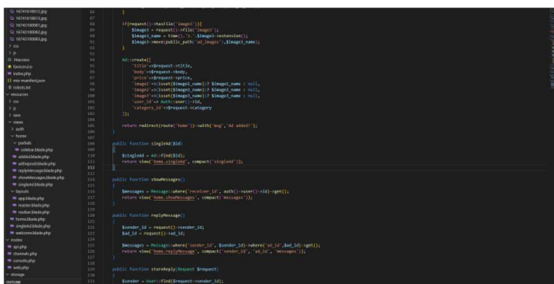


Slika 2. Odabir potrebnog moda za snimanje ekrana

Sadržaji koji su obrađeni vezani su za PHP framework Laravel:

- Kreiranje projekta u Laravel-u,
- Rad sa MySQL bazama podataka,
- Podešavanje .env fajla, rad sa migracijama i seederima,
- Rad sa rutama - 7 metoda

- Primena MVC patterna,
- CRUD sistemi,
- Rad sa materialize-om,
- Rad sa errors-ima,
- Uvod u rowsql,
- Resource controller i debug bar,
- node.js moduli za bootstrap,
- Query builders,
- Autentifikacija,
- Wabpack,
- Filteri za određene parametre,
- Poruke između dva korisnika.



Slika 3. Prikaz TIAS radnog okruženja

6. ISTRAŽIVANJE STAVOVA STUDENATA O TUTORSKOJ PODRŠCI

Podrška je sprovedena na uzorku od tridesetak studenata studijskog programa Informatične tehnologije tokom celog zimskog semestra. U pitanju je četvrta godina studija i predmet Internet alati i servisi. Paralelno uz redovne vežbe studentima je pružena podrška na način da se problemi koji su na redovnim časovima obrađivani snimaju u formi tutorijala sa dodatnim objašnjenjima. Na narednim časovima vrši se dodatna diskusija na bazi obrađenog materijala. Materijal je distribuiran studentima putem Google učionice i mogao se pratiti „stream“ ili preuzimanjem na klijentovoj mašini. Pritom je obezbeđena korespondencija od strane predmetnih nastavnika. Postoji saznanje do kog se došlo u neformalnim komunikacijama sa kolegama nastavnicima sa drugih visokoškolski ustanova, da je ovakav način podrške nastavi programiranja čest. Naročito je intenziviran u vreme pandemijskih nastavnih okolnosti, ali je proces u potpunosti prepušten entuzijazmu kolega i nepostojanju institucionalne standardizacije.

Nakon odslušanog semestra pristupilo se empirijskom istraživanju zasnovanom na stečenom iskustvu studenata, Nakon odslušanog semestra pristupilo se empirijskom istraživanju zasnovanom na stečenom iskustvu studenata, Realizovana je anketa u kojoj su traženi odgovori o svrsishodnosti tutorske podrške i motivaciji za ovakav rad. Polazna pretpostavka je da studenti u velikoj meri koriste

neformalne izvore za dopunu formalnih oblika obrazovanja iz oblasti programiranja. Odgovori studenata analizirani su deskriptivnom i korelativnom metodom.

Q	Min	Max	Mean	Sdev.
Q1	1	4	1.79	1.045
Q2	1	2	1.28	0.525
Q3	1	3	2.36	0.503
Q4	1	3	1.44	0.595
Q5	1	3	1.54	0.581
Q6	1	3	1.33	0.503
Q7	1	4	1.34	0.801
Q8	1	2	1.45	0.476
Q9	1	3	1.51	0.657
Q10	1	2	1.17	0.428

Tabela 1: Deskriptivna statistika odgovora

Detektovan je statistički značajan korelacioni odnos između odgovora studenata koji redovno pohađaju nastavu jer upravo oni smatraju da su im tutorijali pomogli u savladavanju gradiva (Pearson koeficijent korelacije 0.415).

Takođe, zanimljivi su i sledeći nalazi:

- 100 % studenata je izjavilo da koristi tutorijale sa interneta za samostano učenje programiranja.
- 81,82% studenata je izjavilo da koristi pretežno YouTube kao izvor za pretragu tutorijala.
- 95,45% anketiranih su izjavili da su im tutorijali pomogli da steknu kvalitetnije znanje
- 95% studenata koristi tutorsku podršku TIAS kao dopunu redovnim vežbama, i svi oni smatraju da su im tutorijali pomogli da brže savladaju gradivo.

Akademске izvore koristi svega 13% studenata.

7. DISKUSIJA REZULTATA

Dobijeni rezultati istraživanja prvenstveno ukazuju da ssvi studenti koriste tutorijale u informalnom procesu učenja. Takođe, impliciran je zaključak da su stavovi studenata vrlo pozitivni prema ovakvom pruženoj tutorskoj podršci. Kao osnovne kvalitete ovog načina učenja vide u:

- personalizovanoj dinamici rada (mogućnost prilagođavanja tempa i dinamike rada) 72,73%
- osećaj sigurnosti zbog mogućnosti ponavljanja dela gradiva koliko god im je potrebno 72,73%
- detaljan prikaz radne površine i očiglednosti postupaka 76,55%
- način rada je aktuelan i savremen 45,45%
- brže savladavanje gradiva nego uz klasičnu literaturu 40,91%
- i drugi.

Međutim, kao nedostatke tutorske podrške IAS vide:

- nedostatak direktne komunikacije sa nastavnikom 63,64%
- nedostatak direktne komunikacije sa kolegama 31,82%
- lakši rad u timu nego individualno 9%
- i drugo.

Interesantno je da 68,18% studenata smatra da su tutorijali odlična dopuna vežbi, ali da se uživo časovi neophodni i nezamenljivi, dok 31,82% misli da nastava uživo nije ni potrebna uz ovakve materijale.

8. ZAKLJUČAK

U radu su analizirana pojedina metodička pitanja nastave programiranja koja se konkretno odnose na efikasnost primene tutorske podrške studentima na studijskom programu Informacione tehnologije, na predmetu Internet alati i servisi. Rezultati istraživanja pokazali su očekivano visoku stopu formiranih navika studenata da koriste YouTube izvore za učenje programiranja. Iz inicijalnih tutorskih materijala kreiranih tokom pandemije i „on-line” nastave proizašla je i realizovana je ideja kontrolisane tutorske podrške uz redovnu neposrednu nastavu. Materijal je dopunjavani i unapređeni te je prerastao u ozbiljnu digitalnu biblioteku koja je plasirana studentima sukcesivno, u skladu sa nastavnom dinamikom. Tokom semestra je potvrđen afinitet studenata za ovakvim načinom rada te je pripremljena i sprovedena anketa o motivisanosti studenata da rade na ovakav način. Rezultati istraživanja pokazali su pozitivan stav studenata prema ovakvom vidu tutorske podrške. Kao pozitivne strane ovakvog načina rada istakli su: dostupnost materijala i „negubljenje vremena u lutanju po Internetu”, personalizovanost dinamike rada, osećaju sigurnosti u radu, principi očiglednosti i postepenosti, mogućnost prilagođavanja svom vremenskom rasporedu i bioritmu, kao i mogućnosti ponavljanja više puta pojedinih sekvenci. Pritom, studenti su ukazali da je prisutnost nastavnika i direktna komunikacija sa kolegama nezamenljiva. Sveukupan doprinos ovog rada moguće je posmatrati sa dva aspekta: naučnog i praktičnog. Prvi potreban radi sistematizacije dosadašnje naučne spoznaje o predmetu istraživanja i njegova integracija sa novim. S druge strane, praktični doprinos je formalizovanje ogromnog potencijala interneta i svetske baze znanja u realizaciji zadatih obrazovnih ciljeva i ishoda u informatičkom obrazovanju, što je svakako i jedan od zadatih pravaca u daljim istraživanjima. ovakav način podrške nastavi programiranja čest.

NAPOMENA

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije u okviru projekta TR-32044 „Razvoj softverskih alata za analizu i poboljšanje poslovnih procesa“, 2011.

LITERATURA:

- [1] Branković D, Mandić, D. (2015) Metodika informatičkog obrazovanja sa osnovama informatike, Učiteljski fakultet Beograd
- [2] Sotirović V., (2000) Metodika informatike, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin” Zrenjanin
- [3] Glušac, D. (2014) Elektronsko učenje, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin” Zrenjanin
- [4] Bubica, N. (2014). Strategije poučavanja i faktori koji utječu na unapređenje znanja programera početnika.
- [5] Đorić, B. (2022). Analiza efekata primene različitih platformi za učenje programiranja
- [6] Imbulpitiya, A., Kodagoda, N., Gamage, A., & Suriyawansa, K. (2020). Using active learning integrated with pedagogical aspects to enhance student’s learning experience in programming and related concepts. In *International Conference on Interactive Collaborative Learning* (pp. 218-228). Springer, Cham.
- [7] Shen, R., Wohn, D. Y., & Lee, M. J. (2019, May). Comparison of learning programming between interactive computer tutors and human teachers. In *Proceedings of the ACM Conference on Global Computing Education* (pp. 2-8).
- [8] Maziriri, E. T., Gapa, P., & Chuchu, T. (2020). Student Perceptions towards the Use of YouTube as an Educational Tool for Learning and Tutorials. *International Journal of Instruction*, 13(2), 119-138.
- [9] Iftikhar, M., Riaz, S., & Yousaf, Z. (2019). Impact of YouTube Tutorials in Skill Development among University Students of Lahore. *Pakistan Journal Of Distance And Online Learning*, 5(2), 125-138.
- [10] Bringula, R. P., Victorino, J. N., Leon, M. M. D., & Estuar, R. (2019, October). Cluster and sentiment analyses of YouTube textual feedback of programming language learners to enhance learning in programming. In *Proceedings of the Future Technologies Conference* (pp. 913-924). Springer, Cham.
- [11] Prodanović, T. (1967). Nastavne metode, Naša škola : časopis za pedagoška pitanja Vol. 18, br. 3-4, str. 134-150
- [12] Jovanović-Gavrilović, B., & Radivojević, B. (2017). Education of population for the future and the future of education. *Stanovništvo*, 55(1), 63-85.



YU-S2-RZF: Sesija 2

Računarske mreže, zaštita podataka i digitalna forenzika

ODRŽIVI RAZVOJ U ELEKTRONSKIM KOMUNIKACIJAMA SUSTAINABILITY IN ELECTRONIC COMMUNICATION

Zoran Janković

Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge

Sadržaj – U ovom radu analizira se pojam održivog razvoja u elektronskim komunikacijama. Pored definicije u užem i širem smislu, analizira se udeo pojedinačnih segmenata IKT sektora u emisiji GHG, uticaj elektronskih komunikacija na životnu sredinu, faze uticaja EKM na životnu sredinu, praćenje emisije GHG kao i mere i inicijative u cilju pospešivanja održivog razvoja. U radu se koriste analize do koje su došle relevantne evropske i svetske institucije (BEREC i ITU) kao i nezavisna istraživanja.

Abstract – In this paper analysis of the concept of sustainable development in electronic communications is presented. In addition to the different sustainability definitions, the share of individual segments of the ICT sector in GHG emissions, the environmental impact of electronic communications, the main phases in which ECNs have distinct environmental impacts, monitoring emissions and climate commitments as well as measures and initiatives aimed at promoting sustainable development are analyzed. The work uses papers by relevant European and world institutions (BEREC and ITU) as well as independent research.

1. DEFINICIJA ODRŽIVOG RAZVOJA

Iako nema jedinstvene i univerzalne definicije pojma održivog razvoja, najčešće se koristi definicija Svetske komisije za okruženje i razvoj pri Ujedinjenim nacijama: Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjice, ne dovodeći u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe. U širem smislu, održivi razvoj podrazumeva ravnotežu između potrošnje resursa i sposobnosti obnavljanja prirodnih sistema. Ujedno, održivi razvoj predstavlja integralni ekonomski, tehnološki, socijalni i kulturni razvoj, usklađen sa potrebama zaštite i unapređenja životne sredine, koji omogućava sadašnjim i budućim generacijama zadovoljavanje njihovih potreba i poboljšanje kvaliteta života.

Održivi razvoj se najčešće dovodi u vezu sa zaštitom životne sredine, odnosno nastojanjem da se zabrinutost za opstanak živog sveta na planeti Zemlji poveže sa očuvanjem prirodnih resursa i brojnim ekološkim izazovima koji stoje pred svakim društvom, državom i čovečanstvom u celini.

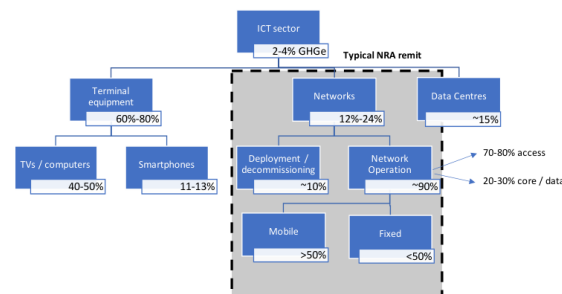
Ugroženost životne sredine se prvenstveno reflektuje u ekološkim izazovima i problemima kao što su: globalno zagrevanje, smanjivanje ozonskog omotača, „efekat staklene bašte“, nestanak šuma, pretvaranje plodnog zemljišta u pustinje, pojava kiselih kiša, izumiranje životinjskih i biljnih vrsta i sl.

2. ODRŽIVI RAZVOJ U ELEKTRONSKIM KOMUNIKACIJAMA

Elektronske komunikacione mreže (EKM) igraju suštinsku ulogu u omogućavanju zelene i digitalne tranzicije. Digitalizacija obećava da će doneti osetne dobitke u efikasnosti koje će dovesti do značajnog smanjenja emisija gasova staklene bašte (*Greenhouse gases*, GHG). Istovremeno, uticaj digitalnog sektora na životnu sredinu se povećava sa povećanjem potrošnje energije. Stoga je važno dobro razumeti uticaj na životnu sredinu koji mogu imati elektronske komunikacione mreže i digitalni sektor u celini.

Strategija BEREC-a (*Body of European Regulators for Electronic Communications*) 2021–2025 navodi da će procenjivati načine da se konstruktivno doprinese ekološkoj održivosti, kako interno (u vođenju BEREC-a kao organizacije), tako i eksterno (procenom mogućeg uticaja koji možemo imati kao regulatori).

U svom izveštaju [1], BEREC naglašava nedostatak dostupnih standardizovanih podataka i heterogenost metodologije za procenu uticaja digitalnog sektora na životnu sredinu, kao i u pogledu emisije GHG. Uzimajući u obzir ova ograničenja, prema različitim studijama, IKT sektor predstavlja procenjeno učešće od 2–4% ukupnih globalnih emisija GHG, pri čemu se 12–24% ovog udela pripisuje mrežama, 60–80% uređajima i oko 15% data centrima (slika 1). Iako je procenat emisije GHG uzrokovane IKT sektorom možda čini niskim u poređenju sa drugim sektorima, tempo godišnjeg porasta digitalne potrošnje (obim podataka, broj uređaja, itd.) nameće potrebu da se pomno prati putanja emisija i da se zajednički deluje kako bi se sprečilo povećanje emisija GHG u skladu sa evropskim i međunarodnim klimatskim ciljevima.



Slika 1: Udeo pojedinačnih segmenata IKT sektora u emisiji GHG

Štaviše, druge vrste uticaja na životnu sredinu treba uzeti u obzir koja ostaju u velikoj meri nedokumentovana, kao što su iscrpljivanje metalnih i mineralnih resursa i eksploatacija fosilnih zaliha.

Ako posmatramo elektronske komunikacione mreže, karbonski otisak u toku životnog ciklusa se može grupisati u tri faze: implementacija, aktivan rad i stavljanje van upotrebe (dekomisija).

Većina emisija elektronske komunikacione mreže pripisuje se fazi rada, što prema proceni dostiže i do 90%. Tokom protekle dve decenije internet saobraćaj je značajno porastao, ali je to dovelo do umerenog povećanja potrošnje energije EK mreža i data centara i povezane emisije zbog visokog povećanja efikasnosti. Međutim, s obzirom na fizičke granice unapređenja energetske efikasnosti i povratnih efekata, brzi rast data saobraćaja i pojava novih tehnologija i upotrebe (npr. *blockchain*, *IoT*, *metaverse*) mogu dodatno uticati na potrošnju energije elektronskih komunikacionih mreža i emisije GHG.

Pariski sporazum je prvi pravno obavezujući sporazum koji postavlja zajednički okvir za ograničenje globalnog zagrevanja znatno ispod 2°C, a posebno u nastojanjima da se ono ograniči na 1,5°C iznad predindustrijskih nivoa. Implementacija ovog sporazuma usko je povezana sa postizanjem Agende za održivi razvoj UN 2030 [2] usvojene tri meseca pre COP21 [3], oslanjajući se na 17 ciljeva održivog razvoja u cilju akcija za smanjenje emisije gasova staklene bašte i izgradnje klimatske otpornosti. Nove tehnologije će igrati ključnu ulogu u postizanju ovih ciljeva i suočavanju sa budućim društvenim izazovima, ističući važnost promovisanja razvoja IKT-a i povezanosti kao preduslova razvoja kao ključnog pokretača ekološke tranzicije.

Međutim, pozitivna uloga digitalnih tehnologija u dekarbonizaciji privrede ne bi trebalo da bude prepreka za sam digitalni sektor da se pridržava međunarodnih i evropskih ekoloških ciljeva.

Iako je procenat emisija GHG unutar IKT sektora i dalje nizak u poređenju sa drugim sektorima, tempo godišnjeg rasta digitalne potrošnje (obim podataka, broj uređaja i sl.) pokazuje potrebu da se pomno prati putanja emisije. Što se tiče potencijalnog povećanja karbonskog otiska digitalnog sektora, procene imaju tendenciju da variraju zbog nedostatka predvidljivosti različitih parametara, metodologije kao i brze evolutivne prirode digitalne ekonomije. Neke studije predviđaju da bi povećanje emisija IKT moglo činiti do 6–14% (sa trenutnih 2–4%) globalnih emisija GHG do 2040. godine ako se ne preduzmu neke mere (ova cifra ne uzima u obzir potencijalne povratne efekte).

Energetska efikasnost digitalne infrastrukture je tokom poslednje decenije omogućila da se ograniči povećanje emisija GHG povezanih sa data centrima i EK mrežama uprkos porastu saobraćaja podataka. Kao primer, koji se tiče elektronske komunikacije, studija zasnovana na podacima koje je za BEREC prenela grupa operatora u prethodnih nekoliko godina ukazuje da je potrošnja električne energije njihovih mreža ostala uglavnom stabilna uprkos porastu obima podataka. Na duge staze u procesu praćenja karbonskog otiska digitalne infrastrukture takođe treba da se uzme u obzir brze

inovacije unutar sektora kao i fizička ograničenja energetske efikasnosti.

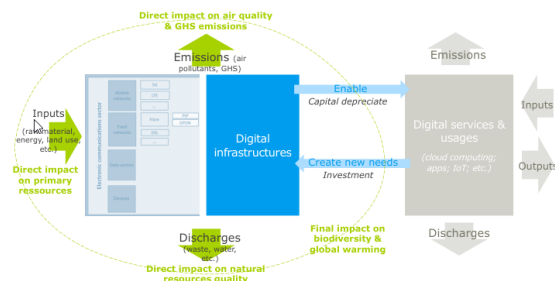
Osim emisija GHG, drugi bitni uticaji na životnu sredinu povezani sa IKT infrastrukturom koji su relevantni za razmatranje su sirovine i prirodni resursi (fosilni izvori energije i minerali) potrebni proizvođačima uređaja, data centrima i mrežnoj oprema. Procenjuje se da je 40% uticaja digitalnih tehnologija na životnu sredinu zbog iscrpljivanja metalnih resursa (uključujući elemente retkih zemalja) i korišćenja fosilnih resursa, uglavnom povezana sa proizvodnjom digitalnih uređaja i opreme. Na primer, za neke sirovine kao što su indijum, galijum i germanijum, koji su od najveće važnosti u proizvodnji poluprovodnika, digitalna ekonomija predstavlja 80–90% ukupne potrošnje.

Ovo bi moglo predstavljati izazov za buduće politike održivosti u uslovima obezbeđivanja lanca snabdevanja jer će ovi materijali verovatno biti potrebni u zelenoj energetskej tranziciji (npr. u solarnim panelima i vetroturbinama). Pored toga, funkcionisanje data centara zahteva značajnu količinu prirodnih resursa, posebno u pogledu ekstrakcije vode i potrošnje energije.

Iako je povezanost ključni faktor za dekarbonizaciju drugih sektora, jasno je da IKT sektor, kao i svaki drugi sektor, treba da bude svestan sopstvenog ekološkog otiska i da ima za cilj da ga ograniči. Kao takva, održivost životne sredine je oblast od sve većeg interesovanja za ovaj sektor i evropske javne vlasti, uključujući nacionalna regulatorna tela u okviru BEREC-a.

3. UTICAJ ELEKTRONSKIH KOMUNIKACIJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Kao što je prikazano na slici 2, digitalne infrastrukture su povezane sa različitim uticajima na životnu sredinu. To uključuje upotrebu sirovina i ispuštanje/oslobađanje u fazi korišćenja energije u fazi proizvodnje i rada koji doprinose emisiji GHG kao i drugih zagađivača. Konstrukcija elemenata mreže takođe može imati uticaj na biodiverzitet i stvarati poremećaje i zagađenje bukom.



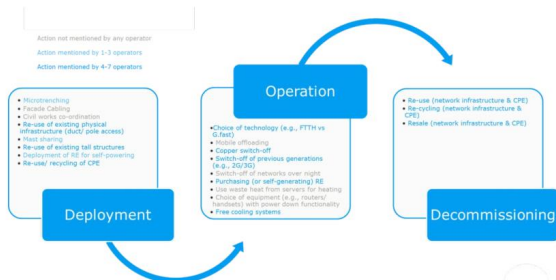
Slika 2: Pregled uticaja EK mreža na životnu sredinu

Prema eksternoj studiji [4], budućnost emisije GHG iz IKT sektora biće u korelaciji sa dva suprotstavljena efekta: sa jedne strane, povećane emisije uzrokovane povećanom upotrebom i prenosom podataka i sve većim brojem uređaja, a sa druge strane povećanjem energetske efikasnosti i oslanjanje na obnovljivu energiju.

Fokus studije je na otisku (uticaju) elektronske komunikacione mreže na životnu sredinu.

U tom smislu, na osnovu posmatranja životnog ciklusa mogu se identifikovati tri glavne faze u kojima EKM imaju različite uticaje na životnu sredinu:

- Faza implementacije (Deployment);
- Faza rada (Operation);
- Faza stavljanja van upotrebe (Decommissioning)



Slika 3: Faze uticaja EKM na životnu sredinu

Faza implementacije uključuje, između ostalog, proizvodnju mrežnih komponenti i građevinske radove koji se odnose na ugradnju opreme, s tim da se ovo poslednje mora uzeti u obzir uticaje različitih metoda izgradnje i implementacije (već izgrađeno okruženje ili zelena površina).

Faza rada uključujući, između ostalog, i svakodnevni rad mreže kao i održavanje, odgovorna je za najveći udeo emisija GHG. Proizvođači procenjuju da faza rada čini do 90% ukupne emisije GHG u EKM. Shodno tome, i tehnologija same mreže kao i upotreba mreže igra značajnu ulogu u određivanju uticaja ove faze na okruženje. Ova faza je relativno dobro obuhvaćena postojećim standardima (koji zahtevaju dalje usaglašavanje kako bi se obezbedila uporedivost).

Povećanje efikasnosti u fazi rada može da ograniči povećanje potrošnje energije digitalne infrastrukture i povezane emisije GHG.

Faza stavljanja van upotrebe (dekomisija) uključujući između ostalog fizičko odstranjivanje mrežnih komponenti i upravljanje otpadom, zahteva razmatranje količine i kvaliteta otpada (da li se može reciklirati).

4. PRAĆENJE EMISIJE GHG

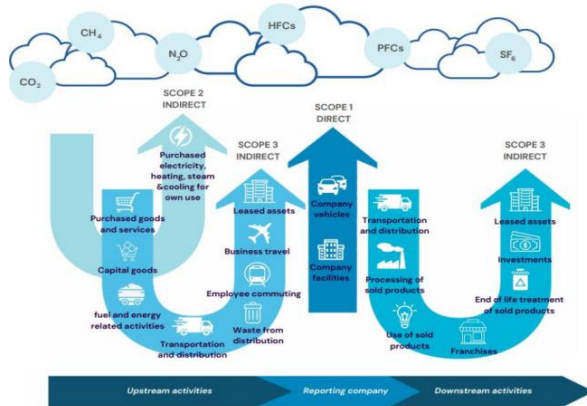
Širok spektar standarda u vezi sa emisijama gasova obezbeđuje metodologije za procenu i izveštavanje o korišćenju energije i emisije GHG, kao što su ITU standardi (Preporuka ITU-T L.1420) i smernice Međunarodne organizacije za standarde ISO (ISO 14064).

Pored toga, mnoge kompanije prate Protokol o gasovima sa efektom staklene bašte (korporativni standard računovodstva i izveštavanja) kako bi izračunale svoje emisije ekvivalenta ugljen-dioksida za koje su objavljene

specifične smernice za sektor IKT. Protokol [5] identifikuje tri „oblasti“ u vezi sa emisije GHG (slika 4).

Emisije iz oblasti 1 su one koje proizilaze direktno iz rezultata poslovanja kompanije kao što je nabavka i korišćenje dizela i drugih vrsta goriva.

Oblast 2 se odnosi na indirektno emisije koje ne kontroliše kompanija, kao što su one koje obezbeđuje komunalno preduzeće. Glavni pokretač emisija u ovom obimu je električna energija koja se koristi za napajanje poslovnih zgrada, fabrike, telekomunikaciona infrastruktura i data centri.



Slika 4: Različite oblasti emisije GHG jedne kompanije

Oblast 3 se odnosi na emisije koje se odnose na aktivnosti kompanije (“na gore” - upstream i “na dole” - downstream).

Na primer, ovo bi uključivalo dobavljače koje kompanije za digitalni hardver angažuju na spoljnim poslovima za njihove proizvodne potrebe. Takođe uključuje emisije iz upotrebe proizvoda iz uređaja kao što su računari i pametni telefoni koje prodaju digitalne kompanije. Iako su emisije iz oblasti 3 deo ukupnog otiska kompanije, one nisu deo operativnih emisija kompanije, već se mogu pripisati drugoj kompaniji.

Postoji 15 kategorija emisija obima 3 (Tabela 1).

Aktivnosti “na gore” (Upstream)		Aktivnosti “na dole” (Downstream)	
1	Kupovina robe i usluga	9	Transport i distribucija “na dole”
2	Kapitalna dobra	10	Procesiranje i prodaja
3	Gorivo i energija	11	Korišćenje prodatih proizvoda
4	Transport i distribucija “na gore”	12	Tretman prodatih proizvoda koji su završili radni vek
5	Otpad generisan u operacijama	13	Najam dobara “na dole”
6	Poslovna putovanja	14	Poslovnice
7	Prevoz zaposlenih	15	Investicije
8	Najam dobara “na gore”		

Tabela 1: Aktivnosti kompanije po kategorijama

5. MERE I INICIJATIVE U CILJU POSPEŠIVANJA ODRŽIVOG RAZVOJA

U cilju pospešivanja održivog razvoja moguće je sprovesti niz praktičnih mera [6]. Njihov fokus je na smanjenju emisije GHG i drugih uticaja na životnu sredinu na različite načine kao što je povećanje energetske efikasnosti uključujući obnovljive izvore energije, upravljanje otpadom sa ciljem nulte stope otpada operacije, održivo korišćenje vode ili izbegavanje upotrebe toksičnih supstanci

Relevantne radnje u pojedinim fazama mogu biti:

- Faza postavljanja:
korišćenje mikrorovova;
ponovna upotreba iskopanog materijala;
deljenje mreža između operatera;
eko-dizajn modema, mobilnih telefona i opreme.
- Faza rada:
povlačenje iz upotrebe starijih tehnologija;
optimizacija energetske efikasnosti mreža;
alternativne i inovativne tehnike hlađenja;
gašenje opreme noću.
- Faza dekomisije:
ponovna upotreba;
repariranje;
recikliranje;
smanjenje otpada.

Pored ove tri faze, moguće inicijative su: povećanje svesti kupaca o uticaju uređaja na životnu sredinu i postavljanje ciljeva za dobavljače u pogledu zaštite životne sredine.

Posebne mere za digitalnu opremu i proizvode (kao što su televizijski ekrani, laptopovi, pametni telefoni, povezani objekti, itd.) mogu uključivati sledeće aktivnosti:

- Usvajanje izmenjene direktive o radio opremi u cilju uspostavljanja jedinstvenog i zajedničkog rešenja punjača za elektronske uređaje u EU, u cilju uštede do 10.000t elektronskog otpada svake godine;
- Podsticanje razvoja održivije i dugotrajnije opreme i proizvoda, na primer poboljšanjem mogućnosti popravke i postavljanjem minimuma zahteva kod proizvoda kroz eko-dizajn i energetske efikasne rešenja;
- Borba protiv planirane zastarelosti softvera i hardvera u cilju povećanja veka trajanja digitalne opreme i proizvoda, jačanjem mera u pogledu transparentnosti kao i sektora za popravke, reparaciju i ponovnu upotrebu – sve u cilju težnje na prelazak na cikličnu ekonomiju.

Ovo potezi će doprineti i smanjenju zavisnosti, jer se trenutno većina digitalnih uređaja proizvodi van EU a samo 40% elektronskih uređaja se trenutno reciklira unutar EU.

6. ZAKLJUČAK

Digitalne tehnologije se smatraju ključnim elementima za odgovor na klimatske izazove i postizanje međunarodnih i evropskih ekoloških ciljeva uključujući i Pariski sporazum i Evropski zeleni dogovor. U tom pogledu, povezanost bi bila ključni faktor za dekarbonizaciju drugih sektora, uključujući energetiku, transport i poljoprivredu. Procene aktera IKT industrije navode da bi digitalna rešenja mogla omogućiti smanjenje oko 15–20% globalnih emisija GHG iz drugih sektora.

Pojavilo se više inicijativa kako bi se doprinelo upravljanju uticaja IKT na životnu sredinu. Akteri iz industrije telekomunikacija počeli su da preduzimaju akcije za promovisanje održivosti pri postavljanju mreža. Pored toga, potrošači i organizacije civilnog društva imaju značajan doprinos podizanju nivoa znanja o uticaju digitalnog sektora na životnu sredinu.

Brojne relevantne organizacije se suočavaju sa ovim izazovom: Evropska komisija, Evropski Savet, Evropski parlament, BEREC, ETSI i CEN-CENELEC. Preko potrebna zelena tranzicija digitalnog sektora je takođe oblast rada na međunarodnom nivou predvođena inicijativama koje vodi ITU, IEA i OECD.

Dok je održivost nova tema za telekomunikacione regulatore, neke regulatorne mere prema EECC (*European Electronic Communications Code*) i sektorskim direktivama mogu imati pozitivne efekte na životnu sredinu.

Imajući u vidu aktuelni regulatorni okvir EU i nacionalne specifičnosti, razmena iskustava i tehničkog znanja unutar BEREC-a može da deluje kao instrument za nacionalne regulatore da unaprede svoj rad na održivosti i doprinesu ograničavanju uticaja digitalnog sektora na životnu sredinu.

LITERATURA

- [1] Report on Sustainability Assessing BEREC's contribution to limiting the impact of the digital sector on the environment, BEREC BoR (22) 93, Body of European Regulators for Electronic Communications, June 2022.
- [2] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, United Nations, October 2015.
- [3] The Paris Agreement, United Nations Climate Change Conference, COP 21, Paris, December 2015.
- [4] Environmental impact of electronic communications, WIK-Consult and Ramboll, Study commissioned by BEREC, December 2021.
- [5] Greening digital companies: Monitoring emissions and climate commitments, International Telecommunication Union and World Benchmarking Alliance, June 2022.
- [6] Toulouse Call for a Green and Digital Transition in the EU, June 2022.

KORISNIČKI INTERFEJS NOVE GENERACIJE ZA ZAŠTITU OSETLJIVIH GRUPA KORISNIKA NEXT GENERATION USER INTERFACE FOR THE PROTECTION OF VULNERABLE GROUPS OF USERS

Milan Čabarkapa¹, Mina Vasković Jovanović¹
Marijana Gavrilović Božović¹, Jasna Radulović¹
Fakultet inženjerskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu¹

Sadržaj – Najnovija istraživanja pokazuju da veštačka inteligencija ima veliki potencijal u detekciji različitih vrsta onlajn pretnji. U isto vreme, rešenja koja su trenutno implementirana zavise od konkretne aplikacije i ne mogu raditi na nivou operativnog sistema. Drugim rečima, rešenja koja su implementirana na nivou korisničkog interfejsa, tj. interakcije čovek-računar (eng. Human-computer interaction) još uvek nisu ugledala svetlost dana u realnom svetu i pomaci u nauci u ovom pravcu mogu značajno doprineti zaštiti osetljivih grupa korisnika na internetu. Imajući to u vidu, autori predlažu unapređenje trenutnih rešenja primenjujući metodološke principe iz oblasti interakcije čovek-računar i spuštanje velikog dela implementacije na nivo operativnog sistema. Ovakav pristup će dovesti do potpunog agnosticizma u smislu zavisnosti od aplikativnog nivoa trenutnih rešenja na bazi veštačke inteligencije i mašinskog učenja.

Na osnovu rezultata implementiranog projekta H2020 NGI_Trust C.A.S.P.E.R., u ovom radu će biti predložen novi smer istraživanja ka potpunom ispitivanju i implementaciji inicijalnih rezultata ovog EU projekta. Da bi se ovo postiglo, saradnja dve grupe eksperata je neophodna. Prvo su AI (Artificial Intelligence) istraživači koji se bave primenom AI na različitim tipovima podataka: tekst, govor i audio, kao i slika i video. Drugo su istraživači u oblasti naprednih softverskih arhitektura koji bi mogli da sprovedu kodiranje naprednih rešenja od nivoa operativnog sistema, preko dizajniranja sistema, pa sve do nivoa aplikacije. Dalje, određene karakteristike moraju biti ugrađene na nivou operativnog sistema, da bi se odgovorilo na neadekvatne i zlonamerne sadržaje u realnom vremenu. U radu će biti razmotreno i prilagođavanje predloženog rešenja uređajima poput telefona i tableta. Specifičnosti mobilnih uređaja se itekako moraju uzeti u obzir, kako u smislu metodologije zasnovane na veštačkoj inteligenciji, tako i same implementacije rešenja na nivou interakcije čovek-računar, tj. na nivou operativnog sistema uređaja. Ovim aspektima će se dati poseban fokus u ovom istraživanju i biće prezentovane razlike u odnosu na rezultate i arhitekture rešenja koja se predlažu za standardne PC računare i laptopove.

Abstract - The latest research shows that artificial intelligence has great potential in detecting different types of online threats. At the same time, the solutions that are currently implemented depend on the specific application and cannot work at the level of the operating system. In other words, solutions that are implemented at the user interface level (human-computer interaction) has not yet

seen the light of day in the real world. Advances in science in this direction can significantly contribute to the protection of sensitive groups of users on the Internet. Having this in mind, the authors suggest improving current solutions by applying methodological principles from the field of human-computer interaction and putting a large part of the implementation to the level of the operating system.

Based on the results of the implemented H2020 NGI_Trust C.A.S.P.E.R project, this paper will propose a new direction of research towards a complete examination and implementation of the initial results of this EU project. In order to achieve this, the cooperation of two groups of experts is necessary. First group consists of AI (Artificial Intelligence) researchers who apply AI to different types of data: text, speech and audio, as well as image and video. Second group consists of researchers in the field of advanced software architectures who could implement the coding of advanced solutions from the operating system level, through system design, until the application level. Furthermore, certain features must be built in at the operating system level to respond to inappropriate and malicious content in real time. Adaptation of the proposed solution to devices such as phones and tablets will also be discussed in the paper. The specifics of mobile devices must be taken into account, both in terms of the methodology based on artificial intelligence, and the implementation of the solution at the level of human-computer interaction (operating system level). These aspects will be given special focus in our future research and differences will be presented in relation to the results and solution architectures proposed for standard PCs and laptops.

1. UVOD

Trenutna tehnološka rešenja za zaštitu dece na internetu mogu se opisati kroz sledećih nekoliko grupa rešenja:

- Softver za roditeljsku kontrolu (eng. *Parental Control Software*): Ovaj softver omogućava roditeljima da prate i kontrolišu onlajn aktivnost svoje dece, uključujući pristup određenim veb lokacijama, aplikacijama i onlajn uslugama. Softver za roditeljsku kontrolu takođe može ograničiti vreme korišćenja uređaja i blokirati pristup neodgovarajućem sadržaju [1]-[3].
- Sigurno pretraživanje (eng. *Safe Search*): Sigurno pretraživanje je funkcija dostupna na većini pretraživača koja omogućava korisnicima da

filtriraju eksplicitan ili sadržaj namenjen odraslima iz svojih rezultata pretrage [4]-[6].

- Praćenje društvenih medija (eng. *Social Media Monitoring*): Neki društveni mediji nude funkcije koje omogućavaju roditeljima da prate aktivnosti svoje dece na društvenim medijima, uključujući njihove objave, poruke i prijatelje [7]-[9].
- Filtriranje sadržaja (eng. *Content Filtering*): Alati za filtriranje sadržaja blokiraju pristup veb lokacijama ili aplikacijama sa neodgovarajućim sadržajem, kao što su pornografske ili kockarske veb stranice [10]-[12].
- Obrazovni alati (eng. *Educational Tools*): Obrazovni alati se mogu koristiti za podučavanje dece o bezbednosti, privatnosti i sigurnosti na internetu. Ovi alati mogu biti u obliku igara, video zapisa ili interaktivnih resursa [13]-[15].
- Otkrivanje *cyberbullying*-a (eng. *Cyberbullying Detection*): Neki programi i usluge mogu otkriti slučajeve *cyberbullying*-a analizirajući onlajn aktivnost i identifikujući obrasce uznemiravanja ili agresije [16]-[18].
- Roditeljske kontrole na uređajima (eng. *Parental Controls on Devices*): Mnogi uređaji, uključujući pametne telefone, tablete i igraće konzole, nude funkcije za roditeljsku kontrolu koje omogućavaju roditeljima da prate i kontrolišu onlajn aktivnost svoje dece na uređaju [19]-[21].

Internet i računarski sistemi imaju i druge ranjive grupe korisnika poput starih ljudi, kao i što pojedine zemlje i regioni imaju potrebu za specifičnim vidovima zaštite kao odgovor na napade koji su kontekstualno mogući isključivo u tim zemljama i regionima.

Trenutna rešenja imaju velika ograničenja i fokusiraju se na jedan tip napada i aplikacije, a gledano u odnosu na današnje izazove to je potpuno nedovoljno. Iz svih ovih razloga je proizašla i motivacija autora u radu [22]. Naša ideja je nastavak u ovom pravcu kroz implementaciju rešenja i inicijalizacija novog pravca budućeg istraživanja koji će moći da da odgovor na veoma heterogene potrebe različitih grupa korisnika u smislu vrste napada i vrste uređaja gde se rešenje implementira. U ovom radu je predložena jedna *real-time* softverska arhitektura sposobna da radi cenzuru neadekvatnog sadržaja na delu ekrana gde se sadržaj nalazi, kao i uvođenje jedne nove implementacione paradigme sposobne da reaguje i na drugim uređajima.

Nakon uvoda, drugo poglavlje se bavi HCI metodologijom na nivou operativnog sistema. Treće poglavlje predlaže softversku arhitekturu koja bi bila adekvatna za implementaciju pomenute paradigme na različitim hardverskim uređajima, uz diskusije sa stanovišta različitih aspekata i problema koji se mogu javiti u implementaciji. Finalno četvrto poglavlje je zaključak.

2. HCI METODOLOGIJA - NIVO OPERATIVNOG SISTEMA

Rad u okviru evropskih projekata NGI Trust C.A.S.P.E.R and NGI Trust C.A.S.P.E.R 2.0 doneo je od inicijalne verifikacije koncepta publikovane u radu [22]. Koncept se sastoji u spuštanjem analize na nivo operativnog sistema i praćenje neadekvatnog sadržaja i reakciju na njega na nivou korisničkog interfejsa. Ovakva arhitektura je potpuno aplikativno nezavisna. Rad [22] predstavlja prvi rezultat i uvođenje aplikativnog agnosticizma u smislu rešavanja problema zaštite dece na internetu od različitih vrsta napada kroz tekstualne, audio i video sadržaje. Rešenje koje je testirano na laboratorijskom nivou, predlaže odvojeno tretiranje vizualnog, tekstualnog i audio sadržaja. Ideja ovog rada je i da da uvid u najznačajnije algoritme u smislu tretmana ovih vrsta sadržaja. Njih dajemo kroz zasebna podpoglavlja u okviru ovog poglavlja.

2.1. Analiza slika

Gruba podela metoda za obradu slika sa pornografskim sadržajem je na: metode zasnovane na karakteristikama (*feature-based*), metode zasnovane na regijama (*region-based*) i metode zasnovane na delovima tela (*body part-based*).

Metode zasnovane na karakteristikama izdvajaju obeležja sa slika korišćenjem vizuelnog govora, ili korišćenjem konvolucionih neuralnih mreža (*Convolutional Neural Networks - CNN*). Prvi pristup je jednostavniji i manje kompleksan od CNN, ali je osetljiv na promene poza, promene scene, ili skaliranje slike.

Metode zasnovane na regijama zasnivaju se na detekciji regije od interesa (*Regions of Interest - ROI*) najčešće pomoću detekcije piksela u boji kože. Na taj način se izbegava osetljivost na promenu pozadine, kao što je u prethodnom metodu slučaj, ali je nedostatak to što se ništa osim regiona u boji kože ne uzima u razmatranje.

I poslednji tip su metode zasnovane na delovima tela. Kod ovih metoda prvo se izdvajaju unapred definisana obeležja koja opisuju pornografski sadržaj, kao što su grudi, pupak, zadnjica, a nakon toga se kao skup vektora prosleđuju na dalju klasifikaciju. Problem sa ovim metodama je dvosmislenost i veliki broj lažno pozitivnih rezultata, usled velikih varijacija u prikazima obeležja u trening setovima. Brze CNN za ovu vrstu detekcije postoje, ali su ograničene na upotrebu samo kod ove grupe metoda.

Navedene metode se mogu koristiti i kod detekcije nasilja nad decom, kao osetljivom grupom korisnika, tako što bi se prvo detektovao uopšteno pornografski sadržaj, a nakon toga izvršiti procena starosti korisnika.

Detekcija maltretiranja na slikama moguć je obradom sadržaja komentara vezanih sa neku sliku, a ne samo obradom same slike od interesa [23]. Ispituje se i istorija interakcije korisnika koji su postavljali komentare, kao i broj velikih slova u komentarima. Na taj način se direktno otkriva slika nasilja, ali se ne uklanja slika pre nego što je šteta načinjena oštećenoj strani.

Slike maltretiranja često prikazuju ponižavajuće scene u kojima je lice mete ubačeno u sliku preko lica žrtve sa

originalne slike. Različite metode za detekciju krivotvorenih fotografija mogu se naći u [24], posebno za detekciju zamene lica na slikama, kao i detekciju pornografskog sadržaja na slikama i u snimcima. Najskoriji rad u kome se obrađuje prepoznavanje pornografskog sadržaja na slikama [25] navodi tačnost od 97,5%, korišćenjem modernog *YOLO* pristupa (*You Only Look Once*) [26]. Smanjuje se broj potrebnih podprozora za obradu, kao i broj test primera da bi se dobila robusna ocena sadržaja i izvršila pouzdana klasifikacija.

Iz video snimaka se mogu uzimati ključne slike (*frames*) čijom obradom bi se vršila detekcija pornografskog sadržaja usrednjavanjem, većinskim “izglasavanjem”, ili korišćenjem rekurentnih neuralnih mreža (*Recurrent Neural Networks - RNN*). Iako RNN povećavaju tačnost za 1-2%, povećavaju i kompleksnost. Stoga se obrada svake slike iz video zapisa može u teoriji sprovesti, ali je računarski neprihvatljiva.

Da bi moglo da se radi sa ograničenim računarskim resursima potrebno je da se ispitaju kompleksnosti dostupnih metoda za detekciju pornografskih sadržaja. U [25] je prikazan ponderisani model učenja sa više instanci koji je u stanju da obradi 5 slika u sekundi (Frames per Second - FPS) korišćenjem procesora Intel Xeon E5-2630, dok se uz dodatak grafičkog procesora GeForce GTX Titan X može postići detekcija u relnom vremenu od 55 FPS. Kako je potrebno obezbediti da roditeljska kontrola zaštiti decu od slanja, kao i od prijema, neorikladnog sadržaja, neophodno je implementirati rešenje na strani korisnika, na neki od uređaja (tablet, mobilni telefon, računar), ili na korisničku mrežnu opremu.

2.2. Detekcija neprikladnog audio sadržaja

Kada je u pitanju audio sadržaj, potrebno je izvršiti detekciju i blokiranje neprikladnih audio zapisa, kao što su na primer seksualno vrištanje i stenjanje. U istraživanju koje su sproveli autori rada [27] više stotina poželjnih i nepoželjnih audio isečaka je obrađeno, s ciljem da se izvrši klasifikacija i blokiranje onih sadržaja koji su neprikladni. Korišćenjem i analizom spektograma dobijenih Radonovom transformacijom došlo se do zaključka da se neprikladni pornografski audio sadržaji mogu lako detektovati zato što se značajno razlikuju od prikladnih audio isečaka korišćenih u pornografiji, kao što su glasovi, ili muzika. Tačnost metoda opisanog u [27] je 91,25%.

Neke od najpoznatijih platformi za obradu audio zapisa su razvijene kao komercijalni servisi, kao što je na primer Google Cloud Speech API (eng. *Application Program Interface*), koji prepoznaje 120 različitih jezika i jezičkih varijanti. Neke akademske institucije razvijaju svoja rešenja, ali najčešće ne nude API pristup, iako je moguće razviti okruženje koje bi omogućilo korišćenje biblioteka dostupnih kroz *web API*.

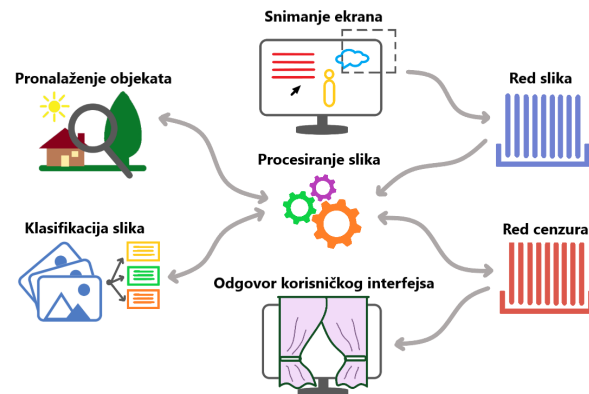
2.3. Tretiranje tekstualnog sadržaja

Da bi se detektovao neadekvatan tekstualni sadržaj, prvo se radi OCR (eng. *optical character recognition*). Sistem za otkrivanje teksta i optičko prepoznavanje karaktera (OCR) zasniva se jako moćnom *Tesseract-OCR Engine*-u koji ima podršku za preko 100 jezika i može se dodatno

obučiti i fino podesiti za dodatne jezike [28]. Sledeći korak je da se primeni detekcija zasnovana na veštačkoj inteligenciji. Predložene su različite metode za otkrivanje sajber napada u tekstualnim podacima (poruke, komentari, članci, blogovi, postovi, tvitovi). Većina postojećih studija koristi konvencionalno mašinsko učenje ili modele dubokog učenja za otkrivanje incidenata sajber pretnji i obučeni su za određene jezike. U okviru rada [22] predložen je metod za detekciju višejezičnog sajber maltretiranja u tekstu pomoću KSLM-R fino podešenih modela. Smatramo da su rezultati postignuti u ovom referenciranom radu dobra polazna osnova, ali da performanse nisu zadovoljavajuće (najbrži odgovor nakon nekoliko sekundi), da je reakcija spora i da će od vida implementacije u realan proizvod zavisiti da li će rešenje dobiti neku veliku upotrebnu vrednost.

3. SOFTVERSKA ARHITEKTURA REŠENJA

Na slici 1 je prikazana predložena implementaciona arhitektura softvera koja predstavlja glavni doprinos ovog rada.



Slika 1. Predložena softverska arhitektura adaptabilna i za mobilne uređaje

Prvo, jedan modul treba da se pokreće kao nit rešenja za snimanje ekrana. Drugi modul treba implementirati kao nit koja obrađuje sliku ekran i šalje ga relevantnom klasifikatoru za obradu slike i/ili teksta. Treće, predlaže se modul kao nit za reakciju iliti odgovor korisničkog interfejsa koji treba da se koristi za senčenje ili pokrivanje celog ekrana ili dela ekrana.

Dodatno, za implementaciju, potrebno je da postoje dva reda za čekanje (eng. *Queue*) koja se koriste za sinhronizaciju na HCI nivou, tj. na nivou korisničkog interfejsa. Prvi red se koristi za prikupljanje snimaka ekrana, dok je drugi prikupljanje pokrivača za neprikladan sadržaj koji će moći da prekrije deo ekrana na kome se nalazi neadekvatan sadržaj.

Dakle, u našem predloženom rešenju postoje tri glavna modula koji mogu, ali i ne moraju da rade u tri niti. Sve niti su radne instance (eng. *Workers*) koje stalno rade. Svaka instanca se može podeliti na više od jedne instance niti. Ako dođe do kašnjenja jedne radne instance, korišćenjem više niti po instanci rešenje se može izbalansirati i kašnjenje će biti nadoknađeno. Ovo potencijalno može biti

veoma važno dostignuće koje treba eksperimentalno potvrditi.

Takođe, u predloženoj arhitekturi postoje dva reda za čekanje koji se koriste za bezbednu razmenu podataka. Prvi red prikuplja snimke ekrana za dalju obradu dok drugi red se koristi za prikupljanje reakcionih pokrivača. Ako postoji slučaj da hvatač ekrana i reakciona nit rade brže od obrade slike, potrebno je dodati još jednu ili više niti za zadatke obrade slike. Ovo je zavisno od hardvera računara, tableta ili mobilnog telefona, ali autori smatraju da rešenje implementirano na ovaj način može biti inherentno i prilično jednostavno prilagodivo u smislu ove zavisnosti.

Kao što smo videli, snimak ekrana se stavlja u red. Pre stavljanja u red, postoji provera da li postoji značajna razlika između trenutnog i prethodnog snimka ekrana. Ovo se mora uraditi da bi se sprečilo čuvanje u redu nekoliko skoro istih snimaka ekrana i pokretanje nepotrebne obrade slike koja je jako zahtevna sa stanovišta računarskih resursa. Razlika između dva snimka ekrana je podesiva. Implementacija ovakve funkcije bi dala mogućnost da se izostavi suvišno snimanje ekrana, na primer, malog pomeranja kursora miša. Optimizacija ovog dela bi mogla biti veoma intrigantna za R&D zajednicu. Prema našem istraživanju i mišljenju, unapređenje ove funkcije je moguće i moglo bi dodatno optimizovati HCI metodologiju.

Snimak ekrana se mora čuvati u RAM memoriji i ne sme se ići na interakciju sa file sistemom, jer će performanse biti znatno niže. Glavni problem niti snimanja ekrana je hvatanje dela ekrana reakcije Optimizacija ovoga bi bi bila moguća na način na koji bismo mogli da koristimo novu Python VX biblioteku ili naprednim izborom načina na koji senčimo ekran u reakcijskoj niti. Rešavanje ovog problema bi značajno doprinelo našem cilju da imamo potpuno preciznu reakciju korisničkog interfejsa u realnom vremenu na neprikladan sadržaj.

Procesorski najzahtevniji zadatak je obrada slike. Nit za obradu slike analizira snimak ekrana tako što prvo primenjuje detekciju objekata, a zatim klasifikaciju objekata. Za početak, analiza treba da se vrši na celom snimku ekrana iako se uočava razlika. Optimizacija niti za obradu slike je potpuna obrada razlike dok deo ekrana za reakciju korisničkog interfejsa ostaje takav kakav jeste. Ovo bi se moglo uraditi ako postoji snimak ekrana bez crno-belo prekrivenog ekrana iz razloga reakcije interfejsa na neadekvatan sadržaj.

Pretprocesiranje slike se takođe mora uraditi (promena veličine i formata) da bi se pripremila za detekciju objekata i klasifikaciju objekata. Treba naglasiti da se dva različita AI modela moraju koristiti: jedan za detekciju objekata, a drugi za klasifikaciju objekata. Na ovaj način moguće je primeniti neki od algoritama klasifikacije potencijalno veoma prilagodiv mobilnim uređajima u kontekstu od interesa poput *Mobile Net V3*.

Reakcioni modul je namenjen pokrivanju neadekvatnih sadržaja. Ova reakcija može da se sprovodi crtanjem crnih ili belih pravougaonika ispred ovakvog sadržaja na delu

ekrana. Implementirajući na ovaj način, rešenje je potpuno u HCI paradigmi i nezavisno je od aplikacija koje su istovremeno aktivne na ekranu. Da bi znao koji deo ekrana treba da bude pokriven, rešenje koristi red za čekanje na slici 1 nazvan red cenzura. Predlaže se metodologija direktnog pamćenja kao metodologija koja treba da se koristi za crtanje pravougaonika cenzure. Ova metodologija potencijalno ima najveću brzinu reakcije. Pošto Windows kao operativni sistem sam odlučuje koji deo ekrana da osveži (ponovo iscrta), nije uvek moguće ukloniti pravougaonik za osudu pre snimanja novog snimka ekrana. Ono što je moguće je naterati prozore da osveže ceo ekran. Ovo je deo optimizacije koji bi takođe bio veliki pomak u odnosu na postojeće stanje. Problematično je zato što su biblioteke za pravljenje snimaka ekrana i crtanje ekrana najčešće nije direktno povezana sa Windows-om i stoga ne možemo da koristimo svu funkcionalnost koju pruža Windows kao OS. Prema našem istraživanju, to će biti moguće uraditi preko druge Python biblioteke koja komunicira direktno sa Win32 API modulom [29].

4. ZAKLJUČAK

Kao što se moglo videti na osnovu dosadašnjih istraživanja, veštačka inteligencija ima veliki potencijal u detekciji neadekvatnog sadržaja na internetu. Poseban problem je zaštita osetljivih grupa korisnika. Trenutna rešenja su na nivou aplikacije ili tretiraju samo jednu vrstu napada/pretnji. Na nivou istraživanja, napravljen je pomak kroz NGI Trust Horizon 2020 C.A.S.P.E.R projekat, koji predlaže HCI metodologiju koja bi dala detekciju/reakciju na nivou korisničkog interfejsa. Istraživanje je dalo obećavajuće rezultate, ali implementirano samo u delovima. U ovom radu je predložena softverska arhitektura koja bi mogla da se koristi za implementaciju realnog proizvoda. Ona koristi HCI metodologiju, ali i razmatra razne aspekte koji mogu da budu i prednosti i izazovi u dolasku do finalnog cilja. Zbog svoje robusnosti, modularnosti i hardverskoj prilagodivosti, predloženo rešenje se može koristiti ne samo na desktop računarima, nego i na tabletima i mobilnim telefonima. i implementaciji inicijalnih rezultata ovog EU projekta. Da bi se postigao cilj dolaska do finalnog rešenja koje će ugledati svetlost dana u praksi, saradnja dve grupe eksperata mora da bude veoma intenzivna i jaka. Prvo su AI istraživači koji se bave primenom AI na različitim tipovima podataka, a drugo su istraživači u oblasti naprednih softverskih arhitektura koji bi mogli da sprovedu kodiranje u ovom radu predloženog softverskog arhitektonskog rešenja od nivoa operativnog sistema, preko dizajniranja sistema, pa sve do nivoa aplikacije.

LITERATURA

- [1] X. Bao, M. Chen, J. Yu and X. Pan, Online child protection: A survey, *IEEE Communications Magazine*, 54(6), pp 46-53, 2016, doi: 10.1109/MCOM.2016.7470924
- [2] Kaspersky Safe Kids:
<https://www.kaspersky.com/safe-kids>

- [3] Norton Family Premier:
<https://us.norton.com/norton-family-premier>
- [4] P. P. Shah and A. Joshi, SafeSearch in online search engines: An overview, *Digital Investigation*, 23, pp 83-92, 2017, doi: 10.1016/j.diin.2017.07.008
- [5] Google SafeSearch:
<https://www.google.com/preferences>
- [6] Bing SafeSearch:
<https://www.bing.com/account/general>
- [7] K. E. Mansfield, M. Cikara and R. K. Thomas, Social media and parental control: A comparison of parental Facebook monitoring strategies and their effects on children's Facebook disclosure, *Journal of Family Issues*, 42(2), pp 198-219, 2021, doi: 10.1177/0192513X20921705
- [8] Facebook Parent Dashboard:
<https://www.facebook.com/help/315699785688681>
- [9] Instagram Parent's Guide:
https://about.instagram.com/en_US/blog/announcements/parents-guide-to-instagram
- [10] A. Ustinova and T. Strufe, An analysis of web content filtering systems, *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security*, pp 703-715, 2015, doi: 10.1145/2714576.2714599
- [11] OpenDNS FamilyShield:
<https://www.opendns.com/setupguide/#familyshield>
- [12] Net Nanny: <https://www.netnanny.com/>
- [13] S. Park, J. Kim and J. Hong, Evaluating the effectiveness of internet safety education: A meta-analysis of school-based programs, *Computers & Education*, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103752
- [14] Common Sense Education:
<https://www.commonsense.org/education/>
- [15] Be Internet Awesome:
https://beinternetawesome.withgoogle.com/en_us
- [16] J. A. Pater, T. Hooley and R. Bond, Empowering bystanders of cyberbullying: An exploratory study into the efficacy of a cyberbullying bystander intervention program, *Journal of School Violence*, 18(1), pp 115-126, 2019, doi: 10.1080/15388220.2018.1468337
- [17] Bark: <https://www.bark.us/>
- [18] NetSanity: <https://netsanity.net/>
- [19] H. T. Tsai, Y. C. Cheng and Y. H. Yang, Empowering or limiting parental control? A longitudinal study of parental control and smartphone addiction among Chinese primary school students, *Journal of Educational Computing Research*, 57(5), pp 1315-1336, 2019, doi: 10.1177/0735633118805627
- [20] Apple Screen Time:
<https://support.apple.com/en-us/HT208982>
- [21] Google Family Link:
<https://families.google.com/familylink/>
- [22] A. Jevremovic, M. Veinovic, M. Cabarkapa, M. Krstic, et al., Keeping Children Safe Online With Limited Resources: Analyzing What is Seen and Heard, *IEEE Access*, vol. 9, pp 132723-132732, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3114389.
- [23] M. Dadvar, D. Trieschnigg, R. Ordelman and F. D. Jong, Improving cyberbullying detection with user context, *Advances in Information Retrieval*, Springer, pp 693-696, 2013.
- [24] A. Subin, Awesome-Deepfake/Porn Detection Using Deep Learning, 2019, [online] Available: <https://github.com/subinium/awesome-deepfake-porn-detection>
- [25] J. Xin, W. Yuhui and T. Xiaoyang, Pornographic image recognition via weighted multiple instance learning, arXiv:1902.03771, 2019, [online] Available: <http://arxiv.org/abs/1902.03771>
- [26] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, You only look once: Unified real-time object detection, *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, pp 779-788, Jun. 2016.
- [27] M. Jong Kim and H. Kim, Audio-based objectionable content detection using discriminative transforms of time-frequency dynamics, *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 14, no. 5, pp 1390-1400, Oct. 2012.
- [28] Tesseract-OCR GitHub repository:
<https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>
- [29] <https://pipi.org/project/pivin32/>

SISTEM ZA DETEKCIJU ANOMALIJA U MREŽNOM SAOBRAĆAJU – OD ISTRAŽIVANJA DO TESTIRANJA NETWORK TRAFFIC ANOMALY DETECTION SYSTEM – FROM RESEARCH TO TESTING

Slavko Gajin¹

Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu¹

Sadržaj – U ovom radu predstavljene su rezultati istraživanja, razvoja i implementacije rešenja za detekciju anomalija u mrežnom saobraćaju zasnovane na entropiji atributa izvedenih iz komunikacionih tokova prikupljenih posredstvom NetFlow protokola. Uz prikaz najvažnijih elemenata primenjene metodologije, u radu je opisana modularna arhitektura realizovanog sistema i rezultati primene nad realnim saobraćajem u mrežnom okruženju.

Abstract - This paper presents the results of research, development, and implementation of solutions for network traffic anomaly detection based on the entropy of attributes derived from communication flows collected through the NetFlow protocol. Along with the presentation of the most important elements of the applied methodology, the paper describes the modular architecture of the implemented system and the results of the application on real network traffic.

1. UVOD

Sa stalno rastućom količinom šifrovanog mrežnog saobraćaja i novim vrstama napada (*zero-day attack*), detekcija anomalija u mrežnom saobraćaju ispoljava značajne prednosti u odnosu na tradicionalne metode otkrivanje napada zasnovane na inspekciji sadržaja svakog paketa (*deep packet inspection*). Korišćenje NetFlow i sličnih protokola [1] predstavlja efikasan način prikupljanja informacija o mrežnim komunikacijama zbog njegove jednostavnosti i primenljivosti u realnom vremenu i stvarnom mrežnom okruženju. Iako osnovni skup NetFlow podataka o komunikacionim tokovima nije dovoljan za efikasne tehnike mašinskog učenja, on je sasvim pogodan za primenu tehnika detekcije anomalija zasnovane na entropiji.

Da bi se otkrile anomalije u strukturi mrežnog saobraćaja, prikupljeni podaci o komunikacionim tokovima moraju se prvo obraditi i transformisati u jednostavniji oblik i metrike koje pružaju mogućnost profilisanja normalnog ponašanja [3]. Značajne promene u odnosu na normalno ponašanje tretiraju se kao anomalije. U našem istraživanju je izabran pristup zasnovanog na entropiji, čija se glavna prednost ogleda u činjenici da se složena struktura podataka može transformisati u jednostavniji domen vremenske serije podataka za posmatrane attribute, koje se mogu lakše analizirati kako bi se otkrilo neuobičajeno ponašanje. Da bi se postigla efikasna praktična upotrebu u realnom vremenu, rešenje za otkrivanje anomalija zahteva pravilan izbor atributa (ključevi agregacije i atributi za izračunavanje), kao i prevazilaženje drugih izazova vezanih za specifičan domen analize mrežnog saobraćaja.

Prednost primenjene metodologije ogleda se u tome što se ne bazira na volumetrijskim atributima, kao što je ukupan broj bajtova i paketa, već na izvedenim atributima koji se posebno proračunavaju, a koji bolje odražavaju neregularne komunikacione aktivnosti.

Na bazi ostvarenih istraživačkih rezultata, realizovan je sistem za detekciju anomalija kao dodatni modul postojećeg softverskog rešenja za praćenje i analizu mrežnog saobraćaja *NetVizura NetFlow Analyzer* [2]. Osim prikaza vremenskih serija podataka koji odgovaraju entropijama uvedenih atributa, kao i elemenata koji im najviše doprinose, sistem omogućava pregled, filtriranje i analizu izvornih podataka.

2. PREDLOŽENO REŠENJE

U kontekstu tehnike detekcije anomalija, entropija predstavlja numeričku vrednost koja se može tumačiti kao mera ravnomernosti distribucije podataka. Značajna promena u distribuciji podataka izaziva promenu vrednosti entropije, što se tumači kao neregularno ponašanjem mrežnog saobraćaja i indikacija bezbednosnih pretnji.

Podaci o mrežnim komunikacijama se identifikuju pomoću izvorišne i odredišne IP adrese, tipa protokola i izvorišnog i odredišnog porta. Ovi identifikacioni atributi se koriste kao ključevi pri agregaciji, tokom čeka se broje ili sumiraju ostali atributi, čime se dobijaju odgovarajuće distribucije podataka. Primera radi, brojanjem komunikacionih tokova ili sumiranje ukupnih bajtova ili paketa koje je primila svaka odredišna IP adresa tokom kratkog perioda, tzv. epohe, proizvešće odgovarajuću distribuciju podataka. Uobičajena struktura mrežnog saobraćaj je takva da su neke adrese aktivnije od drugih, što dovodi do neravnomerne distribucije podataka, koje daju određene vrednosti entropije. U slučaju DDoS napada, uređaj koji predstavlja žrtvu napada prima ogromnu količinu saobraćaja, što uzrokuje pik u distribuciji podataka i značajnu promenu (smanjenje) vrednosti entropije.

Mnogi autori predlažu pristupe zasnovane na entropiji koji se oslanjaju samo na volumetrijskim atributima, kao što su ukupan broj bajtova i paketa [4]. Naše istraživanje je potvrdilo veoma ograničenu upotrebljivost ovog pristupa, budući da u današnjim komunikacijama regularan saobraćaj često podrazumeva prenos velike količine podataka. Pojedine regularne mrežne komunikacije sa intenzivnim saobraćajem uzrokuju velike varijacije vrednosti entropija, čime je proces detekcije neregularnosti znatno otežan.

Iz navedenog razloga, izabrano je korišćenje novih izvedenih atributa, koji bolje oslikavaju strukturu mrežnih komunikacija. Ovi atributi se odnose na broj pojavljivanja svih različitih elemenata drugih identifikacionih atributa. Primera radi, osim agregacije po izvorišnoj IP adresi, sprovodi se dodatna agregacija drugog stepena, računanjem svih različitih odredišnih portova sa kojima komunicira posmatrana izvorišna IP adresa. Značajan porast broja različitih odredišnih portova za određenu izvorišnu IP adresu ukazuje na napad skeniranja portova. Ovi atributi se nazivaju atributi ponašanja (*behaviour features*) [5].

U našem istraživanju je primarno korišćena Šenonova entropija [6], ali su analizirane i primene parametrizovanih tipova entropije, kao što je Calisova i Renieva entropija. Za datu raspodelu podataka sa ukupnim brojem od N elemenata, gde se m_i odnosi na vrednost elementa, k_i a $p(k_i)$ je empirijska verovatnoća, Šenonova entropija je definisana sledećom jednačinom:

$$H_S(X) = \sum_{i=1}^N p(x_i) \log_b \frac{1}{p(x_i)} \quad (1)$$

gde je empirijska verovatnoća data sa:

$$p(x_i) = \frac{m_i}{M}, M = \sum_{i=1}^N m_i \quad (2)$$

Množenjem sa faktorom $1/\log_b N$, dobijene vrednosti entropije se dodatno skaliraju u opseg vrednosti između 0 i 1.

Da bi se detektovale značajne promene vrednosti entropije za bilo koji od korišćenih atributa, potrebno je najpre proceniti trend uobičajenih vrednosti, tzv. *baseline*, za šta je izabrana tehnika eksponencijalnog pokretnog proseka (*Exponential Moving Average* - EMA) [7]. Sa EMA tehnikom, rekursivno se predviđa vrednost entropije u narednoj epohi n , označeno sa \hat{H}_n , uzimajući u obzir procenu i stvarno izračunatu entropiju u prethodnoj epohi:

$$\hat{H}_n = (1 - \alpha_h) \hat{H}_{n-1} + \alpha_h H_{n-1} \quad (3)$$

Koeficijent α_h , u opsegu između 0 i 1, predstavlja težinski faktor uticaja skorašnjih vrednosti u odnosu na ranije vrednosti. Sledeći korak se odnosi na predviđanje standardna devijacija (\hat{S}) vrednosti entropije, takođe koristeći EMA pristup:

$$\hat{S}_n = (1 - \alpha_s) \hat{S}_{n-1} + \alpha_s S_{n-1} \quad (4)$$

I konačno, donji i gornji prag se postavljaju relativno u odnosu na predviđenu prosečnu vrednost entropije \hat{H}_n , koristeći faktor k_t , koji čini opseg širim:

$$\underline{T}_n = \hat{H}_n - k_t \hat{S}_n \quad (5)$$

$$\overline{T}_n = \hat{H}_n + k_t \hat{S}_n \quad (6)$$

Pragovi definišu marginu za prihvatljive varijacije:

$$T_n = [\underline{T}_n, \overline{T}_n] \quad (7)$$

Vrednosti entropije koje su sadržane unutar margine T_n smatraju se regularnim, dok vrednost izvan margine aktiviraju alarm kao indikaciju anomalije:

$$A_n = \begin{cases} false, & \text{if } H_n \in T_n \\ true, & \text{if } H_n \notin T_n \end{cases} \quad (8)$$

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

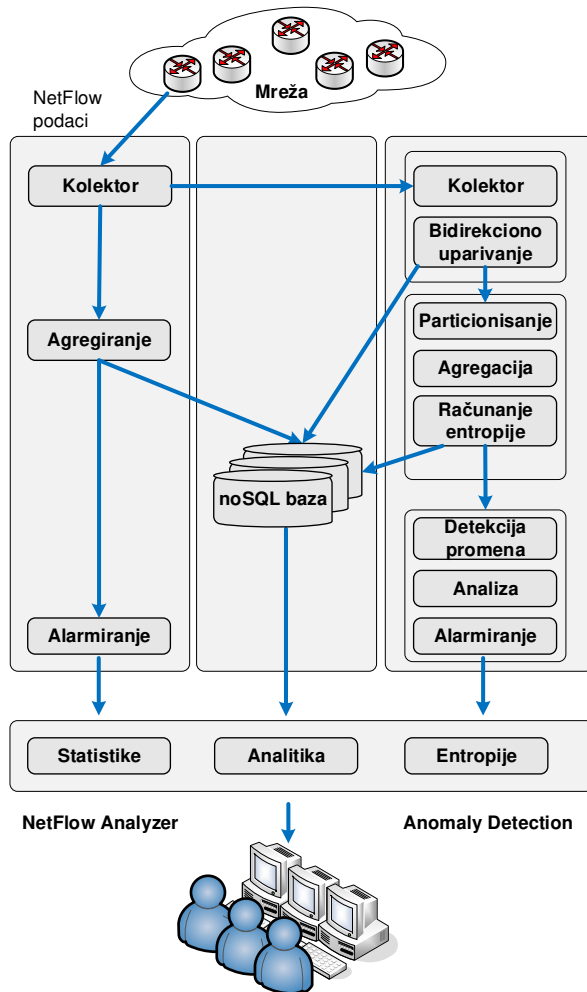
Na bazi opisanog rešenja realizovan je sistem za detekciju anomalija kao modul koji je integrisan sa postojećim *NetFlow Analyzer* softverom, uz deljenje zajedničkog korisničkog interfejsa. Za skladištenje proračunatih serija vremenskih podataka, kao i prikupljenih izvornih *NetFlow* podataka (*raw data*), korišćena je nerelaciona baza *Elasticsearch*. Uz vrednost svake pojedinačne entropije, u bazi se čuvaju i EMA predikcija, standardna devijacija, margina tolerancije i eventualno detektovani alarmi. U svakoj epohi se dodatno čuvaju i elementi sa najvećim vrednostima u posmatranim distribucijama, koji, zajedno sa izvornim *NetFlow* podacima, služe za naknadnu analizu uzroka anomalija (*root cause analysis*).

Arhitekture sistema za detekciju anomalija se sastoji od sledećih elemenata (Slika 1):

- Bidirekciono uparivanje podataka – Komunikacioni tokovi iz oba smera između dva uređaja se uparuju u jedan zapis, takozvani dvosmerni tok (*bidirectional flow*).
- Particionisanje saobraćaja – Dvosmerni tokovi se filtriraju po različitim kriterijumima (protokoli, servisi, IP adrese) i dele na različite podgrupe, koje se zasebno obrađuju.
- Agregacija – Tokom jedne epohe, prikupljeni podaci se agregiraju na osnovu identifikacionih atributa, izračunavajući dodatne atribute ponašanja.
- Računanje entropije – Entropija se izračunava za svaku distribuciju podataka u svakoj epohi, generišući vremenske serije vrednosti entropija za svaki ključ i atribut.
- Detekcija promena – Značajna promena vrednosti entropije ukazuje na promenu ponašanja mrežne komunikacije.
- Analiza – Promene vrednosti entropija za različite atribute se međusobno analiziraju, kako bi se obezbedila odgovarajuća klasifikacija anomalija sa većom preciznošću detekcije.
- Alarmiranje – Rezultati analize se konsoliduju, na osnovu čega se generišu logovi događaja, uz alarmiranje značajnih anomalija.
- Korisnički interfejs – Za praktičnu primenu, dobijeni rezultati moraju biti adekvatno predstavljeni, što uključuje pojednostavljenu i preglednu vizuelizaciju podataka, efikasno alarmiranje i analizu osnovnog uzroka problema, uz inspekciju originalnih podataka.

NetFlow Analyzer i modul za detekciju anomalija, kao i *Elasticsearch* baza se mogu izvršavati na istom serveru ili odvojenim serverima, čime se povećava skalabilnost i

performanse sistema. U obe varijante korisnički interfejs je objedinjen, čime se postiže sinergija funkcionalnosti oba modula.



Slika 1. Arhitektura sistema

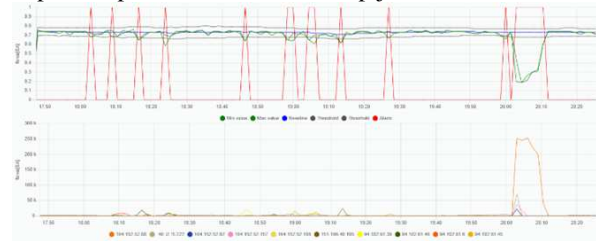
4. TESTIRANJE

Realizovani sistem za detekciju anomalija testiran je na realnom saobraćaju u produkcionom mrežnom okruženju sa više hiljada aktivnih IP adresa. Virtualni server na kome je testirana aplikacija poseduje 32 GB RAM memorije i 16 CPU jezgara, dok je *Elasticsearch* baza izdvojena na drugi virtualni server sa 12 GB RAM memorije i 4 CPU jezgra. Za ove potrebe analiziran je saobraćaj sa oko 5.000 komunikacionih tokova u sekundi (*flows/s*) i nije korišćeno partitionisanje u manje celine. Dodatna testiranja su pokazala da navedene hardverske karakteristike u mogu da obrade i do 15.000 *flows/s* i bez dodatnih softverskih optimizacija, za koje postoji prostor.

Tokom perioda testiranja, uočen je veliki broj anomalija koje se odnose na skeniranje unutrašnjih mrežnih adresa i portova. Ove anomalije su, po pravilu, stalno prisutne sa prosečnom učestalošću od jedan do dva događaja na sat. Najveći broj ovih anomalija je kratkotrajnog karaktera, u okviru jedne epohe (1 minut), a često i znatno kraće.

Tokom perioda kratkotrajne anomalije generiše se više desetina hiljada komunikacionih konekcija u sekundi. Tačnije, radi se o pokušajima konekcija, budući da najveći broj ciljnih adresa ne odgovara na poslate zahteve (preko 99%). U bidirekcionim zapisima to se jednostavno detektuje kao izostanak komunikacije u suprotnom smeru (nula bajtova i paketa). Za praktičnu primenu u praćenju mrežnih aktivnosti i sigurnosnih pretnji, od posebnog interesa su one adrese koje odgovaraju na navedene upite, posebno ako se komunikacija nastavi i u narednom periodu.

Kako su ove neregularne aktivnosti intenzivnije od regularnog saobraćaja, dolazi do promena entropija, ali obično ne značajno preko praga aktivacije alarma. Iako se ne radi se o lažno pozitivnim alarmima, njihov broj na dnevnom nivou je velik, što otežava pregled i analizu. Primetni su i intenzivniji, ali manje učestali napadi skeniranja, u trajanju od više minuta, a koji uzrokuju značajniju promenu entropija. Obe vrste anomalija su prikazane na Slici 2. Gornji grafik prikazuje entropiju izabranog atributa, sa istaknutim alarmima u slučaju značajnijih promena. Donji grafik prikazuje apsolutnu vrednost posmatranog atributa za elemente koji najviše doprinose promeni vrednosti entropije.



Slika 2. Alarmi uzrokovani promenom entropije za atribut broja tokova po IP adresi inicijatora konekcije

Na prikazanom primeru spoljašnja javna IP adresa 104.152.52.88 predstavlja izvor najvećeg broja komunikacionih tokova. Klikom na ovaj element u legendi donjeg grafika, aplikacija prikazuje novu stranicu za tabelarno listanje izvornih zapisa, filtrirano po izabranom elementu. Aplikacija podržava da se ostala polja grupišu i sortiraju, čime se u ovom primeru lako sagledava da navedena izvorišna IP adresa kontaktira sve adrese iz posmatrane mreže (Slika 3).

IP	Port	Count	Entropy	...
104.152.52.88	80	1000	0.5	...
104.152.52.88	443	500	0.3	...
104.152.52.88	8080	200	0.2	...

Slika 3. Forenzika događaja analizom pojedinačnih komunikacionih tokova

Grupisanjem po određinom portu dobija se oko 300 različitih portova, čiji pripadajući servisi predstavljaju

metu napada skeniranja. Napad je sproveden korišćenjem fiksnog broja porta 43399. Tabela prikaz rezultata je praćen i sumarnim grafičkim prikazom tokom izabranog vremena, u obliku protočnosti (*bits/s, packets/s, flows/s*) ili volumena (*bytes, packets, flows*).

Druga vrsta uočenih napada takođe predstavlja „dijagonalno“ skeniranje i mreže i portova, ali masovnije (sve adrese i portovi) i dugotrajnije (više dana). U primeru koji ilustruje Slika 4, višednevni napad je sproveden sa 4 javne spoljašnje IP adrese (62.204.41.8-62.204.41.11), od kojih svaka skenira četvrtinu ukupnog opsega portova (16384 portova) po svim IP adresama u internoj mreži. Promena strukture saobraćaja je uzrokovala dugotrajni alarm, koji dodatno može da maskira druge vrste anomalija koje mogu da se jave tokom trajanja ovog napada.



Slika 3. Napad masovnog skeniranja svi adresa u mreži i svih portova koji se sprovodi sa 4 izvorišne adrese

Iako navedeni napadi skeniranja ne predstavljaju direktnu pretnju, čak ni veliko opterećenje mreže, postoji opasnost da se na pojedinim računarima otkrije ranjivost, koja se kasnije može iskoristiti za ozbiljnije napade i nanošenje veće štete.

Tokom perioda testiranja uočen je i slučaj skeniranja koji potiču sa pojedinih adresa iz unutrašnje mreže. Ovo ujedno demonstrira drugi scenario i dodatni značaj korišćenja aplikacija u operativnom radu mreže. Blagovremeno otkrivanje internih računara koji sprovode neregularne radnje na mreži je bitno kako bi se izbeglo da cela mreža ne dođe tzv. „crne liste“ koje sprečavaju korišćenje pojedinih servisa na Internetu. Takođe, sigurnost ovih računara je najverovatnije kompromitovana, što spoljnim napadačima otvara mogućnost neovlašćenog pristupa resursima unutar mreže i sprovođenje drugih vrsta internih napada.

5. ZAKLJUČAK

Demonstrativna primena aplikacije za detekciju anomalija u mrežnom saobraćaju u realnom okruženju ispoljila je niz prednosti u nadgledanju mrežnih aktivnosti. Uočen je neočekivano veliki broj učestalih napada skeniranja mreže i portova, ali i određene neregularne aktivnosti koje potiču sa unutrašnje mreže. U funkcionalnom smislu aplikacija je demonstrirala odlične mogućnosti detekcije anomalija, kao i veliku korist u detaljnoj forenzici događaja na bazi analize pojedinačnih zapisa o komunikacionim tokovima u mreži. Ovo omogućava ne

samo praćenje i analizu sigurnosnih pretnji i incidenata, već i analizu ostalih aktivnosti u cilju praćenja rada i optimizacije mreže i servisa.

Performanse sistema su veoma zadovoljavajuće, čak i pri obradi i prikazu velike količine izvornih podataka. Tabela i sumarni grafički prikaz izvornih podataka u periodu od jedan dan traje oko 10 sekundi, a sledeći upiti filtriranja su znatno brže, zbog internog keširanja podataka u *Elasticsearch* bazi. Agragiranje po pojedinim atributima je nešto zahtevnije, ali prihvatljivo za intervale od nekoliko sati.

Testiranje aplikacije na stvarnom saobraćaju je ukazalo i na mogućnosti daljeg unapređenja sistema, i to:

- Uvođenje dodatnih kriterijuma za alarmiranje, čime bi se efikasnije izdvojili dugotrajniji i intenzivniji napadi.
- Praćenje daljih aktivnosti uočenih izvora napada, kako bi se prepoznali eventualni naknadni napadi.
- Kombinovanje metoda entropije izvedenih atributa sa vrednostima volumetrijskim atributima.
- Učenje sistema o prihvatljivim događajima radi smanjenja lažno pozitivnih alarma.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora: 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA

- [1] RFC7011, <https://www.ietf.org/rfc/rfc7011.txt>
- [2] NetVizura NetFlow Analyzer, <https://www.netvizura.com/>
- [3] P. Berezinski, B. Jasiul, M. Szyrka, “An entropy-based network anomaly detection method,” *Entropy*, vol. 17, no. 4, pp. 2367–2408, 2015.
- [4] A. Lakhina, M. Crovella, C. Diot, Diagnosing Network-Wide Traffic Anomalies, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 34 (4), (2004) 219-230
- [5] K. Xu, Z. L. Zhang, and S. Bhattacharyya, “Internet traffic behavior profiling for network security monitoring” *IEEE/ACM Transactions On Networking*, vol. 16, no. 6, pp. 1241-1252, 2008.
- [6] C.E. Shannon, “A mathematical theory of communication”, *Bell system technical journal*, 27(3), 1948, 379-423, DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
- [7] A. J. Lawrance, P.A.W. Lewis, An exponential moving-average sequence and point process (EMA1), *Journal of Applied Probability* 14 (1), (1977) 98-113

PRIMENA VEŠTAČKIH NEURALNIH MREŽA U FORENZIČKOJ BALISTICI ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPLICATIONS IN FORENSIC BALLISTICS

Aleksandar Aleksić¹, Saša Milić², Mina Vasković Jovanović³, Denis Ilić², Radovan Radovanović¹

*University of Criminal Investigation and Police Studies, Belgrade, Serbia¹
Electrical Engineering Institute Nikola Tesla, University of Belgrade, Serbia²
Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Serbia³*

Sadržaj – Forenzička balistika je grana forenzike koja uključuje analizu oružja, municije i odgovarajućih dokaza u svrhu rešavanja zločina. Neuralne mreže, kao oblik mašinskog učenja inspirisan ljudskim mozgom, koriste se u forenzičkoj balistici kao pomoć u identifikaciji oružja i municije.

Opšti pristup uključuje upotrebu neuralnih mreža za analizu jedinstvenih tragova ostavljenih na projektilima i čaurama nakon ispaljivanja. Ovi tragovi, nazvani "prugama", su često jedinstveni za određeno oružje i mogu se koristiti za povezivanje projektila i čaure sa specifičnim oružjem. Neuralne mreže se mogu obučiti na velikim bazama slika pruga zarad učenja šablona karakterističnih za određeno oružje.

Drugi pristup uključuje neuralne mreže u analizu tragova barutnih čestica (gunshot residue - GSR), koje se izbacuju iz oružja u trenutku ispaljivanja projektila. Neuralne mreže se mogu obučiti za prepoznavanje karakterističnih tragova barutnih čestica pronađenih na garderobi, koži, ili drugim površinama, što pomaže u povezivanju osumnjičenog sa mestom zločina.

U ovom radu ćemo ispitati mogućnost primene standardnih i konvolucionih neuralnih mreža kao napredne podrške trenutnoj metodologiji koja je u upotrebi u forenzičkoj balistici. Biće razmotreno nekoliko različitih struktura u cilju nalaženja adekvatnog algoritma za podršku odlučivanju. U literaturi postoje baze podataka koje se mogu upotrebiti u ovom istraživanju. Autori tvrde da upotreba neuralnih mreža u forenzičkoj balistici može povećati tačnost i efikasnost u identifikaciji oružja i municije, i obezbediti korisne dokaze u krivičnim istragama. Međutim, kao i bilo koja forenzička tehnika, bitno je da se pažljivo razmotre sva ograničenja i potencijalne greške pri tumačenju rezultata analize dobijene upotrebom neuralnih mreža u forenzičkoj balistici.

Abstract - Forensic ballistics is a branch of forensic science that involves the analysis of firearms, ammunition, and related evidence to help solve crimes. Neural networks, a type of machine learning algorithm inspired by the functioning of the human brain, have been applied in forensic ballistics to assist in the identification of firearms and ammunition.

One common approach involves using neural networks to analyze the unique markings left on bullets and cartridge cases when they are fired. These markings, called "striations," are often unique to a particular firearm and can be used to link a bullet or cartridge case to a specific gun. Neural networks can be trained on large databases of striation images to learn patterns that are characteristic of specific firearms.

Another approach involves using neural networks to analyze gunshot residue (GSR), which is composed of tiny particles that are expelled from a firearm when the projectile is fired. Neural networks can be trained to recognize the distinctive patterns of GSR particles found on clothing, skin, or other surfaces, which can help to link a suspect to a crime scene.

In this paper, we will investigate potential applicability of standard and convolutional neural networks as an advanced support to the current methodology used in forensic ballistics. Several different scenarios will be considered and explored in terms of choosing of adequate algorithm for decision support. There are datasets available in literature that could be used for this investigation. The authors have a claim that use of neural networks in forensic ballistics has the potential to improve the accuracy and efficiency of firearms and ammunition identification, and to provide valuable evidence in criminal investigations. However, like any forensic technique, it is important to carefully consider the limitations and potential sources of error when interpreting the results of neural network analysis in forensic ballistics.

1. FORENSICS BALLISTICS - INTRODUCTION

Forensic ballistics is a branch of forensic science that involves the analysis of firearms, ammunition, and related evidence. The goal of forensic ballistics analysis is to determine the source of a particular bullet or cartridge case, link a firearm to a particular crime or suspect, and provide evidence to support criminal investigations and court proceedings [1].

There are several methods and techniques used in forensic ballistics analysis [2]-[4], including:

- **Comparison Microscopy:** This is the traditional method of comparing striations on bullets and cartridge cases under a microscope. The examiner visually inspects the striation patterns and compares them to those from other bullets or cartridge cases to determine if they came from the same firearm.
- **Firearms Examination:** This involves examining the physical characteristics of a firearm, such as the make, model, and serial number, and analyzing the firing mechanism to determine if it is functioning properly.
- **Distance Determination:** This involves analyzing gunshot residue patterns on clothing or other surfaces to determine the distance between the firearm and the target at the time of the shooting.
- **Trajectory Analysis:** This involves analyzing the path of a bullet through a target or other objects to determine the trajectory of the bullet and the location of the shooter.

- Tool Mark Analysis: This involves analyzing tool marks left on a firearm or other objects to determine if they were made by a particular tool.
- Chemical Analysis: This involves analyzing gunshot residue particles or other trace materials using chemical techniques, such as scanning electron microscopy or x-ray fluorescence spectroscopy, to determine their composition and link them to a particular firearm or suspect.



Figure 1. Firing pin marks

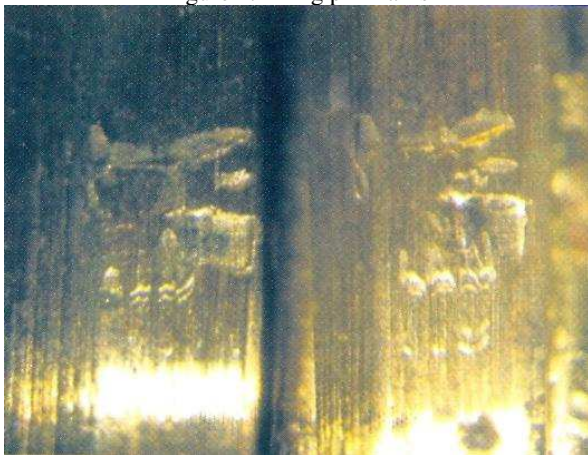


Figure 2. Extracting pin marks



Figure 3. Ejector marks

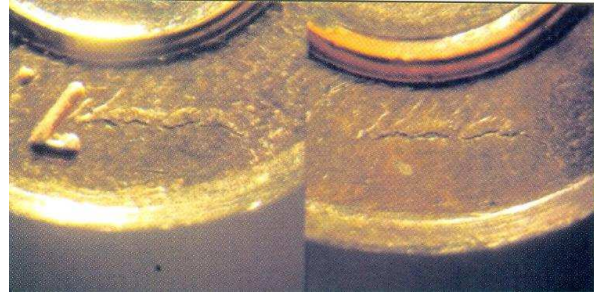


Figure 4. Breech face impression

In addition to these methods, computerized databases and systems have been developed to aid in the analysis and matching of firearm evidence. These systems can store and compare images of striation patterns from bullets and traces formed on the cartridge cases, as well as information about firearms and suspects. Overall, forensic ballistics analysis involves a combination of traditional and modern techniques and methods to provide accurate and reliable evidence to support criminal investigations and court proceedings.

2. OVERVIEW OF THE DIFFERENT TYPES OF NEURAL NETWORKS THAT CAN BE USED IN FORENSIC BALLISTICS AND THEIR POTENTIAL APPLICATIONS

There are three types of artificial neural networks currently used in forensic ballistics [5]-[8]:

- Convolutional neural networks (CNNs) are a type of neural network that have shown promise in analyzing striations on bullets and cartridge cases. These networks can be trained to learn patterns in the striation images, and then used to classify and match bullets and cartridge cases to a specific firearm. CNNs have been shown to outperform traditional manual comparison methods in some cases, and they can also analyze multiple striations simultaneously, making them more efficient.
- Recurrent neural networks (RNNs) have also been used in forensic ballistics to analyze striation images. Unlike CNNs, RNNs can process sequences of data, which can be useful in cases where striation patterns are complex and difficult to analyze using traditional methods. RNNs can also be used to analyze gunshot residue particles found on clothing or other surfaces, and to classify the particles according to their characteristics, which can help link a suspect to a specific firearm.
- Generative adversarial networks (GANs) are a type of neural network that can be used to generate realistic images of striations or gunshot residue particles. This can be useful in creating large datasets of striation or GSR images for training other neural networks, or for creating visualizations of complex striation patterns that may be difficult to interpret using traditional methods.

In addition to these specific types of neural networks, hybrid models that combine different types of neural networks, such as CNNs and RNNs, have also been

proposed for forensic ballistics analysis. The use of neural networks in forensic ballistics has the potential to significantly improve the accuracy and efficiency of firearms and ammunition identification. However, it is important to carefully evaluate the reliability and limitations of these techniques, and to ensure that proper protocols are in place to ensure the validity and accuracy of forensic evidence.

3. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS (CNNs)

Convolutional neural networks (CNNs) are a type of artificial neural network that are commonly used in computer vision applications, including image classification and object recognition. CNNs are designed to process input data with a grid-like topology, such as images, by applying a series of convolutional filters to the input data.

Each convolutional filter is a small matrix of numerical weights that is applied to a specific area of the input data. The filter is convolved across the input data by sliding it over the input data and multiplying the values in the filter with the corresponding values in the input data. The results of these multiplications are then summed and used to compute a single output value for that area of the input data.

The output of the convolutional filters is typically fed into one or more fully connected layers, which perform classification or regression tasks on the extracted features. The combination of convolutional filters and fully connected layers allows CNNs to learn hierarchical representations of input data, with low-level features such as edges and corners being extracted in the early layers, and higher-level features such as shapes and objects being extracted in the later layers.

CNNs have been successfully applied in many areas of computer vision, including image classification, object detection, and segmentation. In forensic ballistics, CNNs have been used for tasks such as firearm classification, bullet matching, and toolmark analysis [9]. For example, a CNN could be trained to recognize the unique markings left on a bullet or cartridge case by a specific firearm, allowing for automated identification of the firearm used in a crime.

CNNs are a powerful tool for analyzing and processing visual data, and they have shown great promise in forensic ballistics analysis. However, as with any machine learning algorithm, careful attention must be paid to issues such as bias and generalization to ensure that the algorithm is accurate and reliable in real-world scenarios. Also, CNNs can be computationally expensive to train and require large amounts of data to achieve high accuracy.

4. RECURRENT NEURAL NETWORKS (RNNs)

RNNs are a type of artificial neural network that is designed to process sequential data, such as time-series data or natural language text. Unlike feedforward neural networks, which only process input data in a single pass, RNNs maintain a "memory" of previous inputs and use this memory to inform their processing of future inputs.

The key feature of RNNs is the presence of recurrent connections, which allow the network to maintain a state vector that represents its internal memory. This state vector

is updated at each time step based on the current input and the previous state, and it is used to inform the processing of the next input. This allows RNNs to learn patterns and dependencies in sequential data, making them well-suited to tasks such as language modeling, speech recognition, and music generation.

One challenge with training RNNs is the problem of vanishing gradients, which can occur when the gradients of the loss function with respect to the network parameters become very small as they are backpropagated through time. This can make it difficult for the network to learn long-term dependencies in the data. To address this problem, several variants of RNNs have been developed, including long short-term memory (LSTM) networks and gated recurrent units (GRUs), which use specialized gates to control the flow of information through the network and prevent the vanishing gradient problem.

In forensic ballistics, RNNs could be used for tasks such as firearm classification, where they can be used to analyze sequences of images or audio recordings to identify unique characteristics of a particular firearm [10]. For example, an RNN could be trained to recognize the sound signature of a specific firearm when it is fired, allowing for automated identification of the firearm used in a crime.

Overall, RNNs are a powerful tool for analyzing sequential data and have shown great promise in forensic ballistics analysis. However, as with CNNs, careful attention must be paid to issues such as bias and generalization to ensure that the algorithm is accurate and reliable in real-world scenarios.

5. GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS (GANs)

Generative adversarial networks are a type of neural network that consists of two networks: a generator network and a discriminator network. The generator network is trained to generate realistic images of striations or gunshot residue particles, while the discriminator network is trained to distinguish between the generated images and real images.

In forensic ballistics, GANs can be used to generate large datasets of striation or gunshot residue images for training other neural networks, or to create visualizations of complex striation patterns that are difficult to interpret using traditional methods. GANs can also be used to generate synthetic images that can be used to test the performance of other forensic ballistics algorithms [11].

One advantage of GANs is that they can generate large amounts of data quickly and can help overcome limitations in the availability of real-world data. However, GANs can be difficult to train and can suffer from "mode collapse," where the generator network generates a limited set of images that do not capture the full diversity of the input data.

6. DATASETS

There are several datasets available for use in forensic ballistics analysis. One commonly used dataset is the National Integrated Ballistic Information Network (NIBIN) database, which contains digital images of bullet and cartridge case evidence from crime scenes across the United States [12]. The images in the NIBIN database are used to compare striation patterns and other characteristics

of the evidence to identify potential matches and link firearms to crimes.

Another dataset that can be used for forensic ballistics analysis is the Bullet Analysis by Imaging and Comparison (BAIC) database [13]. The BAIC database contains images of bullets and cartridge cases that have been analyzed using comparison microscopy, and it is used to develop and evaluate automated image analysis techniques.

There are also several publicly available datasets that can be used for research on firearm classification and recognition using machine learning algorithms. One such dataset is the Firearm Sound Database, which contains audio recordings of gunshots from different firearms and distances. Another dataset is the University of Notre Dame Firearms Dataset [14], which contains images of firearms and ammunition.

These datasets, along with others that are available, can be used to train and evaluate various types of machine learning algorithms, including artificial neural networks, for use in forensic ballistics analysis.

7. CONCLUSION

In conclusion, forensic ballistics is a field that involves the analysis of firearms and ammunition evidence to link firearms to crimes and identify potential suspects. Traditional forensic ballistics analysis relies on expert examiners to visually compare and match striation patterns on bullets and cartridge cases, but there is growing interest in the use of machine learning algorithms, including artificial neural networks, to automate and improve this process.

Artificial neural networks have shown promise in several areas of forensic ballistics analysis, including firearm classification, bullet matching, and toolmark analysis. However, there are still several challenges to overcome, including the need for large, high-quality datasets to train and evaluate the algorithms, and the potential for bias and errors in the algorithms.

Overall, the use of artificial neural networks in forensic ballistics has the potential to improve the accuracy and efficiency of the analysis process, leading to more effective criminal investigations and ultimately, safer communities. However, further research and development are needed to fully realize the potential of these technologies in this field.

REFERENCES

- [1] S.H. James and J.J. Nordby, *Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques*, 2 nd. Edition, CRC Press, Boca Raton, 2005.
- [2] B. J. Heard, *Forensic Ballistics in Court: Interpretation and Presentation of Firearms Evidence*, John Wiley & Sons, 2014
- [3] C. Monturo, *Forensic Firearm Examination*, Academic Press, London, 2019
- [4] Koons, K. J., Bond, J. P., Mileski, J.J., "A review of recent developments in firearms and toolmarks

- examination.", *Forensic Science International*, 298, 189-198, 2019. doi: 10.1016/j.forsciint.2019.03.046
- [5] Norsworthy, S., Rogers, M. K.. "Machine learning applications in forensic science.", *Forensic Science International*, 289, 417-428 2018. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.05.015
- [6] Tariq, S., Rogers, M. K.. "Deep Learning for Automated Forensic Comparison of Bullets: Performance Evaluation and Learning Curve Analysis.", *Journal of Forensic Sciences*, 64(4), 1044-1054, 2019. doi: 10.1111/1556-4029.14003
- [7] Chauvin, M., Lévy-Vehel, C. "Automated Bullet Matching: A Review of the State-of-the-Art in Ballistics.", *Journal of Forensic Sciences*, 64(3), 847-862, 2019. doi: 10.1111/1556-4029.13950
- [8] Lu, J., Zhou, J., Jia, Y., "Forensic firearm identification with deep learning." *Forensic Science International*, 294, 76-87, 2019. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.11.045
- [9] Liu, W., Xiao, Y., Wang, Y., "Classification of Firearms Using Artificial Intelligence.", *Sensors*, 19(14), 3161, 2019. doi: 10.3390/s19143161
- [10] Chen, Y., Wang, W., Zhang, H., Jiang, X., & Cao, J., "Automatic matching of bullet land engraved areas using a recurrent neural network.", *Forensic Science International*, 316, 110498, 2020. doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110498
- [11] Makantasis, K., Karabasi, A., & Tzovaras, D., "A Deep Learning Approach to Firearm Detection and Localization in X-Ray Security Imagery Using Generative Adversarial Networks". *Sensors*, 19(23), 5163, 2019. doi: 10.3390/s19235163
- [12] P. J. Cook, C. P. Jones, S. E. Rose, and B. W. Spencer, "National Integrated Ballistic Information Network (NIBIN) training and technical assistance program," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 53, no. 1, pp. 153-159, 2008. doi: 10.1111/j.1556-4029.2007.00601.x
- [13] Wolfe, J. R., Song, Y., Lawhead, B. E., Taylor, J., & Brown, K., "Evaluation of a bullet comparison method using the Bullet Analysis by Imaging and Comparison (BAIC) database.", *Forensic Science International*, 294, 9-19., 2019. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.11.037
- [14] Kumar, N., Berg, T., Belhumeur, P. N., & Nayar, S. K., "Describable visual attributes for face verification and image search. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*", 33(10), 1962-1977., 2012. doi: 10.1109/TPAMI.2010.226

BEZBEDNOSNI RIZICI U POJEDINIM SLOJEVIMA IoT ARHITEKTURE

SECURITY RISKS IN CERTAIN LAYERS OF IoT ARCHITECTURE

Natalija Vugdelija¹, Nenad Kojić¹, Marija Zajeganović¹
ATUSS – Odsek Visoka škola za informacione i komunikacione tehnologije, Beograd¹

Sadržaj – U ovom radu analizirana je osetljivost IoT na napade i navedene su određene preporuke za povećanje bezbednosti. IoT omogućava globalno povezivanje i mnoge benefite, ali i najrazličitije zloupotrebe koje mogu imati pogubni uticaj na celo društvo. Razumevanje napada uz prepoznavanje ciljeva i načine napada, preduslov je za adekvatnu odbranu. Prikazani su različiti tipovi sajber napada u različitim slojevima i za različite tehnologije, uz odgovarajuća bezbednosna rešenja.

Abstract - In this paper, the vulnerability of IoT to attacks is analyzed and certain recommendations for increasing security are given. IoT enables global connectivity and many benefits, but also various abuses that can have a disastrous impact on the whole society. Understanding the attack, along with recognizing the goals and methods of the attack, is a prerequisite for an adequate defense. Different types of cyber attacks are presented in different layers and for different technologies, with corresponding security solutions.

1. UVOD

Rasprostranjenost IoT uređaja sve je veća, a razvoj 5G mreža i tehnologija koje omogućavaju M2M aplikacije dodatno pospešuju brojnost uređaja koji mogu biti upravljani pametnim telefonima, pa su u 2023. godini M2M konekcije oko 50% od svih povezanih uređaja na Internet [1]. Zbog sveprisutne upotrebe IoT uređaja, bezbednosne zloupotrebe imaju široki uticaj i mogu dovesti do materijalne, ekonomske i štete po zdravlje [2]. Očekuje se širenje IoT u raznim segmentima svakodnevnog života, što će doneti nove mogućnosti i biznis i rezidencijalnim korisnicima, ali i nove bezbednosne pretnje, pa je važno poštovati propise i standarde za zaštitu privatnosti i sigurnosti [3].

Lako je razumeti da preuzimanje kontrole nad automobilom ili nekim kućnim uređajem od strane zlonamernog napadača može imati ozbiljne posledice, pa ipak ljudi često nisu svesni rizika koji nosi korišćenje IoT. Kada su biznis korisnici IoT u pitanju, napadači su često dodatno motivisani velikom materijalnom koristi. Najznačajnije posledice narušavanja IoT bezbednosti u 2022. godini prema ENISI su: otkrivanje poverljivih podataka, prekid ili zatvaranje proizvodnje kao rezultat sabotaze i narušavanje ugleda [4]. Dodatni bezbednosni izazov je činjenica da više od 40% zaposlenih koristi svoje lične uređaje za razne aktivnosti vezane za posao [5]. Ukoliko je IoT uređaj nezaštićen i otvoreno pristupa Internetu, može lako postati „trojanski konj“ kroz koji će maliciozni program imati pristup sistemu i osetljivim podacima, što korisnici često ne razumeju ili zaboravljaju. Kada je hakovan uređaj, to može da nanese veliku štetu vlasniku, firmi, ali i celoj globalnoj mreži, jer može da se

koristi kao bot i da učestvuje u DDoS napadu ili da špijunira, distribuirati malver i slično [6].

2. SLOJEVI IoT-a

Model IoT može da se prikaže sa 3 do 8 slojeva i ti slojevi odgovaraju različitim funkcionalnim aspektima. Jedna od bazičnih IoT arhitektura je sa tri sloja i to su: perceptivni sloj, mrežni sloj i aplikacioni sloj [7]. Na Sl.1 prikazana je troslojna IoT arhitektura sa pojedinim uređajima ili tehnologijama koji su u ovom radu detaljnije objašnjeni u smislu bezbednosnih rizika, vrsta napada i mogućnosti zaštite



Slika 1. Poruka na računaru nakon ransomware napada

Perceptivni sloj

Perceptivni sloj je zadužen za za identifikaciju, prikupljanje informacija i kontrolu. Sastoji se od različitih senzora, senzorskih čvorova i senzorskih getveja. Uređaji koji pripadaju perceptivnom sloju po pravilu rade sa značajno manjim snagama, memorijama i procesorskom moći u poređenju sa ostalim mrežnim uređajima [8]. Kaže se da rade u Lowerpower and Lossy networks (LLN). Zbog vrlo ograničenih resursa, nemoguće je korišćenje savremenih kriptografskih metoda za autentifikaciju i autorizaciju i zaštitu podataka, jer takvi algoritmi zahtevaju značajnu procesorsku i memorijsku moć, koja u perceptivnom sloju uglavnom nije dostupna. Jednostavniji (lightweight) kriptografski algoritmi mogu biti od pomoći,

ali i dalje može biti problema pri postavljanju i pokretanju celog sistema ili u skalabilnosti [9].

Senzori prikupljaju podatke iz svoje okoline i to su uglavnom jednostavni i jeftini uređaji koje je teško obezbediti od napada bez značajnog povećanja cene.

Senzorski čvorovi su kontrolni elementi, proveravaju šta i kako se radi i prenose podatke do senzor gejtveja. Omogućavaju komunikaciju i koordinaciju senzorskih uređaja, korisnički pristup, nadogradnju senzorske mreže, mobilnost i međusobnu saradnju. Kao kompleksniji uređaji u odnosu na senzore, imaju dodatne resurse i koriste dosta bezbedne šeme enkripcije ali udaljenost i bežična komunikacija ovih uređaja čini ih ranjivim na razne napade.

Senzor gejtveji obavljaju komunikaciju sa drugim slojevima, povezuju percepcioni sloj sa cloud-om ili nekim drugim sistemima za prikupljanje i dalju obradu podataka. Koriste se i za prosleđivanje zahteva sa aplikacionog nivoa ka percepcionom.

Mrežni sloj

Mrežni sloj je zadužen za komunikaciju i slanje podataka od percepcionog do aplikacionog sloja. Omogućava izvršenje zadataka na aplikacionom sloju, kao i čuvanje i korišćenje podataka. Mrežni sloj obuhvata Cloud, Internet, mobilne mreže i razne privatne, lokalne i regionalne mreže. Većina korisnika pristupa IoT-u mobilnim uređajima, dok je cloud za većinu podataka konačno odredište.

Aplikacioni sloj

Aplikacioni sloj omogućava realizaciju raznih servisa u okviru pametnih okruženja namenjenih za transport, poljoprivredu, infrastrukturu, gradske servise, zdravstvo, industriju... Pametni transport se intenzivno razvija i omogućava pomoć vozaču ili samostalno upravljanje.

Bezbednosne strategije koje se oslanjaju na više IoT slojeva pokazale su se korisne zbog sve većeg broja napada na IoT. Slojevita arhitektura može da obezbedi zaštitu čak i ako neka mera ne bude uspešna [10].

3. POTENCIJALNI NAPADI I PREPORUČENI SISTEMI ODBRANE ZA POJEDINE SLOJEVE

Percepcioni sloj

IoT tehnologija nema automatski ugrađenu sigurnost na hardverskom nivou jer to značajno povećava cenu uređaja i usporava rad. RFID (Radio-Frequency identification) tehnologija je dosta korišćena u IoT, a ovo su neke bezbednosne slabosti senzora:

- RFID tagovi mogu biti meta DoS napada upotrebom radio ometača
- RF kanali mogu biti upotrebljeni za Spoofing i prisluskiavanje
- Killing tagovi su predefinisani tagovi koji mogu ugasiti čitač

Ponuđena rešenja za povećanje bezbednosti senzora su:

- Kontrola pristupa - ozbiljniji sistemi autentifikacije i autorizacije.
- Kontrola pristupa zasnovana na heširanju.
- Enkriptovanje podataka koje koristi nelinearni ključ. Ovde je važno obratiti pažnju da ceo postupak enkripcije ne bude previše zahtevan da bi uređaji mogli da rade u realnom vremenu.
- Lightweight Cryptography – korišćenje manje zahtevnih kriptografskih algoritama kod uređaja sa ograničenim resursima
- Kriptografske tehnike za odbranu od napada sa sporednih kanala (side channel attack) – važno je da iz šifrata nije moguće otkriti tajni ključ ili originalnu poruku na osnovu analize učestanosti pojavljivanja znakova ili strukture šifrata.
- Hardver sa ugrađenim bezbednosnim merama
 - kućišta otporna na neovlašćeno korišćenje i
 - onemogućavanje uređaja nakon neovlašćenog pristupa

Senzorski čvorovi imaju odgovarajuću zaštitu, ali međusobna udaljenost i bežična komunikacija može dovesti do sledećih napada:

- Lažni čvorovi koje napadač ubacuje da bi preuzeo saobraćaj
- Ubačeni maligni čvorovi koji narušavaju integritet saobraćaja
- Zaglavljivanje čvorova što onemogućava sistem da radi ono za šta je namenjen
- Sybil – pravi čvorovi izgledaju kao lažni usled napada većine
- Kolizija usled pokušaja istovremenog pristupa sistemu od strane više uređaja

Blockchain može pomoći kod ranjivosti senzorskih čvorova, ali Napad većinom može kompromitovati sistem. Načini za povećanje sigurnosti su:

- privatnost podataka koje senzor prosleđuje
- ozbiljnije šeme priključivanja novih čvorova
- korišćenje blockchain tehnologije za potvrdu prilikom priključenja i slanja podataka od strane čvorova

Senzor gejtveji koriste komunikacijske kanale koji mogu da budu napadnuti na nekoliko načina:

- Hakovanje
- Man-in-the-middle
- Side channel attack
- Napad koji daje pristup sistemu
- Gubljenje signala, počev od ometača pa sve do prirodnih fenomena poput jake kiše koji ometaju rad bežične tehnologije

Najčešći su napadi koji prate i analiziraju kriptovanu komunikaciju da bi dešifrovali poruku ili došli do ključa [11]. Napadači prate promene napona, intenzitet saobraćaja i slične parametre. Ponuđena rešenja su:

- smanjivanje korišćenja funkcija koje povećavaju napon pri šifrovanju
- davanje lažnih informacija napadaču

- maskiranje protoka
- šifrovana komunikacija pouzdanim algoritmom
- zaštita fizičkog uređaja

Mrežni sloj

Kako je mrežni sloj sprega između ostalih slojeva, narušena bezbednost može oboriti ceo sistem. Mobilni korisnici su najzastupljeniji i za pristup uređajima koriste se različite tehnologije poput bluetooth, Wi-Fi, RF, ZigBee i Near Field Communication (NFC). Sve navedene bežične tehnologije imaju neke bezbednosne nedostatke. Osnovni napadi koji se koriste su:

- DoS – ukoliko pristigne poziv dok se telefon koristi kao kontroler, blokiraće se upravljačke funkcije dok se ne reši poziv. Zbog toga se nikako ne preporučuje upotreba mobilnih telefona kao kontrolera za upravljanje bilo kakvim prevoznim sredstvom. Napadač može stalno upućivati pozive i tako onesposobiti upravljanje.
- Menjanje, korumpiranje ili brisanje podatka. Primer ovakvog napada je Man-in-the-middle. Napadač može i samo da ukrade podatke bez izmene. Narušava se integritet i poverljivost.

Dešavali su se i napadi koji nisu bili štetni, već su samo upozoravali korisnike na bezbednosne propuste koje treba otkloniti. Ponuđena rešenja za bolju bezbednost mobilnih korisnika su:

- korišćenje biometrijske bezbednosti
- implementacija ozbiljnih i jakih kriptografskih sistema
- jednokratni ključ sesije koji se menja vremenom

Mnoge primene IoT-a koriste računarstvo u oblaku da bi lakše radili sa IoT podacima i zahtevima za obradu i skladištenje aplikacija. Cloud omogućava veću fleksibilnost i skalabilnost, ali ima i svoje ranjivosti, kao što je nebezbedni protok podataka do i od oblaka, a i sigurnost u oblaku često zavisi od ponude provajdera. Neki od problema vezanih za cloud:

- Outsorce-ovani serveri - raste rizik za privatnost, nemogućnost fizičkog pristupa serverima
- Zloupotreba podatke
- Nepouzdana provajder

Pojedini provajderi nude olakšani pristup bez ozbiljne autentifikacije, da bi privukli što više korisnika, dok neki ne nude odgovarajuću zaštitu. Korisnici bi trebalo da prate nezavisne recenzije i da sprovode odgovarajuće mere zaštite u skladu sa servisom koji koriste. Neka od rešenja za bezbedniju upotrebu cloud-a su:

- Korišćenje jednosmerne funkcije - slanje poruke od korisnika ka cloud-u postaje sigurnije.
- Aggregated transmission evidence - ovaj sistem je koristan ukoliko end-to-end konekcija nije moguća.
- Zero knowledge proof - entitet u komunikaciji treba da dokaže drugom entitetu da zna tajni kod, bez da kaže vrednost tajnog koda.
- Obrada podataka bez njihove prethodne dekripcije – za nedovoljno pouzdani cloud

- Poređenje ponude provajdera u oblaku gledajući izveštaje i smernice revizije IT bezbednosti.
- Organizacije moraju da konfiguriraju bezbednosne opcije

Internet je globalna, kompleksna, paketski komutirana računarska mreža, koja razmenjuje podatke pomoću standardizovanih protokola i svaki korisnik koji se poveže na ovu mrežu svakodnevno je izložen najrazličitijim napadima kao što su:

- Širenje malvera
- Sajber terorizam
- Hakovanje
- DoS napadi

IoT nije najbolje osiguran za povezivanje sa Internetom, pa je poželjno proveriti druge uređaje sa kojima se povezuje i bezbednost same veze za šta se koristi:

- Upravljanje identitetom - potvrđuje se i identitet korisnika i identitet uređaja koji su povezani na mrežu
- Šeme enkripcije – za obezbeđivanje pouzdane konekcije, šalju se jednokratni ključevi sesije što može biti rizčno u trenutku slanja ključa, ako korisnici nemaju validne sertifikate.

Aplikacioni sloj

IoT aplikacije sa ranjivostima, kao što su slabe lozinke, loši procesi ažuriranja, zastarele komponente IoT aplikacije i neobebeđeni mrežni interfejsi i skladištenje podataka, mogu biti relativno laka meta napadačima. Neki od mogućih napada na aplikacioni sloj su:

- Napad zasnovan na softveru - većina napada se realizuje malicioznim softverom. Malware najviše treba očekivati zbog heterogene prirode IoT sistema, velike povezanosti i mogućnosti nebezbednog dodavanja novih uređaja, kao i obimne komunikacije među njima.
- Phishing – ovo je primer jako čestog napada koji nije zasnovan na malicioznom softveru, već se napadač predstavlja kao poverljiva strana i navodi korisnika da sam preda svoje podatke.
- Napad zasnovan na kriptanalizi - napadi ovog tipa su Offline dictionary attack i side channel attacks.
 - Offline dictionary napad - nakon pribavljanja hešovanih podataka iz baze isprobavaju se kombinacije reči iz rečnika i dodaju brojevi, koji se zatim provlače kroz istu funkciju sve dok se ne dobije ista heš vrednost. Neophodno je znati koja je heš funkcija korišćena za šifrovanje kako bi napad bio moguć..
 - Side channel attack – napad koji je već bio spomenut. Prati se prenos podataka i primećuju razlike u količini poslatih podataka i eventualne zakonitosti, pa se korišćenjem određenih metoda dolazi se do privatnog ključa. Nakon toga svaka poruka može biti dekriptovana
- Zloupotreba ranjivosti:

- Slabosti u kodu IoT aplikacija
- Slabe lozinke
- Neobebeđeni mrežni interfejsi
- Neobebeđeno skladištenje podataka

Neka rešenja koja obebeđuju aplikativni sloj:

- Autentifikacija i autorizacija.
- Ključni dogovor i zaštita korisničke privatnost jer inače pametni uređaji mogu da razmenjuju međusobno sve podatke koje poseduju
- Kontrola protoka informacija kroz sistem za upravljanje
- Verifikacija – poželjan je sistem koji će onemogućiti korisnika da oda šifru u slučaju na phishing napada, kao što je sistem koji na osnovu jedinstvene lozinke i URL adrese kreira šifru (One password for all). SSL sertifikati, nisu tako dobro rešenje jer napadači mogu lako nabaviti sertifikate tog tipa.
- Redovna ažuriranja aplikacija
- Firewall
- Stalno nadgledanje IoT aplikacije na neobične aktivnosti i pretnje

Može se videti da svaki sloj ima svoje specifičnosti, ali i da su neke zaštitne tehnike ponavljaju kroz slojeve, poput autentifikacije, autorizacije, kontrole pristupa i kriptovanja podataka.

Zbog specifičnosti IoT sistema vidimo da svaki od navedenih napada može da izazove teške posledice i značajnu štetu. Posledice su narušavanje integriteta, poverljivosti i raspoloživosti. Sistem može da bude meta DoS napada ili da se koristi za izazivanje DoS napada, što narušava raspoloživost, a može dovesti i do potpunog obaranja sistema jer je IoT skroman sistem po pitanju rezervnih resursa i nema mogućnosti da izdrži DoS i DDoS napade čak i u kraćem periodu [12]. Svako lažiranje čvorova, prisluškivanje i praćenje saobraćaja dovodi do narušavanja poverljivosti ili integriteta i može uništiti reputaciju i kredibilitet i izazvati gubitak poverenja od strane klijenata ili dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema. Ukoliko napadač iskoristi nezaštićene uređaje, slabe lozinke ili propuste u softveru, može da pristupi sistemu što najčešće dovodi do blokade ili trajnog uništenja.

4. OPŠTE MERE IoT ZAŠTITE

Ne možemo se u potpunosti i apsolutno zaštititi od zlonamernih napada i zato treba izraditi Plan delovanja u slučaju napada.

Važno je sačuvati značajne podatke, pa je poželjno ažurno raditi backup na više odvojenih lokacija.

Kako skoro polovina zaposlenih koristi lične uređaje za pristup korporacijskim uređajima i podacima, potrebno je obučiti zaposlene kako da lične uređaje sačuvaju od potencijalnih napada i kompromitovanja bezbednosti firme.

Dobra praksa bi bila:

- ograničiti pristup uređajima
- redovno ažurirati sve lozinke
- ažurirati svaki uređaj
- šifrovati IoT podatke
- implementirati firewall
- nadgledati sistem

Kod industrijskih sistema IIoT ima sve veću zastupljenost. Pored toga što prouzrokuju degradaciju performansi, Sajber napadi na IIoT sistem značajno smanjuju mogućnosti sistema ali i potencijalno ugrožavaju ljude, životnu sredinu i opremu [13]. Iako su uslovi rada IIoT drugačiji od uslova u preduzećima i domovima osnovni bezbednosni rizici i zaštitne mere se ne razlikuju previše. Sensori u industriji se često prave za posebne namene, imaju dodatno obebeđenje i rade pri velikim smetnjama, ali povezivanje na internet je uglavnom uobičajeno kao i kod drugih korisnika. Relevantni bezbednosni rizici za IIoT su:

- Nebezbedni Web
- Nebezbedni mobilni i cloud interfejsi
- Ugrožavanje privatnosti i otkrivanje strogo poverljivih podataka
- Loše fizičko obebeđenje
- Nebezbedan softver
- Slaba autentifikacija i autorizacija
- Nebezbedna mrežna konekcija
- Odsustvo enkripcije na transportnom sloju

Robusni mehanizmi za zaštitu bezbednosti i privatnosti su:

- Ažurni sistemi zaštite koji u industriji mogu imati i dodatne komponente poput zaštite od požara, zračenja, prevetne toplote ili hladnoće
- Specijalizovani čip-setovi za odgovarajuće namene
- Jaka autentifikacija i autorizacija
- Detekcija i prevencija napada u realnom vremenu
- Šifrovanje

Najznačajniji napadi na IIoT su MITM (man-in-the-middle) napadi, prisluškivanje, i različiti oblici DoS napada [14]. U ostalim granama privrede među najznačajnijim napadima su MITM, curenje osetljivih informacija, neautorizovan pristup i DoS i DDoS napadi i [15]. Razumljivo je da su se u industriji dodatno zaštitili od curenja osetljivih informacija i neautorizovanog pristupa, jer ti propusti mogu dovesti do bankrota.

Pri kupovini IoT sistema treba imati na umu da su jednostavni i jeftini senzori i aktuatori prvobitno pravljeni za rad u izolovanim sistemima i nemaju odgovarajuću zaštitu pri povezivanju na javnu mrežu [16]. Proizvođači su uglavnom zadržali takav vid proizvodnje, verovatno zbog troškova, ali i zbog inercije i nedovoljne svesti o potencijalnim opasnostima povezivanja takvih uređaja na Internet. Bitno je pri kupovini analizirati proizvod i proveriti da li je već bilo nekih bezbednosnih problema. IoT uređaji su podložni oštećenju usled fizičkog napada ili prirodnih nepogoda (ukoliko su postavljeni na otvorenom), pa je korisno imati redundantni sistem, gde bi dodatni

uređaji mogli da amortizuju napad ili oštećenje senzora, a ta redundantnost ne bi mnogo povećala cenu IoT sistema.

5. ZAKLJUČAK

IoT je sve zastupljeniji u domovima, ali i u preduzećima svih veličina. Pri kupovini IoT sistema potrebno je obratiti pažnju ne samo na funkcionalnost i estetiku, već i na bezbednosne karakteristike, koje se često zanemaruju. Proizvođači IoT uređaja razumeju da cena igra važnu ulogu pri kupovini i često procenjuju da ulaganje u dodatnu bezbednost nije isplativo. Na žalost kako raste broj IoT uređaja tako raste i broj sajber IoT napada. Kako su IoT uređaji skromnih mogućnosti po pitanju procesorske snage i memorije, važno je obezbediti ih, da nemaju otvoren pristup i da se blokiraju u slučaju napada ili ih izolovati u okviru demilitarizovane zone.

IoT bezbednost je u osnovi web bezbednost, jer se za kontrolu i upravljanje IoT uređaja koriste web interfejsi sa svim svojim ranjivostima. Povezivanje uređaja i njihova međusobna komunikacija takođe su podložni web napadima. Kako je sve više pametnih uređaja, svi oni postaju meta mnogobrojnih napadača i značajno je razumeti sve slabosti IoT sistema i osvestiti važnost zaštite svakog pojedinačnog uređaja, sistema i baze podataka, kako bi što više smanjili rizik od sajber napada.

LITERATURA

- [1] Cisco annual internet report (2018–2023). <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- [2] Schiller E., Aidoo A., Fuhrer J., Stahl J., Ziörjen M., Stiller B., „Landscape of IoT security“, *Computer Science Review*, Volume 44, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2022.100467>.
- [3] “IoT u svakodnevnom životu: Uvod u razvoj i korišćenje povezanih uređaja”, <https://digitalnasrbija.org/iot-u-svakodnevnom-zivotu-uvod-u-razvoj-i-koriscenje-povezanih-uredjaja/>
- [4] „EU Cybersecurity Market analysis - IoT in Distribution Grids“, ENISA, april 2022. <https://www.enisa.europa.eu/publications/eu-cybersecurity-market-analysis-iot-in-distribution-grid>
- [5] Cyber Security Breaches Survey 2022, <https://www.gov.uk/government/statistics/cyber-security-breaches-survey-2022/cyber-security-breaches-survey-2022>
- [6] „Bezbednost IoT uređaja u lokalnoj mreži“, 2018. <https://pcpress.rs/bezbednost-lot-uredjaja-u-lokalnoj-mrezi/>.
- [7] Janković O. „IoT (ne)vrijeme: smjernice i izazovi“, INFOTEH-JAHORINA, Vol. 13, March 2014..

[8] Alaba F, Othman M, Hashem I. and Alotaibi F, "Internet of Things security: A survey", *Journal of Network and Computer Applications*, 88, pp. 10-28, 2017..

[9] Kim H. and Lee E. A, "Authentication and Authorization for the Internet of Things," *IT Professional*, vol. 19, no. 5, pp. 27-33, 2017..

[10] Gloss K., 6 IoT security layers to shape the ultimate defense strategy, decembar 2021. <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/6-IoT-security-layers-to-shape-the-ultimate-defense-strategy>

[11] Meneghello, F., Calore, M., Zucchetto, D., Polese, M., & Zanella, A. (2019). „IoT: Internet of Threats? A Survey of Practical Security Vulnerabilities in Real IoT Devices“. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8182–8201., 2019.

[12] Shah, Z.; Ullah, I.; Li, H.; Levula, A.; Khurshid, K. Blockchain Based Solutions to Mitigate Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks in the Internet of Things (IoT): A Survey. *Sensors* 2022,

[13] Stojanović M., Boštjančič Rakas S., Marković-Petrović J., „BEZBEDNOST INDUSTRIJSKIH IoT SISTEMA“, *PosTel* 2019, Beograd, 3. i 4. decembar 2019..

[14] Sajid A., Abbas H. and Saleem K., “Cloud-assisted IoT-based SCADA systems security: A review of the state of the art and future challenges”, *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1375-1384, 2016.

[15] Inayat, U.; Zia, M.F.; Mahmood, S.; Khalid, H.M.; Benbouzid, M. Learning-Based Methods for Cyber Attacks Detection in IoT Systems: A Survey on Methods, Analysis, and Future Prospects. *Electronics* 2022,

[16] Meneghello, F., Calore, M., Zucchetto, D., Polese, M., & Zanella, A. (2019). IoT: Internet of Threats? A Survey of Practical Security Vulnerabilities in Real IoT Devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8182–8201. doi:10.1109/jiot.2019..



YU-S3-VI: Sesija 3

Veštačka inteligencija

PROGRES U RAZVOJU SINTEZE GOVORA NA OSNOVU TEKSTA ZA SRPSKI NA BAZI AI/DNN I POTENCIJALI NJEGOVE PRIMENE

PROGRESS IN THE DEVELOPMENT OF TEXT-TO-SPEECH IN SERBIAN BASED ON AI/DNN AND ITS IMPLEMENTATION POTENTIAL

Vlado Delić¹, Milan Sečujski¹, Siniša Suzić¹, Tijana Nosek¹, Vuk Stanojević¹, Branislav Popović¹, Darko Pekar²

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka¹

AlfaNum doo Novi Sad²

Sadržaj – Progres u razvoju govornih tehnologija u poslednjoj dekadi baziran je na veštačkoj inteligenciji, odnosno mašinskom učenju i dubokim neuronskim mrežama (DNN). U radu je data kratka retrospektiva razvoja sinteze govora za srpski. Predstavljani su rezultati u razvoju višejezičkih sintetizatora koji omogućavaju korišćenje resursa iz jednog jezika za razvoj sinteze na drugom jeziku, kao i eksperimenti subjektivne evaluacije koji pokazuju da se više gotovo ne mogu razlikovati ljudski i sintetizovan govor po MOS ocenama pojedinačnih rečenica na srpskom nakon što je i vokoder baziran na DNN. U drugom delu rada su sagledane perspektive primene visoko kvalitetne sinteze govora na osnovu teksta.

Abstract – Progress in the development of speech technology in the last decade is based on artificial intelligence, i.e. machine learning and deep neural networks (DNN). The paper gives a retrospective of the development of speech synthesis for Serbian. It presents results in the development of multilingual text-to-speech (TTS) enabling the use of resources from one language to develop TTS in another, as well as subjective evaluation experiments based on the MOS scale which show that synthesized speech becomes virtually indistinguishable from human when the vocoder used by the system is also based on DNN. The second part of the paper outlines the field of application of high quality TTS.

Keywords: Text-to-Speech, multilanguage, multistyle TTS, speech morphing, TTS avatar, AI, DNN, NLP, TTS applications, MOS, MUSHRA tests

1. UVOD

Govorne tehnologije su godinama unazad razvijane na bazi probabilističkih koncepata, i u tom periodu najširu primenu imali su skriveni Markovljevi modeli (*eng. Hidden Markov Models* – HMM). Dometi u tačnosti automatskog prepoznavanja govora (*eng. Automatic Speech Recognition* – ASR) i prirodnosti sinteze govora na osnovu teksta (*eng. Text-to-Speech Synthesis* – TTS) bili su takvi da su ograničavali obim i opseg primene. Glavne karakteristike sintetizovanog govora su razumljivost, prirodnost i lakoća slušanja, a to su karakteristike koje se preklapaju i povezane su sa prisustvom varijacija u stilu govora (tempu, emocionalnim ekspresijama, itd.), kao i mogućnosti isticanja pojedinih reči i slično, jer nije prirodno da govor bude stalno neutralan. Uz prepoznavanje šta je rečeno (ASR), u govoru je moguće prepoznati i ko je to rekao (prepoznavanje govornika) i kako je to rekao (npr. prepoznavanje emocija). Ipak, sve je to bilo nedovoljnog

kvaliteta za širu primenu ovih govornih tehnologija. Značajan progres u razvoju govornih tehnologija u poslednjoj dekadi baziran je na veštačkoj inteligenciji, odnosno mašinskom učenju i dubokim neuronskim mrežama (*eng. Deep Neural Networks* – DNN) – kao novoj paradigmatičnoj razvoja i primene govornih tehnologija [1].

U ovom radu fokus je na sintezi govora na osnovu teksta (TTS). Prikazani su rezultati razvoja višejezičnog modela sa više govornika i stilova – koji je baziran na tzv. *embedding*-u. U najnovijoj verziji sinteze za srpski jezik vokoder je takođe baziran na DNN, kao poslednji po redu modul u okviru standardnog sintetizatora govora. U radu su predstavljani najnoviji eksperimenti subjektivne evaluacije sintetizovanog govora (tzv. MUSHRA testovi poređenja kvaliteta govora) koji pokazuju da se govorni i jezički resursi za jedan jezik mogu iskoristiti za razvoj TTS na drugom jeziku, kao i da se po MOS (*eng. Mean Opinion Score*) ocenama pojedinačnih rečenica na srpskom jeziku ljudski i sintetizovani govor više gotovo ne mogu razlikovati.

2. PROGRES U RAZVOJU TTS ZA SRPSKI JEZIK

2.1 Retrospektiva razvoja TTS za srpski jezik

Kontinuiran razvoj sinteze govora na osnovu teksta za srpski jezik počeo je krajem prošlog veka na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Iz tog projekta razvoja govornih tehnologija za srpski poniklo je i preduzeće AlfaNum 2003. godine, koje je za ove dve decenije izraslo u lidera u razvoju i primeni govornih tehnologija za srpski i srodne južnoslovenske jezike. Razvoj sinteze govora za srpski u Novom Sadu prošao je sve faze kroz koje je tekao razvoj sinteze govora za druge jezike – uglavnom za veća govorna područja.

Prva upotrebljiva verzija sinteze govora za srpski bila je bazirana na povezivanju segmenata govora [2], prvo difona, a kasnije i dužih segmenata govora. Sintetizovani govor je bio znatno skromnijeg kvaliteta (ocene oko 3 na MOS skali), ali je našao primenu kao lično pomagalo za slepe i izrazito slabovide osobe koje su prvi put dobile namenski razvijenu sintezu za srpski jezik s elementima prirodne intonacije. Do tada su koristili sintetizator razvijan za češki jezik i doručivan da može da čita i srpski. Takvi tzv. konkatentivni sintetizatori mogli su da dostignu i MOS ocenu preko 4, ali uz dosta napora, velike anotirane govorne baze i niz heuristika. Međutim, takav pristup nije omogućavao lako kreiranje novih glasova niti promenu stila govora. Po tim pitanjima fleksibilniji su bili

tzv. parametarski sintetizatori. Jedno vreme se pokušavalo sa razvojem TTS na bazi HMM-a [3], ali je upotreba ovog stohastičkog koncepta dovela do neizbežnog uprosječavanja i zaravnjavanja nekih konteksta glasova, što mu je limitiralo kvalitet.

Kada je omogućena primena mašinskog učenja i DNN došlo je do značajnijeg progressa u razvoju govornih tehnologija uopšte, pa i sinteze govora za engleski [4], ali i za srpski i srodne južnoslovenske jezike [5]. Parametarske metode sinteze govora, zasnovane na predikciji parametara koje vokoder koristi za generisanje govornih odbiraka, omogućile su kloniranje bilo čijeg glasa i to na osnovu prilično kratkog snimka tog glasa [6]: DNN „skida“ boju i način govora odabranog govornika. Najnovija istraživanja idu u pravcu višejezične sinteze s mogućnošću promene govornog stila, [7] koja se obučava na bogatim govornim i jezičkim resursima za neke jezike i potom se za određeni jezik i željeni stil govora pojedini moduli doobuče – i to sa daleko skromnijim resursima za obuku. Ovo uz obradu prirodnog jezika (eng. *Natural Language Processing* – NLP) i prevodioce jezika otvara brojne mogućnosti primene.

Zamena determinističkog vokodera neuralnim vokoderom predstavlja najnoviji korak u razvoju TTS za srpski, koji je eliminisao minimalno, ali ipak primetno zaravnjenje nekih glasova. Deterministički vokoder bio je u suštini baziran na prostom modelu produkcije govora (šumna i/ili zvučna pobuda i uobličavanje spektra glasa pomoću promenljivog filtra), kao što je bio slučaj kod WORLD vokodera. Neuralni vokoder na ulazu mreže ima akustičke parametre (spektrogrami, f0, MGC i sl.), a na izlazu daje odbirke sintetizovanog govornog signala, odnosno njegov talasni oblik [8, 9], ali za razliku od determinističkih vokodera, koji izlaze generišu korišćenjem algoritama iz obrade signala, za dobijanje izlaznih odbiraka koriste neronske mreže.

Najzad, veštačka inteligencija omogućuje da sintetizovani govor na osnovu datog teksta na bilo kom jeziku prati veštački animirani lik čiji izrazi lica i pokreti usana, glave i tela – prate ono što sintetizator „govori“ [10].

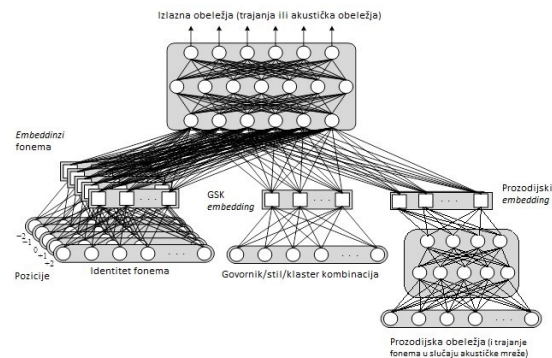
2.2. Pregled novijih eksperimenata u razvoju TTS

2.2.1. Arhitektura ekspresivnog višejezičnog TTS modela

U nastavku će biti predstavljeni eksperimenti u okviru razvoja ekspresivnog višejezičnog modela koji podržava više stilova i govornika, kao i više jezika. Taj model omogućava sintezu u slučaju kombinacije govornik-jezik koja postoji u skupu za obuku, ali i onih kombinacija koje nisu viđene tokom obuke [11]. To znači da se može napraviti sinteza govora na jeziku koji dati govornik ne zna, kao i u stilu za koji ne postoji uzorak u bazi sa datim govornikom. Model predstavlja proširenje modela predstavljenog u [12]. Osnovni model [13] prvo je proširen *embedding* slojem za jedinstvene kombinacije govornik-stil-klaster (GSK na slici 1), potom i fonetskim *embedding* slojevima, a u najnovijem istraživanju i prozodijskim *embedding* slojevima [7].

Obeležja na ulazu standardnog sintetizatora govora predstavljaju binarne odgovore na mnoštvo pitanja. Deo tih pitanja odnosi se na identitet fonema, a deo na prozodijska obeležja. Kako uvođenje dodatnih jezika može da znači uvođenje novih fonema, pa i novih prozodijskih obeležja, neophodne su određene izmene postojećeg ulaznog sloja. Kreiranje fonetskog *embedding* prostora vrši se tako što se svaki fonem svakog od jezika koduje jedinstvenim *one-hot* vektorom, pa se potom kroz smanjenje dimenzionalnosti prepušta mreži da samostalno utvrdi stepen sličnosti pojedinih fonema u različitim jezicima i dodeli im odgovarajuće tačke u kreiranom *embedding* prostoru fonema. Takođe, formirani su zasebni *embedding* prostori i za identitete po dva prethodna i naredna fonema.

Ista ideja iskorišćena je i u [12] kako bi se svaka jedinstvena kombinacija govornik-stil-klaster (deo govorne baze za koji se smatra da su visina glasa, brzina govora i druge karakteristike ujednačeni) prvo kodovala jedinstvenim *one-hot* vektorom, da bi se zatim izvršilo smanjenje dimenzionalnosti, odnosno kreiranje *embedding* prostora u kom bi svaka tačka predstavljala jedinstvenu kombinaciju govornik-stil-klaster. Tako je mreži prepušteno da samostalno uvidi sličnosti i razlike između govornika/stilova, te da pojedinim kombinacijama dodeli odgovarajuće tačke u kreiranom *embedding* prostoru govornika.



Slika 1. Ekspresivni TTS model sa 5 fonetskih *embedding* prostora, 1 *embedding* prostorom govornika i 1 prozodijskim *embedding* prostorom

Problem sa formiranjem prozodijskog *embedding* prostora potiče od različitih šema prozodijske anotacije za različite jezike. Kada bi svi jezici koristili iste konvencije za anotaciju prozodijskih događaja kao što su akcenti, granice između izgovornih celina ili rečenični naglasak, bilo bi dovoljno koristiti pitanja koja se tiču anotacije kao zajednička za sve jezike. Rešenje je nađeno u zasebnoj DNN mreži za prozodiju, uz pretpostavku da bi skriveni slojevi mogli da ekstrahuju željenu informaciju, te bi znanja iz različitih jezika o prozodiji mogla da posluže kao deljena informacija. Pokazalo se da prozodijski *embedding* doprinosi da se prozodija sintetizovanog govora na ciljnom jeziku za koji je dostupno malo materijala značajno poboljša zahvaljujući jeziku za koji je dostupno mnogo više materijala, u odnosu na slučaj kada bi mreža znanja o prozodiji sticala samo na osnovu dostupnog materijala za jedan od ta dva jezika.

U nastavku će biti prikazani zaključci iz prethodnih istraživanja u pogledu primenljivosti prozodijskog *embedding*-a, kao i značaja upotrebe neuralnih vokodera za doprinos kvalitetu sinteze. Poseban akcenat stavljen je na način dobijanja novih glasova iz obučanih višejezičnih modela.

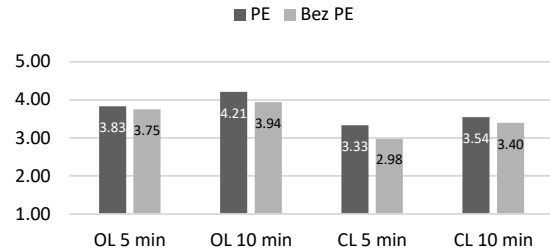
2.2.2. Baze i TTS model sa kojima su vršeni eksperimenti

Za formiranje modela korišćene su baze za srpskohrvatski i američki engleski – dva jezika koji su prozodijski anotirani drugačijim pravilima i koriste različite prozodijske oznake. Baza američkog engleskog (AE) sadrži 18 govornika (8 ženskih) sa ukupno nešto više od 23 h materijala, a baza srpskohrvatskog (SH) sadrži 17 govornika (12 ženskih) sa ukupno nešto više od 24 h materijala. AE baza ima 81 kombinaciju govornik-stil-klaster (GSK), a SH baza 26 GSK kombinacija. Uz to, SH baza sadrži govornike srpskog, hrvatskog i crnogorskog govornog područja, kako ekavicu tako i ijekavicu, a ima i izražene varijacije u pogledu regionalnog dijalekta; većina govornika ima neutralan stil, a kod nekih govornika zastupljen je i srećan (vedar) stil govora. Postoji i mogućnost da se ova baza tretira kao baza sa 3 jezika koja imaju istu prozodijsku anotaciju, ali ta mogućnost u okviru ovog istraživanja nije ispitana.

Implementiran je višejezični model sa više govornika i stilova baziran na *embedding*-u, konkretno dve neuronske mreže: jedna za predviđanje trajanja fonema, a druga za predviđanje vrednosti akustičkih obeležja. Pri obuci modela korišćeni su isti hiperparametri kao i u eksperimentu sa četiri jezika (po 2 verzije engleskog i španskog) u [7] – broj slojeva i neurona po sloju, broj i vrsta obeležja, veličine *embedding*-a, vrste neurona, i dr. U modelu sa prozodijskim *embedding*-om korišćena je arhitektura podmreže od četiri nerekurzivna sloja sa ReLU aktivacionim funkcijama, a veličine slojeva su redom 512, 512, 128, 32. Veličina slojeva se utvrđuje heuristički.

2.2.3. Eksperimenti sa prozodijskim *embedding*om

Na slici 2 prikazan je grafik iz rada [7]. Ovaj grafik predstavlja rezultat testa slušanja, ocene su na skali od 1 do 5 u pogledu kvaliteta sintetizovanih rečenica, čime je utvrđeno da su modeli koji su sadržali prozodijski *embedding* davali kvalitetniju sintezu u odnosu na modele bez prozodijskog *embedding*-a, bez obzira na korišćenu količinu materijala za obuku i scenario upotrebe. Pokazano je da je kvalitetnija sinteza postignuta korišćenjem do 10 minuta materijala po govorniku za obuku, u odnosu na pokušaj korišćenja do 5 minuta materijala po govorniku. „Do 10 minuta“ znači da je za neke govornike bila dostupna i znatno manja količina materijala za obuku, a nije se išlo na više od 10 minuta kako ne bi neki od govornika „preovladavao“ u bazi. Sinteza je testirana u OL (*original language*) i CL (*cross-lingual*) scenariju, odnosno sintetizovane su rečenice u kombinacijama govornik-jezik koje postoje u bazi za obuku – OL scenario, kao i rečenice u kombinacijama govornik-jezik koje ne postoje u bazi za obuku – CL scenario (npr. AE govornik govori na SH). Iako su ocene nešto više u slučaju OL scenarija, što je i očekivano, može se reći da je postignut zadovoljavajući kvalitet sinteze čak i u CL scenariju (za oko 0,5 je niža MOS ocena).



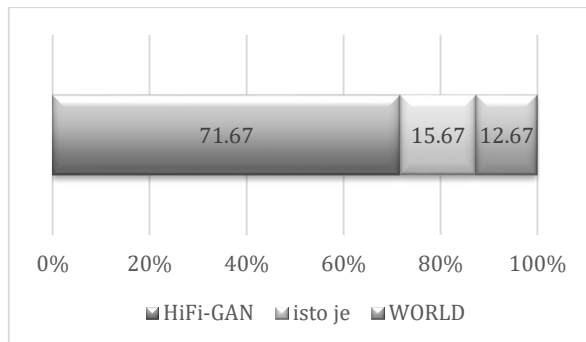
Slika 2. Subjektivne ocene kvaliteta sinteze modelima sa (PE) i bez prozodijskog *embedding*-a (Bez PE), modelima sa različitim količinom materijala za obuku po govorniku (5 min i 10 min) u OL i CL scenariju.

2.2.4. Rezultati poređenja neuralnog i WORLD vokodera

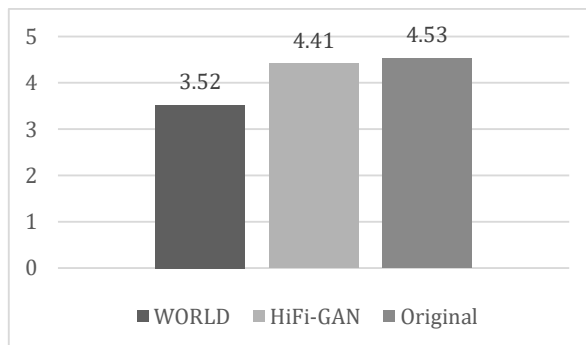
U najnovijoj fazi razvoja TTS-a za srpski jezik uveden je i vokoder baziran na DNN, kao poslednji po redu modul u okviru standardne strukture sintetizatora govora.

Iz reference [8] prikazujemo nekoliko grafikona koji pokazuju da se nakon primene DNN i za konverziju akustičkih obeležja u talasni oblik govornog signala dobija govor koji se po kvalitetu gotovo više ne može razlikovati od prirodnog ljudskog govora.

U prvom testu (slika 3) 20 slušalaca čiji je srpski maternji jezik poredilo je 15 parova istih rečenica sintetizovanih uz korišćenje neuralnog ili determinističkog vokodera.



Slika 3. Rezultati subjektivnog poređenja kvaliteta sinteze pomoću neuralnog vokodera (HiFi-GAN) i determinističkog (WORLD) vokodera



Slika 4. Subjektivne ocene kvaliteta po MOS skali za TTS pomoću neuralnog vokodera (HiFi-GAN) i TTS pomoću determinističkog (WORLD) vokodera

U drugom testu (slika 4) učestvovalo je 20 slušalaca koji su ocenjivali 30 rečenica slučajnim redosledom, među kojima je bilo po 10 originalnih – sa snimkom ljudskog govora i po 10 sintetizovanih pomoću neuralnog i determinističkog vokodera.

Na osnovu prikazanih rezultata eksperimenata sprovedenih u [8] potpuno je jasno da je upotreba neuralnih vokodera značajno doprinela kvalitetu sintetizovanog govora. MOS ocena rečenica sintetizovanih neuralnim vokoderom je samo za nijansu niža od ocene originalnih snimaka ljudskog govora. To navodi na zaključak da je gotovo nemoguće razlikovati po kvalitetu sintetizovanog govora od prirodnog.

2.3. Sinteza novog glasa višejezičnim modelom

Široka primena TTS uslovljena je između ostalog i lakoćom i brzinom produkcije novih glasova. U radovima [11] i [12] već je razmatrano da li je za produkciju novog glasa neophodno obučiti više govornički višejezični model od nule, uključivanjem baze novog govornika, ili je dovoljno samo doobučiti postojeći model. Utvrđeno je da je dovoljno da se formirani model adaptira na bazu novog govornika, što daje brže rezultate. Međutim, pokazalo se da CL scenario u tom slučaju za ciljnog govornika ne daje rezultate uporedivog kvaliteta.

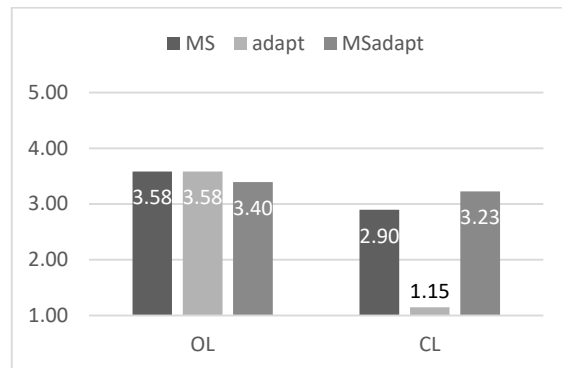
Značajan doprinos poboljšanju kvaliteta sinteze donela je ideja o zamrzavanju fonetskih *embedding*-a. Naime, pri doobuci višejezičnog modela koji ima više govornika, a pod pretpostavkom da je svaki fonetski *embedding* formiran na osnovu dovoljnog broja različitih glasova, on se tokom adaptacije na novog govornika ne ažurira. Izmena parametara tog dela mreže tokom doobuke mogla bi biti štetna. Stoga se u prvoj iteraciji dozvoljava izmena samo parametara mreže koji se odnose na govornički *embedding*, kako bi se za novog govornika pronašla tačka u govorničkom *embedding* prostoru koja najbolje opisuje karakteristike njegovog glasa. U drugoj iteraciji doobuke, dozvoljavaju se promene parametara samo dela mreže koji se odnosi na prozodiju, kako bi se TTS u potpunosti prilagodio načinu govora ciljnog govornika.

Zbog problema sinteze u CL scenariju glasom novog govornika pokušana su dva pristupa. U jednom pristupu doobuka se vrši samo na materijal ciljnog govornika, dok se u drugom pristupu koristi po nekoliko govornika jezika kojim govori ciljni govornik i nekoliko govornika ciljnog jezika. Ovakvim pristupom trebalo bi da ne dođe do natprilagođenja mreže na kombinaciju ciljnih govornika i njihov jezik iz baze, već da se očuva mogućnost sinteze glasom novog (ciljnog) govornika, na bilo kom jeziku podržanom TTS modelom, ali uz očuvanje kvaliteta.

Sprovedena su dva testa slušanja s ciljem poređenja rezultata 3 modela: model treniran od starta sa uključenim ciljnim govornikom (nazvan *MS*), model doobučeni samo na bazu ciljnog govornika (nazvan *adapt*) i model doobučeni na po tri govornika ciljnog jezika i jezika ciljnog govornika (nazvan *MSadapt*). Za obuku modela *MSadapt*, pored celokupnog materijala ciljnog govornika, iskorišćena su još dva govornika koji govore istim jezikom kao

ciljni govornik i još tri govornika koji govore ciljnim jezikom, a čija je količina materijala ograničena na do 3 minuta po govorniku.

U testovima je učestvovalo 12 slušalaca. U prvom testu date su po četiri rečenice od dva govornika sintetizovane svakim od pomenuta tri modela i po dva primera prirodnog govora tih govornika. Po dve rečenice date su u CL, a dve u OL scenariju, od oba govornika. Jedan govornik u bazi za obuku govori engleski, a drugi srpski. Dakle, za 28 rečenica je traženo od slušalaca da na skali od 1 do 5 ocene kvalitet, u smislu prirodnosti, razumljivosti i prisustva artefakata. Rezultati su prikazani na slici 5.



Slika 5. Subjektivne ocene kvaliteta sinteze po MOS skali za TTS modele *MS*, *adapt* i *MSadapt* u CL i OL scenariju

Originalni govor ocenjen je visokom ocenom, 4,79 (nije prikazano na slici). Ukupno gledano, sinteza modelom *MS* i sinteza *MSadapt*, dobile su približno iste ocene, 3,24 i 3,31 respektivno. Značajno nižu ocenu dobila je sinteza modelom *adapt*, 2,39. Ovako niska ocena posledica je činjenice da ovaj model nije zadržao sposobnost sinteze u CL scenariju nakon adaptacije na ciljnog govornika, što potvrđuje izuzetno niska ocena od 1,15. Ovaj model u CL scenariju proizvodio je izuzetno izražene artefakte i proizvodio potpuno nerazumljiv govor. S druge strane u OL scenariju davao je podjednako dobre rezultate kao *MS* model, prosečna ocena za oba je 3,58. Model *MSadapt* je u OL scenariju dobio prosečnu ocenu nešto nižu u odnosu na druga dva modela, 3,40, ali se u CL scenariju pokazao značajno boljim u odnosu na preostala dva modela, 3,23, u odnosu na 2,90 i 1,15. Može se zaključiti da je metoda koju koristi model *MSadapt* izuzetno dobra jer se do rezultata dolazi brže nego kompletno novom obukom kada treba uključiti novog govornika, kao što je slučaj sa *MS* modelom.

Drugi test je sproveden sa CL primerima iz prethodnog testa, ali nisu upotrebljene rečenice modela adaptirane samo na ciljnog govornika jer su artefakti u sintezi ogromni, što je i potvrđeno izuzetno niskim ocenama u prethodnom testu. U ovom testu od slušalaca je traženo da za 8 rečenica na skali od 1 do 5 ocene sličnost sintetizovanog glasa sa referentnim (prirodni govor ciljnog govornika iz baze za obuku). Nešto je bolje ocenjena sličnost sintetizovanog glasa sa originalnim u slučaju modela *MSadapt*, sa prosečnom ocenom 2,42, u odnosu na model *MS* sa prosečnom ocenom 2,23. Ova razlika nije

velika, ali se mora primetiti da je ocena dosta niža u poređenju sa ocenom sličnosti glasova u ranije pomenutim testovima tog tipa (u slučaju modela sa dva jezika sa istom i različitom prozodijskom anotacijom iz [7]).

3. PRIMENE VISOKO KVALITETNOG TTS

U ovom delu rada ukratko su navedene prve primene visoko kvalitetnog sintetizatora govora na srpskom i srodnim južnoslovenskim jezicima – u Srbiji i regionu.

Prve primene sinteze govora bile su u okviru različitih pomagala za osobe sa invaliditetom [14]. Pored široke primene za slepe i slabovide osobe, sintetizator govora pomaže u čitanju i osobama sa disleksijom, ali i starijim osobama kojima je oslabio vid. Preslušavanje audio knjiga je važno i za osobe koje ne mogu da koriste ruke da drže i listaju knjige. Pored toga, sintetizator može da izgovara naglas ono što nema osoba ne može da kaže a može da napiše – bez obzira da li se radi o gluvonemom osobi ili osobi koja je izgubila moć govora zbog laringektomije ili afazije; oni tako mogu da se obrate naglas i većem broju ljudi, bez bojazni da ih neće razumeti. Najzad, sinteza govora se koristi i u okviru uređaja namenjenih asistivnoj augmentativnoj komunikaciji (AAC), koja je važna za osobe koje nisu u mogućnosti da koriste konvencionalnu pisanu i govornu komunikaciju nego se izražavaju izborom sekvence slika ili simbola. Tako nastale rečenice se pomoću sinteze govora mogu izgovoriti naglas. Primer je aplikacija AAC Cboard, za koju je podršku za srpski jezik obezbedilo preduzeće AlfaNum u saradnji sa UNICEF-om. Sve je šira i primena u ozvučavanju web sajtova (opcija „Čitaj mi!“), npr. na sajtu Radio televizije Srbije, glasom njihovog brend govornika (www.rts.rs), ili na sajtovima Vlade Srbije i Vlade Crne Gore. Izdavanje audio knjiga započelo je na sajtu Centralne audio-biblioteke Univerziteta u Novom Sadu [15]. Opisani sintetizator koriste izdavači udžbenika u Srbiji, a počinju i šire primene u obrazovanju – automatizacija kreiranja video lekcija sa animiranim likom koji govori [10].

Neke nove perspektive primena otvaraju se kroz primenu modela za obradu prirodnog jezika, koje su unapredile i druge govorne tehnologije (pored sinteze govora i prepoznavanje govora, govornika i emocija). To se pre svega odnosi na primene u okviru govornih chat botova, dijaloških sistema čovek-mašina, personalnih asistenata, u pametnim kućama itd. Njihovi moduli za upravljanje dijaloza pomoću veštačke inteligencije sagledavaju širi kontekst dijaloga, izvlače značenje na osnovu dugoročnog opšteg znanja, te uočavaju emociju, stavove i nameru sagovornika unapređujući automatsko rezonovanje i veštinu interakcije.

U svakom slučaju, kako je rastao kvalitet sintetizovanog govora na osnovu teksta, rasle su i mogućnosti primene. Kroz ovaj rad i eksperimente sa preslušavanjem i poređenjem pojedinačnih rečenica vidan je napredak u kvalitetu sintetizovanog govora koji se na nivou pojedinačnih rečenica više gotovo ne može razlikovati od ljudskog. Međutim, za čitanje i slušanje sintetizovanog govora u slučaju dužih tekstova potrebna je varijacija stila

govora u pojedinim delovima teksta koja bi pratila i širi kontekst od pojedinih rečenica, a to je svakako izazov za naredni period razvoja sinteze govora.

4. ZAKLJUČAK

Razvoj sintetizatora govora na osnovu teksta baziran na AI paradigmi i DNN omogućio je ne samo unapređenje kvaliteta sintetizovanog govora nego i lakšu promenu boje glasa, stila i načina govora.

Prikazani višezjezički pristup sa *embedding* modelima omogućuje da jezik sa manje materijala za obuku iskoristi znanja koja DNN mreža stekne na osnovu potencijalno znatno obimnijeg materijala za drugi jezik, kako u pogledu fonetskog sadržaja, raspoloživih glasova, tako i u vezi sa proizvodnjom. Prikazani su i analizirani načini dobijanja novih glasova iz višezjezičnih modela, sa malim količinama materijala za obuku, brzo i efikasno.

Pored prirodnosti sintetizovanog govora, AI pruža mogućnost variranja načina i tempa govora, isticanja pojedinih reči i fraza, menjanja emocije i sl, što će dalje širiti primenu sinteze govora, kao i drugih govornih tehnologija.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Ovaj rad je podržan od strane Fonda za nauku Republike Srbije, #6524560, AI projekat S-ADAPT (9.2020-2.2023), i od Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija kroz projekat br. 451 03-68/2020-14/200156.

LITERATURA

- [1] Delić, V., Perić Z., Sečujski M., Jakovljević N., Nikolić J., Mišković D., Simić N., Suzić S. and Delić T. Speech technology progress based on new machine learning paradigm, Computational Intelligence and Neuroscience, Article ID 4368036, Vol. 2019.
- [2] Sečujski M., Obradović R., Pekar D., Jovanov Lj. and Delić V. AlfaNum System for Speech Synthesis in Serbian Language, TSD, Brno, Lecture notes in computer science, LNAI 2448, pp. 237-244, Sept. 2002.
- [3] Pakoci E. and Mak R. HMM-Based Speech Synthesis for the Serbian Language, 56th ETRAN, Zlatibor, Serbia, vol. TE4, pp. 1-4, 2012.
- [4] Qian Y., Fan Y., Hu W. and Soong F.K. On the training aspects of deep neural network (DNN) for parametric TTS synthesis. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 3829-3833, IEEE, May, 2014.
- [5] Nosek (Delić) T., Sečujski M. and Suzić S. A Review of Serbian Parametric Speech Synthesis Based on Deep Neural Networks, Telfor Journal, Vol. 9, No. 1, pp. 32-37, 2017.
- [6] Pekar D. A Novel Method for Speaker Adaptation in Parametric Speech Synthesis, PhD thesis, University of Novi Sad, 2020.

- [7] Nosek T. Ekspresivni višejezički sintetizator govora, teza za doktorat na Univerzitetu u Novom Sadu, 2023.
- [8] Suzić S., Pekar D., Sečujski M., Nosek T., Delić V. HiFi-GAN based Text-to-Speech Synthesis in Serbian, Zbor. radova EUSIPCO, str. 1178-1182, Beograd, 2022.
- [9] Tan X., Qin T., Soong F. and Liu T.Y. A survey on neural speech synthesis. arXiv preprint arXiv:2106.15561, 2021.
- [10] Obradović V., Rajak I., Sečujski M. and Delić V. Text driven virtual speakers, Zbornik radova EUSIPCO, str. 1170-1173, Beograd, 2022.
- [11] Nosek T., Suzić S., Pekar D., Obradović R., Sečujski M. and Delić V. Cross-Lingual Neural Network Speech Synthesis Based on Multiple Embeddings. Int. Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 7(2), pp. 110-120, 2021.
- [12] Sečujski M., Pekar D., Suzić S., Smirnov A., Nosek T. Speaker/Style-Dependent Neural Network Speech Synthesis Based on Speaker/Style *Embedding*, J. Univers. Comput. Sci., 26(4), 434-453, 2020.
- [13] Wu Z., Watts O. and King S. Merlin: An Open Source Neural Network Speech Synthesis System. In SSW, pp. 202-207, September 2016.
- [14] Delić V., Sečujski M., Popović B., Suzić S., Pekar D. Application of speech technologies as assistive technologies for people with disabilities, Zbornik radova 4. konferencije ASTEK, page 32, Belgrade, 2022.
- [15] Delić V., Mišković D., Popović B., Sečujski M., Suzić S., Delić T., Jakovljević N. Central Audio-Library of the University of Novi Sad, Zbornik radova IDC, str. 467-476, St. Peterburg, 2019.

IMPLEMENTACIJE SISTEMA ZA AUTOMATSKO PREPOZNAVANJE GOVORA NA SRPSKOM JEZIKU IMPLEMENTATIONS OF SYSTEMS FOR AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION IN SERBIAN

Branislav Popović¹, Edvin Pakocić², Milan Sečujski¹, Darko Pekar², Vlado Delić¹, Marko Janev³, Lidija Krstanović¹

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija¹

AlfaNum govorne tehnologije, Novi Sad, Srbija²

Matematički institut Srpske akademije nauka i umetnosti, Beograd, Srbija³

Sadržaj – U radu je opisano aktuelno stanje u oblasti u pogledu razvoja govorno-jezičkih resursa, principa obuke akustičkih i jezičkih modela i sistema za automatsko prepoznavanje govora na srpskom jeziku. Visoka tačnost prepoznavanja, pouzdanost i robusnost sistema za prepoznavanje govora omogućila je primene u vidu aplikacije govornog asistenta, govornih automata, aplikacija za diktiranje medicinskih nalaza, pozivnih centara i sistema pametnih kuća. Savremeni sistemi za prepoznavanje govora na bazi neuronskih mreža na srpskom jeziku za pojedine domene dostižu tačnost prepoznavanja od preko 98% na rečnicima od više stotina hiljada reči.

Abstract - The paper describes the current state of the art regarding the development of speech and language resources, training principles concerning acoustic and language models, and the development of systems for automatic speech recognition in the Serbian language. The high recognition accuracy, reliability and robustness of speech recognition systems have enabled applications such as voice assistants, voice dial systems, applications for dictating medical findings, call centres, and smart homes. Modern speech recognition systems based on deep neural networks in Serbian reach a recognition accuracy of over 98% for some specific domains on dictionaries containing several hundred thousand words.

1. UVOD

Upotreba dubokih neuronskih mreža u procesu razvoja govornih tehnologija doprinela je povećanju tačnosti prepoznavanja i redukciji zahteva za angažovanjem ljudskih resursa za pripremu i obradu govornih i tekstualnih baza. Primena tzv. *end-to-end* rešenja [1] eliminiše potrebu za primenama ekspertskeg znanja tokom obuke akustičkih modela, dok je tzv. *flat-start* obuka uvela mogućnost uključivanja jednostavno transkribovanih govornih baza (bez precizno određenih granica pojedinih fonema) i njihove automatske fonetske transkripcije, uz navođenje višestrukih izgovora po svakoj reči u leksikonu, što doprinosi kako skraćanju vremena neophodnog za implementaciju ovakvih sistema, tako i eliminaciji grešaka u pripremno-razvojnom procesu. Poboljšanje performansi akustičkih modela ostvareno je dosnimavanjem i obradom, ali i proširivanjem (veštačkom augmentacijom) postojećih govornih baza na srpskom i hrvatskom jeziku, neutralizacijom pozadinskog šuma, normalizacijom govornog stila [2], izmenama u pogledu fonetskog sistema i rečnika izgovora, obukama višejezičkih modela uz primenu metoda „transfera

znanja“ [3], ali pre svega poboljšanjima u pogledu primenjene arhitekture, strukture i kompleksnosti modela neuronskih mreža [4]. S druge strane, upotreba morfoloških obeležja [5] i klasa [6] u procesu obuke klasičnih *n*-gram i rekurentnih modela neuronskih mreža (engl. *Recurrent Neural Network*, RNN) doprinela je poboljšanju performansi jezičkih modela [7]. Posebni jezički modeli razvijeni su za potrebe različitih jezičkih domena i govornih aplikacija, upotrebom određenih delova tekstualnog korpusa, kao i korpusa specijalne namene, u zavisnosti od konteksta u kom se vrši prepoznavanje.

Aplikacija za diktiranje medicinskih nalaza jedna je od najuspešnijih primera primene govornih sistema na srpskom jeziku i omogućava diktiranje nalaza na srpskom/bosanskom/hrvatskom, odnosno latinskom jeziku, zavisno od odabrane gramatike i domena interakcije [8]. Zahvaljujući primeni ove aplikacije, vreme obrade dokumenata je skraćeno (lekar jednostavno diktira nalaze umesto da ih kuca ili ručno transkribuje na osnovu audio snimka), bez gubitaka u kvalitativnom smislu. Konkretno rešenje omogućava ispis prepoznatog teksta u prozor aplikacije, ali i bilo gde na ekranu, u zavisnosti od odabranog režima rada (režim aplikacije, odnosno režim trake). Obezbeđene su i dodatne mogućnosti, poput personalizacije pravila skraćivanja po korisniku, ubacivanja ili zabrane pojedinačnih reči uz dinamičko osvežavanje grafa, primene šablona, adaptacije na odgovarajuće parametre glasa govornika i nivoa ambijentalne buke, prepoznavanje unapred snimljenog govora, kao i diktiranje nalaza u realnom vremenu, uz poseban tretman akronima nezavisno od načina izgovora (ćirilično, latinično ili englesko spelovanje).

U poglavlju 2 ukratko su opisane govorne i tekstualne baze podataka primenjene u obukama akustičkih modela i modela jezika. Razvoj akustičkih modela i resursa opisan je u poglavlju 3. U poglavlju 4, opisan je razvoj morfoloških modela jezika. U poglavlju 5 navedeni su primeri implementacija sistema za prepoznavanje govora na srpskom jeziku. Kratak zaključak izveden je u poglavlju 6, uključujući pravce budućeg razvoja.

2. BAZE PODATAKA

Obuka akustičkih modela vrši se primenom govorne baze podataka sa preko 1500 sati snimaka. Prvu celinu unutar baze čine snimci visokog kvaliteta, audio knjige pročitane od strane profesionalnih govornika i u studijskom okruženju. Drugu celinu čine snimci radio emisija na

Tabela 1. Performanse akustičkih modela; govorne baze, poseban set fonema za akronime, augmentacije baze akronimskih izgovora, broj slojeva, broj neurona, poduzorkovanje na nivou frejma (svaki / svaki treći), vremenski kontekst u višim slojevima mreže, fonemska reprezentacija (bifoni / trifoni), greške prepoznavanja po reči (WER), karakteru (CER) i fonemu (PER)

baze	spec. fon.	akr. aug.	L	N	poduzor.	kontekst	repr.	WER [%]	CER [%]	PER [%]
RS+HR	ne	ne	12	512	3	{-3, 0, 3}	bifoni	8.15	2.62	34.08
RS+HR	da	ne	12	512	3	{-3, 0, 3}	bifoni	8.27	2.64	29.03
RS+HR	da	da	12	512	3	{-3, 0, 3}	bifoni	8.40	2.70	28.28
RS+HR	da	da	12	768	3	{-3, 0, 3}	bifoni	8.60	2.76	29.04
RS+HR	da	da	4	1536	1	{-3, 0, 3}	trifoni	11.27	3.51	32.07
RS+HR	da	da	4	1536	1	{-4, 0, 4}	trifoni	10.59	3.30	29.77
RS+HR	da	da	5	2048	1	{-3, 0, 3}	trifoni	10.34	3.66	26.16
RS+HR	da	da	5	2048	1	{-4, 0, 4}	trifoni	10.09	3.34	25.78

srpskom jeziku, nešto lošijeg kvaliteta i užeg spektralnog opsega. Na to se nadovezuje skup snimaka govornih komandi prikupljenih putem mobilne aplikacije. Pomenuta grupa snimaka zvuči nešto spontanije od studijske baze podataka, ali svakako manje spontano u odnosu na snimke radio emisija. Poslednju celinu čine snimci hrvatskog jezičkog korpusa, uključujući i snimke zabeležene putem mobilne aplikacije, što zajedno predstavlja oko polovine ukupnog korpusa. Ova grupa snimaka koristi se da bi se povećala varijabilnost akustičkih modela. Za pojedine primene dodaju se baze specijalne namene, poput baze akronima na srpskom jeziku, ili čak baze snimaka generisanih primenom sistema za pretvaranje teksta u govor (engl. *Text-To-Speech*, TTS).

U obuci jezičkih modela koriste se do sada prikupljeni i obrađeni tekstovi podeljeni prema dominantnom funkcionalnom stilu na novinski (žurnalistički, tj., publicistički korpus - uglavnom novinski članci), literarni (književno-umetnički - odlomci priča i romana), administrativni (birokratski - Ustav Srbije i zakoni, pravna akta i normativi), naučni (doktorske disertacije, diplomski radovi, publikacije), naučno-popularni (časopisi) i razgovorni korpus (transkripcije filmskih ostvarenja). Na sve to se dodaju transkripcije audio baza podataka, kao i tekstovi posebne namene, poput medicinskog (radiološki, epikriza, otpusne liste, kartoni Fonda za penzijsko i invalidsko osiguranje), pravnog, ili korpusa na latinskom jeziku.

3. AKUSTIČKO MODELOVANJE

U obuci akustičkih modela primenjena je tzv. *chain* arhitektura implementirana u vidu modela neuronske mreže sa vremenskim kašnjenjem (engl. *Time Delay Neural Network*) i poduzorkovanjem [4]. Mreža je obučena primenom algoritma unakrsne entropije i funkcije cilja na nivou sekvence. Obuci neuronske mreže prethodi obuka akustičkog modela na bazi skrivenih Markovljevih modela i modela Gausovih smeša (HMM-GMM) primenom *Maximum Mutual Information* (MMI) i *Speaker Adaptive Training* (SAT) algoritama. U pitanju je tzv. *flat-start* obuka (granice fonema nisu unapred

određene). HMM-GMM model koristi se za generisanje poravnanja u bazi za obuku modela neuronske mreže. 40 Mel-frekvencijskih kepralnih koeficijenata visoke rezolucije, izračunatih na prozorima (engl. *frame*) dužine 30 ms, sa pomerajima od 10 ms, zajedno sa 3 dodatna obeležja za visinu tona (engl. *pitch*) i i-vektorom dimenzije 100 koji sadrži dodatne informacije o govoriku, dovode se na ulaz pomenute TDNN mreže. Ulazni slojevi mreže obučeni su primenom užeg vremenskog konteksta koji obuhvata prethodni, trenutni i naredni frejm {-1, 0, 1}. Viši slojevi mreže „vide“ širi vremenski kontekst u vidu 3 frejma razdvojena sa po 3 frejma {-3, 0, 3}, odnosno {-4, 0, 4}, zavisno od modela i primene. Obuka akustičkog modela vrši se primenom modifikovane verzije *Stochastic Gradient Descent* (SGD) algoritma optimizacije u 4 do 5 epoha podeljenih na iteracije, pri čemu broj iteracija zavisi od količine podataka na ulazu u mrežu i zadatog broja paralelnih procesa. Primenom poduzorkovanja ostvaruje se dekodovanje u realnom vremenu i na manje naprednom hardveru i prenosnim uređajima poput mobilnog telefona i tableta.

Poboljšanja performansi akustičkih modela ostvarena su veštačkom augmentacijom (proširenjem) govornih baza podataka modifikacijom brzine izgovora i osnovne učestanosti, kako bi se kreirali dodatni govornici. Za određene primene podešava se nivo dodatog stacionarnog i nestacionarnog šuma, kako bi se prilikom obuke simuliralo okruženje na radnom mestu, u saobraćaju i drugim situacijama. Posebni algoritmi zasnovani na upotrebi tzv. *CycleGAN* arhitekture [9], inicijalno projektovane u domenu obrade slike [10], koriste se za uklanjanje pozadinskog šuma i neutralizaciju govornog stila [2], a omogućena je i efikasna redukcija dimenzionalnosti prostora obeležja [11] uz očuvanje tačnosti prepoznavanja [12]. Tačnost prepoznavanja pojedinačnih fonema uvećana je i primenom posebnog seta akronimskih fonema, čime je omogućeno lakše prepoznavanje akronima nezavisno od načina izgovora.

Struktura i kompleksnost modela neuronske mreže uslovljena je primenom, tj., odnosom tačnosti i računске složenosti. U slučajevima manje zahtevnih sistema (jednostavne gramatike, poput aplikacije govornog

asistenta), dovoljno je 5 do 8 slojeva sa po 512 neurona. Zahtevni sistemi, poput aplikacije za diktiranje medicinskih nalaza na srpskom jeziku, podrazumevaju nešto kompleksnije modele, te se povećava kako broj skrivenih slojeva (12 do 15), tako i broj neurona po svakom skrivenom sloju mreže (512 do 2048). Određene arhitekture pokazuju veću robusnost u pogledu prepoznavanja pojedinačnih fonema (engl. *Phoneme Error Rate* – PER), što ne dovodi nužno i do smanjenja greške prepoznavanja po reči (engl. *Word Error Rate* - WER), imajući u vidu da je srpski visoko inflektivan jezik (često je tačno prepoznat osnovni oblik reči, tj. lema, ali ne i odgovarajući sufiks), kao što je prikazano u Tabeli 1.

Akustički modeli na srpskom jeziku obučeni su primenom celokupnog srpsko-hrvatskog korpusa. Po potrebi se primenjuju tzv. *transfer learning* metode [3], tj., vrši se doobuka akustičkih modela samo za određene delove baze od interesa (npr., samo na srpski deo korpusa, ili delove korpusa snimljene putem aplikacije na mobilnom telefonu). Time se postiže očuvanje varijabilnosti polaznog akustičkog modela, uz adaptaciju za odgovarajuću primenu ili domen.

4. JEZIČKO MODELOVANJE

U modelovanju srpskog jezika koriste se klasni n -gram modeli u kombinaciji sa reskorovanjem primenom odgovarajućeg RNN modela [7]. Proširenje n -gram modela vrši se bilo implicitnom ekspanzijom klasnih n -grama tokom konverzije u graf (engl. *lattice*), bilo eksplicitnom zamenom klasnog n -grama regularnim instancama pomenutih klasa [6]. Reskorovanje se obavlja učitanjem grafa u procesu dekodovanja (skup potencijalnih putanja dobijen dekodovanjem uz primenu n -gram modela jezika), oduzimanjem težina dobijenih primenom n -gram modela i dodavanjem težina koje bi se dobile primenom RNN modela jezika u dobijeni graf (na svim prelazima), često uz odgovarajuću interpolaciju pomenutih vrednosti nasuprot prostog oduzimanja.

RNN arhitektura predstavlja kombinovanu TDNN i LSTMP (jedinica duge kratkoročne memorije sa projekcijom, engl. *Long Short-Term Memory Projected*) konfiguraciju [5]. 4 skrivena *ReLU-renorm* sloja TDNN mreže sa po 1024 neurona kombinuju se sa umetnutim LSTMP slojevima između svaka 2 TDNN sloja, sa dimenzijama rekurentnog projekcionog podsloja i nerekurentnog projekcionog podsloja od po 256 (ukupno 512). U obuci jezičkog modela zastupljena su dodatna obeležja, leksičke i morfološke kategorije, poput učestanosti pojave reči u korpusu (unigram verovatnoće), dužine reči, brojnosti pojedinih slovnih n -grama u okviru reči, vrste reči, padeža, gramatičkog broja i gramatičkog roda, podvrste reči u slučajevima imenica, zamenica i brojeva, stepena komparacije kod prideva, glagolskog oblika i glagolskog roda u slučaju glagola. Ispitan je i uticaj dodavanja *one-hot* podvektora obeležja za svaku morfološku kategoriju, kao i uticaj ubacivanja dodatne *1-od-N* reprezentacije za najčešće leme u korpusu za obuku (reč se prikazuje kao vektor dimenzije N , pri čemu svi elementi vektora sem jednog koji odgovara datoj reči

imaju vrednost 0, dok pomenuti element obično ima vrednost 1). Dodatne informacije značajno doprinose eliminaciji uobičajenih grešaka u sistemu za prepoznavanje govora na srpskom jeziku, poput grešaka u padežu, gramatičkom rodu, ili gramatičkom broju reči, kao i generalnom povećanju tačnosti prepoznavanja.

5. PRIMENE

U nastavku teksta navedene su pojedine implementacije sistema za automatsko prepoznavanje govora na srpskom jeziku, razvijene na bazi pomenutih jezičkih i akustičkih modela.

Govorni asistent na srpskom jeziku - omogućava izdavanje glasovnih komandi putem aplikacije na mobilnom telefonu (pozivanje, slanje poruka, navigacija, pristup telefonskom imeniku, itd.).

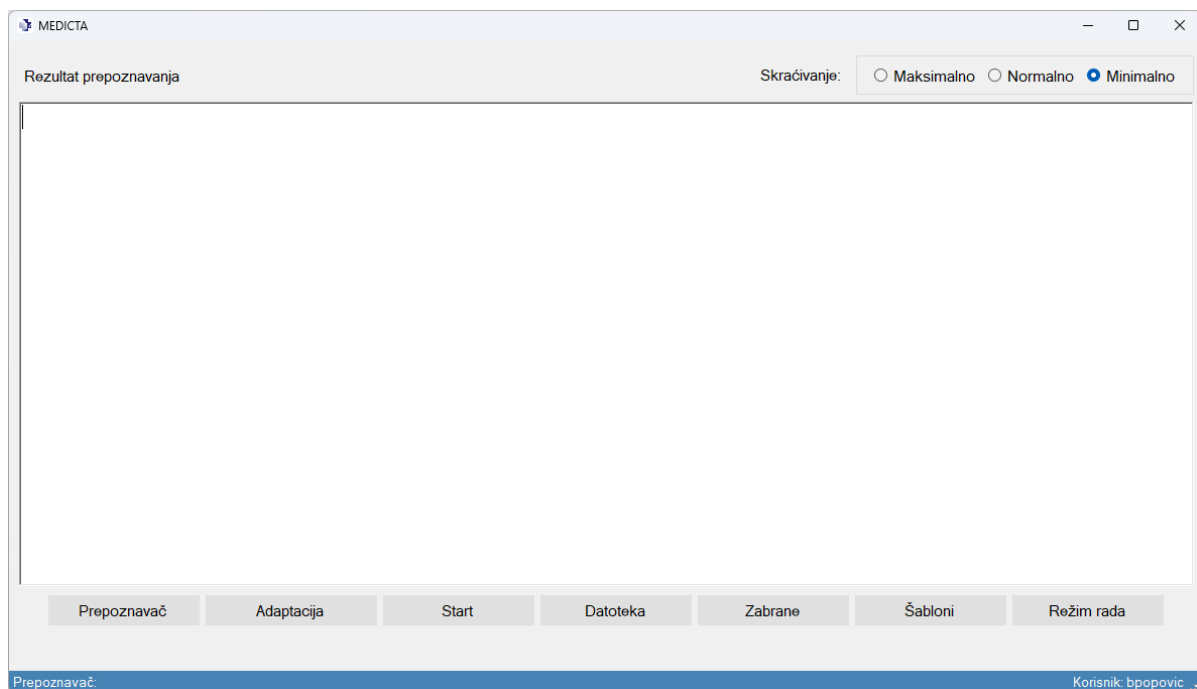
Voice Dial - obezbeđuje transfer poziva na odgovarajući broj telefona (lokal) unutar ili izvan organizacije jednostavnim izgovaranjem imena osobe ili kontakta (zamenjuje telefonskog operatera na centrali).

100 razloga za 1 klik - ASR server razvijen za potrebe interaktivnog govornog sistema unutar aplikacije Vlade Republike Srbije (omogućeno izgovaranje naziva banke za otvaranje namenskog računa za isplatu pomoći).

MEDICTA - sistem za automatsko prepoznavanje diktiranih medicinskih nalaza i njihovo pretvaranje u tekstualni oblik na srpskom/bosanskom/hrvatskom jeziku, uključujući latinske izraze i fraze, u cilju povećanja produktivnosti lekara i kvaliteta usluga koje se nude pacijentima. Prva verzija sistema razvijena je za potrebe Fonda za penzijsko i invalidsko osiguranje Republike Srbije u formi distribuirane klijent-server arhitekture. Sistem automatski reguliše nivo skraćivanja unutar prepoznatog teksta, uz mogućnost definisanja personalizovanih pravila konverzije u skladu sa potrebama korisnika, dinamičkog osvežavanja rečnika (dodavanje, odnosno uklanjanje reči), definisanja šablona (popuna predefinisanih teksta izgovaranjem jednostavne komande), prepoznavanja sa mikrofona ili iz ranije snimljenog fajla, ispisa teksta u okviru prozora aplikacije ili bilo gde na ekranu zavisno od odabranog režima rada (postavljanjem kursora na željeno mesto), ispisa statistika vezanih za pouzdanost prepoznavanja, kao i adaptacije na uslove u okruženju, odnosno odgovarajuće parametre glasa govornika. Posebna pažnja poklonjena je prepoznavanju akronima, uvođenjem specijalnog seta fonema (omogućene su različite vrste izgovora), dok je prepoznavanje imena i naziva ustanova rešeno primenom klasnih jezičkih modela. Tačnost prepoznavanja u okvirima zadatog domena iznosi preko 98%.

6. ZAKLJUČAK

Brojna unapređenja u pogledu načina obuke i strukture akustičkih i jezičkih modela proizvela su povećanje tačnosti prepoznavanja, pouzdanosti i robusnosti sistema zasnovanih na primeni govornih tehnologija na srpskom



Slika 1. Glavni prozor MEDICTA aplikacije

jeziku, praćeno primenama u okviru novih domena interakcije i na velikim rećnicima. Dalja unaprećenja uvode pojam multimodalnosti u proces automatskog prepoznavanja govora, odnosno vizuelna obeleĳa poput pokreta lica i usana, Ńto ima za cilj povećanje taćnosti u uslovima poviŃenog nivoa buke i akustićke degradacije, kao i multilingvalnost, kombinovanjem baza podataka za razlićite jezike.

ZAHVALNICA

Rad je podrĳan od strane Fonda za nauku Republike Srbije, projekat br. 6524560, AI S-ADAPT (septembar 2020 – februar 2023).

LITERATURA

[1] Popović, B., Pakoci, E., Pekar, D., “End-to-End Large Vocabulary Speech Recognition for the Serbian Language“, in *Speech and Computer: 19th International Conference, SPECOM 2017, Hatfield, UK, September 12-16, 2017, Proceedings 19*, Springer, 2017, pp. 343–352.

[2] Popović, B., Krstanović, L., Janev, M., Suzić, S., Nosek, T., Galić, J., “Speech Enhancement Using Augmented SSL CycleGAN“, in *2022 30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), IEEE, 2022*, pp. 1155–1159.

[3] Popović, B., Pakoci, E., Pekar, D., “Transfer Learning for Domain and Environment Adaptation in Serbian ASR“, *Telfor Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 110–115, 2020.

[4] Pakoci, E., Popović, B., Pekar, D., “Improvements in Serbian Speech Recognition Using Sequence-Trained Deep Neural Networks“, *SPIIRAS Proceedings*, vol. 3, no. 58, pp. 53–76, 2018.

[5] Pakoci, E., Popović, B., Pekar, D., “Using Morphological Data in Language Modeling for Serbian Large Vocabulary Speech Recognition“, *Computational intelligence and neuroscience*, vol. 2019, Article ID 5072918, 2019.

[6] Pakoci, E., Popović, B., “Methods for Using Class Based N-gram Language Models in the Kaldi Toolkit“, in *Speech and Computer: 23rd International Conference, SPECOM 2021, St. Petersburg, Russia, September 27–30, 2021, Proceedings 23*, Springer, 2021, pp. 492–503.

[7] Pakoci, E., Popović, B., “Recurrent Neural Networks and Morphological Features in Language Modeling for Serbian“, in *29th Telecommunications Forum (TELFOR), IEEE, 2021*, pp. 1–8.

[8] Pakoci, E., Pekar, D., Popović, B., Sećujski, M., Delić, V., “Overcoming Data Sparsity in Automatic Transcription of Dictated Medical Findings“, in *30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), IEEE, 2022*, pp. 454–458.

[9] Krstanović, L., Popović, B., Janev, M., Brkljać, B., “Bootstrapped SSL CycleGAN for Asymmetric Domain Transfer“, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7: 3411, 2022.

[10] Krstanović, L., Popović, B., Janev, M., Brkljać, B., “Feature Map Regularized CycleGAN for Domain Transfer“, *Mathematics*, vol. 11, no. 2: 372, 2023.

[11] Popović, B., Janev, M., Krstanović, L., Simić, N., Delić, V., “Measure of Similarity between GMMs Based on Geometry-Aware Dimensionality Reduction“, *Mathematics*, vol. 11, no. 1: 175, 2022.

[12] Popović, B., Cepova, L., Cep, R., Janev, M., Krstanović, L., “Measure of Similarity between GMMs by Embedding of the Parameter Space That Preserves KL Divergence“, *Mathematics*, vol. 9, no. 9: 957, 2021.

OPTIMIZING DECISION PARAMETERS FOR FAIR VIKOR RANKING BASED ON STANDARDIZED RANK POSITIONS

OPTIMIZACIJA PARAMETARA ODLUČIVANJA ZA FER VIKOR RANGIRANJE NA BAZI STANDARDIZOVANIH RANG POZICIJA

Zorica Dodevska¹, Boris Delibašić², Dubravko Čulibrk¹, Dragiša Mišković¹
Istraživačko-razvojni institut za veštačku inteligenciju Srbije, Novi Sad¹
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka²

Abstract – This research aims to help decision-makers (DMs) to define unbiased decision parameters with the help of the proposed computational method that supports algorithm-assisted decision-making, directing them to prevent discriminatory decision outcomes and achieve a fairer ranking observed by groups. Instead of determining the first-ranked alternative only (according to the classic VIKOR procedure, which is one of the established methods of multi-criteria decision analysis), we propose ranking all observed alternatives based on the calculated compromise strategy (Q_v). We define ranges of standardized ranking positions (i.e., lower and upper thresholds of bins) based on presumably ideal, i.e., equalized distances of alternatives observed on the interval from 0 to 1. We assign ranks to the alternatives based on calculated Q_v -scores classified into corresponding predefined bins. Suppose there is ranking discrimination (higher/lower ranks predominantly reserved for privileged/discriminated group members). In that case, we propose a mathematical model (MM) for optimizing potentially biased values of decision parameters – compromise parameter v and criteria weights. MM aims to minimize changes in these parameters defined by DMs, and it has constraints concerning overcoming entrenching discrimination. We perform a synthetic experiment that generates decision matrices of different dimensions (regarding the number of alternatives and criteria), with different representations of discriminated alternatives and varying levels of initial discrimination. To set and solve the optimization problem, we use a genetic algorithm, a population-based, nature-inspired metaheuristic. The presentation of the obtained results based on 486 optimization runs is part of this research. Comparisons with linear regression inferences applied to a real dataset are also part of the analysis. The main contribution of the paper's suggested technique is to introduce an unbiased decision-making algorithm that processes the ethical (even legal) issues of discrimination and automatically corrects human-defined decision parameters.

Sadržaj – Cilj ovog istraživanja je da pomogne donosiocima odluka (DO) da definišu nepristrasne parametre odlučivanja pomoću predložene računarske metode koja podržava donošenje odluka uz pomoć algoritma, usmeravajući ih da spreče diskriminatorne ishode odlučivanja i postignu pravednije rangiranje posmatrano po grupama. Umesto utvrđivanja samo prvoplasirane alternative (prema klasičnoj VIKOR proceduri, koja predstavlja jednu od ustanovljenih metoda višekriterijumske analize), predlažemo rangiranje svih

posmatranih alternativa na osnovu izračunate kompromisne strategije (Q_v). Opsege standardizovanih rang pozicija (tj. donje i gornje pragove particija) definišemo na osnovu pretpostavljeno idealnih, tj. ujednačenih udaljenosti alternativa posmatrano na intervalu od 0 do 1. Alternativama dodeljujemo rangove na osnovu vrednosti izračunatih Q_v -poena, koje svrstavamo u odgovarajuće predefinisane particije. Ukoliko postoji diskriminacija pri rangiranju (viši/nži rangovi pretežno rezervisani za članove privilegovane/diskriminisane grupe), predlažemo matematički model (MM) za optimizovanje potencijalno pristrasnih vrednosti parametara odlučivanja – kompromisnog parametra v i težina kriterijuma. MM za cilj ima minimizaciju promena ovih parametara definisanih od strane DO, uz ograničenja koja se tiču prevazilaženja utvrđene diskriminacije. Sprovodimo sintetički eksperiment koji generiše matrice odlučivanja različitih dimenzija (u pogledu broja alternativa i kriterijuma), sa različitim zastupljenošću diskriminisanih alternativa, i sa varirajućim nivoima početne diskriminacije. Za postavljanje i rešavanje optimizacionog problema koristimo genetski algoritam, metaheuristiku zasnovanu na populaciji, i inspirisanu prirodnim zakonitostima. Prikaz dobijenih rezultata na osnovu 486 sprovedenih optimizacija je deo ovog istraživanja. Poređenje sa zaključcima linearne regresije primenjenim na realnom skupu podataka je takođe deo analize. Glavni doprinos sugerisane tehnike je uvođenje nepristrasnog algoritma za donošenje odluka koji obrađuje etička (čak i pravna) pitanja diskriminacije i automatski koriguje parametre odlučivanja koje definišu ljudi.

1. INTRODUCTION

Ranking algorithms, designed to rank items from datasets, affect our everyday lives. They process data in search engines (e.g., web browsers), recommender systems (e.g., e-commercial platforms), job applications, social network applications, etc. Also, they take part in ranking solutions or candidates by experts or crowds. Regardless of the usage field, defining ranking criteria is essential for gaining the purpose of ranking tasks.

Multi-criteria decision analysis (MCDA) field is all centered around criteria. They contribute to quantifying items/alternatives, while ranks result from sorting the calculated scores in descending order. MCDA methods use different concepts for the appraisal of competitive alternatives. For example, the Technique for Order of

Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) uses distances from (anti)ideal solutions, Analytic Hierarchy Process (AHP) uses pairwise comparison matrices relying on preferences, etc. Concurrently, VIKOR (i.e., Multi-criteria optimization and compromise solution, in Serbian transcript) has the advantage of following an integrated approach that simultaneously considers and compromises the overall quality (strategy S) and the weakest features (strategy R) of the observed set of alternatives.

Desirable placements in ranking lists (i.e., higher positions) are preferable, either for better visibility on the web/higher exposure to users or access to limited resources. However, discrimination happens when, with the same effort, achieving equal placement opportunities is hardly achievable. From the perspective of group fairness, placement depends on belonging to a certain sensitive group category (e.g., based on gender, skin color, ethnicity, income, demographic properties, etc.). Consequently, privileged/discriminated group members predominantly (or to a critical extent that we perceive as discriminatory) occupy higher/lower ranking positions.

The novelty of this paper is an automated mechanism for removing discriminatory outcomes and achieving fairer ranking (observed by groups) based on the VIKOR compromise strategy, and the concept of standardized ranking positions adapted for a complete VIKOR ranking list.

Artificial intelligence applications are subject to bias in driven data, processing algorithms, and user experiences [1]. We suggest a mechanism that aims to optimize potentially biased VIKOR decision parameters (i.e., compromise parameter v and criteria weights coefficients) that give discriminative outputs (i.e., ranking list) and achieve a new fairer ranking after the optimization. By doing that, the goal is to minimize changes in decision parameters defined by decision-makers (DMs).

To solve the optimization task of the suggested post-processing ranking technique, we use a genetic algorithm (GA). As an evolutionary algorithm, GA is a global search-based optimization method and a population-based metaheuristic [2]. It avails oneself of Darwin's theory of evolution and bio-inspired genetic operators: selection, crossover, and mutation [3].

In continuation, the second section introduces the suggested approach. The third and fourth sections bring experimental settings and obtained results regarding the synthetic experiment and real dataset used. The discussion is in the fifth, and the conclusions are in the sixth, closed section.

2. FAIR VIKOR RANKING BASED ON STANDARDIZED RANK POSITIONS

Let a decision matrix A contains m alternatives ($i = 1, \dots, m$) and n criteria ($j = 1, \dots, n$), i.e. $A = [a_{ij}]_{m \times n}$. To scale the criteria, VIKOR uses an

advantageable linearly expressed utility transformation, i.e., min-max normalization, calculated as $a_{ij}^N = \frac{a_{ij} - a_j^{MIN}}{a_j^{MAX} - a_j^{MIN}}$, $A^N = [a_{ij}^N]_{m \times n}$. For beneficial/non-beneficial criteria, MIN refers to min/max, while MAX refers to max/min, respectively. This normalization efficiently removes scales from heterogeneous raw data [4].

DMs define criteria weight coefficients ($W = [w_j]_{1 \times n}$), that contribute both in strategy S ($S = [s_i]_{m \times 1}$, $s_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}^N w_j$) and R ($R = [r_i]_{m \times 1}$, $r_i = \min(a_{ij}^N w_j)$), or adjusted R , in which r_i is enlarged for $\frac{s_i - r_i}{100}$ only in situations when the number of the same minimums in R is equal to or greater than 2 [6]). DMs also define compromise parameter v , which aggregates both strategies (previously normalized) in a new compromise strategy [6]:

$$Q^v = [q_i^v]_{m \times 1}, q_i^v = v s_i^N + (1 - v) r_i^N. \quad (1)$$

Table 1 notes VIKOR decision parameters that impact DMs' *modus operandi*.

Table 1. VIKOR decision parameters

Ranges	Compromise parameter v	Criteria weights (W)
	$0 \leq v, w_j \leq 1$	
Properties	<ul style="list-style-type: none"> • $v = 0.5$: neutral value (correspond to S and R) [7] • $v > 0.5$: democratic decision style [7] • $v < 0.5$: veto [7] 	<ul style="list-style-type: none"> • $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ • There are subjective weighting methods [8]
Interconnectivity	Increasing the number of criteria should lead to a higher v -parameter value [6]	

On the basis on Q^v -points, classic VIKOR procedure accounts for acceptable advantage and acceptable strong position with the idea to confirm the first-ranked alternative (or set of compromise solutions). However, our adjusted procedure ranks all alternatives based on predefined positions.

Standardized rank positions represent predefined bins, where the number of partitions corresponds to the number of alternatives (m). The bin width is $d_u = \frac{1}{m}$, so it is inversely proportional to the number of alternatives. Bin ranges (that is, lower and upper thresholds) are defined based on uniform partitions observed along the interval $[0, 1]$:

$$(d_1, d_2) = (1 - (i_d + 1)d_u, 1 - i_d d_u), \quad (2)$$

i.e., $(d_1, d_2) = \left(\frac{m - i_d - 1}{m}, \frac{m - i_d}{m}\right)$, where $i_d = 0, \dots, m - 1$.

Calculated Q^v -scores are arranged in predefined bins (Figure 1). According to this ranking type, some bins (i.e., ranking positions) may be vacant or filled with more alternatives. This concept is useful when the reward is proportional to the performance results and not relatively distributed.

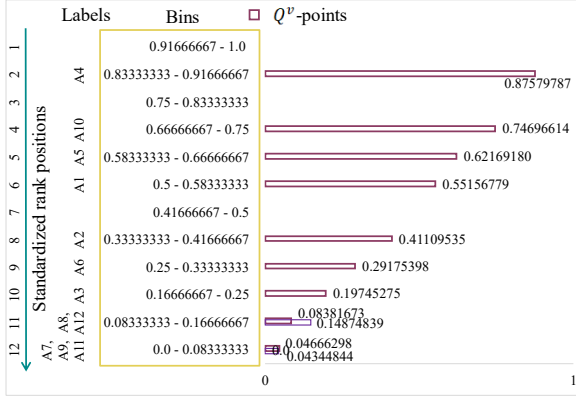


Figure 1. An example of assigning ranks to alternatives based on standardized rank positions and the VIKOR compromise strategy

The adapted VIKOR function for given inputs results in the baseline ranking list, i.e., $F(A^N, W, v) \rightarrow R_F, R_F = [r_i]_{m \times 1}$. Following the labels of the alternatives (i.e., A_1, A_2, \dots, A_{12}) from the illustrative example (Figure 1), the following ranking list is valid: [6, 8, ..., 11].

To investigate if there is discrimination in R_F -ranking, we use disparate impact metric applied directly on ranks instead of on calculated scores (i.e., inverted version as in [9]), and legally adopted the "80% rule" [10] for defining the threshold (τ):

$$DI_F = \frac{\bar{R}_{F[s=0]}}{\bar{R}_{F[s=1]}} \geq \tau = 0.8. \quad (3)$$

If there is discrimination in R_F -ranking, i.e., if $DI_F < 0.8$, we introduce a mathematical model (MM) for optimizing the potentially biased values of the VIKOR decision parameters (v, W). Adapted VIKOR function after optimization for adjusted (i.e., optimized) inputs (v', W'), results in new ranks for alternatives: $F(A^N, W', v') \rightarrow R'_F$, where $R'_F = [r'_i]_{m \times 1}$.

MM for optimizing decision-making parameters aims to minimize the changes of the initially defined parameter values, whereby the new ranking meets the required conditions (i.e., subject to constraints):

$$\min f(v', W') = |v - v'| + \sum_{j=1}^n |w_j - w'_j| \quad (4)$$

s.t.

$$0.8 \leq DI'_F = \frac{\bar{R}'_{F[s=0]}}{\bar{R}'_{F[s=1]}} \leq 1.25$$

$$\sum_{j=1}^n w'_j = 1$$

$$0 \leq v', w'_j \leq 1$$

Required constraints belong to the following three groups, respectively:

- Both-sided fairness constraints:

- Basic constraint ($DI'_F \geq 0.8$), intended to protect the discriminated group in the new (R'_F -)ranking, and
- Additional constraint ($DI'_F \leq \frac{1}{0.8} = 1.25$), which potentially protects an initially privileged group in R_F -ranking not to become discriminated against in R'_F -ranking;

- The sum of the new criteria weight coefficients should be equal to one;
- Natural constraints of the considered decision-making parameters.

In the GA software package [11], we achieve the first group of constraints by introducing penalty functions added to the objective function when the required conditions are unrealized. In this way, we penalize $f(v', W')$ intended to be minimized:

$$pen_1 = \begin{cases} 0, & \text{for } DI'_F \geq 0.8, \\ \infty, & \text{for } DI'_F < 0.8; \end{cases} \quad (5)$$

$$pen_2 = \begin{cases} 0, & \text{for } DI'_F \leq 1.25, \\ \infty, & \text{for } DI'_F > 1.25. \end{cases}$$

Bearing in mind that the used metaheuristic (GA package) works for inequality-type constraints, we implement the second equality-type constraint by predicting L1-normalization in MM ($w'_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}$), and later apply to the obtained results regarding new weights for the criteria.

The third limitation involves defining the type and range of required variables (i.e., variable boundaries): real numbers from 0-1 are the case here.

3. EXPERIMENT SETTINGS

3.1. Synthetic experiment

Synthetic experiment settings include varieties in terms of the following choices:

- Compromise parameter v from the given list: $lst_v = [0.25, 0.5, 0.75]$ (the values are according to determining acceptable stability in classic VIKOR procedure);
- The number of alternatives: $lst_m = [15, 80, 300]$ (from small to large);
- The number of criteria: $lst_n = [4, 7, 10]$ (approximated to real needs);
- The percentage of representation of alternatives from the discriminated group: $lst_{p_s} = [0.3, 0.4, 0.5]$ (discriminated alternatives are often in the minority);
- Entry level of DI_F : $lst_{di} = [0.5, 0.6, 0.7]$ (so that it is less than 0.8, and we want to repair it).

The settings generated in this way generate different combinations of input data (3^5 combinations in total) for performing experiments on synthetic data.

When performing a synthetic experiment, the first step is to fill matrices of given dimensions randomly (we took values from 1-100) and then normalize the random data (we assumed that all criteria are beneficial). In the

continuation, we synthetically generate weights for the criteria (whose sum is equal to 1) as well as the sensitive column (which corresponds to lst_p_s). For a given v , we implement the VIKOR function to calculate Q^v -points and to obtain a ranking list of alternatives based on standardized ranking positions, and then check the obtained DI_F (for each generated decision matrix).

To control the initial level of DI_F , we propose optimization with the following objective function:

$$\min f_e([a_{ij}]_{m \times n}) = |DI_F - di|, \quad (6)$$

where $di \in lst_{di}$. We perform optimization with the help of the GA package in a similar way as in [11].

For better precision in achieving the desired DI_F -level, we introduce additional constraints in the form of penalty functions, added to the objective function that we want to minimize (i.e., $f_e + pen_{e1} + pen_{e2}$):

$$\begin{aligned} pen_{e1} &= \begin{cases} 0, & \text{for } DI_F - di \leq 0.5, \\ \infty, & \text{for } DI_F - di > 0.5; \end{cases} \\ pen_{e2} &= \begin{cases} 0, & \text{for } di - DI_F \leq 0.5, \\ \infty, & \text{for } di - DI_F > 0.5. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

The optimization solution is a vector of length $m \times n$, whose values are integers in the range 1-100, reshaped into a matrix of dimensions $m \times n$, whose data are normalized and inserted into the function F to obtain a ranking list (after f_e -optimization, and before the main f -optimization), which results in $DI_F < 0.8$. Each line of the obtained data continues with performing f -optimization. We repeat the experiment twice, so the total number of performed f_e -optimizations is 486, and the same number of f -optimizations.

3.2. Dataset

The real experiment setting includes an extended dataset about Latin America and the Caribbean (LAC) countries (presented in Table 2). The sensitive attribute (s) is a dummy variable with binary values related to the income classification. The first dichotomy subset (s_P) belongs to privileged alternatives (i.e., high-income countries), and the second one (s_D) belongs to the discriminated ones (i.e., lower-income countries). The interpretation is that it is more difficult for discriminated countries to be competent in the considered area [5]. In this dataset, $DI_F = 0.569$.

Table 2. Results achieved regarding seven innovation indicators for LAC countries from 2015 ([12], pp. 193-194;) extended with their income classification ([13], pp. 16-17), all according to [5]

LAC country (income classification from 2015)	Innovation indicators							s	
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	HI, UM	LM
	Weights							s_P	s_D
Barbados (HI)	0.1613	0.1796	0.1302	0.0519	0.0953	0.2763	0.1055	1	0
Chile (HI)	79.8	30.5	29.2	41.5	53.8	42.4	33.6	1	0
Costa Rica (UM)	73.8	32.3	50	50.9	37.7	28.3	38.6	1	0
Mexico (UM)	67.3	26.3	44.7	38.4	39.4	30.3	37.6	1	0
Panama (UM)	61.5	34.3	39.5	47	36.9	29.4	35	1	0
Colombia (UM)	59.4	26.2	43.1	43.8	34.5	24.7	39.7	1	0
Uruguay (HI)	58.2	31.2	48.4	53.7	35.8	23.7	31	1	0
Brazil (UM)	68.2	29.3	49.1	38.9	29.7	22.3	34.6	1	0
Peru (UM)	55.8	30.1	40.1	44.3	41.6	25.4	29.6	1	0
Argentina (UM)	60.4	26.8	42	56.6	31.6	19.2	33.3	1	0
Trinidad and Tobago (HI)	48	37.7	38.2	35.9	36.3	22.2	36.5	1	0
Guyana (LM)	63	28.8	28.4	43.5	30.3	24.4	26.7	1	0
Paraguay (LM)	54.4	14	25	35.1	57.5	9.7	38.9	0	1
Dominican Republic (UM)	47.9	23.9	28.8	45.5	29.7	16.2	36.3	0	1
Jamaica (UM)	53.3	18.8	35.8	49.6	32.1	17.1	29.4	1	0
El Salvador (LM)	63.5	23.5	29.6	46.3	31.8	16.4	25.6	1	0
Guatemala (LM)	55.5	17.2	32.4	44.1	31.7	12.2	32.7	0	1
Bolivia, Plurinational St. (LM)	48.2	18.2	24	48.3	34.5	18.9	27.2	0	1
Honduras (LM)	30.9	26	28.7	46.4	30.5	20	29.4	0	1
Ecuador (UM)	44.7	19	28.9	48.1	34	14.7	25.4	0	1
Nicaragua (LM)	44.5	22.3	39	47.7	24.7	13.4	22.8	1	0
Venezuela, Bolivarian Rep (UM)	51.9	10.4	22.7	41.6	33	12.3	17.7	0	1
Venezuela, Bolivarian Rep (UM)	17	29.7	30.7	27.3	31.1	19.3	17.5	1	0

c_1 – institutions, c_2 – human capital and research, c_3 – infrastructure, c_4 – market sophistication, c_5 – business sophistication, c_6 – knowledge and technology outputs, c_7 – creative outputs

HI – high income; UM – upper-middle income; LM – lower-middle income

4. RESULTS

4.1. Results of the synthetic experiment

The percentage of successfully implemented optimizations is 83%, and all further presented results are based on them.

Most unsuccessful optimizations contain a small number of criteria (i.e., a small number of optimization variables available) and with DI_F -level distant above the allowed threshold. For successfully implemented optimizations, the absolute average change of parameter v is 0.1173, while the absolute average individual weight shift is 0.0408.

As for the synthetic experiment, we obtain the initial DI_F -level for all matrices lower than 0.8, but the precise values are not achieved for matrices with 300 alternatives. After optimization, DI_F -value is recovered above the allowed limit (Figure 2).

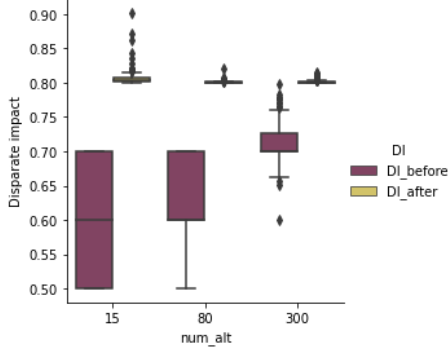


Figure 2. Comparison of DI_F before and after optimizations, depending on the number of alternatives

Comparisons of p -values depending on the number of criteria (Figure 3) and the choice of the initial v -parameter value (Figure 4) show that p -values are higher after applying the optimization model, so the observed groups become more similar, which is the desired result.

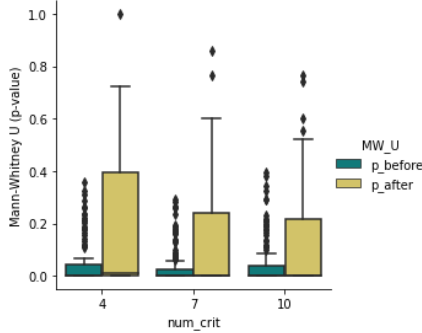


Figure 3. Comparison of p -values (Mann-Whitney U test) before and after optimizations, depending on the number of criteria

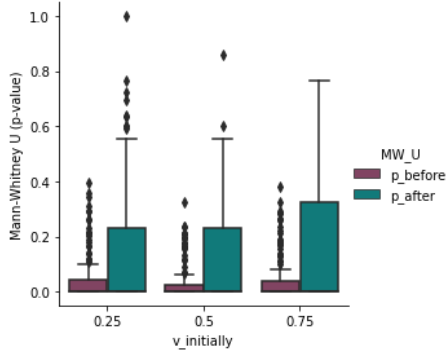


Figure 4. Comparison of p -values (Mann-Whitney U test) before and after optimizations, depending on the choice of the initial value of parameter v

4.2. Results obtained on the dataset

Figure 5 shows changes in decision parameters, i.e., their comparisons between old and new values. Average values are calculated on ten successful optimization runs (for

which $\overline{DI_F} = 0.803$), while individual values represent the results for the minimum obtained f -value (it equals 0.588).

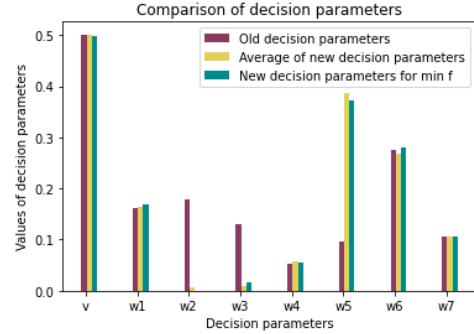


Figure 5. Comparison of decision parameters before and after optimization(s)

5. DISCUSSION

One of the advantages of ranking based on standardized ranking positions is the ranking of all alternatives, especially in situations where minor differences (e.g., a difference of 10^{-4}) are not decisive, i.e., they do not make a significant qualification advantage of one alternative over the other, that is, to a sufficient extent for different ranking positions establishing. Another advantage is if some alternatives are grouped around some value, and others are distant; the ranking requirements stay standardized, not relative. The limitation is the justification of using the exposed intuition on large datasets (with many alternatives) where there is pronounced concurrency along the interval $[0, 1]$, i.e., minimum partition width.

While some ranking algorithms reduce discrimination by adjusting raw data (e.g., [10]), others use in-processing techniques (e.g., learning-to-rank approach [14]). The algorithm suggested in this paper belongs to the post-processing techniques (as, for example, [15]).

To search for an anti-discriminatory solution regarding determining v -parameter, it is possible to fix one point, a set of predefined points, or to search for each possible v (all three approaches are part of the study [5]). However, here we vary the v -parameters along with criteria weights.

Regarding criteria weight optimization, the mechanism mainly tends to decrease/increase discriminatory/non-discriminatory criteria. The most changed criteria weights in the dataset from Table 2 are the following: c_2 , c_3 , and c_5 . Table 3 shows that criteria c_2 and c_3 have the highest (adjusted) R -squared value regarding sensitive attribute, and our mechanism tend to decrease them, contrary to the increased c_5 .

Table 3. R -squared and adjusted R -squared for predicted variables (criteria) and predictor (dummy, sensitive) variable for the dataset from Table 2

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
R -squared	0.137	0.499	0.456	0.000	0.002	0.333	0.017
Adj. R -squared	0.093	0.474	0.428	-0.05	-0.048	0.299	-0.032

In criteria analysis, it is also useful to consider the coefficient of correlation (r) from their pairwise relationships (Figure 5). The following relations are identified: $r(c_2, c_6) = 0.704$, $r(c_2, c_3) = 0.602$, and $r(c_1, c_7) = 0.550$. Therefore, there is a moderate correlation between criteria with reduced weight coefficients (i.e., c_2 and c_3).

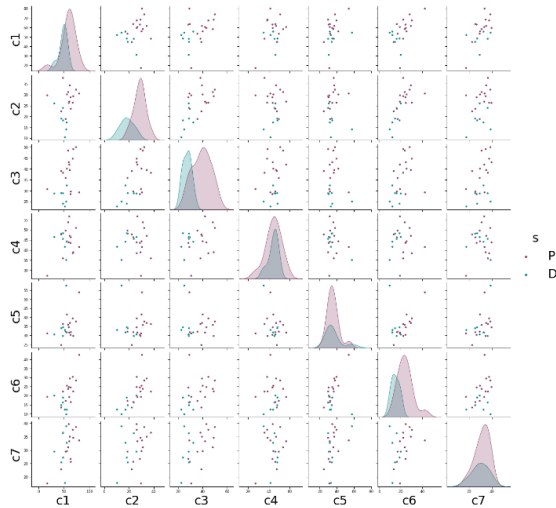


Figure 1. Plot pairwise relationships among criteria for the dataset from Table 2

6. CONCLUSIONS

The suggested anti-discriminatory algorithm for multi-criteria ranking supports group fairness, but it also tends to treat similar individuals similarly based on standardized VIKOR positions. It represents an aid to DMs in defining unbiased and less subjective decision parameters. The proposed computational method contributes to the algorithm-assisted decision-making movement, which uses inputs from DMs, automatically corrects them, and requires DMs' validation.

The possibilities of extension and adaptation of the basic model concern additional restrictions on how much the considered decision parameters, or some of them, can be changed, thus preventing unwanted changes.

REFERENCES

- [1] Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., and Galstyan, A. "A survey on bias and fairness in machine learning", *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 54, No. 6, pp. 1-35, 2021.
- [2] Reddy, M. J., and Kumar, D. N. "Evolutionary algorithms, swarm intelligence methods, and their applications in water resources engineering: a state-of-the-art review", *H2Open Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 135-188, 2020.
- [3] Rajwar, K., Deep, K. and Das, S. "An exhaustive review of the metaheuristic algorithms for search and optimization: taxonomy, applications, and open challenges", *Artif Intell Rev*, 2023.
- [4] Jahan, A., and Edwards, K. L. "A state-of-the-art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design", *Materials & Design* (1980-2015), Vol. 65, pp. 335-342, 2015.
- [5] Dodevska, Z., Petrović, A., Radovanović, S. and Delibašić, B. "Changing criteria weights to achieve fair VIKOR ranking: a postprocessing reranking approach", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol. 37, No. 1, p. 9, 2023.
- [6] Opricovic, S. *Multicriteria optimization in civil engineering* (in Serbian), Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998.
- [7] Opricovic, S., and Tzeng, G.-H. "Extended VIKOR method in comparison with outranking methods", *European Journal of Operational Research*, Vol. 178, No. 2, pp. 514-529, 2007.
- [8] Odu, G. O. "Weighting methods for multi-criteria decision making technique." *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, Vol. 23, No. 8, pp. 1449-1457, 2019.
- [9] Dodevska, Z., Delibašić, B., Radovanović, S., Suknović, M., and Marković, A. "Prevention of discrimination in ranking using modified TOPSIS method" (in Serbian), *Proceedings of the 28th ICT conference, YU INFO 2022*, pp. 30-35, Kopaonik, Serbia, 2022.
- [10] Feldman, M., Friedler, S. A., Moeller, J., Scheidegger, C. and Venkatasubramanian, S. "Certifying and removing disparate impact", *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*, pp 259-268, Sydney, NSW, Australia, 2015.
- [11] Solgi, R.M. MIT License Geneticalgorithm 1.0.2. <https://pypi.org/project/geneticalgorithm/> (accessed on 23 April 2023).
- [12] do Carmo Silva, M., Gavião, L. O., Gomes, C. F. S., and Lima, G. B. A. "A proposal for the application of multicriteria analysis to rank countries according to innovation using the indicators provided by the world intellectual property organization", *RAI Revista de Administração e Inovação*, Vol. 14, No. 3, 188-198, 2017.
- [13] Dutta, S., Lanvin, B., and Wunsch-Vincent, S. *The global innovation index 2015: Effective innovation policies for development*, Cornell University, INSEAD, and WIPO, 2015.
- [14] Zehlike, M., and Castillo, C. "Reducing disparate exposure in ranking: A learning to rank approach." *Proceedings of the web conference 2020*, pp. 2849-2855, 2020.
- [15] Gupta, A., Johnson, E., Payan, J., Roy, A.K., Kobren, A., Panda, S., Tristan, J.B. and Wick, M. "Online post-processing in rankings for fair utility maximization", *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, pp. 454-462, 2021.

Upoređivanje enkodera rečenica zasnovanih na Transformer arhitekturi koristeći tekst koji se odnosi na održivi razvoj

Comparing Transformer-Based Sentence Encoders Using Text Related to Sustainable Development

Ana Gjorgjevikj, Kostadin Mishev, Dimitar Trajanov

Faculty of Computer Science and Engineering, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, North Macedonia

Sadržaj – Ostvarivanje Agende za Održivi Razvoj 2030 Ujedinjenih Nacija jedan je od najvažnijih prioriteta čovečanstva u tekućoj deceniji, kako bi se obezbedilo blagostanje sadašnjih i budućih generacija. Tekstualni podaci i savremene metode obrade prirodnog jezika mogu pomoći u rešavanju nekih od otvorenih izazova povezanih sa Agendu, ali su do danas nedovoljno iskorišćena u tu svrhu. Cilj ovog naučnog rada je da uporedi četiri unapred obučena enkodera rečenica opšte namene u predstavljanju teksta koji se odnosi na Ciljeve Održivog Razvoja. Rezultati pokazuju da određeni enkoderi rečenica imaju bolje performanse od drugih na zadacima iz ovaj domen i da se ovo njihovo rangiranje razlikuje od ono na opštim zadacima obrade prirodnog jezika. Rezultati treba da motivišu buduću upotrebu tekstualnih podatka i enkodera rečenica u rešavanju izazova povezanih sa Agendu.

Abstract – Achieving the 2030 Agenda for Sustainable Development of the United Nations is one of the highest priorities of humanity in the current decade, to ensure the well-being of present and future generations. Textual data and modern natural language processing methods can help address some of the open issues related to the Agenda, but to date have been underutilized for that purpose. The purpose of this article is to compare four pre-trained general-purpose sentence encoders in representing text related to the Sustainable Development Goals. The results show that certain sentence encoders perform better than others on the domain-specific tasks and that their performance-based ranking on those tasks differs slightly from that on general natural language processing tasks. The results should motivate the future use of textual data and pre-trained sentence encoders in solving issues related to the Agenda.

Keywords – Deep learning, Natural language processing, Sentence encoder, Sustainable Development Goals

1. INTRODUCTION

The 2030 Agenda for Sustainable Development of the United Nations [1], adopted in 2015, defines 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and 169 targets covering the fundamental problems which the humanity faces today and which need to be solved by 2030. The progress towards the implementation of the Agenda is monitored through the global indicator framework [2],

adopted in 2017 and revised annually. Accurate monitoring of the progress towards the SDGs is essential for planning future policies, however, the latest report on this progress [3] still points to gaps in the statistical indicator data compiled at national level. The report also highlights the possibility of filling those gaps through the use of alternative data sources. To date, textual data and modern natural language processing (NLP) methods are still underutilized in solving problems related to the SDGs. Therefore, the purpose of this article is to take a small step in that direction through a simple comparison of a set of pre-trained general-purpose sentence encoders based on the Transformer architecture [4] on tasks related to the SDGs. In particular, this article compares sentence encoders by (1) evaluating their performance in combination with three clustering algorithms on two domain-specific datasets consisting of short text related to the SDG targets and indicators, and (2) visualizing the embeddings they output in a two-dimensional representation space. The two research questions this article tries to answer are the following:

- RQ1. Which category of pre-trained general-purpose sentence encoders has the best performance in representing and clustering short text related to the SDGs?
- RQ2. Is the pre-trained general-purpose sentence encoders performance on the SDG-related tasks same as their performance on general NLP tasks?

The article begins with a description of the datasets and the evaluation method, continues with a presentation of the baseline results the sentence encoders have achieved on general NLP tasks and the results they achieved on the two clustering tasks. The article ends with a discussion of the results and a conclusion.

2. METHOD

The data used in this article consists of the titles of the targets and indicators from the 2030 Agenda. The number of targets in the Agenda is 169. This article uses the indicator revision after March 2021, which consists of 247 indicators (including the repeating ones). The selected pre-trained sentence encoders belong to four categories, i.e., Universal Sentence Encoder (USE) [5], Sentence BERT

(SBERT) [6], Simple Contrastive Sentence Embedding Framework (SimCSE) [7], and Sentence Text-to-Text Transfer Transformer (S5) [8]. From each category, one representative sentence encoder was selected, as given in Table 1. Their evaluation process is illustrated in Figure 1.

Table 1. Selected sentence encoders brief description.

Sentence Encoder	Output Size	Base Model
USE Transformer (English) ¹	512	NA
SBERT NLI Large ²	1024	BERT Large [9]
SimCSE RoBERTa Large (Supervised) ³	1024	RoBERTa Large [10]
S5 Large ⁴	768	S5 Large [11]

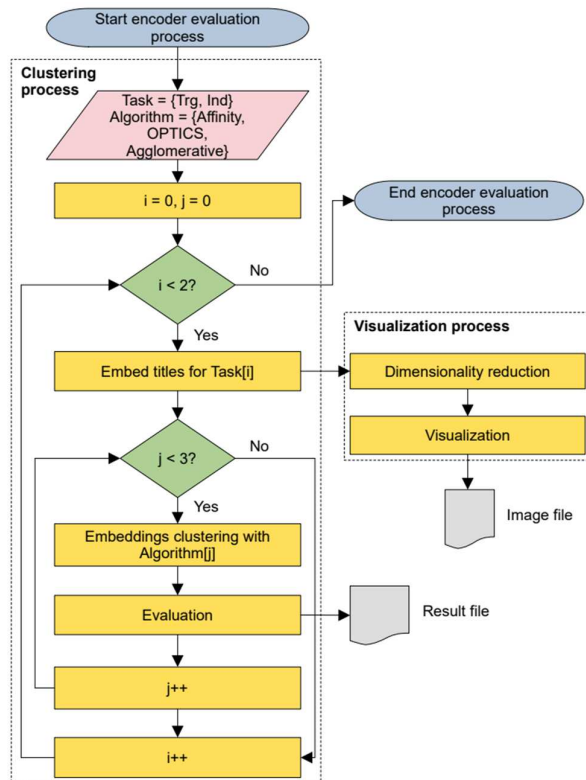


Figure 1. Domain-specific evaluation of a pre-trained general-purpose sentence encoder.

To evaluate the clustering potential of each sentence encoder, two different evaluation tasks were defined, which differ in the examples in their datasets. In the first, each example corresponded to a target title, labelled with the SDG it belonged to. In the second, each example corresponded to an indicator title, labelled with the SDG it monitored. The labels served as ground truth to evaluate the cluster assignments produced by the different

combinations of sentence encoders and clustering algorithms. Three clustering algorithms of different types were used in the evaluation, (1) Affinity Propagation (damping factor $\lambda=0.5$), (2) OPTICS (min_samples=2), and (3) Agglomerative Clustering (complete linkage, number of clusters $n=17$), together with the cosine distance metric. The clustering results were evaluated using two performance metrics, the cluster homogeneity and completeness [12].

The second type of analyses involved visualizing the target and indicator title embeddings in a two-dimensional representation space. The aim was to see if there is an apparent difference in the embeddings grouping by SDG. Since the sentence encoders output embeddings of higher dimension, they were projected in a two-dimensional space with the t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) method (cosine distance metric, perplexity=30) [13]. Since t-SNE results depend on its initialization, the random number generator was initialized with the same value for all sentence encoders and tasks. Therefore, the conclusions drawn from the visualizations apply to this t-SNE configuration only.

The evaluation was implemented in Python, using the machine learning library Scikit-Learn⁵ and two deep learning libraries, TensorFlow⁶ and PyTorch⁷.

3. RESULTS

This section presents the outcomes of our experiments and analyses. It begins by establishing baseline results for the sentence encoders, followed by presentation of their results in the target and indicator title clustering tasks.

3.1. BASELINE

The baseline results used in this article are those the four sentence encoders achieved on tasks from the SentEval benchmark [14], a benchmark specifically tailored for evaluating sentence encoders. The baseline results are reported in Table 2, as they are reported in the cited research articles. The tasks are grouped into sentence classification tasks and tasks related to calculating semantic similarity/relatedness of sentences. Only the average score by group of tasks is given in Table 2. For details on the evaluation process and task-specific results, please see the cited articles.

Table 2. Average results on the two groups of SentEval tasks.

Sentence Encoder	Classification	Similarity / Relatedness	Sentence Article
USE Transformer	85.10	71.22	[6]
SBERT NLI Large	87.69	76.55	[6]

¹ <https://tfhub.dev/google/universal-sentence-encoder-large/5>
² <https://huggingface.co/sentence-transformers/bert-large-nli-mean-tokens>
³ <https://huggingface.co/princeton-nlp/sup-simcse-roberta-large>

⁴ <https://tfhub.dev/google/sentence-t5/st5-large/1>
⁵ <https://scikit-learn.org/>
⁶ <https://www.tensorflow.org/>
⁷ <https://pytorch.org/>

SimCSE RoBERTa Large	89.61	83.76	[7]
S ₅ Large	90.97	84.11	[8]

3.2. TARGET TITLE CLUSTERING

The cluster homogeneity and completeness the four sentence encoders achieved in combination with the three clustering algorithms in the target title clustering task are given in Table 3. The highest score by algorithm and performance metric is given in bold. For better comparison of the encoder performance, the results were averaged by encoder and presented in the last column of Table 3. The highest average score was achieved by the encoders SBERT NLI Large and SimCSE RoBERTa Large. The second highest score is that of USE Transformer, while the lowest score is that of S₅ Large. The visualization of the two-dimensional target title embeddings, outputted by the four encoders, is given in Figure 3. The visualization shows no apparent difference in the grouping of the embeddings outputted by the different encoders by the SDG they belong to.

Table 3. Cluster homogeneity (H) and completeness (C) by sentence encoder and clustering algorithm in the target title clustering task.

Sentence Encoder	Affinity Propagation		OPTICS		Agglomerative Clustering		Avg
	H	C	H	C	H	C	
USE Transformer	0.50	0.44	0.33	0.49	0.37	0.39	0.42
SBERT NLI Large	0.49	0.45	0.40	0.51	0.38	0.40	0.44
SimCSE RoBERTa Large	0.47	0.45	0.37	0.48	0.42	0.44	0.44
S ₅ Large	0.43	0.43	0.29	0.46	0.35	0.42	0.39

3.3. INDICATOR TITLE CLUSTERING

The cluster homogeneity and completeness the pre-trained general-purpose sentence encoders achieved in combination with the three clustering algorithms in the indicator title clustering task are given in Table 4. Again, the highest score by algorithm and performance metric is given in bold. For better comparison of the encoder performance, the results were averaged by encoder and presented in the last column of Table 4. The highest average score was achieved by SimCSE RoBERTa Large. The second highest score is that of S₅ Large, while the lowest score is that of USE Transformer and SBERT NLI Large. The results further show that SimCSE RoBERTa Large achieves the highest score with almost all clustering

algorithms. The visualization of the two-dimensional indicator title embeddings, outputted by the four encoders, is given in Figure 4. In our opinion, the visualization shows a slightly better grouping of the embeddings outputted by SimCSE RoBERTa Large by the SDG they monitor, compared to the remaining encoders.

Table 4. Cluster homogeneity (H) and completeness (C) by sentence encoder and clustering algorithm in the indicator title clustering task.

Sentence Encoder	Affinity Propagation		OPTICS		Agglomerative Clustering		Avg
	H	C	H	C	H	C	
USE Transformer	0.56	0.43	0.44	0.44	0.33	0.34	0.42
SBERT NLI Large	0.51	0.42	0.44	0.43	0.34	0.36	0.42
SimCSE RoBERTa Large	0.61	0.49	0.47	0.45	0.45	0.46	0.49
S ₅ Large	0.53	0.44	0.43	0.46	0.34	0.36	0.43

4. DISCUSSION

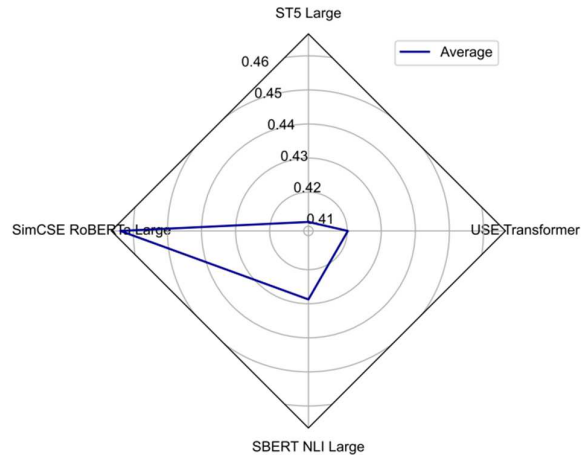


Figure 2. Average of all homogeneity and completeness scores each sentence encoder achieved with the three clustering algorithms in the two tasks.

The results presented in Section 3 show that certain sentence encoders perform better on both clustering tasks than others (RQ1). Figure 2, illustrating the average of all the homogeneity and completeness scores each sentence encoder achieved with the three clustering algorithms on the two tasks, further supports this conclusion. Furthermore, the sentence encoders performance-based ranking in the two clustering tasks (given in Figure 2)

differs slightly from that in the general NLP tasks (given in Table 2) (RQ2). Therefore, the results confirm that a domain-specific evaluation of the pre-trained general-purpose sentence encoders can be very informative prior to their use with SDG-related text.

Since new pre-trained general-purpose sentence encoders are proposed in the research literature constantly, the future

work can expand the set of considered sentence encoders both with new ones from the already considered categories, as well as with encoders from new categories. The evaluation tasks can be further expanded with new types of machine learning tasks and their datasets can be expanded with sentences coming from other sources.

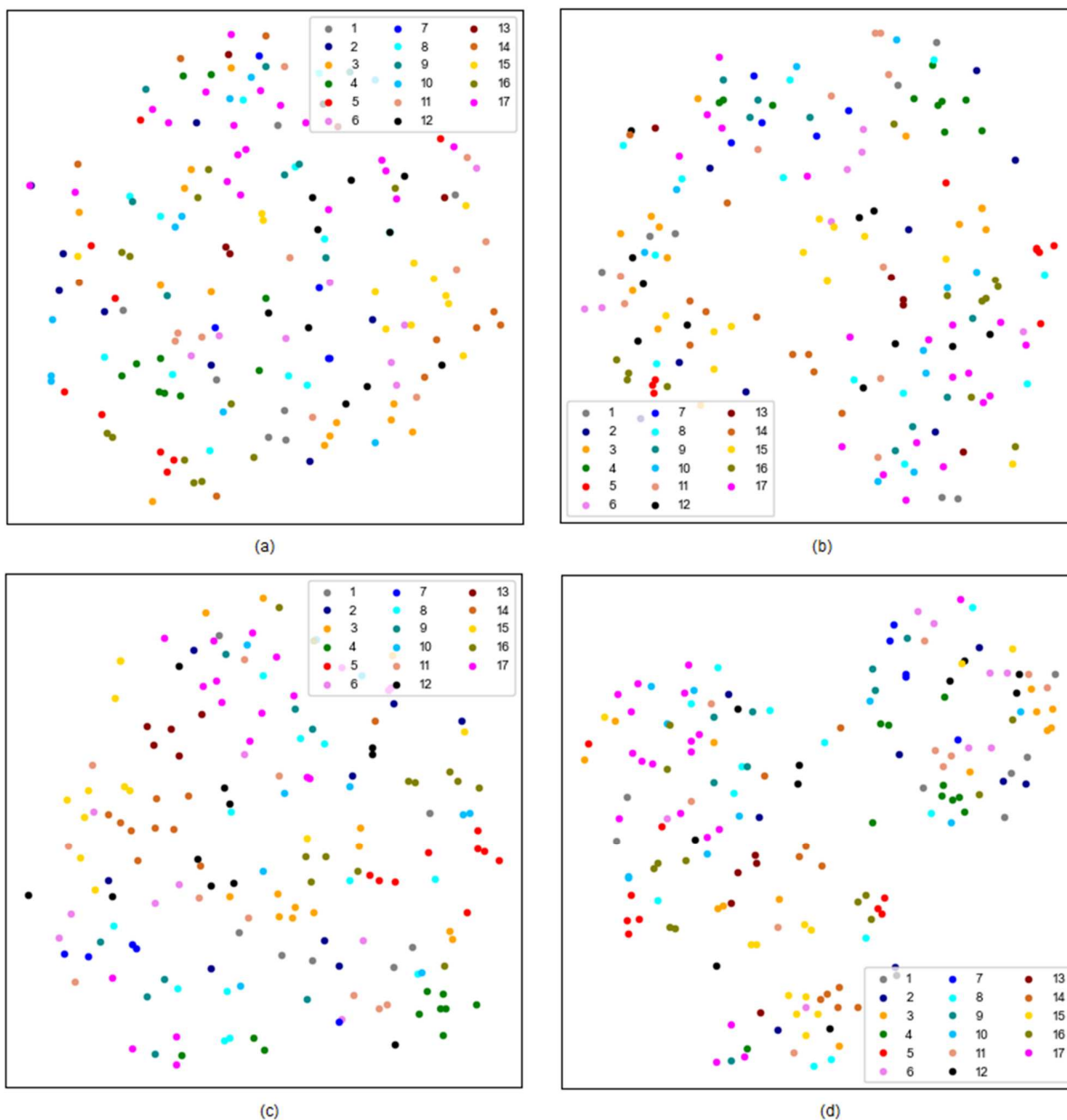


Figure 3. Target title embeddings outputted by different sentence encoders, visualized in a two-dimensional representation space. (a) USE Transformer. (b) SBERT NLI Large. (c) SimCSE RoBERTa Large. (d) SIF Large.

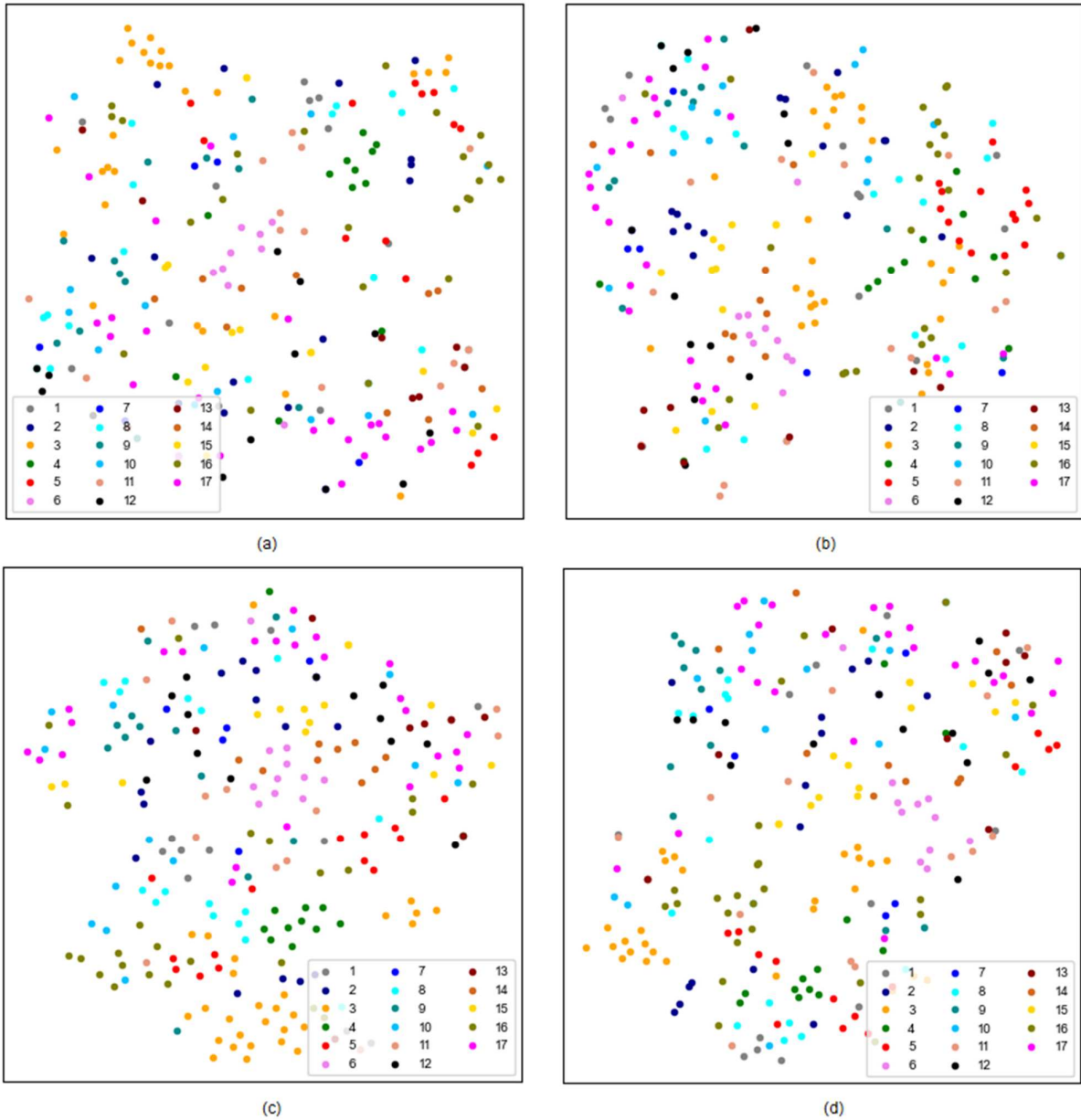


Figure 4. Indicator title embeddings outputted by different sentence encoders, visualized in a two-dimensional representation space. (a) USE Transformer. (b) SBERT NLI Large. (c) SimCSE RoBERTa Large. (d) S5 Large.

5. CONCLUSION

The implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development is a priority for humanity in the current decade. Textual data and novel natural language processing methods based on deep learning have the potential to help address some of the open issues related to the Agenda, but have been underutilized to date. The aim of this article is a simple comparison of four pre-trained general-purpose sentence encoders on two tasks related to the Sustainable Development Goals, formulated as clustering of the official target and indicator titles from the Agenda. The results indicate (1) a difference between the performance of the selected sentence encoders in the domain-specific

clustering tasks and (2) a small difference in their performance-based ranking in those tasks compared to that in general natural language processing tasks. The results should motivate the future use of textual data in addressing some of the open issues related to the Sustainable Development Goals.

REFERENCES

- [1] United Nations General Assembly, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1, United Nations.

- [2] United Nations General Assembly, 2017. Global Indicator Framework for the Sustainable Development Goals and Targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/71/313, Annex, United Nations.
- [3] United Nations, 2022. The Sustainable Development Goals Report 2022.
- [4] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł. and Polosukhin, I., 2017. Attention is all you need. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- [5] Cer, D., Yang, Y., Kong, S.Y., Hua, N., Limtiaco, N., John, R.S., Constant, N., Guajardo-Cespedes, M., Yuan, S., Tar, C. and Sung, Y.H., 2018. Universal sentence encoder. *arXiv preprint arXiv:1803.11175*.
- [6] Reimers, N. and Gurevych, I., 2019. Sentencebert: Sentence embeddings using siamese bert-networks. *arXiv preprint arXiv:1908.10084*.
- [7] Gao, T., Yao, X., Chen, D., 2021. Simcse: Simple contrastive learning of sentence embeddings. *arXiv preprint arXiv:2104.08821*.
- [8] Ni, J., Abrego, G.H., Constant, N., Ma, J., Hall, K.B., Cer, D., Yang, Y., 2021. Sentence-t5: Scalable sentence encoders from pre-trained text-to-text models. *arXiv preprint arXiv:2108.08877*.
- [9] Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K., Toutanova, K., 2018. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
- [10] Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L., Stoyanov, V., 2019. Roberta: A robustly optimized bert pretraining approach. *arXiv preprint arXiv:1907.11692*.
- [11] Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W., Liu, P.J., et al., 2020. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. *Journal of machine learning research* 21, 1–67.
- [12] Rosenberg, A. and Hirschberg, J., 2007, June. V-measure: A conditional entropy-based external cluster evaluation measure. In *Proceedings of the 2007 joint conference on empirical methods in natural language processing and computational natural language learning (EMNLP-CoNLL)* (pp. 410-420).
- [13] Van der Maaten, L. and Hinton, G., 2008. Visualizing data using t-SNE. *Journal of machine learning research*, 9(11).
- [14] Conneau, A. and Kiela, D., 2018. Senteval: An evaluation toolkit for universal sentence representations. *arXiv preprint arXiv:1803.05449*.

SOFTVERSKI ALAT ZA ANALIZU SENTIMENTA NAD RECENZIJAMA

SOFTWARE TOOL FOR SENTIMENT ANALYSIS OF REVIEWS

Dražen Drašković, *IEEE member*, Milica Mitrić, Jelica Cincović, Boško Nikolić
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Sadržaj – Ovaj istraživački rad bavi se analizom sentimenta recenzija na engleskom jeziku sa platforme Amazon. Skup podataka koji je prikupljen ima više od 560 hiljada recenzija, koje uključuje informacije o proizvodima i korisnicima, ocenama i tekstualni pregled kritike. U istraživanju je korišćeno 12 tradicionalnih modela (Naivni Bajesov model, logistička regresija i metod potpornih vektora, uz vektorizaciju tipa Bag of words, Bag of N-grams, i Term Frequency-Inverse Document Frequency), kao i 6 modela dubokog učenja koji koriste konvolucione i rekurentne neuralne mreže.

Abstract – This research paper deals with the sentiment analysis of reviews in English from the Amazon platform. The collected data set has more than 560 thousand reviews, which includes product and user information, ratings and a text overview of the review. The research used 12 traditional models (Naive Bayesian model, logistic regression and support vector machine, with Bag of words, Bag of N-grams, and Term Frequency-Inverse Document Frequency vectorization), as well as 6 deep learning models using convolutional and recurrent neural networks.

Ključne reči- analiza sentimenta, Naivni Bajes, logistička regresija, metod potpornih vektora, Bag of words, Bag of N-grams, Term Frequency-Inverse Document Frequency.

1. UVOD

Razvojem interneta menja se način na koji ljudi izražavaju i traže mišljenja. U današnje vreme postoji veliki broj veb strana na kojima korisnici mogu izraziti svoje stavove, kao što su društvene mreže, portali, forumi, blogovi i slično. Broj korisnika koji ovakve podatke kreiraju i koriste je u stalnom porastu, čime se povećava i količina dostupnih podataka za analizu. Ovi korisnički podaci mogu se iskoristiti u različite svrhe, od analize sentimenta rečenice, preko filtera neželjene elektronske pošte, do prepoznavanja autora teksta, njegovog pola, godišta, itd. [1]

U ovom radu, autori se bave analizom sentimenta, odnosno klasifikacijom teksta. Ova vrsta analize postaje sve popularnija u mnogim domenima: politici, zdravstvu, proizvodnji potrošačkih proizvoda, i drugim. Na ovaj način su se predviđali rezultati izbora ili položaj proizvoda na tržištu. Ovo istraživanje bavi se analizom sentimenta u internet trgovini. Amazon je jedan od gigantna internet trgovine koji ljudi svakodnevno koriste i gde mogu da pronađu recenzije o proizvodu koji žele da kupe. Recenzije su korisne i za prodavce, jer im pomažu da bolje razumeju potrošače i njihove potrebe. Analiza sentimenta je odigrala ključnu ulogu u mašinskom

ocenjivanju proizvoda na osnovu komentara korisnika, a zbog toga što daje uvid u stavove ljudi, postala je i jedan od najmoćnijih alata marketinga. Obrada sentimenta, ne samo medijskih objava, već svih oblika povratnih reakcija (komentari, forumi) prevazilazi nivo osnovnog. Koristeći analizu sentimenta, kompanije mogu da prate, ne samo šta ljudi kažu o brendu, već i da otkriju ono što potrošači žele i očekuju.

Zadatak analize sentimenta može da se modelira kao problem klasifikacije, pri čemu se na ulaz klasifikatora dovodi tekst, a izlaz je kategorija kojoj tekst pripada, npr. pozitivan ili negativan. Cilj ovog istraživačkog rada je razvoj modela mašinskog učenja koji može što preciznije da predvidi da li recenzija nosi pozitivnu ili negativnu konotaciju.

2. OPIS ISTRAŽIVANJA

U ovom istraživanju se upoređuju tradicionalne metode mašinskog učenja - Naivni Bajesov model, logistička regresija i metoda potpornih vektora, kao i modeli dubokog učenja. Kreirani modeli se poredе u pogledu efikasnosti (vreme izvršavanja) i tačnosti.

A. KORIŠĆENI ALGORITMI I TEHNIKE

Logistička regresija je algoritam mašinskog učenja koji se koristi u problemima klasifikacije, npr. da li je poruka e-pošte neželjena (*spam*) ili nije. Osnovna verzija ovog algoritma služi za binarnu klasifikaciju. Najčešće se jedna klasa označava sa $y=0$, a druga sa $y=1$, ali je tu problem ukoliko funkcija na izlazu da vrednost blisku 0.5, pošto klasifikator nije tada siguran u svoju odluku. Zato se za hipotezu usvaja logistička (sigmoid) funkcija:

$$h_{\theta}(x) = g(\theta^T x) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T x}}$$

Naivni Bajesov algoritam ima dve faze. Prva faza je faza učenja, u kojoj se algoritmu daju podaci sa oznakom klase kojoj pripadaju. U ovom delu algoritam računa broj pojavljivanja elemenata svake klase, pa se na osnovu toga izračunaju verovatnoće svake klase. Druga faza je faza predviđanja klase. Podatak treba svrstati u klasu koja je za njega najverovatnija, tj. ima najveću posteriornu verovatnoću. Ovako odlučivanje se naziva Maximum a posteriori (MAP). Naivni Bajesov model polazi od dve „naivne“ pretpostavke nad atributima. Pretpostavlja da su sva obeležja podjednako važna. To znači da poznavanje vrednosti jedne odlike ništa ne govori o vrednosti druge odlike. U praksi Naivni Bajesov klasifikator često ostvaruje dobre rezultate, jer za pravilnu klasifikaciju nije neophodno poznavanje tačnih vrednosti $p(y|x)$.

Metod potpornih vektora spada u diskriminativne modele. Ovaj model je posebno pogodan za skupove podataka sa velikim brojem atributa. To je linearni

klasifikator koji pronalazi hiperravan koja razdvaja dve klase. Polazi od pretpostavke da su podaci linearno separabilni i tada je moguće pronaći beskonačno mnogo hiperravnih koje su u stanju da izvrše razdvajanje podataka iz skupa za obučavanje. Cilj metode potpornih vektora je dobijanje što veće geometrijske margine na obučavajućem skupu. Na ovaj način se maksimizira rastojanje primera iz obučavajućeg skupa od separacione prave, odnosno minimizira se verovatnoća greške na obučavajućem skupu.

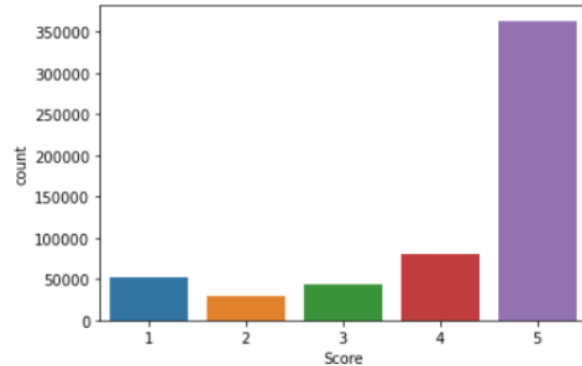
Konvoluciona neuralna mreža (CNN) se sastoji od jednog ulaznog, jednog izlaznog i jednog ili više skrivenih slojeva. Kod CNN specifični su konvolucionni slojevi i slojevi sažimanja. Ove mreže najčešće kreću sa jednim ili više konvolucionih slojeva, sledi sloj sažimanja, pa ponovo konvolucionni sloj, i tako nekoliko puta. Arhitektura konvolucionih neuralnih mreža se pokazala veoma dobro u radu sa slikama i prepoznavanju karakteristika sa istih. Svaki konvolucionni sloj se sastoji od filtera koji sadrži težine. Filteri su najčešće manjih prostornih dimenzija od ulaza, ali su jednake dubine kao i ulaz. Na primer, ako se na ulazu konvolucionog sloja nađe slika sa tri komponente (RGB) i veličine 25x25px, filter može biti matrica težina veličine 5x5. Potrebno je imati tri takve matrice, po jednu za svaku komponentu, tj. boju. Filter se onda konvoluiru sa matricom i kao rezultat se dobija dvodimenzionalna aktivaciona mapa koja predstavlja odziv filtera na svakoj prostornoj poziciji. Mreža će naučiti težine unutar filtera kako bi se „aktivirala“ na mestima gde prepoznaje određena slikovna svojstva, npr. ivice. Izlaz sloja će biti sve aktivacione mape, odnosno više dvodimenzionalnih matrica, gde svaka predstavlja jednu dubinu izlaza. Sloj sažimanja se najčešće koristi nakon nekoliko konvolucionih slojeva sa ciljem smanjivanja rezolucije mapi. Osim smanjivanja rezolucije, slojevi sažimanja povećavaju prostornu invarijantnost neuralne mreže.

Rekurentne neuralne mreže su posebna vrsta neuralnih mreža koje ne prosleđuju informacije iz jednog sloja isključivo u naredni, već u sebi mogu da sadrže cikluse. U rekurentnim neuralnim mrežama izlaz iz nekog neurona može ući u neki ciklus i kasnije opet postati ulaz istog tog neurona i tako se mešati sa nekim kasnijim ulazima. Jedan od primera je razvoj mreže za prevod rečenica. Potrebno je da za svaku reč odrediti moguća značenja i onda u kombinaciji sa ostatkom rečenice odrediti kontekst posmatrane reči. Ukoliko bi pokušalo da se koristi *feedforward* mreža, ona bi kao ulaz u jednom trenutku uzimala samo jednu reč. Ne bi mogla da pamti i kombinuje sa ostatkom rečenice, jer ona nema mogućnost pamćenja. Za ovakve probleme koriste se rekurentne mreže, jer one uz pomoć petlji uvek zadržavaju deo informacije u sebi. Često se radi lakšeg praćenja događaja u rekurentnim mrežama, ona „razvija kroz vreme“ i tako se dobija nešto slično poznatim mrežama bez povratnog prenosa samo što se svaki blok odvija u jednoj jedinici vremena.

B. SKUP PODATAKA

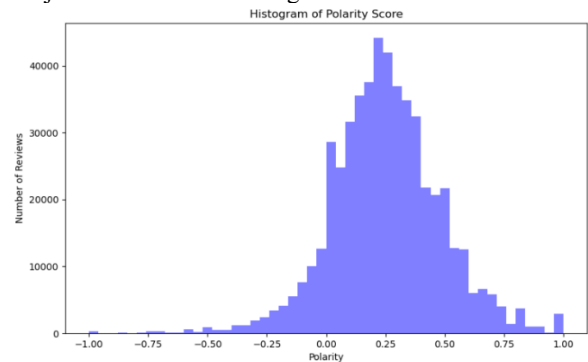
Baza podataka uključuje 568 454 recenzije prikupljene u rasponu od 1999. godine do 2012. godine [2]. Recenzije uključuju informacije o proizvodima i korisnicima, ocene i tekstualni pregled kritike. Na slici 1,

prikazana je raspodela recenzija u zavisnosti od ocene. Može se zaključiti da je reč o nebalansiranom skupu podataka, jer sadrži mnogo više recenzija sa višim ocenama.



Slika 1. Raspodela broja recenzija po ocenama

Za analizu baze podataka potrebno je takođe obratiti pažnju na polaritet. Polaritet je ceo broj u opsegu [-1,1], gde 1 označava pozitivnu recenziju, a -1 negativnu. Pozitivne recenzije imaju veći polaritet. Slika 2 potvrđuje da baza sadrži nebalansirani skup podataka, jer je veći broj kritika sa desne strane grafikona.



Slika 2. Raspodela polariteta

C. OBRADA PODATAKA

Preprocesiranje podataka obuhvata čišćenje podataka i izdavanje karakteristika. Postavlja se pitanje da li se izdavanje karakteristika vrši pre ili posle čišćenja podataka. Oba pristupa dobro funkcionišu. Međutim, u procesu čišćenja podataka gube se neke karakteristike, pa ih je potrebno izvući pre samog čišćenja. S druge strane, neke funkcije imaju smisla samo kada se izdvoje nakon čišćenja podataka. Stoga je potrebno i izdavanje karakteristika nakon čišćenja podataka.

U prvoj fazi izdvojene su karakteristike koje je nemoguće dobiti nakon čišćenja podataka: broj zaustavnih reči, broj znakova interpunkcije, broj hashtag znakova, broj numeričkih karaktera i broj reči napisanih velikim slovom.

Druga faza obrade, odnosno čišćenje podataka, podrazumevala je tekst napisan malim slovom, uklanjanje znakova interpunkcije, uklanjanje zaustavnih reči, definisanje novih zaustavnih reči na osnovu 20 reči koje se najčešće pojavljuju u recenzijama i njihovo uklanjanje, i proveru pravopisa. Na slici 3 prikazan je spisak od 20

reči koje se najčešće pojavljuju, odakle su izdvojene i uklonjene reči „br“, „get“ i „also“.

```
br 264689
like 251864
good 195348
one 172306
taste 166572
great 163560
coffee 160180
product 146439
flavor 142442
tea 133094
love 126635
food 123770
would 123356
get 108169
really 100414
dont 95555
much 91906
also 86099
little 83197
use 82743
dtype: int64
```

Slika 3. Spisak reči koje se najčešće pojavljuju

Neke karakteristike, kao što su broj reči, broj karaktera i prosečna dužina reči, izvučeni su tek u trećoj fazi, nakon čišćenja teksta. Podaci izvučeni predobradom prikazani su na slici 4.

Text	stopwords	punctuation	hashtags	numerics	upper	word_count	char_count	avg_word
november downloaded liverstrong app began maki...	90	25	0	0	19	135	900	6.0
im normally fan bigelow green teas blueberry f...	11	13	0	0	1	19	144	6.6
popin cooking fun enjoyed arrived days early ...	17	16	0	1	1	26	155	5.2
beware sent one bottle contacted amazon said ...	0	12	0	0	37	20	126	5.6
sorry say coffee ok didnt buy emenlis kcupe bi...	8	10	0	1	3	16	76	4.4

Slika 4. Izdvojene karakteristike

3. RAZVOJ MODELA

Pre konstruisanja bilo kakvog klasifikatora, podatke je potrebno podeliti na skup za obučavanje i skup za testiranje. Za obučavanje je korišćeno 75% podataka, a 25% za testiranje performansi klasifikatora. Uvedena je pretpostavka da recenzija ima pozitivan sentiment ukoliko je proizvod dobio ocenu 4 ili 5, a ako ima ocenu 1 ili 2, sentiment je negativan. Ocena 3 kod proizvoda je zanemarena u ovom istraživanju, jer se smatralo da tada recenzija ne nosi ni pozitivan ni negativan sentiment, već je neutralna.

Kako na ulaze klasifikatora nije moguće dovoditi reči, potrebno je bilo uvesti numeričku reprezentaciju reči pre procesa obučavanja. Prvi korak ka tome bio je proces

tokenizacije, odnosno segmentacije. Tokenizacijom se grupa rečenica pretvara u token, odnosno razdvajaju se podaci u manje grupe [3]. Tokenizacija je urađena korišćenjem funkcije `word_tokenize()` biblioteke `nlk`, u programskom jeziku `Python`.

Sledeći korak je vektorizacija. Najjednostavniji oblik vektorizacije je *one hot encoding* [4]. Podrazumeva stvaranje jako velike matrice sa kolonom za svaku reč u korpusu, gde je korpus skup svih recenzija. Zatim se svaka recenzija transformiše u jedan red koji sadrži elemente 0 i 1, pri čemu 1 znači da se reč u korpusu koja odgovara toj koloni pojavljuje u recenziji koja se posmatra. Elementi ove matrice će biti uglavnom nule.

Bag of words je osnovni model koji se koristi u obradi prirodnih jezika. Ovaj naziv je dobio jer ne vodi računa o redosledu reči u rečenici, već govori samo da li je reč prisutna ili nije. Neka je dat primer sa nekoliko rečenica:

```
„There used to be Stone Age”
„There used to be Bronze Age”
„There used to be Iron Age”
„There was Age of Revolution”
„Now it is Digital Age”
```

Prvo se formira rečnik svih reči u rečenicima. On se sastoji od reči: [There, was, to, be, used, Stone, Bronze, Iron, Revolution, Digital, Age, of, Now, it, is]. Vektorska konverzija poslednje rečenice „Now it is Digital Age” bila bi: [0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,1,1,1], gde je 1 oznaka da reč iz vektora postoji u rečenici, a 0 oznaka da reč iz vektora ne postoji u rečenici. Ovaj pristup je unigram, jer uzima u obzir samo jednu reč odjednom. Slično tome postoje bigram koji uzima u obzir dve reči odjednom (There used, Used to, to be, be Stone, Stone age), i n-gram koji uzima u obzir n reči odjednom.

Term Frequency-Inverse Document Frequency (skr. TF-IDF) govori o važnosti reči u korpusu ili skupu podataka. TF-IDF sadrži dva koncepta *Term Frequency* (skr. TF) i *Inverse Document Frequency* (skr. IDF). *Term Frequency* ili učestalost pojma definiše koliko se često neka reč pojavljuje u dokumentu ili korpusu. Kako svaka rečenica nije iste dužine, moguće je da se reč pojavljuje više puta u dugoj rečenici. Uzimajući to u obzir TF bi moglo da se računa po formuli:

$$TF = \frac{\text{Number of times a word appears in the document}}{\text{Total number of words in the document}}$$

Ukoliko u određenom dokumentu postoji učestalost neke reči od nekoliko miliona, da bi se izbegli veliki brojevi, dodaje se logaritam, pa formula za učestalost pojavljivanja se može zapisati ovako:

$$w_{t,d} = \begin{cases} 1 + \log_{10} tf_{t,d}, & tf_{t,d} > 0 \\ 0 & \end{cases}$$

Inverse Document frequency (skr. IDF) je još jedan koncept koji se koristi za utvrđivanje važnosti reči. Zasnovan je na činjenici da su ređe reči informativnije i važnije. IDF je predstavljen formulom:

$$IDF = \log_{10} \frac{\text{Number of documents}}{\text{Number of documents in which the word appear}}$$

Nakon transformacije podataka u oblik pogodan za modeliranje, može se započeti sa izgradnjom klasifikatora. Korišćena je biblioteka za mašinsko učenje

sklearn. Naučene modele je zatim bilo neophodno serijalizovati i sačuvati serijski format u datoteku. *Pickle* je standardni način serijalizacije objekata u programskom jeziku *Python*. Modeli su čuvani u fajlu naredbom `pickle.dump()`. Kasnije je ovaj fajl mogao da se učita, da bi se model deserijalizovao i koristio za pravljenje novih predikcija.

Za kreiranje neuralnih mreža koje se koriste za analizu sentimenta recenzije koristila se biblioteka *Keras*. *Keras* nudi *Embedding* sloj koji se može iskoristiti za neuralne mreže koje rade nad tekstualnim podacima. On zahteva da svi ulazni podaci budu celobrojni, tako da je svaka reč predstavljena jedinstvenim celim brojem. Ovaj korak pripreme se takođe mogao uraditi koristeći biblioteku *Keras*, tako da se odmah nakon učitavanja podataka izvršio proces tokenizacije. Svakoј reči se dodeljuje ceo broj i taj broj se stavlja u listu.

Pre treniranja neuralne mreže potrebno je pretvoriti svaku reč u *word embedding*. To su vrste numeričke reprezentacije reči koje omogućavaju algoritmima da uče. One vode računa o kontekstu reči u odnosu na druge reči u rečenici. Ova transformacija dovodi do toga da se reči sa sličnim značenjem grupišu bliže jedna drugoj, a različite reči se nalaze dalje u hiperravni. Za potrebe ovog rada korišćene su već postojeće reprezentacije reči *Word2vec* i *FastText*. Dakle, svaka reč se pretvara u odgovarajuću numeričku reprezentaciju i dovodi na ulaz neuralne mreže.

Word2vec je tehnika dubokog učenja sa dvoslojnom neuralnom mrežom, koja na ulazu ima ogroman skup podataka (Google podatke) i pretvara ga u vektorski prostor. *Word2vec* postavlja reč u prostor obeležja, tako da je lokacija svake reči određena njenim značenjem. Reči sličnog značenja su zajedno grupisane.

FastText je visoko efikasna biblioteka za predstavljanje i klasifikaciju teksta koju je objavio Facebook AI Research (FAIR) tim 2016. godine. Slično kao *Word2Vec*, i *FastText* razmatra sličnost reči, ali razmatra podreči koristeći Bag of n-grams. Na primer, reč *train* se deli na „tra“, „rai“ i „ain“. Na ovaj način je predstavljanje reči otpornije na pravopisne greške. Takođe, *FastText* mnogo bolje obrađuje nepoznate reči, jer duge reči raščlani u podreči koje se mogu pojaviti u još nekim rečima, što mu daje bolji kontekst.

Embedding sloj je inicijalizovan slučajnim težinama i naučiće težine za sve reči u skupu za treniranje. Nabrajaju se sve jedinstvene reči i locira se odgovarajući vektor u *Word2Vec* ili *FastText* embedding-u. Svaki embedding sloj mora imati tri argumenta. Prvi argument je veličina rečnika u tekstualnim podacima. Na primer, ako su podaci kodirani na vrednosti između 0 i 10, tada bi veličina rečnika bila 11 reči. Drugi argument je veličina vektorskog prostora u koji će reči biti ugrađene. Definiše veličinu izlaznih vektora iz ovog sloja za svaku reč. Treći argument je dužina ulaza.

Za problem analize sentimenta trenirane su konvoluciona, rekurentna i konvoluciona rekurentna neuralna mreža. Cela arhitektura modela konvolucione neuralne mreže može se podeliti na dva dela, blokove CNN slojeva (Convolution1D, MaxPool1D) i potpuno povezane slojeve. Analiza sentimenta je problem binarne klasifikacije, tj. problem može da se formuliše kao

predviđanje verovatnoće da primer pripada jednoj klasi. Klasama mogu da se dodele vrednosti 0 i 1. Ovo određuje strukturu izlaznog sloja koji će se sastojati od jednog čvora sa sigmoidnom funkcijom aktivacije. Treniranje neuralne mreže je problem optimizacije, jer se težine ne mogu tačno analitički odrediti. Zbog toga, mora da se specificira funkcija koja će se optimizovati. U ovom slučaju izabrana je binarna kros-entropija, odnosno logaritamski gubitak. Za njenu minimizaciju, umesto stohastičkog gradijentnog spusta koristiće se ugrađeni metod optimizers.Adam(). Dropout se dodaje kako bi se sprečilo preobučavanje neuralne mreže. Dropout se odnosi na ignorisanje jedinica (tj. neurona) tokom faze obučavanja i ima smisla koristiti ga jedino u potpuno povezanim slojevima. Ova operacija podrazumeva nuliranje kolona u matrici težina i ekvivalentna je netreniranju ili „ispadanju“ neurona. Na ovaj način se povećava broj iteracija potrebnih za konvergenciju, ali se smanjuje vreme treniranja u svakoj epohi. Na sličan način se može definisati rekurentna neuralna mreža [5]. Razlika je ta što umesto konvolucionih slojeva dodajemo LSTM sloj.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom radu upoređene su tradicionalne i metode dubokog učenja za analizu sentimenta. Kreirano je 12 tradicionalnih modela: Naivni Bajesov model, model sa logističkom regresijom, i model koji primenjuje metodu potpornih vektora, uz vektorizaciju tipa *Bag of words*, *Bag of N-grams* i *TFIDF*. Rezultati ovih modela, koji obuhvataju tačnost modela i vreme treniranja, prikazani su u tabelama 1, 2 i 3. Takođe, kreirane su konvoluciona i rekurentna neuralna mreža uz dve vrste ugrađivanja reči – *Word2Vec* i *FastText*. Rezultati tih modela prikazani su u tabelama 4 i 5, a u tabeli 6 prikazan je rezultat hibridnog modela.

Na osnovu dobijenih rezultata, najbolje performanse ostvario je klasifikator zasnovan na metodi potpornih vektora. Takođe, vidi se da visoku tačnost imaju i konvolucione neuralne mreže, iako se najčešće koriste kada su elementi skupa za obučavanje slike. Rekurentne neuralne mreže prepoznaju obrasce kroz vreme, dok konvolucione neuralne mreže uče da prepoznaju obrasce u prostoru. Za zadatke u kojima je dužina teksta važna, npr. odgovaranje na pitanja ili prevod, ima više smisla koristiti rekurentne neuralne mreže. Za konvolucione neuralne mreže, najprirodniji su zadaci klasifikacije, u koje spada i analiza sentimenta [6]. Operacija konvolucije gubi informacije o lokalnom redosledu reči, ali svaki filter detektuje posebne obrasce, npr. „I hate“, „very good“, itd. i konvolucione neuralne mreže ih prepoznaju u rečenici bez obzira na njihov položaj. Konvolucione neuralne mreže su mnogo brže od rekurentnih. Takođe su i robusnije, jer se često dešava da rekurentna neuralna mreža divergira.

Tabela 1. Rezultati za Naivni Bajesov model

Tip vektori-zacije	Tačnost	Vreme treniranja
Bag of words	0.8699227852149678	2.981224298477173
Bag of n-grams	0.8877339668905438	5.232130527496338
Bag of words TFIDF	0.9051187158282694	3.208014726638794
Bag of n-grams TFIDF	0.9135255326601788	7.957592248916626

Tabela 2. Rezultati za model sa logističkom regresijom

Tip vektori-zacije	Tačnost	Vreme treniranja
Bag of words	0.9124137615936401	7.925859212875366
Bag of n-grams	0.9210870988867059	11.669291973114014
Bag of words TFIDF	0.9131676337551972	7.397418737411499
Bag of n-grams TFIDF	0.925343811394892	13.535844087600708

Tabela 3. Rezultati modela sa metodom potpornih vektora

Tip vektori-zacije	Tačnost	Vreme treniranja
Bag of words	0.9161907372717443	56.23175835609436
Bag of n-grams	0.9210870988867059	304.0738010406494
Bag of words TFIDF	0.9150789662052056	31.03028416633606
Bag of n-grams TFIDF	0.9353725956046969	288.0533971786499

Tabela 4. Rezultati za model zasnovan na konvolucionoj neuralnoj mreži

Tip ugrađivanja reči	Tačnost
Word2vec	0.8995770061775357
Fast Text	0.9007562155746934

Tabela 5. Rezultati za model zasnovan na rekurentnoj neuralnoj mreži

Tip ugrađivanja reči	Tačnost
Word2vec	0.9008880740087033
Fast Text	0.916921883083902

Tabela 6. Rezultati za model zasnovan na konvolucionoj rekurentnoj neuralnoj mreži

Tip ugrađivanja reči	Tačnost
Word2vec	0.8996226529929896
Fast Text	0.900748607721311

Problem nebalansiranog skupa podataka može prouzrokovati neželjeno ponašanje klasifikatora kojim se favorizuje klasa sa više podataka na trening skupu. U sledećem primeru, iako je ukupan sentiment recenzije negativan, mašina bi klasifikovala recenziju kao pozitivnu zbog broja pozitivnih reči koje recenzija sadrži:

„This film sounds like a great plot, the actors are first grade, and the supporting cast is good as well, and Stallone is attempting to deliver a good performance. However, it can't hold up.”

Ovo se naziva koncept suprotstavljenih očekivanja. Čest je u analizi recenzija i prepoznali su ga Pang(2002) i Turney(2002) koji su uočili da „celina nije nužno suma delova“. Jedan od problema je i implicitni sentiment, koji

se obično prenosi kroz neke neutralne reči, što otežava procenu njegovog polariteta. Na primer, rečenica poput „Item as described“, koja se često pojavljuje u pozitivnim recenzijama, se sastoji samo od neutralnih reči.

5. ZAKLJUČAK

Obrada prirodnog jezika postaje sve važnija grana veštačke inteligencije. Kroz mnogobrojne primene kao što su mašinsko prevodenje, borba protiv neželjene elektronske pošte i analiza sentimenta spaja lingvistiku i veštačku inteligenciju. U ovom istraživanju, korišćenjem programskog jezika Python i biblioteka za mašinsko učenje, prikazana je jedna implementacija alata za analizu sentimenta zasnovana na različitim vrstama algoritama. Korišćeni su Naivni Bajesov model, logistička regresija, metod potpornih vektora, konvolucione i rekurentne neuralne mreže. Zaključeno je da određene tehnike poput Bag of n-grams i TF-IDF poboljšavaju performanse klasifikatora. Na bazi podataka recenzija, najveću tačnost postigao je klasifikator zasnovan na metodi potpornih vektora (sa TF-IDF) od 93.53%, a svi algoritmi imali su izuzetno visoku tačnost od preko 90%. Dalje istraživanje će biti usmereno na rešavanje problema nebalansiranog skupa podataka, detekciju ironije i sarkazma.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu *AVANTES (Advancing Novel Textual Similarity-based Solutions in Software Development)* koji je finansiran od strane Fonda za nauku Republike Srbije, u okviru Programa za razvoj projekata iz oblasti veštačke inteligencije. Autori se zahvaljuju na finansijskoj podršci.

LITERATURA

- [1] Tan, W., Wang, X. (2018) „Sentiment Analysis for Amazon Reviews“, Stanford University.
- [2] McAuley, J.J., Leskovec, J. (2013) „From Amateurs to Connoisseurs: Modeling the Evolution of User Expertise through Online Reviews“, 22nd international conference on World Wide Web, Rio De Janeiro, Brazil.
- [3] Pankjead, S. (2018) „Sentiment classification on Amazon reviews using machine learning approaches“, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm.
- [4] Kim, Y. (2014) „Convolutional Neural Networks for Sentence Classification“, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), Doha, Qatar, pp. 810-819.
- [5] Shrestha, N., Nasoz, F. (2019) „Deep Learning Sentiment Analysis of Amazon.com Reviews and Ratings“, International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications, Dostupno na: arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1904/1904.04096.pdf
- [6] Haque, T., Saber, N., Shah, F. (2018) „Sentiment Analysis on Large Scale Amazon Product Reviews“, International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), Bangkok, Thailand.

Klasifikacija blokova na Ethereum blockchain-u primenom Multi-Layer Perceptron neuronske mreže i deep learninga

Classifying Ethereum blockchain blocks with Multi-Layer Perceptrons and deep learning

Miloš Živadinović¹, Dejan Simić²
Fakultet Organizacionih Nauka¹
Fakultet Organizacionih Nauka²

Sadržaj – Neuronske mreže predstavljaju tehnologiju veštačke inteligencije zasnovanu na idejama preuzetih iz ljudskog nervnog sistema. Blockchain tehnologije postaju sve zastupljenije u domenu finansijskih transakcija, ponajviše unutar Ethereum i Bitcoin blockchaina. Primenom neuronske mreže tipa Multi-Layer Perceptron (MLP) nad Ethereum blockchain-om utvrđeno je postojanje više nivoa klasifikacije između Ethereum blokova. Upotrebom dobijenog modela klasifikacije moguće je izvršiti planiranje budućih transakcija radi optimizacije troškova, kao i analizu prethodnih blokova radi sprečavanja zlonamernih aktivnosti unutar Ethereum mreže.

Abstract – Neural networks are an artificial intelligence technology based on the human nervous system. Blockchain technologies are being more and more represented in the domain of financial transactions, mostly through Ethereum and Bitcoin. Application of a Multi-Layer Perceptron (MLP) neural network on the Ethereum blockchain discovered the existence of multiple classification categories between Ethereum blocks. Applying the trained model we are able to plan future transactions in order to optimize resources and analyze previous behavior in order to prevent malicious activities inside the Ethereum blockchain.

1. UVOD

Pojava blockchain tehnologije 2009. godine putem Bitcoin-a [1] može se smatrati svojevrsnom prekretnicom u konceptu digitalnih valuta. Blockchain predstavlja distribuiranu bazu podataka gde su podaci grupisani u blokove. Svaki blok se može smatrati celinom koja je ulančana sa prethodnim blokom, sve do prvobitnog bloka.

Unapređenjima početne ideje blockchain tehnologije kroz različite implementacije, kao što je Ethereum [2], povećava se kompleksnost celokupnog rešenja, kao i njegova primena na finansijske sisteme i upotrebu digitalnih valuta.

Sa povećanjem kompleksnosti bilo kog sistema počinju da se postavljaju pitanja o tome da li postoji određena veza među elementima sistema. U slučaju da postoji veza među elementima sistema, da li smo u mogućnosti da je odredimo i predvidimo za sve ostale elemente, prošle ili buduće?

Jedna od metoda za utvrđivanje povezanosti među elementima sistema jeste primena neuronskih mreža radi njihove klasifikacije. Neuronske mreže predstavljaju

sisteme veštačke inteligencije zasnovane na funkcionalnostima ljudskog nervnog sistema [3]. Neuronske mreže se mogu obučiti za rešavanje različitih klasa problema, najčešće problema regresije i klasifikacije. Kao podskup problema klasifikacije, pominje se problem klasterizacije.

Klasterizacija predstavlja grupisanje podataka u set kategorija (klastera) koji dele određene zajedničke karakteristike. Zbog dizajna neuronskih mreža nije neophodno da definišemo unapred kategorije za klasifikaciju i klasterizaciju, nego smo u mogućnosti da dopustimo neuronskoj mreži da sama odredi odgovarajuće klase.

Ovaj rad daje odgovor na postavljeno pitanje da li smo u mogućnosti da obučimo neuronsku mrežu radi određivanja klastera blokova unutar Ethereum blockchaina, kao i da li možemo da izvučemo neke dodatne zaključke iz celokupnog rešenja.

2. ETHEREUM BLOCKCHAIN

Ethereum predstavlja decentralizovanu platformu zasnovanu na blockchain tehnologiji koja omogućava razvoj i upotrebu distribuiranih računarskih programa [2]. Ethereum je nastao 2014. godine od strane Vitalika Buterina. Ethereum je prvobitno bio zasnovan na Proof-of-Work algoritmu potvrde blokova, ali je od 2022. godine zasnovan na Proof-of-Stake algoritmu [4]. Na svakih 12 sekundi se upiše novi blok na Ethereum blockchain [5].

Motivacija za upotrebu Ethereum blockchain-a je kroz Ether (ETH) kriptovalutu. Ether se dodeljuje korisnicima Ethereum-a za uspešno validiranje blokova.

Glavna razlika Ethereum-a u odnosu na alternativna blockchain rešenja u trenutku nastanka jeste mogućnost pisanja i izvršavanja distribuiranih računarskih programa direktno nad Ethereum blockchain-om. Iako je Bitcoin imao mogućnost razvoja računarskih programa pre Ethereum-a, mogućnosti nisu bile ekvivalentne razvoju nad Ethereum blockchain-om. Računarski programi razvijeni nad Ethereum blockchain-om se zovu pametni ugovori (smart contracts) [6].

Svaki pametni ugovor ima određeni trošak izvršavanja. Trošak izvršavanja je određen vrednošću računskih instrukcija koje sadrži plus tarife za obradu transakcije nad Ethereum mrežom. Računske instrukcije predstavljaju rezultat pretvaranja programskog koda pametnog ugovora (Solidity programski jezik) u ekvivalentni kod koji se

izvršava nad Ethereum virtuelnom mašinom (Ethereum Virtual Machine – EVM). Trošak izvršavanja pametnih ugovora se zove gas i jedna jedinica je definisana kao $1 * 10^{-9}$ ETH ili jedan Wei ($1 \text{ Wei} = 1 * 10^{-9} \text{ ETH}$).

Cena gasa po transakciji se računa po sledećoj formuli:

$$\text{gasPrice} = \text{unitsOfGasUsed} * (\text{baseFee} + \text{priorityFee})$$

Gde je *gasPrice* cena gasa, *unitsOfGasUsed* broj jedinica gasa u Wei, dok je *baseFee* količina gasa definisana od strane Ethereum sistema koja biva nepovratno uništena nakon izvršenja, a *priorityFee* predstavlja dodatak na *baseFee* koji se odnosi na vrednost gasa koja se distribuira validatoru transakcije kao motiv za obradu.

3. MULTI-LAYER PERCEPTRON

Multi-layer perceptron (MLP) predstavlja neuronsku mrežu zasnovanu od više međusobno povezanih perceptrona [7]. Perceptron predstavlja jedan tip veštačkog neurona koji se može koristiti u neuronskim mrežama. Koncept perceptrona je definisan 1958. godine od strane Rosenblatt-a [8] i predstavljen kao vid linearnog klasifikatora.

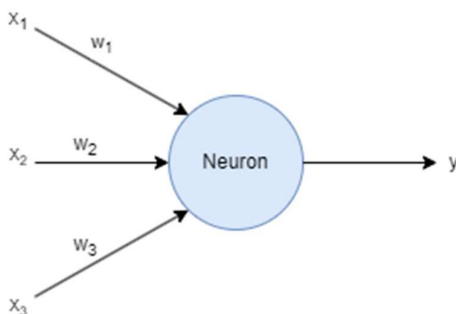
Perceptron se matematički definiše:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right)$$

Ili pojednostavljeno:

$$y = f(w^T x + b)$$

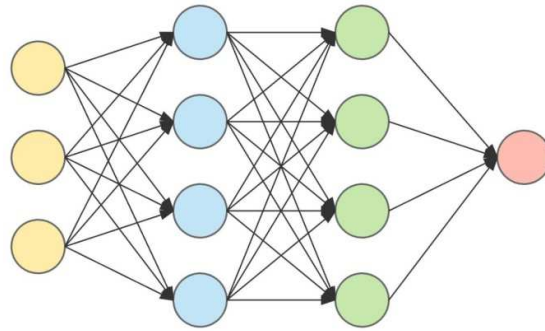
Gde *y* predstavlja verovatnoću pripadnosti skupu rešenja, *f* predstavlja nelinearnu funkciju aktivacije (kao što je sigmoidna funkcija [9] aktivacije ili ReLU [10] funkcija aktivacije), *w* predstavlja vektor težinskih koeficijenata, *x* vektor ulaznih vrednosti i *b* predstavlja sklonost (bias).



Slika 1. Opšti prikaz perceptrona. $x_{1..3}$ predstavlja ulaze dok $w_{1..3}$ predstavlja težine. Neuron vrši računanje izlaza *y* i primenu funkcije aktivacije

MLP je nastao kao odgovor na problem upotrebe pojedinačnih perceptrona za kompleksne zadatke. Jedan od tih zadataka je obučavanje perceptrona za izvršavanje XOR binarne operacije [11]. Razlika između perceptrona

i MLP arhitekture je u postojanju više perceptrona koji su međusobno povezani i raspoređeni u više slojeva [7].



Slika 2. Prikaz Multi-Layer Perceptron (MLP) neuronske mreže. Žuti krugovi predstavljaju ulaze u neuronsku mrežu, crveni krug predstavlja izlaz *y* iz neuronske mreže. Plavi i zeleni krugovi predstavljaju perceptrone

Sloj predstavlja nivo organizacije perceptrona. Postoje tri različite vrste slojeva: ulazni sloj, sakriveni slojevi, izlazni sloj.

Ulazni sloj predstavlja perceptrone koji se bave prihvatanjem ulaznih podataka i njihovom daljom transformacijom.

Sakriveni slojevi (ili središnji slojevi) predstavljaju slojeve perceptrona koji se nalaze između ulaznog sloja i izlaznog sloja. Postojanjem više sakrivenih slojeva MLP neuronska mreža se može okarakterisati kao neuronska mreža dubinskog učenja (deep learning neural network). Nije neophodno postojanje sakrivenih slojeva u MLP neuronskoj mreži.

Glavna primena MLP neuronskih mreža je u klasifikaciji i regresiji podataka kroz obuku sa nadgledanjem (supervised learning) [12]. Obuka sa nadgledanjem obuhvata postojanje označenih podataka na osnovu kojih se vrši obuka neuronske mreže. Sa druge strane, postoji obuka bez nadgledanja (unsupervised learning) [12] koja se bavi obukom neuronske mreže sa podacima koji nisu označeni.

4. POSTAVKE ISTRAŽIVANJA

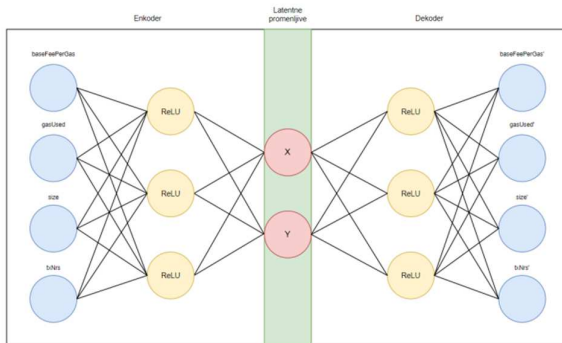
MLP neuronske mreže po dizajnu nisu osposobljene za obuku bez nadgledanja. Autoenkoderi su neuronske mreže zasnovane na MLP neuronskim mrežama koje podržavaju mogućnost obuke bez nadgledanja [13]. Autoenkoderi se sastoje od dve neuronske mreže koje su međusobno povezane: enkodera i dekodera.

Enkoder predstavlja neuronsku mrežu koja ima za cilj da smanji dimenzionalnost ulaznih podataka [7]. Dekoder je neuronska mreža koja od dobijenih ulaznih podataka smanjene dimenzionalnosti (kodova) ima cilj da rekreira ulazne podatke za enkoder [7]. U zadnjih nekoliko decenija izvršena su unapređenja u arhitekturi autoenkodera, najviše na polju upotrebe u smanjivanju dimenzionalnosti [14].

Autoenkoderi vrše obuku i testiranje nad istim skupom podataka. Autoenkoderi se smatraju neuronskim mrežama dubokog učenja zbog postojanja makar jednog sakrivenog sloja.

Za potrebe istraživanja iskorišćen je autoenkoder sa sledećim parametrima:

- Ulazni sloj: 4 perceptrona sa 3 izlazne putanje i ReLU funkcijom aktivacije
- Sakriveni sloj: 3 perceptrona sa 2 izlazne putanje i ReLU funkcijom aktivacije
- Sakriveni sloj – latentni sloj: 2 perceptrona sa 2 izlazne putanje i ReLU funkcijom aktivacije
- Sakriveni sloj: 2 perceptrona sa 3 izlazne putanje i ReLU funkcijom aktivacije
- Izlazni sloj: 3 perceptrona sa 4 izlazne putanje i ReLU funkcijom aktivacije



Slika 3. Prikaz korišćenog autoenkodera sa urađenom segmentacijom

Komponentom enkodera se smatraju prva tri sloja autoenkodera, dok poslednja tri sloja autoenkodera se smatraju slojem dekodera. Treći sloj je zajednički između enkodera i dekodera. Treći sloj predstavlja smanjenu dimenziju ulaznih podataka kao rezultat enkodera i ulaz dekodera. Drugi naziv za ovaj sloj je latentni sloj.

Za potrebe istraživanja, dimenzije se smanjuju sa početnih četiri na dve. Očitavanje rezultata istraživanja se vrši primenom enkodera i očitavanjem latentnog sloja, dok se obuka vrši upotrebom celokupnog autoenkodera. Hipoteza je da postoji skup pravila tako da je omogućena podela Ethereum blokova na različite klustere.

Obuka neuronske mreže vrši se na četiri parametra koja se nalaze u svakom bloku Ethereum blockchain-a:

- *baseFeePerGas*
- *gasUsed*
- *size*
- *txNrs*

Parametar *baseFeePerGas* predstavlja cenu gasa za trenutni Ethereum blok. Količina upotrebljenog gasa za izvršavanje Ethereum bloka predstavljena je kroz *gasUsed* parametar, dok je veličina trenutnog Ethereum bloka je prikazana kroz *size* parametar. Ukupan broj transakcija u bloku je iskazan kroz *txNrs* parametar koji

predstavlja broj unosa u transactions polju unutar trenutnog Ethereum bloka. Parametri su normalizovani u opsegu [0,1] zbog postojanja velikog raspona između vrednosti.

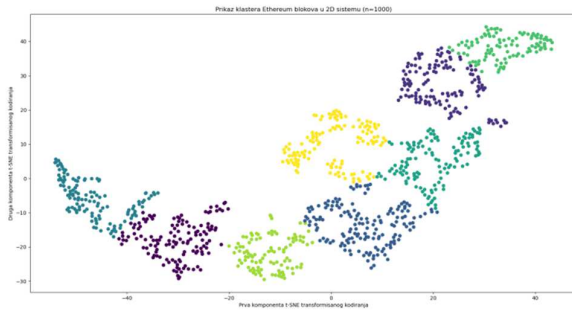
Obuka i testiranje je izvršena na 10000 uzastopnih blokova Ethereum blockchain-a kroz 100 epoha bez ograničenja na laptopu sa Intel i7-3630QM procesorom. GPU uređaji nisu korišćeni za obuku. Korišćena je mean squared error [15] funkcija gubitka prilikom obuke neuronske mreže.

Prosečno vreme obuke neuronske mreže je 43 minuta. Vrednost funkcije gubitka nakon obuke je spuštена na zanemarljivu vrednost (0,000116).

Dobijene latentne promenljive se mogu okarakterisati velikom zbijenosti prilikom grafičke reprezentacije. Radi smanjivanja zbijenosti i kvalitetnije grafičke reprezentacije, primenjen je t-SNE algoritam [16] sa dve komponente i sa tri komponente, kao i 1000 i 10000 blokova. Potvrda uspešnosti klasterizacije je odrađena k-means [17] algoritmom klasterizacije.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

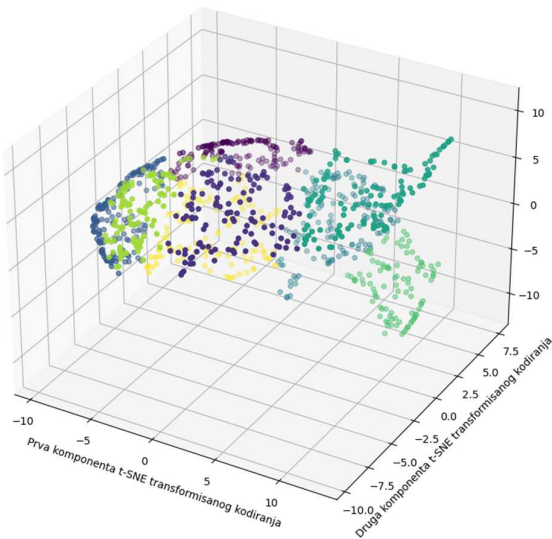
Rezultat klasterizacije putem enkodera i regularizacije t-SNE algoritmom sa dve komponente i 1000 elemenata je prikazan ispod:



Slika 4. Prikaz klastera Ethereum blokova u 2D sistemu (n=1000)

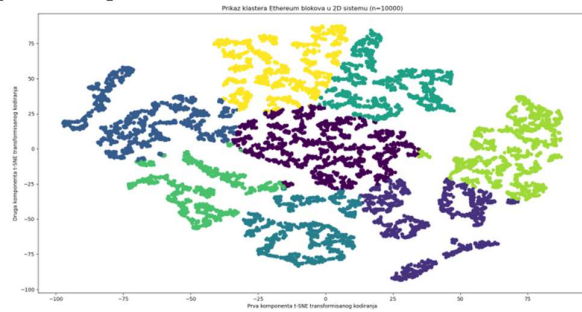
Rezultat klasterizacije putem enkodera i regularizacije t-SNE algoritmom sa tri komponente i 1000 elemenata je prikazan ispod:

Prikaz klastera Ethereum blokova u 3D sistemu (n=1000)



Slika 5. Prikaz klastera Ethereum blokova u 3D sistemu (n=1000)

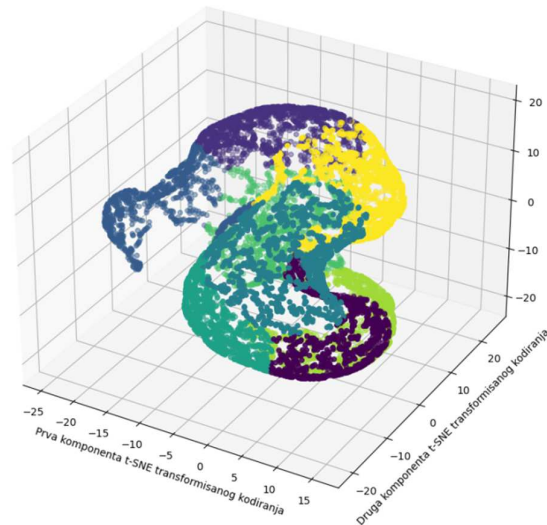
Rezultat klasterizacije putem enkodera i regularizacije t-SNE algoritmom sa dve komponente i 10000 elemenata je prikazan ispod:



Slika 6. Prikaz klastera Ethereum blokova u 2D sistemu (n=10000)

Rezultat klasterizacije putem enkodera i regularizacije t-SNE algoritmom sa tri komponente i 10000 elemenata je prikazan ispod:

Prikaz klastera Ethereum blokova u 3D sistemu (n=10000)



Slika 7. Prikaz klastera Ethereum blokova u 2D sistemu (n=10000)

Utvrđeno je da postoji osam specifičnih klastera Ethereum blokova. Pored toga, moguće je postojanje dodatnih manjih klastera unutar Ethereum blockchain-a.

Primenom t-SNE algoritma sa tri komponente utvrđena je neočekivana cikličnost Ethereum blokova na osnovu otkrivene klasterizacije koja ukazuje na postojanje pravilnosti među dolaznim transakcijama unutar Ethereum-a. Problem cikličnosti dolazi iz toga što su dolazne transakcije nezavisni nasumični događaji koji ne bi trebali da budu međusobno povezani.

6. ZAKLJUČAK

Primenom Multi-layer Perceptron neuronske mreže kroz upotrebu autoenkodera utvrđeno je postojanje osam specifičnih klastera unutar Ethereum blockchain-a. Neophodno je izvršiti dodatna istraživanja kako bi se utvrdili dodatni nivoi klasterizacije, kao i određivanje specifičnih parametara svakog bloka koji određuju pripadnost svakom klasteru i međuzavisnost.

Cikličnost blokova unutar Ethereum blockchain-a zahteva dodatna israživanja radi utvrđivanja porekla cikličnosti i analize da li su blokovi eksplicitno ili implicitno ciklični unutar klasterizacije.

Moguće je poboljšanje modela primenom drugih arhitektura neuronskih mreža ili optimizacijom postojećih hiperparametara neuronske mreže.

LITERATURA

- [1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," p. 9.
- [2] V. Buterin, "Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform.," p. 36, 2014.
- [3] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. 2016.
- [4] "EIP-3675: Upgrade consensus to Proof-of-Stake," *Ethereum Improvement Proposals*. <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-3675> (accessed Mar. 31, 2023).
- [5] D. G. Wood, "ETHEREUM: A SECURE DECENTRALISED GENERALISED TRANSACTION LEDGER".
- [6] "Smart contracts," *ethereum.org*. <https://ethereum.org> (accessed Mar. 31, 2023).
- [7] D. E. Rumelhart and J. L. McClelland, *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*. in Computational models of cognition and perception. Cambridge, Mass: MIT Press, 1986.
- [8] F. Rosenblatt, "The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain.," *Psychological Review*, vol. 65, no. 6, pp. 386–408, 1958, doi: 10.1037/h0042519.
- [9] W. S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, Dec. 1943, doi: 10.1007/BF02478259.
- [10] V. Nair and G. E. Hinton, "Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines".
- [11] M. Minsky and S. Papert, *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. 1969.
- [12] A. L. Samuel, "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers," *IBM Journal of Research and Development*, vol. 3, no. 3, pp. 210–229, Jul. 1959, doi: 10.1147/rd.33.0210.
- [13] D. Rumelhart, G. Hinton, and R. Williams, "Learning internal representations by Error propagation." Sep. 1985.
- [14] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, "Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks," *Science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507, Jul. 2006, doi: 10.1126/science.1127647.
- [15] "Mean Squared Error, Deconstructed - Hodson - 2021 - Journal of Advances in Modeling Earth Systems - Wiley Online Library." <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021MS002681> (accessed Mar. 30, 2023).
- [16] L. van der Maaten and G. Hinton, "Visualizing data using t-SNE," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 9, pp. 2579–2605, Nov. 2008.
- [17] J. Macqueen, "SOME METHODS FOR CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF MULTIVARIATE OBSERVATIONS," *MULTIVARIATE OBSERVATIONS*.

Izazovi rešavanja različitih kategorija analitičkih pitanja sa ponuđenim odgovorima iz oblasti programiranja uz pomoć alata ChatGPT

Challenges in solving different categories of analytical multiple choice questions in programming using ChatGPT tool

Aleksa Srbljanović¹, Miloš Obradović¹, Jelica Protić¹
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet¹

Sadržaj – U okviru nastave Programiranja 1 i Programiranja 2 na prvoj godini osnovnih akademskih studija na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu se za potrebe ocenjivanja studenata, između ostalog, koriste testovi koji se sastoje od analitičkih pitanja sa ponuđenim odgovorima. Pitanja se koriste za proveru znanja programskih jezika i, u zavisnosti od same sadržine, mogu se svrstati u različite kategorije. ChatGPT, razvijen od strane istraživačke laboratorije OpenAI, je jezički model sa kojim je moguće komunicirati u formi dijaloga. Alat je našao primenu u brojnim oblastima, među kojima je i edukacija studenata. Rad kategoriše analitička pitanja korišćena za ocenjivanje studenata na kursovima programiranja i analizira uspešnost koju alat ChatGPT postiže prilikom davanja odgovora na navedena pitanja.

Abstract - In the courses of Programming 1 and Programming 2, held in the first year of undergraduate studies at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, tests consisting of analytical questions with multiple choice answers are used for student evaluation. The questions test the knowledge of programming languages and, depending on the content, can be classified into different categories. ChatGPT, developed by the research laboratory OpenAI, is a language model that can be communicated in the form of a dialogue. The tool has found application in numerous fields, including education. This paper categorizes the analytical questions used to evaluate students in programming courses, and analyzes the success achieved by the ChatGPT tool while answering these questions.

1. UVOD

Na prvoj godini osnovnih akademskih studija Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, drže se predmeti Programiranje 1 i Programiranje 2, čiji je cilj da nauče studente osnovama programiranja. U okviru ovih predmeta se, između ostalog, uče programski jezici Python, jezik višeg nivoa apstrakcije i C, jezik nižeg nivoa apstrakcije. Na taj način studenti upoznaju teorijske osnove programiranja i ovladavaju osnovnim strukturama podatka i algoritmima.

Ocenjivanje studenata obavlja se putem testova koji ispituju stečeno teorijsko znanje, kao i praktičnim radom u računarskim laboratorijama, čime se ispituje praktično znanje studenata. Fokus ovog rada je na testovima koji ispituju teorijsko znanje studentata. Testovi se sastoje od većeg broja analitičkih pitanja, pri čemu svako pitanje ima više ponuđenih odgovora. Sama pitanja se prema sadržaju mogu klasifikovati u različite kategorije. Rad

ispituje koliko jedan jezički model može da pomogne studentima prilikom učenja, kao i u rešavanju test pitanja i razumevanju gradiva.

Za testiranje je odabran jezički model ChatGPT, koji je razvila istraživačka laboratorija OpenAI i objavila ga u novembru 2022. godine. ChatGPT je jezički model sa kojim se komunicira u formi dijaloga i koji je pronašao široku primenu u akademskim oblastima [1], a konkretno u nastavi i edukaciji [2][3][4]. Forma dijaloga omogućava korisniku da alatu postavi dodatna pitanja i time pojasni prethodno postavljena pitanja, u slučaju neadekvatnog odgovora modela. Prilikom testiranja alata nad analitičkim pitanjima iz oblasti programiranja korišćena je verzija jezičkog modela GPT-3. Cilj rada je da ispita sa kojim uspehom jezički model ChatGPT rešava ispitna pitanja i da li svojim odgovorima i objašnjenjima može da pruži pomoć studentima i profesorima u nastavi.

Rad je podeljen u nekoliko poglavlja. U drugom poglavlju rada predstavljen je skup podataka koji je korišćen prilikom ispitivanja i prikazana je klasifikacija tog skupa podataka. Treće poglavlje opisuje metodologiju koja je korišćena prilikom ispitivanja, i u njemu se navodi šta je jezičkom modelu dato, a šta je od njega zahtevano. U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati ispitivanja i izvršena analiza uspešnosti jezičkog modela. Završno, peto poglavlje predstavlja zaključak rada u kojem je dat osvrt na primenu alata ChatGPT prilikom edukacije studenata, kao i mogući dalji pravci istraživanja.

2. SKUP PODATAKA

U ovom poglavlju prikazan je skup podataka koji je korišćen prilikom testiranja jezičkog modela i data je klasifikacija analitičkih pitanja po kategorijama. Kao skup podataka korišćena su analitička pitanja sa ponuđenim odgovorima sa predmeta Programiranje 1 i Programiranje 2. Za potrebe ispitivanja prikupljeno je 166 pitanja sa kolokvijuma i ispita održanih u periodu od novembra 2019. godine do avgusta 2022. godine na pomenutim predmetima. Izdvojena su isključivo pitanja koja se odnose na programske jezike Python i C. Iz tematike programskog jezika Python izdvojeno je 78 pitanja, dok je iz tematike programskog jezika C izdvojeno 88 pitanja.

Svako pitanje se sastoji od teksta u kojem je naveden zahtev i tri ponuđena odgovora. Uz sam tekst, može se naći i kod na koji se odnosi pitanje. Pitanje može imati jedan tačan od tri ponuđena odgovora (A, B ili C), više tačnih odgovora (V), ili nijedan tačan odgovor (N). Pitanja se mogu klasifikovati u tri kategorije: pitanja sa

izvršavanjem programskog koda, teorijska pitanja i pitanja sa razumevanjem programskog koda.

Pitanja sa izvršavanjem koda se dalje mogu podeliti na pitanja gde se isključivo traži ispis programa, na pitanja gde se za dati unos traži ispis programa i pitanja gde se traži ispis u zavisnosti od prosleđenih argumenata komandne linije. Student tačan odgovor na pitanje ovog tipa može dobiti izvršavanjem datog koda u razvojnom okruženju, odnosno korišćenjem odgovarajućeg kompajlera ili interpretera. Takođe, u slučaju da je osim samog odgovora, studentu potrebno i dodatno objašnjenje, on program može pokrenuti u *debug* režimu i proći kroz kod korak po korak. Na Slici 1. dat je primer pitanja gde je dat unos sa standardnog ulaza, a traži se ispis na standardni izlaz programa napisanog na programskom jeziku Python.

```

4)Šta ispisuje sledeći program na programskom jeziku Python ukoliko se unese: banana?
def crush(t):
    tt = t * 2
    return [ te[i:i+len(t)]
            for i in range(0, len(t)) ]
def crunch(t):
    return sorted(crush(t))
def spit(t):
    return ''.join(map(lambda x: x[-1],
                      crunch(t)))
t = input()
b = spit(t)
print(b)

```

A)aaannb B)ananab (C) nbaaa

Slika 1. Pitanje sa izvršavanjem koda

Teorijska pitanja ispituju poznavanje specifikacije programskog jezika. Odgovor na ovakva pitanja može se naći pretragom materijala na sajtu predmeta i čitanjem dokumentacije programskog jezika. Primer teorijskog pitanja iz programskog jezika C dat je na Slici 2.

```

7)Koja od sledećih tvrdjenja su tačna za programski jezik C?
(A) Ukoliko su a1 i a2 promenljive definisane istim tipom strukture, onda je naredba a1 = a2; ispravna.
(B) Pokazivaču na funkcije može da se dodeli adresa funkcije na koju ukazuje samo prilikom njegove definicije i kasnije se ne može promeniti.
(C) Poziv funkcije fopen("datoteka.txt", "r+"); stvara datoteku datoteka.txt, ukoliko ona nije postojala.

```

Slika 2. Teorijsko pitanje

Pitanja gde se od studenta traži razumevanje programskog koda mogu se klasifikovati u tri potkategorije. Prva potkategorija obuhvata pitanja gde se za priloženi programski kod traži opis funkcionalnosti tog koda, druga potkategorija obuhvata pitanja gde se od studenta traži da prepozna koji od ponuđenih kodova izvršava traženu funkcionalnost, dok treća potkategorija obuhvata pitanja, gde nije priložen kompletn programski kod, već je deo koda dat opisno, pa zbog toga nije moguće pokretanje programa kao kod pitanja sa izvršavanjem koda. Prilikom rešavanja ove kategorije pitanja, neophodno je razumevanje priloženog programskog koda, a ne samo njegovo pokretanje ili čitanje specifikacije. Na Slici 3. prikazano je pitanje gde se traži opis funkcionalnosti prikazanog programskog koda na jeziku C.

```

2)Šta radi sledeća funkcija dodaj napisan na programskom jeziku C nad dvostruko ulančanom listom celih brojeva?
#include <stdlib.h>
typedef struct elem {
    int broj;
    struct elem *sled, *pret;
} Elem;
typedef struct {
    Elem *prvi, *posl;
} Lista;

void dodaj(Lista *plst, int b) {
    Elem *novi = malloc(sizeof(Elem));
    novi->broj = b;
    novi->sled = plst->prvi;
    novi->pret = NULL;
    if (!plst->posl) plst->posl = novi;
    else plst->prvi->pret = novi;
    plst->prvi = novi;
}

```

A) Dodaje element na kraj liste.
(B) Dodaje element na početak liste.
C) Dodaje element nakon prvog elementa u listi.

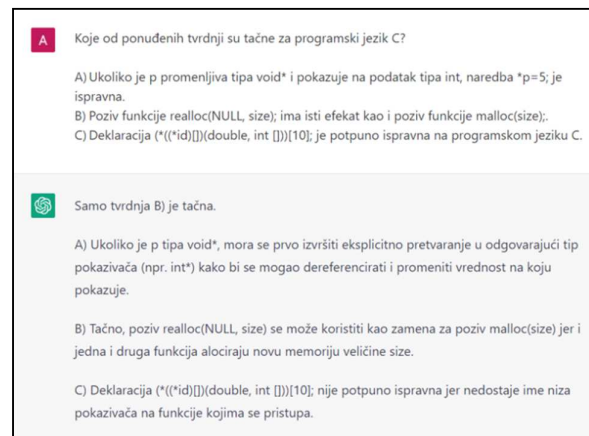
Slika 3. Pitanje koje zahteva razumevanje koda

3. METODOLOGIJA

U ovom poglavlju biće detaljno opisana metodologija korišćena prilikom testiranja alata ChatGPT. Komunikacija sa jezičkim modelom započeta je davanjem uputstva u kojem je naznačeno šta će modelu biti zadato i šta se od njega očekuje. Uputstvo opisuje format pitanja i sadrži informaciju da na svako pitanje može postojati nijedan, jedan ili više tačnih odgovora. U uputstvu je navedeno da se za svako pitanje traži informacija o tačnom odgovoru i opširno objašnjenje za svaki ponuđeni odgovor zašto je ispravan, odnosno pogrešan.

Alatu su zatim redom zadavana pitanja, u istom formatu u kojem su dostupna studentima. Dakle, modelu je dat tekst pitanja, priložen opcioni kod na koji se pitanje odnosi, kao i tri ponuđena odgovora. Nakon što ChatGPT odgovori na pitanje i izloži tražena objašnjenja prelazi se na sledeće pitanje. U slučaju da alat nije odgovorio na pitanje u očekivanom formatu, alatu se ponovo prilaže početno uputstvo, a zatim i samo pitanje.

Za svako pitanje, alat je imao izbor između pet mogućih odgovora: tačan je odgovor pod A, tačan je odgovor pod B, tačan je odgovor pod C, nijedan od ponuđenih odgovora nije tačan, tačno je više od jednog ponuđenog odgovora. Bez obzira na odgovor, traženo je objašnjenje za ponuđene odgovore A, B i C zašto su ispravni ili pogrešni. Na Slici 4. je prikazan isečak konverzacije sa alatom ChatGPT.



Slika 4. Izgled konverzacije

4. REZULTATI TESTIRANJA

Ovo poglavlje prikazuje rezultate testiranja jezičkog modela ChatGPT, i analizira uspešnost ovog modela prilikom odgovaranja na različite kategorije analitičkih pitanja sa ponuđenim odgovorima iz oblasti programiranja. Alat ChatGPT je testiran nad 166 pitanja iz sve tri kategorije (pitanja sa izvršavanjem koda, teorijska pitanja i pitanja koja zahtevaju razumevanje koda) i dva programska jezika (Python i C). Tabela 1. prikazuje uspeh alata izražen u procentima za različite kategorije pitanja. Za svaku kategoriju je prikazan ukupan broj pitanja i broj tačnih odgovora.

Kategorija	Broj pitanja	Broj tačnih odgovora	Uspeh
Izvršavanje koda	119	51	42.85%
Teorija	18	9	50.00%
Razumevanje koda	29	18	62.07%
Ukupno	166	78	46.99%

Tabela 1. Uspeh alata ChatGPT po kategorijama

Iz Tabele 1. se može primetiti da je alat imao najveći uspeh prilikom odgovaranja na pitanja gde se traži razumevanje koda, dok najmanji uspeh ima na pitanjima gde je bilo potrebno izvršiti programski kod. Važno je napomenuti da rezultati prikazani u Tabeli 1. za kategoriju teorijskih pitanja ne oslikavaju pravu situaciju, pošto se u ovoj kategoriji pitanja, tačnost može posmatrati i na nivou stavke tj. ponuđenog odgovora, a ne samo na nivou pitanja. Kada se posmatraju pojedinačne stavke, jezički model značajno povećava uspeh u ovoj kategoriji, kao što je prikazano u Tabeli 2. Takođe, treba primetiti da se broj tačnih stavki ne poklapa sa brojem tačnih objašnjenja. Razlog je slabija obučenost jezičkog modela na srpskom jeziku, zbog koje alat pravi greške.

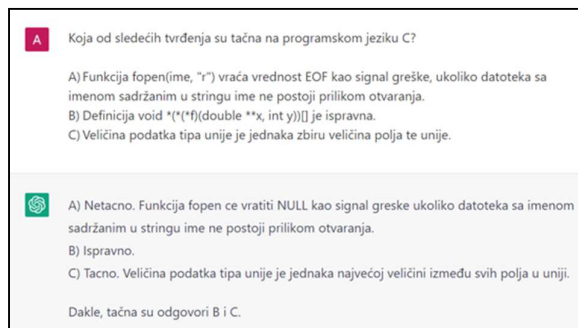
Teorija	Broj	Broj tačnih	Uspeh
Pitanja	18	9	50.00%
Stavke	54	40	74.07%
Objašnjenja	54	46	85.19%

Tabela 2. Uspeh alata ChatGPT na teorijskim pitanjima

Najveća mana jezičkog modela je ta što nije pouzdan. Pošto je u pitanju model koji predviđa sledeću reč, samo na osnovu obuke, ne postoji nikakva garancija da su dobijeni odgovori i objašnjenja u potpunosti tačni.

U nastavku poglavlja će biti prikazana analiza priloženih rezultata iz više aspekata. Iz ugla kategorije kojoj pitanje pripada, alat pokazuje veći uspeh prilikom rešavanja teorijskih pitanja i pitanja gde se traži razumevanje koda u odnosu na pitanja gde se traži izvršavanje koda. Za razliku od razvojnih okruženja koja pokreću i tačno izvršavaju kod, jezički model samo pokušava da protumači šta kod radi, a zapravo ga ne izvršava, pa upravo iz tog razloga pravi greške. Sa druge strane, prilikom rešavanja pitanja gde se pre svega zahteva tumačenje, a ne izvršavanje koda, alat pokazuje znatno veći uspeh.

Iz istog razloga postoji i razlika između ispravnosti konačnog odgovora na pitanje alata, u odnosu na objašnjenje zašto su pojedinačni ponuđeni odgovori tačni ili netačni. Objasnjenje je češće tačno u odnosu na konačan odgovor. Takođe, zbog slabije obučenosti modela na srpskom jeziku, nekada dolazi do nelogičnosti u samom odgovoru kao što je prikazano na Slici 5. Dešava se i da alat previše vrednuje ponuđene odgovore i pokušava da im se prilagodi iako oni nisu tačni i ne poklapaju se sa objašnjenjem koje je jezički model dao.



Slika 5. Jezička nelogičnost modela

Sa aspekta programskog koda, rezultati pokazuju da uspeh alata ne zavisi od programskog jezika niti od složenosti koda, odnosno od toga da li se koriste osnovni ili napredniji konstrukti programskog jezika. Za razliku od studenata, kod kojih se javlja razlika u poznavanju različitih oblasti programskog jezika, alat sa podjednakim uspehom rešava pitanja gde se javljaju jednostavniji koncepti, kao i pitanja gde se koriste složenije konstrukcije. Međutim, uspeh zavisi od dužine izvršavanja koda, odnosno, što više instrukcija treba da se izvrši, to jezički model ima više šanse da napravi grešku. Dakle, uspešnost prilikom davanja odgovora na pitanje je obrnuto proporcionalna dužini koda, ali i broju petlji koje se javljaju u kodu.

Primer koji ilustruje pomenutu pojavu dat je na Slici 6. i na Slici 7., na kojima su prikazana dva pitanja u kojima se traži ispis priloženog programa. Kod sa Slike 6. napisan u programskom jeziku C, koristi jednostavne koncepte kao što su petlje i uslovna grananja, ali upravo zbog postojanja petlji koje se izvršavaju veći broj puta i zbog činjenice da kod nema nikakvu praktičnu primenu, jezički model ne uspeva da pruži tačan odgovor, već greši u procesu tumačenja koraka koji se dešavaju prilikom izvršavanja. Sa druge strane, kod sa Slike 7., koji je napisan u programskom jeziku Python, koristi složenije koncepte kao što su regularni izrazi i višestruke ugnježdene petlje. Pošto se kod izvršava u relativno malom broju instrukcija i pošto ima praktičnu primenu u proveravanju ispravnosti IP adresa, jezički model bez poteškoća daje tačan odgovor na pitanje, i detaljno objašnjava funkcionalnost koda.

Važno je napomenuti i specifičnu situaciju koja se javlja prilikom testiranja nad pitanjima gde se traži ispis programskog koda, ali taj kod nije u celosti dat, već je deo funkcionalnosti opisan rečima. Alat u ovakvim pitanjima prepoznaje da se program bez nedostajućeg koda neće ponašati ispravno, pa u svom odgovoru nudi i kod koji je neophodan kako bi se program uspešno preveo i pokrenuo. Studentima ovako dopunjen kod omogućava da program pokrenu u odgovarajućem okruženju i da na taj način dođu do tačnog odgovora.

A Šta ispisuje sledeći program na programskom jeziku C?

```
#include <stdio.h>
void main() {
    int i = 0;
    while (2020) {
        switch (i++ * 2) {
            case 0: i := i;
            case 1: printf("%d ", i); continue;
            case 2: if (i % 2) break;
            default: printf("%d ", ++i);
        }
        if (i % 3) break;
    }
}
```

A) 0 3 5
B) 1 3 5
C) 0 3 6

Odgovor je C) 0 3 6.

Ovaj program je beskonačna petlja, jer je uslov petlje "while (2020)" uvek istinit. Međutim, program sadrži "break" naredbe koje mogu prekinuti izvršavanje petlje.

Program koristi "switch" naredbu i "case" grane da bi odlučio šta da radi na osnovu vrednosti promenljive "i". U prvom prolazu kroz petlju, "i" je 0 i "switch" naredba proverava vrednost izraza "i++ * 2", što je 0. Ova vrednost odgovara "case 0" i izvršava se izraz "i := i", koji ne radi ništa. Zatim se prelazi na sledeći "case" blok, koji je "case 1". Izraz "i++ * 2" sada ima vrednost 2, ali se vrednost "i" uvećava pre nego što se izračuna izraz. Izraz "printf("%d ", i);" ispisuje vrednost "i" (koja je sada 1), pa program ispisuje "1".

Petlja se nastavlja, a vrednost promenljive "i" se uvećava na 1. U drugom prolazu kroz petlju, "i" je 1 i "switch" naredba proverava vrednost izraza "i++ * 2", što je 2. Ova vrednost odgovara "case 2" i izvršava se izraz "if (i % 2) break;". Pošto je "i" neparan broj, "if" uslov se izvršava i petlja se prekida. Program ispisuje vrednosti "0 3 6". Prvi broj je ispisao "printf" pozvan u drugom prolazu kroz petlju, drugi broj je vrednost "i" koja se nalazila u trenutku prekida petlje, a treći broj je vrednost "i" koja se nalazila nakon izlaska iz petlje.

Slika 6. Složenost i dužina izvršavanja koda (1)

A Šta ispisuje sledeći program na programskom jeziku Python?

```
import re
def fun(text):
    pattern = re.compile(r"^(d(3)\d(3)\d(3))\d(3)$")
    found = []
    for line in text:
        matches = pattern.findall(line)
        if matches == []: continue
        for match in matches:
            ok = True
            numbers = re.split("-", match)
            for number in numbers:
                if not 0 <= int(number) <= 255:
                    ok = False
                    break
            if ok: found.append(match)
    return found
print(fun(["123-123-123-123", "123.123.123.123", "0.322.9-3", "0112.2.1.0"]))
```

A) ["123.123.123.123"]
B) ["123-123.123.123", "112.2.1.0"]
C) ["123-123-123-123", "123.123.123.123", "0.322.9-3"]

Tačan odgovor je A) ["123.123.123.123"].

Funkcija "fun" prima listu stringova "text". U njoj se definiše regularni izraz pomoću modula "re" koji proverava da li string ima format IP adrese sa tačno tri tačke između četiri broja koji su između 0 i 255. Ako se nađe takav string, onda se brojevi odvoje sa re.split metodom i proverí se da li su svi između 0 i 255. Ako su svi brojevi između 0 i 255, onda se taj string doda u listu "found". Na kraju funkcija vraća listu "found".

U datom primeru, "fun" se poziva sa listom stringova ["123-123-123-123", "123.123.123.123", "0.322.9-3", "0112.2.1.0"]. Prvi string ne zadovoljava format IP adrese, drugi string ima tačno tri tačke između četiri broja koji su između 0 i 255 i zato se dodaje u listu "found", treći i četvrti string ne zadovoljavaju format IP adrese. Zato se funkcija vraća listom ["123.123.123.123"]. Dakle, tačan odgovor je A).

Slika 7. Složenost i dužina izvršavanja koda (2)

5. ZAKLJUČAK

U radu je testirana sposobnost jezičkog modela ChatGPT da daje odgovore i objašnjenja za različite kategorije programerskih analitičkih pitanja sa ponuđenim odgovorima. Alat je testiran sa pitanjima napisanim na srpskom jeziku koja evaluiraju poznavanje programskih jezika Python i C, a koja čine teorijski deo ispita na predmetima Programiranje 1 i Programiranje 2 na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Jezički model je pokazao veliki uspeh prilikom razumevanja delova ili celokupnog programskog koda i ima visoku stopu uspeha prilikom odgovaranja i objašnjavanja teorijskih pitanja koja se tiču sintakse programskih jezika Python i C. Iako je najmanje uspešan u pitanjima koja traže izvršavanje programskog koda, i dalje može naći primenu u davanju pojašnjenja i smernica studentu o funkcionalnosti koda, ili čak rešavanju programa koji se sastoje od manjeg broja instrukcija. Alat može da nađe primenu u edukaciji studenata, konkretno pri objašnjavanju programskog koda i koncepata i paradigmi programskih jezika.

Pošto je u pitanju jezički model, koji se zasniva na predikciji sledeće reči, korisnik se ne može uzdati u tačnost tvrdnji koje model nudi, tako da, ako se koristi nepažljivo, može navesti studenta ka pogrešnim zaključcima.

Dalji rad bi mogao da uporedi uspešnost prilikom rešavanja istih pitanja sa drugačijom postavkom tj. datim informacijama, pošto alat često pokušava da se prilagodi ponuđenim odgovorima koji nisu nužno tačni. Još jedan mogući pravac istraživanja jeste testiranje sa pitanjima iskazanim na engleskom jeziku, za koji je alat bolje obučen. Kao još jedna tema se javlja i testiranje jezičkog modela nad programskim jezikom koji je manje poznat. Konkretno, na predmetu Programiranje 1 na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu se uči i jednostavan mašinski jezik za mašinu picoComputer. Ovakav rad bi ispitao mogućnost da se jezički model obuči novim, do sada nepoznatim jezikom.

LITERATURA

[1] Alshater, M. M. "Exploring the Role of Artificial Intelligence in Enhancing Academic Performance: A Case Study of ChatGPT", Available at SSRN 4312358, 2022.

[2] Baidoo-Anu, D. and Ansah, L. O. "Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning", Available at SSRN 4337484, 2023.

[3] Sok, S. and Heng, K. "ChatGPT for Education and Research: A Review of Benefits and Risks", Available at SSRN 4378735, 2023.

[4] Lo, C. K. "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature", Education Sciences, Vol. 13, No. 4, pp 410, 2023.

Mogućnosti upotrebe *ChatGPT* alata u generisanju koda za programske zadatke na jezicima *Python* i *C*

Possibilities of using *ChatGPT* tool in generating program code for assignments in *Python* and *C* programming languages

Miloš Obradović¹, Aleksa Srbljanović¹, Jelica Protić¹
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet¹

Sadržaj – *ChatGPT* je javno dostupni jezički model koji je razvila kompanija *OpenAI*, a može odgovarati na pitanja, pružati savete i pomoći pri rešavanju problema. Veliki broj radova istražuje primene ovog alata u različitim oblastima, među kojima je jako zastupljena primena alata u edukaciji, ali i mogućnosti njegove zloupotrebe. Na Elektrotehničkom fakultetu, na predmetima Programiranje 1 i Programiranje 2, kao i pratećim praktikumima, praktična nastava se polaže kroz domaće i ispitne zadatke koji se rade na računaru koristeći potpuno automatizovano testiranje na Moodle platformi za elektronsko učenje. Glavni cilj ovog rada je provera koliko dobro *ChatGPT 3* alat može da reši ispitne zadatke, delimično ili u potpunosti, kao i koje je minimalno znanje koje student mora da poseduje da uz pomoć ovog alata ispravno reši ispitne zadatke i tako položi ispit.

Abstract - *ChatGPT* is a publicly available language model developed by *OpenAI* that can answer questions, provide advice, and help in problem solving. Many papers investigate the utilization of this tool in various fields, among which education is very prominent. The possibilities of its abuse should also be studied. At the School of Electrical Engineering, in the courses Programming 1 and Programming 2, as well as accompanying practicums, practical teaching is done through homework and exam tasks done on the computer, using fully automated testing environment on the Moodle platform for electronic learning. The main goal of this paper is to examine how well the *ChatGPT 3* tool can solve the programming assignments, partially or completely, as well as what is the minimum knowledge that a student must have to solve the exam tasks correctly and pass the exam with the help of this tool.

1. UVOD

U novembru 2022. godine, kompanija *OpenAI* je plasirala u javnost *ChatGPT 3*, treću generaciju jezičkog modela zasnovanog na veštačkoj inteligenciji. Alat ima mogućnost da na osnovu tekstualnog upita na prirodnom jeziku odgovara na pitanja, daje savete ili pomogne prilikom rešavanja različitih problema. Ubrzo nakon objavljivanja, alat je stekao veliku popularnost jer na prvi pogled poseduje stručno znanje iz velikog broja oblasti.

Brzi rast u korišćenju *ChatGPT 3* alata, praćen je i velikim brojem naučnih radova koji istražuju mogućnosti primene alata u različitim oblastima, ali i njegova ograničenja. Jedna od oblasti koja je dosta istraživana je mogućnost primene ovakvih alata u edukaciji [1] [2], ali isto tako i mogućnost zloupotrebe alata prilikom

polaganja ispita [3]. Neki radovi [4] tvrde da je neophodna momentalna akcija i uvođenje novih pravila u školama i fakultetima kako bi se sačuvao integritet akademskih studija.

Na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, svi studenti na prvoj godini slušaju predmete Programiranje 1 i Programiranje 2, dok određeni broj studenata dodatno sluša i prateće praktikume iz ovih predmeta. Praktični deo nastava na ovim kursovima se polaže kroz platformu za elektronsko učenje Moodle i potpuno automatizovano okruženje za testiranje programskih kodova *CodeRunner* [5]. U zavisnosti od odseka na kom studenti prate ove predmete, zbog ograničenih kapaciteta računarskih laboratorija, jedan deo praktičnih zadataka studenti rade kroz domaće zadatke koje kasnije nadograđuju u laboratorijama na fakultetu.

Prilikom formulisanja domaćih zadataka studentima, mora se voditi računa o odgovarajućem balansu u kompleksnosti zadataka. Zadaci sa jedne strane treba da budu dovoljno jednostavnih da studenti koji se prvi put susreću sa tehnikama programiranja mogu da ih reše u zadatom vremenskom periodu, a sa druge strane dovoljno kompleksni da rešenja zadataka nisu unapred poznata i dostupna na internetu. Pored već postojećih problema, sada postaje neophodno dodatno voditi računa o tome kako *ChatGPT 3* i slični alati rešavaju postavljene zadatke i da li su oni dovoljno kompleksni da studenti moraju da razumeju osnovne tehnike programiranja kako bi odradili ove zadatke uz pomoć alata veštačke inteligencije.

Kako bismo po preporuci [4] mogli da napravimo određene korake u reformi naših predmeta (ukoliko je to potrebno), sprovedeno je testiranje mogućnosti upotrebe *ChatGPT 3* alata prilikom rešavanja programskih zadataka iz dva popularna programska jezika *Python* i *C*, koji se izučavaju na predmetima Programiranje 1 i Programiranje 2. Testiranje je sprovedeno u dve faze. Najpre su testirani osnovni zadaci koji se sastoje iz jedne funkcionalnosti, koja teško može da se podeli na manje potprograme. Ovi zadaci su na predmete uvedeni tokom 2022. godine kako bi studenti imali priliku da vežbaju i dodatno utvrde znanje osnovnih koncepata programiranja, pre nego što pokušaju rešavanje kompleksnijih zadataka. U drugoj fazi testiran je rad alata prilikom rešavanja zadataka koji su studentima davani kao domaći zadaci na predmetima.

Rad je podeljen u nekoliko poglavlja. U drugom poglavlju rada data je analiza skupa podataka koji su korišćeni za prvu fazu testiranja i objašnjen tačan način testiranja osnovnih zadataka, kao i zašto je testiranje rađeno na taj

način. Treće poglavlje rada prikazuje rezultate testiranja *ChatGPT 3* alata prilikom rešavanja osnovnih zadataka, na osnovu čega se mogu sagledati osnovne mogućnosti, ali i ograničenja ovih alata prilikom rešavanja programerskih zadataka. U četvrtom poglavlju objašnjeno je kako se alat pokazao u drugoj fazi testiranja, odnosno prilikom rešavanja domaćih zadataka sa predmeta Programiranje 1 i Programiranje 2. Završno poglavlje predstavlja zaključak rada i daje pravce budućeg istraživanja rada ovih alata.

2. SKUP PODATAKA I METODOLOGIJA TESTIRANJA OSNOVNIH ZADATAKA

U ovom poglavlju detaljno je prikazan skup podataka osnovnih zadataka sa kojima je alat testiran, kao i sam proces testiranja alata. Kao što je već objašnjeno u uvodnom poglavlju, osnovni zadaci predstavljaju zadatke koji se sastoje iz jedne funkcionalnosti. Funkcionalnosti uglavnom predstavljaju učitavanje, jednostavnu obradu ili ispis neke strukture podataka. Jedna funkcionalnost se najčešće sastoji iz implementacije jedne funkcije ili dopune zadatog programskog koda. Svi zadaci zahtevaju analizu dela programskog koda koji je dat, a zatim dopunu programskog koda na odgovarajući način kako bi se ispunili uslovi zadatka.

Programski jezik		Python	C
Br. analiziranih zadataka		70	35
Oblast	Kontrolne strukture	6	2
	Nizovi / Liste	29	9
	Matrice	10	7
	Rad sa funkcijama	5	/
	Stringovi	4	6
	Ulančane liste	/	7
	Skupovi i rečnici	6	/
	Datoteke i izuzeci	6	4
	Regularni izrazi	4	/
Vrsta pitanja	Modifikacija programskog koda	5	4
	Dopuna programskog koda na kraju	21	13
	Dopuna programskog koda u sredini	8	1
	Implementacija funkcije	35	15
	Pisanje celog programa	1	2

Tabela 1. Analiza osnovnih zadataka

U tabeli 1 može se videti podela osnovnih zadataka po oblastima na koje se odnosi, kao i po vrsti samih zadataka. Kao što je već rečeno osnovni zadaci testiraju znanje iz osnovnih struktura podataka koje se rade na predmetima. Na programskom jeziku *Python* ovi zadaci pokrivaju oblasti rada sa listama, matricama, stringovima, skupovima i rečnicima, dok na programskom jeziku *C* zadaci pokrivaju oblasti rada sa nizovima, matricama, stringovima i ulančanim listama. Na kursu Programiranje 1, fokus je na korišćenju struktura podataka i osnovnih tehnika programiranja, dok je na Programiranju 2 fokus na razumevanju rada svih mehanizama jezika i struktura podataka u pozadini, pa je stoga broj oblasti na ovom

predmetu nešto manji. Pored ovih oblasti na oba predmeta se izučava osnovni rad kontrolnih struktura, standardnog ulaza i izlaza i datoteka, a na programskom jeziku *Python* dodatno se izučava rad sa regularnim izrazima. U trenutku pisanja ovog rada postoji veći broj zadataka iz programskog jezika *Python*, jer baza pitanja koja se koristi na predmetu Programiranje 2 još uvek nije kompletna. Pitanja koja su trenutno dostupna ravnomerno pokrivaju gradivo iz svih oblasti koje se izučavaju u okviru programskog jezika *C*, pa ovo ne bi trebalo da utiče na validnost rezultata ovog testiranja. Na kraju treba pomenuti da skup zadataka za testiranje pokriva različite vrste pitanja koje su grupisane u 5 osnovnih kategorija: modifikacija programskog koda, dopuna programskog koda na kraju, dopuna programskog koda u sredini, implementacija funkcije i pisanje celog programa.

Testiranje rada alata rađeno je tako što se alatu najpre da tekst samog zadataka i postavi zahtev da na osnovu njega generiše programski kod. Programski kod koji je alat generisao se zadatim testira na *Moodle* platformi za elektronsko učenje. Prilikom slanja rešenja na *Moodle* platformu, programski kod se testira na skupu javnih i tajnih test primera. Javni test primeri su dostupni studentima kako bi bolje razumeli zahteve samog zadatka, ali i kako bi proverili ispravnost svog formata ispisa. Kako zadaci nisu previše kompleksni, studenti uglavnom imaju na raspolaganju između dva i tri javna test primera, što je uglavnom dovoljno za dodatno pojašnjenje zadatka. Tajni test primeri služe za ocenjivanje studenata, sadrže veći broj test primera i studenti nemaju pristup ovim primerima.

Ukoliko rešenje koje je generisao *ChatGPT 3* nakon evaluacije na *Moodle* platformi prolazi sve test primere prelazi se na testiranje sledećeg zadatka. U situacijama kada rešenje ne daje odgovarajuće rezultate, alatu se daju dodatne smernice kako bi ispravio greške u programskom kodu i došao do tačnog rešenja. Davanje smernica se sastoji iz davanja javnih ulazni test primera alatu, očekivanog izlaza i izlaza koje daje rešenje koje je generisao alat. Na osnovu ovoga, alat treba da dobije dodatne informacije o zadatku i prilagodi svoje rešenje, slično kao što bi radili i studenti u istoj situaciji. Pored ovoga, alatu se govori ukoliko *CodeRunner* okruženje za testiranje prijavi neku drugu grešku u programskom kodu (*Runtime Error*, *Memory leak*, *File Not Closed* i slično).

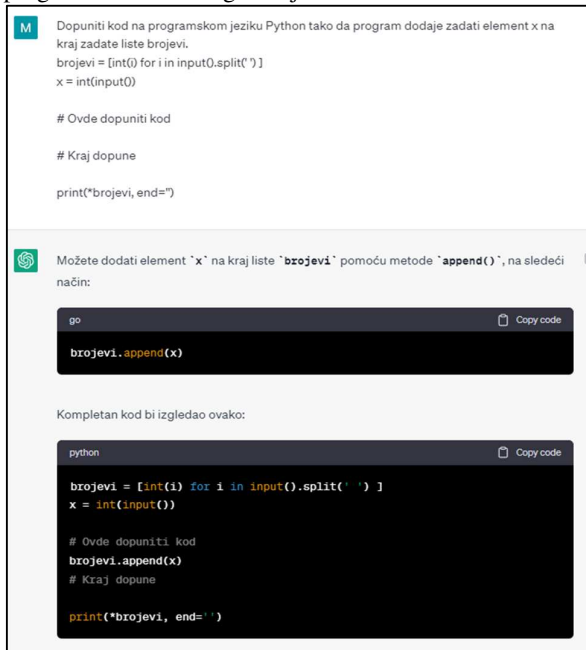
Treba naglasiti da se prilikom testiranja nije desilo da alat generiše programski kod koji prolazi javne test primere, a ne prolazi tajne test primere, pa nije bilo potrebe zasebno razmatrati ovaj slučaj. Ovo je posledica činjenice da se tajni test primeri pre svega prave kako bi studenti stvarno rešili zadati problem (a ne samo prilagodili svoje rešenje javnim test primerima), pa se u tajnim test primerima ne kriju zamke koje bi osporile inače validno rešenje.

Pored ovakvog testiranja alata, inicijalno je pokušano testiranje alata sa idejom da osoba koja testira alat, na osnovu teksta zadatka i test primera, a ne gledajući programski kod, zaključi zbog čega rešenje koje je *ChatGPT 3* generisao nije validno. Nakon toga osoba bi

dala tekstualne instrukcije alatu na osnovu kojih bi alat izmenio rešenje i došao do programskog koda koji prolazi sve testove. Glavna ideja ovog pristupa bilo je proveriti da li i u kojoj meri, osoba koja pokušava da reši zadatak mora da razume programski kod koji je *ChatGPT 3* generisao, kako bi mogla da da adekvatne instrukcije. Pokazalo se da ovakav pristup ne daje dobre rezultate i da ukoliko alat u startu nije razumeo zahteve na osnovu teksta zadatka, verovatno neće razumeti i na pravi način obraditi dodatne instrukcije koje mu daje osoba koja koristi alat. Zbog toga se prešlo na prethodno opisani pristup testiranja u kome se alatu nakon neuspešnog rešavanja zadatka daju samo javni test primeri. Ovaj pristup je dao značajno bolje rezultate i zbog toga je korišćen prilikom testiranja mogućnosti alata. Dobra stvar je i što je ovaj način testiranja manje zavisi od osobe koja koristi alat i njenog predznanja, pa sami rezultati objektivnije oslikavaju mogućnosti samog alata.

3. TESTIRANJE OSNOVNIH ZADATAKA

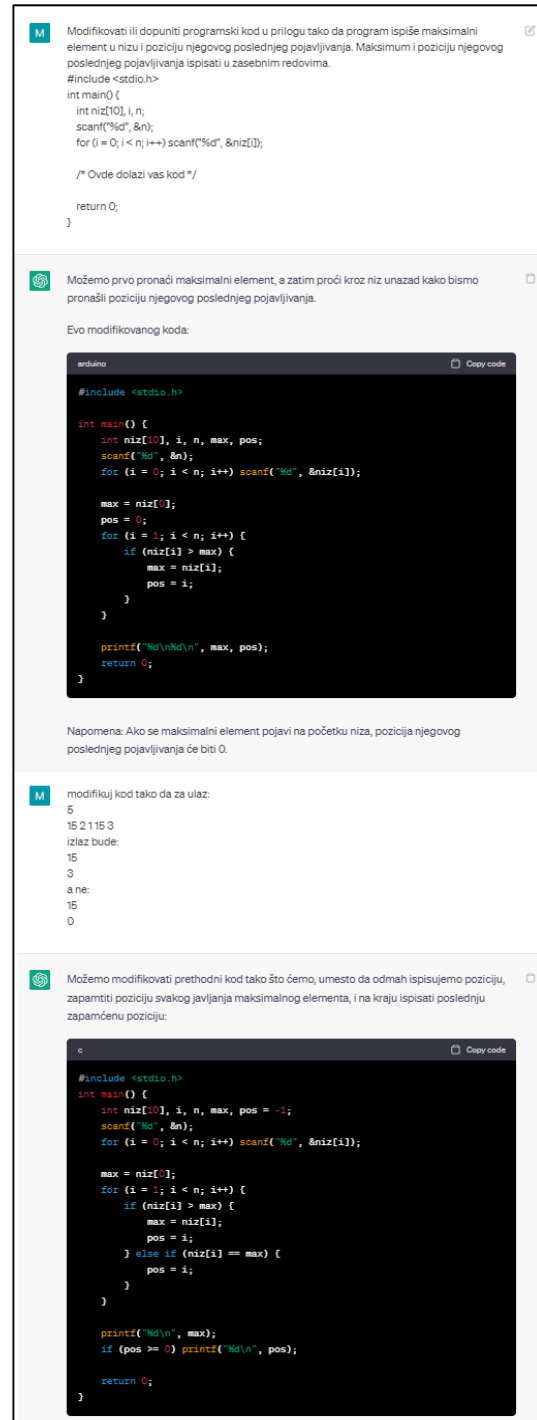
U ovom poglavlju prikazani su rezultati testiranja *ChatGPT 3* alata prilikom rešavanja osnovnih zadataka na programskim jezicima *Python* i *C*. Alat je uspešno rešio 103 od ukupno 105 zadataka koji su mu zadati. Na slici 1 prikazana je osnovna komunikacija sa alatom prilikom rešavanja programskih zadataka. Alatu se daje tekstualni opis problema koji je potrebno rešiti i programski kod koji je potrebno dopuniti. Alat ispravno prepoznaje tekst zadatka i programski kod, tumači ih kao dve odvojene celine, zatim tumači zahteve u tekstu zadatka i dopunjava programski kod na odgovarajući način.



Slika 1. Prikaz rada ChatGPT 3 alata na osnovu teksta zadatka i segmenta programskog koda

Alat se dobro pokazao i prilikom modifikacije i prilikom dopune programskog koda. Na slici 1 dodatno možemo videti da je alat uspešno prepoznao dve linije komentara i između njih umetnuo programski kod. Testiranje je

pokazalo i da alat nema nikakvih problema u radu sa srpskim jezikom, što generalno nije slučaj kod većine alata ovog tipa. Takođe, alat daje dobre rezultate i kada srpski jezik nije gramatički potpuno ispravan i kada se prilikom rada sa alatom koristi latinica bez dijakritika na slovima čđđž. Alat vodi računa i o ispravnom rukovanju resursima koje program koristi (datoteke, dinamička memorija), što je jedna od stvari kojom učimo studente na predmetima programiranja.



Slika 2. Prikaz komunikacije sa ChatGPT 3 alatom u cilju ispravljanja grešaka

Na slici 2 prikazan je rad alata u situaciji kada inicijalno rešenje koje je alat generisao nije ispravno. U ovom slučaju alatu se daju informacije o javnom test primeru na kome ne daje tačno rešenje i to: ulazni podaci, očekivani izlaz i izlaz koji daje rešenje koje je alat generisao. U primeru sa slike *ChatGPT 3* je inicijalno zanemario činjenicu da je potrebno vratiti poziciju poslednjeg (a ne prvog) pojavljivanja broja, ali na osnovu test primera je shvatio grešku i ispravio taj deo programskog koda.

Na slici 2 se dodatno može primetiti da alat sam prepoznaje da je segment koda dat na programskom jeziku C, iako mu to nije eksplicitno rečeno kao u primeru na slici 1. Ako nešto nije dovoljno precizno definisano u zadatku alat će usvojiti razumnu pretpostavku, obavestiti korisnika o njoj i rešiti problem korišćenjem pretpostavke. U primeru sa slike 2 alat pretpostavlja da indeksiranje elemenata počinje od pozicije 0. U slučaju da alat nije uzeo dobru pretpostavku i da je potrebno elemente indeksirati od 1 alat će na osnovu test primera shvatiti šta se očekivalo i ispraviti grešku.

Mada na prvi pogled izgleda da alat radi gotovo savršeno, treba naglasiti i neke probleme koji su se javljali prilikom testiranja, što će se posebno pokazati važnim prilikom testiranja složenijih zadataka. Probleme koji se javljaju prilikom rešavanja zadataka možemo podeliti u nekoliko kategorija: problemi u jezičkom modelu, problemi u opštosti rešenja, problemi prilikom rada sa okruženjem za testiranje *CodeRunner*, problemi prilikom problematičnog inicijalnog rešenja. Ovde ćemo detaljno opisati svaki od problema, a nakon toga će biti opisana i komentarisana dva zadatka koja *ChatGPT 3* nije uspeo da reši.

Problemi radu *ChatGPT 3* kao jezičkog modela se mogu podeliti u dve osnovne grupe. Prvi problemi ove vrste (kao što je prikazano u primeru na slici 2) nastaju kada *ChatGPT 3* pokušava da pretpostavi šta se očekuje u zadatku na osnovu samo jednog dela teksta. U praksi se češće traži pronalaženje prvog pojavljivanja nekog elementa u kolekciji, pa alat zanemaruje jasno navedenu činjenicu da je potrebno pronaći poslednje pojavljivanje elementa. Tek nakon što se testira inicijalno rešenje i da test primer koji ne radi ispravno, alat uspeva da razreši ovaj problem i generiše ispravan programski kod. Druga vrsta problema u jezičkom modelu se javlja prilikom tumačenja nekih složenijih konstrukcija na srpskom jeziku, kao što su „više od jedanput“ ili „barem dve reči“.

U probleme u opštost rešenja svrstali smo probleme koji nastaju zbog toga što *ChatGPT 3* ima tendenciju da rešava probleme koji se najčešće javljaju u praksi, ali ne obraća pažnju na neke granične slučajeve i teško rešava specifične test primere. U ovu vrstu problema spada pronalaženje znakova u stringu, gde znak može biti i bilo koji specijalni znak (a ne samo slova i brojevi), izbacivanje elementa iz kolekcije kog uopšte nema u kolekciji ili generisanje mejl adresa koje nakon znaka @ imaju samo jednu reč (a ne dve odvojene znakom tačke).

Neki od problema su vezani za način testiranja *CodeRunner* platforme. Kako na predmetima

programiranja studenti uče i osnove rada sa ulazom i izlazom, od njih se očekuje da svoja rešenja mogu da prilagode formatiranju koje se traži u odgovarajućem zadatku. *ChatGPT 3* uglavnom daje rešenja koja imaju suviše ispise, pa je neophodno proći kroz par iteracija davanja očekivanog formata, pre nego što alat može da generiše rešenje koje će proći sve testove na platformi za ocenjivanje.

Sve prethodno navedene probleme bi bilo moguće rešiti tehnikom davanja očekivanog ulaza i izlaza da nemamo dodatnu vrstu problema koju smo nazvali problemi sa inicijalnim rešenjem. Naime, iako *ChatGPT 3* može da reši sve manje probleme koji mogu da se jave u inicijalnom rešenju, ovo važi samo u situaciji kada inicijalno rešenje ima samo jedan problem. U situacijama kada inicijalno rešenje koje je dao alat ima više problema, u komunikaciji sa alatom je moguće rešiti jedan problem, ali ukoliko se nakon toga pokušava rešavanje drugog problema, alat će rešiti drugi problem, ali ponovo napraviti prvu grešku. Ovo dovodi do začaranog kruga iz koga je skoro nemoguće izaći i alat nikada ne dođe do potpuno tačnog rešenja. Pored ovoga, alat ima tendenciju da "odluta" na potpuno pogrešnu stranu i tada ga je nemoguće vratiti na pravi put, već je neophodno potpuno poništavanje svega što je alat radio i još jedan pokušaj rešavanja zadatka od početka, pokretanjem novog razgovora sa alatom.

Na kraju ovog poglavlja prikazani su delovi dva zadatka koje alat nije uspeo da reši u potpunosti i objašnjeni glavni problemi koji su pravili problem alatu.

Zadatak 1: Dopuniti kod na programskom jeziku *Python* tako da funkcija ispisuje sve karaktere koji se u zadatom tekstu pojavljuju barem jednom, u rastućem poretku ASCII kodova karaktera.

Za ulaz: `a b c`

Očekivani izlaz: `, a, b, c,`

ChatGPT 3 nije mogao da reši ovaj zadatak jer je inicijalno rešenje koje je dao imalo dva problema. Prvi problem je što se na platformi za ocenjivanje očekuje ispis svih podataka u jednoj liniji bez prelaska u novi red. Drugi problem je nastaje jer alat ne računa blanko znak kao validan znak. Pokušano je rešavanje ovih problema na više načina u komunikaciji sa alatom, ali alat nikako nije mogao da generiše programski kod koji rešava oba problema istovremeno. Osoba koja zna makar osnove programiranja bi mogla da iskoristi programske kodove koje je generisao alat i jako brzo formira tačno rešenje, ali sam alat nije uspeo da to odradi.

Zadatak 2: Dopuniti kod na programskom jeziku *Python* tako da funkcija ispisuje sve mejl adrese koje se nalaze u zadatom tekstu. Mejl adresa počinje slovom (malim ili velikim), nakon čega sledi proizvoljan broj slova i karaktera, zatim znak @, nakon čega sledi domen, koji se sastoji od dve reči (mala slova) odvojenih jednim znakom tačke.

U ovom zadatku se očekuje konstrukcija regularnog izraza koji može da upari mejl adrese zadate po odgovarajućem formatu, kao i korišćenje tog regularnog izraza u programskom jeziku *Python*. Problem koji *ChatGPT 3* nije mogao da reši u ovom zadatku je prepoznavanje mejl adrese *stEva@a.c* kao validne. Ono što je najviše predstavljalo problem alatu je što se nakon poslednje tačke nalazi samo jedno slovo, a alat (verovatno na osnovu podataka iz stvarnog sveta) očekuje da se nakon poslednje tačke pojave barem dva slova. Iako je dat odgovarajući test primer, alat nije uspeo da generiše programski kod koji rešava ovaj problem.

4. TESTIRANJE SLOŽENIJH ZADATAKA

U ovom poglavlju objašnjeno je koji zadaci su korišćeni kao složeniji zadaci za testiranje rada *ChatGPT 3* alata, opisana je osnovna struktura ovih zadataka i opisani rezultati testiranja rada alata prilikom rešavanja ovih zadataka.

Osnovna razlika u odnosu na zadatke iz prethodnih poglavlja je što se ovi zadaci sastoje iz niza funkcionalnosti. Zadaci koji su korišćeni za testiranje su u periodu od 2020. do 2022. godine studentima odseka Elektrotehnika i računarstvo zadavani kao domaći zadaci koje treba da reše u roku od 7 dana. Nakon toga, studenti svoja rešenja nadograđuju u računarskim laboratorijama, na osnovu čega dobijaju poene na praktičnom delu ispita.

Zadaci se sastoje od više jednostavnih funkcionalnosti koje se primenjuju na nekom realističnom skupu podataka. Zadaci zahtevaju učitavanje podataka, proveru validnosti učitanih podataka, nekoliko koraka obrade podataka i zatim ispis dobijenih rezultata. Rešavanje ovakve vrste zadataka najpre zahteva analizu problema i dekomponovanje problema na manje celine, zatim rešavanje pojedinačnih funkcionalnosti i na kraju spajanje svega u jedan kompletan program.

Testiranje je započeto pokušajem rešavanja zadataka iz 2022. godine. Testirano je nešto više od 30 zadataka, koji su ravnomerno raspoređeni na programske jezike *Python* i *C*. Zadaci su testirani na način na koji su testirani osnovni zadaci u prethodnim poglavljima, ali za razliku od osnovnih zadataka, rešavanje složenijih zadataka ne daje ni približno tako dobre rezultate. Nakon više dana testiranja uspešno je rešen samo jedan. Zadatak nije previše komplikovan, a i do njegovog rešenja se nije došlo sistematičnim putem, već više srećnim pokušajem nakon nekoliko dana testiranja.

Problemi koji se javljaju prilikom rešavanja kompleksnijih zadataka nastaju kao kombinacija problema koji se javljaju u osnovnim pitalicama, uz dodatno novu vrstu problema koja nastaje zbog ograničenja veličine odgovora koje alat može da generiše. Osnovni problem prilikom rešavanja zadatka je što se zbog složenosti zadatka u startu napravi veći broj grešaka u rešenju, a kao što je opisano u prethodnom poglavlju, alat ne ume da ispravi veći broj grešaka. Čak i kada to ne bi bio problem, alat uglavnom ne može da generiše

kompletno rešenje ovih zadataka jer programski kodovi imaju više stotina linija. Alat ispisuje svoje rešenje i u nekom trenutku samo prestane da ispisuje odgovor. Ukoliko mu se da instrukcija da nastavi on ponovo ispisuje programski kod od početka i stane pre kraja samog rešenja.

Kako na ovaj način nije bilo moguće rešiti programske zadatke pokušao je alternativni pristup rešavanju, koji zahteva nešto veću interakciju osobe koja pokušava da reši programske zadatke sa alatom *ChatGPT 3*. Alternativni postupak rešavanja zahteva da osoba podeli zadatak u funkcionalnosti i inkrementalno traži od alata da reši jednu po jednu funkcionalnost. Ovakav pristup se lepo uklapa sa formatom zadataka koji studenti dobijaju za domaći zadatak. Naime, kako studenti tek uče osnovne programiranja, iako se od njih zahteva analiza problema i dekompozicija na manje celine, kao pomoć su dati osnovni koraci koje je potrebno sprovesti u rešavanju problema. Dodatno, test primeri se daju tako da studenti mogu da dobiju parcijalan broj poena nakon što su rešili manji broj koraka.

Kako bi rešavala zadatak na ovaj način korišćenjem *ChatGPT 3* alata, osoba najpre mora da pročita i razume ceo zadatak, a zatim da deo po deo informacija iz teksta zadatka daje alatu i zahteva rešavanje odgovarajućeg koraka zadatka. Ključna stvar je da se alatu ne da preveliki broj zahteva i informacija odjednom jer davanje suštine zadatka na početku programa lako dovodi do toga da alat odmah rešava kompletan zadatak što neminovno dovodi do greške. Zbog toga se testiranje sprovodi na sledeći način: alatu se najpre objasni skup ulaznih podataka, zatraži se učitavanje i ispis samih podataka, nakon toga se traži provera ispravnosti ulaznih podataka, a tek nakon toga se prelazi na funkcionalnosti koje zahtevaju obradu podataka na neki način.

Iako deluje da bi ovaj pristup trebalo da dovede do rešavanja problema, u praksi to nije bio slučaj. Postupno uvođenje zahteva olakšava alatu da razume kontekst zadatka i tako napravi manje grešaka u startu. Međutim, alatu i dalje predstavlja problem veličina odgovora koju može da ispiše i alat ne može da generiše kompletan programski kod. Korišćenjem ovog pristupa studenti mogu da reše deo zadatka koji se odnosi na učitavanje samih ulaznih podataka i dobiju te poene. Poslednji pristup koji studenti mogu da iskoriste zahteva podelu programa na funkcionalnosti, traženje od alata da reši pojedinačne funkcionalnosti i na kraju spajanje svega u jednu celinu. Međutim, studenti koji umeju ovo da urade poseduju osnovno razumevanje programiranja i verovatno poseduju znanje da reše zadatak u celosti i bez upotrebe *ChatGPT 3* alata.

5. ZAKLJUČAK

U radu je testirana mogućnost *ChatGPT 3* alata da generiše programski kod koji rešava jednostavne zadatke iz programskih jezika *Python* i *C*. Alat je najpre testiran sa jednostavnim zadacima koji se sastoje iz jedne funkcionalnosti, a nakon toga i sa složenijim zadacima

koji su studentima zadavani kao domaći zadaci na predmetima Programiranje 1 i Programiranje 2 na Elektrotehničkom fakultetu.

Alat se dobro pokazao prilikom rešavanja jednostavnih zadataka i generisao je potpuno tačno rešenja za 103 od 105 zadataka sa kojima je testiran. Testiranje kompleksnijih zadataka nije prošlo jednako dobro. Pokušano je nekoliko različitih pristupa rešavanju zadataka, ali nakon svih pokušaja alat je rešio samo 1 od više od 30 zadataka, što se može smatrati statističkom greškom.

Važno je naglasiti da je kompletno istraživanje rađeno korišćenjem besplatne, javno dostupne verzije *ChatGPT 3* alata. Potrebno je proveriti da li plaćena verzija alata ili neke novije verzije daju bolje rezultate prilikom rešavanja kompleksnijih zadataka, pošto tu nema ograničenja u dužini odgovora. Dodatno, kako skup podataka nad kojima je alat testiran predstavlja interni skup podataka i platformu za testiranje koja se koristi u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu, potrebno je proveriti da li alat daje slične rezultate prilikom rešavanja zadataka na drugim platformama, pre nego što se donese konačni sud o samim mogućnostima alata.

Na osnovu rezultata predstavljenih u ovom radu dolazimo do zaključka da jezički modeli zasnovani na veštačkoj inteligenciji ne mogu još uvek da savladaju probleme koje rešavaju studenti na prvoj godini fakulteta. Međutim, nesporno je da alati na ovom polju napreduju jako brzo i da je samo pitanje trenutka kada će biti u mogućnosti da u

potpunosti reše zadatke koji su korišćeni za njihovo testiranje. U skladu sa tim, treba na vreme planirati korake koje eventualno treba preduzeti kada alati ostvare odgovarajući napredak.

LITERATURA

- [1] D. Baidoo-Anu and L. Owusu Ansah, 'Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning', Available at SSRN 4337484, 2023.
- [2] J. Rudolph, S. Tan, and S. Tan, 'ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education?', *Journal of Applied Learning and Teaching*, vol. 6, no. 1, 2023.
- [3] M. Ryznar, 'Exams in the Time of ChatGPT', *Washington and Lee Law Review Online*, vol. 80, no. 5, p. 305, 2023.
- [4] C. K. Lo, 'What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature', *Education Sciences*, vol. 13, no. 4, p. 410, 2023.
- [5] J. Đukić, V. Jocović, M. Mišić, J. Protić, A. Srbljanović, M. Obradović, 'Automatizacija ocenjivanja Python programskih zadataka na sistemu Moodle sa dodatkom CodeRunner', *Zbornik radova konferencije "JU INFO 2021"*, pp. 10 - 15, Informaciono društvo Srbije, Kopaonik, Srbija, Mar, 2021

Primena metoda uzorkovanja sa verovatnoćom u funkciji kvantifikacije poslovnih aktivnosti

Application of sampling methods with probability as a function of business activities quantification

dr Dragana Radojičić¹
Univerzitet u Beogradu
Ekonomski fakultet

Sadržaj – Glavni cilj tehnika uzorkovanja zasnovanih na verovatnoći je da se dobije visoko reprezentativan uzorak. U okviru ovog rada na izabranu bazu podataka, primenimo nekoliko planova uzorkovanja: prost slučajni uzorak bez ponavljanja i sistematski uzorak, kao i količinski i regresiono ocenjivanje u okviru tih planova. Implementirani su planovi uzorkovanja kako bi odredili ocene sredine i totala posmatranog obeležja populacije, u cilju krajnjeg poređenja dobijenih ocena. Posebno, upoređujemo tehnike uzorkovanja da bi smanjili varijansu u proceni srednje vrednosti. Dodatno, korsiteći pomoćnu promenljivu za koju se pretpostavlja da je u korelacionoj vezi sa veličinom koja se ispituje, primenjuje se količinski ocenjivanje i regresiono ocenjivanje kako bi se potencijalno povećala preciznost ocene.

Abstract - The main goal of probability sampling techniques is to obtain a highly representative sample. Within this work, on the selected database we will apply several sampling plans: a simple random sample without repetition and a systematic sample, as well as ratio and regression estimations within these plans. Sampling plans are implemented in order to determine the mean and total scores of the observed characteristics of the population, with the aim of ultimately comparing the obtained scores. In particular, we compare sampling techniques to reduce the variance in the estimate of the mean. In addition, using an auxiliary variable that is assumed to be correlated with the quantity under investigation, quantitative scoring, and regression scoring are applied to potentially increase the accuracy of the score.

1 MOTIVACIJA

Cilj svake proizvodnje je da svoje aktivnosti pretvori u novac, tj. da realizuje što veći obim proizvodnje uz poštovanje zahtevanog kvaliteta, asortimana i dinamike proizvodnje, naravno uz što manja ulaganja. Svaki poslovno-proizvodni sistem ima za cilj da ostvari što bolje ekonomsko proizvodne rezultate, pre svega, što veću ekonomičnost, rentabilnost i produktivnost proizvodnje, odnosno što bolji poslovni uspeh.

Poslovno proizvodni sistemi, kao otvoreni sistemi su u stalnoj interakciji sa okolinom. Kompanije rade u nekom makrookruženju kojeg oblikuju različiti uticaji. Ukoliko kompanija nastoji da ostvari dugoračan poslovni uspeh i veću konkurentnost, treba konstantno unapređuje menja da bi adekvatno odgovorila na dinamiku promena koje nameću složeni globalni uslovi. Organizaciono okruženje svake kompanije čine brojni uticajni faktori, koji deluju

izvan i unutar same organizacije, a imaju različite uticaje na ciljeve, funkcionisnje organizacije, poslovne aktivnosti i uspešnost kompanije. Proces prodaje predstavlja strukturiran redosled međusobno povezanih aktivnosti koje kompanija kao prodavac preduzima da bi potencijalnim klijentima plasirala svoje i/ili tuđe proizvode, odnosno da bi potencijalne klijente pretvorila u kupce.

Prodajni procesi i organizaciona struktura kompanije treba da su usaglašeni i prilagodljivi savremenom dinamičkom okruženju. Neophodno je da tržišno orijentisane kompanije vrši analizu procesa prodaje u cilju iznalaženja načina za organizaciona poboljšanja i unapređenja poslovnih aktivnosti, odnosno poboljšanje rezultata poslovanja. Neki od najvažnijih zadataka funkcije prodaje su: prikupljanje podataka i informacija na tržištu prodaje u zemlji i inostranstvu, razvoj i primena različitih prognostičkih metoda, participacija u izradi osnovnog plana poslovanja i proizvodnje kompanije, organizacija prodaje, permanentno unapređivanje sopstvenog rada i saradnje sa istraživačkim organizacijama, povraćaj uloženi sredstava u poslovanje i proizvodnju itd.

Osnovni cilj analize prodaje je da se na bazi relevantnih pokazatelja ostvarenog nivoa prodaje u prethodnom periodu i nivoa sadašnje prodaje predvidi nivo buduće prodaje. Efikasnost ovih analiza moguće je poboljšati korišćenjem metoda teorije uzorkovanja i primenom informacionih tehnologija što je prikazano u ovom radu.

2 Uvod

Grupa podataka je celokupan skup jedinica ili elemenata u kojoj svaka jedinica ima određena obeležja tj. karakteristike. Izučavanje grupe podataka u celini je moguće ukoliko veličina tog skupa nije velika i ne zahteva velike troškove. Češći je slučaj da je skup podataka velikog obima i da je njegovo izučavanje u celini dugotrajno, zahteva velika sredstva, skupo ili je čak principijalno nemoguće. Iz tog razloga se koristi uzorkovanje. Dakle bira se podskupa elemenata, uzorak, iz osnovnog skupa na kome se vrši posmatranje ili istraživanje u cilju opštavanje rezultata cele grupe podataka koju reprezentuje izabrani uzorak. U okviru ovog istraživanja primenimo dva tipa verovatnosnih uzoraka: prost slučajni uzorak bez ponavljanja i sistematski uzorak. Zadatak ovog istraživanja je da odredimo ocene totala i srednje vrednosti obeležja kod posmatrane grupe podataka u okviru različitih planova uzorkovanja, sa akcentom na nepristrasnim ocenama i ocenama varijanse dobijenih ocena. Osim toga, u okviru prostog slučajnog uzorka radi potencijalnog poboljšanja ocena uključeno je i kolicnicko i regresiono ocenjivanje. Neki od najvažnijih zadataka funkcije prodaje su: prikupljanje podataka i informacija na tržištu prodaje u

zemlji i inostranstvu, razvoj i primena različitih prognostičkih metoda, participacija u izradi osnovnog plana poslovanja i proizvodnje kompanije, organizacija prodaje, permanentno unapređivanje sopstvenog rada i saradnje sa istraživačkim organizacijama, povraćaj uloženi sredstava u poslovanje i proizvodnju itd. Realna i dobro definisana politika prodajnih cena omogućava kompaniji ostvarenje profita i proširivanje na nova tržišta. Treba imati u vidu da na formiranje prodajnih cena utiču različiti interni i eksterni faktori, [1].

Za formiranje prodajnih cena koriste se različite metode a sam izbor metodologije koja će se primeniti u kompaniji zavisi, pre svega, od uslova u kojima kompanija posluje, kao i od znanja i iskustva rukovodstva kompanije. Ostvareni profit kompanije je izvor sredstava za finansiranje njenog rasta i daljeg razvoja. U tom smislu kompanije teže maksimiziranju profita, što većoj profitabilnosti, odnosno što boljim ekonomsko-proizvodnim rezultatima.



Slika 1. Zastupljenost posmatranih proizvoda

3 DESKRIPTIVNE STATISTIKE

U nastavku biće prikazani rezultate deskriptivnih statistika, kao i osnovni parametri dobijeni na osnovu baze podataka. U ovom istraživanju koristi se baza „coffee“ koja je dostupna na sajtu Kaggle¹ i sadrži 4248 observacije.

U bazi se nalaze različiti tipovi podataka: kategorički i numerički. Kategorički podaci su kvalitativni podaci koji razdvajaju ispitanike u grupe prema nekim karakteristikama, i ovom istraživanju kategoričke promenljive koje ćemo posmatrati su: market (tržište), region (region), product_category (kategorija proizvoda), product (proizvod). Informacije o kategoričkim podacima možemo dobiti iz njihovog grafičkog prikazivanja. Slika 1 predstavlja zastupljenost različitih proizvoda koji se nalaze u posmatranoj bazi podataka, dok Slika 2 prezentuje zastupljenost različitih klasa proizvoda. Numerički podaci nastaju kao rezultat merenja i izražavaju se kvantitativno. Kada su u pitanju numeričke promenljive, u ovom istraživanju posmatramo: cost (cena proizvoda), inventory (inventar), net_profit (neto dobit), sales (prodaja).



Slika 2. Zastupljenost različitih klasa proizvoda

	cost	inventory	net_profit	sales
count	4248.000000	4248.000000	4248.000000	4248.000000
mean	84.433145	749.381356	61.097693	192.987524
std	67.249769	661.031896	101.708546	151.133127
min	0.000000	-3534.000000	-638.000000	17.000000
25%	43.000000	432.000000	17.000000	100.000000
50%	60.000000	619.000000	40.000000	138.000000
75%	100.000000	910.500000	92.000000	230.000000
max	364.000000	8252.000000	778.000000	912.000000

Tabela 1. Deskriptivne statistike numeričkih obeležja prisutnih u bazi

Tabela 1 prikazuje vrednosti osnovnih deskriptivnih statistika numeričkih obeležja kao što su aritmetička sredina, standardna devijacija, donji i gornji kvartil, medijana, minimalna prisutna vrednost, maksimalna prisutna vrednost.

S obzirom da je obeležje 'neto profit' target varijabla koju ocenjujemo u ovom istraživanju, naš prevashodni cilj jeste i pronalaženje tzv. pomoćnog obeležja za formiranje količničke i regresione ocene. Ideja je da značajan deo varijacije od target varijable može da se objasni preko pomoćne varijable. Zbog toga, pomoćna varijabla treba da bude u što većoj meri korelisana sa neto profitom. Na osnovu izračunatih korelacija između posmatranih obeležja prisutnih u bazi koje su prikazane na Slici 3 i u okviru Tabele 2, vidimo međusobnu korelaciju promenljivih i da je ona upravo najveća između neto profita i prodaje (sales), i iznosi 0,797331. Interpretirajući visinu koeficijenta korelacije kao što je istaknuto u [2], zaključujemo da postoji jaka korelaciona veza između promenljive neto profit i promenljive prodaja. Dakle, prilikom dalje analize kao pomoćnu promenljivu posmatraćemo prodaju.

¹ <https://www.kaggle.com/>



Slika 3. Korelacija između posmatranih obeležja

	cost	inventory	net_profit	sales
cost	1.000000	0.621086	0.464838	0.886651
inventory	0.621086	1.000000	-0.091545	0.325934
net_profit	0.464838	-0.091545	1.000000	0.797331
sales	0.886651	0.325934	0.797331	1.000000

Tabela 2. Korelacija između posmatranih obeležja

Formule koje su korišćene za implementaciju planova uzorkovanja i za statistička izračunavanja mogu se pronaći u sledećim knjigama [3], [4], [5].

Pre početka praktičnog rada, izdvojićemo statistike od interesa (koje će u nastavku biti predmet ocenjivanja):

- Total obeležja u posmatranj bazi podataka:

$$Y = \sum_{i=1}^N Y_i = 259543 \quad (1)$$

- Sredina obeležja:

$$\underline{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i = 61,1 \quad (2)$$

- Varijansa obeležja:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y_i - \underline{Y})^2 = 101,71 \quad (3)$$

Različite metode uzorkovanja iz konačne populacije, kao i primene tih metoda, i ranije su privlačile pažnju istraživača, pogledajte [6], [7], [8], [9], itd. U novije vreme različite metode uzorkovanja u kombinaciji sa tehnikama mašinskog učenja su predmet izučavanja istraživača. U radu [10] prikazan je novi pristup analizi pouzdanosti koji kombinuje uzorkovanje značaja vektorske mašine relevantnosti i simulacije podskupa. Autori u radu [11] koriste metoda uzorkovanja da bi redukovali broj izračunavanja udaljenosti. Stratifikacija latinske hiperkocke, kao tehnika smanjenja varijanse koja omogućava kontrolu varijacija po stratumima je prikazana u [12].

4 Prost slučajni uzorak

A. Određivanje obima uzorka

Osnovna motivacija teorije uzorkovanja je da se se izdvoji dobar reprezentativni uzorak, na osnovu koga je moguće generalizovati rezultate o celom posmatranom skupu. Pri samom odabira jedinica uzorka ključno je odrediti veličinu uzorka i tehniku odabira jedinica uzorka. Kako bi odredili veličinu uzorka n koristimo rezultate dobijene u [3] i [13]

$$n = \frac{N^2 z^2 S^2}{d^2 + N z^2 S^2}, \quad (4)$$

gde je N obim celog skupa, d najveća dozvoljena razlika između ocene i prave vrednosti, z vrednost koju citamo iz tablica za normalnu raspodelu za 95% nivo poverenja. Na osnovu zadate formule dobijena je veličina uzorka od 338 jedinica. Definisanjem veličine uzorka kao $n = 337$, i s obzirom da je obim celog skupa $N = 4248$, dobijamo da je frakcija uzorka (ili stopa izbora uzorka) $f = 0,079$.

B. Prost slučajni uzorak ocenjivanje karakteristika

Prost slučajni uzorak (PSU) (eng. Simple Random Sample - SRS) je najjednostavniji tip verovatnosnog uzorkovanja. U okviru ovog način uzorkovanja n različitih jedinica uzorka bira se tako da svaka jedinica iz populacije ima istu verovatnoću da bude uključena u uzorak, tj. svaka moguća kombinacija od n jedinica ima istu šansu da bude uzorak iz populacije velicine N .

Iz prostog slučajnog uzorka izdvajamo i važne deskriptivne statistike, koje će biti od posebnog značaja prilikom ocenjivanja parametra. Formule koje su korišćene za ocenjivanje parametra kod PSU izvedene su u poglavlju 2 knjige [3].

- Uzoračka varijanca u PSU-u:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \underline{y})^2 = 9425,49 \quad (5)$$

- Prosečan neto profit u uzorku:

$$\underline{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 68,67 \quad (6)$$

- Ocena varijanse sredine neto profita:

$$\hat{V}(\underline{y}) = \frac{s^2}{n} (1 - f) = 25,749 \quad (7)$$

- Ocena totala obeležja neto profit:

$$\hat{Y} = N * \underline{y} = 259552,8 \quad (8)$$

C. Količničko ocenjivanje kod prostog slučajnog uzorka

Količničko ocenjivanje je tehnika ocenjivanja koja se sprovodi da bi se potencijalno poboljšala preciznost ocena. Primenjuje se uz pomoć dodatnih informacija tj. uvođenjem pomoćne promenljive X koja je u korelaciji sa promenljivom Y . Da bi se sprovela ova metoda pomoćna promenljiva treba da bude poznata na svim elementima uzorka, ili treba da bude poznat njen total. U nastavku izvršili smo količničko ocenjivanje nad PSU, posmatrajuć promenljivu net profit kao glavno obeležje, dok je pomoćno obeležje promenljiva sales. Najpre ćemo ustanoviti nekoliko varijabli koje će biti korišćene pri količničkom ocenjivanju.

- Količnik obeležja populacije:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{\sum_{i=1}^N X_i} = \frac{Y}{X} = 0,31659 \quad (9)$$

- Količnik uzorka:

$$\hat{R} = \frac{\sum_1^n y_i}{\sum_1^n x_i} = \frac{y}{x} = 0.35084 \quad (10)$$

Primenjivanjem količničkog ocenjivanja na PSU i korišćenjem formula iz poglavlja 6 iz knjige [3] dobijeni su sledeći rezultati.

- Količnička ocena totala populacije:

$$\widehat{Y}_R = \hat{R}X = \frac{y}{x} X = 235755.84 \quad (11)$$

- Količnička ocena sredine populacije:

$$\underline{\widehat{Y}}_R = \underline{\hat{R}}\underline{X} = \frac{y}{x} \underline{X} = 55.49808 \quad (12)$$

Izračunate su i varijansa količnika i i aproksimacija varijanse dobijene ocene količničke ocene sredine populacije:

- $V(\widehat{Y}_R) \approx \frac{1-f}{n(N-1)} \sum_1^N (y_i - Rx_i)^2 = 13,314 \quad (13)$

- $V(\underline{\widehat{R}}) \approx \frac{1-f}{n\underline{x}^2(N-1)} \sum_1^N (y_i - Rx_i)^2 = 0,00036 \quad (14)$

D. Regresiono ocenjivanje kod prostog slučajnog uzorka

Glavni cilj količničkog ocenjivanja, kao i regresionog ocenjivanja je da poveća preciznost ocene koristeći pomoćnu promenljivu. Regresiona analiza se često koristi za predviđanja, kao i za identifikaciju trendova ili obrazaca u podacima. Obeležje koje se uzima za pomoćno obeležje X (sales) je u jakoj korelacionoj vezi sa veličinom koja se ispituje Y (neto profit). Ukoliko je veza između Y i X linearna, koristi se ocenjivanje zasnovano na linearnoj regresiji Y po X. Formule koje su korišćene pri regresionom ocenjivanju mogu se pronaći u poglavlju 7 u [3], kao i u knjigama Petrovic i Sampling. Linearna regresionu ocenu populacijske sredine označavamo sa y_{lr} gde indeks 'lr' označava linearnu regresiju, a računamo je koristeći sledeću formulu:

$$\underline{y}_{lr} = \underline{y} + b(\underline{X} - \underline{x}), \quad (15)$$

a parametar b je koeficijent linearne regresije. Parametar b modelira nagib prave i meri promenu target obeležja Y kada se pomoćno obeležje X promeni za jednu jedinicu. S obzirom da posmatramo relaciju target varijable sa jednom pomoćnom promenljivom, koristi se prosta linearna regresija. U okviru ove metode da bi se odredile ocene parametara koristi se metoda najmanjih kvadrata koja minimizira sumu kvadrata reziduala. U nastavku su istaknute formule koje su korišćene kod regresionog ocenjivanja, kao i dobijene vrednosti regresionog ocenjivanja kod PSU.

- Koeficijent linearne regresije:

$$b = \frac{\sum_1^n (y_i - \underline{y})(x_i - \underline{x})}{\sum_1^n (x_i - \underline{x})^2} = 0.563 \quad (16)$$

- Varijansa koeficijenta linearne regresije je 0.00137

Rezultati regresionog modela sa deskriptivnim statistikama su prikazani na Slici 4.

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	net_profit	R-squared:	0.643			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.642			
Method:	Least Squares	F-statistic:	603.6			
Date:	Mon, 17 Apr 2023	Prob (F-statistic):	6.16e-77			
Time:	13:47:09	Log-Likelihood:	-1872.1			
No. Observations:	337	AIC:	3748.			
Df Residuals:	335	BIC:	3756.			
Df Model:	1					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-43.9004	5.671	-7.741	0.000	-55.056	-32.745
sales	0.5631	0.023	24.568	0.000	0.518	0.608
Omnibus:	133.510	Durbin-Watson:	1.950			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	6850.322			
Skew:	-0.797	Prob(JB):	0.00			
Kurtosis:	25.030	Cond. No.	410.			

Slika 4. Rezultati regresionog ocenjivanja kod PSU

Dobijena regresiona ocena populacijske sredine y_{lr} je 63.769, dok je varijansa dobijene ocene 17,34.

5 Sistematski uzorak

Sistematski uzorak obima n sa korakom k se bira tako što se prvo izabere jedna jedinica i od prvih k jedinica, a zatim biramo svaku k -tu jedinicu. Korak k , koji se u literaturi često naziva i interval, određuje se celobrojnim deljenjem broja elemenata u populaciji N sa veličinom uzorka n . Dakle, formira se uzorak čiji su elementi sa sledećim indeksima:

$$i, i + k, i + 2k, \dots, i + (n-1)k.$$

Sistematski uzorak se primenjuje kad su elementi populacije poređani u nekom poretku (proizvodi na traci, knjige na polici, itd.).

A. Količničko ocenjivanje kod sistematskog uzorka

Ocene dobijene primenom količničkog ocenjivanja kod sistematskog uzorka su:

- Količnik obeležja populacije:

$$R = \frac{\sum_1^N Y_i}{\sum_1^N X_i} = \frac{Y}{X} = 0.31659 \quad (17)$$

- Količnik uzorka:

$$\hat{R} = \frac{\sum_1^N y_i}{\sum_1^N x_i} = \frac{y}{x} = 0.3537 \quad (18)$$

- Količnička ocena totala populacije:

$$\widehat{Y}_R = \hat{R}X = 259543 \quad (19)$$

- Količnička ocena sredine populacije:

$$\underline{\widehat{Y}}_R = \underline{\hat{R}}\underline{X} = 61.09769 \quad (20)$$

Izračunate su i aproksimacije varijanse količnika i varijanse dobijene ocene količničke ocene sredine populacije:

- $V(\widehat{Y}_R) \approx \frac{1-f}{n(N-1)} \sum_1^N (y_i - Rx_i)^2 = 12.62 \quad (21)$

- $$V(\hat{R}) \approx \frac{1-f}{n\bar{X}^2(N-1)} \sum_1^N (y_i - Rx_i)^2 = 0.00034$$
 (22)

B. Regresiono ocenjivanje kod sistematskog uzorka

Ocene dobijene primenom regresionog ocenjivanja kod sistematskog uzorka su:

- Koeficijent linearne regresije:

$$b = \frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.54287 \quad (16)$$

Varijansa koeficijenta linearne regresije je 0.00142

Rezultati regresionog modela sa deskriptivnim statistikama su prikazani na Slici 4.

```

=====
OLS Regression Results
=====
Dep. Variable: net_profit R-squared: 0.706
Model: OLS Adj. R-squared: 0.705
Method: Least Squares F-statistic: 846.3
Date: Mon, 17 Apr 2023 Prob (F-statistic): 1.17e-95
Time: 18:43:42 Log-Likelihood: -1952.4
No. Observations: 354 AIC: 3909.
DF Residuals: 352 BIC: 3917.
DF Model: 1
Covariance Type: nonrobust
=====
coef std err t P>|t| [0.025 0.975]
-----+-----
const -40.6959 5.137 -7.922 0.000 -50.799 -30.592
sales 0.5429 0.019 29.091 0.000 0.506 0.580
=====
Omnibus: 100.711 Durbin-Watson: 2.161
Prob(Omnibus): 0.000 Jarque-Bera (JB): 4864.658
Skew: 0.115 Prob(JB): 0.00
Kurtosis: 21.159 Cond. No. 441.
=====

```

Slika 4. Rezultati regresionog ocenjivanja kod PSU

Dobijena regresiona ocena populacijske sredine y_{lr} je 64.07, dok je varijansa dobijene ocene 17,23.

6 ZAKLJUČAK

Koristeći različite metode teorije uzoraka (za konačnu populaciju) dobili smo ocene karakteristika od interesa putem statističkih proračuna. Preciznije, posmatrajući prost slučajni uzorak i sistematski uzorak, kao i metode količnikog i regresionog ocenjivanja, ocenili smo sredinu i total target varijable 'neto profit', kao i varijanse dobijenih ocena. Sagledavanjem rezultata primećujemo da se ocene mogu smatrati preciznim, s obzirom da su izračunate varijanse relativno male. Kao i kod prostog slučajnog uzorka i kod sistematskog uzorka najmanja varijansa ocene sredine obeležja dobijena je primenom količnikog ocenjivanja. Daljim sagledavanjem dobijenih ocena zaključujemo da je najmanja varijansa zabeležena regresionim ocenjivanjem kod sistematskog uzorka. Korišćenjem pomoćne varijable dobija se preciznija ocena, jer se regresiono ocenjivanje sprovodi uz pomoć dodatnih informacija. Dakle, sagledavanjem rezultata kao optimalan plan uzorkovanja biramo regresiono ocenjivanje kod sistematskog uzorka.

LITERATURA

- 1 Fitzsimmons, J., Steffens, P., & Douglas, E. (2005). Growth and profitability in small and medium sized Australian firms. Proceedings AGSE Entrepreneurship Exchange, Melbourne.
- 2 Evans, J. D. (1996). Straightforward statistics for the behavioral sciences. Thomson Brooks/Cole Publishing Co.
- 3 Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques. John Wiley & Sons.
- 4 Petrović, Lj. (2007). Teorija uzoraka i planiranje eksperimenata. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta.
- 5 Sampath, S. (2005). Sampling theory and methods. Alpha Science Int'l Ltd.
- 6 Durbin, J. (1953). Some results in sampling theory when the units are selected with unequal probabilities. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 15(2), 262-269.
- 7 Horvitz, D. G., & Thompson, D. J. (1952). A generalization of sampling without replacement from a finite universe. Journal of the American statistical Association, 47(260), 663-685.
- 8 Madow, W. G. (1949). On the theory of systematic sampling, II. The Annals of Mathematical Statistics, 20(3), 333-354.
- 9 Murthy, M. N. (1967). Sampling theory and methods. Sampling theory and methods.
- 10 Xie, B., Peng, C., & Wang, Y. (2023). Combined relevance vector machine technique and subset simulation importance sampling for structural reliability. Applied Mathematical Modelling, 113, 129-143.
- 11 Ding, S., Li, C., Xu, X., Ding, L., Zhang, J., Guo, L., & Shi, T. (2023). A Sampling-Based Density Peaks Clustering Algorithm for Large-Scale Data. Pattern Recognition, 136, 109238.
- 12 SONG, C., & KAWAI, R. (2023). Dynamic finite-budget allocation of stratified sampling with adaptive variance reduction by strata. SIAM Journal on Scientific Computing.



YU-S4-ON2: Sesija 4
Hardver, računarske primene i
pametne infrastrukture

Hibridni procesor na bazi kontrole toka i protoka podataka: analiza granulacije algoritma

Hybrid control-flow and dataflow processor: algorithm granularity analysis

Miloš Popović¹, Nenad Korolija², and Svetlana Štrbac-Savić³
Belgrade Business and Arts Academy of Applied Studies¹
School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia²
Academy of Technical and Art Applied Studies Belgrade³

Sadržaj – Za razliku od paradigme zasnovane na kontroli toka (tzv. von Neumann computing model), paradigma bazirana na protoku podataka tretira program kao konfigurisani hardver, dok se sami podaci propuštaju kroz ovakav hardver. Ovo donosi višestruke prednosti. Zajednička magistrala više ne predstavlja problem, pošto za njom nema potrebe kod hardvera zasnovanog na protoku podataka. Računarske arhitekture zasnovane na protoku podataka po definiciji izvršavaju delove programa istovremeno. Deo hardvera zasnovanog na protoku podataka zaduženog za izvršavanje jedne instrukcije treba da bude sposoban da izvršava samo tu instrukciju. Ovo umanjuje kompleksnost i omogućava veću paralelizaciju izvršavanja.

U poslednje vreme, istraživači su radili na hibridnim procesorima baziranim i na kontroli toka i na protoku podataka. Time se umanjuje vreme potrebno za komunikaciju između hardvera na bazi kontrole toka i hardvera na bazi protoka podataka, omogućujući da se algoritmi istovremeno izvršavaju na obe vrste hardvera. U ovom radu se razmatra nivo granulacije algoritma, čime se pokazuje koliko mali deo algoritma može da bude, a da se i dalje efikasno izvršava uz pomoć hardvera na bazi protoka podataka. U radu se razmatra i minimalan broj ponavljanja instrukcija kako bi se opravdala upotreba hardvera na bazi protoka podataka.

Rezultati pokazuju da se relativno mali delovi algoritama mogu efikasno izvršiti uz pomoć hardvera na bazi protoka podataka, pri čemu je dovoljan relativno mali broj iteracija (relativno malo ponavljanja izvršavanja).

Abstract - In the contrast to the control-flow paradigm based on the von Neumann computing model, the dataflow paradigm treats a computer program as configured hardware, and the data is passed through the hardware. This brings multiple benefits. The common bus doesn't present a bottleneck anymore, as there is no need for a bus in dataflow hardware. Dataflow architectures are inherently parallel. The portion of a dataflow hardware responsible for executing a single instruction should be capable only of executing that single instruction. This reduces the complexity and allows higher parallelism.

Recently, researchers have been working on hybrid control-flow and dataflow processors. This reduces the time needed for the dataflow hardware to receive the data from the control-flow hardware and vice versa, enabling

many algorithms to run jointly on control-flow and dataflow hardware. This work sheds light on the granularity of an algorithm, showing how small a portion of the algorithm can be so that it can still efficiently be executed using the dataflow hardware. It also discusses the minimal amount of repetition to justify the exploitation of dataflow hardware.

Results indicate that even relatively small portions of code can be executed efficiently using the dataflow hardware, with a relatively small number of iterations (i.e. low repetition).

1. INTRODUCTION

Computer architectures have been constantly improved since the beginning of their existence. In recent history, more and more light is shed on high-performance computing architectures.

Most of computer architectures are based on a control-flow paradigm. The control-flow architectures are capable of executing any of the instructions defined by the instruction set at any given moment. The data movement is controlled by instructions. The execution flow is organized as follows. First, the instruction to be executed by the architecture is fetched into the instruction register from the main memory address stored in the program counter. The following phase is the instruction decoding phase and fetching operands. Based on the operation code, one of the following scenarios could occur: the instruction might have no data that it works with, the instruction might have the data incorporated into the instruction, the instruction might need to fetch the data from the memory from the address given in the instruction, the instruction might need to first fetch the address, and then the data from that address, the data might be in a register, or the data might be at the address given by a register. There is also a possibility to increment the address by the value of another register before fetching the data. Once the data is prepared, the arithmetic logic unit executes the instruction. Similarly to fetching the data, the result of instruction execution is stored. Finally, the interrupt handling routine is called if needed.

To opposite from the control-flow paradigm, the dataflow paradigm is based on the data flowing through the configured hardware. This has the potentia to be faster [1-

4], as the data can travel because of the difference in voltage with the speed of light. However, this comes with a cost. In order to be able to execute various algorithms, the dataflow hardware is usually implemented using field-programmable gate arrays (FPGAs). As a result, the dataflow hardware usually runs at an order of magnitude lower frequencies than control-flow hardware. Another constraint of dataflow architectures is that they can, once configured, execute only the algorithm they are configured for. Therefore, they are not suited well for most of the programs. However, they have proven to be capable of executing certain set of algorithms. This work is based only on those implementations that were based on the same framework, as they can be easily compared to each other in terms of execution time, required resources, efficiency, etc [5-7]. One of the main benefits of dataflow hardware is that many instructions can be executed in parallel. At the same time, there is no need for bus congestion, as the results of instruction execution are forwarded to those instructions that need them in parallel, not using a common bus.

Dataflow architectures are usually not suited well for whole algorithms, but only for those parts that should be accelerated. For this reason, the data can be prepared by the control-flow processor, and, once the algorithm execution has been finished, the control-flow processor can store the data. It is important to say that dataflow programming requires more effort compared to programming control-flow architectures [8, 9]. Recently, researchers are working on developing hybrid control-flow and dataflow architectures at the same chip die [10-13]. This brings new possibilities, as the distance between control-flow and dataflow hardware is considerably reduced.

2. PROBLEM STATEMENT

Hybrid architectures have reduced the distance between control-flow and dataflow hardware, but the communication still has to last. Besides, by the nature of dataflow hardware, some time needs to pass before the first result is produced. One can observe dataflow hardware as a factory conveyor belt, where many operations are performed in parallel. If the speed of a 100m long belt is 1m/s, and each product is 1m far from neighborhood ones, this means that a product is produced every second. However, once started, there are no products on the conveyor belt, and one needs to wait for 100s for the first input to be forwarded to the output. Therefore, it is not always justified to execute a certain set of instructions using the dataflow hardware. There have to be enough instructions that have to be executed using the dataflow hardware, and there has to be a considerable level of repetition.

One of the main research questions is granularity. Although dataflow hardware is generally faster for executing algorithms suitable for the dataflow hardware, it is a question of how small a portion of the algorithm can be in order to be justified to execute it using the

dataflow hardware. Another question is how much repetition needs to exist to justify the execution using the dataflow hardware.

3. ASSUMPTIONS

In this research, we are leaving dataflow hardware reconfiguration out of the scope. The reconfiguration can often be overlapped with control-flow hardware processing by the scheduler [14].

When discussing the dataflow hardware acceleration possibilities, there will be no limitations in instruction execution. This means that the assumption is that iterations will be mutually independent. In other words, no stall has to occur due to the fact that the previous iteration has not finished the execution.

For the purpose of simplicity, the control-flow processor is considered to be single core processor. This constraint wouldn't hold for algorithms that are implemented for manycore processors, but this research focuses on exploiting granularity, and is therefore simplified.

4. EXISTING SOLUTIONS

Currently, dataflow architectures have proven to be efficient in executing certain set of algorithms that include a lot of repetition. These algorithms range from high performance computing algorithms to various applications in medical purposes [15-17].

Algorithms that do not include considerable amount of repetitions are more suitable for the control-flow hardware [18]. These include multicore processors, but also so-called manycore processors.

Recently hybrid architectures have been proposed to overlap the limitations of both paradigms and the communication between them [19]. However, to the best of our knowledge, there has been no research that focuses on the amount of algorithm granularity that could still be efficiently executed using the dataflow hardware.

5. RESULTS AND ANALYSIS

In the beginning, let us consider the theoretical minimum number of instructions that can be efficiently executed using the dataflow hardware. If the control-flow frequencies are ten times higher than the dataflow frequencies, this means that there should be at least ten instructions in a loop that has to be executed using the dataflow hardware. If the number of repetitions of a loop is approaching infinity, the control-flow and the dataflow hardware would have the same processing speed.

Now, let us consider the minimal number of repetitions in order to justify using the dataflow hardware. If there are e.g. 1000 instructions in a single iteration of a loop, ten thousand control-flow clock cycles will be needed before

the first output is produced on the dataflow hardware. During this time, a control-flow processor could have executed 10 iterations. In the next 100 clock cycles, the dataflow has already executed 10 iterations, while the control-flow processor would still be at the beginning of the eleventh iteration. One can see that increasing the number of instructions per iteration also increases the time needed for the dataflow hardware to produce the first output.

In the general case, if $nItr$ is the number of instructions per iteration, the dataflow hardware will need 10 times $nItr$ control-flow clock cycles to produce the first output. During this time, the control-flow hardware will have executed already 10 iterations. From that moment, the dataflow hardware processing speed is equal to ten control-flow clock cycles per each consecutive iteration, while the control-flow hardware processing speed is approximately $nItr$ control-flow clock cycles per each consecutive iteration.

The following tables and graphs illustrate the dataflow hardware acceleration possibilities compared to the control-flow hardware. The assumption is that there is only a single core running in the case of the control-flow hardware, and only one kernel in the case of the dataflow hardware. No special techniques are applied that would improve the performance of the dataflow hardware, e.g. loop unrolling. In all tables and graphs, tCF will indicate the number of control-flow clock cycles needed for the control-flow hardware to execute all instructions for all iterations, and tDF will indicate the number of control-flow clock cycles needed for the control-flow hardware to execute them. The number of instructions is denoted by $nInstr$.

Table 1 demonstrates the case where the number of iterations is only 1.

Table 1: Number of instructions vs. the number of control-flow clock cycles and the control-flow to dataflow ratio for a single iteration.

nInstr	tCF	tDF	tCF/tDF
1	1	10	0.1
2	2	20	0.1
4	4	40	0.1
8	8	80	0.1
16	16	160	0.1
32	32	320	0.1
64	64	640	0.1
128	128	1280	0.1
256	256	2560	0.1
512	512	5120	0.1
1024	1024	10240	0.1
2048	2048	20480	0.1

4096	4096	40960	0.1
------	------	-------	-----

As both control-flow and dataflow hardware would have to execute the same set of instructions exactly once, the control-flow hardware would execute it ten times faster, as its frequency is ten times faster. The ratio remains the same for any number of instructions per iteration. This can be depicted with two straight lines in Figure 1, where both axes are logarithmic. The ratio between the time needed for the control-flow hardware to execute all instructions and the dataflow hardware to execute them remains the same.

Figure 1: Dataflow hardware acceleration factor for a single iteration.

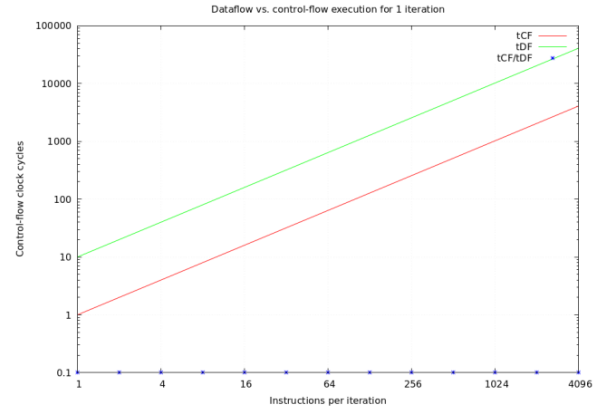


Table 2 demonstrates the acceleration of dataflow hardware with the number of iterations set to ten.

Table 2: Number of instructions vs. the number of control-flow clock cycles and the control-flow to dataflow ratio for ten iterations.

nInstr	tCF	tDF	tCF/tDF
1	10	100	0.1
2	20	110	0.18
4	40	130	0.31
8	80	170	0.47
16	160	250	0.64
32	320	410	0.78
64	640	730	0.88
128	1280	1370	0.93
256	2560	2650	0.97
512	5120	5210	0.98
1024	10240	10330	0.99
2048	20480	20570	1
4096	40960	41050	1

As it can be seen from the graph given in Figure 2, the dataflow hardware and the control-flow hardware asymptotically execute ten instructions at the same speed. For a lower number of instructions per iteration, the control-flow hardware is faster, starting from ten times faster for a single instruction, due to the difference in frequencies of control-flow and dataflow hardware.

Figure 2: Dataflow hardware acceleration factor for ten iterations.

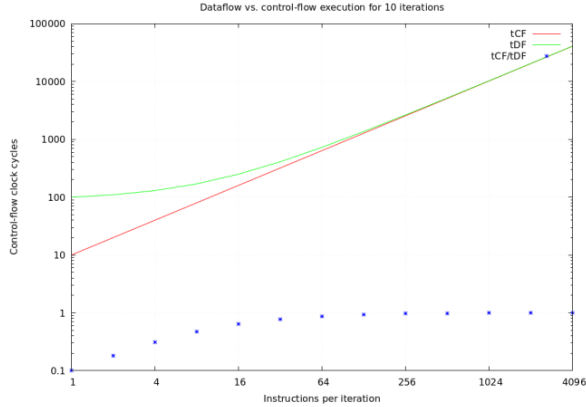


Table 3 presents the acceleration of dataflow hardware with the number of iterations set to 100. The dataflow acceleration curve denoted with blue points can be seen in Figure 3.

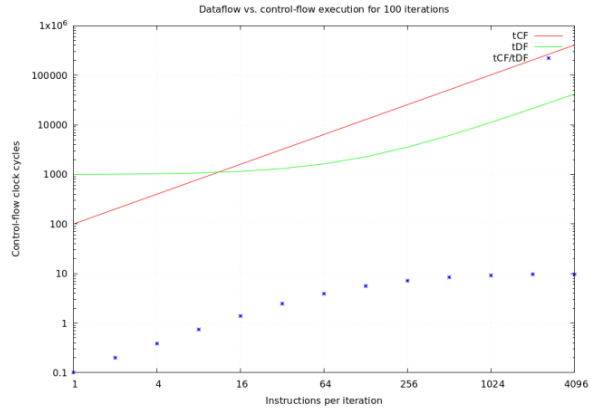
Table 3: Number of instructions vs. the number of control-flow clock cycles and the control-flow to dataflow ratio for 100 iterations.

nInstr	tCF	tDF	tCF/tDF
1	100	1000	0.1
2	200	1010	0.2
4	400	1030	0.39
8	800	1070	0.75
16	1600	1150	1.39
32	3200	1310	2.44
64	6400	1630	3.93
128	12800	2270	5.64
256	25600	3550	7.21
512	51200	6110	8.38
1024	102400	11230	9.12
2048	204800	21470	9.54
4096	409600	41950	9.76

Once the number of instructions per iteration becomes higher than ten, the dataflow hardware executes instructions faster than the control-flow hardware, and the acceleration asymptotically approaches the value of ten.

This can be explained by evaluating what each hardware has to execute. In the case of the control-flow hardware, the number of clock cycles needed is equal to the product of the number of instructions per iteration and the number of iterations. In the case of the dataflow hardware, the number of clock cycles needed for the first result is equal to the number of instructions per iteration. However, once the first result is obtained, the following ones appear at each consecutive clock cycle. One could expect that the dataflow acceleration factor would be 100, but due to the ten times lower frequency of the dataflow processor, the acceleration factor only approaches the value of ten.

Figure 3: Dataflow hardware acceleration factor for 100 iterations.



Finally, Table 3 presents the acceleration of dataflow hardware with the number of iterations set to 1000. We can see from the table that the acceleration factor starts from 0.1 and reaches value of above 80, clearly showing the potential of accelerating algorithm execution using the dataflow hardware.

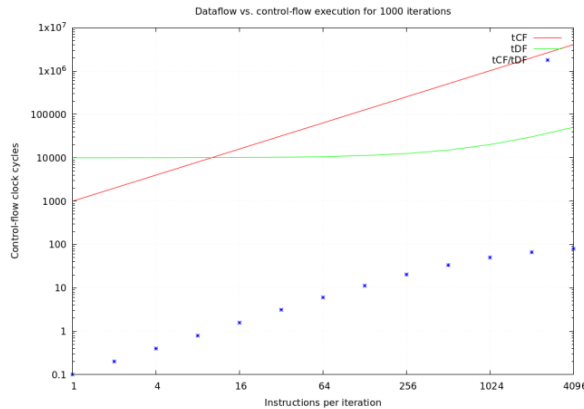
Table 4: Number of instructions vs. the number of control-flow clock cycles and the control-flow to dataflow ratio for 1000 iterations.

nInstr	tCF	tDF	tCF/tDF
1	1000	10000	0.1
2	2000	10010	0.2
4	4000	10030	0.4
8	8000	10070	0.79
16	16000	10150	1.58
32	32000	10310	3.1
64	64000	10630	6.02
128	128000	11270	11.36
256	256000	12550	20.4
512	512000	15110	33.89
1024	1024000	20230	50.62
2048	2048000	30470	67.21

4096	4096000	50950	80.39
------	---------	-------	-------

The dataflow acceleration curve denoted with blue points can be seen in Figure 4. Again, once the number of instructions per iteration reaches ten, the dataflow hardware starts executing the algorithm faster. As it can be seen from the figure, the acceleration curve is steeper in this case, as it can be expected.

Figure 4: Dataflow hardware acceleration factor for 1000 iterations.



6. CONCLUSION

The dataflow paradigm can accelerate certain algorithms by a couple of orders of magnitude. The acceleration depends on many factors, including the dependency between instructions and the problem size. The analysis performed in this work shows the acceleration ratio depending on the number of instructions of a single loop and the number of loop iterations. Results indicate that the algorithm can be as small as ten machine instructions long, and the number of iterations has to be greater than ten. The analysis didn't include the time needed for configuring the dataflow hardware. The granularity of an algorithm indicates the advantage of a hybrid processor with both control-flow and dataflow hardware.

REFERENCES

[1] Flynn, M. J., Mencer, O., Milutinovic, V., Rakocevic, G., Stenstrom, P., Trobec, R., & Valero, M., Moving from petaflops to petadata, *Communications of the ACM*, Vol. 56, No. 5, pp 39-42, 2013.

[2] Hurson, A. R., & Kavi, K. M., *Dataflow computers: Their history and future*, Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering, 2007.

[3] Milutinović, V., Salom, J., Trifunović, N., & Giorgi, R., *Guide to dataflow supercomputing*, Springer Nature, Vol. 10, pp 978-3, 2015.

[4] Umek A & Kos A., The role of high-performance computing and communication for real-time biofeedback in sport, *Mathematical problems in engineering*, Jan 2016.

[5] Korolija, N., Djukic, T., Milutinovic, V., & Filipovic, N., Accelerating Lattice-Boltzman method using Maxeler dataflow approach, *The IPSI BgD Transactions on Internet Research*, Vol. 34, 2013.

[6] Stojanović, S., Bojić, D., & Milutinović, V., Solving Gross Pitaevskii equation using dataflow paradigm, *The IPSI BgD Transactions on Internet Research*, Vol. 17, 2013.

[7] Kos, A., Ranković, V., & Tomažič, S., Sorting networks on Maxeler dataflow supercomputing systems, In *Advances in computers*, Vol. 96, pp. 139-186, Elsevier, 2015.

[8] Lee, B., & Hurson, A. R., Issues in dataflow computing, In *Advances in computers*, Vol. 37, pp. 285-333, Elsevier, 1993.

[9] Popovic, J., Bojic, D., & Korolija, N., Analysis of task effort estimation accuracy based on use case point size, *IET Software*, Vol. 9, No. 6, pp. 166-173, 2015.

[10] Milutinović, V., Azer, E. S., Yoshimoto, K., Klimeck, G., Djordjevic, M., Kotlar, M., ... & Ratkovic, I., The ultimate dataflow for ultimate supercomputers-on-a-chip, for scientific computing, geo physics, complex mathematics, and information processing, In *2021 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, pp. 1-6, IEEE, 2021.

[11] Milutinović, V., Trifunović, N., Korolija, N., Popović, J., & Bojić, D., Accelerating program execution using hybrid control flow and dataflow architectures, In *2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)*, pp. 1-4, IEEE, 2017.

[12] Korolija, N., & Milfeld, K., Towards Hybrid Supercomputing Architectures, *Journal of Computer and Forensic Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 47-54, 2022.

[13] Miladinović, D., Bojović, M., Jelisavčić, V., & Korolija, N., Hybrid Manycore Dataflow Processor, In *IX IcETRAN Conference*, Novi Pazar, 2022.

[14] Korolija, N., Popović, J., Cvetanović, M., & Bojović, M., Dataflow-based parallelization of control-flow algorithms, In *Advances in computers*, Vol. 104, pp. 73-124, Elsevier, 2017.

[15] Umek, A., & Kos, A., The role of high performance computing and communication for real-time biofeedback in sport, *Mathematical problems in engineering*, 2016.

[16] Kos, A., Tomažič, S., Salom, J., Trifunovic, N., Valero, M., & Milutinovic, V., New benchmarking methodology and programming model for big data processing, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, No. 8, 271752, 2015.

[17] Miladinović, D., Popović, J., & Korolija, N., The Evolution of Big Data Analytics Solutions in the Cloud, In *IX IcETRAN Conference*, pp. 6-9, Novi Pazar, 2022.

[18] Trifunovic, N., Milutinovic, V., Salom, J., & Kos, A., Paradigm shift in big data supercomputing: dataflow vs. Controlflow, *Journal of Big Data*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-9, 2015.

[19] Milutinović, V., Kotlar, M., Ratković, I., Korolija, N., Djordjevic, M., Yoshimoto, K., & Valero, M., The ultimate data flow for ultimate super computers-on-a-chip, In *Handbook of Research on Methodologies and Applications of Supercomputing*, pp. 312-318, IGI Global, 2021.

ABOUT AUTHORS

Miloš Popović, PhD, Teaching assistant, Belgrade Business and Arts Academy of Applied Studies, milos.popovic@bpa.edu.rs

Nenad Korolija, PhD, research associate, School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia

Prof. Svetlana Štrbac-Savić, PhD, Academy of Tehnical and Art Applied Studies Belgrade, svetlanas@viser.edu.rs

PRIMENA ARDUINO PLATFORME I MIT APP INVENTORA U SISTEMU PAMETNE KUĆE

APPLICATION OF THE ARDUINO PLATFORM AND MIT APP INVENTOR IN THE SMART HOUSE SYSTEM

Siniša Zorica¹, Slobodanka Jelena Cvjetković¹, Ivan Vrljić¹, Sandra Antunović Terzić¹,
Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije¹

Sadržaj – Razvojem i napretkom tehnoloških dostignuća kontinuirano se menja kvalitet života prema potrebama savremenog stila života. U kuće, stanove, hotele, poslovne prostore ugrađuju se električni uređaji i sistemi, kojima se može upravljati zajedno i/ili zasebno, nezavisno jedan od drugog. Posledično, raste potreba za automatizacijom prostora te se razvija ideja implementacije pametne mreže, a time i pametne kuće. KNX standard je jedan od načina povezivanja uređaja u jedinstveni automatizovani sistem. Međutim, zbog svoje relativno visoke cene nije prikladan za manja domaćinstva. Stoga je u radu prikazan osnovni sistem za pametno upravljanje domom koji se temelji na Arduino platformi. Karakteriše ga niska cena i fleksibilnost. Realizovani sistem je moguće jednostavno nadograditi i time osigurati naprednije funkcionalnosti.

Abstract - With the development and progress of technological achievements, the quality of life is continuously changing in accordance with the needs of the modern lifestyle. Electrical devices and systems are installed in houses, apartments, hotels, and business premises, which can be operated together and/or independently of each other. As a result, the need for space automation is growing, and the idea of implementing a smart network, and thus a smart house, is developing. The KNX standard is one of the ways to connect devices into a unique automated system. However, due to its relatively high price, it is not suitable for smaller households. Therefore, the paper presents a basic system for smart home management based on the Arduino platform. It is characterized by low price and flexibility. The implemented system can be easily upgraded and thus provide more advanced functionalities.

1. UVOD

Tehnologijom pametne kuće smatra se spajanje izdvojenih delova stambenih instalacija u jedan zajednički sistem kojim se preuzima potpuna kontrola nad kućnim sistemima. Uređajima unutar zajedničkog sistema može se upravljati daljinski ili automatski senzorima, s bilo kog mesta, mrežnim uređajem povezanim na Internet [1].

Zadaci pametne kuće su da osigura [2]:

- sigurnost doma (protivprovalni alarm, detekcija požara, nestanke električne energije...);
- prilagođeno okruženje (grejanje, rasveta...);
- poboljšanje sistema kućne zabave (audio i video sistemi);

- automatizacija svakodnevnih zadataka (zalivanje biljaka, pranje veša, posuđa...).

Danas postoje brojni komercijalni sistemi za realizaciju pametne kuće: Samsung Smart Things, Hive, Nest, Texecom, Loxone, Homekit, Google Home, Alexa... Svaki sistem za realizaciju pametne kuće treba da bude praktičan, jednostavan za implementaciju, stabilan i tačan. U radu je prikazan sistem koji se temelji na Arduino platformi. Sistemom se upravlja pametnim telefonom putem aplikacije razvijene s MIT App Inventor, a putem blutut veze.

2. SISTEM PAMETNE KUĆE

Za realizaciju sistema upotrebljen je Arduino Nano čiji je zadatak da upravlja relejima, a na koje su spojeni potrošači. Arduino komunicira blutut vezom s pametnim telefonom na kojem se nalazi aplikacija koja upravlja radom releja. Radi jednostavnijeg korišćenja sistema, moguće je i glasovno upravljanje radom uređaja. Osim upravljanja relejima, aplikacija pruža mogućnost praćenja potrošnje energije uređaja, pamćenja stanja priključenih potrošača usled prekida rada sistema koristeći EEPROM i automatsko spajanje pametnog uređaja s Arduinoom putem blutut veze. Pri pokretanju sistema, bez obzira na to nalazi li se pametni uređaj u blizini ili ne, Arduino uključuje releje koji su bili uključeni pre gašenja sistema. Zatim se vrši traženje pametnog telefona koji je prethodno bio uparen sa sistemom [3].

Prilikom pokretanja aplikacije na pametnom telefonu korisniku se pojavljuje upozorenje:

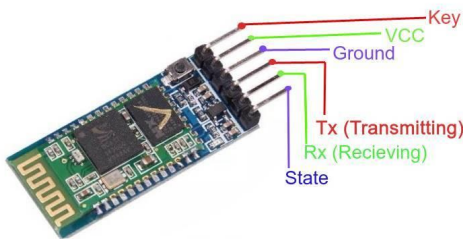
- ukoliko blutut na pametnom telefonu nije uključen,
- ukoliko nije unesena tačna lozinka,
- ukoliko nije moguće spajanje s Arduinoom.

Nakon što su svi preduslovi ispunjeni, korisniku se prikazuje aplikacija i sistem je spreman za rad.

2.1. HARDVER SISTEMA

Osnovne komponente sistema su Arduino Nano, 8-kanalni relejni modul i blutut modul. Shema spajanja sistema prikazana je na slici 1.

podatkovnog načina rada) i State (potvrda ispravnog rada modula).



Slika 6. Bluetooth modul HC-05 [6]

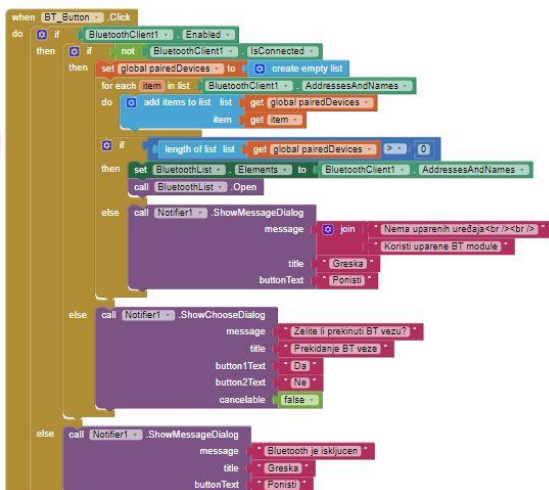
Bluetooth modul pri uparivanju koristi pin koji je fabrički postavljen na 0000 ili 1234, ali se on može promijeniti koristeći Serial monitor Arduino IDE programa [7].

3. IZRADA APLIKACIJE

Za izradu Android aplikacije korišten je MIT App Inventor. Reč je o open source aplikaciji kojoj se pristupa putem web pretraživača. Aplikaciju je razvio Univerzitet MIT za firmu Gugl i za svoj rad koristi programski jezik Java. Sam postupak programiranja se obavlja blokovima, koji u osnovi predstavljaju skup naredbi. Aplikacija je podijeljena u dva dela: deo za dizajn interfejsa Android aplikacije i blokovski deo za izradu samog programa [3].

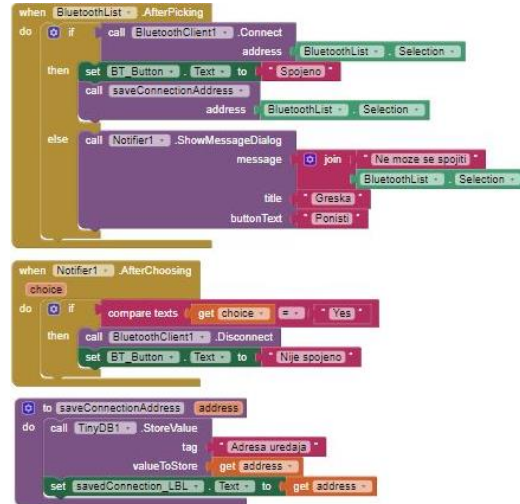
Pre pokretanja Android aplikacije potrebno je uključiti Bluetooth na pametnom telefonu, jer će se u protivnom pojaviti obavještenje da je Bluetooth isključen. Nakon uključivanja potrebno je upariti pametni telefon s Arduinoom i uneti ispravan pin. Tek tada se može pokrenuti aplikacija koja automatski povezuje prethodno upareni Bluetooth uređaj odnosno modul HC-05.

Na slikama 7 i 8 prikazani su delovi programa za rad s Bluetoothom. Deo programa prikazan na slici 7 sadrži većinu naredbi za upravljanje Bluetoothom: obavještanje korisnika ukoliko se Bluetooth nije spojio, nije uparilo ili je jednostavno isključen. Prikazane poruke se zatvaraju pritiskom na *Poništi*, *Da* ili *Ne*.



Slika 7. Deo programa za povezivanje s Arduinoom

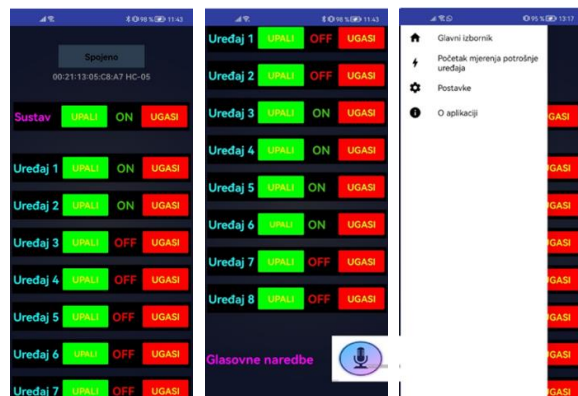
Slika 8 prikazuje deo programa za pamćenje adrese uparenog Bluetooth modula. Svakim pokretanjem aplikacije pametni telefon se automatski spaja s Arduinoom, što znatno olakšava i ubrzava rad s aplikacijom. Pri uspješnom spajanju korisniku se pojavljuje poruka *Spojeno*. U protivnom, korisniku se pojavljuje poruka o neuspješnom povezivanju. Adresa uređaja se uvek prikaže ispod dugmeta za povezivanje.



Slika 8. Deo programa za pohranu adrese Bluetooth modula

Android aplikacija je dizajnirana na način da se sastoji od tri različita ekrana i jednog klizača. Dizajn aplikacije je praktičan i jednostavan. Uređaji se pale na dva načina – pritiskom na dugme *Upali* za pokretanje i *Ugasi* za gašenje ili pomoću Guglovih glasovnih naredbi "Ugasi uređaj (željeni broj)" / "Upali uređaj (željeni broj)". Moguće je upravljati bilo kojim uređajem pojedinačno ili celim sistemom. U slučaju nestanka struje ili prekida u napajanju sistem pamti koji su uređaji prethodno bili uključeni, odnosno isključeni i te podatke šalje aplikaciji.

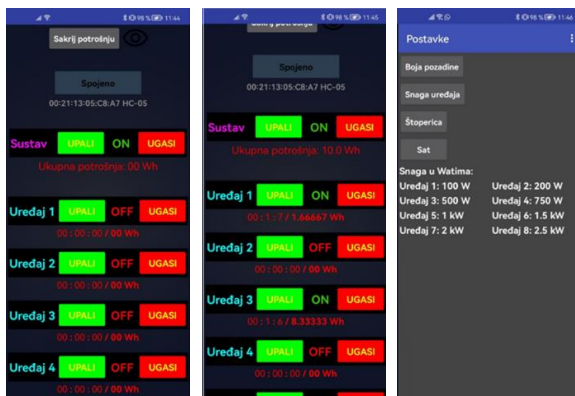
Svakim od osam uređaja može se zasebno upravljati, kako je to prikazano na slici 9. Opcijom *Sistem (Sustav)* sve uređaje odjednom možemo isključiti, a opcija *Upali* pokreće samo one uređaje koji su bili pokrenuti pre gašenja, dok ugašeni ostaju isključeni.



Slika 9. Tri zaslona Android aplikacije

Na vrhu ekrana je indikator koji prikazuje da je blutut uspešno spojen, a ispod njega je adresa HC-05 modula. Za povezivanje s Arduinoom moguće je prilagoditi aplikaciju pa koristiti i druge bežične veze kao što su Wi-Fi ili GSM [8], [9]. Blutut veza je najpraktičnija jer Wi-Fi ostaje slobodan za povezivanje s kućnim ADSL Internetom. U slučaju GSM komunikacije putem SMS poruka stvara se dodatni trošak korisniku, a i vreme odziva sistema je veće u odnosu na blutut komunikaciju. Kod GSM komunikacije postavlja se željeni kod naredbe na broj SIM kartice koja se nalazi u modulu, kako bi drugima bilo onemogućeno gašenje ili paljenje uređaja.

Povlačenjem ekrana s leva na desno otvara se klizač s dodatnim opcijama. Jedna od opcija je pokretanje merenja potrošnje električne energije. Na slici 10 prikazan je izgled aplikacije kada je uključeno merenje potrošnje električne energije i merenje vremena rada uređaja. Za merenje potrošnje potrebno je da sam korisnik unese u aplikaciju snagu svakog priključenog uređaja u [W]. Utrošena energija se prikazuje u [Wh]. Nakon što potrošnja pređe 1000 Wh merna jedinica se pretvara u kWh.



Slika 10. Merenje potrošnje i postavke snage priključenih uređaja

Na slici 10 vidi se početno stanje i da ni jedan uređaj nije pokrenut, vreme rada i potrošnja su nula. Pritiskom na dugme *Upali* pokreće se brojač vremena i potrošnje. Nakon proteka svake minute unosi se potrošnja uređaja za svaki uređaj i šalju se podaci za izračunavanje ukupne potrošnje.

Dugme *Sakri potrošnju* služi za skrivanje brojila. Merenje se odvija u pozadini pa se prikaz uvek može nanovo pozvati kako bi korisnik imao uvid u ukupnu potrošnju električne energije. Korisnik ima dodatne opcije za promenu boje pozadine, snage uređaja, štoperice na osnovu koje se izvodilo brojilo za svaki uređaj zasebno i sata čije vreme se povlači automatski s uređaja.

Nadalje je prikazan programski kod za Arduino Nano. Program je jednostavan, s obzirom na to da je reč o osnovnom prototipu. Program samo uključuje ili isključuje releje na osnovu zapremljenih komandi. Bitno je da se informacija o statusu uređaja (uključen/isključen) pohranjuje u EEPROM memoriji samog Arduina, a koji se šalje Android aplikaciji.

Program 1. Program za Arduino Nano

```
#include <EEPROM.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT_Serial(2, 3);
#define Relay1 4
#define Relay2 5
#define Relay3 6
#define Relay4 7
#define Relay5 8
#define Relay6 9
#define Relay7 10
#define Relay8 11
char bt_data;
int load1, load2, load3, load4, load5, load6, load7, load8,
power;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  BT_Serial.begin(9600);
  pinMode(Relay1, OUTPUT); digitalWrite(Relay1, 1);
  pinMode(Relay8, OUTPUT); digitalWrite(Relay8, 1);
  load1 = EEPROM.read(1);
  load8 = EEPROM.read(9);
  delay(500);
}
void loop() {
  if(BT_Serial.available(>0){bt_data = BT_Serial.read();}
  if(bt_data == 'A'){load1=0;EEPROM.write(1, load1);}
  if(bt_data == 'a'){load1=1;EEPROM.write(1, load1);}
  if(bt_data == 'T'){load8=0;EEPROM.write(9, load8);}
  if(bt_data == 't'){load8=1;EEPROM.write(9, load8);}
  bt_data = '0';
  if(power==1){
    digitalWrite(Relay1, 1);
    digitalWrite(Relay8, 1);
  }else{
    digitalWrite(Relay1, load1);
    digitalWrite(Relay8, load8);
  }
  BT_Serial.print(power);
  BT_Serial.print(";");
  BT_Serial.print(load1);
  BT_Serial.print(";");
  BT_Serial.print(load8);
  BT_Serial.println(";");
  delay(500); }
```


4. ZAKLJUČAK

Pametni sistemi sve više dobijaju na važnosti, kako zbog uštede električne energije, tako i zbog brojnih dodatnih mogućnosti kojima podižemo kvalitet i sigurnost stanovanja. Klimatske promene i visoke cene električne energije danas su velika motivacija za promišljanja svakog domaćinstva o potrošnji energije.

Prednost pametnih sistema je upravo automatizacija, jer je moguće kontrolisati različite uređaje u zavisnosti od različitih postavki. Na primer, moguće je uskladiti rad klimatizacije s roletnama na prozorima.

Na tržištu postoje brojni proizvođači sistema za pametne kuće koji se mogu jednostavno implementirati, ali imaju skromne mogućnosti. Po pravilu, nude samo upravljanje nekim uređajima na daljinu. S druge strane, KNX standard nudi upravljanje pametnom kućom u punom smislu te reči. Nedostatak sistema pametnih kuća je njihova visoka cena. Iako se ovaj trošak u kratkom vremenu isplati, domaćinstva se ipak ne odlučuju na ovu investiciju.

Jedna od alternativa je primena Arduino tehnologije, koja je široko rasprostranjena, dostupna i prihvatljiva po ceni. U ovom radu je upravo prikazan sistem pametne kuće realizovan Arduinom. Korisnički interfejs je izrađen kao Android aplikacija koristeći MIT App Inventor. Pokazano je da je moguće uz zanemariv trošak izraditi sistem pametne kuće. Prikazano predstavlja samo jedan jednostavan temelj sistema pametne kuće, ali koji se dodavanjem senzora i doradom aplikacije može vrlo lako pretvoriti u vrlo ozbiljan sistem.

U radu je pretpostavljeno da svi uređaji u sistemu troše uvek stalnu količinu energije. Međutim, većina uređaja tokom svoga rada menja svoju potrošnju (klima uređaj, frižider...) Stoga će se u budućem radu posebna pažnja posvetiti problemu merenju potrošnje utroška električne energije.

LITERATURA

[1] V. Kumar and R. K. Chawda, „A research paper on smart home“, IJEAST, vol. 5, no. 3, pp. 530–532, Jul. 2020, doi: 10.33564/IJEAST.2020.v05i03.088.

[2] SmartSecurity.Guide, How to design a Smart Home system, <https://www.smartsecurity.guide/how-to-design-a-smart-home-automation-system/> (pristupljeno 22.08.2022.)

[3] I. Vrljić, "Implementacija pametnih sustava za potrebe suvremenog društva", završni rad, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split, 2022.

[4] Arduino store, Arduino Nano, <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (pristupljeno 29.08.2022.)

[5] Sunfounder, http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=8_Channel_5V_Relay_Module (pristupljeno 29.04.2022.)

[6] <https://www.geeksforgeeks.org/all-about-hc-05-bluetooth-module-connection-with-android/> (pristupljeno 29.04.2022.)

[7] <https://www.hackster.io/akshayjoseph666/change-the-name-and-password-of-hc-05-bluetooth-module-826db5#:~:text=Type%20AT%20BPSWD%3D%227806,change%20it%20to%20any%20password>

[8] S. Zorica, S. Antunović Terzić, M. Lipovac, J. Smolčić, I. Kuić: „Arduino rfid lock with GSM module“, *CIET 2022.*, Valensia, Španjolska, 2022. str. 700-713

[9] S. Antunović Terzić, S. Zorica, J. Smolčić, T. Kovačević: „Using Augmented Reality for data visualization of IoT sensors“, *CIET 2022.*, Valensia, Španjolska, 2022. str. 714-72

PRIMENA ARDUINO KONTROLERA U BEŽIČNOM BLUETOOTH UPRAVLJANJU PLC-A

APPLICATION OF ARDUINO CONTROLLER IN WIRELESS BLUETOOTH CONTROL OF PLC

Radica Aleksandrov¹, Goran Miodragović², Slobodan Aleksandrov², Jelena Erić Obućina²,
Tehnička škola Trstenik, Trstenik¹

Akademija strukovnih studija Šumadija – Odsek Trstenik²

Sadržaj – Trend sveobuhvatnog umrežavanja računara i pametnih uređaja je od izuzetnog značaja za razvoj upravljačkih sistema u industriji i poslovnim sistemima. Tehnološke inovacije Industrije 4.0 omogućavaju integraciju svih poslovnih i industrijskih sistema u jedinstven sistem. Primena Internet of Things (IoT) obezbeđuje brz, pouzdan i veoma povoljan model umrežavanja pametnih uređaja, senzora i računara. U ovom radu dat je model integracije Arduino kontrolera i PLC-a, kako bi se omogućio bežični bluetooth pristup PLC-u preko mobilnih uređaja. Cilj prikazanog rešenja je da se primenom IoT izvrši nadogradnja postojećih industrijskih sistema i time omogući preventivno „pametno“ održavanje sistema. Operateri imaju mogućnost da preko pametnog telefona, tablet računara ili laptopa, bežično pristupe bilo kom upravljačkom PLC-u u proizvodnoj liniji, očitaju željene parametre ili izvrše testiranja osnovnih sklopova mašine. Na ovaj način se znatno unapređuje i olakšava proces detekcije i otklanjanje kvarova, kao i proces redovnog preventivnog održavanja.

Ključne reči: Internet of Things, Arduino, PLC, Bluetooth upravljanje

Abstract - The trend of comprehensive networking of computers and smart devices is extremely important for the development of control systems in industry and business systems. Technological innovations of Industry 4.0 enable the integration of all business and industrial systems into a single system. The application of the Internet of Things (IoT) provides a fast, reliable and highly cost-effective networking model of smart devices, sensors and computers. In this paper, a model of the integration of the Arduino controller and the PLC is given, in order to enable wireless bluetooth access to the PLC via mobile devices. The goal of the presented solution is to upgrade existing industrial systems by applying IoT and thus enable preventive "smart" maintenance of the system. Operators have the ability to wirelessly access any control PLC in the production line via a smartphone, tablet or laptop, read the desired parameters or perform tests of the machine's basic assemblies. In this way, the process of detecting and eliminating faults, as well as the process of regular preventive maintenance, is significantly improved and facilitated.

Keywords: Internet of Things, Arduino, PLC, Bluetooth Control

1. UVOD

Savremeni industrijski upravljački sistemi zasnovani su na principima Industrije 4.0, primeni IoT i sveobuhvatnom umrežavanju pametnih senzora, industrijskih računara, servera i HMI (Human machine interface) uređaja. Ovi sistemi su veoma heterogeni, zahtevaju širok spektar znanja iz elektrotehnike, računarskih mreža, programiranja, web tehnologija, senzora, automatike i robotike. Za svaki industrijski računar karakteristična je jedinstvena IP adresa u računarskoj mreži i može mu se pristupiti u okviru definisane mreže. Pristup ovim računarima sa udaljenih lokacija je moguć, ukoliko korisnik ima definisana korisnička prava. Daljinski pristup je značajan za praćenje celokupnog sistema, testiranja sistema na daljinu, promenu odgovarajućih parametara, update softvera, promene korisničkih programa i slično. Za ovakve sisteme neophodne su odgovarajuće bezbednosne zaštite od nedozvoljenog pristupa.

Većina industrijskih proizvodnih sistema za upravljanje svojim procesima koristi Programabilne logičke kontrolere (PLC). Ovi industrijski računari upravljaju lokalnim mašinama prema definisanom programu. Poželjno je da svi upravljački računari budu povezani u lokalnu računarsku mrežu (LAN), kako bi se izvršila sinhronizacija rada sistema i omogućilo praćenje promena u procesu u realnom vremenu. Starije generacije PLC-a uglavnom nemaju podršku za bežičnu komunikaciju i umrežavanje.

Cilj ovog rada je da omogući nadogradnju postojećih industrijskih sistema primenom IoT tehnologija i omogući lokalni bežični pristup PLC-u. Prikazano rešenje unapređuje proces održavanja industrijskih sistema, dijagnostike i praćenja stanja sistema na savremen i brz način.

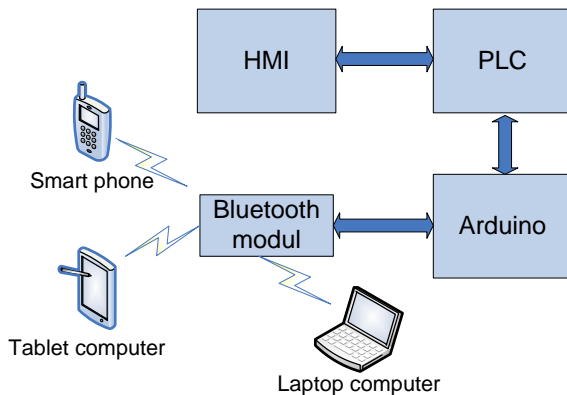
2. PREGLED LITERATURE

U zavisnosti od veličine i dinamike procesa, broja ulaza/izlaza i drugih parametara, bira se model upravljanja i izbor upravljačkih računara. Značajan je broj radova koji se bave primenom bežičnih tehnologija za umrežavanje industrijskih računara. U radu [1] autori Zaragoza i dr. dali su prikaz komparativne studije primene PLC-a i Arduino u sistemu za navodnjavanje. Navedene su prednosti i nedostaci oba sistema i data ideja da se u daljim istraživanjima treba fokusirati na hibridnu primenu PLC-a i Arduina. Autori Sushil G. i dr. U radu [2] daju prikaz primene Bluetooth tehnologije da postojeći žičani PLC konvertuje u bežični PLC. Sistem je

zasnovan na Arduino kontroleru, Bluetooth modulu i PLC: 14SS DELTA. Autori Wesley B. i dr. u svom radu [3] prikazuju mogućnosti hibridne primene programskog paketa LabVIEW, Arduino i PLC. Dat je prikaz akvizicije podataka, grafičkog programiranja u LabVIEW-u, programiranje Arduino kontrolera i programiranje PLC-a. Autori Jeong Y. i dr. u svom radu [4] daju prikaz modela komunikacije RS485 i MODBUS protokola između PLC-a i Arduina. U ovoj komunikaciji Arduino predstavlja interfejs između PLC-a i drugih komunikacionih uređaja na jednostavan i brz način sa veoma niskim troškovima.

3. HIBRIDNI SISTEM UPRAVLJANJA

U ovom radu prikazan je hibridni model upravljačkog sistema PLC-Arduino, koji omogućava bežičnu bluetooth komunikaciju pametnih telefona, tablet i laptop računara sa upravljačkim PLC-ovima. Sistem je razvijen u laboratoriji mehatronike Akademije strukovnih studija Šumadija – Odsek Trstenik, za potrebe relaizacije laboratorijskih vežbi iz stručno-aplikativnih predmeta Industrijska informatika i Ugrađeni računarski sistemi na Master studijama Informacione tehnologije. Na slici 1 data je blok šema razvijednog hibridnog sistema upravljanja.



Slika 1. Blok šema bežičnog bluetooth upravljanja sistema PLC- Arduino

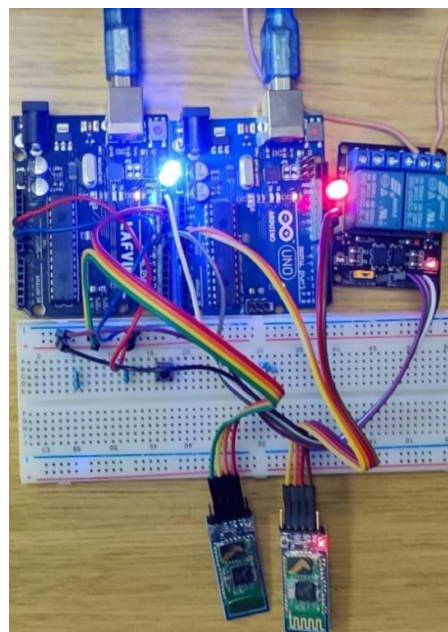
U okviru razvijenog hibridnog sistema upravljački modul predstavlja PLC Fatek FBs-24MA. Sistem upravlja radom asihronog motora i ima mogućnost da prati njegovu radnu temperaturu. Ovaj PLC ima 24 digitalnih ulaza/izlaza, a proširen je analognim modulom FBs-4A2D i temperaturnim modulom FBs-6RTD. PLC ima integrisan ethernet mrežni modul i dodeljena mu je lokalna IP adresa 192.168.0.13, mrežna maska 255.255.255.0, IP adresa gateway-a 192.168.0.1. Za komunikaciju operatera i PLC-a koristi se grafički interfejs osetljiv na dodir Fatek HMI P5102N dijagonale 10.2“, sa integrisanim ethernet modulom i dodeljenom IP adresom 192.168.0.100. Svi uređaji su povezani u lokanu računarsku mrežu (LAN). Pristup, konfiguracija i programiranje ovih uređaja vrši kroz lokalnu mrežu, a za konfiguraciju mrežnih parametara koriste se odgovarajući softverski alati. Za programiranje Fatek PLC-a koristi se razvojno okruženje

WinProLadder, dok se za konfigurisanje mrežnih parametara koristi Fatek Ethernet Module Configuration Tool. Razvoj grafičkih aplikacija HMI uređaja vrši se u razvojnom okruženju FvDesigner. U prikazanom sistemu koristi se modul Arduino UNO koji poseduje 8-bitni ATmega 328 mikrokontroler. Ovaj sistem ima 14 digitalnih ulaza/izlaza, 6 analognih ulaza i USB interfejs.



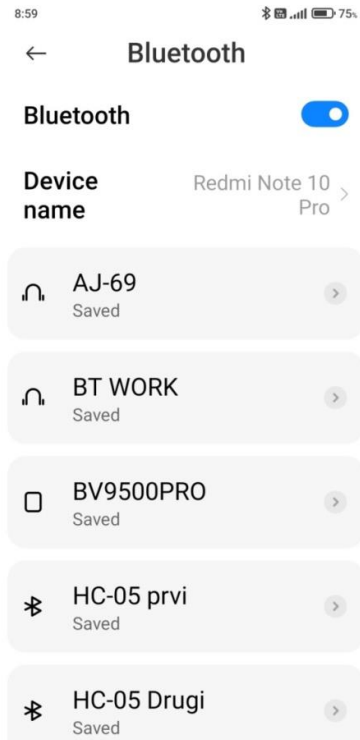
Slika 2. Upraljači PLC i HMI

Za bežičnu bluetooth komunikaciju na ulaze Arduino kontrolera povezan je modul HC-05. Ovaj modul ima integrisanu antenu, napaja se naponom od 3.3 V preko internog regulatora napona i koristi serijsku komunikaciju sa mikrokontrolerom. Bluetooth protokol predstavlja metod komunikacije u PAN mreži, sa maksimalnom brzinom podataka od 1Mb/s, koja radi u nominalnom opsegu od 100 metara koristeći frekvenciju od 2,4 GHz. [5]. Bežični modul HC-05 radi u MASTER/SLAVE režimu na frekvenciji 2.4 GHz, brzine prenosa podataka do 1Mb/s i maksimalni domet 10 m. Arduino kontroler je preko svojih izlaznih pinova i releja žičano povezan na određeni digitalni ulaz PLC-a. Za napajanje releja koristi se eksterni izvor napajanja 24 VDC. Na slici 3 prikazana su dva arduino kontrolera, koji su povezani sa bluetooth modulima za komunikaciju i dva releja.



Slika 3. Arduino kontroleri i bluetooth moduli

Lokalno upravljanje radom asinhronog motora vrši se preko PLC-a i HMI-a. Cilj razvijenog sistema je da se pored lokalnog upravljanja preko HMI uređaja, omogući bežično upravljanje preko mobilnih uređaja. U programu PLC-a neophodno je izvršiti određene promene, tako da novi ulazi/izlazi omoguće definisane akcije. Za upravljanje PLC-a preko pametnog telefona koristi se Androd aplikacija Bluetooth Serial Monitor V 6.2.5 [6]. Aplikacija omogućava pretraživanje bluetooth uređaja, izbor i bežičnu konekciju sa željenim bluetooth modulom ili uređajem (slika 4). U razvijenom upravljačkom sistemu postoje dva Arduino bluetooth modula HC-05 prvi i HC-05 Drugi. Svaki od modula konektovan je na različite mikrokontrolere tipa Arduino UNO ATmega328. Prvi krak predstavnja uspostavljanje bluetooth konekcije između mobilnog telefona i bluetooth modula HC 05. Za pristup mreži definiše se šifra od 4 cifre. Fabrički definisana šifra za pristup je 1234 ili 0000, a brzina prenosa podataka definisana na 9600 bps. Ove parametre menja administrator sistema i dodeljuje korisnicima.

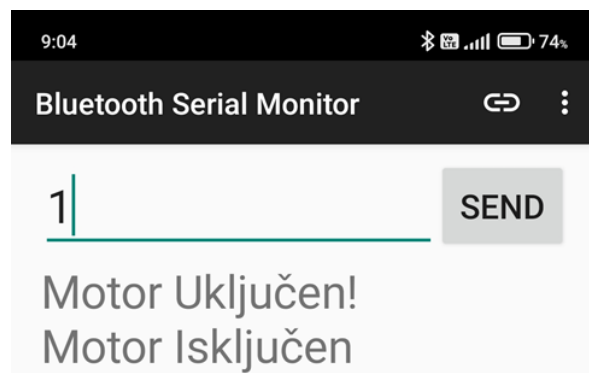


Slika 4. Izbor dostupnih bluetooth uređaja

Za upravljački hibridni model razvijen je programski kod u jeziku C, koji omogućava Arduino kontroleru da prima komande od mobilnog telefona i generiše odgovarajuće izlaze. Na ulaze 9 i 10 (RX, TX) Arduino kontrolera povezan je modul HC-05, koji bežičnu komunikaciju konvertuje u serijsku. Pinovi mikrokontrolera 12 i 13 su definisani kao izlazni. Pin 12 ima simboličko ime R1 i on uključuje/isključuje relej koji je povezan na ulaz PLC-a, dok pin 13 ima simboličko ime LED i uključuje signalnu diodu kada je motor uključen. Androd aplikacija Bluetooth Serial Monitor je razvijena tako da se unosom cifre „1“, uključuju zadati izlazi i dobija se definisana poruka na telefonu (slika 5). Unosom cifre „0“ zadati

digitalni izlazi se isključuju i dobija se definisana poruka na telefonu. Programski kod za Arduino kontroler je razvijen u okruženju Arduino Software (IDE) [7]:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial Bluetooth(10,9); // RX, TX
int LED = 13;
int R1 = 12;
int LED_state=0;
int R1_state = 0;
int Data;
void setup() {
    Bluetooth.begin(9600);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Čekanje instkicije...");
    Bluetooth.println("Unesi je 1 za Start. Unesi 0
za Stop");
    pinMode(LED,OUTPUT);
    pinMode(R1,OUTPUT);
    digitalWrite(R1,1);
}
void loop() {
    if (Bluetooth.available()){
        Data=Bluetooth.read();
        if(Data=='1'){
            digitalWrite(LED,HIGH);
            digitalWrite(R1,LOW);
            LED_state=1 ;
            R1_state = 1;
            Serial.println("Motor Uključen!");
            Bluetooth.println("Motor Uključen!");
        }
        else if(Data=='0'){
            digitalWrite(LED,LOW);
            digitalWrite(R1,HIGH);
            LED_state=0 ;
            R1_state =0;
            Serial.println("Motor Isključen ");
            Bluetooth.println("Motor Isključen");
        }
        else{;}
    }
    delay(1000);
}
```



Slika 5. Upravljanje PLC-a pametnim telefonom preko aplikacije Bluetooth Serial Monitor

U početnom delu programa uključena je biblioteka SoftwareSerial.h, koja omogućava serijsku komunikaciju preko digitalnih pinova. Mogu se definisati više serijskih portova maksimalne brzine do 115200 bps. Naredba SoftwareSerial Bluetooth(10,9) vrši inicijalizaciju za pinove 10 (RX) i 9 (TX) preko kojih se vrši serijski prenos podataka. Naredbama Bluetooth.begin(9600) i Serial.begin(9600) počinje bežična serijska komunikacija. U okviru petlje loop ispituje se da li je bluetooth mreža uspostavljena, ako jeste podaci se smeštaju u promenjivu Data i upoređuju sa '1'. Ako je uslov zadovoljen postavljaju se promenjive R1 i LED na visok nivo i šalju poruke da je "Motor Uključen!". Ako vrednost promenjive Data ima vrednost '0', promenjive R1 i LED se postavljaju na nizak nivo i šalju poruke da je "Motor Isključen!". Nakon pauze od 1000 ms, program se ciklično ponavlja. Razvijeni hibridni sistem omogućava da se digitalni i analogni izlazi PLC-a žičano povežu na odgovarajuće ulaze Arduino kontrolera. Primljeni podaci mogu da se sačuvaju u izabranu datoteku, a mogu da se obrađuju i preko bluetooth modula šalju drugim pametnim uređajima. Na ovaj način omogućava se praćenje parametara sistema na pametnim uređajima, praćenje odgovarajućih izlaza, dobijanje automatskih poruka, obaveštenja, alarmnih stanja i slično.

Za složenije aplikacije potrebno je razviti grafičku mobilnu aplikaciju sa virtuelnim tasterima i indikatorima, za Android i iOS operativne sisteme. Prikazani hibridni sistem predstavlja dobro rešenje za testiranje i održavanje različitih industrijskih i poslovnih sistema, za upravljanje sistemima za otvaranje i zatvaranje, upravljanje platformama za podizanje i slično. Kod implementacije ovih sistema posebnu pažnju treba posvetiti zaštiti sistema od nedozvoljenog pristupa.

4. ZAKLJUČAK

Koncept Industrije 4.0 zasniva se na sveobuhvatnom umrežavanju, primeni novih tehnologija i internet servisa. Prikazani hibridni sistem upravljanja omogućava primenu mobilnih uređaja u različitim oblastima. Sistem je izuzetno pogodan za službe održavanja, koji na inovativan, brz i jednostavan način mogu da prate stanje sistema, jednostavno izvrše dijagnostiku, testiranje i otklanjanje kvarova. Korišćenje bluetooth mreže ograničava primenu sistema na manjim rastojanjima od upravljačkog sistema, što predstavlja pogodno rešenje za primenu u javnim servisima tipa javnih garaža i parkinga, korišćenje mobilnih aplikacija za otvaranje/zatvaranje, aktivaciju/deaktivaciju alarmnih sistema, upravljanje osvetljenjem, protivpožarnim sistemima i slično. U daljim istraživanjima treba obuhvatiti niz dodatnih arduino modula za bežičnu komunikaciju tipa: WiFi, GSM/GPRS, ZigBee i NFC/RFID. Korišćenjem ovih modula znatno se mogu proširiti mogućnosti postojećih PLC-a u pogledu upravljanja, dijagnostike i testiranja bez obzira na geografsku lokaciju industrijskih sistema i administratora.

5. LITERATURA

- [1] Zaragoza M. G. and Kim H-K. "Comparative Study of PLC and Arduino in Automated Irrigation System", International Journal of Control and Automation, Vol.10, No.6 (2017), pp.207-218.
- [2] Sushil G., Kishankumar B, Manimozhi M., "Design To Convert a Wired PLC into Wireless PLC", International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; Volume 6 Issue I, January 2018.
- [3] Wesley B. Williams P.E., "LabVIEW and Arduino as a gateway to PLC programming", Conference: ASEE Annual Conference & Exposition, June 23-26.,2013.
- [4] Jeong Y., Ansari I., Shin W., Kang B., Lim J., Moon H., Shim J., " PLC and Arduino Interaction Based on Modbus Protocol", Journal of Korea Multimedia Society Vol. 20, No. 3, pp. 511-519, March 2017.
- [5] <https://www.instructables.com/Getting-Started-With-HC05-Bluetooth-Module-Arduino/>
- [6] <https://appsonwindows.com/apk/7823936/>
- [7] <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-hc-05-bluetooth-module-tutorial/>

KONCEPT SMART KOŠNICA SA SISTEMOM ZA ZAŠTITU PČELA OD TOKSIČNIH POREMEĆAJA U VAZDUHU

CONCEPT OF INTELLIGENT HIVES WITH A SYSTEM TO PROTECT BEES FROM TOXIC DISORDERS IN THE AIR

Nebojša Andrijević¹, Vlade Urošević²

Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd¹

Fakultet tehničkih nauka Čačak²

Sadržaj – U ovom radu prikazan je koncept pametnih košnica sa sistemom za zaštitu pčelinjeg društva od različitih toksičnih promena u vazduhu, u smislu detektovanja raznih vrsta gasova, zagađivanja vazduha od prskanja radi zaštite, oprашivanja, dima kada se zapale ostaci na njivama.

Koncept sadrži sistem koji se sastoji od senzora za detekciju širokog spektra gasova, dima, kvaliteta vazduha i senzora za merenje ugljendioksida CO₂, CO, NO_x. Senzori su smešteni unutar košnice i van košnice tako da pokrivaju ekosistem pčelinjeg društva.

Drugi deo je IoT sistem sastavljen od mikrokontrolera, SIM modula i servo motora. SIM modul služi za slanje upozorenja na prisustvo zagađenja u vazduhu, dok mikrokontroler na osnovu komandi kontroliše servo motor za zatvaranje kapijica za izlazak pčela.

Sistem može da ima kontrolu online ili automatsku, putem SIM modula može da primi i šalje signal, može biti podešen za automatsku interakciju po upozorenju.

Abstract - This paper presents the concept of smart beehives with a system to protect the bee colony from various toxic changes in the air, in terms of detecting various types of gases, air pollution from spraying for protection, pollination, smoke when the residues on the fields are ignited.

The concept contains a system consisting of sensors for the detection of a wide range of gases, smoke, air quality and sensors for measuring carbon dioxide CO₂, CO, NO_x. Sensors are placed inside the hive and outside the hive to cover the ecosystem of the bee colony.

The second part is an IoT system composed of a microcontroller, a SIM module and a servo motor. The SIM module serves to send warnings about the presence of pollution in the air, while the wet controller, based on commands, controls the servo motor for closing the hatches for the bees to exit.

The system can have online or automatic control, through the SIM module it can receive and send a signal, it can be set for automatic interaction upon warning.

1. UVOD

Primena Internet of things (IoT) tehnologija na polju poljoprivrede je u ekspanziji sa odličnim rezultatima i kvalitetnim rešenjima. IoT je doneo mnogo novina u očuvanju i gajenju pčela, kao što su sistemi za nadzor pčela i kontrolu košnica, aplikacije za praćenje klimatskih i meteoroloških parametara, sistemi za detekciju kretanja pčela, primena modula veštačke inteligencije za predikciju kretanja pčela, IoT moduli protiv krađa košnica i još mnogo rešenja.

Čovek je uzročnik najvećih promena u prirodi, koje je prirodno stanište pčela, u kome pčele prikupljaju nektar i polen, i obavljaju ostale aktivnosti.

Paljenjem strništa i ostataka sa njiva, paljenjem ostataka od orezivanja i krčenja međa, raznih vrsta otpada i đubreta ugrožavaju se pčele i remete se njihove dnevne aktivnosti, neretko sa katastrofalnim posledicama. Ishodi ovakvih dešavanja mogu biti štete na košnicama sa fatalnim ishodom, može se izazvati prinudna migracija pčela radi zaštite društva. Prisustvo vatre, ili dima u blizini košnice takođe može dovesti do smanjenja kiseonika i povećanje prisustva ugljen dioksida što takođe može izazvati migracije pčelinjeg društva, ili ukoliko se desi nagli poremećaj, može doći i do katastrofalnog ishoda tj. pomora pčela.

Modernizacijom poljoprivrede i primenom naprednih tehnologija u zaštiti poljoprivrednih kultura, primenom dronova kod prskanja zaštitnim hemijskim preparatima, tretiranje savremenim pesticidima i herbicidima, dolazi do širenja efekata hemijskih agenasa na okolne kulture na kojima pčela prikuplja polen i nektar i na koje sleće u toku aktivnosti. Ove aktivnosti postaju automatizovane i primenjuju se u preventivi, najčešće u periodima kada su pčele najaktivnije i time direktno nanose štetu pčelinjem društvu čiji je radijus kretanja u toku ovih aktivnosti do 3km.

Koncept smart košnica podrazumeva dizajn arhitekture sistema koji sadrži senzorske module za detekciju širokog spektra gasova, detekciju prisustva dima, nivoa ugljendioksida CO₂, CO, NO_x, kvaliteta vazduha. Centralnu komponentu arhitekture sistema čini mikrokontroler koji ima integrisan modul za GPRS i SIM komunikaciju i servo motor, o osnovnoj verziji. Aplikativni deo arhitekture sistema čini klijent mobilna aplikacija koja ima direktnu dvosmernu komunikaciju sa mikrokontrolerom. Procesuiranje ulaznih podataka sa senzorskog sloja obavlja se preko modula za komunikaciju uspostavljanjem direktne komunikacije sa klijentskim servisom za prijem podataka. Kontrola i upravljanje kapijom na ulazu u košnicu, obavlja se preko interfejsa aplikacije.

2. PRIMENA SENZORA ZA DETEKCIJU TOKSIČNIH PROMENA U VAZDUHU

Mikrosenzorski moduli za detekciju različitih tipova gasova su već uveliko u upotrebi u poljoprivredi, sa velikim procentom uspešnosti u prevenciji katastrofalnih događaja. Mnoga istraživanja se bave ovom temom i razvojem različitih rešenja i sistema za detekciju toksičnih promena u kvalitetu vazduha, koji ukazuju na realan problem u poljoprivredi koji je alarmantan.

Takođe mnogi radovi ukazuju na zagađivače koji utiču na stanje zdravlja pčela u košnici [1], gde se statističkim metodama ukazuje na značaj korišćenja poluprovodničkih senzora za detekciju gasova u košnici. U [2] je prikazan ozbiljan problem sa detekcijom hemijskih zagađenja u pčelinjem vosku, dok je u radu [3] prikazana detekcija različitih vrsta pesticida u košnici. Uticaj toksičnih gasova i njihova refleksija na zdravlje pčelinjeg društva prikazana je i u radovima [4][5], kao i značaj praćenja parametara prisustva različitih tipova gasova.

U vazduhu se mogu naći različiti gasovi, dim i toksični agensi koji mogu uticati na zdravlje pčela i kvalitet meda koji proizvode. Neki od najznačajnijih parametara koji se prate u okolini košnice i pčela uključuju merenje:

- Koncentracije CO₂ (ugljen-dioksid): Povećana koncentracija ovog gasa može uticati na količinu hrane koju pčele unose i na njihovu sposobnost za orijentaciju.
- Koncentracija CO (ugljen-monoksid) u vazduhu može biti štetan za život pčela. CO je bezbojni i bezmirisni gas koji se oslobađa sagorevanjem fosilnih goriva, drveta, duvana i drugih materijala, te može biti prisutan u okolini košnice. Pčele koriste kiseonik za sagorevanje ugljenohidrata i proizvodnju energije, pa povećana koncentracija CO može smanjiti nivo kiseonika u vazduhu i smanjiti sposobnost pčela da efikasno sagorevaju hranu i proizvode energiju. To može dovesti do smanjenja broja pčela, usporavanja razvoja kolonije, smanjenja proizvodnje meda i drugih problema. Stoga je važno pratiti nivo CO i druge parametre kvaliteta vazduha u okolini košnice kako bi se održala optimalna životna sredina za pčele.
- Koncentracija NO_x (NO_x gasovi nastaju od reakcije azota i kiseonika): Povećana koncentracija ovih gasova može izazvati oštećenje respiratornog sistema pčela.
- Koncentracija O₃ (ozon): Visoke koncentracije ovog gasa mogu uzrokovati gubitak apetita pčela i uticati na njihovu sposobnost za orijentaciju.
- Koncentracija SO₂ (sumpor-dioksid): Visoke koncentracije ovog gasa mogu izazvati oštećenje respiratornog sistema pčela, i letne aktivnosti.
- Koncentracija H₂S (vodonik-sulfid): Visoke koncentracije ovog gasa mogu uzrokovati respiratorne probleme i smrt pčela.
- Koncentracija NH₃ (amonijak): Visoke koncentracije Emisije ovog gasa negativno utiču na biodiverzitet i respiratorni sistem pčela.

Pored ovih gasova, mogu se pratiti drugi parametri poput temperature, vlažnosti vazduha, čestica prašine i drugih zagađivača. Uzorkovanjem vazduha i analizom ovih parametara mogu se utvrditi potencijalni rizici za pčele i preduzeti odgovarajuće mere za zaštitu njihovog zdravlja.

3. TIPOVI SENZORA

Izbor tipova senzora za detekciju promena u kvalitetu vazduha i prisustva toksičnih gasova možemo klasifikovati na više načina, izborom različitih setova senzora za detekciju pojedinih gasova ili primenom inegrisanih

naprednih senzora koji imaju mogućnost detekcije varijabilnog seta gasova i na osnovu tih podataka izračunati kvalitet vazduha.

Za detekciju kvaliteta vazduha u košnicama na otvorenom prostoru, testiran je senzor MQ-135, koji je sposoban da detektuje NH₃, NO_x, alkohol, benzen, dim, CO₂. Pored detekcije različitih tipova gasova, pri izboru senzora treba uzeti u obzir i odnos cene i performansi, kao i različite faktore koji mogu uticati na tačnost merenja senzora u košnicama na otvorenom prostoru, kao što su promene temperature, vlage, prisustvo drugih čestica u vazduhu. Potrebno je pažljivo proceniti koji senzor bi najbolje odgovarao konkretnom slučaju upotrebe i uslovima u kojima se košnica nalazi.

Teško je tačno odrediti koji je senzor najpovoljniji u odnosu na cenu i performanse, jer to zavisi od konkretne primene senzora i potreba korisnika. Međutim, neki senzori se nameću kao pristupačniji, poput MQ serije senzora koji je testiran za ove potrebe. Oni nude dobre performanse i širok opseg detekcije gasova po razumnim cenama. MICS senzori takođe nude solidne performanse po pristupačnim cenama. Međutim, važno je uzeti u obzir i druge faktore kao što su pouzdanost, trajnost, dostupnost i jednostavnost korišćenja pri odabiru senzora.

Navešćemo listu senzora po proizvođačima koji imaju mogućnost detekcije šireg spectra gasova:

MQ:

- MQ-135: detektuje NH₃, NO_x, alcohol, benzene, smoke, CO₂
- MQ-7: detektuje CO, hydrogen

MICS:

- MICS-6814: detektuje CO, NO₂, NH₃, C₃H₈, C₄H₁₀, H₂, CH₄, H₂S, SO₂
- MICS-5524: detektuje CO, H₂S, SO₂, NO₂, NH₃

TGS:

- TGS2600: detektuje NO_x, SO_x, CO
- TGS4161: detektuje NH₃, NO_x, alcohol, benzene, smoke, CO₂

CCS:

- CCS811: detektuje CO₂, VOCs
- CCS801: detektuje CO₂, VOCs

SGP:

- SGP30: detektuje CO₂, VOCs

Navedeni senzori mogu detektovati više vrsta gasova, ali su izdvojeni oni koji su po specifikacijama senzora navedeni kao senzori sa najvećim brojem detektovanih gasova. Takođe, ova lista nije konačna i može se razlikovati u zavisnosti od proizvođača.

Neki od navedenih senzora detektuju gasove iz VOC grupe. VOC (Volatile Organic Compound) je termin koji se koristi za opisivanje širokog spektra hemijskih jedinjenja koja se mogu ispuštati u vazduh. Ova jedinjenja se često nazivaju organskim rastvaračima i obično su tečnosti ili gasovi koji su prisutni u zatvorenim prostorima. Među gasovima koji spadaju u kategoriju VOC-a su:

- Aldehidi (formaldehid, acetaldehid)
- Aromatični ugljovodonici (benzen, toluen, ksileni)
- Esteri (butilacetat, etilacetat)
- Ketoni (acetone, metil-etil-keton)

- Alifatični ugljovodonic (propan, butan)
- Hlorovani ugljovodonic (trihloretilen, perhloroetilen)

Mnogi od ovih gasova su potencijalno štetni za pčele. Formaldehid, na primer, može biti toksičan za pčele i može izazvati probleme sa disanjem, dok benzen može izazvati oštećenja nervnog sistema i smanjiti imunitet pčela. Tolueni i ksileni takođe mogu biti štetni za pčele i mogu izazvati respiratorne probleme. Ostali gasovi, kao što su aceton i butilacetat, mogu biti iritanti za pčele i mogu izazvati probleme sa ponašanjem i funkcionisanjem pčela. Senzori sa VOC mogućnostima mogu se koristiti za praćenje kvaliteta vazduha u košnici, što može pomoći pčelaru da identifikuje probleme sa kvalitetom vazduha i preduzme odgovarajuće mere kako bi poboljšao uslove u košnici. To može biti od velike koristi u zimskim mesecima, kada je košnica zatvorena i pčele su u njoj na duže vreme, jer se u takvim uslovima zagađivači mogu akumulirati u većim količinama.

Kao što je već pomenuto neki od testova koji su urađeni za konceptualni nacrt, urađeni su korišćenjem senzora iz serije MQ, u narednoj tabeli (Tabela 1.) date je specifikacija za MQ-135 senzor.

Tabela 1.

Senzor	MQ-135
Opseg detekcije	10 ppm do 10.000 ppm NH ₃ , 10 ppm do 1.000 ppm NO _x , 10 ppm do 300 ppm benzene, 100 ppm do 10.000 ppm CO ₂ , 1 ppm do 50 ppm alkohol, 0,5 ppm do 5 ppm dim
Napon	5V DC
Potrošnja struje	< 150 mA
Vreme zagrevanja	24-48 sati
Izlazni signal	Analogni
Dimenzije	35 mm x 22 mm x 20 mm
Radna temperatura	-10°C do 50°C
Radna vlažnost	95% RH
Životni vek	5 godina
Cena (oko)	\$2-3

MQ-135 senzor se koristi za detekciju različitih gasova kao što su NH₃, NO_x, alkohol, benzene, dim i CO₂. Senzor se napajanja sa 5V DC, troši manje od 150 mA, a vreme zagrevanja je između 24 i 48 sati. Izlazni signal je analogni, a dimenzije senzora su 35 mm x 22 mm x 20 mm. Radna temperatura senzora je od -10°C do 50°C, a radna vlažnost je do 95% RH. Senzor ima životni vek od oko 5 godina.

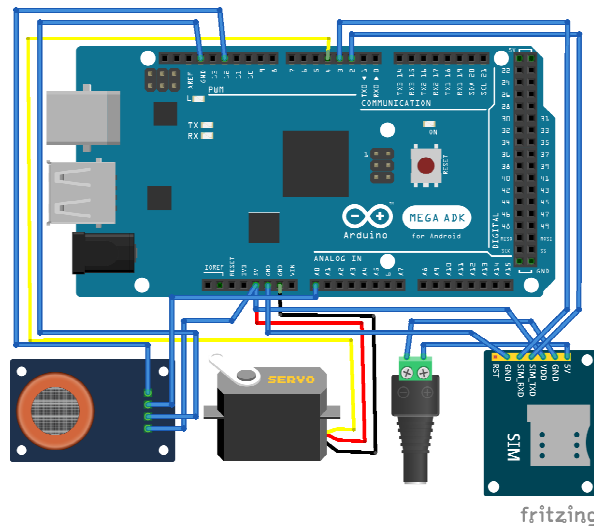
4. SISTEM ZA ZATVARANJE ULAZA U KOŠNICU

Arhitekturu sistema čini mikrokontroler koji preko SIM modula ostvaruje konekciju sa internetom ili mikrokontroler sa integrisanim WiFi modulom u zavisnosti od izbora načina povezivanja na internet. Postoji nekoliko mikrokontrolera na tržištu koji imaju integrisan SIM modul, među kojima su popularni modeli

kao što su SIM800, SIM808, SIM868, i SIM900. Ovi mikrokontroleri se obično koriste za IoT aplikacije koje zahtevaju slanje i primanje podataka preko GSM mreže.

Kada je reč o kontrolisanju servo motora, postoje različiti mikrokontroleri koji se mogu koristiti za ovu svrhu. Arduino (Uno, Mega) platforma je najčešći izbor zbog dobrih performanci i integracije na edge sloju aplikacije, a može se kombinovati sa različitim vrstama mikrokontrolera i modula za kontrolisanje i upravljanje putem aplikacija.

Na Slici 1. prikazana je šema povezivanja servo motora koji pokreće kapiju i zatvara ulaz u košnicu.

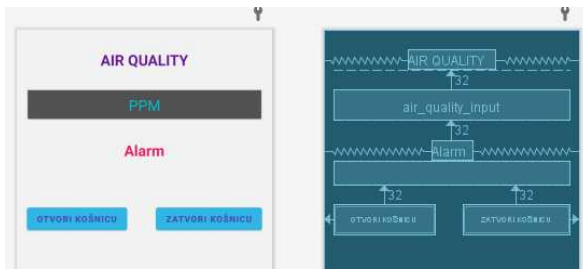


Slika 1. Šema povezivanja mikrokontrolera i servo motora

Postoje i uređaji koji kombinuju mikrokontroler i SIM modul u jednom uređaju. Takvi uređaji se nazivaju GSM moduli ili GPRS moduli, i imaju podršku za kontrolu servo motora putem PWM signala ili drugih načina.

U narednim redovima opisani su neki od mikrokontrolera koji imaju ugrađen SIM/GSM modul:

1. SIM800L - GSM modul koji se može integrisati sa različitim mikrokontrolerima kao što su Arduino, Raspberry Pi i drugi. Podržava GPRS, SMS i audio funkcije.
2. A9G GPRS/GSM modul - efikasan modul koji podržava GPRS i SMS funkcije. Ima ugrađen GPS modul i podržava kontrolu AT naredbama.
3. ESP32-SIM800L - WiFi i Bluetooth mikrokontroler koji ima ugrađen SIM800L GSM modul. Podržava GPRS, SMS i audio funkcije.
4. Quectel M95 - GSM/GPRS modul koji je dizajniran za industrijske aplikacije. Ima ugrađene TCP/IP funkcije i podržava kontrolu AT naredbama.
5. u-blox SARA-G3 - Ovo je GSM/GPRS modul koji ima ugrađenu GPS funkciju. Podržava GPRS, SMS i audio funkcije i dizajniran je za IoT aplikacije.



Slika 2. Android aplikacija

Na slici 2. vidimo interfejs android aplikacije sa osnovnim funkcijama za prikaz kvaliteta vazduha koji se definiše kroz detekciju različitih vrsta gasova i dva dugmeta za kontrolu servo motora i ulaza u košnicu. Prihvatanjem zahteva sa aplikativnog sloja ostvaruje se manipulacija i kontrola servo motora za zatvaranje i otvaranje ulaza u košnicu. Aplikacija na osnovu detekcije toksičnih gasova aktivira alarm koji je inicijator za reakciju korisnika, koji može zatvoriti ili otvoriti košnicu (leto/zima, ventilacija..).

5. ZAKLJUČAK

Značaj ovakvih sistema je esencijalan, zbog samog zdravlja pčelinjeg društva sa jedne strane, i zdravih proizvoda meda, polena, voska sa druge strane koje čovek i pčela konzumiraju i time mogu uneti toksične hemijske tvari u svoje organizme.

Opisan je osnovni koncept za detekciju različitih tipova gasova u ekosistemu košnica, gde moramo napomenuti da ukoliko želimo kvalitativne podatke moramo kombinovati više senzora za detekciju toksičnih gasova, kao i uključiti ostale faktore bitne za kalkulaciju kvaliteta vazduha kao što su temperatura i vlažnost.

Ova tema je proširiva sa aspekta uključivanja sistema za ventilaciju košnica koji je deo implementacije čitavog sistema za upravljanje košnicama koji smo predstavili u prošlim radovima a koji se nastavljaju kao unapređenja i proširenja na prethodna istraživanja.

Korišćenje ovakvih rešenja zahteva opreznost pri upravljanju kako se pčele ne bi povredile, iako su korišćeni materijali za zatvaranje ulaza veoma lagani i ne mogu povrediti pčele.

LITERATURA

[1] Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska, Beata Bąk, Jerzy Wilde, Maciej Siuda, Semiconductor gas sensor as a detector of *Varroa destructor* infestation of honey bee colonies – Statistical evaluation, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 162, Pages 405-411, ISSN 0168-1699, 2019.

[2] Gómez-Ramos, M.M., García-Valcárcel, A.I., Tadeo, J.L. *et al.* Screening of environmental contaminants in honey bee wax comb using gas chromatography–high-resolution time-of-flight mass spectrometry. *Environ Sci Pollut Res* **23**, 4609–4620, 2016, <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5667-0>.

[3] Arantza Balsebre, María E. Báez, Jessica Martínez, Edwar Fuentes, Matrix solid-phase dispersion associated to gas chromatography for the assessment in honey bee of a group of pesticides of concern in the apicultural field, *Journal of Chromatography A*, Volume 1567, Pages 47-54, ISSN 0021-9673, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.06.062>.

[4] Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska, Beata Bąk, Jakub Wilk, Jerzy Wilde, Maciej Siuda, Detecting varroosis using a gas sensor system as a way to face the environmental threat, *Science of The Total Environment*, Volume 722, 137866, ISSN 0048-9697, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137866>.

[5] Andrijević N, Urošević V, Arsić B, Herceg D, Savić B. IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm. *Electronics*. 2022; 11(5):783. <https://doi.org/10.3390/electronics11050783>.

PRIMENA KNX STANDARDA ZA KOTROLU RASVETE

APPLICATION OF KNX STANDARD FOR LIGHTING CONTROL

Slobodanka Jelena Cvjetković¹, Mihael Jeličić², Siniša Zorica¹, Predrag Đukić¹
Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije¹
HERMOS AG, Mistelgau, Deutschland²

Sadržaj – Ograničeni energetske resursi i klimatske promene određuju energetske efikasnost kao jedan od strateških ciljeva današnjeg društva. Značajan potencijal u uštedi energije su naši domovi. Umrežavanjem svih uređaja unutar kuće u jedan sistem moguće je ostvariti velike uštede u potrošnji energije. Grejanje, klimatizacija, rasveta, senila na prozorima mogu se prilagoditi zahtevima korisnika, može im se automatizovati rad i njima se može upravljati koristeći zajednički pristup. Jedan od načina povezivanja uređaja je primena KNX tehnologije. KNX je globalni standard za kontrolu kuća i zgrada koji omogućava povezivanje uređaja različitih proizvođača u jednu celinu. Razvojem KNX tehnologije iniciralo se unapređenje izgradnje pametnih kuća, kao i stvaranje jedinstvenog standarda za sve proizvođače KNX uređaja. U radu je prikazan primer programiranja rasvete u tri prostorije unutar kuće. Koristeći ETS programski alat uspostavljena je komunikacija među uređajima u prostoru i time ostvaren niz mogućnosti rada sistema.

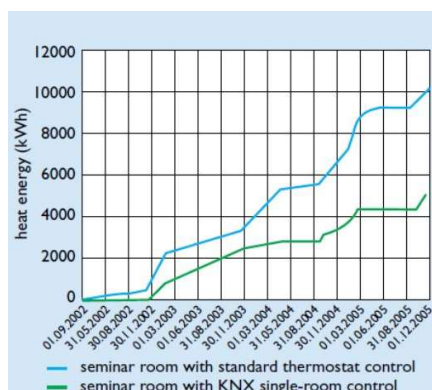
Abstract - Limited energy resources and climate change determine energy efficiency as one of the strategic goals of today's society. Our homes have a significant energy saving potential. By networking all devices inside the house into a single system, it is possible to achieve great savings in energy consumption. Heating, air conditioning, lighting and window shades can be customized, automated, and managed using a common interface. One of the ways of connecting devices is the application of KNX technology. KNX is a global standard for the control of houses and buildings that enables the connection of devices from different manufacturers into one unit. The development of KNX technology initiated the promotion of the construction of smart houses as well as the creation of a single standard for all manufacturers of KNX devices. The paper presents an example of lighting programming in three rooms inside the house. Using the ETS program tool, communication was established between the devices in the room and thus several system operation possibilities were achieved.

1. UVOD

Razvoj i napredak tehnologije omogućio je izradu pametnih kuća u cilju povećanja kvaliteta stanovanja, sigurnosti i energetske uštede. Pametnu kuću moguće je prilagoditi navikama stanara (korisnika) i kontinuirano je menjati prema potrebama suvremenog stila života. Primena sistema automatizacije pruža mogućnost upravljanja objektom na daljinu, bilo da je reč o privatnim kućama ili poslovnim objektima.

Jedna od definicija pametne kuće glasi: "Pametna kuća je objekt s automatiziranim ili daljinski upravljanim komponentama. Neke "pametne" komponente zahtevaju vlastito sučelje (*interface*), iako se većinom značajki pametnog doma može upravljati mobilnim uređajem ili računalom" [1]. Dakle, sistemom pametne kuće je moguće upravljati na više načina. Danas brojni uređaji (klima uređaji, rerne, frižideri...) imaju mogućnost daljinskog upravljanja putem pametnog mobilnog telefona, tableta, prenosnog računara ili nekog drugog uređaja putem interneta. Primena KNX tehnologije omogućava povezivanje svih uređaja u jedinstvenu celinu. Rad uređaja može se automatizovati, u prvom redu radi uštede u potrošnji energenata. Koncept KNX-a je dobro poznat u građevinarstvu kod objekata koji troše velike količine energije. Primena KNX tehnologije pokazala se vrlo delotvornom kod ostvarivanja ušteda u potrošnji energije. Danas se KNX sve više primenjuje u stanovima i porodičnim kućama, jer se pokazalo da se relativno visok trošak početne investicije vrlo brzo vrati ostvarenim uštedama.

Univerzitet u Nemačkoj izvršio je test utroška toplotne energije na način da su u dva prostora iste veličine i namene postavili dve različite instalacije. U jednu prostoriju je postavljena klasična instalacija, a u drugu KNX instalacija. Slika 1 prikazuje poređenje energetske efikasnosti između dve navedene prostorije. Prostorija sa standardnom instalacijom zbog nedostatka mernih senzora i ulaznih elemenata ima manju uštedu električne energije u odnosu na prostoriju s KNX instalacijom [2].



Slika 1. Grafički prikaz energetske potrošnje prostorije s pametnom i standardnom instalacijom [2]

Primenom KNX, pored uštede u potrošnji energije, postiže se povećanje osećaja ugodnosti i sigurnosti unutar doma. Takođe se omogućava i automatizovanje svakodnevnih zadataka kao što je npr. zalivanje biljaka.

2. KNX STANDARD

Organizacija "KNX Association" osnovana je 1990. u Briselu, prvobitno pod nazivom "EIB Association" ili kraće EIBA. Cilj udruženja je unapređenje izgradnje pametnih kuća i zgrada, odnosno EIB sistema koji je razvijen od strane renomiranih proizvođača.

Ova tehnologija nalazi primenu kako u novim, tako i u postojećim kućama i zgradama. Od 1999. udruženju KNX pridružile su se dve evropske organizacije:

- BCI (Francuska) - BatiBUS Club International koji promovirše BatiBUS sistem i
- EHS (Holandija) - European Home Systems Association koji promovirše EHS sistem.

Njihovim udruživanjem organizacija menja naziv u "KNX Association" s ciljevima:

- definisati novi otvoreniji standard "KNX™" u svrhu razvoja pametnih kuća i zgrada,
- uspostavljanje KNX organizacije kao zaštitnog znaka za kvalitet i međusobnu povezanost dobavljača te
- uspostavljanje zajedničkog KNX standarda na evropskom i svetskom nivou.

Implementacija se može ostvariti na bilo kojoj procesorskoj platformi. Svi proizvodi s logotipom KNX sertifikovani su kako bi se osigurala kompatibilnost sistema, međusobno delovanje i interoperabilnost [3].

KNX je jedini globalni standard za kontrolu kuća i zgrada s jedinstvenim alatom za projektovanje i puštanje u rad (*Engineering Tool Software*, ETS), potpunim skupom podržanih komunikacijskih medija (*twisted pair*, TP; *power line*, PL; *radio frequency*, RF i *Internet Protocol*, IP) i potpunim skupom podržanih konfiguracijskih metoda sistema.

KNX je odobren kao:

- evropski standard (CENELEC EN50090 i CEN EN 13321-1);
- međunarodni standard (ISO/IEC 14543-3);
- kineski standard (GB/T 20965);
- američki standard (ANSI/ASHRAE 135).

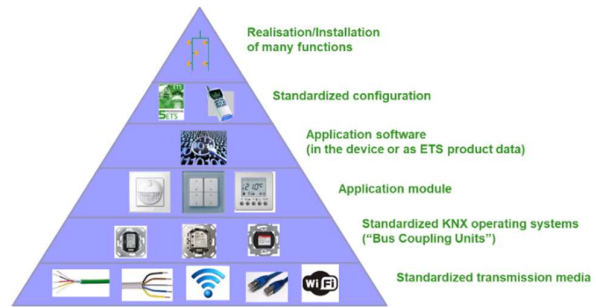
Standard se temelji na više od dvadeset i osam godina iskustva na tržištu, uključujući njegove prethodnike EIB, EHS i BatiBUS.

2.1. KNX arhitektura

Proces izrade KNX sistema može se prikazati u obliku piramide prikazane na slici 2. Najpre se izvodi odabir vrste instalacija za prenos podataka, odnosno komunikaciju. Na instalaciju se postavljaju KNX sabirnički uređaji koji se preko fizičkog pristupa povezuju s aplikacijskim modulima. Aplikacijski moduli su tastature, senzori, regulatori rasvete, roletni...

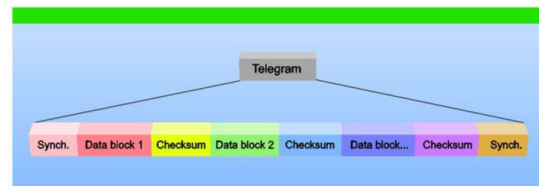
Sledeći korak je programiranje sistema ETS programskim pristupom u cilju ostvarivanja komunikacije između uređaja unutar sistema. Uspešno programirani uređaji

prolaze kontrolu pre puštanja u rad, a kontrola nad uređajima se vrši daljinskim putem koristeći pametni telefon ili tablet.



Slika 2. KNX arhitektura [4]

KNX uređaji povezuju se preko sabirničke KNX upletene parice. Parametri se menjanju pomoću priključka. Sabirnica se spaja paralelno s električnim napajanjem za sve uređaje i sisteme koji se povezuju. Komunikacija unutar KNX sistema vrši se podatkovnim telegramima. Na slici 3 dat je izgled podatkovnog telegrama.



Slika 3. Podatkovni telegram [5]

Uređaji koji se povezuju su:

- senzori (tasteri, termometri, senzori pokreta, senzori protoka) – za prikupljanje podatka i slanje istih na sabirničku liniju u obliku podatkovnih telegrama;
- aktuatori (regulatori osvetljenja, ventili, ventilatori) - primljeni telegrami se pretvaraju u akciju zadatu podatkovnim telegramom;
- kontroleri (kontroler sobne temperature, kontroler zamračenja prostorije itd.);
- sistemski uređaji i komponente (*line couplers*, *backbone couplers*).

Podela uređaja na senzore i aktuatora je pojednostavljena. Aktuatori imaju funkciju kontrolera i senzora pa se pomoću njih može meriti jakost struje, potrošnja električne energije, prikaz broja ciklusa sklapanja prekidača ili pak merenje vremena rad uređaja, te niz drugih opcija.

KNX/EIB sistemima omogućava se pojedinačna kontrola, npr. kontrola temperature jedne prostorije u kući. Selekcijom prostora, na godišnjem nivou, može se uštedeti i do 30% energije. Povezivanjem KNX/EIB instalacije s internet serverom, korisnik može upravljati uređajima ili menjati njihove parametre putem mobilnog telefona (npr. temperatura grejanja). Alarmna signalizacija može se trenutno usmeriti na određeni telefonski broj ili na više njih. KNX/EIB instalaciji može se pristupiti i putem interneta, pa i serviser može s udaljenog mesta prilagoditi sistem novim potrebama. Time se znatno smanjuje vreme potrebno za održavanje.

Prednosti KNX arhitekture su:

- ekonomičnost i racionalno korišćenje energije pri radu sistema ili njegovih delova;
- visok stepen udobnosti i jednostavnosti;
- jednostavnost prilagođavanja celokupne instalacije bez potrebe za dodatnim građevinskim radovima, ukoliko korisnik želi promeniti plan;
- povećana sigurnost sistema;
- širok izbor uređaja raznih proizvođača;
- raširena mreža tehničke podrške;
- mnoštvo osposobljenih projekatana;
- povezivanje KNX/EIB instalacije s telefonskom linijom;
- ušteda energenata.

Nedostaci KNX arhitekture su:

- visoka početna cena ugradnje;
- opširno i precizno planiranje sistema;
- neupitna potreba za stručnom osobom ili osobama (s iskustvom te teorijskim i praktičnim znanjima koja su neophodna kako bi sistem najbolje funkcionisao) koja/koje bi osigurale rad sistema. [3]

2.2. KNX konfiguracija

Instalaciju je potrebno konfigurisati na nivou mrežne topologije na pojedinim čvorovima ili uređajima. Postiže se kombinacijom lokalne aktivnosti na uređajima (pritisak na dugme) i aktivne komunikacije mrežnog upravljanja preko sabirnice.

Koraci pri KNX konfiguraciji uređaja su:

- odabir određene sheme za konfiguraciju i povezivanje;
- označavanje sistema prema određenom izboru adresnih shema;
- odabir postupka upravljanja i u konačnici realizacija projekta odabirom odgovarajućih uređaja koji u skladu s resursima zadovoljavaju sve potrebe sistema kojim se upravlja.

KNX koristi programski alat ETS (*Engineering Tool Software*) za konfigurisanje i puštanje sistema u rad. ETS obuhvata alate za projektne zadatke kao što su povezivanje niza pojedinačnih uređaja u funkcionalnu celinu i integrisanje različitih uređaja u različite konfiguracije. ETS sadrži podršku za komunikaciju, koja se sastoji od upletene sabirničke parice, korišćenja već postojećeg energetskog kabela, bežičnog povezivanja radijskom frekvencijom, pristupanje, nadzor i upravljanje putem interneta. KNX podaci mogu se slati i putem postojećeg kabela 230 V (Powerline Transmission Medium), bežično (prenosni medij KNX radio frekvencije) i putem Ethernet/WIFI ("KNX IP"). Prenos KNX telegrama moguć je i drugim medijima, kao npr. optičkim vlaknom. Prilikom povezivanja različitih medija potrebno je koristiti odgovarajuće spojnice. Slika 4. prikazuje prenosne medije KNX-a.

Medium	Transmission via	Preferred areas of application
Twisted Pair	Separate control cable	<ul style="list-style-type: none"> - New installations - Extensive renovations - Highest level of transmission reliability
Powerline	Existing network (Isolated conductor must be available)	<ul style="list-style-type: none"> - If no additional control cable can be installed - When 230 V cable is available
Radio Frequency	Radio line	<ul style="list-style-type: none"> - When no cables can be installed
IP	Ethernet/WIFI	<ul style="list-style-type: none"> - In large installations where a fast backbone is needed - For communication with mobile devices

Slika 4. Područja primene za različite medije [3]

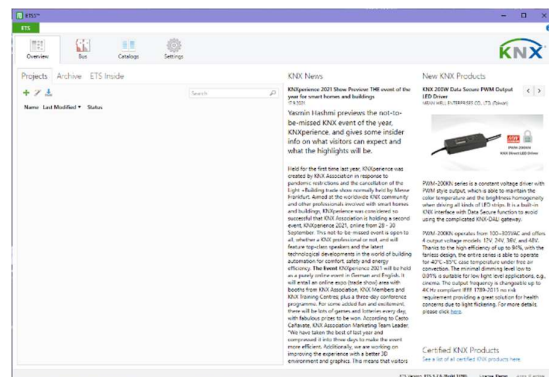
3. PROGRAMSKI ALAT ETS

Programski alat ETS koristi se za programiranje i kalibriranje KNX sistema pametnih kuća, poslovnih prostora, zgrada i prostora za razne namene. Nakon postavljanja KNX instalacije, pomoću KNX uređaja prikazanog na slici 5 računar se spaja na instalaciju i pomoću ETS programskog alata vrši se programiranje tastera, senzora, aktuatora i drugih KNX uređaja.



Slika 5. Povezivanje KNX uređaja s programskim alatom ETS [6]

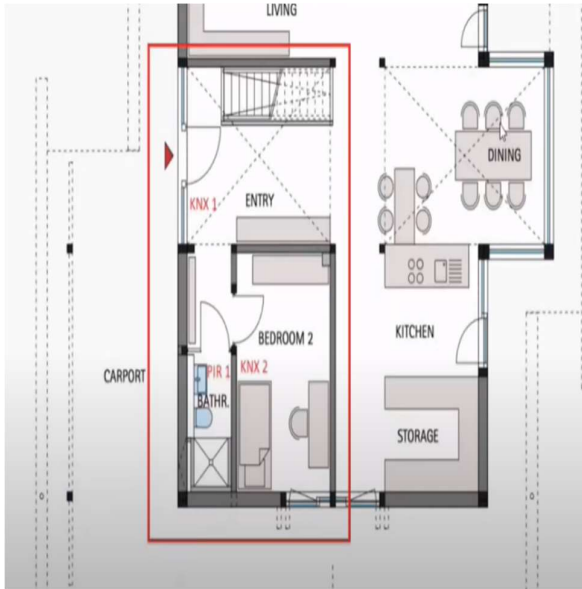
Programski interfejs prikazan je na slici 6. Na vrhu priključka nalazi se alatna traka, pomoću koje se kreira novi projekat, sprema projekt, vrši proveru sistema i proveru adresa KNX uređaja. Ispod alatne trake nalazi se prostor za rad. S desne strane prikazuju se novosti vezane za KNX uređaje. Za rad u ETS5 programskom alatu s Professional licencom potreban je USB ETS DONGLE ključ.



Slika 6. ETS5 programski interfejs

3.1. Primer primene KNX aplikacije za kontrolu rasvete

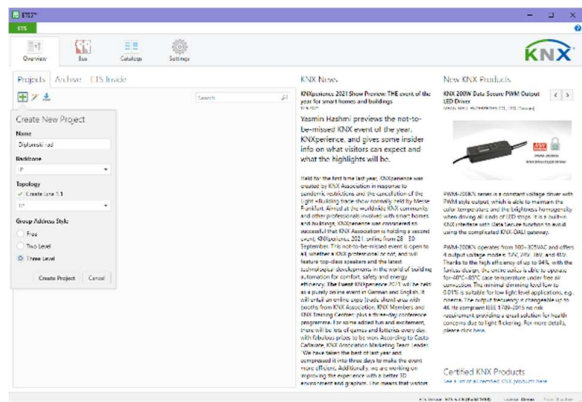
Za objekt prikazan tlocrtom na slici 7 prikazaće se primena KNX aplikacije za kontrolu rasvete [7].



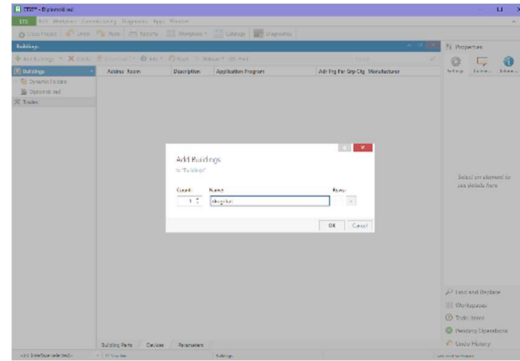
Slika 7. Tlocrt prostora za koji je napravljen projekat upravljanja

Prvi korak za izradu programa upravljanja rasvetom je napraviti projekat, prema slici 8. Na levoj strani, u delu alatne trake "Projects", klikom na znak "+" kreira se novi projekat te je potrebno upisati naziv projekta i odabrati vrstu konfiguracije. S desne strane nalaze se informacije o novim uređajima dostupnim na tržištu kao i ostale informacije KNX ETS programa (novosti, dostupna ažuriranja...).

Nadalje, potrebno je definisati sam projekat te dodati prostorije za koje će se izvršiti programiranje rada uređaja, kako je to prikazano na slici 9. Na slici je prikazano dodavanje prostora pod nazivom *drugi sprat*, kojem se dalje klikom na "+" dodaju prostorije smeštene na spratu. U ovom primeru to su tri prostorije: *hodnik, kupatilo i soba*.

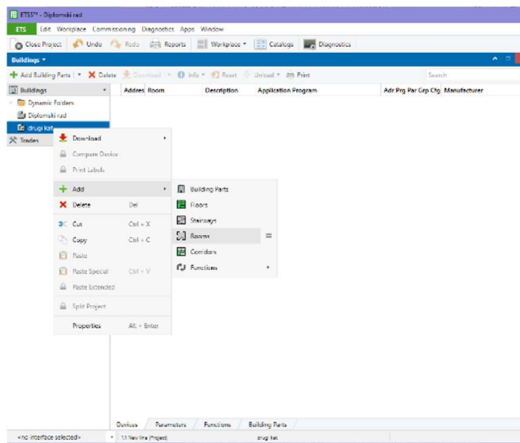


Slika 8. Početni izgled ekrana pri izradi projekta

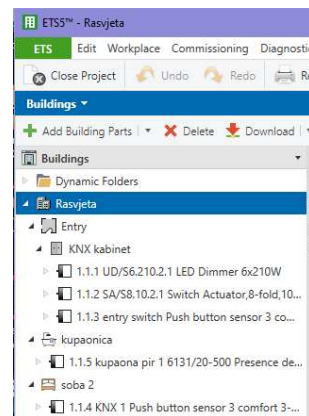


Slika 9. Postupak dodavanja prostorija za potrebe upravljanja programskim alatima

Dodavanje sobe prikazano je na slici 10, a dodavanje ostalih prostorija prikazano je na slici 11.



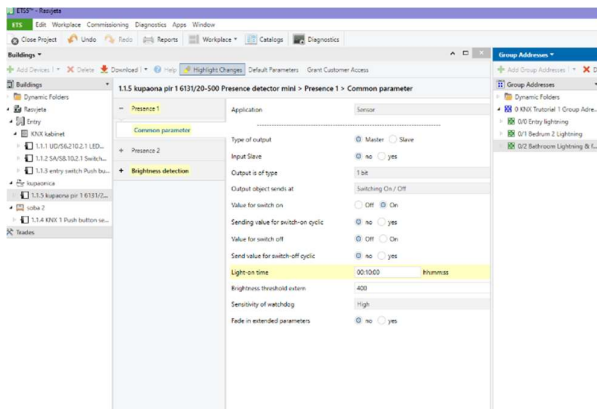
Slika 10. Dodavanje prostorije (sobe) u programu



Slika 11. Dodavanje ostalih prostorija u programu

Kao što se može videti, dodati su prostori: *ulaz, kupatilo i prostor pod nazivom soba 2*. Za svaki prostor prikazani su dodani uređaji koji se programiraju.

Uređaj se jednostavno dodaje, izborom funkcije *Drag and Drop*. Dakle, izabere se odgovarajući uređaj koji se jednostavno povuče u pripadajuću prostoriju. Za slučaj da uređaj nije dostupan u katalogu, isti je potrebno pronaći i preuzeti na internetu te dodati u program.



Slika 16. Vremenska promena rada rasvete

4. ZAKLJUČAK

Razvoj i napredak tehnoloških dostignuća rezultat je ideje nastanka pametnih kuća, stanova, hotela, poslovnih prostora i prostora raznih namena. Instalacija pametne mreže u prostorima u kojima se živi ili radi ima niz prednosti u pogledu kvaliteta i načina života XXI veka. Mogućnost daljinskog upravljanja uređajima u prostoru pomoću pametnog uređaja kao što su mobilni telefon ili tablet, zasigurno štedi vreme, ali i energiju. To je bilo nezamislivo pre dve decenije kada su KNX sabirnički sistemi bili u počecima razvoja.

KNX je stvorio jedinstven svetski standard koji u svom rasponu upravljanja stambenim i poslovnim objektima, gde se upravlja rasvetom, sigurnosnim sistemima, klimatizacijom, kontrolom vode, grejanjem i ventilacijom.

KNX standard ujedinjuje sve proizvođače pod jednim imenom *KNX Association*. Time osigurava pouzdanost i sigurnost sistema upravljanja. Time se postigla jedinstvenost kvaliteta među proizvođačima.

Programski alat ETS se koristi u svrhu projektovanja i planiranja KNX sustava. Koristi se za konfigurisanje i uparivanje uređaja na instalaciji kako bi uređaji međusobno komunicirali i prenosili zadate informacije.

Loša strana KNX tehnologije je u tome što nije široko dostupna zbog cene i zbog manjka stručno osposobljene radne snage za instalaciju i konfiguraciju sistema. Republika Hrvatska tek otvara put prema budućnosti u kojoj bi respektabilno porasla upotreba pametnih sistema upravljanja poslovnim prostorima, porodičnim kućama, hotelima itd.

Rešenje problema zahteva vreme i ideju kako masovnijom primenom, odnosno proizvodnjom, smanjiti cenu opreme. Na taj način proizvodi postaju pristupačniji široj populaciji i stvara se mogućnost otvaranja novih radnih mesta za inženjere koji će se baviti projektovanjem i programiranjem KNX sistema.

LITERATURA

- [1] https://tech-lib.xyz/definition/smart_home.html (pristupljeno 15.08.2022.)
- [2] V. Tatin, Primjena energetske učinkovitosti pomoću pametne instalacije, <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2241/datastream/PDF/view> (pristupljeno 14.10.2022.)
- [3] KNX System arguments , http://knx.com.ua/attachments/article/132/KNX-basic_course_full.pdf (pristupljeno 15.08.2022.)
- [4] https://docplayer.org/52022977-01_systemargumente-knx-association.html (pristupljeno 17.11.2022.)
- [5] https://cdn.chipkin.com/assets/uploads/imports/resources/Serial%20Data%20Transmission%20and%20KNX%20Protocol%2005_Serial%20Data%20Transmission_E08f.pdf (pristupljeno 19.09.2022.)
- [6] ABB, ABB i-bus® KNX USB Interface USB/S 1.1, <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC502042D0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (pristupljeno 31.12.2022.)
- [7] M. Jeličić, "Primjena KNX sustava u pametnoj kući implementiranoj u pametnu mrežu", Specijalistički diplomski stručni, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split, 2021. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:332222>

ANALIZA DINAMIČKE VIRTUELNE MREŽE SA VIŠE TAČAKA DMVPN – TOPOLOGIJA, PROTOKOLI I PROJEKTOVANJE

ANALYSIS OF DYNAMIC MULTIPOINT VIRTUAL NETWORK DMVPN – TOPOLOGY, PROTOCOLS AND DESIGN

Ivan Knežević¹, Dejan Nemeč²

Schneider Electric LLC, Novi Sad, Srbija¹

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija²

Sadržaj – DMVPN je jedna od najrazvijenijih i najupotrebljavanijih tehnologija VPN konekcija za potrebe kompanija ili drugih organizacija koje su rasprostranjene na velikim geografskim rastojanjima. Može da se upotrebljava od kompanija koje imaju nekoliko lokalnih mreža na lokacijama sa malim rastojanjima, do kompanija koje imaju hiljade lokalnih mreža različitih veličina na različitim kontinentima. Cilj ovog rada je da se analitičkim pristupom obrade glavne karakteristike DMVPN-a, kao što su moguće topologije mreže, osnovni protokoli koji se vezuju za DMVPN (mGRE, NHRP, dinamičko IPsec kriptovanje) i da se daju smernice za projektovanje DMVPN-ova u cilju rešavanja potreba korisnika.

Abstract – The DMVPN is one of the most developed and widely used VPN technologies for the needs of companies or other organizations that are spread over large geographical distances. It can be used by companies that have a few local area networks in locations with short distances, to companies that have thousands of local area networks of various sizes on different continents. The aim of this work is to analyze the main features of DMVPN, such as possible network topologies, basic protocols related to DMVPN (mGRE, NHRP, dynamic IPsec encryption) and to provide guidelines for designing DMVPNs with the aim of solving user needs.

1. UVOD

DMVPN (Dynamic Multipoint VPN) je forma VPN-a koja dinamički kreira VPN tunele između više krajnjih tačaka [1]. U zavisnosti od uređaja, DMVPN domen može skalirati do jako velikog broja krajnjih tačaka. Hijerarhijski je orijentisan i postoje glavni ruteri koji vrše funkcije formiranja DMVPN domena (*hub*) i ruteri koji su krajnje tačke u domenu (*spoke*) iza kojih se vezuju LAN-ovi.

Osnovni elementi i protokoli koji se vezuju za DMVPN jesu [2]:

- *Multipoint GRE (mGRE)* – GRE tunel koji spaja više od dve tačke (p2p – *point-to-point*).
- *Next-Hop Resolution Protocol (NHRP)* – L2 protokol, razrešava IP adrese tunela.
- *Dynamic Routing Protocol* – EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*), RIP (*Routing Information Protocol*), OSPF (*Open Shortest Path First*), BGP (*Border Gateway Protocol*).
- *Dynamic IPsec encryption* – dinamičko IPsec kriptovanje.
- *Cisco Express Forwarding (CEF)*.

Osnovna prednost ove vrste VPN-a je da je lako proširiv (skalabilan) zato što postoji samo po jedan DMVPN tunel interfejs na svakom ruteru za svaki domen, za razliku od *site-to-site* VPN gde se moraju podešavati interfejsi na svakom uređaju za svaku pojedinačnu *point-to-point* konekciju što dovodi do ogromne količine linija konfiguracije za malo veću VPN mrežu.

Druga najznačajnija osobina je da se može organizovati kao *full-mesh* ili *partial-mesh* po potrebi, gde saobraćaj između krajnjih tačaka (*spoke*) ne prelazi preko centralnih rutera (*hub*), i ne zauzima resurse mreže nepotrebno. Kritična tačka ove tehnologije je NHRP protokol koji razrešava spoljne IP adrese interfejsa rutera u unutrašnje IP adrese tunel interfejsa i na osnovu kojih se vrši dalje povezivanje domena i rutiranje saobraćaja.

Tuneli između *spoke*-ova se dinamički kreiraju po potrebi. Kada ima saobraćaja tunel se uključi automatski, a kada saobraćaj prestane tunel posle određenog vremena nestane. Takođe se dinamički određuju i VPN podešavanja između uređaja, od ponuđenih mogućnosti uvek se bira najsigurnije odnosno podešavanje sa najjačim kriptovanjem.

Predviđen je da radi preko javnog Interneta ili MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) konekcija. Bez DMVPN-a ili nekog sličnog VPN-a teško je izvodljivo napraviti pouzdan i skalabilan WAN (*Wide Area Network*).

DMVPN je evoluirao kroz nekoliko faza [3]:

- *Hub and Spoke* – mGRE Hub i p2p *Spokes* – topologija zvezda.
- *Spoke to Spoke* – mGRE *Hub* i mGRE *Spokes* – topologija *full-mesh*.
- *Scalable infrastructure* – rešava ograničenja NHRP-a i omogućava dalje skaliranje.

Dynamic Multipoint VPN je jedna od najrazvijenijih i najupotrebljavanijih tehnologija VPN konekcija za potrebe kompanija ili drugih organizacija koje su rasprostranjene na velikim geografskim rastojanjima [4]. Može da se upotrebljava za kompanije koje imaju nekoliko lokalnih mreža na lokacijama sa malim rastojanjima, do kompanija koje imaju hiljade lokalnih mreža različitih veličina na različitim kontinentima. Njegova namena je da sve lokalne mreže (LAN – *Local Area Network*) jedne organizacije poveže u jednu funkcionalnu mrežu (WAN – *Wide Area Network*) široko rasprostranjenu i da omogući bezbednu komunikaciju između svih tačaka preko kriptovanih ili nekriptovanih veza ISP-a (*Internet Service Provider*).

Takođe jedna od najvažnijih karakteristika je da radi preko raznih vrsta digitanih prenosnih medijuma (Wi-Fi, DSL, optike, 4G, ATM, itd.) preko različitih ISP-ova i usluga koje ISP-ovi pružaju – Internet i/ili MPLS [3]. To ga zajedno sa ostalim osobinama čini jednim od najpopularnijih od svih VPN-ova za kreiranje geografski rasprostranjenih privatnih mreža. Omogućuje prenos unikat i multikast IP saobraćaja.

Primer upotrebe DMVPN je u slučaju velike mreže bankomata rasprostranjenih na različitim geografskim pozicijama, gde je količina prenešenih podataka mala ali veza mora da bude kriptovana i neprekidno dostupna. I takve mreže se mogu realizovati preko različitih ISP-ova i preko različitih tipova veza. Projektovanjem mreže može da se omogući otpornost mreže upotrebom više ISP-ova na istim lokacijama – glavni link i rezervni link od različitih ISP-ova. U tim slučajevima dinamički protokoli za rutiranje se koriste radi obezbeđivanja neprekidnog rada veze, automatskim prebacivanjem saobraćaja na link koji je operativan u slučaju prekida na glavnom linku.

Iako nije pravilo, moguće je da se za glavne linkove koriste MPLS konekcije jednog ISP, a za rezervne Internet konekcije drugog ISP koje se ostvaruju preko fizički odvojenih linija. Cilj je da se od mrežnog interfejsa uređaja koji se nalazi kod korisnika, CE (*Customer Equipment*), na lokaciji omogući bezbedna i neprekidna komunikacija do svih ostalih lokacija, odnosno interfejsa CE uređaja na svim ostalim lokacijama.

Kompanija Cisco je 2007. god, recimo, implementirala DMVPN mrežu (domen) koji je skalirao i na preko 20 hiljada krajnjih lokacija (*spoke*) preko ATM-a (*Asynchronous Transfer Mode*) [5]. U tim slučajevima javljaju se problemi prenosa velikih količina saobraćaja u čvorištima (*Hub*), što direktno utiče na odabir modela mrežnih uređaja i balansiranja opterećenja u čvorištima.

Dizajn DMVPN mreža je uvek hijerarhijski na upravljačkom nivou, i primenjuje se *hub-spoke* model. Na nivou protoka podataka može biti topologija zvezde (mreže bankomata), preko *partial-mesh*, pa do potpunih *full-mesh* topologija, što zavisi od potreba prenosa podataka organizacije i mogućnosti konekcija koje se koriste.

U slučajevima kompleksnih mreža sa data centrima različitog značaja moguće je napraviti mrežu sa više hijerarhijskih slojeva čvorišta glavnih ruteru (*Hub* ili *Headend* – glavni), gde se donji nivoi glavnih ruteru nazivaju tranzitni i koji se nalaze u tranzitnim data centrima, dok su slojevi krajnjih korisničkih uređaja gde se koriste granski ruteri (*Spoke* ili *Branch* – granski) uvek na dnu DMVPN hijerarhije. Veličina takvih složenih DMVPN struktura zavisi od brzine konvergencije NHRP protokola i protokola za dinamičko rutiranje, što zavisi od latencija u mreži.

U nastavku će se obraditi mGRE, NHRP i dinamičko IPsec kriptovanje kao osnovni protokoli koji se vezuju za DMVPN.

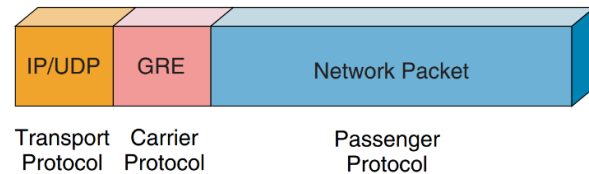
2. mGRE

Iako IPsec omogućava siguran metod za tunelovanje podataka preko IP mreža, ima nekoliko ograničenja. IPsec ne podržava brodkast ni multikast IP saobraćaj, tako da je nemoguć prenos saobraćaja protokola koji zavise od toga, na primer dinamički ruting protokoli i multimedija.

Generic Routing Encapsulation (GRE) je protokol koji može biti iskorišćen za prenos (*Carrier Protocol*) drugih protokola (*Passenger Protocol*) kao što su brodkast ili multikast IP (Slika 1).

Koristeći GRE tunel zajedno sa IPsec-om omogućeno je korišćenje dinamičkih ruting protokola ili IP multikasta preko mreže od glavnih čvorišta do udaljenih lokacija.

Sa p2p (*point-to-point*) GRE preko IPsec-a, sav saobraćaj između lokacija enkapsuliran je u p2p GRE paketu pre procesa kriptovanja, što pojednostavljuje ACL-e (*Access Control List*) za podešavanje kripto mapa. Kripto mapa treba da ima samo jednu liniju koja dozvoljava GRE (IP protokol 47). Tako da glavni ruter mora da ima tunnelske interfejsa za svaki granski ruter, što znači da dizajn velikih mreža podrazumeva veoma velike konfiguracione fajlove na glavnim ruterima u malo većim mrežama.



Slika 1. GRE kao prenosni protokol za IP [5]

U DMVPN dizajnim mreža predstavljen je mGRE interfejs [6], koji služi kao jedan interfejs na glavnim ruterima, i omogućava kreiranje više interfejsa na granskim ruterima, i omogućava kreiranje više *hub-and-spoke* tunela koji rade slično kao *Frame Relay* interfejsi. Za razliku od p2p GRE tunela, određite tunela mGRE interfejsa dozvoljava dinamičko uspostavljanje tunela za svaki granski (*spoke*) ruter na udaljenim lokacijama koji se povezuje. mGRE interfejs ne zahteva jedinstven tunnelski interfejs, jedinstvenu kriptu mapu, ili jedinstvenu ACL za svaku udaljenu lokaciju koja se povezuje, čime se značajno smanjuje konfiguracioni fajl na svakom glavnom ruteru, što je velika prednost za velike mreže kada se upoređi sa p2p GRE topologijama.

U *hub-and-spoke* modelu na svakom granskom ruteru interfejs je konfigurisan kao p2p GRE, a u *spoke-to-spoke* modelu na svakom granskom ruteru interfejs je konfigurisan kao mGRE. U oba slučaja interfejs na glavnim ruterima mora biti podešen kao mGRE. U oba modela podrazumeva se da se na svaki paket dodaje više zaglavlja.

Za GRE se dodaje 4-bajtno zaglavlje, za mGRE još 4 bajta i za dodatno IP zaglavlje još 20 bajta. Dodatnih 4 bajta su za ključ tunela, koji se koristi za razlikovanje različitih mGRE interfejsa na istom ruteru. Bez ključa tunela, ruter

može da radi samo sa jednim mGRE interfejsom sa jednom odgovarajućom IP mrežom. Ključ tunela omogućava udaljenom ruteru da ima različite mGRE interfejske koji odgovaraju određenim DMVPN domenima u topologiji mreže. Glavni ruteri mogu biti podešeni da imaju više mGRE interfejsa vezanih za pojedinačne DMVPN domene zbog redundanse i visoke pristupnosti.

Veoma bitan podatak je standardna veličina MTU (*Maximum Transmission Unit*) od 1500 bajta i sav saobraćaj se mora uklapati u tu veličinu. Da bi se to postiglo, smanjuje se veličina paketa pre ulaska u tunel. To je nužno uraditi na celoj unutrašnjoj mreži da ne bi dolazilo do problema pri prenosu paketa koji bi se nužno fragmentisali. U slučaju da se ne podesi MTU, dolazi do fragmentiranja svih TCP paketa koji su pre ulaska u tunel veći od vrednosti MTU-a koje tunel može da prenese bez fragmentiranja.

3. NHRP

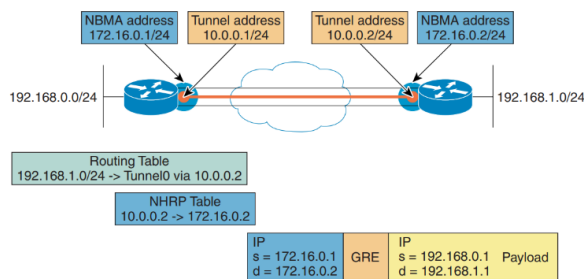
Next Hop Resolution Protocol, definisan u RFC 2332, je L2 protokol za razrešavanje IP adresa i za njihovo keširanje, slično kao ARP (*Address Resolution Protocol*) i *Frame-Relay Inverse-ARP*. NHRP koristi granski ruter, konektovan na NBMA (*Non-Broadcast Multi-access*) mrežu, da odredi NBMA IP adresu sledećeg skoka, u tom slučaju glavnog rutera ili odredišnu IP adresu drugog granskog rutera.

Kada se granski ruter pridruži DMVPN mreži, registruje svoju IP adresu na glavnom ruteru čiju IP adresu već ima prekonfigurisanu.

Registracija uključuje mGRE interfejs na glavnom ruteru i pravi dinamički tunel nazad do registrovanog granskog rutera bez informacije o destinaciji tunela granskog rutera, kroz CLI (*Command-Line Interface*) konfiguraciju.

NHRP mapira IP adresu tunela na NBMA IP adresu. NHRP obavestava mGRE interfejs gde da tuneluje pakete da dođu do određene adrese.

Kada je paket enkapsuliran u mGRE paket, određena IP adresa je NBMA adresa. Slika 2 pokazuje primer NHRP i mGRE adresiranja.



Slika 2. NHRP i mGRE adresiranje [5]

Glavni i granski ruteri treba da budu konfigurisani da koriste određeno vreme zadržke (*holdtime*), koje definiše vreme koje ruteri šalju drugim ruterima da zadržavaju njihove NHRP informacije. Ova informacija se čuva u

NHRP kešu sve dok ne istekne vreme zadržke ili dok informacije o razrešenju pomoću NHRP protokola ne moraju biti ponovo naučene.

Predefinisano vreme zadržke NHRP protokola je 2 sata, međutim preporučuje se da se promeni na 10 minuta.

NHRP keš može biti popunjavani sa dinamičkim ili statičkim zapisima. Na glavnom ruteru, svi zapisi se dodaju dinamički kroz registraciju ili zahteve za razrešenjem. Granski ruteri su konfigurisani statičkim NHRP mapiranjem usmerenim ka *Hub* ruterima. Da bi učestvovali u jednom NHRP registracionom procesu, svi ruteri moraju pripadati istoj NHRP mreži, definisanoj pomoću ID-a mreže. NHRP ID mreže definiše NHRP domen.

Granski ruteri moraju imati podešenu NBMA adresu glavnog rutera kao njihovog *Next Hop Server* (NHS) da bi se registrovali kod tog glavnog rutera. Granski ruteri šalju registraciju glavnom ruteru koji sadrži IP adresu tunela i NBMA adresu. Glavni ruter kreira zapis u svom NHRP kešu i vraća odgovor na registraciju. Granski ruter tada vidi glavnog rutera kao važeći NHS i koristi ga kao izvor informacija da locira ostale granske rutere u NHRP domenu.

4. DINAMIČKO IPsec KRITPOVANJE

Tipično IPsec kriptovanje podrazumeva dinamičke ili statičke kripto mape koje su podešene na ruterima na oba kraja tunela. Ove kripto mape određuju koji će se IPsec *transform set*-ovi koristiti, i koje će se ACL koristiti koje definišu interesantan saobraćaj za kriptovanje [7].

Za DMVPN su predstavljeni IPsec profili koji dele skoro sve komande sa konfigurisanjem kripto mapa. Ipak, samo deo komandi je dovoljan da se podese IPsec profili. Samo komande koje pripadaju konfigurisanju IPsec polisi mogu biti korišćene za IPsec profil. Više nema potrebe definišati IP adrese hostova za IPsec ili ACL saobraćaja koji se kriptuje.

Da bi se povezao p2p GRE ili mGRE sa IPsec profilom na istom ruteru, mora da se podesi zaštita tunela (*tunnel protection*). Zaštita tunela određuje da je izvršeno IPsec kriptovanje posle dodavanja GRE zaglavlja na paket koji ulazi u tunel. Sa p2p GRE tunelima, određena IP adresa se koristi kao IPsec adresa hostova (IP adrese). Kod mGRE tunela, višestruki IPsec hostovi su mogući, odgovarajuća NHRP mapirana NBMA odredišta se koriste kao IPsec host adrese. Zaštita tunela mora biti konfigurisana na obe strane, na glavnom ruteru i granskom ruteru za *spoke-to-spoke* model postavljanja DMVPN mreže.

Ukoliko je podešeno više od jednog mGRE tunela na istom interfejsu, onda mora biti podešeno da se deli isti izvorišni interfejs i izvorišna adresa za više različitih tunela, koji svaki ima svoj interfejs i svoja podešavanja. Komanda koja se za ovo koristi je *shared* i primenjuje se na interfejsima tunela koji dele isti izvorišni interfejs. Svaki mGRE tunel i dalje ima svoj jedinstveni ključ tunela, NHRP mrežni ID i

IP mrežnu adresu. Ovo je uobičajeno na granskim ruterima kada se primenjuje model dvostruke DMVPN topologije.

Najvažnije, za IPsec fazu 2 treba podesiti dinamičku kriptu mapu, pošto glavni ruter nema informaciju koja je IP adresa za konektovanje na granski ruter sa druge strane tunela. Cisco IOS (*Internetwork Operating System*) sadrži mogućnost IPsec profila koji je dizajniran za korišćenje na interfejsima tunela. Profil je vezan za interfejs tunela i automatski prihvata sav saobraćaj iz tunela i kriptuje ga (izvršava IPsec fazu 2). IPsec fazu proveravanja identiteta koristi IPsec profil kao izvorišnu i odredišnu adresu hostova tunela.

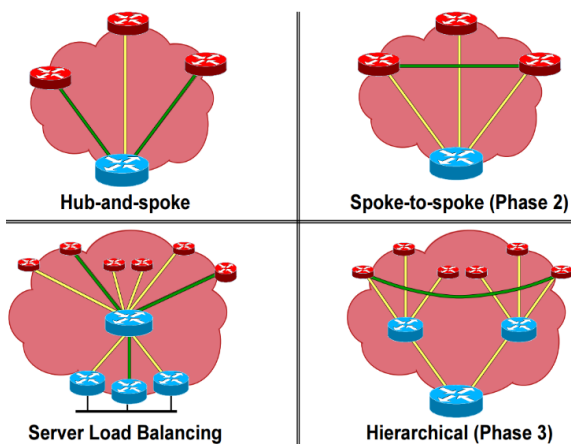
Može se reći da je podešavanje IPsec-a značajno pojednostavljeno i da više ne zavisi od konfigurisanja ACL za određivanje saobraćaja koji će ulaziti u tunel i biti kriptovan.

Sa ovom tehnologijom posebno se pravi tunel koji se i kriptuje, a s obzirom da postoji više tunela prema više različitih destinacija, može se podesiti da svaki tunel bude kriptovan sa drugim podešavanjima, koja su adekvatna ruteru na drugom kraju tunela. Posebno se kao sledeći korak bira saobraćaj koji će ulaziti u tunel i biti kriptovan, što se radi dinamičkim protokolima za rutiranje.

Ovo znači da je odvojeno podešavanje kriptovanja saobraćaja (podešavanje tunela) od usmeravanja saobraćaja (dinamičko rutiranje).

5. PROJEKTOVANJE DMVPN MREŽA

Osnovna topologija DMVPN mreža je *hub-and-spoke* model (Slika 3) gde su resursi organizacije centralizovani na glavnoj lokaciji organizacije, sa velikim brojem manjih lokacija povezani direktno na glavnu lokaciju uz pomoć VPN konekcija [8].



Slika 3. Osnovni modeli DMVPN mreža [9]

Ukoliko ima potrebe, primenjuje se model *spoke-to-spoke*, koji omogućava da saobraćaj između udaljenih lokacija ne ide preko glavne lokacije nego direktno između udaljenih lokacija. Takve konekcije se uspostavljaju i gase po potrebi

automatski kada ima saobraćaja. Time se štede i očuvavaju resursi uređaja i konekcija glavne lokacije.

Sledeći model *Server load balancing* koji je prikazan na slici 3 poseduje centralni ruter koji ima samo jednu funkciju, da balansira saobraćaj ka više glavnih DMVPN rutera i on nema drugu ulogu u DMVPN domenu.

Model *Hierarchical – Phase 3* predstavlja najkompleksniju hijerarhijsku strukturu glavnih rutera, gde su ostvarive veze između granskih rutera u različitim vertikalama DMVPN-a.

Svi modeli su prikazani na slici 3 gde su crvenom bojom obeleženi granski ruteri, a plavom glavni ruteri.

Na četvrtom (hijerarhijskom) primeru na slici 3, plavom su obeleženi glavni ruteri na više hijerarhijskih nivoa, a zelenom bojom veza između granskih rutera koja očigledno ne ide preko glavnih rutera, iako kontrolni saobraćaj NHRP protokola mora da ide preko glavnih rutera.

6. KOMPONENTE DMVPN MREŽA

Sledeće komponente su ključne za dizajn DMVPN mreža:

- *High-end* VPN ruteri koji služe kao glavni (*Hub*) uređaji za terminaciju VPN konekcija na centralnoj lokaciji.
- VPN pristupni ruteri koji služe kao granski (*Spoke*) VPN ruteri za terminaciju konekcija na udaljenim lokacijama.
- DMVPN *hub-and-spoke* tehnologija za povezivanje glavne lokacije sa udaljenim.
- DMVPN *spoke-to-spoke* tehnologija za međusobno povezivanje udaljenih lokacija.
- Internet ili MPLS konekcije nabavljene od ISP-a ili od više ISP-ova koje služe kao interkonekcija za WAN.

Ruteri koji omogućuju DMVPN povezivanje bi trebalo da podržavaju multikast saobraćaj, saobraćaj osetljiv na veliko kašnjenje i promene kašnjenja i dinamičke protokole za rutiranje.

7. TOPOLOGIJE DMVPN MREŽA

Razlikuju se dve osnovne topologije DMVPN mreža:

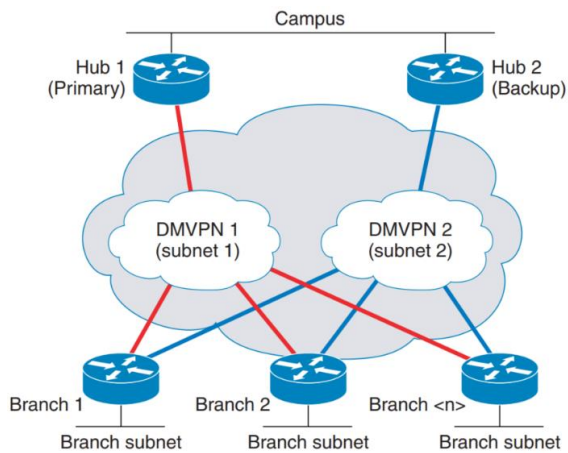
- Dvostruki glavni ruter – dvostruki DMVPN domen (*Dual hub-dual DMVPN cloud*).
- Dvostruki glavni ruter – jedan DMVPN domen (*Dual hub-single DMVPN cloud*).

U obe topologije, preporučuje se upotreba dva glavna rutera zbog redundanse. DMVPN domen čini grupa rutera koji su konfigurisani sa mGRE interfejsom ili p2p GRE interfejsom ili kombinacijom oba i dele isti adresni prostor.

Visoka dostupnost (*High availability*) omogućuje se upotrebom sekundarnog glavnog rutera, koji može biti i na drugom DMVPN domenu kao glavni primarni ruter. To se

u praksi obično nalazi kao jednostruka DMVPN domen topologija. Upotrebom sekundarnog glavnog rutera koji se upotrebljava kao primarni u drugom DMVPN domenu ostvaruje se dvostruka DMVPN topologija. Slika 4 prikazuje topologiju Dvostrukog glavnog rutera – dvostrukog DMVPN domena.

Topologija Dvostruki glavni ruter – jednostruki DMVPN domen se ne preporučuje, zato što se mehanizmi odabiranja korišćenja jednog od dva glavna rutera kao primarnog glavnog rutera, nalaze izvan tunela i DMVPN domena, za razliku od topologije Dvostruki glavni ruter – dvostruki DMVPN domen koja se oslanja na dinamičke rutinng protokole koji rade unutar tunela da bi odredili putanju saobraćaja.



Slika 4. Dvostruki glavni ruter – dvostruki DMVPN domen [5]

Razlike između te dve vrste DMVPN topologija najviše se ispoljavaju na konfiguraciji granskih rutera. Korišćenjem jednostrukog DMVPN domena, granski ruteri koriste jedan mGRE tunel, i oba glavna rutera su mapirana kroz mGRE interfejs.

U topologiji sa dvostrukim DMVPN domenom, granski ruteri imaju jedan tunel koji je povezan na jedan glavni ruter, a drugi mGRE koji se povezuje na glavni ruter drugog DMVPN domena.

Uobičajeni rutinng protokoli OSPF ili EIGRP koriste se da usmere saobraćaj na aktivni glavni ruter, iako mogu da se podese da koriste oba rutera kao balansere opterećenja što može da dovede do asimetričnog rutiranja. Slika 5 prikazuje prostiju topologiju, sa jednim DMVPN domenom ali i dalje sa dva glavna rutera.

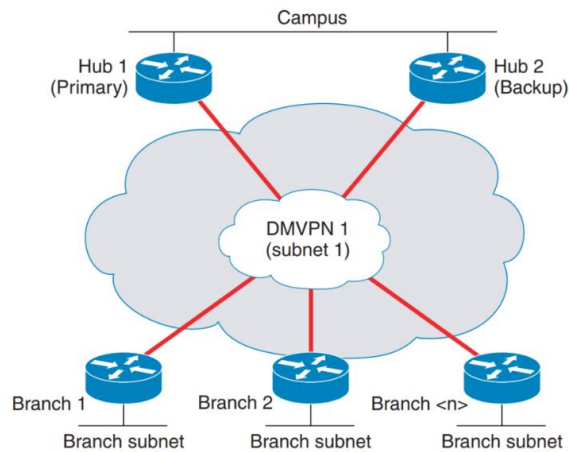
Oba modela DMVPN-a mogu se primeniti na topologiju sa dvostrukim DMVPN domenom:

- *Dual DMVPN Cloud Topology – Hub-and-spoke model.*
- *Dual DMVPN Cloud Topology – Spoke-to-spoke model.*

Pored toga, primenom jednog ili dva glavna rutera po DMVPN domenu, odnosno arhitekturom DMVPN mreža

glavnih lokacija, dobija se više mogućih osnovnih topologija mreža dvostrukih DMVPN domena:

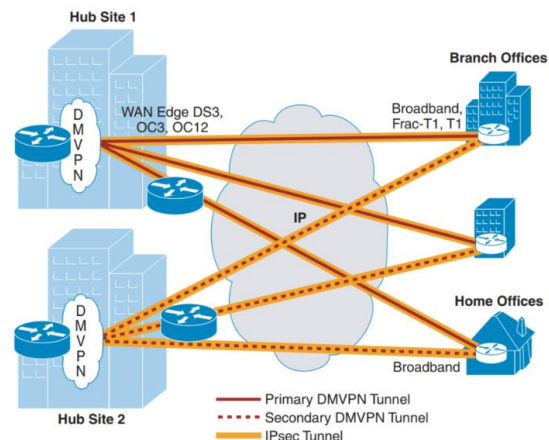
- *Dual DMVPN Cloud Topology – Hub-and-spoke – Single Tier Headend Architecture.*
- *Dual DMVPN Cloud Topology – Hub-and-spoke – Dual Tier Headend Architecture.*
- *Dual DMVPN Cloud Topology – Spoke-to-spoke – Single Tier Headend Architecture.*
- *Dual DMVPN Cloud Topology – Spoke-to-spoke – Dual Tier Headend Architecture.*



Slika 5. Dvostruki glavni ruter – jednostruki DMVPN domen [5]

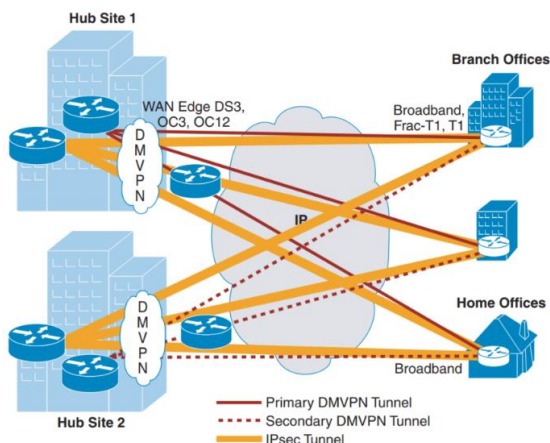
U slučaju da na centralnoj lokaciji postoji jedan glavni ruter (*Single Tier Headend Architecture*), mGRE i kriptovanje saobraćaja rade na tom jednom ruteru istovremeno, za sve granske lokacije i granske rutere na njima.

Pored toga što jedan glavni ruter obavlja sve funkcije kontrolisanja DMVPN domena za sve udaljene lokacije, na istom ruteru se takođe izvršava i protokol za dinamičko rutiranje, kao što su OSPF ili EIGRP, a takođe i bezbednosno filtriranje saobraćaja (*Firewall*). Slika 6 predstavlja primer jedne takve arhitekture.



Slika 6. Primer *Single Tier Headend Architecture* [5]

U slučaju arhitekture sa dva glavna rutera po DMVPN domenu (*Dual Tier Headend Architecture*), funkcije mGRE i kriptovanje saobraćaja su odvojene na posebne glavne rutere svaka. Slika 7 predstavlja jednu takvu topologiju.



Slika 7. Primer *Dual Tier Headend Architecture* [5]

8. ZAKLJUČAK

Dinamički VPN sa više tačaka, DMVPN, pruža brojne prednosti u odnosu na druge tipove VPN-ova.

Pojednostavljuje konfiguraciju glavnih i granskih rutera. Sa DMVPN-om, višestruki tunelski interfejsi za svaku granu (*spoke*) VPN nisu potrebni. Umesto toga, jednostavna konfiguracija *hub-and-spoke* obezbeđuje mrežno povezivanje na zahtev sa dinamičkim rutiranjem i IP multikastom. Ova pojednostavljena, skalabilna topologija idealna je za organizacije kojima je potrebna zaštićena veza između udaljenih lokacija, uključujući mala i srednja preduzeća, kao i kompanije sa velikim brojem lokacija koje treba povezati.

Sa DMVPN-om i NHRP-om, granski ruteri se mogu primeniti koristeći dinamički dodeljene javne IP adrese. Svaki granski ruter može da napravi VPN tunel sa drugim granskim ruterima pronalaženjem njihovih javnih IP adresa. To radi tako što se u NHRP bazi podataka postavlja upit za stvarne IP adrese određinih spojeva.

DMVPN pojednostavljuje topologiju WAN mreže tako što smanjuje opterećenje konfiguracije. Nema potrebe za konfigurisanjem krypto mape vezane za fizički interfejs ili promenom u glavnom (*hub*) ruteru da bi se dodalo još granskih rutera.

DMVPN podržava različite mehanizme za ostvarivanjem kvaliteta servisa, uključujući oblikovanje saobraćaja na

interfejsima glavnih rutera. DMVPN ima veliku skalabilnost i dostupnost. Podržava i više hiljada granskih rutera sa hijerarhijski raspoređenim glavnim ruterima.

DMVPN nudi mnoge prednosti u odnosu na druge modele VPN, uključujući sledeće [10]:

- veća brzina i pouzdanost;
- smanjeni troškovi za sigurne komunikacije;
- bolja povezanost između lokacija integracijom VPN-a u postojeće komunikacione veze;
- manje kašnjenje;
- očuvanje WAN propusnog opsega;
- smanjeni zahtevi za propusni opseg na glavnom ruteru;
- povećana otpornost mreže i redundancija;
- bezbedno rutiranje sa IPsec-om.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Izradu ovog rada pomogao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom „Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije”.

LITERATURA

- [1] Petr Lapukhov, *Dynamic Multipoint VPN (DMVPN) Explained*, INE, ine.com, 2008.
- [2] <https://networklessons.com/cisco/ccie-routing-switching/introduction-to-dmvpn>, Januar 2023.
- [3] Manual, *Dynamic Multipoint VPN Configuration Guide*, Cisco IOS Release 15M&T, Cisco Systems, Inc, 2020.
- [4] Data sheets, *Cisco Dynamic Multipoint VPN: Simple and Secure Branch-to-Branch Communications Data Sheet*, Document ID:1501012025051219, Cisco Systems, 2023.
- [5] Cisco Validated Design, *Dynamic Multipoint VPN (DMVPN) Design Guide (Version 1.1)*, Text Part Number: OL-9024-01, Cisco Systems, 2008.
- [6] Cisco Community, *Security Knowledge Base*, MGRE, ITA Terms, 2017.
- [7] Product and Release Support, *IPsec Tunnels With Dynamic Endpoints*, Juniper Networks, 2022.
- [8] Instructor Material, CCNP Enterprise: *Advanced Routing, Chapter 19: DMVPN Tunnels*, Cisco 2016.
- [9] Michael Keller, *Solving Network Architecture Challenges with DMVPN*, Aspire, 2023.
- [10] <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/dynamic-multipoint-VPN-DMVPN>, Januar 2023.

PREGLED VIRTUELNIH PRIVATNIH MREŽA SA AKCENTOM NA DINAMIČKU VIRTUELNU PRIVATNU MREŽU SA VIŠE TAČAKA DMVPN

OVERVIEW OF VIRTUAL PRIVATE NETWORKS WITH AN EMPHASIS ON DYNAMIC MULTIPOINT VIRTUAL PRIVATE NETWORK DMVPN

Ivan Knežević¹, Dejan Nemeč²

Schneider Electric LLC, Novi Sad, Srbija¹

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija²

Sadržaj – Pojam Virtuelna privatna mreža VPN obuhvata grupu tehnologija koja se bavi zadovoljavanjem potreba bezbednog prenosa podataka. Cilj ovog rada je da se prikazom puta razvoja uoče razlike između VPN tehnologija. Rad obrađuje razliku između Intranet i Ekstranet VPN-a. Zatim navodi podelu na: Tunelovani VPN, Kriptovani VPN i VPN baziran na polisi. Nadalje, bavi se ukratko protokolima koji obezbeđuju VPN, a to su PPTP, L2TP, MPLS, SSL/TLS, IPsec, ezVPN i poseban akcenat stavlja na DMVPN i izdvaja ga kao jedan od protokola koji VPN ostvaruje sa veoma dobrim karakteristikama.

Abstract – The term Virtual Private Network (VPN) includes a group of technologies that deal the needs of secure data transmission. The aim of this paper is to show the differences between VPN technologies by showing the development path. The paper discusses the division into: Tunneled VPN, Encrypted VPN and Policy-based VPN. It then explains the difference between Intranet and Extranet VPNs. Furthermore, it deals briefly with the protocols that provide VPN, which are PPTP, L2TP, MPLS, SSL/TLS, IPsec, ezVPN with special emphasis on DMVPN and singles it out as one of the protocols that VPN realizes with very good features.

1. UVOD

Termin virtuelna privatna mreža, VPN (*Virtual Private Network*) prvi put je predstavljen u telefonskim kompanijama. Upotreba je podrazumevala da se za uspostavu veze pozivaju kratki brojevi lokala, koji su rutirani kroz javnu telefonsku mrežu.

Danas se termin VPN uglavnom koristi u kontekstu prenosa podataka. U smislu prenosa podataka ta tehnologija se razvija još od pre više desetina godina i inicijalno je bila napravljena za velika preduzeća i vlade koja su imala potrebu da bezbedno prenesu podatke između radnika koji su radili sa udaljenih lokacija i centrale. Pojavio se koncept uspostavljanja privatnih pristupnih mreža bez iznajmljenih linija (*leased lines*) ili obaveznog posjedovanja mrežne infrastrukture. Može se reći da je to komunikaciona mreža tunelovana kroz drugu komunikacionu mrežu [1].

Kako se Internet razvijao, potreba za komercijalnim VPN konekcijama je sve više rasla. Potrebe kao blokiranje Internet sajtova za određene geografske pozicije, prisмотра od strane države, cenzurisanje u školama, preduzećima i blokiranje celih država, a takođe i povećana aktivnost

hakera koji su ugrožavali privatnost podataka koji se prenose načinili su VPN servis neophodan za svakodnevno korišćenje za sve korisnike. Prirodno je bilo da će VPN servis da se razvija i da postane komercijalan i dostupan za sve korisnike kojima je potrebna bezbedna i privatna konekcija.

2. OSNOVE VPN FUNKCIONISANJA

VPN je mrežna tehnologija koja kreira bezbednu konekciju preko javne infrastrukture Interneta. Bezbedna je zato što se korisnik povezuje na server VPN provajdera ili na server preduzeća u kojem radi. Na ovaj način podaci koji prelaze put od korisničkog uređaja do VPN servera su šifrovani pa ih samo korisnik i krajnja tačka mogu očitati. To je kao da postoji tajni i bezbedan put za podatke između računara ili između korisnika i Interneta, zato se popularno zove i tunel. U najširoj mogućoj upotrebi je u kompanijama koje su najčešće multinacionalne i imaju zaposlene u mnogim državama i na različitim kontinentima. Bez VPN tehnologije moderne multinacionalne kompanije teško bi funkcionisale, a cena bezbednog (u smislu bezbednosti podataka) povezivanja izdvojenih lokacija bila bi neuporedivo veća [2].

VPN je upotrebljiv u zaštiti od hakera koji ne mogu da probiju zaštitu i šifrovanje kako bi očitali korisničke podatke, za zaštitu privatnosti i anonimnosti korisnika na javnom Internetu, javna ili privatna adresa korisnika postaje skrivena i niko ne može da prati aktivnosti korisnika, za zaobilazanje cenzure, restrikcije i blokiranja geografskih lokacija, itd. U osnovi se dobija bezbedna i privatna mreža putem Interneta a bez restrikcija.

Prema tvrdnjama kompanije Cisco, VPN ne znači obavezno izolaciju komunikacija nego pre kontrolisanu segmentaciju komunikacija zainteresovanih strana preko deljene infrastrukture. Uobičajena i nekako formalna karakterizacija VPN-a a verovatno najdirektnija i striktna definicija je da je VPN komunikaciono okruženje u kojem je pristup kontrolisan i gde se odobrava pristup samo u okviru definisanih zainteresovanih strana u komunikaciji, i konstruisan je uz pomoć neke forme particionisanih zajedničkih medija na kojima funkcioniše, gde zajednički komunikacioni medijumi obezbeđuju servise mreži na neekskluzivan način [3].

Najjednostavnije rečeno, VPN se može definisati kao privatna mreža koja je konstruisana u okviru javne mrežne infrastrukture kao što je globalni Internet.

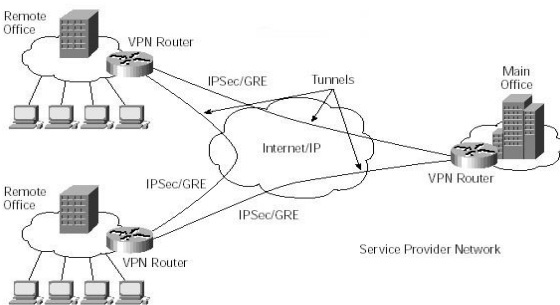
Postoje kompanije koje komercijalno nude usluge VPN servisa. Ona upravljaju i održavaju serversku opremu i primenjuju šifrovanje. U slučaju da korisnik želi da bude povezan i da koristi Internet kao prenosni put trebalo bi da se poveže na servere VPN provajdera koji će dalje da šifruju kompletan saobraćaj od korisničkog uređaja do krajnje tačke, a osim toga da sakriju identitet korisnika u slučaju povezivanja na javne Internet lokacije.

Nekada je to bila privilegija vladinih organizacija i velikih kompanija a sada je dostupno svim korisnicima Interneta. Cilj provajdera VPN servisa je svakako zarada, ali usluga koju pružaju je neprocenjiva sa stanovišta zaštite privatnosti korisnika i podataka, kao i bezbednog prenosa. Za pojedinačnog korisnika u ovom trenutku ne postoji bolja zaštita u vreme kada su informacije najtraženija roba.

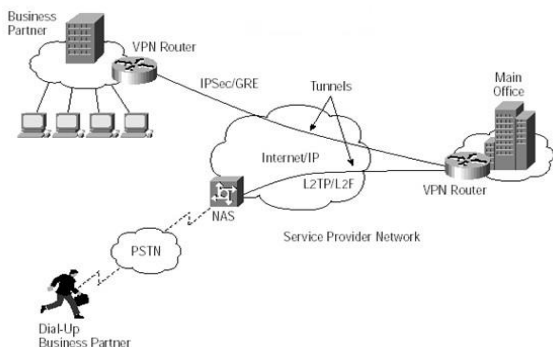
3. PODELA VPN U ODNOSU NA UČESNIKE U KOMUNIKACIJI

U okviru VPN konekcija koje povezuju privatne lokalne mreže, LAN (*Local Area Network*), na geografski udaljenim lokacijama, odnosno vrše povezivanje pomoću uređaja predviđenih da kreiraju samo VPN konekcije a za koje se konektovani LAN-ovi različitih veličina i za koje se podrazumeva velika količina prenešenih podataka (veza poznatija kao *Site-to-Site VPN*), VPN deli se na:

- Intranet VPN – ukoliko jedna kompanija ima više udaljenih lokacija koje su međusobno povezane u jednu privatnu mrežu pomoću VPN-a (Slika 1).
- Ekstranet VPN – ukoliko kompanija ima poslovne odnose sa drugim kompanijama kreiraju se međusobne VPN konekcije koje omogućuju da sve povezane tačke rade zajedno u jednom okruženju (Slika 2).



Slika 1. Intranet VPN [4]



Slika 2. Ekstranet VPN [4]

4. PODELA VPN U ODNOSU NA KARAKTERISTIKE

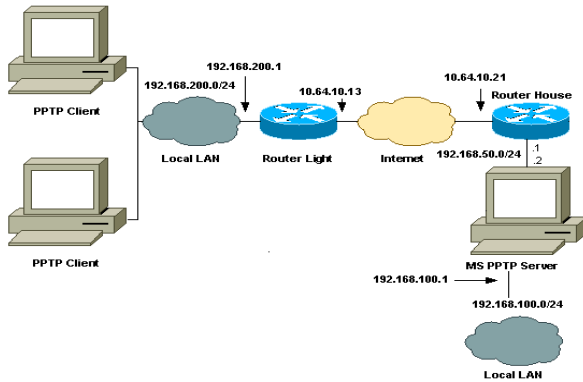
Osnovna podela VPN konekcija bi se mogla predstaviti na sledeći način:

- Tunelovani VPN – Ovaj VPN ne mora da vrši šifrovanje ali su podaci enkapsulirani. Podrazumeva postavljanje kompletnog paketa podataka u drugi paket koji se šalje preko Interneta. Neki od protokola koji obezbeđuju tunelovani VPN jesu: L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*), MPLS (*MultiProtocol Label Switching*), PPTP (*Point-to-Point Tunneling Protocol*) i dr.
- Kriptovani VPN – Kriptovani VPN koristi algoritme za šifrovanje korisničkih podataka koje šalje preko Interneta. Takođe, podrazumeva postavljanje kompletnog paketa podataka u okvir drugog paketa i takav nov paket šalje preko Interneta. Primeri su IPsec (*Internet Protocol security*), SSL/TSL (*Secure Socket Layers/Transport Layer Security*), DMVPN (*Dynamic Multipoint VPN*), ezVPN (*Easy VPN*) i dr.
- VPN baziran na polisi – VPN baziran na polisi koja podrazumeva da se npr. ruteri koji povezuju lokacije kompanije preko Interneta ograniče samo na povezivanje između sebe, a onemogućuju da šalju podatke na bilo koju drugu lokaciju. To se postiže upotrebom ACL (*Access Control List*) u okviru rutera i time se menja uobičajeno funkcionisanje rutiranja na uređaju. Primeri arhitektura koje to obezbeđuju jesu SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) i DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).

5. PROTOKOLI TUNELOVANIH VPN

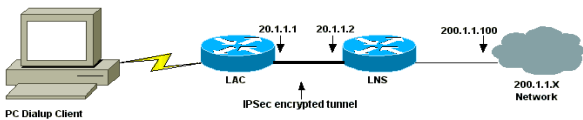
Prvi pravi VPN bio je PPTP. Više korporacija radilo je na razvoju PPTP-a koji je počeo 1996. godine a specifikacija je objavljena 1999. godine. Uskoro je postao uobičajen u upotrebi, a posebno u Microsoft Windows okruženjima. Ubrzo je postalo jasno da, iako poseduje određene tehničke bezbednosne karakteristike, PPTP ima i mnoge nedostatke. Postoje mane u protokolima za autentifikaciju i podložnosti na *brute-force* napade. Zbog toga je prevaziđen i više nije u upotrebi. Uglavnom se asocira sa Microsoft-om zato što su sve ranije verzije Windows OS-a imale unapred implementiran program za povezivanje pomoću PPTP-a. Microsoft i dalje pruža podršku za ovaj VPN protokol. PPTP se pakuje u ram PPP (*Point-to-Point Protocol*) paketa koji se pakuje u IP paket. Slika 3 prikazuje povezivanje više korisničkih računara na PPTP server i geografski udaljenu mrežu [5].

Uz razvoj PPTP-a razvijan je i L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*). L2TP nije omogućavao privatnost podataka i snažnu autentifikaciju nego se oslanjao na IPsec protokol za kriptovanje čiji su paketi potom prosleđivani kroz L2TP tunele. Ova kombinacija poznata je kao L2TP/IPsec. L2TP obično je korišćen od strane provajdera Internet servisa, ISP (*Internet Service Provider*), npr. za ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), a takođe, implementiran je u MS Windows Vista OS. Iako se ne smatra prevaziđenim, IT stručnjaci ga smatraju zastarelim i nije u upotrebi.



Slika 3. Povezivanje računara pomoću PPTP protokola [5]

L2TP enkapsulira PPP paket unutar IP paketa, dok PPP paket može da enkapsulira bilo koju vrstu paketa. Time je omogućena sloboda biranja mrežne infrastrukture na kojoj će se koristiti. Ceo L2TP paket i zaglavlje šalju se korišćenjem UDP (*User Datagram Protocol*) protokola, uobičajeno je da PPP koristi L2TP tunel. Dve krajnje tačke koje razmenjuju saobraćaj kod L2TP tehnologije su LAC (*L2TP Access Concentrator*) i LNS (*L2TP Network Server*). LNS čeka na uspostavljanje novog tunela na zahtev. Kad se uspostavi tunel, ceo saobraćaj između krajeva ide u oba pravca (Slika 4) [6]. Zahtev za uspostavljanje tunela dolazi od protokola višeg nivoa kao što je PPP, iako LAC ili LNS mogu inicirati tunel. Saobraćaj je izolovan L2TP-om, tako da je moguće podesiti višestruke virtuelne mreže preko jednog tunela. Kada se koristi L2TP trebalo bi obratiti pažnju i na veličinu MTU-a (*Maximum Transmission Unit*) s obzirom da postoji više zaglavlja.



Slika 4. Povezivanje računara pomoću L2TP/IPsec [6]

Proces povezivanja pomoću L2TP/IPsec protokola jeste:

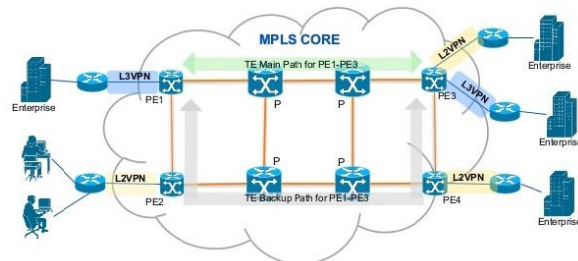
- Dogovaranje IPsec SA (*Security Association*) parametara, uobičajeno kroz IKE (*Internet Key Exchange*) a obavlja se preko UDP porta 500, korišćenjem deljenih unapred definisanih lozinki, javnih ključeva ili X.509 sertifikata na obe strane.
- Uspostavljanje ESP (*Encapsulation Security Payload*) komunikacije u transportnom modu. Polje Protokol u IP zaglavlju za ESP ima vrednost 50. U ovom trenutku uspostavljen je bezbedan kanal ali tunel još nije.
- Dogovaranje i uspostavljanje L2TP tunela između SA krajnjih tačaka. Pravo pregovaranje o parametrima se odvija preko SA obezbeđenog kanala sa IPsec enkripcijom. L2TP koristi UDP port 1701.

Godine 1990. ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) je smatran za idealno mrežno rešenje za prenos podataka različitih tipova i zahteva. ATM podatke prenosi pomoću virtuelnih kola kao i *Frame Relay*. Kasnije je IP (*Internet Protocol*) počeo da zamenjuje ATM tehnologiju i postaje najpopularniji mrežni protokol za prenos podataka. Ali

ATM je i dalje bio široko rasprostranjen i korišćen od strane telekomunikacionih provajdera. Od 1999. godine nacrt MPLS-a postao je IETF-ov (*Internet Engineering Task Force*) standard i ISP-ovi počinju da koriste taj koncept za IP/MPLS prenos preko uređaja starije ATM tehnologije.

Umesto normalnog rutiranja paketa preko IP mreža, MPLS se koristi izvornim IP adresama za odabir putanje kroz mrežu. Koristi se i u slučajevima privatnih kompanijskih mreža za povezivanje udaljenih lokacija, za prenos u satelitskim mrežama i mrežama mobilne telefonije.

MPLS je skalabilan transportni protokol nezavisan od protokola na nivoima OSI modela koji su ispod njega. U MPLS mreži paketima sa podacima se dodeljuju labele. Upućivanje paketa dalje kroz mrežu se izvršava isključivo na osnovu labele bez ikakve potrebe da se ispita paket ili sadržaj paketa. MPLS kreira virtuelna kola sa kraja na kraj bilo kog tipa transportnog medijuma. Osnovna prednost je što se eliminiše zavisnost od tehnologije drugog nivoa OSI (*Open Systems Interconnection*) referentnog modela kao što su ATM, *Frame Relay*, SONET ili Ethernet. MPLS radi na nivou koji se generalno smatra 2,5 nivoom, odnosno na delu između 2. i 3. nivoa OSI modela. Može biti korišćen za prenos mnogih različitih tipova saobraćaja, uključujući IP pakete, ATM, SONET i Ethernet ramove. Slika 5 predstavlja jedan od mogućih scenarija korišćenja različitih vrsta MPLS konekcija kroz mrežu provajdera.



Slika 5. Primer korišćenja MPLS-a [7]

6. PROTOKOLI KRIPTOVANIH VPN

SSL/TLS (*Secure Socket Layers/Transport Layer Security*) je kriptografski protokol koji se koristi da tuneluje saobraćaj kompletne mreže kao što je to slučaj u OpenVPN projektu ili najčešće za obezbeđivanje individualnih konekcija od korisničkog računara do gejtveja na korporativnoj mreži ili do Internet sajta. SSL je bio osnova mnogih proizvođača softvera da omoguće VPN daljnjske pristupe. Prednost SSL VPN-a je da se sa njim može pristupiti sa lokacija gde je spoljni pristup ograničen na SSL-bazirane *E-commerce* sajtove bez primene IPsec-a. SSL VPN podložan je DoS (*Denial of Service*) napadima usmerenim na TCP (*Transmission Control Protocol*) konekcije. Ograničen je na upotrebu aplikacija koje razumeju HTML/HTTP (*HyperText Markup Language/Hypertext Transfer Protocol*), a radi na aplikacionom nivou OSI modela.

Neke razvijenije verzije našle su upotrebu i u novije vreme. DTLS (*Datagram Transport Layer Security*) korišćen u programu nove generacije Cisco AnyConnect VPN prevazilazi probleme DoS napada kada se koristi tunel

TCP-TCP kao što je to slučaj sa SSL/TLS. SSTP (*Secure Socket Tunneling Protocol*) razvijen od strane Microsoft-a je primenjen u Windows Server 2008 i u Windows Vista SP1 OS. SSTP tuneluje PPP ili L2TP kroz SSL 3,0 kanal. Od verzije SSL 3,0 nastao je TLS 1,0 1999. godine a danas je u upotrebi TLS 1,2.

Primarno se koristi u aplikacijama za otvaranje Internet stranica, elektronsku poštu, Internet faks, instant poruke, i VoIP (*Voice over IP*). TLS protokol omogućava privatnost podataka i integritet podataka između aplikacija dve strane koje komuniciraju. TLS karakteristike jesu:

- Konekcija je privatna (bezbedna) zato što je primenjena simetrična kriptografija da kriptuje protok podataka. Generišu se unikatni ključevi za svaku konekciju i dogovaraju se na početku svake sesije (*TLS handshake*). Server i klijent pregovaraju o algoritmu za kriptovanje i o ključevima pre nego što pošalju prvi bajt podataka. Pregovaranje je takođe bezbedno i pouzdano.
- Identitet strana koje komuniciraju može biti proveren i autentifikovan korišćenjem PKI (*Public Key Infrastructure*) kriptografije i sistema ključeva.
- Konekcija garantuje integritet podataka zato što je svaka poruka poslata sadržavajući proveru integriteta poruke MAC (*Message Authentication Code*) kodom i procesom da onemoguću nedetektovanu izmenu podataka u toku prenosa.

IPsec je protokol stek koji podrazumeva korišćenje više protokola radi ostvarivanja bezbedne konekcije. Autentifikuje i kriptuje pakete podataka koji se dalje šalju preko mreže. Sadrži protokole za međusobnu autentifikaciju između strana na početku sesije i pregovore o kriptografskim ključevima koji se koriste tokom sesije. Može da zaštiti saobraćaj između para hostova (*host-to-host*), između para bezbednosnih gejtveja (*network-to-network*), ili između bezbednosnog gejtveja i hosta (*network-to-host*). IPsec radi preko IP mreža, podržava autentifikaciju hostova na mrežnom nivou, autentifikaciju porekla podataka, integritet podataka, poverljivost podataka, i zaštitu od dupliranja paketa podataka (*replay protection*). Integrisan je u IPv6.

IPsec SA (*Security Association*) kreiraju se za svako podudaranje u ACL. ACL mora biti određena u kriptu mapi da bi paketi definisani mapom bili kriptovani i transportovani. Takve ACL tipično sadrže više linija koje definišu saobraćaj zanimljiv za transport i kriptovanje. Svaka SA ima svoj ESP ili AH (*Authentication Headers*) redni broj.

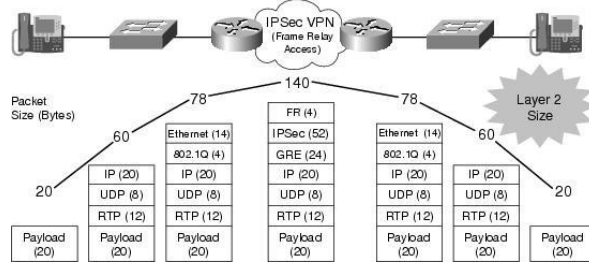
IPsec može da radi na tri različita načina:

- Tunelski režim bez kriptovanog IP GRE (*Generic Routing Encapsulation*) tunela.
- Transportni režim sa kriptovanim IP GRE tunelom.
- Tunelski režim sa kriptovanim IP GRE tunelom.

Tunelski režim bez kriptovanog IP GRE tunela prenosi samo unikat saobraćaj. Ovaj režim ne može da podrži potrebe svih aplikacija ali njegova prednost je u malom opterećenju procesora krajnjih tačaka u komunikaciji upoređena sa ostalim režimima.

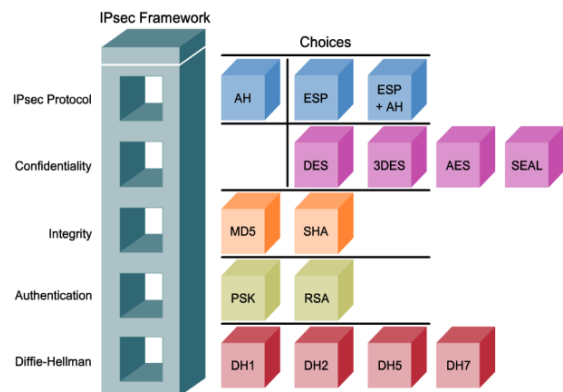
Transportni režim sa kriptovanim IP GRE tunelom je najčešće korišćen režim IPsec-a zato što omogućuje sve prednosti IP GRE tunela, kao što je rad sa multikast

saobraćajem i dinamičkim protokolima za rutiranje. Osim toga svaki paket je manji za 20 bajta u odnosu na IPsec tunelski režim, jer kriptovanjem IP GRE tunela dodatno IP zaglavlje nije potrebno. Iako ovaj režim smanjuje upotrebu propusne moći linka ne omogućuje smanjivanje rada procesora na uređaju zato što se količina paketa u sekundi nije smanjila, a protok paketa u sekundi primarno utiče na performanse procesora. Slika 6 daje primer kako se menja veličina rama (nivo 2 OSI modela) u skladu sa promenom broja zaglavlja paketa i promenom veličine zaglavlja, osim toga uočljivo je da je najmanje zauzeće kanala prenosa sa korisnom informacijom, i da su većina informacija u stvari zaglavlja u slučaju prenosa govornog sadržaja.



Slika 6. Promena veličine rama kroz mrežu za G.729 VoIP saobraćaj [8]

Tunelski režim sa kriptovanim IP GRE tunelom je preporučena konfiguracija za IPsec VPN. Iako podrazumeva najveće zaglavlje paketa od sva tri režima rada, omogućuje prenos multikast saobraćaja (na primer dinamički protokoli za rutiranje unutar tunela za rad rezervnih linija i multimedijalni saobraćaj), i podržava rad prefragmentacije za IPsec VPN. Slika 7 predstavlja šematski prikaz IPsec protokol steka koji je u stvari kostur za korišćenje ostalih protokola, oni svi zajedno čine IPsec.



Slika 7. IPsec protokol stek [9]

Proces ugovaranja IPsec parametara u toku kreiranja VPN konekcije, koji su deo IPsec protokol steka, vrši se pomoću posebnog protokol steka *Internet Key Exchange* (IKE). Ranije je bio poznat kao *Internet Security Association Key Management Protocol* – ISAKMP/Oakley. IKE može koristiti digitalne sertifikate (RSA – *Rivest-Shamir-Adleman*) ili predefinisane šifre (PSK – *Pre-Shared Key*) za autentifikaciju uređaja pre nego što započne ugovaranje korišćenja zajedničkih protokola IPsec steka za obe strane prenosa podataka [9].

AH protokol omogućava integritet podataka i potvrđuje poreklo podataka za IP pakete, pored toga pruža zaštitu od dupliranja paketa podataka (*replay protection*).

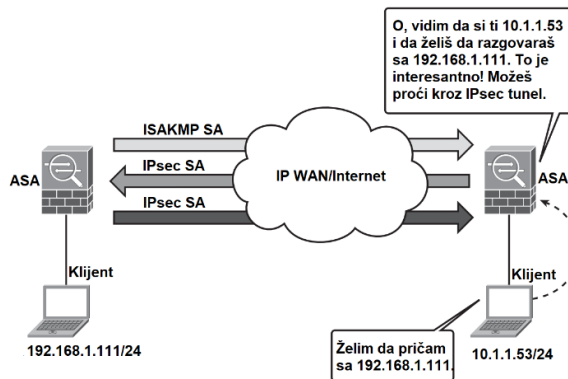
ESP (*Encapsulation Security Payload*) protokol omogućava poverljivost (AH ne), potvrđuje poreklo podataka za IP pakete, integritet podataka, pruža zaštitu od dupliranja paketa podataka (*replay protection*). Za razliku od AH, u transportnom režimu se ne omogućuje integritet i autentifikacija za ceo IP paket. U tunnelskom režimu gde se ceo originalni IP paket enkapsulira u okviru novog dodatog zaglavlja, ESP omogućava zaštitu kompletnog unutrašnjeg IP paketa uključujući i zaglavlje unutrašnjeg IP paketa, dok spoljašnje zaglavlje ostaje nezaštićeno. Funkcioniše direktno iznad IP.

DES (*Data Encryption Standard*), 3DES, AES (*Advanced Encryption Standard*) i SEAL (*Software-Optimized Encryption Algorithm*) su protokoli za kriptovanje podataka koji se koriste da obezbede poverljivost podataka koji se prenose. Koji će od navedenih protokola biti korišćen dogovara se kroz IKE protokol pre početka slanja podataka [9].

MD5 (*Message Digest algorithm 5*) i SHA (*Secure Hash Algorithm*) su protokoli koji služe da omoguće integritet i autentičnost podataka u toku prenosa kroz VPN konekciju. PSK i RSA koriste se za autentifikaciju strana koje učestvuju u prenosu podataka, odnosno uređaja koji šalju i primaju kriptovane podatke.

Diffie-Hellman je protokol koji koristi asimetrične ključeve i služi za inicijalnu razmenu simetričnih ključeva koji se kasnije koriste za prenos podataka.

Uspostavljanje konekcije kod IPsec se odvija u dve faze. Prva faza je ISAKMP SA faza otvaranje kanala upravljanja, i druga faza IPsec SA čija je uloga da otvori kanal za kriptovanje korisničkih podataka (Slika 8).



Slika 8. IPsec *site-to-site* uspostavljanje konekcije

Easy VPN (ezVPN) je poznat kao klijent-server VPN tehnologija bazirana na IPsec tehnologiji [10]. U originalu IPsec je *peer-to-peer* tehnologija gde su konfiguracije praktično simetrične na oba kraja IPsec tunela. Ideja ezVPN-a je da uprosti konfiguraciju na strani klijenta što je moguće više, dok na strani servera dodaje konfiguraciju. IPsec ima dve faze tokom uspostavljanja sigurne konekcije: 1. ISAKMP SA; 2. IPsec SA. Da bi se smanjila konfiguracija na strani klijenta morala je da se poveća na strani servera, tako da je dodata još jedna faza u uspostavi IPsec komunikacije, faza 1.5. Njena namena je da klijentu pošalje informacije o konfiguraciji i da izvrši dodatnu

autentifikaciju baziranu na imenu, *Xauth* (*X-Windows System*) ekstenzovanu autentifikaciju.

Sa ezVPN tehnologijom uspostavljanje VPN konekcije izgleda ovako:

- Faza 1 – klijent kontaktira server, šalje svoj ID (ime grupe) koristeći ISAKMP Agresivni mod ili sertifikat.
- Faza 1,5 – bazirano na konfiguraciji grupe, server može inicirati dodatni proces autentifikacije (*Xauth*) da potvrdi identitet korisnika. Posle uspešne autentifikacije, klijent šalje zahtev za konfiguraciju. Sa grupom i autentifikovanim korisnikom, server može da traži u lokalnoj bazi korisnika ili na AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*) serveru (npr. RADIUS – *Remote Authentication Dial-In User Service*) informacije o konfiguraciji, koja obično sadrži klijentovu VPN IP adresu, *Split-Tunnel ACL*, DNS/WINS (*Domain Name System/Windows Name System*) server, itd.
- Faza 2 – klijent dobija novu IP adresu i ostale informacije o konfiguraciji i pokušava da uspostavi IPsec SA sa *Split-Tunnel ACL* (koja definiše saobraćaj koji treba da se kriptuje) i novu VPN IP adresu. Suštinski *Split-Tunnel ACL* se koristi za kreiranje proksi identifikatora za fazu 2. Kako je konekcija uspostavljena server može da kreira statičke rute, koje će odgovarati klijentovoj VPN IP adresi koristeći proces *Reverse Route Injection* (RRI).

Generalno postoje dva režima ezVPN-a [10]. Prvi je poznat kao klijent režim (*Client-mode*) – server dodeljuje novu IP adresu i šalje je klijentu. Ukoliko je klijent ruter (ezVPN *Remote*) onda se posebno NAT (*Network Address Translation*) pravilo instalira automatski da prevodi unutrašnji korisnikov saobraćaj u VPN IP adresu koristeći PAT (*Port Address Translation*). Drugi režim rada, poznat kao mrežna ekstenzija (*Network-Extension*), funkcioniše tako što klijent ne šalje zahtev za novom IP adresom, nego koristi svoj unutrašnji mrežni interfejs za fazu 2 IPsec SA (*Proxy ID*). To je sličnije klasičnom IPsec VPN tunelu sa dodatim funkcijama kao što je autentifikacija korisnika, DNS server automatska konfiguracija, mogućnost dodavanja u DHCP listu, itd.

Mana je što ne podržava dinamičke protokole za rutiranje, što znači da nije ni predviđen da radi u okruženjima velikih i kompleksnih mreža, osim u slučaju da povezuje krajnje korisnike ili vrlo male lokalne mreže na ivice (*edge*) velikih multinacionalnih mreža.

7. DMVPN [17]

DMVPN (*Dynamic Multipoint VPN*) je forma VPN-a koja dinamički kreira VPN tunele između više krajnjih tačaka [11]. U zavisnosti od uređaja, DMVPN domen može skalirati do jako velikog broja krajnjih tačaka. Hijerarhijski je orijentisan i postoje glavni ruteri koji vrše funkcije formiranja DMVPN domena (*hub*) i ruteri koji su krajnje tačke u domenu (*spoke*) iza kojih se vezuju LAN-ovi. Osnovni elementi i protokoli koji se vezuju za DMVPN jesu:

- *Multipoint GRE* (mGRE) – GRE tunel koji spaja više od dve tačke (p2p).

- *Next-Hop Resolution Protocol (NHRP)* – L2 protokol, razrešava IP adrese tunela.
- *Dynamic Routing Protocol – EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway Protocol).*
- *Dynamic IPsec encryption* – dinamičko IPsec kriptovanje.
- *Cisco Express Forwarding (CEF).*

Osnovna prednost ove vrste VPN-a je da je lako proširiv (skalabilan) zato što postoji samo po jedan DMVPN tunel interfejs na svakom ruteru za svaki domen, za razliku od *site-to-site* VPN gde se moraju podešavati interfejsi na svakom uređaju za svaku pojedinačnu *point-to-point* konekciju što dovodi do ogromne količine linija konfiguracije za malo veću VPN mrežu.

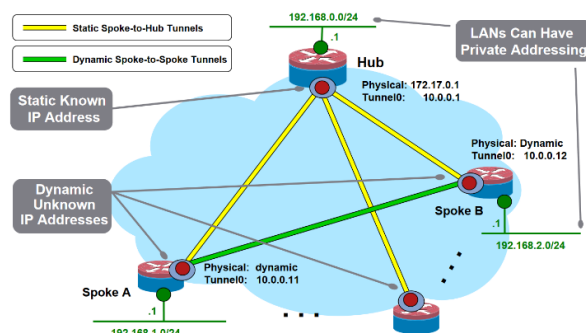
Druge najznačajnije osobine je da se može organizovati kao *full-mesh* ili *partial-mesh* po potrebi, gde saobraćaj između krajnjih tačaka (*spoke*) ne prelazi preko centralnih rutera (*hub*), i ne zauzima resurse mreže nepotrebno. Kritična tačka ove tehnologije je NHRP protokol koji razrešava spoljne IP adrese interfejsa rutera u unutrašnje IP adrese tunel interfejsa i na osnovu kojih se vrši dalje povezivanje domena i rutiranje saobraćaja.

Tuneli između *spoke*-ova se dinamički kreiraju po potrebi; kada ima saobraćaja tunel se uključi automatski, a kada saobraćaj prestane tunel posle određenog vremena nestane. Takođe se dinamički određuju i VPN podešavanja između uređaja, od ponuđenih mogućnosti uvek se bira najsigurnije odnosno podešavanje sa najjačim kriptovanjem. Predviđen je da radi preko javnog Interneta ili MPLS konekcija. Bez DMVPN-a ili nekog sličnog VPN-a teško je izvodljivo napraviti pouzdan i skalabilan WAN (*Wide Area Network*).

DMVPN je evoluirao kroz nekoliko faza:

- *Hub and Spoke* – mGRE Hub i p2p *Spokes* – topologija zvezda.
- *Spoke to Spoke* – mGRE *Hub* i mGRE *Spokes* – topologija *full-mesh*.
- *Scalable infrastructure* – rešava ograničenja NHRP-a i omogućava dalje skaliranje.

Slika 9 predstavlja osnovnu šemu mreže koja pripada drugoj fazi razvoja DMVPN-a, gde se uspostavljaju veze između svih tačaka i koja u najrazvijenijem obliku predstavlja *full-mesh* topologiju.



Slika 9. DMVPN – *spoke-to-spoke* topologija mreže [12]

8. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se na jednom mestu da pregled VPN tehnologija sa njihovim osnovnim karakteristikama, prednostima i nedostacima, kako bi se moglo napraviti njihovo poređenje. Iskustvom autora i analizom VPN tehnologija došlo se do zaključka da je dinamička virtualna privatna mreža sa više tačaka, DMVPN, jedno od najboljih rešenja, a naročito ukoliko postoji potreba da se VPN primeni na veće kompanije koje imaju dinamičan razvoj i veći broj geografski udaljenih lokacija koje po potrebi treba povezati ili isključiti iz VPN mreže.

Osnovna prednost DMVPN-a je skalabilnost, jer omogućava lako proširivanje zaštićene mreže. Druga prednost je što omogućava da se resursi mreže ne zauzimaju nepotrebno jer se može organizovati kao *full-mesh* ili *partial-mesh* po potrebi, gde saobraćaj između krajnjih tačaka (*spoke*) ne prelazi preko centralnih rutera (*hub*).

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Izradu ovog rada pomogao je Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru projekta pod nazivom „Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije”.

LITERATURA

- [1] Liyi Zhao, Naeem Haris, Gohar Saeed, *Virtual Private Network Technology*, Uppsala University Sweden, 2007.
- [2] Alexander S. Gillis, *VPN (Virtual Private Network)*, TechTarget, 2021.
- [3] Paul Ferguson, Geof Huston, *What Is a VPN? – Part I*, The Internet Protocol Journal, Volume 1, Number 1, Cisco News Publications Group, June 1998.
- [4] <http://dipankarnalui.blogspot.rs/2015/11/types-of-vpn-remote-access-vpn-intranet.html>, Januar 2023.
- [5] Tutorial, *Configuring PPTP Through PAT to a Microsoft PPTP Server*, Document ID:12483, Cisco, 2006.
- [6] Tutorial, *Configuring Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) over IPsec*, Document ID:14122, Cisco, 2006.
- [7] Jessica Wei, *MPLS Traffic Engineering*, APNIC 44, Taichung, Taiwan, 2017.
- [8] Tim Szigeti, Christina Hattingh, Robert Barton, Kenneth Briley, *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks*, 2nd Edition, Cisco Press, 2013.
- [9] <http://sclabs.blogspot.rs/2012/11/ccna-security-chapter-8-implementing.html>, Januar 2023.
- [10] Cisco Documentation, *Cisco Easy VPN Remote*, Cisco Systems, 2003.
- [11] Petr Lapukhov, *Dynamic Multipoint VPN (DMVPN) Explained*, INE, ine.com, 2008.
- [12] Stephen Lynn, *DMVPN/GET VPN Design & Case Study*, Cisco Systems, 2008.

UPOREDNA ANALIZA NEKONTROLISANIH I KONTROLISANIH MIMO KASKADNIH NELINEARNIH SISTEMA

COMPARATIVE ANALYSIS OF UNCONTROLLED AND CONTROLLED MIMO CASCADE NONLINEAR SYSTEMS

Bojana M. Zlatković¹, Biljana Samardžić²
 Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu¹
 Univerzitet u Nišu, Prirodno - matematički fakultet²

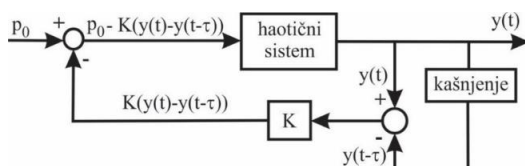
Sadržaj – U ovom radu je izvršena uporedna analiza dinamike nekontrolisanog i kontrolisanog MIMO kaskadnog nelinearnog sistema korišćenjem bifurkacionog dijagrama i faznih portreta. Simulacija je izvršena na primeru MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema korišćenjem MATLAB M – fajlova. Pošto je jedna od karakteristika ovih sistema mogućnost pojave prostornog hiperhaosa, veoma je važno upravljati haotičnim MIMO sistemima. Kontrola MIMO2 sistema je izvršena pomoću modifikovanog Piragas – ovog metoda.

Abstract – This paper considers the comparative analysis of the dynamics of uncontrolled and controlled MIMO cascade nonlinear system using bifurcation diagram and phase portraits. Simulations are performed on the example of MIMO2 cascade nonlinear system using MATLAB M – files. Since, the one of the characteristics of these systems is the possibility of spatial hyperchaos appearance, it is very important to control chaotic MIMO systems. Control is done by applying the modified Piragas method.

1. UVOD

Piragasov metod je dobro poznat metod upravljanja koji se koristi za stabilizaciju nestabilnih periodičnih orbita i haosa, [1, 2]. Ovaj metod se zasniva na primeni povratne sprege čiji je upravljački signal proporcionalan razlici trenutnog izlaza i zakašnjenog izlaza sistema. Blok dijagram Piragasovog metoda upravljanja je predstavljen na Slici 1. Na slici su prikazani sledeći signali:

- $y(t)$ - izlazna promenljiva,
- τ - vreme kašnjenja,
- K - pojačanje negativne povratne sprege,
- $K(y(t) - y(t - \tau))$ - upravljački signal,
- p_0 - vrednost ulaznog signala za koju dinamički sistem ima nestabilnu periodičnu orbitu sa periodom τ ,
- $p_0 - K(y(t) - y(t - \tau))$ - novi kontrolisani ulaz u sistem.



Slika 1. Blok dijagram Piragasovog metoda upravljanja

U radu [3] prvi put je predstavljen modifikovani Piragasov metod upravljanja prostornim graničnim skupovima i haosom u MIMO kaskadnim nelinearnim sistemima. U ovim sistemima pojava prostornih graničnih skupova i haosa posledica je širenja signala kroz prostor, odnosno kroz podsisteme MIMO kaskadnih nelinearnih sistema. Ovakvi sistemi se mogu naći u industriji obrade plastičnih materijala, u industriji auto guma gde postoje sistemi koji se sastoje od kaskadno povezanih transporterata koji se koriste za transport trake, plastičnih ili gumenih materijala. Takođe, u [3] je napravljena analogija između vremenskog kašnjenja originalnog Piragasovog metoda, [1], i prostornog kašnjenja modifikovanog Piragasovog metoda. Primenom modifikovanog Piragasovog metoda, dinamika MIMO sistema se kreće od prostornih graničnih skupova i oblasti haosa u oblast prostorne stabilnosti. Prvo, na osnovu dijagrama prostornih faznih portreta, dobijaju se vrednosti parametara nekontrolisanih MIMO kaskadnih nelinearnih sistema za koje se pojavljuju prostorni granični skupovi i haos. Nakon toga, korišćenjem izabranih vrednosti kontrolnog parametra u modifikovanom Piragasovom metodu, kontrolišu se prostorni granični skupovi i haos. Za MIMO kaskadne nelinearne sisteme sa n ulaza i n izlaza, prostorni fazni portreti graničnih skupova i haosa su prikazani u faznom prostoru (x_1, x_2, \dots, x_n) , gde je $x_i, i = \overline{1, n}$ vektor svih izlaza i -ih kaskada. Zbog toga je na istoj slici (prostorni fazni portret), za konstantnu vrednost promenljivog parametra l_n , prikazana dinamika svih kaskada (podsistema).

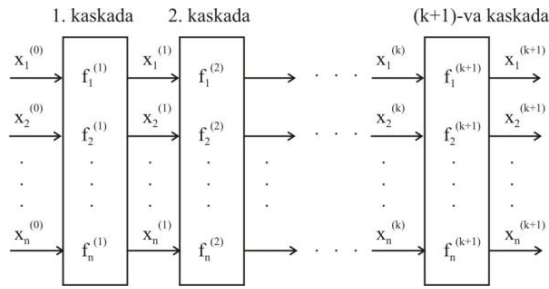
U ovom radu je korišćen bifurkacioni dijagram, [4-10], u analizi primene modifikovanog Piragasovog metoda upravljanja. U slučaju MIMO sistema sa velikim brojem kaskada, praćenje dinamike celog sistema, korišćenjem bifurkacionog dijagrama, zasniva se na praćenju svih izlaza poslednje kaskade u funkciji promenljivog parametra sistema.

2. MIMO KASKADNI NELINEARNI SISTEM I PIRAGASOV METOD

MIMO kaskadni nelinearni sistem sa n ulaza i n izlaza sastoji se od velikog broja nelinearnih podsistema. Ovi podsistemi su iste strukture, Slika 2, i svaka kaskada je definisana sledećim skupom jednačina:

$$\begin{aligned}
x_1^{(i+1)} &= f_1^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_2^{(i)} \\
x_2^{(i+1)} &= f_2^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_3^{(i)} \\
&\vdots \\
x_{n-1}^{(i+1)} &= f_{n-1}^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_n^{(i)} \\
x_n^{(i+1)} &= f_n^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = \\
&= -l_1 x_n^{(i)} - l_2 x_{n-1}^{(i)} - \dots - l_n x_1^{(i)}, i = \overline{0, k}
\end{aligned} \tag{1}$$

gde su $l_j = l_j(\mathbf{x}^{(i)})$, $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{0, k}$ nelinearne funkcije čiji je argument ulazni vektor svake kaskade $\mathbf{x}^{(i)} = [x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}]$, $i = \overline{0, k}$. Ovaj kaskadni sistem ima ukupno $k + 1$ kaskada. Broj $i + 1$ u zagradama je redni broj svake kaskade. Skup funkcija $f_m^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$, $m = \overline{1, n}$, $i = \overline{0, k}$ je isti za svaku kaskadu. Funkcije $f_m^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$, $m = \overline{1, n-1}$, $i = \overline{0, k}$ su linearne, a samo je funkcija $f_n^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$, $i = \overline{0, k}$ nelinearna. Ulazni vektor prve kaskade MIMO sistema sa Slike 2. je označen sa $\mathbf{x}^{(0)} = [x_1^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}]$.



Slika 2. MIMO kaskadni nelinearni sistem sa n ulaza i n izlaza

Modifikovan Piragasov metod primenjen je na MIMO sistemu sa n ulaza i n izlaza i prikazan je na Slici 3. Matematički model svake kontrolisane kaskade je opisan sledećim relacijama:

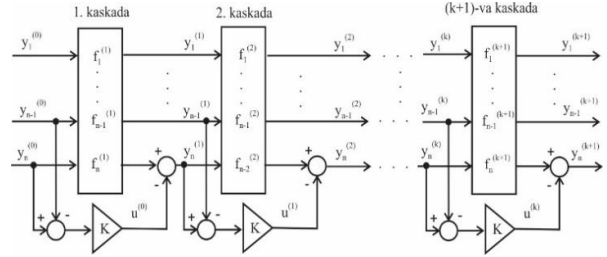
$$\begin{aligned}
y_1^{(i+1)} &= f_1^{(i+1)}(y_1^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}) = y_2^{(i)} \\
y_2^{(i+1)} &= f_2^{(i+1)}(y_1^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}) = y_3^{(i)} \\
&\vdots \\
y_{n-1}^{(i+1)} &= f_{n-1}^{(i+1)}(y_1^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}) = y_n^{(i)} \\
y_n^{(i+1)} &= f_n^{(i+1)}(y_1^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}) - u^{(i)} = \\
&= -l_1 y_n^{(i)} - l_2 y_{n-1}^{(i)} - \dots - l_n y_1^{(i)} - u^{(i)} \\
u^{(i)} &= K(y_n^{(i)} - y_{n-1}^{(i)}), i = \overline{0, k}
\end{aligned} \tag{2}$$

gde su $l_j = l_j(\mathbf{y}^{(i)})$, $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{0, k}$ nelinearne funkcije čiji je argument ulazni vektor svake kaskade $\mathbf{y}^{(i)} = [y_1^{(i)}, \dots, y_n^{(i)}]$, $i = \overline{0, k}$.

Ulazi u prvu kaskadu kontrolisanog MIMO kaskadnog sistema, (2), $\mathbf{y}^{(0)} = [y_1^{(0)}, \dots, y_n^{(0)}]$ i ulazi u prvu kaskadu

nekontrolisanog MIMO kaskadnog sistema $\mathbf{x}^{(0)} = [x_1^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}]$ su jednaki, tj., $\mathbf{y}^{(0)} = \mathbf{x}^{(0)}$.

U ovom slučaju razlika $y(t) - y(t-\tau)$ u Piragasovom metodu, [1], je zamenjena razlikom signala $y_n^{(i)} - y_{n-1}^{(i)} = y_n^{(i)} - y_{n-1}^{(i-1)}$, [3]. Odatle je upravljanje $(i + 1)$ -om kaskadom, proporcionalno razlici n -tog i $n-1$ ulaznog signala iste kaskade, $u^{(i)} = K(y_n^{(i)} - y_{n-1}^{(i)})$. K je kontrolni parametar.



Slika 3. Modifikovan Piragasov metod upravljanja MIMO kaskadnim nelinearnim sistemom sa n ulaza i n izlaza

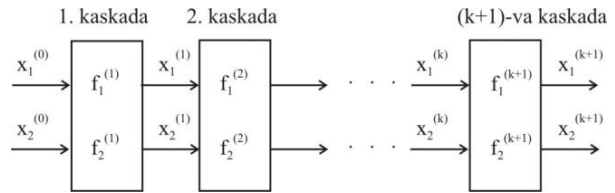
3. ANALIZA DINAMIKE NEKONTROLISANOG I KONTROLISANOG MIMO2 SISTEMA

MIMO2 kaskadni nelinearni sistem koji se sastoji od $k + 1 = 5000$ kaskada dat je na Slici 4. Svaka kaskada je opisana sledećim skupom jednačina:

$$x_1^{(i+1)} = f_1^{(i+1)}(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}) = x_2^{(i)} \tag{3}$$

$$x_2^{(i+1)} = f_2^{(i+1)}(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}) = -l_1 x_2^{(i)} - l_2 x_1^{(i)}$$

gde je $l_1 = (x_1^{(i)})^3 - 1$, $l_2 = const$, $i = 0, \dots, 4999$. Ulazi u prvu kaskadu su $x_1^{(0)} = 0$ i $x_2^{(0)} = 1.1$.



Slika 4. MIMO2 kaskadni nelinearni sistem sa 2 ulaza i 2 izlaza

Za promenljivi parametar izabran je parametar l_2 . U zavisnosti od vrednosti ovog parametra u sistemu može doći do pojave prostornih graničnih skupova i haosa.

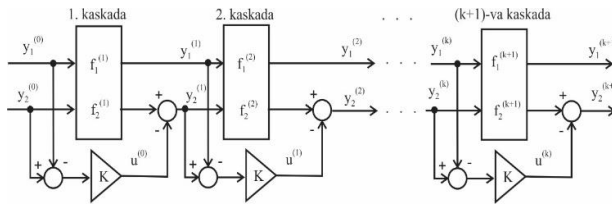
Na Slici 5 je predstavljen kontrolisan MIMO2 kaskadni nelinearni sistem sa dva ulaza i dva izlaza. Svaka kaskada ovog kontrolisanog MIMO2 sistema je opisana sledećim jednačinama:

$$y_1^{(i+1)} = f_1^{(i+1)}(y_1^{(i)}, y_2^{(i)}) = y_2^{(i)}$$

$$y_2^{(i+1)} = f_2^{(i+1)}(y_1^{(i)}, y_2^{(i)}) - u^{(i)} = -l_1 y_2^{(i)} - l_2 y_1^{(i)} - u^{(i)}$$

$$u^{(i)} = K(y_2^{(i)} - y_1^{(i)}) \quad (4)$$

Ulazi u prvu kaskadu kontrolisanog kaskadnog sistema (4) su jednaki ulazima u prvu kaskadu nekontrolisanog MIMO2 sistema. U jednačini (4) $u^{(i)}$ je upravljački signal koji kontroliše drugi izlaz $(i + 1)$ -ve kaskade. Upravljački signal je dobijen uspostavljanjem analogije između sistema datih na slikama 4 i 5. Razlika signala $y(t) - y(t - \tau)$ sa Slike 4 analogna je razlici između drugih izlaza dve susedne kaskade date na Slici 5, tj., $y_2^{(i)} - y_2^{(i-1)}$, $i = \overline{1, k}$. Na taj način signal $y(t - \tau)$ je zamenjen drugim izlazom predhodne kaskade, $y_2^{(i-1)}$, $i = \overline{1, k}$. Time je uspostavljena analogija između vremenskog i prostornog kašnjenja. Na osnovu prve jednačine iz skupa jednačina (4), dobija se: $y_2^{(i-1)} = y_1^{(i)}$, tj., $y_2^{(i)} - y_2^{(i-1)} = y_2^{(i)} - y_1^{(i)}$. U ovom slučaju upravljački signal $u^{(i)} = K(y_2^{(i)} - y_1^{(i)})$ deluje na drugi izlaz svake $(i + 1)$ -ve kaskade i ovaj kontrolisan izlaz postaje drugi ulaz sledeće $(i + 2)$ -ge kaskade.



Slika 5. Modifikovan Piragasov metod kod MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema

Uporedna analiza dinamike nekontrolisanog i kontrolisanog MIMO kaskadnog nelinearnog sistema je izvršena korišćenjem bifurkacionog dijagrama i faznih portreta.

Na Slici 6 su pretstavljene fazni portreti nekontrolisanog i kontrolisanog MIMO kaskadnog nelinearnog sistema za različite vrednosti kontrolnog parametra l_2 . Fazni portreti se crtaju u faznom prostoru (x_1, x_2, \dots, x_n) gde je $x_i, i = \overline{1, n}$ vektor svih i -tih izlaza kaskada. Fazni portreti pokazuju dinamiku svih kaskada na istoj slici za datu vrednost kontrolnog parametra l_2 .

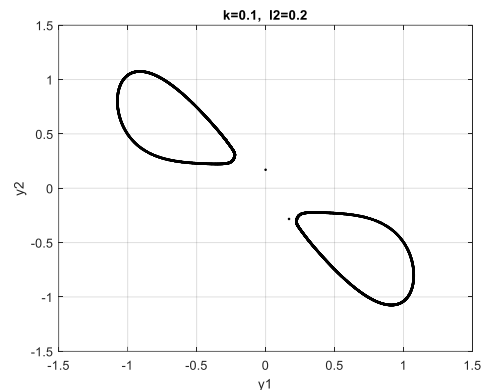
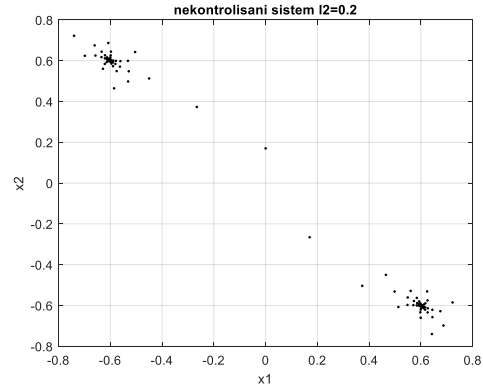
Na slici 6a) su dati fazni portreti za vrednost $l_2 = 0.2$. Kod nekontrolisanog MIMO2 sistema se dobijaju dva fokusa koji odgovaraju dvema granama u bifurkacionom dijagramu, Slika 7., a korišćenjem Piragasovog metoda sistem postaje stabilan što pokazuju dva stabilna granična kruga.

Na slici 6b) su dati fazni portreti za vrednost $l_2 = 0.6$. Kod nekontrolisanog MIMO2 sistema se dobija jedan fokus koji odgovara jednoj grani u bifurkacionom dijagramu, a korišćenjem Piragasovog metoda sistem postaje stabilan (dva stabilna granična kruga).

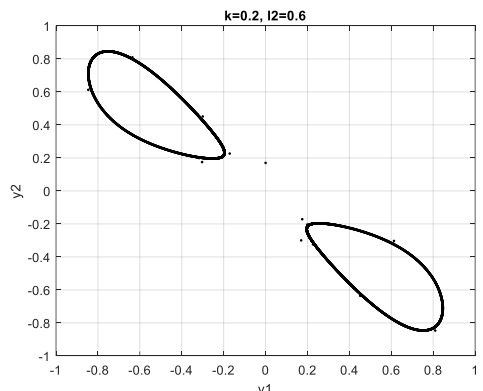
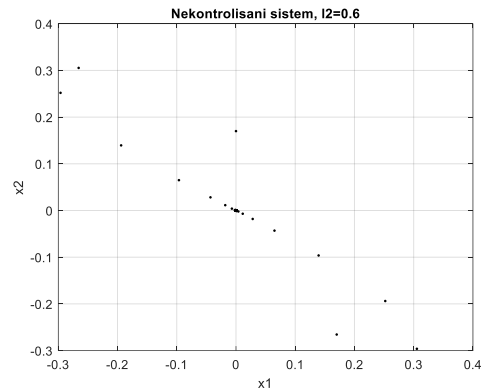
Na slici 6c) su dati fazni portreti za vrednost $l_2 = 0.1$. Kod nekontrolisanog MIMO2 sistema se dobija jedan stabilan

fokus, a korišćenjem Piragasovog metoda upravljanja sistem postaje nestabilan (prostorni kaos).

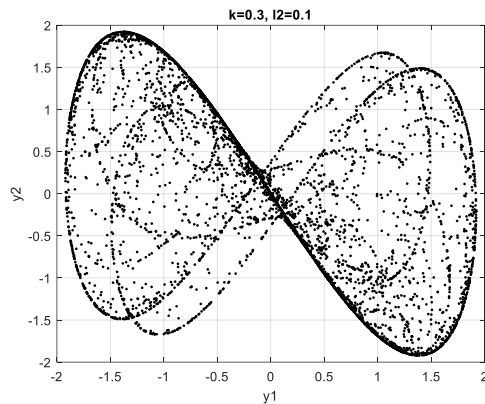
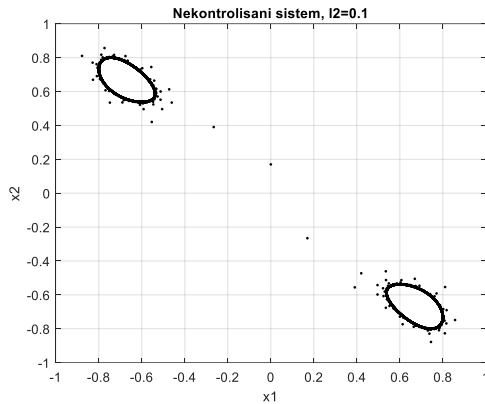
Na slikama je prikazano kako se menja dinamika sistema u zavisnosti od promene kontrolnog parametra i pojačanja k .



a) $l_2 = 0.2$

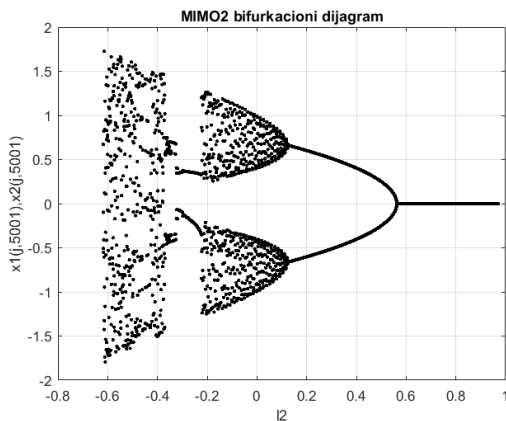


b) $l_2 = 0.6$



c) $l_2 = 0.1$

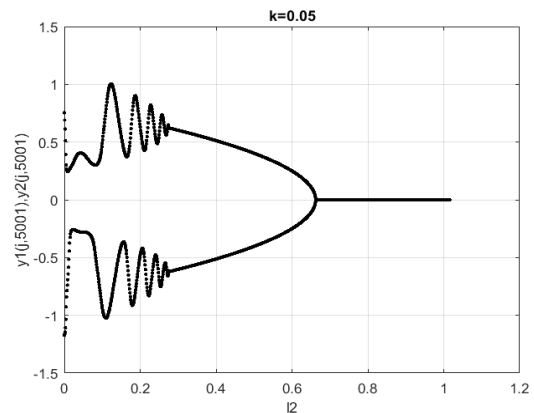
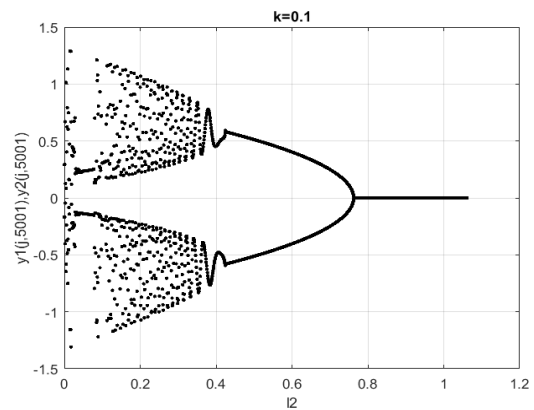
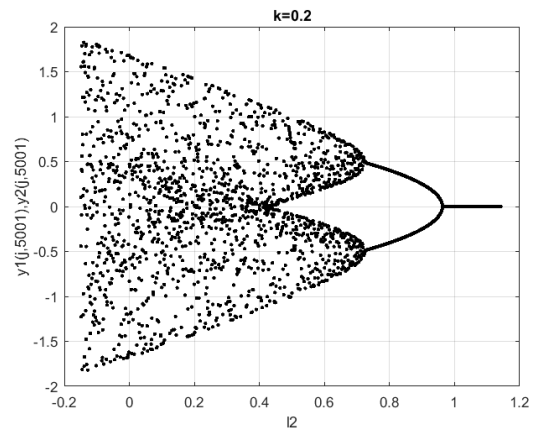
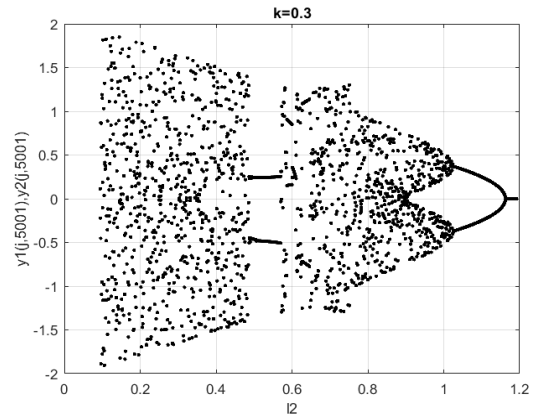
Slika 6. Fazni portreti nekontrolisanog i kontrolisanog MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema za različite vrednosti kontrolnog parametra l_2 .



Slika 7. Bifurkacioni dijagram nekontrolisanog MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema.

Na Slici 7. je na bifurkacionom dijagramu nekontrolisanog MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema predstavljena zavisnost svih izlaza poslednje kaskade od kontrolnog parametra l_2 . Za $l_2 < -0.4$ sistem je u obalsti prostornog haosa.

Na Slici 8. su predstavljeni bifurkacioni dijagrami kontrolisanog MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema za različite vrednosti pojačanja k . Može da se vidi da pojačanje utiče i na opseg kontrolnog parametra l_2 . Sa smanjenjem pojačanja sistem prelazi iz prostornog haosa u oscilatorni režim što se vidi sa bifurkacionih dijagrama.



Slika 8. Bifurkacioni dijagrami kontrolisanog MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema za različite vrednosti k .

4. ZAKLJUČAK

Analiza dinamike nekontrolisanog i kontrolisanog MIMO kaskadnog nelinearnog sistema je izvršena u ovom radu korišćenjem bifurkacionog dijagrama i faznih portreta. Zbog mogućnosti pojave prostornog haosa od velike je važnosti upravljanje ovim sistemima. U radu je korišćen modifikovani Piragasov metod za stabilizaciju nestabilnih periodičnih orbita i haosa. Simulacija je izvršena na primeru MIMO2 kaskadnog nelinearnog sistema korišćenjem MATLAB M – fajlova.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Autori se zahvaljuju podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije realizovanoj kroz projekat No. OI 171025, Funder ID: 451-03-47/2023-01/200124.

LITERATURA

- [1] K. Pyragas, “Delayed feedback control of chaos,” *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 364(1846), pp. 2309–2334, 2006, doi:10.1098/rsta.2006.1827.
- [2] W. Perruquetti and J.P. Barbot, *Chaos in Automatic Control*, Taylor&Francis, 2005.
- [3] Zlatkovic, B. M.; Samardzic, B., “Analysis and control of spatial limit sets and spatial chaos appearance in MIMO cascade connected nonlinear systems”, *Asian journal of control*, Vol. 21, No.5, 2019, doi:10.1002/asjc.1860.
- [4] K. T. Alligood, T. D. Sauer and J. A. Yorke, *Chaos, An introduction to dynamical systems*, Springer (1997).
- [5] S.Lefschetz, *Differential equations: Geometric theory*, Dower Publications, New York (1990).
- [6] P. Agathomeis, E.I. Jury and M. Mansour, “Criteria for Absence of Limit Cycles in Two-dimensional Discrete Systems,” *IEEE Trans. ONASSP*, Vol. 32, No. 2, pp. 432-434, 1984.
- [7] B. Dankovic, M. Stankovic and B. Vidojkovic, “Simulation of convergent, oscillatory and chaotic dynamics of cascade systems,” *The 7th Symposium of Mathematics and its Applications, Proceedings, Timisoara*, pp. 101-106, 1997.
- [8] B. Dankovic, B. Vidojkovic and B. M. Vidojkovic, “On the chaos in cascade systems for rubber strip transportation,” *The Fourth International Conference, Heavy Machinery, Proceedings, HM 2002, Serbia*, pp. A. 97 – A 100, 2002.
- [9] B. Samardzic and B. M. Zlatkovic, “Simulation of bifurcation and escape-time diagrams of cascade-connected nonlinear systems for rubber strip transportation,” *Nonlinear Dynamics*, Vol 67, No. 2, pp. 1105 – 1113, 2012, doi:10.1007/s11071-011-0054-y.
- [10] B. Samardzic and B. M. Zlatkovic, “Analysis of spatial chaos appearance in cascade connected nonlinear electrical circuits,” *Chaos, solitons and fractals: the interdisciplinary journal of Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena*, Vol. 95, pp. 14–20, 2017, doi: 10.1016/j.chaos.2016.12.003.

ANALIZA STABILNOSTI MIMO KASKADNIH NELINEARNIH SISTEMA SA SLUČAJNIM PARAMETRIMA

STABILITY ANALYSIS OF MIMO CASCADE NONLINEAR SYSTEMS WITH UNCERTAIN PARAMETERS

Bojana M. Zlatković¹, Biljana Samardžić²
Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu¹
Univerzitet u Nišu, Prirodno - matematički fakultet²

Sadržaj – U radu se analizira problem stabilnosti MIMO kaskadnih nelinearnih sistema sa slučajnim parametrima. Pošto se u ovim sistemima često javlja stohastički hiperhaos, izborom adekvatnih vrednosti parametara može se sprečiti njegova pojava i postići maksimalna stabilnost sistema. Rezultati analize stabilnosti stohastičkog MIMO5 sistema sa normalnom raspodelom parametara predstavljeni su simulacijom bifurkacionih dijagrama i prostornim faznim portretima korišćenjem MATLAB - ovih M-fajlova.

Abstract - The stability problem of MIMO cascade nonlinear systems with uncertain parameters is analyzed in this paper. Since stochastic hyperchaos often occurs in these systems, its appearance can be prevented and the maximum stability can be achieved by choosing the adequate parameters values. Stability analysis results for stochastic MIMO5 system with normal parameters distribution are presented by bifurcation diagram and spatial phase portraits simulated using MATLAB M-files.

1. UVOD

Sistemi sa slučajnim parametrima ili drugačije nazvani nesavršeni sistemi se često koriste u procesnoj industriji, hemijskoj industriji, industriji gume i industriji plastičnih materijala, [1-3]. Često ovi sistemi imaju problem da ispravno rade jer se vrednosti njihovih parametara obično razlikuju od nominalnih vrednosti. Parametri se prirodno menjaju i mogu dovesti do neželjenog odziva sistema. U tom slučaju je od velike važnosti unapred proceniti uticaj stohastičkih parametara na osobine sistema.

Stabilnost je važno pitanje u mnogim inženjerskim primenama. Stabilnost sistema je određena vrednošću parametara. Za konstantne vrednosti parametara sistem može biti stabilan ili nestabilan, dok je za slučajne vrednosti parametara sistem stabilan sa određenom verovatnoćom koja se naziva verovatnoća stabilnosti. Izračunavanje verovatnoće stabilnosti omogućava određivanje takvih vrednosti parametara za koje sistem ima maksimalnu stabilnost.

Osnovne metode za procenu verovatnoće stabilnosti za kontinualne sisteme date su u radovima [4-7], a osnovni uslovi stabilnosti diskretnih sistema u [8]. Metod za procenu verovatnoće stabilnosti linearnih diskretnih sistema sa slučajnim parametrima dat je u radovima [9-12]. Realna vrednost ove procene je u njenoj praktičnoj primeni. Rezultate, koji se dobijaju ovom procenom,

inženjeri mogu da koriste da redizajniraju sistem i poboljšaju neke osobine, npr., stabilnost, pouzdanost, itd. Na taj način se mogu izbeći mnogi problemi kao što su nestabilnost, pojava haosa, otkaz komponenti ili otkaz celog sistema.

Ovaj metod ima praktičnu primenu u analizi stabilnosti nesavršenih sistema, tj., sistema sa slučajnim parametrima. U ovom radu se razmatra problem stabilnosti MIMO kaskadnih nelinearnih sistema sa parametarskom nesavršenošću primenom metoda za procenu verovatnoće stabilnosti, [12].

Poslednjih decenija, MIMO (Multiple Input Multiple Output) kaskadni nelinearni sistemi postaju sve više i više korišćeni u industrijskim primenama. Realni MIMO kaskadni nelinearni sistemi u industriji obično imaju slučajne parametre. Neodređenosti ozbiljno pogoršavaju performanse MIMO kaskadnih nelinearnih sistema. Upravljanje MIMO kaskadnim nelinearnim sistemima sa slučajnim parametrima jedan je od najtežih problema [13 – 15].

Jedna od osobina MIMO kaskadnih nelinearnih sistema je pojava prostornog hiperhaosa. Hiperhaos, koji je prvi predložio Rössler, [16], može se pojaviti samo u sistemima višeg reda od tri. Hiperhaotični sistemi su haotični sistemi sa više od jednog pozitivnog Ljapunovljevog eksponenta i haotična dinamika sistema se širi u više smerova. Hiperhaotični sistemi su osetljiviji, pseudoslučajni, što ih čini pogodnijim za primene od haotičnih sistema, [17-19]. Pošto se prostorni hiperhaos često javlja u MIMO kaskadnim nelinearnim sistemima, njegova pojava se može sprečiti izborom odgovarajućih vrednosti parametara. Adekvatnim izborom vrednosti parametara može se povećati verovatnoća stabilnosti što je veoma važno za stabilnost sistema.

Razvijeni su mnogi pristupi i u ovom radu je korišćen metod za procenu verovatnoće stabilnosti.

Na osnovu analogije između nelinearnih diskretnih sistema i MIMO kaskadnih nelinearnih sistema sa konstantnim parametrima, [13], ovaj metod je izvodljiv za procenu verovatnoće stabilnosti u kaskadno povezanim sistemima koji se sastoje od velikog broja MIMO (Multiple Input Multiple Output) nelinearnih podsistema iste strukture sa slučajnim parametrima.

Analiza stabilnosti MIMO nelinearnih kaskadnih sistema sa slučajnim parametrima primenom metoda za procenu verovatnoće stabilnosti je izvršena na primeru MIMO5 kaskadnog nelinearnog sistema sa slučajnim parametrima. U ovom sistemu su svi parametri slučajni sa normalnom

raspodelom verovatnoće, osim jednog parametra koji je nelinearan.

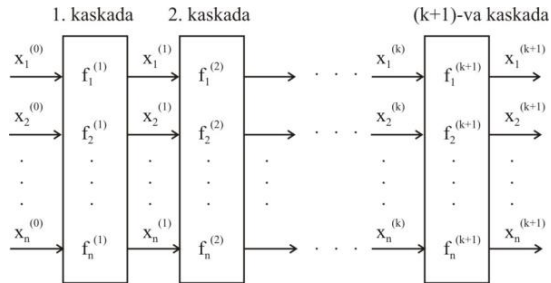
Rezultati analize stabilnosti stohastičkog MIMO5 sistema sa normalnom raspodelom parametara predstavljeni su simulacijom bifurkacionih dijagrama i prostornim faznim portretima korišćenjem MATLAB - ovih M-fajlova.

2. PROCENA VEROVATNOĆE STABILNOSTI STOHAŠTIČKOG MIMO KASKADNOG NELINEARNOG SISTEMA

Na Slici 1 je prikazan stohastički MIMO kaskadni nelinearni sistem sa n ulaza i n izlaza. Svaka kaskada ovog sistema je definisana sledećim skupom jednačina:

$$\begin{aligned} x_1^{(i+1)} &= f_1^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_2^{(i)} \\ x_2^{(i+1)} &= f_2^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_3^{(i)} \\ &\vdots \\ x_{n-1}^{(i+1)} &= f_{n-1}^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_n^{(i)} \\ x_n^{(i+1)} &= f_n^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = -l_1^{(i+1)}x_n^{(i)} - l_2^{(i+1)}x_{n-1}^{(i)} - \dots - l_n^{(i+1)}x_1^{(i)} \end{aligned} \quad (1)$$

gde je $i=0, \dots, k$. Broj $i+1$ u zagradama predstavlja redni broj kaskade. Parametri $l_2^{(i+1)}, \dots, l_n^{(i+1)}$ su slučajni, samo je $l_1^{(i+1)}$ nelinearan.



Slika 1. Stohastički MIMO kaskadni nelinearni sistem sa n ulaza i n izlaza (MIMOn)

Da bi se izvršila procena verovatnoće stabilnosti stohastičkog MIMOn sistema potrebno je prvo odrediti oblast stabilnosti ovog sistema u parametarskom prostoru korišćenjem nekog od kriterijuma stabilnosti, npr., Šur – Konovog kriterijuma.

Za procenu verovatnoće stabilnosti koriste se sledeće teoreme.

Teorema 1. Oblast stabilnosti, S_n , pripada oblasti \bar{P}_n (hiper paralelepiped) koja je definisana na sledeći način:

$$|l_i^j| \leq \binom{n}{i} \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, k+1 \quad (1)$$

Oblast stabilnosti je ograničena sa gornje strane oblašću \bar{P}_n u parametarskom prostoru, $S_n \in \bar{P}_n$.

Teorema 2. Oblast stabilnosti, S_n , obuhvata oblast \underline{P}_n (simpleks) koja je data na sledeći način:

$$|l_1^j| + |l_2^j| + \dots + |l_n^j| \leq 1, \quad j=1, \dots, k+1 \quad (2)$$

Oblast stabilnosti je ograničena sa donje strane oblašću \underline{P}_n , $\underline{P}_n \in S_n$.

Može se zaključiti da je oblast stabilnosti, S_n , ograničena sa gornje strane oblašću \bar{P}_n , a sa donje strane oblašću \underline{P}_n . Korišćenjem predhodnih teorema, verovatnoća stabilnosti sistema n – tog reda se može proceniti na sledeći način:

$$\iint_{\underline{P}_n} \dots \int p(l_1^j, \dots, l_n^j) dl_1^j \dots dl_n^j \leq P \leq \iint_{\bar{P}_n} \dots \int p(l_1^j, \dots, l_n^j) dl_1^j \dots dl_n^j \quad (3)$$

$$P_{\underline{P}_n} \leq P \leq P_{\bar{P}_n} \quad (4)$$

$$P = \int_{S_n} \dots \int p(l_1^j, \dots, l_n^j) dl_1^j \dots dl_n^j \quad (5)$$

gde je $p(l_1^j, \dots, l_n^j) = \prod_{i=1}^n p_i(l_i^j)$ ukupna gustina raspodele, a

$$j=1, \dots, k+1.$$

$P_{\underline{P}_n}$ predstavlja verovatnoću da oblast stabilnosti leži unutar oblasti \underline{P}_n , a $P_{\bar{P}_n}$ je verovatnoća da je oblast stabilnosti unutar oblasti \bar{P}_n .

Normalna ili Gausova raspodela ima najveći značaj među raspodelama verovatnoće. Ova raspodela slučajne promenljive nastaje ako na promenljivu deluje mnogo slučajnih i međusobno nezavisnih faktora koji izazivaju različite i male promene. U praksi se najčešće koristi jer je korektnost izrade komponenti normalno raspodeljena oko projektovane vrednosti l_{mi}^j . Gustina normalne raspodele se

opisuje funkcijom $p_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{(l_i^j - l_{mi}^j)^2}{2\sigma_i^2}}$ gde je l_{mi}^j

matematičko očekivanje, a σ_i standardna devijacija ili srednje kvadratno odstupanje.

Za MIMOn kaskadni nelinearni sistema sa slučajnim parametrima sa Gausovom raspodelom, izvedene su sledeće relacije za procenu verovatnoće:

$$P_{\bar{P}_n} = \left(-\frac{1}{2}\right)^n \prod_{i=1}^n \left[\Phi \left[\frac{-\binom{n}{i} - l_{mi}^j}{\sqrt{2}\sigma_i} \right] - \Phi \left[\frac{\binom{n}{i} - l_{mi}^j}{\sqrt{2}\sigma_i} \right] \right] \quad (6)$$

$$P_{\underline{P}_n} = \left(-\frac{1}{2}\right)^n \prod_{i=1}^n \left[\Phi \left[\frac{-\frac{1}{n} - l_{mi}^j}{\sqrt{2}\sigma_i} \right] - \Phi \left[\frac{\frac{1}{n} - l_{mi}^j}{\sqrt{2}\sigma_i} \right] \right] \quad (7)$$

gde je $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ Laplasova funkcija, a $j=1, \dots, k+1$ je redni broj kaskade.

3. ANALIZA STABILNOSTI STOHAŠTIČKOG MIMO KASKADNOG NELINEARNOG SISTEMA

Analiza stabilnosti stohastičkog MIMO kaskadnog nelinearnog sistema sa 5 ulaza i 5 izlaza je izvršena korišćenjem metoda za procenu verovatnoće stabilnosti koji je opisan u prethodnoj glavi.

Svaka kaskada je opisana sledećim skupom jednačina:

$$\begin{aligned} x_1^{(i+1)} &= f_1^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_2^{(i)} \\ x_2^{(i+1)} &= f_2^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_3^{(i)} \\ x_3^{(i+1)} &= f_3^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_4^{(i)} \\ x_4^{(i+1)} &= f_4^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = x_5^{(i)} \\ x_5^{(i+1)} &= f_5^{(i+1)}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) = -l_1^{(i+1)} x_5^{(i)} - l_2^{(i+1)} x_4^{(i)} - l_3^{(i+1)} x_3^{(i)} \\ &\quad - l_4^{(i+1)} x_2^{(i)} - l_5^{(i+1)} x_1^{(i)} \end{aligned} \quad (8)$$

gde je $i=0, \dots, k$, $j=1, \dots, k+1$. Broj $i+1$ u zagradama pretstavlja redni broj kaskade. Parametri l_2^j, \dots, l_5^j su slučajni sa normalnom raspodelom, samo je parametar $l_1^j = -(x_1^j)^2 + 25/16$ nelinearna funkcija.

Korišćenjem Šur – Konovog kriterijuma oblast stabilnosti ovog sistema, S_5 , se definiše sledećim skupom nejednakosti:

$$\begin{aligned} 1 + l_1^{(i+1)} + l_2^{(i+1)} + l_3^{(i+1)} + l_4^{(i+1)} + l_5^{(i+1)} &\geq 0 \\ 5 + 3l_1^{(i+1)} + l_2^{(i+1)} - l_3^{(i+1)} - 3l_4^{(i+1)} - 5l_5^{(i+1)} &\geq 0 \\ 5 + l_1^{(i+1)} - l_2^{(i+1)} - l_3^{(i+1)} + l_4^{(i+1)} + 5l_5^{(i+1)} &\geq 0 \\ 5 - l_1^{(i+1)} - l_2^{(i+1)} + l_3^{(i+1)} + l_4^{(i+1)} - 5l_5^{(i+1)} &\geq 0 \\ 5 - 3l_1^{(i+1)} + l_2^{(i+1)} + l_3^{(i+1)} - 3l_4^{(i+1)} + 5l_5^{(i+1)} &\geq 0 \\ 1 - l_1^{(i+1)} + l_2^{(i+1)} - l_3^{(i+1)} + l_4^{(i+1)} - l_5^{(i+1)} &\geq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Na osnovu Teorema 1 i 2 mogu se definisati oblasti \bar{P}_5 i \underline{P}_5 . Oblast stabilnosti S_5 je smeštena unutar oblasti \bar{P}_5 , a oblast \underline{P}_5 se nalazi u oblasti stabilnosti S_5 . Verovatnoće za oblasti \bar{P}_5 i \underline{P}_5 za normalnu raspodelu verovatnoće se dobijaju korišćenjem jednačina (6) i (7). Verovatnoća stabilnosti stohastičkog MIMO5 sistema, P , se izračunava korišćenjem jednačine (4), tj. procenom.

Izborom adekvatnih vrednosti parametara može se dobiti najveća verovatnoća stabilnosti MIMO5 kaskadnog nelinearnog sistema sa slučajnim parametrima.

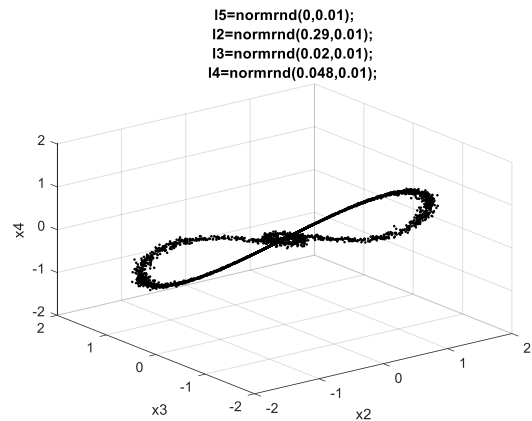
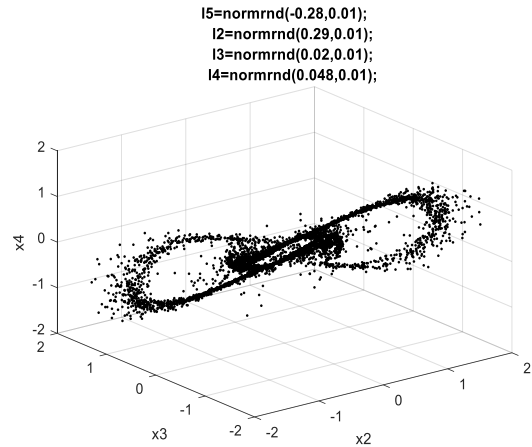
Praktična analiza dinamičkog ponašanja ovog sistema je izvršena simulacijom bifurkacionih dijagrama i prostornih faznih portreta.

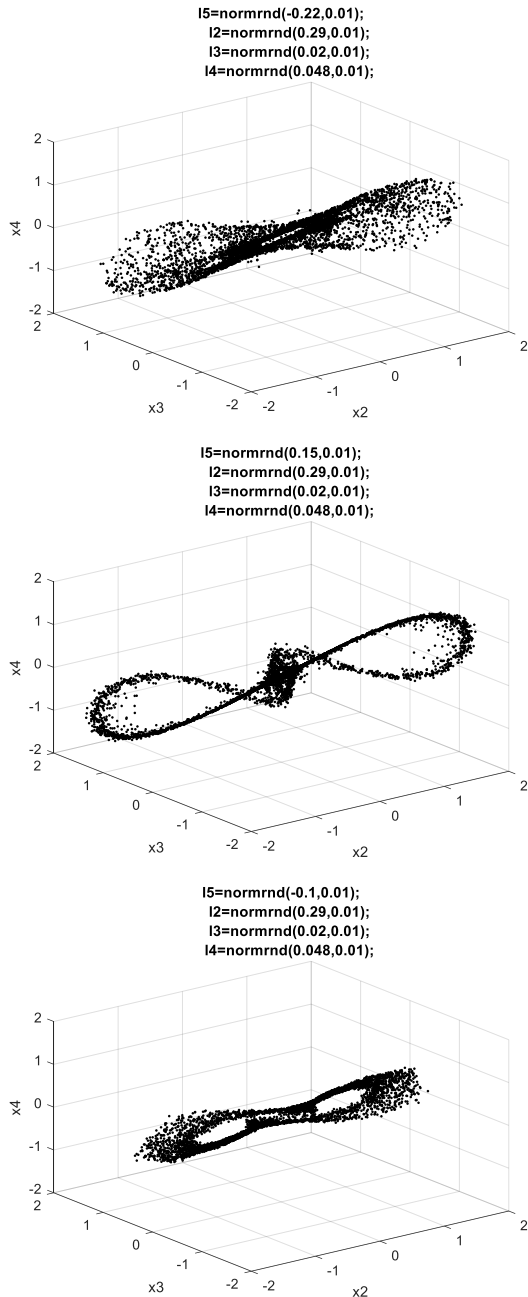
U slučaju MIMO5 sistema analizirane su projekcije faznog hiperprostora $(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_5)$ u odgovarajuće trodimenzionalne fazne prostore. $\mathbf{x}_i, i = \overline{1,5}$ je vektor svih i – tih izlaza kaskada. Neke od ovih projekcija su iste, a neke nisu, [14].

Na Slici 2 su prikazane projekcije $((x_1, x_3, x_4), (x_1, x_3, x_5)$ i $(x_2, x_3, x_4))$ za različite vrednosti kontrolnog stohastičkog parametra $l_5^{(i+1)}$.

Kod ovih sistema se mogu javiti prostorne oscilacije. Posle određenog broja kaskada dinamika sistema se ponavlja. Za neke vrednosti stohastičkog parametra $l_5^{(i+1)}$ ove oscilacije postaju složena kretanja što se može opisati kao stohastički hiperhaos.

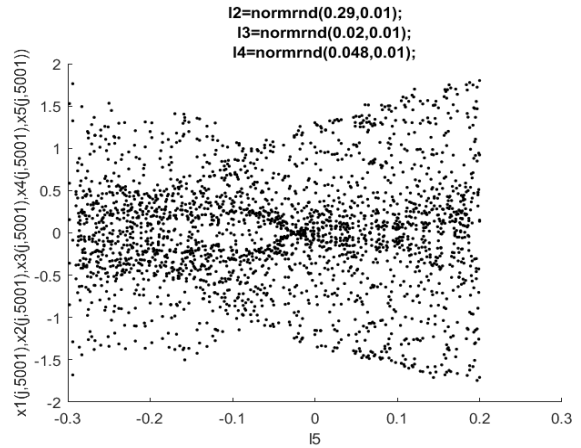
Ovi prostorni fazni portreti pokazuju dinamiku stohastičkog MIMO5 sistema što je, takođe, dato simulacijom bifurkacionog dijagrama, Slika 3.





Slika 2. Fazni portreti MIMO5 kaskadnog nelinearnog sistema sa normalnom raspodelom parametara

Sa slika se vidi da je ovaj MIMO5 sistem veoma haotičan. Dobijeni rezultati su dati u Tabeli 1 i poklapaju se sa dinamikom sistema koja je prikaza na slikama 2 i 3. Takođe, ovim rezultatima je potvrđena ispravnost primene Teorema 1 i 2, tj. metoda za procenu verovatnoće stabilnosti.



Slika 3. Bifurkacioni dijagram MIMO5 kaskadnog nelinearnog sistema sa normalnom raspodelom parametara

Tabela 1. Rezultati za stohastički MIMO5 kaskadni nelinearni sistem

$I_5^{(i+1)}$	-0.32	-0.29	-0.28	-0.1	0.1	0.2
P	0	0.27	0.3	0.54	0.33	0.25
P_{P_5}	0	0.05	0.12	0.07	0.18	0.11
$P_{P_5}^-$	0	0.65	0.95	1	1	0.71

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analizirana stabilnost MIMO kaskadnih nelinearnih sistema korišćenjem metoda za procenu verovatnoće stabilnosti. Vrednosti parametara su slučajno izabrane i imaju normalnu raspodelu verovatnoće.

Na konkretnom primeru MIMO5 kaskadnog nelinearnog sistema sa 5000 kaskada izvršena je analiza stabilnosti korišćenjem procene verovatnoće stabilnosti.

Pokazano je da se dobijene vrednosti verovatnoće stabilnosti poklapaju sa dinamikom sistema koja je predstavljena bifurkacionim dijagramom i prostornim faznim portretima.

Izborom adekvatnih vrednosti parametara verovatnoća stabilnosti se može povećati što je veoma bitno za stabilnost sistema i njegov ispravan rad.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Autori se zahvaljuju podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije realizovanoj kroz projekat No. OI 171025, Funder ID: 451-03-47/2023-01/200124.

LITERATURA

[1] B. Danković, B. Vidojković, B. M. Vidojković, "On the chaos in cascade systems for rubber strip transportation", Proceedings, The Fourth International Conference, Heavy Machinery, HM 2002, pp. A.97 – A 100, 2002.

- [2] B. Samardžić, B. M. Zlatković, "Simulation of bifurcation and escape-time diagrams of cascade-connected nonlinear systems for rubber strip transportation", *Nonlinear Dynamics*, Vol. 67, No. 2, pp. 1105 – 1113, 2012.
- [3] B. Samardžić, B. M. Zlatković, "Analysis of spatial chaos appearance in cascade connected nonlinear electrical circuits", *Chaos, solitons and fractals: the interdisciplinary journal of Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena*, Vol. 95, pp. 14–20, 2017.
- [4] Ajsagaliev, S. A. and Cerenskij, G. S., "Probability stability estimation of the linear systems with random parameters", *Tehnic Cybernetics*, Vol. 5, pp. 119–202, 1981.
- [5] Mihajlicenko, A. M., *The choice of optimal method for the estimation of system quality in the presence of the parametric perturbations*. Kiev, USSR: Mathematical Institut, 1989.
- [6] B. Danković, "The probability stability estimation of the systems with more random parameters", *Hipnef*, pp. 300 – 307, 1988.
- [7] B. Danković and Jevtić, M., "On the estimation of working capability of the automatic control system", *Hipnef*, pp. 233 – 238, 1990.
- [8] Borrie, J. A., *Stochastic Systems for Engineers*. New York: Prentice Hall, 1996.
- [9] B. Danković, B. M. Vidojković, B. Vidojković, "The probability stability estimation of discrete – time systems with random parameters", *Control and Intelligent Systems*, Vol.35(2), pp. 134-139, 2007.
- [10] Schorling, Y.C., Most, T. and Bucher, C., "Stability analysis for imperfect systems with random loading", Newport Beach, USA: Proceedings of the 8th International Conference on Structural Safety and Reliability, pp. 1 – 9, 2001.
- [11] Jovanović, Z. and Danković, B., "On the probability stability of discrete – time control systems", *Facta Universitatis*, Vol. 17, pp. 11 – 20, 2004.
- [12] B. M. Zlatković, B. Samardžić, "One way for the probability of stability estimation of discrete systems with randomly chosen parameters", *IMA Journal of Mathematical Control and Information*, Vol. 29, No. 3, pp. 329-341, 2012.
- [13] B. M. Zlatković, B. Samardžić, "Analysis and control of spatial limit sets and spatial chaos appearance in MIMO cascade connected nonlinear systems", *Asian Journal of control*, Vol. 22. No. 1, pp. 63-76, 2020, doi: 10.1002/asjc.1860.
- [14] B. M. Zlatković, B. Samardžić, "Control of spatial hyperchaos in higher order MIMO cascade nonlinear systems", *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 16(6):061006 (9 pages), 2021, doi:10.1115/1.4050872.
- [15] B. Samardžić, B. M. Zlatković, "Modified Pyragas method for multiple spatial limit sets and chaos control in MIMO cascade nonlinear systems", *Facta Universitatis, Ser.: Automatic control and robotics*, vol.17, no.3, pp. 165-176, 2018, doi.org/ 10.22190/FUACR1803165S.
- [16] O. RöSSLer, "An equation for hyperchaos", *Phys. Lett. A*, Vol. 71, pp. 155–157, 1979.
- [17] F. C. Moon, *Chaotic and fractal dynamics, An introduction for Applied scientists and engineers*, John Wiley & Sons, INC, 1992.
- [18] K. T. Alligood, T. D. Sauer and J. A. Yorke, *Chaos, An introduction to dynamical systems*, Springer, 1997.
- [19] W. Perruquetti, J.P. Barbot, *Chaos in Automatic Control*, Taylor&Francis, 2005.

Koliko je električne energije potrebno za otplatu tehničkog duga u hardverskim rešenjima zasnovanim na Blockchain tehnologijama?

How much electricity is needed to repay the technical debt in Block-chain based hardware solutions?

Andrej Katin¹, Darko Stefanović¹, Srđan Sladojević¹
*Faculty of Technical Sciences in Novi Sad,
University in Novi Sad¹*

Abstract - Background: Technological progress leads to the development of new hardware devices that should improve people's living standards through their work. With the introduction of Blockchain technologies and the definition of cryptocurrencies, the online contactless method of payment has been significantly improved. However, as is generally the case with new technologies, each of them has certain disadvantages. The biggest problem of Blockchain based devices (such as Bitcoin) is their excessive consumption of electricity. On the other hand, technical debt (TD) represents a metaphor related to the achievement of short-term goals which will have to be repaid in later stages of software development, resulting in increased development costs. Throughout the history of TD research, it has been established that no modern technology in which standard applications are developed is immune to the creation and accumulation of TD in its life cycle.

Objective: As Blockchain based devices are already sufficiently electrically inefficient, the time spent on eliminating TD can additionally affect the increase in the consumption of electrical energy. Calculating that additional expenditure is the main objective of this research.

Results: Based on previous research that was done on the topic of measuring the total consumption of electricity of Blockchain based devices and the consumption of electricity to eliminate TD in standard applications, we defined the lower limit of electricity consumption for certain hardware devices based on Blockchain technologies using the current existing metrics for TD identification. It was established that during the development of the software that is the core of the hardware devices based on Blockchain technologies TD occurs in almost 20% compared to the development of standard applications. By applying proportions and scaling based on the collected data, it was obtained that 5026.8 mW was consumed during the entire development process in the software development process, which is the core of the Bitcoin hardware. How huge that number is speaks to the fact that on January 1, 2023, a total of 3861 mW was consumed throughout Serbia, which is still significantly less than the lower limit of this budget.

Conclusion: In today's time, there is often talk about Blockchain based technological solutions that are used for mining and all the advantages that these hardware devices contribute. Their enormous consumption of electrical energy is still being researched, but TD in the context of these technological solutions is still not interpreted in an appropriate way. With the results obtained like this, TD definitely deserves more attention and represents the area which should be investigated in the future.

1. INTRODUCTION AND BACKGROUND

With modern technological development, standard technologies and development environments get their alternatives and require constant upgrades in order to support all functionalities and modern ways of implementing applications. One of those new technologies, which nowadays already has a wide range of activities in which it is applied, is Blockchain. Blockchain can be defined as a distributed database that shares resources with a large number of users via a worldwide computer network. Also called a ledger [18]. Such an organization of the architecture enables a large number of different users to participate together in the work and decision-making in the application.

The first application of Blockchain technologies was in 2015 in the cryptocurrency system [19]. After that, Blockchain practically becomes synonymous with cryptocurrencies and various systems that enable their manipulation. The name comes from the fact that all information used in the system is compressed into blocks, which enables more efficient memory manipulation [20]. What Blockchain has brought new compared to some other technologies and at the same time the reason why it is used more and more today is the immutability of data [18]. Namely, the data once entered into the Blockchain remain permanently. Each change requires approval from all network participants and at the same time leaves a record of that change, which significantly reduces the risk of unwanted data manipulation [21].

The emergence of cryptocurrencies and systems that deal with them has led to more and more stories about their positive and negative sides. Enormous consumption of electrical energy was defined as the basic disadvantage of such systems, and it became the aspect that researchers investigated the most. Accordingly, certain improvements were defined in the form of specialized hardware that managed to reduce the consumption of electrical energy up to several times [19]. For example, these are the Bitcoin or Ethereum networks. However, even with all the improvements, the consumption of electrical energy is still significantly higher than standard applications developed in some other technologies [18, 20].

Technical debt is a metaphor that refers to making various compromises in the process of developing a software product in order to achieve short-term goals, which will have to be repaid in later stages [22]. Repayment of technical debt is done by refactoring, i.e. investing additional effort of the developer in order to remove that technical debt [23]. The topic of technical debt and various tools that help in its identification has been very topical in the last two decades. Numerous studies have

proven that standard technologies (such as modern programming languages or concepts used in software implementation) are not immune to the creation of technical debt [22, 23]. Blockchain is a relatively new technology and until recently was seen exclusively in the context of cryptocurrencies. With the development of applications in other spheres based on Blockchain, the question can be asked: "Is technical debt also created during the development of such applications in Blockchain technologies?". A concrete answer to that question has not yet been received, considering that no empirical research has been conducted that would prove the presence and accumulation of technical debt in the use of Blockchain technologies, but it can be logically assumed that this happens to a certain extent because Blockchain behaves identically to any other technology. As the core of a hardware solution that has the functionality of manipulating cryptocurrencies (for example, standard hardware for Bitcoin) is software written in Blockchain technologies, it can therefore be assumed that technical debt will be created and accumulated during its creation. As the problem of electricity consumption is the biggest disadvantage of using hardware based on Blockchain, assuming the creation of technical debt in a certain volume, a very important thing for planning the costs of the creation of the hardware product itself is the calculation of how much electricity is spent just to eliminate the technical debt that during creation software is created. By researching different types of technical debt, we found that Self-admitted technical debt would be the most suitable for the emergence of Blockchain technologies. Self-Admitted Technical Debt refers to situations where the developers are aware that the current implementation is not optimal and write comments alerting of the problems [24]. The reason why we expect that this is the type of technical debt that will be created the most during the development of projects is the fact that currently there are still no clearly defined procedures and rules for writing software based on Blockchain technologies, and this is exactly the basic prerequisite for creating Self-Admitted technical debt.

2. STUDY DESIGN

Data collection. As this research was exploratory in nature and only the first in a series of research into the relationship between Blockchain technologies and technical debt, we started from previously conducted research on the topic of electricity consumption in the use of Blockchain technologies. We identified the 17 most cited papers that described these studies. Based on that, we could easily define the average consumption of electricity for different types of hardware devices. In addition, research on the subject of Self-admitted technical debt was identified, which evaluated the consumption of electricity for the repayment of that type of technical debt. With all these prerequisites, we can have all the necessary factors that will be used to obtain specific results and conclusions.

Proportion. In order to obtain appropriate results, it was necessary to define a mathematical model with which we

will achieve this. We opted for a standard proportion in the following format:

$$\frac{\text{Average electricity usage for SSA}}{\text{Lower boundary of average electricity usage in BC based hardware}} = \frac{\text{Lower boundary of electricity needed for TD repayment in SSA}}{\text{Average electricity needed for TD repayment in BC based hardware}} \quad (1)$$

It is important to note that in proportion SSA is an abbreviation for Standard Software Application that can be created in any other technology. In addition, in proportion, we use the lower limit of the identified intervals, which practically means that the obtained results will be interpreted as the smallest possible amount of electricity for refactoring and repayment of the technical debt, using this method of calculation.

3. RESULTS

All collected papers on the topic of electricity consumption are from the period from 2015 to 2019. That is the period of time when this topic was the most popular and many researchers were engaged in finding a way to solve this problem to a certain extent. All identified papers are shown in Table 2.

By extracting the results from the identified works, we get that the average consumption of electricity in hardware solutions based on Blockchain technologies is 300 - 500 MWh on a daily basis, while for SSA the consumption on a daily basis would be 1kWh, as presented in Table 1.

Table 1 - Average electricity consumption obtained from identified works on the subject of Blockchain-based software solutions.

Application type	Lower boundary of electricity usage (average)	Upper boundary of electricity usage (average)	Unit of measure
SSA	-	1	kWh
Blockchain based apps	300	500	MWh

To eliminate the accumulated Self-admitted technical debt in SSA, 20% of the total consumption of electricity can be spent, which amounts to 83.78 kWh-1,634.92 kWh depending on the nature of the application itself, which is defined in the Kashiwa's research [24]. Based on that, the proportion gets a complete look according to the following model:

$$\frac{1}{300000} = \frac{83.78}{X} \quad (2)$$

$$X = 25134000 * 20\% = 5026.8 kWh \quad (3)$$

Table 2 – Selected papers on Blockchain electricity usage topic

Reference	Mark	Authors	Title
[1]	S1	Johannes Sedlmeir, Hans Ulrich Buhl, Gilbert Fridgen, Robert Keller	The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth
[2]	S2	Johannes Sedlmeir, Hans Ulrich Buhl, Gilbert Fridgen, Robert Keller	Recent Developments in Blockchain Technology and their Impact on Energy Consumption
[3]	S3	Jingming Li, Nianping Li, Jinqing Peng, Haijiao Cui, Zhibin Wu	Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies
[4]	S4	Lei Xue, Yunlong Teng, Zhenyuan Zhang, Jian Li, Kunbing Wang, Qi Huang	Blockchain technology for electricity market in microgrid
[5]	S5	Shuang Cheng	Research on application model of blockchain technology in distributed electricity market
[6]	S6	Adetomike Adeyemia, Mingyu Yana, Mohammad Shahidehpoura, Cristina Boterob, Alba Valbuena Guerrab, Niroj Gurungb, Liuxi (Calvin) Zhangb, Aleks Paaso	Blockchain technology applications in power distribution systems
[7]	S7	Bartek Mika, Alexander Goudz	Blockchain-technology in the energy industry: blockchain as a driver of the energy revolution? With focus on the situation in Germany
[8]	S8	Tejasvi Alladi, Vinay Chamola, Joel J. P. C. Rodrigues, Sergei A. Kozlov	Blockchain in Smart Grids: A Review on Different Use Cases
[9]	S9	Pasquale Giungato, Roberto Rana, Angela Tarabella, Caterina Tricase	Current Trends in Sustainability of Bitcoins and Related Blockchain Technology
[10]	S10	Luisanna Cocco, Andrea Pinna, Michele Marchesi	Banking on Blockchain: Costs Savings Thanks to the Blockchain Technology
[11]	S11	Shengnan Zhao, Beibei Wang, Yachao Li, Yang Li	Integrated Energy Transaction Mechanisms Based on Blockchain Technology
[12]	S12	Manish Kumar Thukral	Emergence of blockchain-technology application in peer-to-peer electrical-energy trading: a review
[13]	S13	Jing Lu, Shihong Wu, Hanlei Cheng, Bin Song, Zhiyu Xiang	Smart contract for electricity transactions and charge settlements using blockchain
[14]	S14	Shiyu Meng, Weiqing Sun, Dong Han, Chengzhenghao Zhang	Decentralized Electricity Transaction Mechanism in Distribution Network Based on Blockchain Technology
[15]	S15	Qiang Wang, Min Su	Integrating blockchain technology into the energy sector — from theory of blockchain to research and application of energy blockchain
[16]	S16	Junghoon Woo, Ridah Fatima, Charles J. Kibert, Richard E. Newman, Yifeng Tian, Ravi S. Srinivasan	Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: A review of the literature
[17]	S17	Peter Fairley	Blockchain world - Feeding the blockchain beast if bitcoin ever does go mainstream, the electricity needed to sustain it will be enormous

4. CONCLUSION

In today's world, the efficient use of energy of any type is of great importance for the development of living standards. For this reason, this is still a very current topic, regardless of the fact that all the research is several years old, because an adequate solution still does not exist.

Only a preliminary study was conducted, which was supposed to give researchers an insight into the current state of the academic community in terms of research on Blockchain technology. We are aware that this is a big problem and in the future we will aim to conduct specific research in which we will include the IT industry in order to collect appropriate data that would contextualize the results obtained in this study. It can be said that the results are alarming because proving the creation and accumulation of technical debt in Blockchain technologies would give a completely different dimension to its management.

REFERENCES

- [1] Sedlmeir, Johannes, et al. "The energy consumption of blockchain technology: Beyond myth." *Business & Information Systems Engineering* 62.6 (2020): 599-608. Bodily.
- [2] Sedlmeir, Johannes, et al. "Recent developments in blockchain technology and their impact on energy consumption." (2021).
- [3] Li, Jingming, et al. "Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies." *Energy* 168 (2019): 160-168.
- [4] Xue, Lei, et al. "Blockchain technology for electricity market in microgrid." 2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE). IEEE, 2017.
- [5] Cheng, S. "Research on application model of blockchain technology in distributed electricity market." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 93. No. 1. IOP Publishing, 2017.
- [6] Adeyemi, Adetomike, et al. "Blockchain technology applications in power distribution systems." *The Electricity Journal* 33.8 (2020): 106817.
- [7] Mika, Bartek, and Alexander Goudz. "Blockchain-technology in the energy industry: Blockchain as a driver of the energy revolution? With focus on the situation in Germany." *Energy Systems* 12 (2021): 285-355.
- [8] Alladi, Tejasvi, et al. "Blockchain in smart grids: A review on different use cases." *Sensors* 19.22 (2019): 4862.
- [9] Alladi, Tejasvi, et al. "Blockchain in smart grids: A review on different use cases." *Sensors* 19.22 (2019): 4862.
- [10] Cocco, Luisanna, Andrea Pinna, and Michele Marchesi. "Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology." *Future internet* 9.3 (2017): 25.
- [11] Zhao, Shengnan, et al. "Integrated energy transaction mechanisms based on blockchain technology." *Energies* 11.9 (2018): 2412.
- [12] Thukral, Manish Kumar. "Emergence of blockchain-technology application in peer-to-peer electrical-energy trading: A review." *Clean Energy* 5.1 (2021): 104-123.
- [13] Lu, Jing, et al. "Smart contract for electricity transactions and charge settlements using blockchain." *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 37.3 (2021): 442-453.
- [14] Meng, Shiyu, et al. "Decentralized electricity transaction mechanism in distribution network based on blockchain technology." 2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). IEEE, 2019.
- [15] Wang, Qiang, and Min Su. "Integrating blockchain technology into the energy sector—from theory of blockchain to research and application of energy blockchain." *Computer Science Review* 37 (2020): 100275.
- [16] Woo, Junghoon, et al. "Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: A review of the literature." *Building and Environment* 205 (2021): 108199.
- [17] Fairley, Peter. "Blockchain world-Feeding the blockchain beast if bitcoin ever does go mainstream, the electricity needed to sustain it will be enormous." *IEEE Spectrum* 54.10 (2017): 36-59.
- [18] Iansiti, Marco, and Karim R. Lakhani. "The truth about blockchain." *Harvard business review* 95.1 (2017): 118-127.
- [19] Nakamoto, Satoshi. "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system." *Decentralized business review* (2008): 21260.
- [20] Di Pierro, Massimo. "What is the blockchain?." *Computing in Science & Engineering* 19.5 (2017): 92-95.
- [21] Zhang, Rui, Rui Xue, and Ling Liu. "Security and privacy on blockchain." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 52.3 (2019): 1-34.
- [22] Kruchten, Philippe, Robert L. Nord, and Ipek Ozkaya. "Technical debt: From metaphor to theory and practice." *Ieee software* 29.6 (2012): 18-21.
- [23] Li, Zengyang, Paris Avgeriou, and Peng Liang. "A systematic mapping study on technical debt and its management." *Journal of Systems and Software* 101 (2015): 193-220.
- [24] Kashiwa, Yutaro, et al. "An empirical study on self-admitted technical debt in modern code review." *Information and Software Technology* 146 (2022): 106855.



YU-S5-EDR: Sesija 5

E - društvo

BIG DATA KONCEPT U METODOLOGIJI KVANTITATIVNIH ISTRAŽIVANJA

BIG DATA CONCEPT IN QUANTITATIVE RESEARCH METHODOLOGY

Jovanka Vukmirović
Fakultet organizacionih nauka Univerzitet u Beogradu

Apstrakt - Ubrzani napredak informaciono-komunikacionih tehnologija ogleda se, pre svega, u razvoju računarske opreme, softvera, telekomunikacija i interneta. Tako su se stekli uslovi za implementaciju nekih koncepata u metodologiji kvantitativnih istraživanja kao što su: Data mining, Marketing informacioni sistem, CRM (Customer Relationship Marketing) model, Geodemografski informacioni sistem i mnogi drugi. Takođe, razvoj elektronskih komunikacija, u prvom redu mobilna telefonija i društvene mreže, značajno su unapredile metodologiju prikupljanja podataka. Poslednjih godina aktuelan je Big Data koncept, koji se bazira na korišćenju svih raspoloživih podataka iz različitih izvora, bez obzira na njihov format i veličinu. Mada je implementacija Big Data koncepta u istraživanju i metrici veoma zahtevna, dovela je do pomeranja određenih poslovnih paradigmi ka potpunom obuhvatu tržišta i njegovom praćenju u približno realnom vremenu. Razvoj elektronskog poslovanja omogućio je koncept 1:1 (One2One) koji se zasniva na individualno adresibilnim medijima. Za razliku od klasičnih metoda kvantitativnih istraživanja koje se zasnivaju na reprezentativnim uzorcima ukupne populacije ili određenih ciljnih segmenata, premisa na kojoj se zasniva metrika u Big Data eri glasi: „Umesto segmentacije posmatrane populacije, potrebno je obuhvatiti ukupnu populaciju.”

Abstract - The accelerated progress of information and communication technologies especially reflects in the development of computer equipment, software, telecommunications, and the Internet.

Such an environment created conditions for implementing the concepts of the methodology of the quantitative research such as Data mining, Marketing information system, CRM (Customer Relationship Marketing) model, Geodemographic information system, and many others. Also, the development of electronic communications, primarily mobile telephony, and social networks, significantly improved the methodology used for data collection. In recent years the Big Data concept that has been relevant uses all available data from various sources, regardless of their format and size. However demanding the implementation of the Big Data concept into research and metrics is, it has led to the shift in certain business paradigms towards complete market coverage and monitoring in near real-time. The development of electronic business has enabled the 1:1 (One2One) concept structured on individually addressable media. In contrast to classical methods of quantitative research based on representative samples of the total population or specific target segments, the premise on which metrics in the Big Data era base are:

"Rather than segmenting the observed population, it is necessary to cover the entire population."

1. POLAZNE OSNOVE – BIG DATA ERA

Pre pojave Big Data koncepta, u prethodnih 60 godina, fokus IKT-a bio je usmeren na:

- a) automatizaciju,
- b) povećanje efikasnosti (efektivnosti) i
- c) povećanje produktivnosti.

Uspešnost svakog projekta (pa i u oblasti IKT-a) meren je kroz uštede koje je doneo ROI (Return of investments). Nova (Big Data) era donosi zaokret: Osnovni cilj kompanije (i IKT-a kao podrške) jeste povećanje korporativne inteligencije. Primenom Big Data koncepta, funkcija korporativne inteligencije se definiše kao:

$IQcorp = f(\text{podatak, model})$. Uspešna primena ovog koncepta zahteva promenu filozofije poslovanja i poslovne paradigme. Krajnji cilj je da se izgradi inteligentna kompanija koja je pametnija i brža u reakciji od čoveka koji njome rukovodi. Naravno, to ne znači da će tradicionalni IKT nestati preko noći, a pogotovo da će tehnologije u potpunosti zameniti ljude. Prvo čovek mora da uči da bi to znanje preneo na „mašine” (Minelli et. al, 2013).

Big Data ima inovativni potencijal koji karakteriše treću fazu informacionog doba, i ne samo da predstavlja tranziciju ka nečem velikom (big), već se fokusira na dve teme: smeštaj podataka i njihovu analizu.



Slika 1. Analitička piramida Big Data koncepta (Minelli & Chambers, 2013)

U postolju piramide, kao polazna osnova (A) navode se poznati, strukturirani podaci (koji mogu biti eksterni ili interni). Na strukturirane podatke nadograđuju se (B) nestrukturirani podaci koji se konvertuju u strukturirane – poznate. Na njih se nadograđuju nepoznati nestrukturirani podaci koji će se obrađivati u svom prvobitnom obliku, bez konverzije (C). Najmanji deo piramide (D), ali veoma

značajan za proces analitike, čini proizvodnja sopstvenih podataka.

2. OSNOVNE DEFINICIJE

Iako u direktnom prevodu znaci „velika količina podataka”, Big Data predstavlja znatno kompleksniju pojavu.

Studija slučaja: Popis 1890. u SAD

Demografska kretanja i priliv stanovništva doveli su do ubrzanog rasta broja stanovnika u Sjedinjenim Američkim Državama krajem XIX veka. Godine 1880, broj stanovnika u SAD iznosio je nešto preko 50 miliona, a 1890. se očekivalo da će biti više od 60 miliona ljudi. Procenjeno je da će biti potrebno 13 godina za obradu popisnih podataka ukoliko se ona bude sprovodila kao do tada. Naime, obrada popisa iz 1880. godine trajala nešto više od 7 godina, a popis je organizovan na svakih 10 godina pa je obrada prethodnog morala biti završena pre početka narednog popisa. Američka država je raspisala tender za obradu popisnih podataka. Herman Hollerith je došao na ideju da se primeni tada revolucionarna metoda bazirana na bušenim karticama. To su bile kartice od tvrdog papira koje su mogle da nose samo binarni kod, odnosno mogle su da uzmu samo dve vrednosti, na primer „otvor” na kartici označavao je muški pol, a odsustvo „otvora” ženski pol.

Edisonov izum električne energije omogućio je automatsko očitavanje zapisa sa bušenih kartica, uz pomoć električne mašine koja je mogla da registruje da li svetlost ili struja prolazi kroz „otvor” ili ne. Herman Hollerith je ušao u istoriju i kao pronalazač mašine za električnu tabulaciju, a bušene kartice su preteča binarne memorije na kojoj se baziraju i današnji računari. Dvadesetak godina kasnije, 1911. godine, Hollerith je ujedinio svoju kompaniju sa Computing Tabulating Recording Co., koja je kasnije promenila naziv u International Business Machines (IBM).

Ovaj primer značajan je za razumevanje razlike između ogromne količine podataka i Big Data koncepta, u smislu da nisu svi veliki podaci i Big Data, u današnjem smislu tog pojma.

Najkraća definicija kaže da se „Big Data” odnosi na informacije koje se ne mogu obraditi i analizirati na tradicionalan način, korišćenjem konvencionalnih procesa i alata (Doubill, 2013a).

U McKinsey studiji, Big Data definišu se kao skup podataka koji prevazilaze mogućnosti tipičnih softvera za upravljanje bazama podataka u smislu prikupljanja, smeštaja, upravljanja i analize studija (Brown, Sikes, & Willmott, 2013).

Zajedničko za većinu definicija, Big Data su „tri V”, kao početna slova od engleskih reči: Volume (obim), Variety (raznovrsnost) i Velocity (brzina). Neretko se dodaju i još dva „V” koja se odnose na Veracity (tačnost) i Value

(vrednost). Ovu definiciju uveo je Doug Laney (analitičar iz IT industrije) još 2001. godine.

Lanijeva definicija je i danas aktuelna, ali se sve više ukazuje na razliku između Big Data kao napredne tehnologije i poslovne inteligencije u domenu obrade i analize podataka: Big Data koristi napredne statističke metode: regresionu analnu analizu, faktorsku analizu, analizu glavnih komponenti, klaster analizu, diskriminacionu analizu, analizu nominalnih varijabli za donošenje zaključaka i pravila nad velikim skupovima podataka kako bi se otkrile veze i zavisnosti podataka za predviđanje ishoda i ponašanja.

U IBM-u na sličan način definišu Big Data, preko 3V (Zikopoulos, Eaton, Dereos & Deutch, 2012).

Obim (Volume)

Mnogi faktori doprinose povećanju obima podataka u ekonomskom sistemu, a najvažniji od njih su:

- Raste broj podataka baziranih na transakcijama: u domenu bankarskog poslovanja, osiguranja, medicinskih usluga, komunikacija (mobilna telefonija) i sl.
- Raste broj nestrukturiranih podataka koji dolaze od strane društvenih medija.
- Povećane količine podataka koje očitavaju uređaji: senzori, brojači saobraćaja, GPS uređaji, bazne stanice mobilne telefonije, skeneri na kasama u maloprodaji i sl.
- Ekstenzivna upotreba cloud tehnologija.
- Uvođenje inteligentnih uređaja (smart things) u domaćinstvima i sprava za merenje (potrošnje struje, gasa i sl. – smart meters).

U prošlosti, ogromne količine podataka je bilo veoma zahtevno skladištiti. Primenom cloud tehnologija troškovi manipulacije se smanjuju, a težište problema prebačeno je na proces prikupljanja, validacije i analize velike količine podataka. Možda najbolji uvid na temu obima podataka koji obuhvata Big Data koncept daju merne jedinice za količine podataka: sa terabajta (terabytes) vrlo brzo se prešlo na petabajte (petabytes) i zetabajte (zetabytes).

Brzina (Velocity)

Sledeća dimenzija je brzina koja je potrebna za procesiranje ogromne količine podataka. Jasni su razlozi zbog kojih je brzina imperativ u savremenom (elektronskom) poslovanju:

- Prvenstveno zbog konkurentske utakmice: neophodno je identifikovati problem, prepoznati šansu pre drugih. Nekada su u pitanju sekunde, čak i milisekunde.
- Podaci imaju veoma kratak rok trajanja. Brzo zastarevaju i ne predstavljaju više konkurentsku prednost.

Big Data koncept se bazira na obradi i analizi podataka u približno realnom vremenu, odnosno u trenutku njihovog nastajanja. Ovo ujedno znači da se menja paradigma kvantitativnih istraživanja: podaci se obrađuju i analiziraju od momenta prikupljanja i taj se proces nikada

ne završava. Postoji jedan broj parametara koji definišu brzinu u Big Data sistemima (Pierson, 2017):

- Podaci ulaze u prosečan Big Data sistem za njihovo prikupljanje i obradu pri brzinama u rasponu od 30 kilobajta (KB) do čak 30 gigabajta (GB) po sekundi.
- Mnogi ovakvi sistemi moraju imati latenciju manju od 100 milisekundi, mereno od trenutka nastajanja (pojave) podataka do trenutka kada sistem odgovori.
- Zahtevana propusnost može biti i 1.000 transakcija u sekundi u BD sistemima.

Raznovrsnost (Variety)

Razvoj informacionih tehnologija omogućio je digitalizaciju različitih vrsta podataka koje se mogu prikupiti. Jedna od osnovnih podela je na nestrukturirane, polustrukturirane, kvazistrukturirane i strukturirane podatke.

Strukturirani podaci su smešteni u klasičnim, najčešće relacionim, bazama podataka i pogodni su za obradu poznatim metodama statističke analize. Tradicionalna kvantitativna istraživanja takođe prikupljaju i obrađuju strukturirane podatke tzv. pravougaonog formata, gde su po kolonama prikazane varijable (promeljive), a u vrstama opservacije.

Polustrukturirani podaci koriste se za opis strukturiranih podataka koji se ne uklapaju u formalnu strukturu modela podataka. Oni sadrže oznake koje razdvajaju semantičke elemente, što uključuje sposobnost nametanja hijerarhija unutar podataka i podrazumevaju više načina predstavljanja iste vrste podataka. Za predstavljanje polustrukturiranih podataka koristi se XML (eXtensible Markup Language) programski jezik koji je sličan HTML-u.

Kvazistrukturirani podaci predstavljaju tekstualne podatke koji su dati u nestandardnom formatu, ali ih je moguće formatirati. Enorman rast nestrukturiranih podataka različitih formata nastaje s povećanjem broja finansijskih transakcija (u domenu bankarskog poslovanja, osiguranja), medicinskih usluga, mobilne komunikacije i aktivnosti na internetu (uključujući društvene medije). Razvoj IoT (Internet of Things – internet inteligentnih uređaja), naročito je doveo do uvećanja količine podataka koji se čitaju sa senzorskih i sličnih uređaja: senzori (toplotni, elektromagnetni, mehanički, hemijski, optički, senzori jonskog zračenja, akustički, brojači saobraćaja, GPS uređaji, skeneri na kasama u maloprodaji). Takođe, domaćinstva su sve veći proizvođač podataka, što je posledica implementacije koncepta pametnih gradova i uvođenja inteligentnih uređaja u domaćinstva i sprava za merenje (potrošnje struje, gasa i sl. – smart meters, sigurnosne kamere, senzori za dim i gas i sl.). Istovremeno, razvoj cloud tehnologija tj. računarstva u oblaku omogućio je skladištenje i pristup praktično neograničene količine podataka.

Nisu svi podaci korisni, mnoštvo podataka je samo „buka” ili „šum”. Napraviti razliku između signala i šuma je izazov, u prvom redu za Data science metodologe. Važno je napomenuti da je evidentan rast svih vrsta

podataka, sa tom razlikom da generisanje strukturiranih podataka prati linearan trend, za razliku od nestrukturiranih podataka čiji je rast eksponencijalan. Tradicionalne IT infrastrukture i analitičke platforme ne mogu da prate ovoliku raznolikost.

3. OBRADA I ANALIZA BIG DATA

Dva su osnovna koncepta:

- Svođenje nestrukturiranih na strukturirane podatke kako bi mogle biti primenjene tradicionalne (statističke) analize i
- Rad sa (netransformisanim) podacima u izvornom obliku, koji zahteva pristup nauke o podacima (data science), s obzirom da statistika uglavnom „ne razume“ nestrukturirane podatke.

Redukcija prikupljenih podataka i svođenje na matrice podataka prihvatljive za obradu standardnim alatima pretežno se koristi za numeričke, strukturirane podatke. Neke od klasičnih metoda multivarijacione statističke analize, prvenstveno analiza glavnih komponenti i faktorska analiza predstavljaju najčešće korišćene alate.

Obrada Big Data u izvornom obliku predstavlja prelazak sa relacionih na nerelacione ili NoSQL baze podataka. Infrastruktura koja to omogućava može se implementirati kroz gotova rešenja i primenom softvera otvorenog koda, na primer, Hadoop okvira. Razvijeni su mnogi alati za obradu i analizu Big Data. Jedan od najstarijih postupaka bazirao se na pretraživanju podataka korišćenjem Map Reduce algoritama (Radenković, et. al. 2015).

Za analizu ogromne količine podataka, kako bi se došlo do informacije koje bi se mogle pretvoriti u znanje, koriste se različiti modeli poslovne analitike, bazirani na nauci o podacima (mašinski jezik, duboko učenje, neuronske mreže, itd). Rezultati analize se predstavljaju u različitim vizuelnim i interaktivnim formatima, prateći savremene koncepte infografike.

U sada već tradicionalne Big Data alata, spada i Apache Hadoop distribuirani sistem datoteka otvorenog koda koji je besplatan za korišćenje i napravljen da omogućuje veoma brzu obradu velike količine podataka uskladištenih u klasterima u skladu sa definisanim zahtevima. Može se primeniti u „oblaku” i lokalno, podržava NoSQL distribuirane baze podataka (kao što je HBase), koje omogućavaju širenje podataka na hiljade servera sa minornim uticajem na performanse. Njegove komponente uključuju Hadoop File Distribution Sistem (HDFS), koji omogućava skladištenje, MapReduce koji upravlja obradom podataka i Hadoop YARN za upravljanje računarskim resursima u klasterima.

Novе informacije i nove tehnologije utiču na svaku industriju i unutar nje na svaku poslovnu funkciju, ali na različite načine i različitim brzinama. Istraživači moraju da prate ove promene, kao (remetilačke) makrosile i mere njihov uticaj na poslovanje.

Iako se od istraživača tržišta i društvenih fenomena ne očekuje (za sada) da postanu i naučnici za podatke (data

scientist), neophodno je da prepoznaju i razumeju dostupne izvore informacija, a ne da se ograniče samo na podatke koji se prikupljaju tradicionalnim istraživanjima, pretežno orijentisanim na merenje stavova i preferencija. Naravno da ovi podaci o stavovima imaju značajno mesto u istraživanju tržišta, ali se moraju uzimati u obzir i podaci o ponašanju (naročito na mreži, pretežno društvenim medijima) i okruženju, što u kombinacije sa demografskim obeležjima upotpunjuje sliku tržišta i njegovih aktera.

Postoji mnogo alata koji su na raspolaganju istraživačima i analitičarima koji se moraju koristiti, ne samo u procesu istraživanja, već i u vizuelizaciji podataka, njihovoj obradi, integraciji i analitici. Osim R jezika i Python-a, koji sa svojim bibliotekama pripadaju klasi softvera otvorenog koda (open source), na tržištu postoji i veći broj komercijalnih alata za analitiku kao što su: BIRT Analytics, TIBCO Spotfire, KXEN, itd.

4. PRIMENA BIG DATA KONCEPTA U SAVREMENOM POSLOVANJU

Globalne promene u svim poljima ekonomije i društva u velikoj meri su proizvod ubrzanog razvoja „remetilačkih“ tehnologija. Kompanije koje nisu u stanju de prate nove trendove naglo gube šanse za opstanak na tržištu. Jedan od prvih izazova je suočavanje sa ogromnom količinom podataka koji se generišu eksponencijalno, zahtevajući tehnologiju i znanja za njihovu obradu i pretvaranje u informacije i znanje.

Donja granica je 1 terabajt, dok gornja granica ne postoji. Ako organizacija poseduje najmanje 1 terabajt podataka, kandidat je za primenu Big Data (Pierson, 2017). Većina Big Data nastaje ogromnim brojem „sitnih“ pojedinačnih transakcija kao što su na primer registrovane posete sajtovima i društvenim medijima, klikovi, lajkovi i sl. Način obrade i analize podataka bazira se na data science i mašinskom učenju (machine learning), dubokom učenju (deep learning), stablima odlučivanja (decision tree), neuronskim mrežama (neural network) i sl.

Tehnologija Big Data primenjiva je u mnogim delatnostima. U marketing istraživanju od posebnog su značaja aktivnosti na društvenim mrežama, forumima i blogovima kao izvorima vrlo korisnih informacija za različite vrste predviđanja – od ishoda političkih kampanja, do svakodnevnih poslovnih odluka poput one da li pospešiti prodaju nekog proizvoda dodatnim popustom.

Mnoge kompanije se susreću sa paradoksom da raspolazu sve većom količinom podataka, a da ih istovremeno sve manje kvalitetno koriste. Prema IBM-u, najveće prednosti koje implementacija koncepta Big Data donosi su:

- Konkurentna prednost;
- Donošenje odluka i
- Vrednost podataka.

Sa Big Data bazama podataka preduzeća mogu ostvariti uštede, povećati prihode i ostvariti mnoštvo poslovnih ciljeva iz bilo koje oblasti poslovanja pomoću (MongoDB, 2022):

- Izrade novih aplikacija za prikupljanje podataka i obradu podataka u realnom vremenu u funkciji momentalne optimizacije resursa;
- Poboljšanja efektivnosti i smanjenja troškova postojećih aplikacija. Big Data tehnologije su često open source, odnosno mogu se koristiti, razmenjivati i menjati od strane svih;
- Postizanja konkurentne prednosti, npr. platforma MongoOB omogućila je jednom od najvećih provajdera podrške za upravljanje ljudskim kapitalom da u rekordnom roku razvije mobilnu aplikaciju koja integriše podatke prikupljene sa više različitih nepovezanih izvora;
- Povećanja lojalnosti korisnika – količina podataka i brzina ažuriranja pogoduje pravovremenim reagovanjem na potražnju korisnika. Npr. jedna od 5 najvećih osiguravajućih kuća globalno, MetLife, pomoću platforme MongoOB omogućila je analizu povratnih informacija od strane korisnika iz 70 različitih izvora, čime je ostvaren pregled situacije koji je jedinstven i ažurira se u realnom vremenu.

Mnoge studije i analize ukazuju da implementacija Big Data koncepta dovodi do značajnih ušteda u svakodnevnom poslovanju. Tako se navodi da prodavac koji koristi Big Data može da poveća operativnu marginu i za više od 60%, a na osnovu informacija o tržištu i konkurenciji. Potencijal je evidentan i u javnom sektoru – analize MGI & McKinsey Business Technology Office pokazuju da bi zdravstvo SAD upotrebom ove tehnologije godišnje moglo da ostvari 300 milijardi dolara dodatne vrednosti. Dve trećine tih sredstava realizovalo bi se kroz uštedu na troškovima za oko 8%. U razvijenim evropskim ekonomijama, državna administracija bi mogla da uštedi više od 100 milijardi evra samo na unapređenju efikasnosti. Ova cifra ne uključuje dodatne budžetske prihode, koje Big Data može da obezbedi u otkrivanju poreskih prevara ili propusta u administrativnoj proceduri (McKinsey Global Institute, 2011)

5. BIG DATA I DRUŠTVENA ISTRAŽIVANJA

Big Data je relativno novi koncept u oblasti društvenih istraživanja koji se javlja tokom druge dekade novog milenijuma. Ekonomski aspekt društvenih istraživanja najčešće se svodi da marketing istraživanja. Pojava novih poslovnih paradigmi, uslovljenih razvojem informacionih tehnologija, pre svega Big Data koncepta i Cloud Computing-a, nužno je uslovlila i pojavu nove poslovne filozofije koja se bazira na sledećem:

- Napredne tehnologije stvaraju novu vrednost i potrebno je kreirati metriku za utvrđivanje njihovih doprinosa.
- Kvantitativna istraživanja su doživela svoju evoluciju usled generisanja ogromnih količina podataka koji su globalno raspoloživi.

Generalno, do informatičke revolucije (oko 1990. godine), važno je da su podaci teško dostupni a njihova interpretacija je jednostavna. Oskoro (od 2010. naovamo), podaci su široko dostupni, ali je njihova interpretacija znatno otežana.

Za tradicionalne metode kvantitativnih istraživanja važi:

- Proces obrade podataka odvija se po tačno definisanim procedurama – algoritamskim koracima.
- Izvori podataka uključuju primarne i sekundarne strukturirane podatke.
- Prečišćeni podaci se smeštaju i čuvaju u bazama podataka.
- Po pravilu, manje količine strukturiranih podataka su statistički obrađene i spremne za analizu.

Količine podataka u tradicionalnim skladištima podataka mere se megabajtima (retko dostižu terabajte). Nova škola kvantitativnih istraživanja ima sasvim drugačiji pristup: na primer, razlika u vožnji automobila noću i razlika u dnevnoj vožnji. Noću vidimo samo ono što farovi osvetljavaju, a danju vidimo ceo predeo. Umesto posmatranja po segmentima, klasifikacije po teritorijalnim celinama, grupama i sl., ostvaruje se uvid u integralno: sve pojedince, sve događaje, sve transakcije, itd.

Dalje, podela istraživanja na primarna i sekundarna, kada je reč o internet istraživanjima, postaje irelevantna. Primarni izvori postaju redundantni u poređenju sa sekundarnim. Konkretno, primena savremenih informatičkih rešenja (pre svega Big Data) omogućila je prikupljanje i analizu relevantnih informacije bez sprovođenja tradicionalnog primarnog istraživanja. Polazna pretpostavka je da se umesto prikupljanja primarnih podataka koriste postojeći sekundarni izvori, koji obuhvataju digitalni prostor: razna merenja, društvene mreže i veb sferu.

Kod tradicionalnih metoda kvantitativnih istraživanja, s obzirom na to da je prikupljanje podataka najskuplja faza, metodologija je bila usmerena na prikupljanje tačno onih podataka koji mogu da daju odgovor na istraživačka pitanja. Kod Big Data je koncept obrnut, zaključivanje o posmatranoj pojavi vrši se na osnovu raspoloživih podataka. Takođe, tradicionalnim metodama se težilo što preciznijoj oceni incidence – prisustva posmatrane pojave u posmatranoj populaciji. Kod Big Data je težište na merama varijabiliteta. Eliminaciju „suma“ i pristrasnosti u merenju moguće je postići metodama statističke ponderacije. Na primer, kada je u pitanju commuting (dnevne migracije između mesta stanovanja i mesta radnog angažovanja) i optimizacija prohodnosti gradskih saobraćajnica, tradicionalnim metodama nastojalo se što preciznije utvrditi koliko ljudi i vozila prolazi određenim putanjama tokom dana (u petnaestominutnim intervalima) s tim da nije moguće izmeriti koliko putnika se nalazi u evidentiranim vozilima. Statističkim metodama moguće je oceniti grešku merenja, odnosno dobijene rezultate prikazati u intervalu poverenja. Ovo istraživanje naziva se „brojanje saobraćaja“ i izuzetno je zahtevno za realizaciju budući da je potrebno pokriti veliki broj ulica i prilaznih puteva, takođe, ovakvo brojanje radi se kampanjski, nekoliko puta godišnje, što u praksi podrazumeva velika odstupanja od očekivanih vrednosti (zbog kiše, utakmice, saobraćajnih udesa, nepredviđenih zastoja i slično).

Big Data koncept daje sasvim drugačije rešenje, bazne stanice mobilne telefonije registruju svaki „ulazak“ i „izlazak“ iz zone koju antena pokriva. Nisu sve antene obavezno postavljene tačno na pravcu targetiranih saobraćajnica, što pravi određeni šum. Takođe, ne mora da znači da je svaki „prolaznik“ i vlasnik mobilnog telefona, neko ga je možda tog dana zaboravio kod kuće a neko ima više telefona. S obzirom da je grešku merenja nemoguće oceniti, taj „problem“ prevaziđen je potpuno drugačijim pristupom. U fokusu su mere varijabiliteta, meri se intenzitet oscilacija i to u realnom vremenu, što izuzetno pogoduje optimizaciji saobraćaja „u hodu“ kako bi se izbegli zastoji, ostvarile uštede u vremenu, gorivu, smanjilo zagađenja vazduha i sl. Grad Beograd se suočava sa prekomernom potrošnjom energenata, što osim visokih troškova prouzrokuje i ekstremno visok stepen zagađenja životne sredine. Problem je nastajao godinama i ne postoje jednostavna rešenja a optimizacijom saobraćaja u gradu primenom Big Data tehnologija mogli bi biti ostvareni značajni pozitivni efekti.

Big Data koncept bi mogao biti od izuzetne koristi kada je u pitanju merenje posećenosti turističkim destinacijama, koje se u Srbiji i dalje izvode samo na nivou grubih procena. Na primer, niko ne zna koliko ljudi poseti Zlatibor tokom vikenda, praznika, raspusta, letnje i zimske sezone i sl. Mada je svaki ugostitelj u obavezi da prijavi posetu, poreski sistem i administrativne procedure evidentiraju, takođe na osnovu grubih procena tek trećinu od ukupnog broja poseta. Samo uvid u podatke sa baznih stanica mobilne telefonije, statistička analiza koja se svodi na deskripciju i interpretaciju obrađenih podataka mogli bi da obezbede daleko pouzdaniju ocenu posmatrane pojave.

U tom smislu najznačajniji izazov Big Data pristupa je upravo u domenu ekspertskog zaključivanja koje ne mora nužno biti statističko. Ovaj pristup ima određenih prednosti i mana:

- Prednosti: brzina, cena, dostupnost.
- Nedostaci: „praksa bez teorije uključujući i metodologiju“, otežano tumačenje, zaključivanje i verifikacija dobijenih rezultata.

Bez obzira na navedene nedostatke, ne postavlja se pitanje održivosti primene novih modela u domenu digitalnih istraživanja. Tehnologije idu napred i diktiraju nove poslovne postulate koji idu ispred teorijskih postavki i modela. Pred istraživačima je zadatak da prihvate tehnološku realnost i primene nove alate u izvođenju zaključaka o određenim pojavama, posebno u ambijentu gde menadžeri i donosioci odluka u javnom sektoru sve više insistiraju na pravovremenim i pouzdanim informacijama.

ZAKLJUČAK

Jedina konstanta u savremenom poslovanju jeste promenljivo okruženje – digitalizacija je ubrzala proces globalizacije a ekonomija poprima osobine „spojenih sudova“ gde se efekti tehnoloških unapređenja ubrzano

rasprostru širom sveta, menjajući uslove poslovanja na dnevnoj osnovi. U takvom ambijentu, pravovremena i pouzdana informacija je osnovni resurs savremenog poslovanja. Kroz proces sveopšte digitalizacije, poslovni sistemi generišu ogromne količine informacija, uz određeni paradoks:

- Sve je više informacija koje mogu biti korisne za donosiocima odluka; često su te informacije opšte dostupne i potpuno besplatne.
- Donosiocima odluka, odnosno menadžerima koji upravljaju poslovnim sistemima, po pravilu, nedostaju pouzdane i pravovremene informacije.

Upravo su metode i tehnike kvantitativnih istraživanja direktno u funkciji prikupljanja relevantnih podataka, odnosno informacija od značaja za menadžersko odlučivanje. Podatak predstavlja numerički, tekstualni, zvučni ili video zapis o nekoj pojavi. Podatak ima svoju vremensku odrednicu i podrazumeva se da ima svoju upotrebnu vrednost. Obradeni, odnosno protumačeni podatak postaje informacija, a informacija postaje činjenica kada je potvrđena podacima. Činjenica postaje znanje kada je uspešno upotrebljena u procesu odlučivanja. S obzirom da nijedna odluka ne može biti bolja od informacije na osnovu koje je doneta, uspešnost poslovanja u svim oblastima ljudskog delovanja direktno je uslovljena rastom i razvojem metodologije naučnih istraživanja.

Globalizacija kao fenomen XXI veka u prvom redu se odnosi na enormni rast međunarodne razmene materijalnih i nematerijalnih dobara, u prvom redu informacija. Razvoj internet tehnologija pretvara svet u „globalno selo” gde svi akteri hipotetički imaju jednake šanse u viralnom prostoru. U takvom poslovnom ambijentu, dat je ogroman prostor konkurentnosti, koju po pravilu ostvaruju kompanije i organizacije koje su u tehnološkoj prednosti. Informacija postaje osnovna moneta za opstanak u uslovima dinamičkog i turbulentnog okruženja. Donošenje odluka bez oslanjanja na pouzdane i pravovremene informacije je menadžerski koncept koji je u savremenoj praksi potpunosti napušten. Kompanije ultimativno prate sa jedne strane konkurenciju, a sa druge očekivanja svojih korisnika. U slobodnoj interpretaciji, uspešnost poslovanja u svim oblastima ljudske delatnosti direktno zavisi od metodologije prikupljanja i obrade podataka od značaja za menadžersko odlučivanje. Od svojih nastanaka (1935. Galup) sve metode naučnih istraživanja teže što preciznijim ocenama prisutnosti određenih pojava u populaciji a sve kvantitativne metode bazirale su se na uzorcima koji reprezentuju tu populaciju. Razvoj digitalnih tehnologija, u prvom redu Big Data koncepta otvara mogućnost punog obuhvata i praćenje određenih fenomena u realnom vremenu, što je svakako ogroman izazov kako za istraživače i analitičare tako i za vlasnike / provajdere tih podataka.

LITERATURA

- [1]Brown, B., Sikes J. & Willmott, P. *Bullish On Digital: McKinsey Global Survey Results*. McKinsey&Co. 2013
- [2]Dumbill, E. *Big Data and Thought Crime*. Big Data. 2013. Vol. 1. Iss. 1. (pp. 10–13).
- [3]Harris, C. *Developing online market research methods and tools – considering tehoring interactivity: models and cases*. Marketing and Research Today, 1997.
- [4]McKinsey Global Institute. *Big Data: The Next Frontier For Innovation, Competition, and Productivity*. McKinsey&Co. 2013.
- [5]Minelli, M., Chambers, M., Dhiraj, A. *Big Data, Big Analytics: Emerging Business Intelligence and Analytic Trends for Today's Businesses*. John Wiley & Sons, Inc. 2013. ISBN:9781118147603
- [6]MongoDB. <http://www.mongodb.com/big-data-explained>. [19.12.2022]
- [7]Pierson, L. *Data Science For Dummies*. John Wiley & Sons, Inc. 2017.
- [8]Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A. *Elektronsko poslovanje*. Fakultet organizacionih nauka Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2015. ISBN:978-86-7680-304-0
- [9] Zikopoulos, P., Eaton, Ch., deRoos, D., Deutsch, T., Lapis, G. *Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*. The McGraw Hill Companies. 2012.
- [10] Vukmirović, J., Vukmirović, D. Marketing istraživanja. Fakultet organizacionih nauka Univerzitet u Beogradu, 2023.
- [11] https://www.researchgate.net/publication/323664305_Big_data_in_marketing_research
- [12] <https://www.atlantispress.com/article/125932255.pdf>
- [13] <https://www.mdpi.com/2504-2289/6/4/157/pdf>
- [14] https://www.researchgate.net/publication/302586792_Big_Data_and_Marketing_Research
- [15] <https://studycorgi.com/big-data-and-new-marketing-research-techniques/>

DIGITALLY LITERATE POPULATION AS THE BASIS OF E-GOVERNMENT DEVELOPMENT - THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

DIGITALNO PISMENA POPULACIJA KAO OSNOVA RAZVOJA E-UPRAVE - PRIMER REPUBLIKE SRBIJE

Dejana Kresović¹, Ranka Popovac², Stefan Radojičić³, Nebojsa Stanojević⁴, Dragan Vukmirović⁴, Aleksandar Krstić³
Republic of Serbia, Securities commission vrednosti¹
Philip Morris International, Lausanne²
Republic of Serbia, Ministry of interior³
Faculty of organizational science⁴

Abstract - A digitally literate population represents the basis of the development of society as a whole. In the Digital Economy and Society Index (DESI), the human capital dimension, which refers to the digital skills necessary for the active participation of citizens in the digital society, ranks second, right after broadband internet infrastructure. The paper provides an overview of the state of digital literacy of citizens in the Republic of Serbia, compares it with the environment and the countries of the European Union, and proposes a measure for improvement.

Sadržaj - Digitalno pismena populacija predstavlja osnovu razvoja društva u celini. U Indeksu digitalne ekonomije i društva (DESI) dimenzija ljudski kapital, koja se odnosi na digitalne veštine neophodne za aktivno učešće građana u digitalnom društvu se nalazi na drugom mestu, odmah posle širokopolasne internet infrastrukture. U radu se daje pregled stanja digitalne pismenosti građana u Republici Srbiji, vrši poređenje sa okruženjem i zemljama Evropske unije i predlaže mera za unapređenje.

1. INTRODUCTION

Valid and reliable data related to the digital literacy of the population and digital skills are directly related to the definition of the digital divide or division, one of the key factors in the development of not only e-government, but also the entire national economy of each country. That is why it is of particular importance to provide this data in a unique and transparent way, using official sources, in order to avoid differences in the results. Data, information and digital divide indicators derived from them must be clearly defined, in order to formalize their use and interpretation. This paper goes in that direction and represents an attempt to implement the established solution in the Republic of Serbia. Presented results potentially can be used in the creation and improvement of strategic documents, especially action plans, where reducing the digital divide is always one of the main priorities [1].

In the second chapter, the applied research methodology is described, which is based on the analysis of scientific literature and official data sources. In the third chapter, the basic terms, digital literacy, digital skill and digital gap are defined and the state of the art in this domain are given. The subject of the fourth chapter is the presentation and

discussion of the results of research with an emphasis on the digitally literate population for the Republic of Serbia. In the final considerations, which are the subject of the fifth chapter, the main conclusions and recommendations intended for decision-makers were presented.

2. RESEARCH METHODOLOGY

In the theoretical part of the work, the research of secondary sources (scientific and professional literature) was applied, while in the experimental part of the work, the latest published research results were used:

1. Usage of information and communication technologies (ICT) in the Republic of Serbia, 2022, Households/Individuals and Enterprises, published by: Statistical Office of the Republic of Serbia [2], and
2. An Overview of the Telecom and Postal Services Market in the Republic of Serbia in 2020 published by Regulatory Agency for Electronic Communication and Postal Services – RATEL [3].

The survey on ICT usage in Households/Individuals was conducted on a representative sample of 2.800 households on the territory of the Republic of Serbia. As for households and individuals, the three months preceding the telephone interview were taken to be the reference period, which was, January 2022, while selected ones referred to the entire 2021. The response rate was 90.6% (2.537 individuals). The basic methodological procedure for Households/Individuals is shown in Figure 1. The same sample was used for households and for individuals aged from 16 to 74 living on the territory of the Republic of Serbia [2].

This annual survey is a part of The EU survey on the use of ICT in households and by individuals conducted since 2002 (in Serbia from 2006) aiming at collecting and disseminating harmonised and comparable information on the use of ICT in households and by individuals on EU level.

Indicators from this survey are used for benchmarking purposes and in particular, this survey supports measuring the implementation of one of the six priorities for the period 2019-2024 of the von der Leyen European Commission – A Europe fit for the digital age [4].

The data used for the overview of telecom market in the Republic of Serbia have been obtained based on the questionnaires provided by the telecom market participants, and they mainly refer to the territory of the Republic of Serbia without Kosovo and Metohija [3].







 Survey period	<ul style="list-style-type: none"> The survey was carried out from 15 February to 28 February 2022
 Type of survey	<ul style="list-style-type: none"> Telephone interview
 Sample size	<ul style="list-style-type: none"> 2 800 households 2 800 individuals
 Target population	<ul style="list-style-type: none"> For households: target population is made of all households with at least one member aged between 16 and 74 For individuals: target population is made of all individuals aged between 16 and 74
 Type of sample	<ul style="list-style-type: none"> Two-stage, stratified sample
 Geographic scope	<ul style="list-style-type: none"> Territory of the Republic of Serbia (without AP Kosovo and Metohia)

Figure 1. Methodological frame for ICT survey [2]

DESI Values for Serbia (for 2022) and the EU Member States aren't fully comparable because the values for the European countries have been aligned with the latest methodology from November 2021 and significantly modified compared to the previous one in terms of used indicators, their sources and weighted values applied in calculation [3].

3. DIGITALLY LITERATE AND DIGITAL DIVIDE

Digital divide or digital gap determines digital inequality, characteristic of every modern society. Interest in this topic is starting in 1984 when the Independent Commission of the International Telecommunication Union delivered its final report which highlighted the need to continue reforms in areas of telecommunications, expansion of telephony coverage and its effects. This apostrophizes the reduction of the "telecom divide", which is today's counterpart to the digital divide [5].

Since then, it has not ceased to arouse the interest of researchers, governmental and non-governmental sectors. The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) defines the digital divide as the gap between individuals, households, businesses and geographical areas at different socio-economic levels in terms of their ability to access ICT and use the Internet for a wide range of activities [6].

Initially, the digital divide (as a dependent variable) was understood binary, meaning that the differences were in "having" or "not having" access to ICT. Very quickly, this binary expression of division turned out to be narrow, considering the level of the gap, also an important category that takes into account other factors, so today it is understood that the digital divide is a complex, multidimensional phenomenon [7].

Several studies confirm that the digital divide is strongly correlated with other dimensions of social inequality [8, 9].

In general, factors affecting the digital divide are [10]:

- Cultural factor
- The factor of functional digitally literacy
- Spatial factor
- Regulatory framework
- Material status

The ability to decode information available on the Internet is of utmost importance for accessing and using digital technologies and e-government services. The ability to read and write in one's native language is not enough to demystify the wealth of information available on the Internet. But understanding and interpreting information presented in a language other than the mother tongue is unavoidable. In addition, using information technologies to acquire new knowledge requires new reading/writing skills and computer skills. These digital literacy skills include a wide range of computerized processes such as searching, filtering, checking authenticity and trustworthiness, and using relevant information from thousands of alternatives available on the web. The dominance of the popular language on the World Wide Web is another key factor relevant to the digital divide. English, as the dominant language, accounts for most of the content available on the Internet, which is a barrier for most non-native Internet users, as it requires language learning.

It is important to underline that digital literacy and digital skills are not synonyms [11]. Digital skills can be understood as the technical knowledge that enables the use of computers and other related devices. Eurostat follow digital skills indicators as "composite indicators which are based on selected activities related to internet or software use performed by individuals aged 16-74 in four specific areas (information, communication, problem solving, software skills)". It is assumed that individuals having performed certain activities have the corresponding skills. Therefore, the indicators can be considered as proxy of the digital competences and skills of individuals. According to the variety or complexity of activities performed, two levels of skills ("basic" and "above basic") are computed for each of the four mentioned dimensions [12].

Digital literacy is a broader concept and implies digital skills, but also the ability to understand, evaluate and reuse information. Digital Literacy, similar to general literacy [13] provides the personal capability for the achievement of valued outputs in life, especially in the modern digital economy.

Although they do not mean the same thing, digital literacy and digital competence are sometimes used synonymously with digital skills in literature, public documents and public speech. Otherwise, the definition of the framework of digital competences is not unequivocally finished. Some authors set digital literacy as an umbrella term that "encompasses knowledge (information, awareness, understanding), skills (practical, measurable application of knowledge) and competences (ability to apply knowledge and skills to specific situations) and represents practical

and measurable outcomes of media, information and digital literacy". Again, in the European framework of digital competences DigComp 2.0 (2017) digital competences, which include knowledge, skills and attitudes, were taken as an umbrella term. [14]

4. RESEARCH RESULTS AND ANALYSIS

In the Republic of Serbia, 75.9% of individuals used a computer in the last three months in 2022 (figure 1.)



Figure 1. Computer users (in the last three months), by educational level in Serbia, from 2020 to 2022 [2]

Already from these data, a significant difference (gap) can be observed among computer users, by level of education. Among tertiary educated are 94.2% computer users, two time more in comparison with lower than secondary education (47.7%).

It is similar with the Internet, where 83.2% of households have an Internet connection more than 83% of persons used the Internet in the last three months. Among the Internet users, 58.7% have secondary educational level, 21.2% lower than secondary educational level, and 20.1% have tertiary educational level.

Also, there are considerable differences according to the percentage of Internet connections in urban and other settlements of the Republic of Serbia: 87.6% versus 75.8%. That gap is increasing even more, having in mind that in 2021, there was a growth of 2% in urban settlements of the Republic of Serbia, while in other parts of the Republic of Serbia the growth rate amounts to 1.1%.

The expected digital divide is also by age (figure 2).

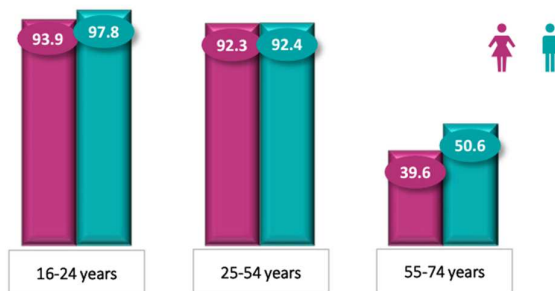


Figure 2. Use of computers (in the last three months) by sex and age, Serbia (%) [2].

The older population, especially among the female population, lags significantly (almost 2.5 times) behind

members of their gender aged 16-23 years. And the gender difference in this age group is not negligible (97.8: 93.9%).

The presented results (and many others from the study [2]) enable a vertical comparison, considering the 16 time points (years) to which they refer. When asked about the reason why households do not have the Internet connection at home 80.3% said not needing the Internet was the reason, 7.8% indicated that equipment costs were too high, while 19.2% of households mentioned the lack of skills.

RATEL's research on the Digital Economy and Society Index (DESI) was used for horizontal comparison with other countries. The Digital Economy and Society Index (DESI) is a composite index [15]. DESI is published for EU member states since 2014 (for Serbia 2017), thus enabling Serbia to be positioned on the European digital performance map [3]. DESI by dimensions for all EU countries and Serbia is given in Figure 3.

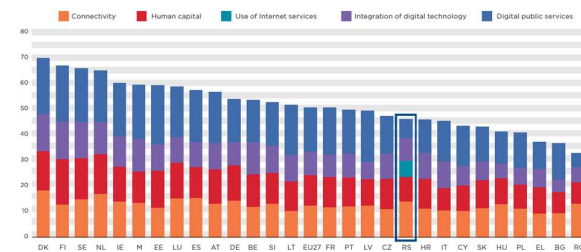


Figure 3. DESI scores of the EU countries and Serbia in 2020 [3]

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

A digitally literate population and digitally competent professionals are key determinants for the development, not only of information, but of society as a whole. Also, these categories constitute the necessary prerequisites for the fundamental transformation of the management of the public sector and state administration in the direction of digitization, i.e., the development of e-government.

The paper points out the basic differences in the definitions covering this area and explores the connection between the digitally literate population and the digital divide. Based on the analysis of secondary sources and scientific literature, it can be concluded that the strategic framework for digitally literate population in Serbia is well defined. The umbrella Strategy for development of digital skills in the Republic of Serbia (Strategy) for the period from 2020 to 2024 [16] based on the Digital Agenda for Serbia, which consists of the Strategy for the Development of the Information Society in the Republic of Serbia until 2020 and the Strategy for the Development of Electronic Communications in the Republic of Serbia from 2010 to 2020. The Strategy follows the European framework DigComp 2.0.

But some disagreement about the indicators that should be monitored. In that direction, the most important conclusion of the research presented in this paper is the insistence on policy evaluation.

The general goal of the Strategy is to improve the digital knowledge and skills of all citizens, including members of sensitive social groups, in order to enable the monitoring of the development of information and communication technologies in all areas and to ensure the needs of the economy and the labor market [16].

Of the four specific goals of the Strategy, specific goal 2. “Improvement of basic and advanced digital skills for all citizens” is mostly related to the digitally literate. An Indicator was defined at the level of the specific objective: Share of citizens who have never used a computer, aged between 16–74 years (total).

Although it is stated in the following text of the Strategy [16]:

- Divisions based on gender, age and other personal characteristics in ICT have led to less inclusion in this field of women, persons with disabilities, the elderly and other marginalized groups”.
- The data collected should be disaggregated by age, gender, disability and other characteristics that define the target population, including data obtained through individual evaluations of the training itself.

The strategy does not envisage a single indicator for monitoring the digital divide. Sansa appeared in February (this) 2023, when the Government adopted the Decision on Changes to the Strategy for the Development of Digital Skills in the Republic of Serbia for the period from 2020 to 2024, but it did not happen.

The conclusion is that the reduction of the digital divide must be more strongly supported and evaluated by introducing additional indicators that will monitor the state of digital exclusion. This recommendation follows the 2030 Agenda, where UN Member States have committed to leave no one behind in their implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs).

LITERATURA

- [1] Radojičić, S. (2022). Advanced electronic government architecture model based on big data technologies and artificial intelligence. Dissertation proposal. Faculty of Organizational Science, University of Belgrade
- [2] RSO (2022). Usage of information and communication technologies in the Republic of Serbia. Statistical Office of the Republic of Serbia 2022.
- [3] Ratel (2021). An Overview of the Telecom and Postal Services Market in the Republic of Serbia in 2020. Regulatory Agency for Electronic Communication and Postal Services – RATEL
- [4] Eurostat (n.d.). ICT usage in households and by individual. Reference Metadata in Euro SDMX Metadata Structure (ESMS). Eurostat.

https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/i_soc_i_esms.htm. Accessed 27.03.2023.

- [5] Kettani, D. and B. Moulin (2014). E-Government for Good Governance in Developing Countries. Empirical
- [6] OECD (2001). Understanding the Digital Divide (pp. 32). Paris: OECD Publications
- [7] Ribeiro de Jesus, F. M. C. C. (2011). Digital Divide across the European Union. Master thesis. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Accessed 27.03.2023. <https://novaresearch.unl.pt/en/publications/digital-divide-across-the-european-union-2>
- [8] Kovačić, Z., D. Vukmirović (2008). ICT adoption and the digital divide in Serbia: Factors and policy implications, Informing Science + Information Technology Education, Joint Conference, Varna, Bulgaria. DOI: 10.28945/3247
- [9] Jerrin, N. B., & G. B. (2021). (Literature Review) Digital Divide: Alarming Agenda of Marxism on the Digital Education Sector. International Journal of Asian Education, 2(3), 327–332. <https://doi.org/10.46966/ijae.v2i3.191>
- [10] Dhungana, T. (2021). Digital Divide: An Overarching Issue. DOI: 10.13140/RG.2.2.17241.03684. license CC BY-SA 4.0
- [11] Bradić-Martinović, A., Banović, J. (2018). Assessment of Digital Skills in Serbia with Focus on Gender Gap. Journal of Women's Entrepreneurship and Education No 1-2 (2018), <https://doi.org/10.28934/jwee18.12.pp54-67>
- [12] Eurostat (n.d.). Individuals who have basic or above basic overall digital skills by sex (tepsr_sp410). Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/tepsr_sp410_esmsip2.htm
- [13] RSO (2017). Population by literacy. Statistical Office of the Republic of Serbia Belgrade. Accessed <https://data.stat.gov.rs/Home/Result/3102010302?languageCode=en-US>
- [14] Matović, M. (2021). Digital competence programs in the Republic of Serbia, Beograd. ISBN 978-86-82046-02-8. <https://www.osce.org/files/f/documents/7/c/495178.pdf>
- [15] DESI (2022). Digital infrastructures, European Commission.
- [16] Strategy (2020). Strategy for the development of digital skills in the Republic of Serbia for the period from 2020 to 2024. "Official Gazette of RS", no. 21 of March 6, 2020

IZAZOVI HR ANALITIKE U MALIM I SREDNJIM PREDUZEĆIMA CHALLENGES OF HR ANALYTICS IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES

Ranka Popovac¹, Dejana Kresović², Željko Bolbotinović³, Miloš Lončar⁴, Dragan Vukmirović⁵, Aleksandar Krstić⁶

Philip Morris International, Lausanne¹

Komisija za hartije od vrednosti¹

Tekijanka d.o.o³

Microsoft Azure, Vienna⁴

Fakultet organizacionih nauka⁵

Ministarstvo unutrašnjih poslova⁶

Sadržaj – U radu se razmatra proces implementacije HR analitike u sektoru malih i srednjih preduzeća koji je bitno različit u odnosu na velike kompanije. Osnovni cilj istraživanja je da ukaže na potencijal i prepreke za implementaciju HR analitike kako bi se unapredio HRM proces i vrednost ljudskog kapitala u Republici Srbiji. Sprovedena je analiza zvaničnih podataka iz sekundarnih izvora i ukazano na buduće pravce akcije.

Abstract - The paper discusses the process of implementing HR analytics in the sector of small and medium-sized enterprises, which is significantly different compared to large companies. The main goal of the research is to indicate the potential and obstacles for the implementation of HR analytics in order to improve the HRM process and the value of human capital in the Republic of Serbia. An analysis of official data from secondary sources was conducted and future directions of action were indicated.

1. UVOD

This paper presents a research on the challenges faced by small and medium-sized enterprises (SMEs) in the process of implementing human resources analytics (HR analytics - HRA) or as it is also called in the literature human analytics. The reasons for the choice of this research subject are twofold: the importance that the SME sector has in the local and global economy and insufficient coverage of this sector in professional and scientific literature, both in general in the field of business analytics implementation, especially HRA.

The main goal of the research is to point out the importance and the most important challenges facing the implementation of HRA and point out the potential directions of action.

After this introductory part, the second part of the paper describes the research methodology, which is based on the analysis of available reference literature and other secondary sources. State of art and basic definitions are the subject of the third part of the paper, where the importance of separate consideration of HRA implementation in SMEs is pointed out. The fourth part of the paper refers to the identification of the most important challenges in practical implementation. In the fifth part, a proposal for a solution based on a systemic approach is

given, while in the sixth chapter, a case study is done. Finally, in the conclusion recommendations and further development of research in this area are indicated.

2. RESEARCH METHODOLOGY

In addition to standard scientific methods of analysis and synthesis, the research used analysis of secondary sources, especially professional and scientific literature. The proposal for the implementation process is based on the methodological setup of the MIC model - Model of Intelligent Company [1] and the analysis of the HRA development perspective in the Republic of Serbia [2]. In the analysis of the case study, the AI language model ChatGPT, version 3, based on it the neural network solution, was used.

3. STATE OF ART

Human resources analyst (HRA) is not such a new topic, this concept has existed for over 40 years. Still in 1978, Jac Fitz-enz is considered a pioneer of HRA, "emphasized the idea of developing metrics that can determine the impact of HR activities on the organization's bottom line" [3]. In the professional and scientific literature, there is no single definition of HRA, unlike SMEs, which are very precisely defined. For the purposes of this research, we use the following definition of HRA: "HR analytics is the application of analytical logic for the HR management function" [4].

The most commonly used definitions of SMEs are those of the European Commission and the World Bank. According to the European definition, the category of micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs) includes those enterprises that have less than 250 employees and whose annual turnover does not exceed 50 million euros and/or whose total annual balance does not exceed 43 million euros [5].

However, HRA in SMEs represents a real gap, according the researched literature [7]. On the other hand, SMEs do not deserve it for several reasons [8]:

- SMEs are considered the engine of the economy (both global and national regional economies).
- SMEs are catalysts of economic growth, which is valid for all countries.

- The sector of SMEs determines the dynamic, development of modern knowledge-based economies.
- Small and medium-sized enterprises are considered open and flexible sources of entrepreneurship, skills and innovation,
- SMEs, as a rule, have a flexible development strategy, which allows them to quickly react to rapid adaptation not only to cyclical changes in the global economy, but also to economic and social crises

At the end of the analysis, the conclusion can be sublimated as follows: "Despite the claimed importance of HR analytics, research investigating the performance impact of HR analytics on organizational performance remains underdeveloped" [9]. Also, the existing HRA literature remains underdeveloped in understanding whether and how such promises have been realized [10].

The above conclusion applies to all companies, regardless of size. However, the results of desk research [2] give us the right to believe that there is a gap between large and SMEs. Large companies, if they practice HRA, have implemented modules within existing ERP solutions (more often) or buy ready-made solutions for HRA (less often). SMEs are usually not in such a situation, given that they face a series of challenges that differentiate them from large companies. These challenges are the main research problem.

4. THE MOST IMPORTANT CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF HRA AT SMES

We can single out two basic types of challenges faced by smes when implementing HRA: generic and specific. General refers to the general challenges facing the sector (as opposed to the strengths mentioned in the previous chapter). These are [11]:

- SMEs do not have enough financial capital
- SMEs face tighter restrictions on credit and access to capital
- Not all sources of financing available to large companies are available to small businesses
- Management of intellectual capital is insufficiently developed

Specific challenges relate to the very implementation of business analytics in smes and especially HRA:

- Data problems - Data quality: issuesnconsistent and inaccessibility of data
- Lack of standard/generic methodologies to analyze HR data
- Wrong or not targeting the right analytical opportunities
- Lack of experienced people that can understand and deploy the analytical systems
- Models and solutions are complex to deploy and take much time

In order to overcome these challenges, we propose a systemic approach for the implementation of HRA in SMEs, which is based on the MIC model [1].

5. IMPLEMENTATION

MIC (Intelligent Company Model) is based on the basic postulates of the fourth paradigm. New technologies lead to a new way of thinking and doing business, which results in new business models, namely:

$$\text{MIC} = f(\text{data, model, reengineering}) \quad (1)$$

Basically, MIP represents an iterative process consisting of 5 successive algorithmic steps - stages in model development. The proposed solution was improved by introducing piloting steps and reporting to decision makers (table 1). The iterative nature of the approach is reflected in the IQ_{comp} maximization procedure [1].

No.	Step	Definition	Responsibility
1	Selection of initial business problem/opportunity for initial implementation.	Business proces	Top management
2	Creation of an internal implementation team consisting of: Mid-level manageme responsible for the business process, domain expert, IT experts, data scientist	Internal implementation team	Middle mangement
3	Decision on the method of implementation: inside the company or outside (outsourse).	Implementation team	Top management
4	Selection of the appropriate platform and business analytics model.	Solution	Implementation team
5	Implementation of pilot component	Pilot	Implementation team
6	Evaluation and implementation of solutions	Implementation	Implementation team + Middle mangement
7	Reporting to decision makers	Reporting	Implementation team + Middle mangement

Table 1. Steps in the implementation of the mic model

In order to test the model, we conducted a pilot project in the domain of HRA related to support.

6. CASE STUDY: PILOT PROJECT

The case study was developed for the needs of the company Tekijanka, d.o.o. from Kladovo. The company Tekijanka has been in existence since 1990 and operates in six municipalities of Timočka Krajina. Tekijanka is preparing to open a distribution center in Zaječar, built on about 5,000 square meters, which should enable agricultural producers [12].

The first step in the implementation of the MIC model is Selection of initial business problem/opportunity for initial implementation. The pilot, among other things, should dispel possible prejudices of the top management of SMEs about the success and efficiency of HRA implementation in daily business. The goal was to find a simple and inexpensive (preferably free) solution that

does not require additional funds for implementation and extensive knowledge in the field of business analytics.

Top management support is implied. In consultation with the top management, it was decided to test the implementation of AI, specifically the chatbox ChatGPT due to its relevance in the process of hiring warehouse workers, in relation to finding the best candidates. GPT belongs to the class of generative AI models, chatboxes that have the ability to understand and generate text in a human-like way.

In the second step, an internal implementation team consisting of: CEO, HR manager as domain expert, IT experts, and data scientist was formed. It was decided that this team would implement the initial step: support for the recruitment process of the best candidates for warehouse jobs (third step).

In the fourth step, the selection of the appropriate platform and business analytics model was carried out. The choice fell on the application of a model called ChatGPT, one of the most powerful and largest models that OpenAI offers in concert. Specifically, GPT-3 was used, which is free and available for the public to use. ChatGPT-3 is the third-generation language model developed by OpenAI in 2020. which was trained on more than 175 billion parameters making [14]. Implementation of pilot component, (fifth step) begins with the description of the project task. In the systematization of Tekijanka, there is still no description of the position of warehouseman of the central warehouse. The goal was to make a specification of the advertisement for the jobs of a warehouseman, in order to record the best candidates on the one hand and to use the possible content of the advertisement generated by ChatGPT-3 in the future systematization of the position of Warehouseman of the central warehouse.

In the next stage of implementation, after choosing the ChatGPT-3 platform, a prompt was defined, i.e. user request. In accordance with the basic premises of the chatbox, the prompt should be clearly and unambiguously written, contain all the necessary information and be short. This is important because I limit it to the number of characters that can be entered. Maximum length also includes response. ChatGPT-3 under the "Maximum length" option implies the maximum number of tokens to generate, which varies depending on the model used. One token is roughly four characters for normal English text.

After experimenting with the length of the prompt and the potential response, the following prompt was created in the Serbian language:

Kompanija Tekijanka postoji od 1990. godine i posluje u šest opština Timočke Krajine – U 33 objekta i dva ugostiteljska objekta u Kladovu posao obavlja 471 radnik.

Spremamo se da otvorimo Distributivni centar u Zaječaru izgrađen na oko 5.000 kvadratnih metara, koji bi trebalo da poljoprivrednim proizvođačima iz Zaječara ali i cele Timočke krajine da omogući lakši plasman proizvoda, a kupcima u Tekijankinim objektima niže cene.

Biće zapošljeno oko 50-ak radnika.

Da li možete da nam sugerišete specifikaciju oglasa na koji će se prijaviti zainteresovani za Prijavu za posao magacionera u Distributivnom centru u Zaječaru.

Users have 12 ChatGPT variants of the model available for experimentation, all built for different purposes. They are accessed through the OpenAI Playground. Specifically, a model named text-davinci-003 was selected. Figure 1 shows the reasons for this choice.

Very quickly, practically immediately after clicking the "Submit" button, a response was received in Serbian.

After that we entered the following prompt:

Mozete li da prevedet ovaj teks na egleski?

At the same speed, we received the following responses:

JOB OPENING: Warehouse Manager at Distributive Center in Zaječar

SKILLS REQUIRED:

1. Experience working with warehouse systems
2. Experience handling pallets
3. Experience packing and handling shipments
4. Ability to adapt to rapid changes
5. Ability to work as part of a team
6. Ability to adapt to a dynamic environment
7. Ability to adapt to tight deadlines
8. Experience managing inventory

JOB DESCRIPTION:

The Warehouse Manager will be responsible for managing the inventory in the Distributive Center in Zaječar. The Warehouse Manager will be responsible for receiving, handling, packing, and transferring shipments, as well as inventory control. The Warehouse Manager will be responsible for correctly storing goods, stocking shelves, and increasing sales.

QUALIFICATIONS:

1. High school diploma or higher
2. Preferred experience working with warehouse systems
3. Preferred experience handling pallets
4. Preferred experience packing and handling shipments
5. Preferred experience managing inventory
6. Clean criminal record
7. Positive attitude and ability to work as part of a team
8. Responsibility and ability to adapt to rapid changes

To apply for this position, potential candidates should send their CV and cover letter to the following email address: tekijanka.hr@gmail.com

Deadline for application is 15th December 2020.

Thank you for applying and we look forward to hearing from you!

Evaluation and implementation of solutions indicates that the obtained solution is satisfactory and requires minimal changes (email address and deadline for application. The results of the pilot were presented to the top management in the form of a printed advertisement (the last step in the implementation - reporting to decision makers).

The complete project can be found at the link:

<https://platform.openai.com/playground/p/KKRSw3uHaOyqtWxZF8yhEf1?model=text-davinci-003>

7. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The results of the research of the reference literature in this area indicate that the promises and predictions attributed to HRA are not being fulfilled (Belizón & Kieran, 2021). "Despite the claimed importance of HR analytics, research investigating the performance impact of HR analytics on organizational performance remains underdeveloped" (McCartney & Fu, 2021).

When it comes to SMEs, an additional challenge is the conclusion that uncritical replication of HRA implementation in large companies is counterproductive for SMEs.

The paper highlights the biggest challenges faced by SMEs in implementation and proposes a solution based on a model approach. The first step is presented through the analysis of a case study that shows how organizations can leverage and use HR analytics to increase organizational performance. Future work in this area should refer to the further implementation of HRA, according to the proposed MIC model.

LITERATURE

- [1] Vukmirović, D., Čomić, T., Bolbotinović, Ž., Dabetić Đ and Jovanović Milenković, M. (2019). MIP - prototip modela inteligentnog preduzeća, Zbornik radova - SYMOPIS 2019, Editori: Martić, M., Makajić-Nikolić, D. i G. Savić. Univerzitet u Beogradu. Fakultet organizacionih nauka. ISSN: 978-86-7860-363-7. str. 536-54
- [2] Vukmirović, D., Bolbotinović, Z., Comić, T., & Stanojević, D. (2023). HR Analytics: Serbian Perspective. In N. Filipović (Ed.), Applied Artificial Intelligence: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering, (pp. 75-86). Lecture Notes in Networks and Systems 659. Springer. ISBN 978-3-031-29716-8 ISBN 978-3-031-29717-5 (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29717-5>
- [3] Opatha H.H.D.P.J. (2020). A Literature Review and New Conceptual Model. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 10,

Issue 6, June 2020 DOI:
<http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.06.2020.p10217>

- [4] Bhattacharyya, D.K. (2017). HR Analytics: Understanding Theories and Applications, New Delhi: SAGE Publications
- [5] European Commission (2017). User Guide to the SME Definition; Enterprise and Industry Publications; European Commission: Brussels, Belgium. Available online: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/conferences/state-aid/sme/smedefinitiong, Accessed 15.2.2023.
- [6] Awasthi, S., Bathla, D. and Singh, S. (2023), "A Literature Review on HR Analytics: Trends and Future Challenges", Tyagi, P., Chilamkurti, N., Grima, S., Sood, K. and Balusamy, B. (Ed.) The Adoption and Effect of Artificial Intelligence on Human Resources Management, Part B (Emerald Studies in Finance, Insurance, and Risk Management), Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 235-250. <https://doi.org/10.1108/978-1-80455-662-720230014>
- [7] Batrancea, L.M.; Balci, M.A.; Chermezan, L.; Akgüller, Ö.; Masca, E.S.; Gaban, L. Sources of SMEs Financing and Their Impact on Economic Growth across the European Union: Insights from a Panel Data Study Spanning Sixteen Years. Sustainability 2022, 14, 15318. <https://doi.org/10.3390/su142215318>
- [8] McCartney S., Fu N (2021). Bridging the gap: why, how and when HR analytics can impact organizational performance. Management Decision Vol. 60 No. 13, 2022 pp. 25-47 Emerald Publishing Limited. DOI 10.1108/MD-12-2020-1581
- [9] McCartney S., Fu, N. (2022). Promise versus reality: a systematic review of the ongoing debates in people analytics. Journal of Organizational Effectiveness: People and Performance Vol. 9 No. 2, 2022 pp. 281-311. Emerald Publishing Limited DOI 10.1108/JOEPP-01-2021-0013
- [10] Bolbotinović, Ž. (2022). A data-oriented model of digital transformation of SMEs. Dissertation proposal. Faculty of Organizational Science, University of Belgrade
- [11] Tekijanka (n.d.). Tekijanka d.o.o. <https://www.tekijanka.com/>. Accessed 15.2.2023.
- [12] Lutkevich, B., Schmelzer, R. (2020). Definition GPT-3. Enterprise AI. Tech Accelerator. What is generative AI? Everything you need to know. TechTarget Network. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/GPT-3#:~:text=GPT%2D3's%20deep%20learning%20neural,which%20had%2010%20billion%20parameters>. Accessed 15.2.2023.

UPRAVLJAČKI MODEL ZA IZRAČUNAVANJE CENE KOŠTANJA PROIZVODA ZASNOVAN NA METODI OBRAČUNA TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA UTVRĐENIM U VREMENU

CONTROL MODEL FOR CALCULATING PRODUCT COST BASED ON USING TIME-DRIVEN ACTIVITY-BASED COSTING METHOD

Dalibor Petrović¹, Slobodan Antić¹, Lena Đorđević Milutinović¹
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka¹

Sadržaj – U ovom radu su prikazane mogućnosti koje upravljački spredšit modeli pružaju u primeni metoda obračuna troškova. Ideja je da se malim i srednjim preduzećima, koja koriste jednostavne knjigovodstvene programe, pruži alat koji će im u par klikova dati mogućnosti preciznog izračunavanja cene koštanja proizvoda i kontrole troškova, koje trenutno po pravilu imaju samo velike kompanije sa „glomaznim“ ERP sistemima.

Abstract - This paper presents possibilities that spreadsheet models provide in applying cost accounting methods. The idea is to provide small and medium-sized companies, which use simple accounting programs, with a tool that will in a few clicks give them capabilities, which currently, as a rule, only big companies with „bulky“ ERP systems have.

1. UVOD

Proizvodnja i prodaja proizvoda ili usluga jeste osnovna delatnost svakog proizvodnog preduzeća, međutim, pravi cilj je pri tome ostvariti maksimalne rezultate. Ostvarivanje dobrih poslovnih rezultata, na visoko konkurentnim tržištima kakva danas postoje u gotovo svim privrednim granama, nije moguće bez preciznog utvrđivanja cene koštanja proizvoda.

Promene u savremenim uslovima poslovanja, kao što je skraćivanje životnog perioda proizvoda i povećanje konkurencije između ostalog, dovele su do toga da tradicionalni metodi obračuna troškova koji su koristili samo tri troškovne kategorije: rad, materijal i opšte troškove jednostavno više ne obezbeđuju tačne informacije menadžmentu. Koristeći tako dobijene informacije menadžment nije mogao da proceni koji proizvodi, usluge ili klijenti su mu profitabilni, a koji ne, što je dalje dovodilo do toga da menadžment donosi pogrešne odluke koje su mogle ugroziti i postojanje kompanije. [1]

Dok su troškovi direktnog rada i materijala činili veći deo ukupnih troškova, tradicionalni metodi su uspevali da daju tačne podatke o troškovima, međutim kako je razvoj tehnologije i sve intenzivnije korišćenje mašina i robota u proizvodnji dovelo do pada troškova direktnog rada u korist opštih troškova, tradicionalni metodi su postali neupotrebljivi. Nije logično koristiti troškove direktnog rada, koji čine 10% ukupnih troškova, za raspoređivanje opštih troškova, koji čine 50% cene koštanja proizvoda.

Može se reći da je upravo osnovni problem istraživanja ovog rada da se razvije upravljački simulacioni model u spredšitovima, koji će pomoći u rešavanju problema obračuna cene koštanja proizvoda, odnosno kojim će se predstaviti način kontrole troškova savremenim metodom obračuna troškova, što obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu (eng. Time-driven activity-based costing) svakako jeste.

Izrađen upravljački model će moći da omogući manjim i srednjim preduzećima, koja nemaju resurse i kadrove za formiranje kontroline službe, da primene najsavremenije metode obračuna troškova. Za razradu praktičnog dela rada, korišće se metodologija izrade poslovnih upravljačkih modela, na osnovu koje će biti razvijen spredšit model za upravljanje cenom koštanja proizvoda. Razvijeni spredšit model je set skup matematičkih relacija i logičkih pretpostavki za čiju implementaciju su korišćeni spredšit alati. Model se sastoji iz tri dela, Ulazne sekcije, Radne sekcije i Izlazne sekcije.

2. OBRAČUN TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA ZASNOVAN NA VREMENU

Obračun troškova po aktivnostima (eng. Activity-Based Costing, ABC) bazira se na sledećim pretpostavkama [1] :

- da bi se proizveo proizvod ili pružila usluga, neophodno je obaviti odgovarajuće aktivnosti;
- za obavljanje aktivnosti neophodno je utrošiti resurse;
- aktivnosti su osnov alokacije troškova;
- uzročnici troškova (uzročnici potrošnje resursa i uzročnici aktivnosti) ne moraju biti vezani za obim proizvodnje.

Obračun troškova po aktivnostima je uspeo delimično da reši problem raspoređivanja opštih troškova, ali je sadržao i određene nedostatke, što se najbolje ogleda u činjenici da isti mali broj kompanija u svetu primenjuje. ABC sistemi su skupi za izradu, kompleksni da se održavaju i zahtevni za modifikovanje. Takođe, dovodi se u pitanje i preciznost metoda za obračun troškova koji se zasniva na subjektivnim procenama pojedinaca o tome koji procenat vremena potroše na koje aktivnosti. Ako i zanemarimo mogućnost greške i pored najboljih želja zaposlenih da tačno predstavite utrošak svog vremena tokom radnog dana, moguće je da će to što zaposleni znaju za šta će podaci biti korišćeni dovesti do neiskrenih odgovora [4]

. Obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu (eng. Time Driven Activity-Based Costing, TDABC)

uspeva da reši sve probleme koje je imao klasičan ABC model, pored toga što je moćniji alat od ABC sistema, prostiji je za primenu i jeftiniji. Obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu izbegava potrebu za intervjuisanje zaposlenih i time štedi vreme, novac, ali i uspeva da izbegne subjektivnost zaposlenih, koja bi mogla da utiče na krajnje rezultate. Funkcioniše tako što se sabere svi troškovi u službi za koji se vrši obračun, bilo da je u pitanju direktni rad, indirektni rad, troškovi struje i itd. Zatim se tako dobijen ukupni trošak deli sa praktično raspoloživim vremenom koje zaposleni u tom odeljenju imaju na raspolaganju. Za vrednost praktično raspoloživog vremena obično se uzima 80% teorijski raspoloživog vremena, ako su u pitanju zaposleni ili 85% teorijski raspoloživog vremena ukoliko su u pitanju mašine. Računa se da se ostatak do 100% vremena koristi za pauze, treninge i edukaciju kod zaposlenih, odnosno održavanje kada su u pitanju mašine. Tako se dobija cena jedne jedinice vremena utrošene u tom odeljenju. [3]

3. OKRUŽENJE ZA RAZVOJ UPRAVLJAČKOG MODELA – MS EXCEL 365

Ovaj model će biti izrađen u Excel-u 365 koji funkcionise po sistemu pretplate i njegova najveća prednost je što će dobijati nove mogućnosti i opcije mnogo češće, neće biti neophodno čekati sledeću verziju Excel-a. Jedna od njegovih novina je i Dynamic Array, koji mnogi smatraju najznačajnijom promenom u Excel-u posle dugo vremena.

Prednosti Excel-a kao alata za izradu modela su što je veoma fleksibilan, moguće je napraviti razne vrste modela; nije neophodna obuka, iako je poželjna, jer mnogi imaju osnovno poznavanje Excel-a; veoma je dobro povezan sa drugim programima, moguće je lako uvoziti podatke iz Excel-a i u Excel; svaka kompanija ga već poseduje. Naravno, Excel nije bez svojih mana. Jedna od manje očiglednih, posebno početnicima, je manjak kapaciteta. Iako novije verzije Excel-a omogućavaju unošenje preko milion redova, već na pola miliona upotrebljenih redova Excel postaje toliko spor da je gotovo neupotrebljiv. Ono što je jedna od njegovih prednosti, fleksibilnost i manjak ograničenja, predstavlja i njegovu slabost. Korisnici imaju „odrešene ruke“ da prave modele kakve žele, bez restrikcija ali i bez proveravanja sem ukoliko ih sami ne ubaci. To vrlo često vodi do grešaka u modelu. [2]

4. UPRAVLJAČKI MODEL

U ovom delu biće prikazana struktura modela, način na koji model funkcionise, kao i koje informacije model pruža korisniku. Takođe, biće objašnjen i način korišćenja modela, koji omogućava da ga koriste korisnici koji nemaju potpuno razumevanje procesa i kalkulacija koje se odvijaju u radnom delu modela, iako to razumevanje bi svakako bilo poželjno.

Kao i svaki kompletan spređen model i ovaj se sastoji iz tri dela:

- Ulazna sekcija;
- Radna sekcija;
- Izlazna sekcija.

4.1. Ulazna sekcija upravljačkog modela

Unos podataka je veoma delikatan, a možda i ključan momenat prilikom korišćenja modela, jer svaki model je dobar samo onoliko koliko su dobri njegovi ulazni podaci. Zato su se autori trudili da što je moguće više automatizacijom unosa podataka i korišćenjem predefinisanih vrednosti smanji mogućnosti za nastanak greške. Ulazna sekcija se sastoji od šest radnih listova.

4.1.1. Obračun praktičnog kapaciteta proizvodnje

Prvi podatak koji model zahteva je unos broja radnika koji su bili na raspolaganju u obračunskom periodu. Ukoliko postoje radnici koji nisu bili angažovani puno radno vreme, potrebno je uneti broj radnika iskazanih ekvivalentom punog radnog vremena. Metodologija za njegovo utvrđivanje zasniva se na preračunavanju plaćenog radnog vremena svih zaposlenih (zaposlenih sa punim radnim vremenom, zaposlenih na određeno vreme po ugovoru), koji su u izveštajnom periodu bili uključeni u rad i primali odgovarajuću zaradu, u broj zaposlenih za puno radno vreme, na osnovu njegovog utvrđenog trajanja. Da bi upravljački model funkcionisao, potrebno je uneti i podatke o broju neradnih dana sedmično, broju praznika u toku godine, broju dana godišnjeg odmora po radniku i dužini pauza u toku dana. To su podaci koji se oduzimaju od ukupno raspoloživog radnog vremena kako bi se izračunao praktičan kapacitet. Praktični kapacitet se račun na sledeći način, obračun kreće od 365 dana raspoloživih u toku godine, od koga se oduzima broj dana vikenda pomnožen sa brojem nedelja (52 nedelje u toku godine). Sledeći se oduzimaju dani odmora. Ovako dobijen godišnji kapacitet se deli sa 12 kako bi se dobio prosečan broj radnih dana na nivou meseca. Ovom prilikom je koristi i funkcija ROUND kako bi se dobio ceo broj dana kao rezultat. Tako dobijen prosečan broj radnih dana u mesecu množi se sa brojem angažovanih radnika i osmočasovnim radnim vremenom umanjnim za pauze. Sve se to množi sa 60 kako bi se dobio praktični kapacitet izražen u minutima.

4.1.2. Definisavanje troškovnih centara

Postoje dve osnovne ideje iza podele preduzeća na troškovne centre. Prva je preciznije utvrđivanje cene koštanja proizvoda, jer ne ulaze svi troškovni centri i troškovi u cenu koštanja prodatih proizvoda, određeni troškovi i troškovni centri se posmatraju kao troškovi perioda. Druga ideja je olakšavanje procesa budžetiranja, upotrebom troškovnih centara mnogo je lakše kontrolisati proces korišćenja sredstava po odeljenjima kompanije.

4.1.3. Unos opštih troškova proizvodnje

Kod dela za unos podataka imperativ je bio osmisliti što brzi i što lakši način za unos podataka krajnjem korisniku, a ta ideja se najbolje oslikava na sledećem radnom listu na kome se nalazi ulazna baza podataka. Kako model zahteva unos svih troškova koji su nastali u toku posmatranog

meseca raspoređenog na konta troškova i troškovne centre, praktičnost i uopšte korisnost modela je uveliko zavisila od ovog prvog koraka. Ukoliko bi se od korisnika zahtevalo ponovni „ručni“ unos svih podataka prethodno unetih u knjigovodstveni program cena korišćenja modela bi se mnogostruko uvećala, jer bi zahtevala lice koje bi se samo time bavilo i celokupna suština i svrha modela bi bila izgubljena, jer on treba da predstavlja pristupačno i lako za korišćenje rešenje za obračun troškova.

Rešenje je pronađeno u VBA i Macro-u koji će izlazne podatke iz knjigovodstvenog programa formatirati u oblik koji model prepoznaje. Svaki moderniji knjigovodstveni program poseduje mogućnost izvoza podataka u spređit formatu, tako da korisniku preostaje samo da ih iskopira u radni list „*ULAZ_PreDatabase*“ i aktivira *Macro* pritiskom na dugme „*Sredi formu*“. Sam *Macro* će biti prilagođen izlaznim podacima iz knjigovodstvenog programa korisnika kako bi se izbegla svaka potreba da korisnik „ručno“ formatira podatke. *Macro* uzima podatke iz radnog lista „*ULAZ_PreDatabase*“ i prenosi ih u odgovarajućem formatu u radni list „*RD_Database*“, ovim korakom se i prelazi u radni deo modela

4.2. Radna sekcija upravljačkog modela

U ovom modelu je bilo teško razdvojiti Ulazni deo modela od Radnog dela, zato što se na gotovo svakom radnom listu zahteva i unos određenih podataka i vrše se obračuni. Ipak Radna sekcija modela se izvaja od ostatka sa svojom kompleksnošću i upotrebi *Macro*-a.

4.2.1. Raspored troškova po troškovnim centrima

Radni deo modela kreće sa radnim listom „*RD_Database*“. Ovde se ne očekuje nikakav unos podataka od strane korisnika, već sav posao obavlja *Macro*. Najbitniji podatak na pomenutom radnom listu je šifra koju formira funkcija CONCATENATE. Šifra će se koristiti pri raspoređivanju troškova u troškovne centre i troškovne grupe. Šifru čine broj koji označava period nastanka troška, konto troška i troškovni centar kojem se trošak dodeljuje.

Podaci se dalje uz pomoć VLOOKUP funkcije raspoređuju na troškovne centre, kojih je u ovom modelu 21. Svaki troškovni centar se sastoji od 18 troškovnih grupa, prikazanih na Slika 1., radi lakše kontrole, pa tako jedna grupa su operativni troškovi, druga trošak zarade, treća troškovi energije, četvrta troškovi održavanja, itd.

RASPORED TROŠKOVA PO COST CENTRIMA					
Gl number	COST CENTER	Period	Company Management		Logistic & Purchasing
			New Code	New Code	
	Gl description	?		251700	251710
1	OPERATION AND CONSUMABLE MATERIAL EXPENSES			232,156	7,201
2	WAGE AND SALARY EXPENSES			0	1,075,578
3	ENERGY			67,553	8,688
4	MAINTENANCE AND REPAIR EXPENSES			14,105	0
5	CONTRACT MANUFACTURING EXPENSES			0	0
6	BENEFITS AND SERVICES PROVIDED TO THE STAFF			61,812	22,292
7	EXTERNAL BENEFITS AND SERVICES			46,105	3,232
8	IMPORT / EXPORT / TRANSPORT EXPENSES			0	746,544
9	VEHICLE EXPENSES			115,986	81,214
10	CONSULTANCY EXPENSES			5,985,751	0
11	TECHNOLOGY INFORMATION AND COMMUNICATION EXPENSES			17,700	16,728
12	RENTAL EXPENSES			0	0
13	INSURANCE EXPENSES			0	0
14	TAXES, DUTIES AND CHARGES			1,547,048	330
15	DEPRECIATION EXPENSES			1,416,185	0
16	TRAVEL EXPENSES			111,779	1,840
17	SALES & DISTRIBUTION EXPENSES			176,376	0
18	OTHER MISCELLANEOUS			121,445	0
	TOTAL			9,019,981	1,864,110

Slika 1. Troškovne grupe i troškovni centri

Od 21-og troškovnog centra u modelu, 15 ulaze u cenu koštanja proizvoda, dok troškovne centre Company Management, Logistic & Purchasing, Financial Affairs i IT model posmatra kao troškove perioda.

4.2.2. Budžetiranje

Karakteristika lista „*RD_Budžet*“ je što njegovo popunjavanje nije obavezno i preskakanje ovog koraka neće uticati na tačnost izlaza model. Ipak, budžeti su jedan od osnovnih mehanizama kontrole. U skladu sa postavljenim ciljevima i odabranom strategijom kvantifikuju se performanse i očekivana kretanja putem izrade budžeta. Upoređivanjem onoga što je ostvareno sa projektovanim performansama, menadžment dolazi do podataka koji segmenti nisu ispunili postavljene ciljeve, a koji su ostvarili rezultate iznad planiranih. Takvi podaci omogućavaju utvrđivanje razloga zbog kojih je došlo do odstupanja i olakšavaju sprovođenje korektivnih aktivnosti.[5]

U ovom modelu postoji mogućnost unošenja budžeta po troškovnim centrima kako bi se dodatno iskoristilo to što su u modelu već tako uneti i raspoređeni stvarni troškovi. Nakon unosa budžetiranih vrednosti od strane korisnika model sam računa razliku između stvarnog i budžetiranog troška. Vrednosni prikaz razlike je dobijen oduzimanjem stvarnih troškova od budžetiranih, a grafički prikaz korišćenjem REPT funkcije.

4.2.3. Obračun troškova proizvodnje

Na radnom listu „*RD_Sastavnica*“ od korisnika se očekuje unos svih proizvoda koji su napravljeni u posmatranom periodu. Kompanija na kojoj je ovaj model izrađen radi po porudžbini, sve što napravi to i prodava, pa je model tako i napravljen. Ukoliko postoji nedovršena proizvodnja, potrebno je pretvoriti je u ekvivalentne jedinice gotovih proizvoda. Ovo rešenje je primenjeno za ovu kompaniju, moguće je napraviti drugačiji sistem prema potrebama druge firme, fleksibilnost je jedna od najvećih prednosti spređit modela.

U *padajućem meniju* korisnik bira proizvod i brend proizvoda koji ubacuje u radni nalog. U skladu sa promenom vrste proizvoda i brenda proizvoda, odnosno

kupca, menja se i sastavnica koja ima kolone materijal, količina, cena i vrednost. Takođe, na dnu sastavnice se nalazi prodajna cena izabrane marke proizvoda. Količina i cena materijala potrebnih za izradu izabranog proizvoda pojavljuje se u tabeli pomoću funkcije FILTER, koja je raspoloživa za korišćenje samo u Microsoft Excel-u 365, a podaci se povlače iz baze podataka sa drugog radnog lista.

4.2.4. Utvrđivanje trajanja aktivnosti

Za razliku od konvencionalnog obračuna troškova po aktivnostima koji koristi pokretače aktivnosti, obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu se koristi procenom pri određivanju trajanja aktivnosti. Do procena trajanja aktivnosti se može doći ili putem direktnog posmatranja ili sa intervjuima. Preciznost nije kritična, približno tačna vremena su dovoljna. Još jedna prednost u odnosu na konvencionalni ABC koji određuje trajanje aktivnosti na osnovu subjektivnih procenata koje radnici sami procenjuju, procenjena trajanja aktivnosti se kod TDABC modela mogu uvek posmatranjem proveriti i potvrditi.

U ovom upravljačkom modelu proizvodnja je podeljena u četiri aktivnosti različitog trajanja, izraženog u minutima, koje zajedno daju ukupno vreme trajanja proizvodnje jednog komada odabranog proizvoda. Aktivnosti su krojenje, šivenje, pranje i finalna obrada. Uz pomoć FILTER funkcije se iz baze podataka povlači trajanje svih aktivnosti proizvodnje za odabrani proizvod.

Do cene jednog minuta aktivnosti se dolazi tako što se ukupni troškovi koji ulaze u cenu koštanja proizvoda, izuzimajući troškove materijala, podele sa izračunatim praktičnim kapacitetom proizvodnje.

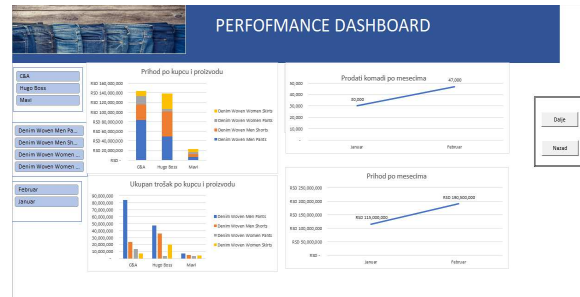
Množeći tako dobijenu cenu jednog minuta aktivnosti, sa ukupnim brojem utrošenih minuta za posmatrani proizvod i tome pridodajući troškove materijala, dolazi se do cene koštanja proizvoda.

4.3. Izlazna sekcija upravljačkog modela

Poslednji korak izgradnje modela je prezentovanje rezultata modela. Može se utrošiti dosta vremena na proračune i proveru tačnosti inputa i pretpostavki, ali ako se rezultati modela ne prezentuju jasno, korisnici neće moći da razumeju šta model pokazuje i zato ga možda neće koristiti, ili još gore koristiće ga ali će pogrešno tumačiti ono što model govori. [2]

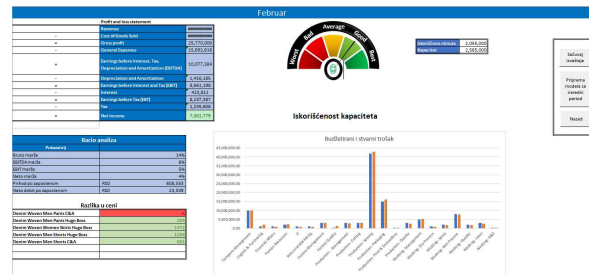
Dobro dizajniran izveštajni deo je najbolji način za prikazivanje rezultata modela na jasan i precizan način. Izlazni deo modela i prezentacija rezultata su jednako važni kao i ostatak modela. Nema svrhe imati dobro dizajniran i izgrađen model koji niko od osoba zaduženih za donošenje odluka ne koristi. Previše informacija može biti podjednako veliki problem kao i nedovoljno informacija, jer je tada lako da korisnicima promakne suština koju model poručuje.

Izlazni deo ovog modela se sastoji iz dva radna lista. Radni list „IZLAZ_Dashboard“, koji je prikazan na Slika 2., pokazuje uporedne podatke za sve periode koji su uneti u model i omogućava korisniku da prati kretanje ključnih parametara tokom vremena.



Slika 2. Dashboard

Dok se list „IZLAZ_Računovodstvena analiza“ na **Error! Reference source not found.**, koncentriše na podatke za poslednje uneti period i prikazuje bilanse i racija koji su neophodni za računovodstvenu analizu.



Slika 3. Radni list "IZLAZ_Računovodstvena analiza"

4.3.1. Izlazna sekcija - Dashboard

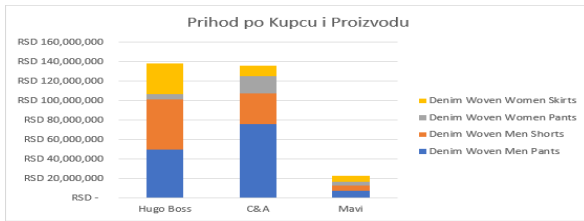
Na radnom listu „IZLAZ_Dashboard“ se nalaze četiri grafika formirana na osnovu pivot tabela.

Prvi grafik prikazan na Slika 4. jasno prikazuje koliki je trošak proizvodnje po različitim brendovima, a u okviru svakog brenda i po različitim proizvodima.



Slika 4. Ukupni trošak po kupcu i proizvodu

Drugi grafik, prikazan na Slika 5., omogućava nam da vidimo u saradnji sa kojim kupcima i prodajom kojih proizvoda je ostvaren prihod u posmatranom periodu



Slika 5. Prihod po kupcu i proizvodnju

Na trećem grafiku, prikazanom na Slika 6., vidimo kako se prodaja izražena u prodatim komadima kretala tokom perioda, što može ukazati na ciklična kretanja kod određenih sezonskih proizvoda, ali i na određene probleme sa kojima se preduzeće susreće na tržištu.



Slika 6. Kretanje prodatih komada po mesecima

Poslednji grafik „Kretanje prihoda po mesecima“, prikazan na Slika 7., kako mu i naziv kaže, pokazuje kretanje prihoda tokom vremena.



Slika 7. Kretanje prihoda po mesecima

Pored grafikona na radnom listu se nalaze i rezači (eng. Slicers) koji daju interaktivnost čitavom radnom listu „IZLAZ_Dashboard“ jer su povezani sa sva četiri prikazana grafika i omogućavaju korisniku da bira koje će informacije prikazati u Izlaznoj sekciji modela.

4.3.2. Izlazna sekcija – Računovodstvena analiza

Na radnom listu „IZLAZ_Računovodstvena analiza“ postoji pet celina.

Prva je „Profit and loss statement“ formirana prema IFRS-u, i prikazana na Slika 8., koja pokazuje neto rezultat posmatranog perioda, ali i druge pokazatelje i međurezultate kao što su prihod od prodaje, cenu koštanja prodatih proizvoda, EBITDA i EBIT između ostalih.

Profit and loss statement		
-	Revenue	178,500,000
-	Cost of Goods Sold	156,177,000
=	Gross profit	22,323,000
-	General Expenses	15,692,616
=	Earnings before Interest, Tax, Depreciation and Amortization (EBITDA)	6,630,384
-	Depreciation and Amortization	1,416,185
=	Earnings before Interest and Tax (EBIT)	5,214,198
-	Interest	423,811
=	Earnings before Tax (EBT)	4,790,387
-	Tax	782,130
=	Net Income	4,008,257

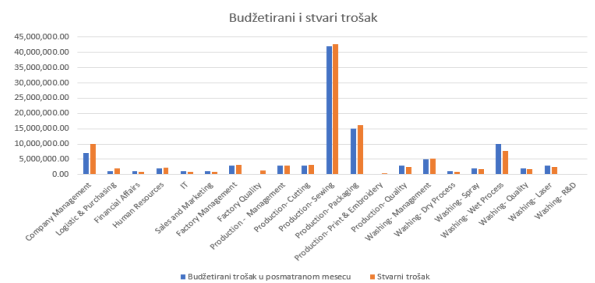
Slika 8. Profit and loss statement

Druga celina je tabela sa Slika 9., koja prikazuje racio analizu koja je urađena stavljanjem u odnos prihoda od prodaje sa ostalim pozicijama, pa tako sadrži bruto maržu, EBITDA maržu, EBIT maržu i neto maržu, kao i prihod po zaposlenom i neto dobit po zaposlenom.

Racio analiza		
Pokazatelj		
Bruto marža		13%
EBITDA marža		4%
EBIT marža		3%
Neto marža		2%
Prihod po zaposlenom	RSD	595,000
Neto dobit po zaposlenom	RSD	13,573

Slika 9. Racio analiza

Naredna celina je grafik sa Slika 10. koji predstavlja grafičko poređenje budžetiranih i stvarno ostvarenih troškova po troškovnim centrima. Važan je pokazatelj, jer oslikava koliko su se odeljenja pridržavala postavljenih budžeta. Svaka veća odstupanja, bilo pozitivna ili negativna je neophodno ispitati.



Slika 10. Budžetirani i stvarni troškovi

Četvrta celina je Gauge chart, prikazan na Slika 11, i on grafički prikazuje iskorišćenost kapaciteta, odnosno koliko procenata minuta od ukupnog praktičnog kapaciteta posmatranog meseca je iskorišćeno u proizvodnji. Ovaj pokazatelj govori menadžmentu o iskorišćenosti radne snage i o tome da li je moguće povećati proizvodnju bez dodatnog zapošljavanja.



Slika 11. Gauge chart koji pokazuje iskorišćenost kapaciteta

Poslednja celina je tabela koja su sebi sadrži jednu od najbitnijih informacija, a to je koji su artikli profitabilni, a koji se proizvode i prodaju uz gubitak. Ista pomaže menadžmentu da vidi prodaju kojih proizvoda treba dalje pospešiti, a koje proizvode treba povući ili eventualno pokušati da se unapredi njihov proces proizvodnje ili poveća prodajna cena.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega prethodno navedenog, izvodi se zaključak da je moguće razviti spredšit model pomoću kojeg će moći da se utvrdi cena koštanja proizvoda na osnovu obračuna troškova po aktivnostima utvrđenim u vremenu. Korišćenje vremena trajanja aktivnosti za raspoređivanja troškova se pokazalo kao najtačniji metod za utvrđivanje cene koštanja u sadašnjim uslovima u kojima opšti troškovi proizvodnje čine sve značajniji deo cene koštanja proizvoda. Upotrebom MS Excel-a kao okruženja za izradu, upotreba vrednost modela se dodatno uvećava zahvaljujući MS Excel-ovoj rasprostranjenosti. Prisutnost MS Excel-a u obrazovnim programima škola i fakulteta, ali i njegova ogromna zastupljenost u kompanijama širom sveta, znači da su vreme, a time i troškovi potrebni za ovladavanje korisnika modelom značajno manji od programa koji pružaju slične mogućnosti, ali su izrađeni u okruženjima koja su korisnicima manje poznata. Inovativnost ovog modela je u tome što se može koristiti u kombinaciji sa bilo kojim knjigovodstvenim programom. Slabost knjigovodstvenih programa koji nisu ERP sistemi je njihova nemogućnost da precizno rasporede opšte troškove proizvodnje i tako tačno izračunaju cenu koštanja, posebno u situacijama kada postoji veći broj dosta različitih proizvoda, koji se razlikuju u trajanju i kompleksnosti proizvodnog procesa. Koristeći spredšitove i obračun troškova po aktivnostima utvrđenim u vremenu ovaj model tačno raspoređuje opšte troškove proizvodnje i precizno utvrđuje cenu koštanja bez obzira na broj i razlike u proizvodima kompanije.

Uprkos velikoj količini veoma korisnih informacija koje pruža, zahvaljujući automatizovanom unosu podataka koji omogućava lako preuzimanje informacija iz knjigovodstvenih programa, model ostaje jednostavan za korišćenje. Ta jednostavnost omogućuje i nedovoljno stručnim kadrovima da ga koriste što i jeste bila prvobitna zamisao autora. Takođe, zahvaljujući grafičkim prikazima, nedovoljno obučeni kadrovi mogu i da tumače rezultate bez prevelikih poteškoća.

Mogućnost unošenja podataka kopiranjem iz baze podataka knjigovodstvenih programa eliminiše mogućnost nastanka grešaka pri unosu, ali i značajno utiče na skraćanje vremena potrebnog za unos podataka, a tako i za čitav obračun i analizu. Mogućnost grešaka pri unosu su takođe dodatno smanjene korišćenjem predefinisanih vrednosti kada je to moguće. Mogućnosti za greške u računanju su, takođe, potpuno eliminisane, jer model automatski korišćenjem formula vrši sve računске operacije.

Može se zaključiti da razvijeni model može biti implementiran u praksi, gde će značajno olakšati posao zaposlenima u službi kontrolinga, skratiti vreme potrebno da se izvrše obračuni i analize, omogućiti nedovoljno stručnim kadrovima da izvrše te obračune i analize i naprave pregledne izveštaje u izlaznom delu modela koji će pružati pouzdane i pravovremene informacije menadžmentu. Spredšit okruženje u kojem je model razvijen daje velike mogućnosti za kustomizaciju i prilagođavanje modela potrebama konkretnog preduzeća.

LITERATURA

- [1] Antić, Lj. & Georgijevski, M. „Obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu“, 2010.
- [2] Fairhurst, D. S. „Financial Modeling in Excel for dummies“, 2022.
- [3] Kaplan R. S. & Anderson S. R. (2005) „Rethinking Activity-Based Costing“, 2005.
- [4] Kaplan R. S. & Anderson S. R. „Time-Driven Activity-Based Costing : A Simpler and More Powerful Path to Higher Profits“, 2007.
- [5] WTS Serbia, <https://www.wtsserbia.com/blog/izrada-budzeta-kompanije-tehnicka-strana-budzetiranja/> (pristupano 17.08.2022)



YU-S6-SAI: Sesija 6
Softverski alati i simulacije i IoT sistemi

SOFTVERSKI ALAT ZA GENERISANJE KOMPLEKSNE MREŽE ZADATIH KARAKTERISTIKA SOFTWARE TOOL THAT GENERATES COMPLEX NETWORK WITH GIVEN CHARACTERISTICS

Jana Stojanović¹, Predrag Obradović¹, Marko Mišić¹, Jelica Protić¹
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet¹

Sadržaj – Za testiranje, verifikaciju i analizu performansi predloženih rešenja u oblasti analize kompleksnih mreža potrebno je imati konkretne mreže različitih karakteristika koje se koriste kao svojevrsno opterećenje. Takve mreže su često teško dostupne kao postojeće realne mreže u potrebnoj formi, sa željenim brojem čvorova i grana i drugim zadatim karakteristikama. Zato se najčešće pribegava korišćenju sintetičkih mreža, ali primetan je nedostatak adekvatnih generatora. Predmet ovog rada je uporedni pregled metodologija i postojećih rešenja, kao i razvoj softverskog alata za programsko generisanje kompleksne mreže koja ima zadate parametre i karakteristike. Realizovana su tri načina za generisanje sintetičkih mreža zadatih karakteristika: generator mreže sa klasterima, generator mreže sa zatom raspodelom težine grana i generator mreže sa brokerima. Programski generator realizovan je u programskom jeziku Python, a generisani grafovi u .gml formatu obrađivani su i evaluirani korišćenjem biblioteke NetworkX.

Abstract - To test, verify and analyze the performance of proposed solutions in the area of complex network analysis, it is necessary to have concrete networks of different characteristics that are used as a kind of workload. Such networks are often difficult to find as existing real networks in the required form, with the desired number of nodes or edges and other given characteristics. That is why we often tend to use synthetic networks, but there is a noticeable lack of adequate generators. The subject of this paper is a comparative review of methodologies and existing solutions, as well as the development of a software tool for the programmatic generation of a complex network with given parameters and characteristics. Three ways of generating synthetic networks of given characteristics were implemented: a network generator with clusters, a network generator with a given edge weight distribution, and a network generator with brokers. The program generator was implemented in the Python programming language, and the generated graphs in .gml format were processed and evaluated using the NetworkX library.

1. UVOD

Analiza kompleksnih mreža predstavlja proces kvantitativne i kvalitativne analize mrežnih grafova. Deo je šire teorije mreža (*eng. network science*) sa širokim primenama u hemiji [1], ekologiji [2], bioinformatiki [3], naukometrijskoj analizi [4], sportskim analizama [5] i mnogim drugim naučnim oblastima.

Pre nego što se novorazvijeni algoritam iz teorije kompleksnih mreža primeni na realne mreže, najčešće ga

je neophodno detaljno testirati na test skupu koji uključuje kompleksne mreže razolikih karakteristika. Najčešće kompleksne mreže željenih karakteristika nisu dostupne ili su dimenziono neodgovarajuće za potrebe validacije rezultata testa i tada se pribegava korišćenju sintetičkih test primera. Široko prisutan pristup u generisanju sintetičkih test primera jeste korišćenje Erdoš-Renji, Barabasi-Albert ili Vats-Strogac [6] generatora kompleksnih mreža koji generišu mrežu koja zadovoljava određeni mrežni model. Tako generisana mreža se ispituje da se proveriti da li su zadovoljeni zahtevi test primera (recimo, da mreža poseduje jasno izražene klustere ili fiksno unapred poznat broj brokerskih čvorova), pa se, u slučaju da mreža nije odgovarajuća, generišu nova mreža, potencijalno veliki broj puta. Ovakav pristup nije skalabilan, jer je često potreban veoma veliki broj test mreža sa potpuno različitim mrežnim karakteristikama. Osim toga, složenost ovakvog pristupa je probabilistička, odnosno, nije lako proceniti koliko će grafova biti generisano dok jedan od njih ne zadovolji karakteristike testa. Kako bi se ovaj problem razrešio, neophodni su specijalizovani generatori koji će garantovati da će sintetizovana mreža posedovati unapred zadate karakteristike.

Implementirani softverski alat sastoji se od tri programska generatora sintetičkih grafova koji omogućavaju generisanje na osnovu različitih mrežnih karakteristika. Generator klasterisane mreže omogućava sintetisanje mreža sa izraženim klasterisanjem koje su često neophodne kao surogati društvenih mreža (ljudi se grupišu po lokaciji, interesovanjima, starosnom dobu) ili bioloških grafova (npr. mreže proteinske interakcije su izrazito klasterisane, jer se proteini grupišu po funkciji koju vrše). Generator težinske mreže obezbeđuje da generisani graf poseduje zatom raspodelu težine grana, što je često neophodno da bi se on mogao koristiti kao slučajno generisan prazan model (*eng. null model*). Konačno, generator mreže sa brokerima se usredsređuje na čvorove posrednike između klastera, koji su najčešće ključni za razmenu informacija u mreži.

2. OPIS ALATA I KORIŠĆENE TEHNOLOGIJE

Alat je realizovan korišćenjem programskog jezika Python. Za mrežno modeliranje, izračunavanje i analiziranje mrežnih metrika upotrebljen je paket *networkx* [7]. Vizuelna inspekcija i validacija generisanih mreža, kao i dalja mrežna analiza sprovedena je u alatu Gephi [8].

Korišćenjem *tkinter* paketa [9] napravljen je korisnički interfejs za jednostavnije i brže korišćenje generatora. Tri faze rada aplikacije pri generisanju mreže su:

1. Unos podataka i provera korišćenjem grafičkog korisničkog interfejsa.
2. Modelovanje mreže zadatih karakteristika.
3. Računanje karakteristika i metrika mreže i pregled rezultata na grafičkom korisničkom interfejsu, uz opcioni izvoz rezultata u različitim formatima.

3. GENERATOR KLASTERISANE MREŽE

Pri formiranju klasterisane mreže korisnik manipuliše brojem klastera, kao i gustinama željenih klastera. Parametrizacija se vrši specifikacijom broja čvorova, intra-klaster i inter-klaster gustine mreže, brojem klastera koji želimo da mreža poseduje, a može se zadati i broj čvorova mreže koji želimo da pripada svakom od klastera. Generator klasterisane mreže podržava dva osnovna načina rada. Prvi formira mrežu sa željenim brojem klastera jednakih veličina, a drugi dozvoljava pojedinačan unos broja čvorova koji pripadaju svakom od klastera.

Prvo se formira graf bez grana sa n čvorova, pa se svakom od čvorova dodeli labela *cluster* koja određuje kojem bi klasteru trebalo da pripada. Zatim se na osnovu intraklusterskih gustina p i interklusterske gustine q preračunavaju verovatnoće postojanja svake od grana i uspostavljaju grane. Konačno, generisani graf se izvozi i sprovodi se izračunavanje mrežnih metrika i vizuelizacija mreže. Vizuelni prikaz rada generatora dat je na slici 1.



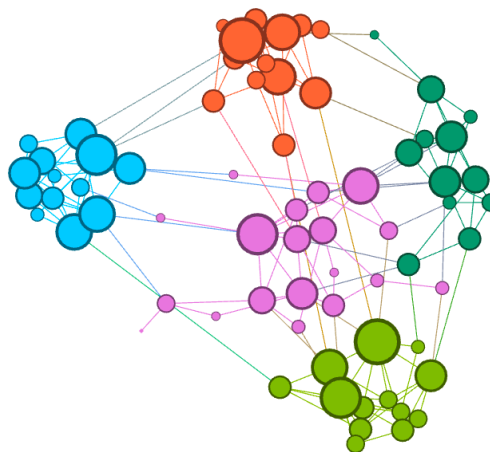
Slika 1. Dijagram rada generatora klasterisane mreže.

Na slikama 2 i 3 dat je prikaz dve mreže ClusteredNet1 i ClusteredNet2 generisane ovim generatorom, nakon izvoza u .gml format i vizuelizacije alatom Gephi putem Force Atlas 2 algoritma. Izvršen je Luvenski metod za klasterizaciju čiji su rezultati iskorišćeni za bojenje čvorova, dok je veličina čvora određena njegovim stepenom. Kako su generisane mreže netežinske, stepen čvora odgovara broju suseda sa kojima je povezan.

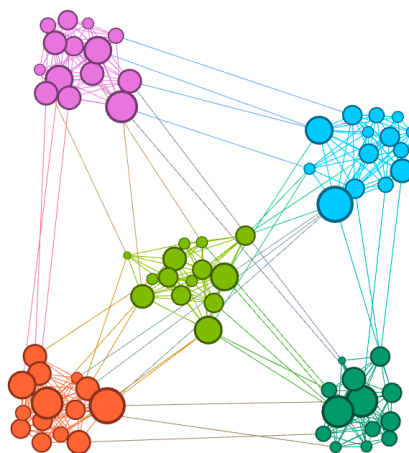
	ClusteredNet1	ClusteredNet2
n	70	70
k	5	5
p	0.2	0.5
q	0.01	0.01

Tabela 1. Tabela prikaz parametara iskorišćenih za generisanje klasterisanih mreža ClusteredNet1 i ClusteredNet2. Broj čvorova mreže označen je sa n , broj klastera sa k , dok su p i q redom zahtevane intra-klaster i inter-klaster gustine mreže.

Pri generisanju mreža, zahtevano je 70 čvorova, 5 klastera i inter-klaster gustina od 0.01, ali je prvoj mreži zadata intra-klaster gustina od 0.2 za svaki od klastera, a drugoj 0.5, kao što je prikazano u tabeli 1.



Slika 2. Vizuelizacija mreže ClustNet1 kreirane generatorom klasterisanih mreža sa intra-klaster gustom $p = 0.2$.



Slika 3. Vizuelizacija mreže kreirane generatorom klasterisanih mreža sa intra-klaster gustom $p = 0.5$.

Različite vrednosti intra-klaster gustina p formiraju različite mreže, kako u vizuelnom smislu, tako i u smislu kvantitativnih rezultata. U tabeli 2 prikazanoj ispod date su najznačajnije metrike dobijene kao rezultat modelovanja, ali i korišćenjem alata. Veća intra-klaster gustina jasno utiče na veće vrednosti gustine same mreže, broja grana, koeficijenta klasterizacije i prosečnog stepena čvora. S druge strane, dijametar mreže se smanjuje.

	ClusteredNet1	ClusteredNet2
Broj grana	198	390
Gustina mreže	0.075	0.159
Dijametar mreže	6	4
Koef. klasterizacije	0.224	0.602
Stepen čvora	5.2	10.9

Tabela 2. Tabela prikaz mrežnih metrika generisanih klasterisanih mreža ClusteredNet1 i ClusteredNet2.

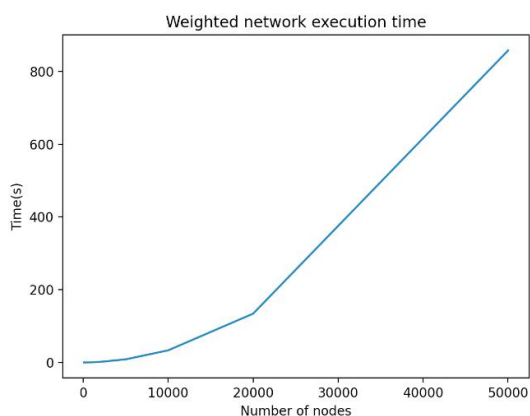
4. GENERATOR TEŽINSKE MREŽE

Generator težinske mreže omogućava zadavanje broja čvorova n i grana m , kao i željenu raspodelu težina grana u mreži. Generisanje se vrši tako što se Brigsomov algoritmom [10] na osnovu broja čvorova i grana formira slučajna mreža uniformno izabrana iz skupa svih mreža sa n čvorova i m grana. Brigsomov algoritam je baziran na Knutovom S algoritmu i garantuje uniformni izbor. Pri realizaciji ovog generatora iskorišćena je funkcija *dense_gnm_random_graph(n,m)* za mrežno modeliranje iz paketa *NetworkX*. Dijagram procesa rada generatora težinske mreže prikazan je na slici 4.



Slika 4. Dijagram rada generatora težinske mreže na osnovu raspodele težina grana.

Vreme potrebno da se generiše težinska mreža zavisi od željenog broja čvorova, kao što je prikazano na slici 5. Interesantno je primetiti da je vreme izvršavanja linearno zavisno od broja čvorova grafa kada se premaši 20 000 čvorova.



Slika 5. Grafik zavisnosti vremena izvršavanja koda (u sekundama) za generisanje težinske mreže u zavisnosti od broja čvorova u mreži. Primetno je da vreme izvršavanja raste linearno počevši od 20000 čvorova.

Nakon generisanja mreže, granama se dodeljuju težine prema zadatoj raspodeli, a izolovani čvorovi se uklanjaju iz mreže. Generisana mreža može imati nešto manji broj čvorova od zadatog, ali u sprovedenim testovima ovo odstupanje ne premašuje 1%.

5. GENERATOR MREŽE SA BROKERIMA

Za ispitivanje efekata prenosa informacija između klastera ključni su brokerski čvorovi koji predstavljaju sponu između klastera. Međutim, dostupni generatori nisu u mogućnosti da generišu mreže sa zadatim brojem brokera. Stoga je implementiran generator mreže sa brokerima kojem se zadaje broj čvorova n , željeni broj brokera b i verovatnoće povezivanja brokera sa drugim brokerom ili sa čvorom iz nekog drugog klastera koji nije broker.

Pošto želimo da svaki klaster sintetične mreže na kraju procesa generisanja poseduje jedinstvenog brokera, generator mreže sa brokerima particioniše željenih n čvorova u b klastera, ne obavezno jednake veličine. Zatim se generišu potpuno povezani grafovi za svaki od klastera i bira se po jedan čvor svakog klastera kao broker. Nakon toga se brokeri dodatno povezuju sa drugim brokerima i čvorovima drugih klastera koji nisu brokeri, a na osnovu pomenutih verovatnoća koje se unose kao parametri algoritma. Šematski prikaz rada generatora mreže sa brokerima dat je na slici 6.



Slika 6. Dijagram rada generatora mreže sa brokerima.

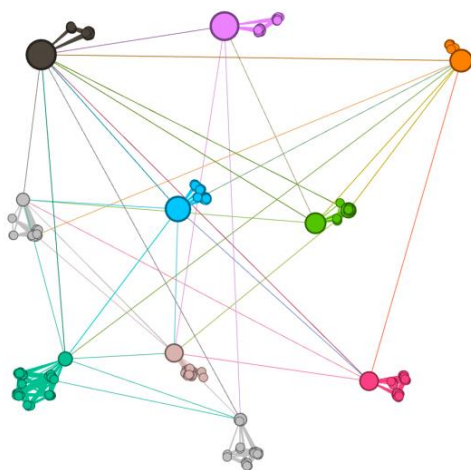
Generisana je mreža BrokersNet sa 1000 čvorova i 10 brokera, sa verovatnoćama od 0.6 i 0.15 za uspostavljanje grana između dva brokera i između brokera i slučajno izabranog čvora iz nekog drugog klastera, respektivno.

Rang	ID čvora	Broker?	Relaciona centralnost
1	833	da	0.456
2	497	da	0.279
3	641	da	0.218
4	92	da	0.202
5	123	da	0.201
6	277	da	0.125
7	188	da	0.121
8	372	da	0.118
9	551	da	0.070
10	331	ne	0.044

Tabela 3. Tabela prikaz deset čvorova sa najvećim relacionim centralnostima u mreži BrokersNet. Prvih devet su generisani brokeri.

Kao prosečan koeficijent klasterizacije dobijena je vrednost 0.98, koja ukazuje na izraženu klasterizaciju u mreži, što je i očekivano ponašanje sistema. U tabeli 3 prikazane su relacione centralnosti 10 čvorova sa najvišim relacionim centralnostima u mreži BrokersNet. Pri generisanju mreže, brokerima su slučajnim izborom dodeljeni identifikatori 92, 123, 188, 277, 372, 497, 551, 564, 641, 833. Poređenjem sa vrednostima identifikatora čvorova iz tabele 3, uočava se da se 9 slučajno odabranih brokera nalazi u top 10 čvorova po vrednostima relacione centralnosti.

Na slici 7 prikazana je vizuelizacija mreže BrokersNet. Luvenski metod za klasterizaciju kao rezultat daje 10 klastera, što je i očekivani broj. Čvorovi su obojeni prema pripadnosti klasteru. Veličinu čvora određuje njegova relaciona centralnost, a najveći su čvorovi koji povezuju odvojene klustere, odnosno željeni brokera.



Slika 7. Vizuelizacija mreže BrokersNet kreirane generatorom mreža sa brokerima, sa 1000 čvorova i 10 brokera.

6. ZAKLJUČAK

Postojeća rešenja za generisanje sintetičkih mreža unapred zadatih karakteristika ne obezbeđuju generatore za tri često potrebne klase kompleksnih mreža, ili to čine na neadekvatan način. Zato su kao rezultat ovog rada implementirana tri generatora: generator klasterisane mreže, generator težinske mreže sa zadatom raspodelom težina grana i generator mreže sa brokerima. Formiran je grafički korisnički interfejs za svaki od tri generatora, radi jednostavnog manipulisanja ulaznim podacima.

Testiranjem realizovanih generatora utvrđeno je da oni predstavljaju adekvatno rešenje za postavljeni problem. Dodatne prednosti u odnosu na postojeća rešenja su predvidljivo vreme izvršavanja i lagodnost korišćenja, jer je ključne mrežne metrike moguće dobiti direktno nakon generisanja i na taj način validirati kvalitet generisanih sintetičkih mreža. Podrška za jednostavan izvoz mreže i naknadno modelovanje u alatu Gephi ili nekom drugom alatu za mrežnu analizu omogućava prirodan proces analize i vizuelizacije generisanih mreža.

Implementirani generatori ostavljaju prostor za dalji napredak. Pojedine karakteristike sistema se mogu dodatno parametrizovati, a pojedine bibliotečke *networkx* funkcije zameniti naprednijim i boljim. Fokus budućeg rada bi bio na kombinovanju sva tri generatora u jedan, koji bi istovremeno generisao težinsku, klasterisanu mrežu sa željenim brojem i karakteristikama brokera. Takođe, preklapanje klastera je česta pojava u realnim mrežama, te bi ga u budućem radu trebalo omogućiti.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora: 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA

- [1] M. Jalali, M. Tsotsalas, and C. Wöll, "MOFSocialNet: Exploiting Metal-Organic Framework Relationships via Social Network Analysis," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 4, p. 704, Feb. 2022, doi: 10.3390/nano12040704.
- [2] G. F. Albery, L. Kirkpatrick, J. A. Firth, S. Bansal, "Unifying spatial and social network analysis in disease ecology," *Journal of Animal Ecology*, vol. 90, no. 1, pp. 45–61, 2020.
- [3] M. Milano and M. Cannataro, "Network models in bioinformatics: Modeling and analysis for Complex Diseases," *Briefings in Bioinformatics*, vol. 24, no. 2, 2023.
- [4] J. Stojković, M. Mišić, J. Protić, "Collaboration network analysis of scientific production at UB-SEE," *Proc. of the 27th TELFOR*, Belgrade, Nov, 2019
- [5] B. Knežević, M. Obradović, P. Obradović, M. Mišić, "Modeling The ATP Tour Matches: A Social Networks Analysis Approach," *Proc. of the 8th IcETRAN 2021*, pp. 490 - 494, Etno willage Stanišići, Sep, 2021
- [6] B. J. Pettejohn, M. J. Berryman, and M. D. McDonnell, "Methods for generating complex networks with selected structural properties for simulations: A review and tutorial for neuroscientists," *Front. Comput. Neurosci.* 5, 11 (2011).
- [7] A. A. Hagberg, D. A. Schult, and P. J. Swart, "Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX", in *Proc. of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008)*, pp. 11–15, Pasadena, CA USA Aug 2008
- [8] M. Bastian, S. Heymann, M. Jacomy, "Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks", *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009
- [9] "Tkinter - Python interface to TCL/Tk," *Python documentation*. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>. [Accessed: 3-Apr-2023].
- [10] D. Joyner, M. V. Nguyen, and N. Cohen, "Algorithmic Graph Theory," *Google Code*, March 2013.

FINGERPRINT BIOMETRICS DATASET OVERVIEW – VARIOUS FINGERS SCAN

KOMLEN LALOVIĆ¹, IVAN TOT²

Fakultet za projektne i inovacioni menadžment - Beograd, komlen.lalovic@pmc.edu.rs ¹

Univerzitet odbrane, Vojna akademija - Beograd, ivan.tot@va.mod.gov.rs ²

Sadržaj – U ovom radu biće prezentovan apsolutno nov set naučnih i istraživačkih podataka dobijenih korišćenjem različitih vrsta biometrijskih skenera otiska prsta nad različitim prstima ruke, kod beba, nad kojima ovih podataka ima jako malo i veoma su dragoceni. Dva su glavna parametra kod biometrije FRR i FAR.

Biometrijske tehnologije korišćene u ovom radu su popularne danas i biće interesantne svim učesnicima konferencije. Namenjena je široj populaciji ove konferencije.

Abstract - This work presents an absolutely novel scientific and research dataset received by using various fingerprint scanners over different hand fingers, over babies, over whom there are really small amount of data, makes them extremely precious.

Two of many parameters are FAR and FRR that need to be on lowest values to provide security guarantee of identity and total matching. All this was done for the first time in research methodology and results are present exclusively in this article. It is continuing of a work that is totally novel method of identity determination based on baby fingerprint minutiae instead of current systems that are full of errors, and it will prevent any possible replacement or identity theft in every maternity ward.

Biometric technologies used in this work are very interesting and will take attention from all conference participants.

1. INTRODUCTION

Biometrics is a scientific discipline and technology that measures and analyzes biological characteristics of humans. [1] [2] [3] [4]. It is a part of advanced security

systems widely used nowadays in modern society and protection systems.

Biometrics is a discipline and technology that measures and analyzes biological characteristics of people. It is a part of advanced security systems widely used in today's modern society and protection systems.

First time here we enrolled scanning for various types of fingerprint scanners such as optical, capacitive, pressure, thermal etc. and measure results for every single baby finger, for acquire fingerprint minutiae. When we determine optimal type of scanner with best percentage in process of scanning then we take deeply and enroll additional scanning for more scanners of that optimal type.

2. TECHNOLOGY OVERVIEW

According to modern well known technical devices – fingerprint scanners which use different algorithms and methods in their process of work to determine the identity of individuals. [5] [6] [7] [8]

Main difference here is the way scanners work and technology they use to provide acquired results of fingerprint minutiae. [9] [10] [11]

3. DATASET RESULTS

We will present result gained with various types of a biometric fingerprint scanners in a process of different fingers scan. It will be easily to conclude which type has best results.

Also we will present here FRR and FAR, very important terms in every biometrics technique.

Each Biometrics tries to minimize **FAR**¹ and to maximize **FRR**² in attempt to be much more accurate and secure. This is case with fingerprint also, and role of various scanners is to provide it.

Here is important to say that babies whom were born before regular time of birth, during 8th, and especially by the end of 7th month of pregnancy have fingerprint on each finger, both hands and foots fingers already formed. [12] [13] [14] [15] [16]

4. OPTICAL SCANNER

Results gained with optical scanner and 100 times tried each of all five fingers provided to us very high result of data acquired. Picture 1 shows results.

Optical scanner	Finger 1	Finger 2	Finger 3	Finger 4	Finger 5	Total success all
100 times / success	100	100	100	100	90	-
Total % of success	100%	100%	100%	100%	90%	98%

Picture 1

5. CAPACITIVE SCANNER

This are scanner type results when capacitive scanner was used on picture 2. Results are also high rate of successful scanning. It can be seen that thumb had 7 successful from 10 times try, two fingers had same 6, one next to the small had 5 and small finger had 4 success from 10 times.

Capacitive scanner	Finger 1	Finger 2	Finger 3	Finger 4	Finger 5	Total success all
10 times / success	7	6	6	5	4	-
Total % of success	70%	60%	60%	50%	40%	56%

Picture 2

¹ **FAR** – False Accept Rate

6. PRESSURE SCANNER

Picture 3 present results with pressure scanner used. Results are low success rate of scanning. It can be seen that thumb had 3 successful from 10 times try, two fingers had same 2, one next to the small had 1 and small finger had 0 success from 10 times for the first time. This is such a low and poor result.

Pressure scanner	Finger 1	Finger 2	Finger 3	Finger 4	Finger 5	Total success all
10 times / success	3	2	2	1	0	-
Total % of success	30%	20%	20%	10%	0%	16%

Picture 3

7. THERMAL SCANNER

Picture 4 finally presents results when thermal scanner is used. Results are really low rate of successful scanning. It can be seen that thumb and next to it had 2 successful from 10 times try, then 1 of 10 and the smallest two fingers has zero.

Thermal scanner	Finger 1	Finger 2	Finger 3	Finger 4	Finger 5	Total success all
10 times / success	2	2	1	0	0	-
Total % of success	20%	20%	10%	0%	0%	10%

Picture 4

8. CONCLUSION

At the end we will not make long conclusion, rather let you make your on, based on obvious results presented here. We want to encourage young researchers to enter this area and go deep, to provide more quantity.

REFERENCES

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica

² **FRR** – False Reject Rate

- Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019
DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [2] Anil K. Jain-*Michigan State University, USA*, Patric Flynn-*University of Notre Dame, USA*, ARUN A. ROSS-*West Virginia University, USA* (2008): Handbook of Biometrics – Springer, USA
- [3] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016
DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [4] Komlen Lalović - Fingerprint biometrics in service public health system at birthplaces, ICIST 2018, 8th International Conference on Information society and technology
- [5] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [6] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [7] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [8] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [9] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [10] Ivan Tot, Mladen Trikoš, Jovan Bajčetić, Komlen Lalović, Dušan Bogičević - Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 18, Issue Number 3, 2021
DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [11] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [12] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [13] Komlen Lalović: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja - book, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA MOBILE APPLICATION FOR PRESENTING FINGERPRINT SCANNER RESULTS, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [15] Komlen Lalović - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BISEC 2021 - International conference in Security ICT, December 3rd 2021 - Belgrade, Serbia
- [16] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.

ERP MODEL I NJEGOVA PRIMENA U PAMETNOM RUDARSTVU ERP MODEL AND ITS APPLICATION IN SMART MINING

Vidosav Majstorović², Vladimir Simeunović¹, Dragan Stošić¹, Žarko Mišković², Rastko Negočić³, Filip Todorović³,
Radivoje Mitrović²

¹*Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd*

²*Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu*

³*Ogranak TE-KO Kostolac, EPS, Kostolac*

Sadržaj – Unapređenje pouzdanosti i spremnosti sistema za proizvodnju energije, postaje prioritet istraživanja i razvoja širom sveta, pa zato proces proizvodnje, transporta, distribucije i korišćenja energija, postaje sve više deo pametnih sistema, čiji je osnovni okvir Industrija 4.0. Dublje analize pokazuju da se većina elementa Industrije 4.0 (ima ih 48, a naše analize pokazuju da ih je moguće primeniti 36 u pametnom rudarstvu). Polazeći od ovih činjenica, u radu je prikazan razvijeni i primenjeni ERP model, koji ima tri dela: virtuelni deo zasnovan na modelu računarstva u oblaku (SaaS model), i koristi IoT za povezivanje poslovnih procesa (nabavka, prodaja, menadžment, finansije, skladište, praćenje zastoja), praćenje proizvodnje (na površinskom kopu) i tehnoloških procesa (praćenje i održavanje pomoćne mehanizacije).

Abstract – Improving the reliability and readiness of energy production systems is becoming a priority for research and development around the world, which is why the process of energy production, transportation, distribution and use is increasingly becoming part of smart systems, the basic framework of which is Industry 4.0. Deeper analyzes show that most of the elements of Industry 4.0 (there are 48 of them, and our analyzes show that 36 of them can be applied in smart mining). Based on these facts, the paper presents a developed and applied ERP model, which has three parts: a virtual part based on a cloud computing model (SaaS model), and uses IoT to connect business processes (procurement, sales, management, finance,

warehouse, downtime monitoring), monitoring of production (at surface mines) and technological processes (supervision and maintenance of auxiliary machinery).

1. UVOD

Industrija 4.0 je novi model automatizacije poslovanja, koji se zasniva na primeni novih tehnologija (pre svega u oblasti ICT), koje su vođene podacima i umrežene kroz sajber prostor, a sa decetralizovanim upravljanjem [1]. Polazeći od ovih činjenica, izuzetno je važno za primenu modela Industrije 4.0 istražiti prirodu, vrstu i veličinu baza podataka, kao i prikupljanje i analizu velikih podataka (Big Data Analysis – BDA), koji se koriste za planiranje i upravljanje na nivou proizvoda (Product Data Management – PDM), pogona (Manufacturing Execution System – MES), fabrike (Enterprise Resource Planning – ERP) i lanca snabdevanja (Supply Chain Management – SCM) [2,3]. Ova pitanja su posebno značajna za temu našeg rada, koji se odnosi na površinski kop uglja i proizvodne aktivnosti na njemu. Polazeći od analogija sa proizvodnjom (manufacturing) u [4] je definisan model Industrije 4.0 za površinski kop, gde je ključni element ovog koncepta održavanje mašinskih sistema. Iz tih razloga je razvijeni i primenjeni ERP model informacionog sistema za površinski kop (planiranje i upravljanje održavanjem i rezervnim delovima), koji se sada prevodi u model Industrije 4.0, što će biti detaljno izloženo u ovom radu. Polazeći iz perspektive šest tehnologija na kojima se model upravljanja podacima u Industriji 4.0 zasniva a sadrži elemente ERP modela, izvršena je analiza prema prirodi, tipu i obimu podataka tabela 1 (prilagođeno prema [1]), sa posebnim osvrtom na rudarstvo.

	<i>Priroda podataka</i>	<i>Tip podatka</i>	<i>Obim podataka</i>
<i>Automatizacija i proizvodne tehnologije (uključujući i rudarstvo)</i>	Predictivne tehnologije (Održavanje, proizvodnja, rezervni delovi)	Numerički, string, bit, simboli	Srednji. <i>(Veoma veliki – velikog obima)¹⁾</i>
<i>Tehnologija skladištenja podataka</i>	Status i istorija proizvodne opreme	Numerički, simbolički, string, vremenske serije, tekst	Veoma veliki. <i>(Cloud računarstvo)¹⁾</i>
<i>Tehnologija digitalizacije</i>	Karakterizacija artefakta, status	Brojčani, simbolički, tekstualni	Veliki. <i>(Digitalni blizanci)¹⁾</i>
<i>Tehnologija računarstva u oblaku</i>	Podaci kakvi jesu, transformisani podaci, integrisani podaci, modeli, algoritmi	Potencijalno tipovi podataka određenih dizajnom oblaka	Veoma veliki. <i>(SaaS)¹⁾</i>
<i>Agent tehnologija</i>	Specifično za primenu (planiranje i kontrola održavanja)	Specifična aplikacija	Mali. <i>(AI/ML)¹⁾</i>
<i>Tehnologija predviđanja</i>	Specifično za aplikaciju (predviđeno održavanje)	Numeričke, kategorijalne, vremenske serije	Srednji. <i>(Inteligentno održavanje)¹⁾</i>

Tabela 1. Korelacija elemenata Industrije 4.0 i podataka koji se koriste za njih (prilagođeno prema [1]).

¹⁾*Dodate karakteristike za Industriju 4.0 u rudarstvu.*

Ako pažljivo razmotrimo ovaj koncept iz tabele 1, možmo zaključiti da se ključni elementi tehnologija Industrije 4.0 (simulation, big data, cloud computing,

integration, AI and ML) se odnose i na razvoj i primenu ERP modela za rudarstvo, čime se stvara okvir za pametno rudarstvo (smart mining). Ova analiza nam služi da

projektujemo model i strukturu decentralizovane baze podataka za površinski kop i ERP model za njega.

Na sledećem nivou razvoja baze podataka za naš model, projektuje se informacioni sadržaj i definiše nivo i način povezivanja (relacija) entiteta. U pametnom rudarstvu ovi elementi se implementiraju putem modela 2M (mašina-mašina), koji podržavaju algoritmi veštačke inteligencije/mašinskog učenja (Artificial Intelligence / Machine Learning – AI/ML). U modelu pametnog rudarstva, tokovi informacija se realizuju kroz oblak i fizičke slojeve. Sloj oblaka (Cloud) obuhvata modele i algoritme koji se odnose na: upravljanje operacijama proizvodnje i održavanja, modele procesa i usluga i praćenje stanja, na primer na površinskom kopu to se odnosi na: obim proizvodnje,

mašinski sistemi u radu/otkazu, praćenje stanja elemenata mašinskih sistema, itd. ERP pokriva fizički sloj koji obuhvata opremu i senzore. Na ovaj način, podeljeni virtualno-fizički sistemi, putem računarstva u oblaku obavljaju deljenje resursa, kojima se upravlja preko ERP modela [4].

Planiranje proizvodnih i tehnoloških resursa u modelu upravljanja proizvodnjom (MRP/ERP), uključujući i rudarstvo ima dugu istoriju, a ovaj razvoj je išao u dva pravca: (i) poslovni aspekt (od planiranja zaliha na nivou fabrike (rudnika) do celog lanca (zahtev za ponuda – isporuka gotovog proizvoda) na nivou kompanije (kompletnog rudnika), i (ii) tehnološki aspekt (od softverskog paketa do arhitekture klijent servera). Pregled razvoja ovog modela dat je u tabeli 2 [4-7,16], sa posebno dodatim karakteristikama primene za rudarstvo.

<i>Godina/model/nivo</i>	<i>Karakteristike MRP/ERP modela (u proizvodnji)</i>	<i>Funkcije (u proizvodnji)</i>	<i>Primena u rudarstvu</i>
<i>1960e/IC/ I nivo</i>	Upravljanje zalihama	Upravljanje skladištem	Upravljanje rezervnim delovima u održavanju
<i>1970e/MRP I / II nivo</i>	Planiranje potreba materijala	Sastavnica proizvoda	Sastavnica održavanja mašina
<i>1980e/MRP II / III nivo</i>	Planiranje tehnoloških resursa	Tehnološka sastavnica	Sastavnica tehnologije održavanja
<i>1990e/ERP / IV nivo</i>	Planiranje poslovnih resursa	Integrisane poslovne aktivnosti kroz organizaciju i njene jedinice	Planiranje poslovnih resursa za održavanje
<i>2000e/ERP II / V nivo</i>	Planiranje poslovnih resursa pomoću Internet	Servisno Orientisana Arhitekture (SOA)	Planiranje poslovnih resursa za održavanje pomoću Interneta
<i>2010e/Cloud ERP VI nivo</i>	ERP na bazi cloud-a	ERP premasoftware kao usluga (Software as a Service – SaaS) modelu	Cloud ERP za rudarstvo
<i>2020s/Industrija 4.0 ERP / VII nivo</i>	ERP za Industriju 4.0 model	Industrija 4.0 koncept u primeni	ERP za Industriju 4.0 model za rudarstvo

Tabela 2. Istorija razvoja ERP modela (usvojeno prema [4-7,16])

ERP II, kao peti nivo razvoja, koristi internet web pretraživače, sa servisno orijentisanom arhitekturom (SOA), a podržan je mobilnim uređajima. Cloud ERP, nivo VI, su poslovne aplikacije koje se isporučuju kao uslužni (SaaS) model, pogodan i za mala i srednja preduzeća. Konačno, poslednji sedmi nivo se odnosi na ERP model za model Industriju 4.0. Prethodna analiza pokazuje da je razvoj prva četiri nivoa ERP modela zasnovan na razvoju informacionih sistema, a potom je i IC tehnologija uključenih u razvoj modela ERP. Najnoviji model je koncept umrežavanja orijentisan na internet, zasnovan na računarstvu u oblaku i AI alatima u modelu Industrija 4.0. Naša istraživanja prikazana u ovom radu se odnose na poslednja dva nivoa.

Cilj ovih istraživanja je da se na bazi analogija sa ERP modela za proizvodnju, razvije model za rudarstvo [4] u kontekstu modela Industrija 4.0.

Ovaj rad ima nekoliko celina: (i) u uvodu je dat osvrt na razvoj ERP modela sa aspekta proizvodnje sa definisanim analogijama za primenu ovog modela u pametnom rudarstvu, posebno sa aspekta primene u tri oblasti u ovom konceptu, kako je to navedeno u abstraktu, (ii) izvršena je analiza ovih prilaza u drugom poglavlju, (iii) ERP model za pametno rudarstvo je prikazan u trećem delu rada, gde su dati i konkretni primeri primene ovog modela u praksi, i (iv) na kraju su dati pravci budućih istraživanja, kao na primer BDA uz podršku AI/ML.

2. PREGLED LITERATURE

Ako analizirimo proizvodnju (površinski kop), pametna fabrika (površinski kop) je bazirana na četiri dimenzije osnovnih tehnologija za Industriju 4.0 [4,8]: (i) proizvodnja u oblaku, (ii) internet stvari za proizvodnju (rudarstvo), (iii) veliki podaci (za proizvodnju/rudarstvo) i (iv) analitika (za proizvodnju/rudarstvo).

Ovaj model stvara novi poslovni model za organizaciju u cirkularnoj ekonomiji – eko održiva pametna proizvodnja [9,10,18,22]. U ovom konceptu, ERP model je ključni element modela vertikalne integracije, ali je i čitav deo pametnih lanaca i osnovnih tehnologija za Industriju 4.0 (simulation, big data, cloud computing, integration, AI and ML), organizacije koja ovaj model primenjuje, a to može biti i rudnik.

Postoje tri koncepta integracije u modelu Industrija 4.0 koji se primenjuju [6,11,12,17]: (i) vertikalna integracija (od procesa – senzora, do organizacije (korporativno planiranje) – ERP). Centar integracije na ovom nivou je sajber-fizički sistem (CPS (na primer – bager)), čija se proizvodnja realizuje; (ii) horizontalna – od zahteva za ponudu do otpremnice gotovog proizvoda (marketing, projektovanje, proizvodnja, isporuka). Integracioni centar je inteligentan proizvod, sa dodatnom vrednošću. Ovaj pristup je klasičan primer za proizvodne organizacije iz oblasti mašingradnje; i (iii) lanci snabdevanja i održiva proizvodnja sa centrom za integraciju upravljanja odnosima sa kupcima (Customer

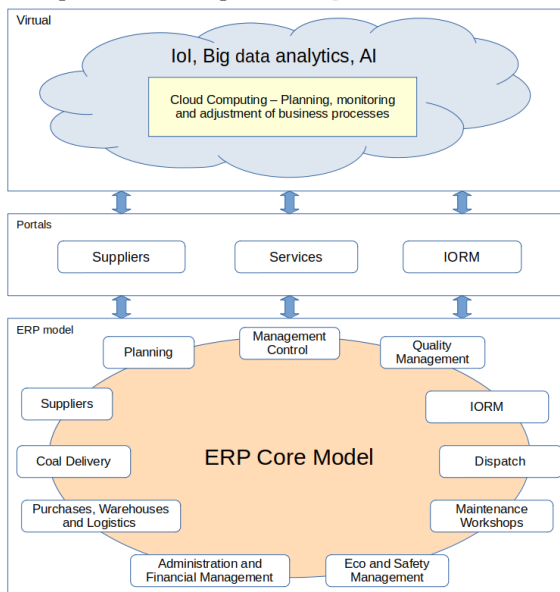
Relationship Management – CRM). I ovaj pristup je dobar primer za proizvodne organizacije, ali ne za rudnike.

U našem slučaju, površinski kop gradi novi poslovni model svog koncepta Industrije 4.0, čiji je centar velika baza podataka i izveštavanje, pri čemu ERP model igra ključnu ulogu u tome, i to posebno za planiranje i upravljanje održavanjem mašinskih sistema.

3. ERP MODEL ZA PAMETNO RUDARSTVO

3.1. Osnovna struktura modela

Planiranje i upravljanje resursima održavanja na površinskom kopu u ovom konceptu se vrši po ERP modelu [13], koji se testira u ovim istraživanjima i predstavlja nadogradnju postojećeg informaciono-komunikacionog sistema (IKS), koji se primenjuje na ovom površinskom kopu, slika 1 [4,8,19,20].



*IORM - upravljanje intra-organizacionim odnosima
Slika 1. ERP Industrija 4.0 model za rudarstvo (usvojen prema [4,8,19,20])

U realnoj proizvodnji na površinskom kopu, vrši se generisanje podataka o eksploataciji i održavanju, preko radnih naloga, karti zastoja, planova održavanja, pregleda zaliha rezervnih delova, itd. Na osnovu modela digitalni blizanac, koji se preko tehnologije agenata povezuje sa realnim svetom, za svaki agent se definiše: identifikacija, autoarizacija, konfiguracija, kapacitet, status i meta podaci. Skladište podataka na cloud-u (SaaS model) je centar informacija koji čuva i razmenjuje sve proizvodne podatke sa kopa. On radi kreiranje, skladištenje, pronalaženje i istražuje nesigurnost modela, koristeći modele za mašinsko učenje, statističke ili stohastičke koncepte, koji se zasnivaju na matematičkim funkcijama potrebnim za kreiranje modela vođenih podacima, što se obezbeđuje konceptom ERP modela [19,20]. Svaki agent preuzima takve modele preko posrednika i odlučuje o

prediktivnim operacijama i kontrolama mašinskih sistema i njihovih komponenti, na osnovu rezultata koji modeli daju.

Razvijeni model ima tri dela [4,12,20]: (i) virtualni deo koji se zasniva na cloud computing (SaaS) model. On sadrži virtuelni model ERP sistema koji pomoću Interneta stvari (Internet of Things – IoT) povezuje poslovne procese (nabavka, prodaja, menadžment, finansije, magacin, zastoje), proizvodnju (u našem slučaju kopove) i tehnološke procese (u našem slučaju praćenje stanja i održavanje pomoćne mehanizacije). U procedurama ERP u primeni se generiše velika baza podataka (BDA), čijom analizom i sintezom, uz preimenu mašinskog učenja i alata AI, se optimiziraju odluke o održavanju po stanju, planiranju zastoja i upravljanju zalihama rezervnih delova, (ii) interfejs (dobavljači, usluge i upravljanje održavanjem). Njihova funkcija je da menadžeri održavanja on line prate ceo sistem, i (iii) osnovni model ERP-a, koji pored navedene funkcije, obuhvata i ostale poslovno-tehničke i menadžment funkcije površinskih kopova.

Umesto prodaje i CRM-a, osnovni model ERP-a za eksploataciju uglja oslanja se na isporuku uglja i upravljanje odnosima unutar organizacije (IORM). Ovi elementi su prikladni kada je rudnik uglja deo većeg preduzeća, tako da su potrošači uglja kao što su termoelektrane u okviru istog preduzeća (npr. različiti sektori ili grane). Pored toga, dati osnovni model ERP-a sadrži dva važna elementa specifična za rudarstvo koje u velikoj meri zavisi od mašina: otpremu (i upravljanje) flotom i radionice za održavanje

Na ovaj način ovaj model za površinske kopove je obuhvatio sledeće glavne elemente koncepta Industrija 4.0: sajber fizički sistem (CPS), industrijski internet stvari (IIoT), cloud računarstvo (CC), veliki podaci i analitika (BDA), horizontalna i vertikalna integracija i simulacija [4].

3.2. ERP MODEL U PRAKSI

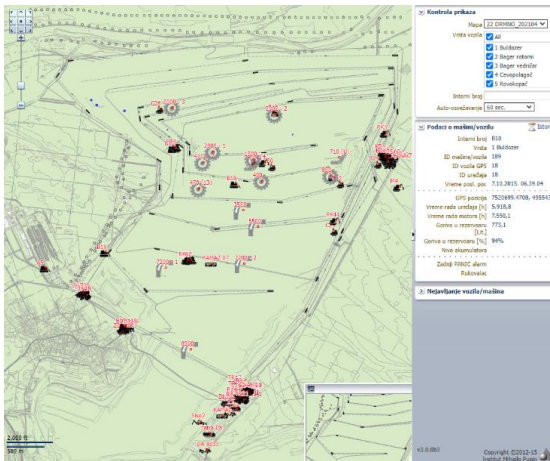
Zbog složenosti i specifičnosti osnovnih i pomoćnih rudarskih operacija, kao i sveobuhvatnih poslovnih procesa, implementacija modela se odvija postepeno u periodu od nekoliko godina i može se smatrati stalnim procesom.

Na primer, ovde su za faze digitalnog planiranja i upravljanja odabrani procesi upravljanja gorivom i upravljanje tehničkim tečnostima i mazivima. Upravljanje gorivom je jedan od prioritarnih procesa za koji je u početnoj poslovnoj analizi identifikovan značajan potencijal za uštedu direktnih troškova. Ova analiza je u velikoj meri zasnovana na intervjuima sa menadžmentom srednjeg/nizog nivoa i stručnjacima iz domena, kao i na analizi inputa/outputa poslovnih procesa kakav je ovaj na površinskom kopu.

Nabavka goriva, tehničkih tečnosti i maziva planirana je na osnovu potrošnje u prethodnom periodu, kao i obima i vrsta radova planiranih za naredni period. Stoga, digitalni podaci i izveštaji dostupni u MES-u (Sistem za izvršenje radnih naloga u rudarstvu) pružaju kritičan ulaz za proces planiranja nabavke. U ovom konkretnom slučaju, MES je informacioni sistem zasnovan na Web- koji je posebno

razvijen za sektor pomoćnih rudarskih operacija. Obuhvatao je end-to-end poslovne procese upravljanja operacijama u prvoj fazi, a upravljanje održavanjem u drugoj fazi implementacije [14]. Na ovaj način, digitalna platforma je povezala dva odeljenja – Operativni rad i Održavanje, sa mnogim duboko povezanim ili poslovnim procesima zavisnim od izlaza. Kao rezultat toga, poslovni procesi su pojednostavljeni, sa smanjenim protokom papira i bržem isporukom informacija. Jedan od krajnjih ciljeva je radno okruženje bez papira.

Treća faza je uvela sistem za praćenje mašina i vozila (sa geo-alatom zasnovanom na web-u) čija je primarna svrha da podrži otpremu i upravljanje flotom. Pored toga, sistem je koristan za šire upravljanje operativnim radom, kao i za upravljanje održavanjem. Oslanja se na GPS/GPRS i GIS tehnologije i integrisan je sa MES-om. Sistem je obuhvatio svu mehanizaciju za pomoćne operacije (npr. buldožere, rovokopače, grejdere, itd.) i neke od mašina za osnovne operacije (npr. bageri sa rotorom, itd.). Između ostalog, omogućava praćenje položaja mašina u realnom vremenu na mapi površinskog kopa; praćenje parametara mašina/vozila (kao što su GPS pozicija, vreme rada motora, vreme rada uređaja, zapremina goriva u rezervoaru u litrima i procentima, vreme poslednje poruke, vreme poslednjeg paničnog alarma); izveštavanje o istoriji kretanja mašine/vozila (analiza rute i vizuelizacija), potrošnji goriva, radnih satima, kilometraži, itd. (Slika 2).



Slika 2. Mapa trenutnog online praćenja položaja pomoćne mehanizacije na površinskom kopu

S jedne strane, digitalni izveštaji su dobijeni na osnovu naloga za rad/održavanje i naloga za gorivo, maziva i tehničke tečnosti od MES-a. S druge strane, digitalni izveštaji su takođe dobijeni na osnovu podataka prikupljenih od senzora mašina/vozila i uskladištenih u sistemu za praćenje voznog parka. Uporedni pregledi takvih izveštaja (npr. o radnom vremenu, potrošnji goriva, itd.) iz alternativnih izvora podataka značajno su poboljšali kvalitet ulaznih podataka za upravljanje operativnim radom i održavanjem, a shodno tome i za proces nabavke.

Svako veće odstupanje u podacima iz ova dva izvora je alarm za detaljnu proveru. Takva pažljiva provera otkrila je neke uzroke netačnosti podataka kao što su ljudska greška i kašnjenje u unosu podataka iz papira/narudžbi za gorivo u digitalni MES ili nemar nekih zaposlenih u popunjavanju papirnih formulara. Naime, papirni obrasci su prvobitno korišćeni kada se punjenje mašina/vozila vrši na mestu rada ili u radionicama.

Shodno tome, sledeći korak ka implementaciji modela bilo je uvođenje industrijskih PDA (Personal Digital Assistant) uređaja sa jednostavnom aplikacijom za vođenje digitalne evidencije o sipanju goriva u mašine i vozila [14, 15]. PDA uređaji nemaju tastaturu; Unos podataka je omogućen preko ekrana kao kod tableta i mobilnih telefona, koji su zaposlenima poznati. PDA koriste radnici na održavanju u radionicama, operateri u skladištu tehničkih tečnosti i maziva (odeljenje održavanja), kao i operateri rezervoara za gorivo (odeljenje za operacije). Naime, maziva i tehničke tečnosti se koriste u hitnom održavanju (na mestu rada), kao i u preventivnom održavanju (u radionicama). Zahvaljujući sistemu za praćenje voznog parka, dispečer može da predloži optimalnu rutu za dolazak do mašina i vozila na mestu rada.

Mobilna aplikacija je integrisana sa centralnim MES-om tako da se podaci dobijeni na ovaj način kombinuju sa ostalim relevantnim podacima pomoću broja naloga za rad/održavanje operatera (Slika 3, Slika 4). Nekoliko izveštaja/KPI je obezbeđeno na osnovu ovih podataka uključujući pregled aktivnosti smena, prosečnu potrošnju, odnos prosečne i normative potrošnje u procentima, potrošnju goriva/maziva/tehničkih tečnosti prema vremenskom periodu, mašinu/vozilo, rad sati ili kilometraža itd. Samim tim, omogućeno je blagovremeno i preciznije praćenje koje vodi ka boljoj kontroli i planiranju potrošnje goriva/maziva/tehničkih tečnosti na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou, boljem planiranju nabavki i konačno smanjenju troškova.

ID	Ime	Mesto rada (rad. mesto)	Vrsta usl.	Otpisat rata	Diagnostika	Rad. servis	Datum	Ovra	Komentar
1.	105022	PP6	Rad. PM VOZILA	Preventivno	Mašina	Potrebna redovna servis	05.05.2022 07:34	Da	
2.	104722	DMKO 9	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Sistemi za kočenje	potrebna popravka kočnica	05.05.2022 14:13	Da	
3.	104622	TR 27	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Motorski sa upravljačem	potrebna popravka servo upravljača	05.05.2022 13:32	Da	Naša obr na popravku u radionici
4.	104522	Lada Nova 24	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Električni i mehanički	potrebna zamena kula alternatora	05.05.2022 12:09	Da	
5.	104522	Lada Nova 24	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Električni i mehanički	potrebna zamena gl. kula	05.05.2022 12:09	Da	
6.	104422	CM	Rad. PM VOZILA	Preventivno	Mašina	Potrebna redovna servis	05.05.2022 12:44	Da	
7.	104322	MAK113	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Karantani prevozi	potrebna namazivanje kočnice	05.05.2022 11:25	Da	
8.	104222	HERMALE 7	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Vozilo	potrebna popravka katalizatora	05.05.2022 13:14	Da	
9.	103722	PP2	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Električni i mehanički	Potrebna zamena alternatora	05.05.2022 07:46	Da	
10.	103522	MK21	Rad. PM VOZILA	Preventivno	Mašina	Redovni servis	05.05.2022 09:00	meš	
11.	103422	K2	Rad. PM VOZILA	Preventivno	Mašina	Redovni servis	05.05.2022 07:52	Da	
12.	103322	BK6	Rad. PM VOZILA	Preventivno	Mašina	Redovni servis	05.05.2022 09:46	Da	
13.	103222	Lada Nova 14	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Mašina	potrebna zamena servisa goriva	04.05.2022 13:33	Da	
14.	100222	MAK203	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Sistemi za kočenje	potrebna popravka kočnica	04.05.2022 13:40	Da	
15.	100122	TR 2	Rad. PM VOZILA	Konvencio	Prešni meš	potrebna popravka prednjeg brzoa	04.05.2022 12:23	Da	

Slika 3. Lista operacija održavanja na površinskom kopu po danu

Softverska podrška za upravljanje zalihama, administraciju i finansijsko upravljanje je obezbeđena u tradicionalnom ERP-u na nivou ogranka. Stoga, MES i tradicionalni ERP treba da dele podatke o zalihama kao što su gorivo i rezervni delovi da bi podržali planiranje zaliha, izdavanje inventara i druge potprocese upravljanja zalihama. Štaviše, ovi informacioni sistemi treba da dele podatke za upravljanje

nabavkama, kao i za upravljanje troškovima. Zbog toga oba informacijska sistema koriste isti sistem obeležavanja za praćenje osnovnih sredstava i zaliha potrošnja materijala. Integracija MES-a sa tradicionalnim ERP-om omogućila je deljenje podataka o relevantnim stavkama zaliha (npr. tip artikla, podtip, tehnički detalji), logistici ulaza/izlaza skladišta, statusu zaliha u magacinu i ceni zaliha.

Radnica	Dat. ulaz	Vreme radnog tip	Stat. broj	Stat. tip	Stat. opis	Stat. Znak	Stat. Pre. (Z)	Stat. (S)
Rad. PM MASINE	04.05.2022 11:44	Radnja: 0413 D	HE13	1020/22	Mašina: Zamena filtera gornje i donje	2	5:00	5:00
	04.05.2022 12:05	Radnja: 0413 D	V5 SE	068/22	Elektronika i elektronika: zamena kabela ventilatora	1	2:00	2:00
	04.05.2022 12:30	Radnja: 0413 D	CPZ	1021/22	Mašina: Nametanje crne vode	1	2:00	2:00
	04.05.2022 12:56	Radnja: 0413 D	Slip	1020/22	Elektronika i elektronika: Zamena el. pumpe gornje i donje i elektronika: Zamena filtera kabele	1	1:00	1:00
	04.05.2022 13:28	Radnja: 0413 D	RO1	067/22	Mašina: Podizanje Rapa Hladnjača	1	2:00	2:00

Slika 4. Registar Radnih naloga održavanja

Na slici 5 prikazan je primer dinamičkog digitalnog izveštaja sa KPI-ovima o dnevnom radu mašine između dva data datuma. Tačnije, izveštaj pokazuje odnos prosečne i normativne potrošnje goriva mašine (u procentima), kao i odnos vremena kada se mašina ne kreće i vremena kada se mašina kreće (u procentima). Izveštaj takođe prikazuje pojedinačne podatke potrebne za izračunavanje datih KPI. Izveštaj je dinamičan zasnovan na odgovarajućim parametrima izveštaja koji omogućavaju kontrolu podataka izveštaja i variranje prezentacije izveštaja. Mnogi drugi izveštaji koji ciljaju specifične KPI i parametre operacija/održavanja su omogućeni na ovaj način.

Type	Model	Date	Stat. broj	Stat. tip	Stat. opis	Stat. Znak	Stat. Pre. (Z)	Stat. (S)
Busline B	7203Y DYNIA B50	06.11.2020	I	Kovnica	5:45	1:50	3:80	21.23
		06.11.2020	II	10:11	3:26	1:14	2:02	31.80
		06.11.2020	III	10:12	4:20	1:31	2:89	31.21

Slika 5. Izveštaj sa KPI o operativnom radu mašine na dnevnom nivou

Postoji mnogo prostora za poboljšanja u pravcu pametnog rudarstva, ali to uglavnom zahteva značajna ulaganja (obnova mašina/vozila sa dodatnim i pouzdanijim senzorima, proširenje i nadogradnja ICT platforme, itd.). Prediktivno održavanje, koje je zamišljeno pre mnogo godina, predstavljalo bi veliki korak napred. Primer u datom kontekstu bi bila analiza i kontrola habanja mašina, kontaminacije maziva i srodnih uslova održavanja i predviđanja kvarova. Predviđeno održavanje smanjuje troškove rada i materijala i održava mašine u optimalnim podešavanjima. Uz to, održavanje mašina u

optimalnom radnom stanju ima pozitivne implikacije na bezbednost ljudi i životnu sredinu.

4. ZAKLJUČNE PORUKE I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Iako delimično implementiran, model je omogućio da se značajno ubrza donošenje odluka i olakša aktivnosti upravljanja na operativnom, sektorskom i nivou ogranka. Pokriveni poslovni procesi su poboljšani u smislu KPI-a i značajno su smanjeni troškovi. Pored toga, redizajn nekih poslovnih procesa doveo je do eliminacije vremenski-zahtevnih i napornih aktivnosti kao što je unos podataka sa papirnih formulara i doveo do boljih uslova rada. Postavljena je osnova za naredne korake ka pametnom rudarstvu.

Buduća istraživanja i razvoj treba da razmotre tehnološke nadogradnje za podršku pametnoj analitici kao što su različiti trendovi i prognoze (npr. obim posla, potrošnja resursa, radni vek i kvarovi na mašinama, itd.), kao i upozorenja (npr. u prediktivnom održavanju). U tom cilju, dalje uvođenje i unapređenje pametne (ili osnovne) analitike bila bi veoma korisna zahvaljujući velikim podacim koji dolaze iz različitih povezanih sistema. Prediktivno održavanje je samo po sebi jedan od krajnjih ciljeva. Pored pametne/prediktivne analitike, ono zahteva proširenje pokrivenosti senzora i poboljšanje njihove pouzdanosti.

U tom cilju, postoje namere da se preostale mašine uključe u IoT i da se proširi i poboljša skup podataka prikupljenih ovim putem (npr. podaci o statusu, parametri motora, itd.). Međutim, obnavljanje nekih mašina će možda morati da prethodi jer samo novije mašine imaju moderne senzore koji omogućavaju prikupljanje bogatijeg i pouzdanijeg skupa podataka. Ovo je značajna investicija čak i za mnogo bogatije privrede i stoga se može realizovati samo u fazama.

ZAHVALNOST

Istraživanje opisano u ovom radu je delimično finansirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] A. Kusiak, Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective, Annual Reviews in Control, Vol. 47, 2019, 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.02.001>.
- [2] J. P. U. Cadavid, S. Lamouri, B. Grabot, A. Fortin, Machine Learning n Production Planning and Control: A Review of Empirical Literature, 9th IFAC conference on Manufacturing Modeling, Management and Control, Dmitry Ivanov et al. (Ed.), pp. 385-390, Berlin, Germany, August 28-30, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.155>.
- [3] L. Monostori, P. Valckenaers, A. Dolgui, H. Panetto, M. Brdys, B. C. Csáji, Cooperative control in production and logistics, Annual Reviews in Control, Vol. 39, 2015, 12-29. www.doi.10.1016/j.arcontrol.2015.03.001.

- [4] Vidosav Majstorovic, Vladimir Simeunovic, Zarko Miskovic, Radivoje Mitrovic, Dragan Stosic, Sonja Dimitrijevic, Smart Manufacturing as a framework for Smart Mining, *Procedia CIRP* 104 (2021) 188–193. [www.doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.032](https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.032).
- [5] N., N., A Brief History of ERP – since 1960 and the future of ERP, <https://www.erp-information.com/history-of-erp.html>, Pristupano januara 2023.
- [6] J. Bendul, H. Blunck, The design space of production planning and control for Industry 4.0, *Computers in Industry*, Vol. 105, 2019, pp 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.010>.
- [7] K. Hanson, ERP in the age of Industry 4.0, <https://www.sme.org/technologies/articles/2020/august/erp-in-the-age-of-industry-4.0/>, pristupano januara 2023.
- [8] Frank, A., Dalenogare, L., Ayala, N., (2019) Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing, *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. [www.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004).
- [9] Fallera, C., Feldmüllera, D. (2015) Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs, *Procedia CIRP*, 32, 88 – 91. [www.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.117](https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.117).
- [10] Erol, S., Sihn, W. (2017) Intelligent production planning and control in the cloud – towards a scalable software architecture, *Procedia CIRP*, 62, 571 – 576. [www.doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.003](https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.003)
- [11] Ivanov, D., Sethi, S., Dolgui, A., Sokolov, B. (2018) A survey on control theory applications to operational systems, supply chain management, and Industry 4.0, *Annual Reviews in Control*, 46, 134–147. [www.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.10.014](https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.10.014).
- [12] Xua, D. L., Xu, L. E., Lia, L. (2018) Industry 4.0: state of the art and future trends, *International Journal of Production Research*, 56 (8) 2941–2962. [www.doi.org/10.1080/002075443.2018.1444806](https://doi.org/10.1080/002075443.2018.1444806).
- [13] Olson, D., et al., Open source ERP business model framework, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 50 (2018), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.09.007>.
- [14] Simeunović, V., et al., Development of Industry 4.0 Model for Open Pit Coal Mine (in Serbian), 26th conference YU INFO 26 (2020), 279–284. http://www.yuinfo.org/ZBORNIK_YU_INFO_2020.pdf
- [15] Stošić, D. et al., Monitoring feeding fuel, lubricant and technical fluid in open-pit coal mine supported by modern ICT (in Serbian), 25th conference, YU INFO 25 (2019), 170–175, <http://www.yuinfo.org/zbornici/2019/YUINFO2019.pdf>
- [16] Cınar, Z.M.; Abdussalam Nuhu, A.; Zeeshan, Q.; Korhan, O.; Asmael, M.; Safaei, B. Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0. *Sustainability* 2020, 12, 8211. <https://doi.org/10.3390/su12198211>.
- [17] Kim, S.; Choi, J.-H.; Kim, N.H. Challenges and Opportunities of System-Level Prognostics. *Sensors* 2021, 21, 7655. <https://doi.org/10.3390/s21227655>.
- [18] Ebru Turanoglu Bekar, Per Nyqvist, Anders Skoogh, An intelligent approach for datapre-processing and analysis in predictive maintenance with an industrial case study, *Advances in Mechanical Engineering*, 2020, Vol. 12(5) 1–14, <https://doi.org/10.1177/1687814020919207>.
- [19] N. Kolokas, T. Vafeiadis, D. Ioannidis and D. Tzovaras, "Forecasting faults of industrial equipment using machine learning classifiers," 2018 *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2018, pp. 1-6, [www.doi.org/10.1109/INISTA.2018.8466309](https://doi.org/10.1109/INISTA.2018.8466309).
- [20] Weidong Li, Yuchen Liang, Sheng Wang, Data Driven Smart Manufacturing Technologies and Applications, Book, Springer, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66849-5>.
- [21] Fadi Assad, Sergey Konstantinov, Hazem Nureldin, Mohammed Waseem, Emma Rushforth, Bilal Ahmad, Robert Harrison, Maintenance and digital health control in smart manufacturing based on condition monitoring, 8th CIRP Conference of Assembly Technology and Systems, *Procedia CIRP* 97 (2019) 142–147. <https://www.doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.216>.
- [22] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee and B. Yin, "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6505–6519, 2018, [www.doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682).

ANALIZA PODATAKA O SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA KORIŠĆENJEM SISTEMA POSLOVNE INTELIGENCIJE

ANALYSIS OF DATA ON TRAFFIC ACCIDENTS USING A BUSINESS INTELLIGENCE SYSTEM

Atanasijević Jordan¹

Generalštab Vojske Srbije, CPME, Beograd¹

Sadržaj – Osnovna postavka rada vezana je za unapređenje trenutnog načina odlučivanja korišćenjem sistema poslovne inteligencije, značajnog za odlučivanje o konkretnom problemu, a u cilju ostvarivanja benefita pri donošenju odluka na najvišem nivou. Unapređenje mora da bude primereno razvoju sistema poslovne inteligencije u uslovima kada već postoji ranije akumulirano znanje o problemu. Dobijeni rezultati treba da pokažu da se sistemom poslovne inteligencije, mogu identifikovati opasna mesta na putevima, kao prva i veoma važna faza u postupku upravljanja rizičnim tačkama i predstavlja proceduru za otkrivanje konkretnih zakonitosti na putnoj mreži na kojima je potrebno delovati odgovarajućim konkretnim merama.

Abstract - The basic setting of the work is related to the improvement of the current way of decision-making by using the business intelligence system, which is important for deciding on a specific problem, and with the aim of achieving benefits when making decisions at the highest level. The improvement must be appropriate to the development of the business intelligence system in conditions where previously accumulated knowledge about the problem already exists. The obtained results should show that dangerous places on the roads can be identified with the business intelligence system, as the first and very important stage in the process of managing risk points and is a procedure for discovering specific legalities on the road network that need to be acted upon with appropriate concrete measures.

1. UVOD

Skladištenje podataka i poslovna inteligencija su tehnike koje obezbeđuju poslovnim ljudima informacije i alate koji su im potrebni za donošenje odluka o operativnom i strateškom poslovanju.

Korisnici su uglavnom poslovni ljudi u kompanijama. Ali ne nose svi poslovni ljudi isti značaj. Potrebno je posebno se pobrinuti za one koji donose strateške poslovne odluke. Jedna dobra poslovna odluka može doneti milione dolara kompanijama. Zato su glavni korisnici rukovodioci, menadžeri i analitičari u kompanijama. Skladište podataka i poslovna inteligencija (DW/BI) jesu sistemi visokog uticaja.

Termin strateški, takođe označava važnost. To su odluke koje mogu da donesu dobitak, ali i gubitak preduzeću. Prema tome, DW/BI sistem je sistem visokog poslovnog rizika. Kada se donese strateški važna odluka, neko dobija, a neko često i gubi.

DW/BI sistem takođe podržava i donošenje operativnih odluka, naročito kada donosilac istih mora da vidi arhivu podataka ili integrisane podatke iz više izvora. 21 Mnogeanalitičke aplikacije imaju takav operativni fokus.

Bilo da je odlučivanje strateško ili operativno, DW/BI sistem mora da pruži informaciju koja je potrebna za donošenje tih odluka.

Odluke najčešće zahtevaju jedinstveni podskup informacija, koji u osnovi nije predodređen. Potrebno je da se izgradi informaciona infrastruktura koja integriše podatke iz cele organizacije i potencijalno izvan organizacije, a zatim čisti, ispravlja i restruktuirira podatke da budu fleksibilni i upotrebljivi što je više moguće. Dok većina modula transakcionog sistema radi sa jednim tipom informacija, kao što su fakture, nalozi ili potraživanja, DW/BI sistem mora da ih integriše sve zajedno. DW/BI sistem zahteva tehnički sofisticirano upravljanje i prikupljanje podataka.

Konačno, neophodno je donosioca odluke obezbediti alatima kojima će iskorišćavati podatke. U ovom slučaju, termin „alati“ je mnogo više od samog softvera. On označava u ovom slučaju sve što je korisnicima potrebno da mogu razumeti koje su im informacije dostupne, zatim da mogu pronaći podskup informacija koji im je potreban i da na kraju mogu strukturirati podatke kako bi uvideli poslovnu dinamiku. „Alati“ obuhvataju obuku, dokumentaciju i podršku, zajedno sa *ad hoc* upitima, izveštajima i analitičkim aplikacijama.

2. CILJ RADA

Osnovni cilj rada može se definisati kao istraživanje mogućnosti identifikacije i određivanja „žarišta“, pre svega primenom programskog paketa *Power Query* u okviru *Power BI* koji omogućava automatsko izdvajanje, transformaciju i učitavanje podataka, tj razvoj *ETL* sistema i otkrivanja zakonitosti u podacima za potrebe brojnih analiza i upotrebe rezultata u cilju donošenja pravovremenih i ispravnih odluka.

Poseban cilj rada je praktična implementacija dobijenog novog i objedinjenog pristupa u cilju korišćenja istog u svrhu predikcije budućih stanja i postizanja optimalnih parametara rada u različitim situacijama kod donošenja poslovnih odluka.

3. POSLOVNA INTELIGENCIJA

Izraz poslovna inteligencija prvi put je upotrebljen 1996. godine kako bi označio kategoriju sredstava analize podatka, postavljanja upita, izveštavanja, koji korisniku u poslovnim procesima mogu pomoći da iz ogromne količine podataka sintetizuju vredne informacije na kojima će zasnivati svoje poslovne odluke. Fenomen poslovne inteligencije može se posmatrati sa dva aspekta - makro i mikro aspekta. Posmatrana sa makro aspekta, poslovna inteligencija označava složenu agregiranu kategoriju, koja se stvara sistematskim, ali ne ciljanim prikupljanjem podataka o makro ekonomskim

kretanjima u određenoj geopolitičkoj sredini. Ona, takođe, podrazumeva njihovo organizovanje i strukturirano beleženje, kao i logičko-računsku obradu radi otkrivanja trendova. Danas posebnu pažnju inženjera znanja sve više pobuđuje fenomen poslovne inteligencije posmatran sa mikro aspekta. U ovom slučaju se radi o otkrivanju prikrivenih znanja iz poslovnih podataka, koje neka organizacija prikuplja rutinski, obavljajući svoje svakodnevne poslovne transakcije.

Poslovna inteligencija je relativno mlad pojam za koji postoji više definicija, ali svaka se svodi na to da je poslovna inteligencija proces prikupljanja podataka, pretvaranje tih podataka u informacije koje su korisne za donošenje važnih odluka. Poslovna inteligencija kao termin se najčešće koristi za označavanje računarske podrške odlučivanju. Sistem poslovne inteligencije je deo informacionog sistema organizacije namenski razvijen da podrži upravljanje. Upravljanje zahteva sveobuhvatan i blagovremen uvid u pokazatelje funkcionisanja organizacije kako bi donošene odluke bile pouzdane i precizne. Prema savremenim teorijama ovaj uvid treba da omogući što većem broju zaposlenih od kojih se, kada ga dobiju, može očekivati i veća efikasnost i odgovornost za ostvarene rezultate. Tehnike poslovne inteligencije (*data warehousing, reporting, OLAP, data mining, dashboards i dr.*) ekstrahuju podatke iz postojećeg informacionog sistema i transformišu ih u oblik pogodan za odlučivanje. Implementacija *BI* tehnika povećava upotrebnu vrednost postojećeg informacionog sistema organizacije, usled čega je interesovanje za sisteme poslovne inteligencije veliko i još uvek raste.

Pošto ne postoji univerzalna definicija pojma poslovna inteligencija, različiti autori ga definišu na različite načine. Jedna od najčešće korišćenih i opštijih definicija je sledeća: "Poslovna inteligencija je takvo korišćenje podataka koje vodi ka donošenju boljih poslovnih odluka. Ono se odnosi na pristup, analizu i otkrivanje novih mogućnosti".

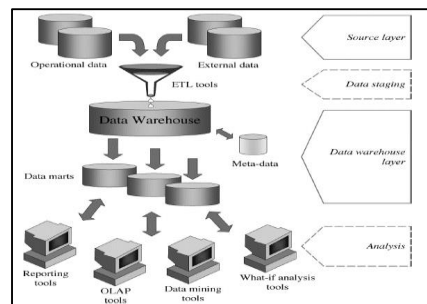
4. KORIŠĆENI MODEL ARHITEKTURE SKLADIŠTA PODATAKA

Zahtev za razdvajanje igra ključnu ulogu u definisanju tipične arhitekture u istemu skladišta podataka, kao što je prikazano na narednoj slici (slika.1.). [1] Iako se obično naziva dvoslojnom arhitekturom, da naglasi razdvajanje između fizički raspoloživih izvora i skladišta podataka, zapravo se sastoji od sledeće četiri faze kroz koje podaci prolaze:

1. **Izvorni sloj:** Sistem skladišta podataka koristi heterogene izvore podataka. Ti podaci se obično čuvaju u korporativnim relacionim bazama podataka a mogu doći iz informacionih sistema koji su izvan korporativnih zidova.
2. **Prenos podataka:** Memorisane podatke u izvorima treba izvući, očistiti od nedoslednosti, popuniti praznine i integrisati da se spoje heterogeni

izvori u zajedničku šemu. Takozvani ETL (Extraction, Transformation and Loading tools) može da spojiti heterogenu šemu, ekstrahuje, transformiše, očisti, potvrdi, filtrira i učita podatke iz nekog izvora u skladište podataka. Tehnički rečeno, ova faza se bavi problemima koji su tipični za distribuirane informacione sisteme, kao što je i nekonzistentno upravljanje podacima nekompatibilne strukture podataka.

3. **Sloj skladišta podataka:** Informacije se čuvaju u jednom logičnom centralizovanom skladištu, skladištu podataka. Skladištu podataka se može direktno pristupiti, ali se takođe može koristiti kao izvor za stvaranje „data marts“-ova podataka, koji delimično ponavljaju sadržaj skladišta podataka i dizajnirani su za određena odeljenja preduzeća.
4. **Analiza:** U ovom sloju, integrisani podaci su na efikasan i fleksibilan način dostupni za izdavanje izveštaja, dinamičku analizu informacije i simulaciju hipotetičkih poslovnih scenarija. Tehnički rečeno, trebali bi imati sledeća svojstva: navigaciju nad agregiranim podacima, optimizere kompleksnih upita i korisnički orijentisan GUI. Arhitekturna razlika između skladišta podataka i data-marts svakako treba biti jasno izražena. Komponenta označena kao skladište podataka na narednoj slici (slika.1.), se takođe često naziva primarnim skladištem podataka ili korporativnim skladištem podataka.



Slika 1. Arhitektura skladišta podataka

Svaka analiza stvarnih podataka uključuje manipulaciju podacima, vizualizacija i modeliranje. Vizualizacija i modeliranje su komplementarni. Vizualizacije će nam pomoći da poboljšamo nejasna pitanja i oslanja se na ljudsku interpretaciju. Modeli su mnogo bolji i omogućavaju složenije računanje, ali su ograničeni svojim pretpostavkama.

Krajnji proizvod analize nije model, već je to retorika. Analiza je besmislena ukoliko ne ubedi nekoga da preduzme akciju. U poslovanju, to obično znači ubediti više rukovodioce koji imaju malo statističkog znanja, pri donošenju neke odluke

5. REZULTATI TESTIRANJA

Trend razvoja Republike Srbije prati poređenje i praćenje najboljih i najnaprednijih zemalja u svim oblastima, pa tako i u saobraćaju. Iz tih razloga, potrebno je strateški delovati kako bi se aktivirao sistem bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji. Republika Srbija je počela

da otvara svoje podatke, a nadležna institucija koja je zadužena za uvođenje otvorenih podataka (*engl. open data*) je Kancelarija za informacione tehnologije i elektronsku upravu u okviru Direkcije za elektronsku upravu.

Otvoreni podaci su digitalni podaci, dostupni javnosti. Imaju takve tehničke i pravne karakteristike da svako, u svakom trenutku i svuda može da ih koristi, ponovo koristi i preraspodeljuje. Otvoreni podaci mogu da pomognu vladama, građanima i organizacijama da postignu bolje rezultate na polju javnih usluga.

Skupovi podataka na portalu otvorenih podataka dati su u .CSV format, koji je izuzetno pogodan za transformaciju, sažimanje i analizu, a takođe je dostupan za konverziju u mnoge druge formate, pogodne za analizu podataka.

U objavljenom dokumentu o broju saobraćajnih nezgoda, koje su se desile na teritoriji grada Beograda u 2018. godini, nalazi se sedam promenljivih (varijabli), odnosno kolona. Nazivi kolona definisani su sledećom tabelom.

Tabela 1. Nazivi i objašnjenje promenljivih koje se nalaze u skupu otvorenih podataka korišćenog u istraživanju

Redni broj	Naziv promenljive	Objašnjenje
1.	NEZG_ID	Identifikacioni broj saobraćajne
2.	VREME_NEZ	Datum i vreme saobraćajne nezgode
3.	VRSTA_NEZ	Vrsta saobraćajne nezgode
4.	NAZIV_TIP	Naziv i tip saobraćajne nezgode
5.	NAZIV_DET	Detaljniji opis saobraćajne nezgode
6.	WGS_X	X koordinata WGS (engl. World Geodetic System) ili Geografska dužina
7.	WGS_Y	koordinata WGS (engl. World Geodetic System) ili Geografska širina

NEZG_ID - Identifikacioni broj saobraćajne nezgode, koji je predstavljen kao broj od sedam cifara.

VREME_NEZ - Datum i vreme saobraćajne nezgode je dato u formatu dd.mm.yyyy, hh:mm (dan.- mesec.godina, čas: minut). Iz datih podataka, može se zaključiti da su u bazi dostupni kompletni podaci za svih dvanaest meseci za 2016, 2017, 2018 i 2019 godinu.

VRSTA_NEZ - Vrsta saobraćajne nezgode se deli na: 1) saobraćajne nezgode sa materijalnom štetom; 2) saobraćajne nezgode sa povređenim licima; 3) Saobraćajne nezgode sa poginulim licima.

NAZIV_TIP - Naziv i tip saobraćajne nezgode se deli na: 1) saobraćajne nezgode sa jednim vozilom; 2) saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila (bez skretanja); 3)

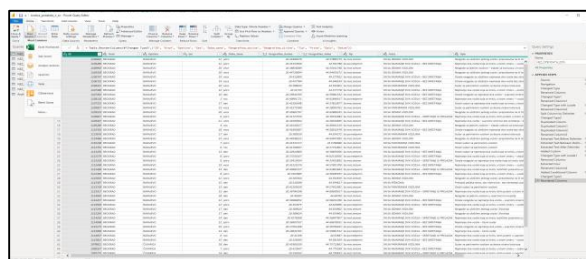
saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila (skretanje ili prelaz); 4) saobraćajne nezgode sa parkiranim vozilima; 5) saobraćajne nezgode sa pešacima.

NAZIV_DET - Detaljniji opis saobraćajne nezgode sadrži 68 događaja: 1) saobraćajne nezgode sa jednim vozilom (11 događaja); 2) saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila (bez skretanja) (9 događaja); 3) saobraćajne nezgode sa najmanje dva vozila (skretanje ili prelaz) (18 događaja); 4) saobraćajne nezgode sa parkiranim vozilima (5 događaja); 5) saobraćajne nezgode sa pešacima (25 događaja).

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

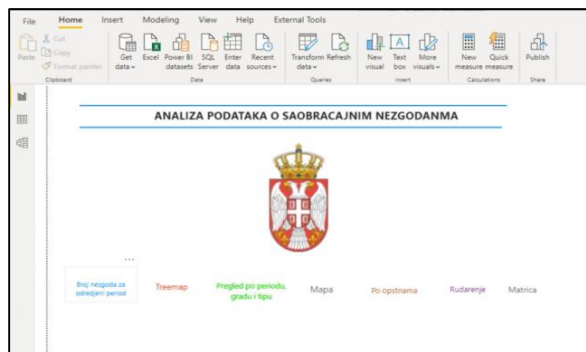
Za analizu podataka korišćen je *Microsoft Power BI* koji omogućava automatizovani process izdvajanja, transformacije i učitavanja podataka, tj razvoj *ETL* sistema, korišćenjem *Power Query-a*. Kao što je predhodno rečeno, kao izvori podataka korišćeni su excel fajlovi koji su dostupni na portalu otvorenih podataka.

Na sledećoj slici prikazan je proces učitavanja podataka sa predhodno navedenog portala, koji će se kasnije koristiti za analizu. Podaci su parsirani po redovima.



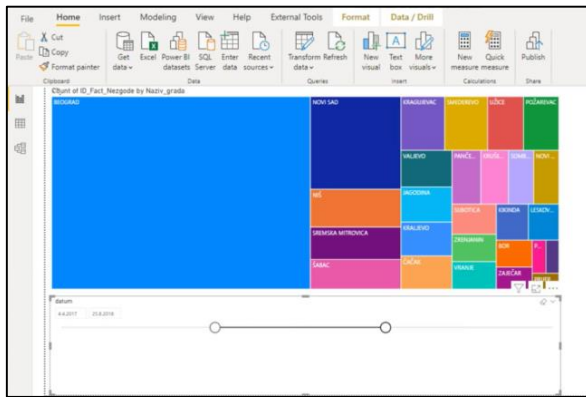
Slika 2. Učitavanje podataka u Power Query

Na sledećoj slici prikazan je izgled glavnog menija aplikacije, sa koga se može pristupiti ostalim formama.



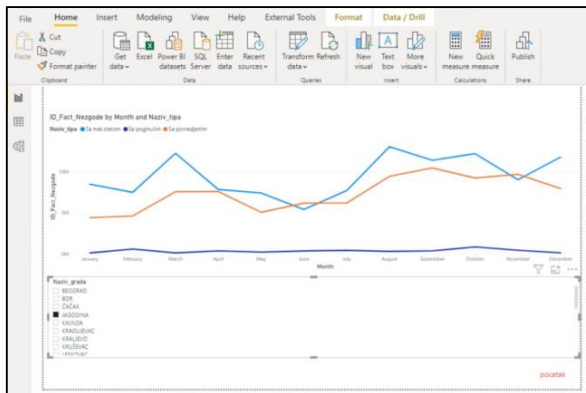
Slika 3. Glavni meni aplikacije

Na sledećoj slici prikazan je pregled broja saobraćajnih nezgoda korišćenjem Treemap. Ovo nam omogućava da na slikovit način sagledamo, proporcionalno veličini pravougaonika u kom gradu se dogodilo najviše saobraćajnih nezgoda.



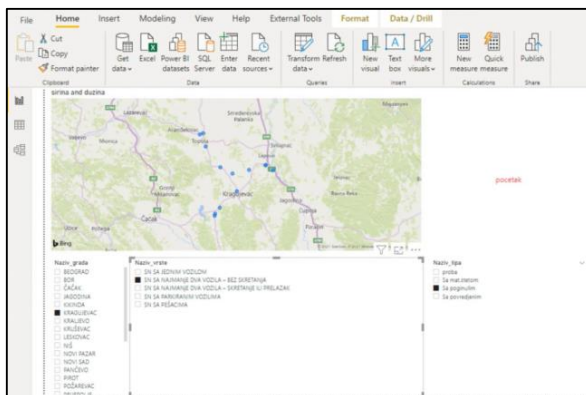
Slika 4. Arhitektura skladišta podataka

Na sledećoj slici prikazan je izgled forme na kojoj su predstavljeni podaci o broju saobraćajnih nezgoda, po tipu, sagledano po mesecima u toku godine.



Slika 5. Pregled broja saobraćajnih nezgoda, po tipu, po mesecima

Na sledećoj slici prikazana je forma za sagledavanje geografskih lokacija na kojima su se dogodile saobraćajne nezgode, prethodno isfiltrirane po određenom kriterijumu.



Slika 6. Pregled saobraćajnih nezgoda po geografskoj odrednici

7. ZAKLJUČAK

U radu je analizirano trenutno stanje u području istraživanja, korišćenjem objavljenih radova u prethodnom periodu koji su fokusirani u potpunosti ili delom na elemente korišćenja programskog paketa Microsoft Power BI.

Pri izradi i razvoju sistema poslovne inteligencije analizira se da li on olakšava rad krajnjim korisnicima, u procesu projektovanja, izgradnje, korišćenja i održavanja sistema poslovne inteligencije, one još ne daju pozitivne rezultate. Neophodno je pronaći načine i metode na koji način promeniti ustaljeni način rada, i unaprediti trenutne procese analize, korišćenjem savremenih alata.

Da bi se ova problematika rešila, neophodni su pozitivni stavovi ljudi iz upravljačkih struktura sistema, zatim prihvatanje novih sistema od strane krajnjih korisnika i profesionalnost, tj. poznavanje te tehnologije i mogućnost njene primene. U radu je predložena primena programskog paketa *Microsoft Power BI* u cilju unapređenja sistema poslovne inteligencije, kada su podaci prethodno učitani, transformisani i skladišteni u nekom od *DBMS*.

LITERATURA

- [1] Matteo Golfarelli and Stefano Rizzi: "Data Warehouse Design: Modern principles and technologies", 2009
- [2] Kimball, R., Ross, M., Thornthwaite, W., Mundy, J., & Becker, B. (2008). *The data warehouse lifecycle toolkit*. John Wiley & Sons.
- [3] Portal otvorenih podataka Republike Srbije [Internet]. [citirano 04.11.2020] Dostupno na: <https://data.gov.rs/sr/datasets/>
- [4] Joseph Rickert, "Big Data Analysis with Revolution R Enterprise", 2011
- [5] Wang, J., & Gu, L. (2016). Challenges of teaching data science in a business school. *Issues in Information Systems*, 17(3).
- [6] Fotache, M., & Strimbei, C. (2015). SQL and data analysis. Some implications for data analysis and higher education. *Procedia Economics and Finance*, 20, 243-251.
- [7] Wickham, H. (2019). Data science: how is it different to statistics?. *IMS Bulletin*, 48.
- [8] Kimball, R., & Ross, M. (2016). Dimension Table Core Concepts. *The Kimball Group Reader: Relentlessly Practical Tools for Data Warehousing and Business Intelligence*, 327-384

NarrowBand IoT (NB-IoT) KONCEPT MREŽE U DOMENU JAVNIH MOBILNIH KOMUNIKACIJA

NarrowBand IoT (NB-IoT) NETWORK CONCEPT IN PUBLIC CELLULAR COMMUNICATIONS

Dr Danijela Aleksić, Nada Petrović
Telekom Srbija

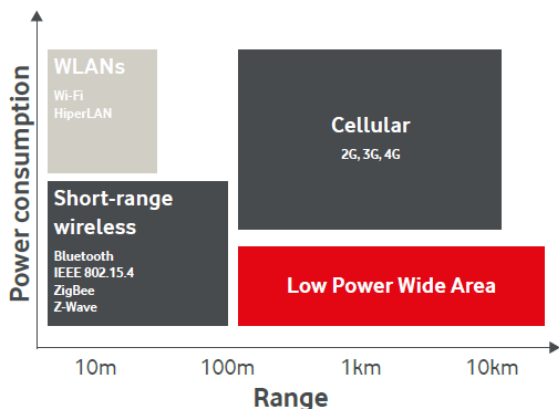
Sadržaj - LPWA (Low Power Wide Area) je koncept mobilnih mreža, usko povezan sa različitim tehnološkim i poslovnim okruženjima, prinuđen da se kontinuirano razvija prateći razvoj upravo tih okruženja. U ovom radu je dat opis implementacije NB-IoT (Narrowband Internet of Things) mreže u kompaniji Telekom Srbija, kao i servisne platforme za njenu podršku, uz poređenje nove mobilne mreže za NB-IoT sa matičnom LTE (Long Term Evolution) mobilnom mrežom.

Abstract - LPWA (Low Power Wide Area) is a cellular networks concept, narrowly connected with the highly dynamic technical and business environments, forced to constantly evolve following these environments. This paper describes NB-IoT network implemented in company Telekom Srbija, as well as service platform for its support, additionally comparing new NB-IoT network with common LTE (Long Term Evolution) cellular network.

1. UVOD

Potrebe korisnika za masovnim povezivanjem uređaja sa autonomnim napajanjem, koji šalju očitane podatke sa senzora i nalaze se često na lokacijama sa lošijim pokrivanjem radio signalom, pokrenule su brojne telekomunikacione provajdere da implementiraju LPWA mreže (Slika 1).

Telekom Srbija je implementirao drugu po redu LPWA IoT mrežu, koja koristi mrežne protokole javnih mobilnih komunikacija četvrte generacije (4G), a u skladu sa 3GPP (Third Generation Partnership Project) Rel.13 standardom za Narrowband-IoT (NB-IoT).



Slika 1. Zona primene LPWA komunikacionih tehnologija

Glavne karakteristike NB-IoT uređaja su:

- retko prenošenje manjih količina podataka uz promenljivu toleranciju na kašnjenja
- niska energetska potrošnja uređaja male kompleksnosti i ograničenih cena
- potencijalno veliki broj uređaja koji koriste deljene radio resurse

Preciznije, za planiranje i projektovanje LPWA mreže u kompaniji Telekom Srbija postavljeni su uslovi kontinuiranog rada uređaja bar 10 godina na mestu njihove instalacije, uz prenošenje do nekoliko desetina bajtova na sat, korišćenje resursa bazne stanice na rastojanju do 10km, gde bi svaka bazna stanica mogla da podrži preko 10.000 povezanih uređaja.

Requirement	Target 3GPP TR 45.820
Improved indoor coverage	160 bps for 164 dB MCL
Massive number of devices	52547 devices per cell
Improved power efficiency	10 year battery @ 164 dB MCL
Latency	10 s

Slika 2. 3GPP TR 45.820 ciljevi

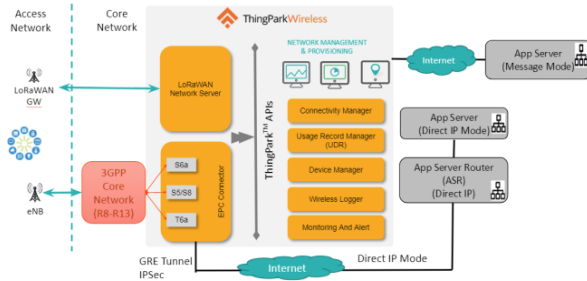
2. PLATFORMA ZA UPRAVLJANJE NB-IOT UREĐAJIMA I CORE MREŽA

IoT mobilne mreže se razlikuju od tradicionalnih HTC (Human-Type Communication) u tome što sadrže nove korisničke interfejsne za upravljanje uređajima i povezivanje sa aplikativnim slojevima. Telekom Srbija je za potrebe korisnika za upravljanjem IoT uređajima i servisima unapredio postojeći OSS/BSS (Operations Support System/Business Support System) proizvod TPW (Thing Park Wireless) kompanije Actility, koji se već koristio za upravljanje uređajima koji komuniciraju po LoRaWAN (Long Range WAN) IoT protokolu [1]. Na taj način je korisnicima omogućen jedinstveni interfejs prilikom definisanja uređaja, krajnjih destinacija tunela kroz koje će se slati korisnički podaci i vizualizacija podataka u korisničkoj aplikaciji, nezavisno od pristupne tehnologije LPWA uređaja.

TPW pored NB-IoT, podržava i uređaje povezane LTE-M radio-komunikacionim protokolom. Saobraćajni model, kao i model OSS/BSS sistema, se razlikuju od dosadašnjih modela koji podržavaju HTC komunikaciju. Pored

unapređenja OSS/BSS TPW platforme, implementirano je i jedinstveno rešenje koje obuhvata funkcionalnosti HSS/PGW/PCRF/PCEF jezgra (core) mobilne mreže četvrte generacije prema 3GPP standardu, koji je prilagođen Actility OSS/BSS rešenju – Evolved Packet Core Connector (EPCC).

EPCC se povezuje sa MME (Mobility Management Entity) i S-GW (Serving Gateway) elementima core mreže S6a i S5 interfejsima. Koncept jedinstvenog mrežno-upravljačkog rešenja u IoT domenu je prikazan na Slici 3.



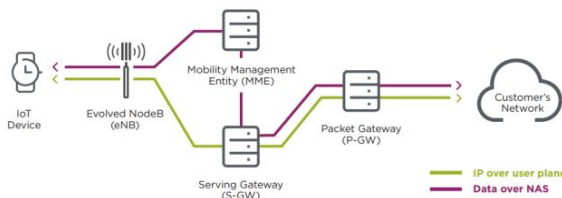
Slika 3. Šema IoT upravljačko-komunikacionog koncepta

Putem TPW platforme se obavljaju:

- Administracija SIM profila
- Administracija korisničkih profila
- Administracija IoT uređaja
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Definisane destinacije za terminaciju tunela za prenos korisničkih podataka
- Pristup podacima putem API-ja

3. DATA OVER NAS (DONAS) I SECURITY

Prenos payload paketa kroz mobilnu paketsku mrežu putem kontrolnog kanala – Data over NAS (Non-Access Stratum) je način optimizacije NB-IoT mreža. Korisnički podaci se prenose kroz kontrolni kanal CIoT (Control Plane IoT) tako što se enkapsuliraju u NAS okvir namenjen za signalizaciju. DoNAS se može koristiti za transport kako IP, tako i non-IP saobraćaja. Ova funkcionalnost obezbeđuje dodatnu zaštitu zahvaljujući enkripciji i primenjenom zaštitnom mehanizmu mrežne signalizacije.



Slika 4. Transport korisničkih podataka kroz NAS kanal u poređenju sa prenosom podataka u MBB LTE

Ovakav način prenosa značajno smanjuje obim zaglavlja za signalizaciju kada se uređaj u statusu „sleep“ jednostavno prebacuje iz „idle mode“ u „connected mode“

i šalje podatke. Time se ostvaruje veća efikasnost mreže uz produžavanje veka baterije koja napaja uređaj. Sama CIoT funkcionalnost daje prednost i u slučajevima slanja kratkih podataka kao UDP (User Datagram Protocol) saobraćaja, kada se svega nekoliko paketa šalje u toku konekcije.

Podaci se kroz vazduh prenose enkriptovani standardnim LTE metodama enkripcije do bazne stanice. Od core mreže do mreže korisnika koristi se tunelovanje te su korisnički uređaji nedostupni sa interneta. Postoji više različitih načina za uspostavljanje tunela između P-GW i aplikativnog servera (AS) korisnika.

U mreži Telekom Srbija odvajanje saobraćaja različitih korisnika se realizuje uspostavljanjem GRE (Generic Routing Encapsulation) tunela, kroz koje se razmenjuje saobraćaj između korisničkog uređaja i aplikativnog servera po željenom protokolu.

4. NB-IOT RAN

Postoje tri načina realizacije NB-IoT u RAN (Radio Access Network) delu mobilne mreže:

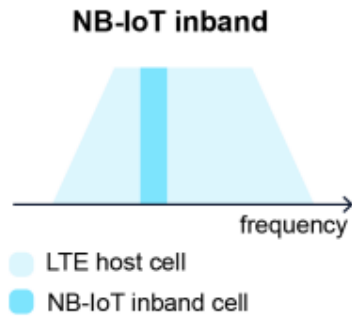
- *Inband* – podrazumeva fleksibilno korišćenje dela resursa LTE ćelije
- *Standalone* – zasebnu realizaciju NB-IoT ćelije, koja menja neki od postojećih nosilaca (npr. GSM ili UMTS)
- *Guard Band* – podrazumeva korišćenje graničnog dela spektra rezervisanog za LTE ćeliju

Predmet projekta u kompaniji Telekom Srbija je *Inband NB-IoT RAT (Radio Access Technology)*, koji je standardizovan za MTC (Machine-Type Communication) uz korišćenje bežičnog pristupa većeg dometa i male snage. Za testiranje NB-IoT funkcionalnosti u mreži Telekoma Srbije korišćeni su uređaji sa preporukama usklađenim sa Rel. 13 3GPP standardom (Slika 5.) [2].

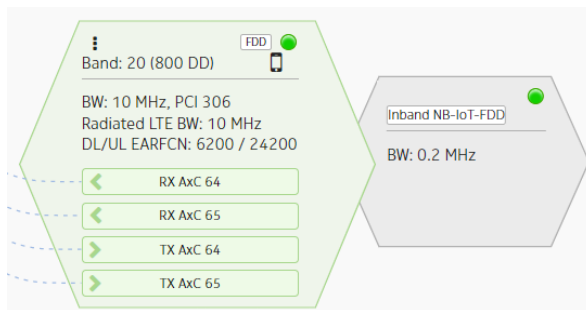
		Release 13
Modem/device chip category		Category NB1 (NB-IoT)
Peak data rate instantaneous	Downlink	170 kbps
	Uplink	250 kbps
Peak data rate sustained	Downlink	26 kbps
	Uplink	62 kbps
Duplex mode		Half duplex
Number of antennas		1
UE receive bandwidth		180 kHz
UE transmit power		20/23 dBm
Multiplexed within LTE		Yes/No
Modem complexity		15%

Slika 5. Rel. 13 3GPP NB-IoT preporuka

Obzirom da *Inband* rešenje nudi visoku skalabilnost u pogledu rezervacije i proširenja resursa za *NB-IoT*, odabran je upravo ovaj način realizacije. PRB (*Physical Resource Block*) *Inband NB-IoT* ćelije je u frekventnom spektru asocirane host E-UTRAN ćelije (Slika 6.). *NB-IoT* ćelija koristi kanal širine 0.2MHz u Band B20 (800 DD), tj. unutar frekventnijskog opsega rezervisanog za host E-UTRAN ćeliju (Slika 7.).



Slika 6. *Inband NB-IoT* ćelija



Slika 7. Grafički prikaz host E-UTRAN i *NB-IoT* ćelije

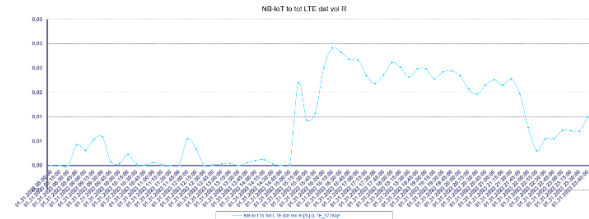
Budući da postoji direktna logička i fizička zavisnost *NB-IoT* i host E-UTRAN ćelije, obe su asocirane za iste ćelijske parametre (*Physical Layer Cell ID*, *RACH root sequence*), ali i za fizičke veze, kao što su sektor/antena. Upravo zbog ove visoke zavisnosti, host E-UTRAN ćelija mora biti dostupna (*Unlocked/Unblocked/Enabled*), kako bi i *NB-IoT* ćelija bila funkcionalna.

U skladu sa 3GPP standardom, a za širinu spektra od 10MHz, *NB-IoT* ćeliji se dodeljuju posebno definisani objekti sa prilagođenim parametrima, atributima i tajmerima. Kapaciteti i performanse *NB-IoT* ćelija su u značajnoj meri određene, ali i ograničene, korišćenim hardverom, aktiviranim licencama i fičerima.

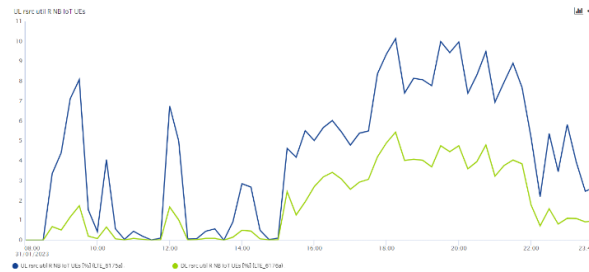
eDRX (Extended Idle Mode Discontinuous Reception) funkcionalnost je aktivirana na *NB-IoT* ćelijama, čime se dodatno povećava vreme trajanja baterije distribuiranih korisničkih uređaja, što se može videti kao važna prednost, posebno kod masovne implementacije *NB-IoT* uređaja.

Saobraćaj *NB-IoT* ćelija neke LTE stanice učestvuju u određenom procentu u ukupnom LTE saobraćaju date stanice (Slika 8.), koji raste sa porastom broja *NB-IoT* uređaja i njihovih aktivnosti, obzirom da je saobraćaj u UL

upravo iniciran korisničkim zahtevima i sesijama. Prikaz procentualnog korišćenja resursa *NB-IoT* ćelija u UL/DL na jednoj od LTE stanica dat na Slici 9.



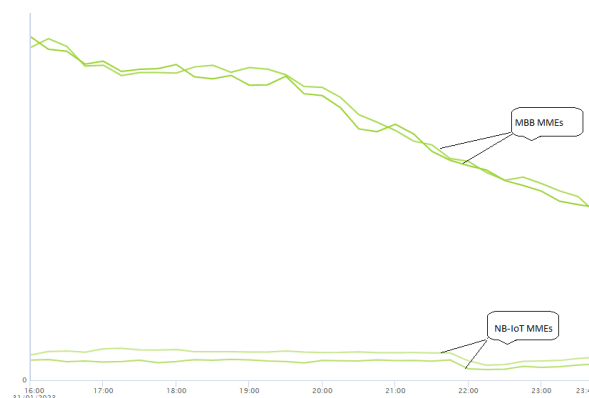
Slika 8. Udeo *NB-IoT* saobraćaja u ukupnom LTE saobraćaju na jednoj LTE stanici



Slika 9. Procentualno korišćenje resursa *NB-IoT* ćelije u UL i DL

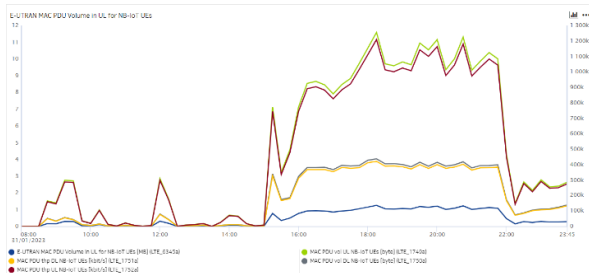
Svakoj *NB-IoT* ćeliji se dodeljuje jedinstveni ćelijski broj (*cell ID*) na *BS (Base Station)* sa *TAC (Tracking Area Code)* vrednošću, koji se razlikuje od *MBB (Mobile Broadband)* *TAC* vrednosti, obzirom da se granice *TAC* zona *MBB* LTE i *NB-IoT* ćelija mogu razlikovati.

NB-IoT ćelija komunicira sa zasebnim *MME*. *MME* za *NB-IoT*, kao i *MME* za *MBB* LTE, podržavaju *MME-in-pool* funkcionalnost (Slika 10.), a pored logičke je realizovana i geo-redundansa za *MME*.



Slika 10. *MBB MME-in-pool* i *NB-IoT MME-in-pool* SCTP saobraćaj na jednoj LTE stanici

Za praćenje statistike zauzetosti i uspešnosti korišćenja resursa *NB-IoT* ćelija koristi se prilagođeni set *KPIs (Key Performance Indicators)*. Posebno značajni su brojači koji ukazuju na zauzetost resursa MAC PDU UL/DL (Slika 11.), koji se mogu koristiti za dalje dimenzionisanje ili optimizaciju rezervisanih radio resursa.



Slika 11. Prikaz MAC PDU u UL/DL za *NB-IoT* ćelije jedne LTE stanici

Definisanje strategija mobilnosti *NB-IoT* uređaja kao i korišćenja resursa *NB-IoT* ćelija nije jednostavno, obzirom da strategije predstavljaju kompromis zahteva za što većom zonom pokrivanja u odabranim okvirima *RAN* resursa i što boljih mrežnih performansi i korisničkog iskustva.

5. ZAKLJUČAK

Kompanija Telekom Srbija je uspešno implementirala i testirala *NB-IoT* funkcionalnost. U ovom radu su date opšte smernice definisanih novih interfejsa LTE mreže, ali i modifikacije postojećih resursa LTE mreže, koje su posebno prilagođene zbog implementacije *NB-IoT* funkcionalnosti. Može se očekivati da će dalja proširenja i modifikacije predstavljenog mrežnog rešenja biti uslovljena razvojem *NB-IoT* funkcionalnosti, kao i očekivanim porastom korisničkih zahteva za umrežavanjem *NB-IoT* uređaja.

LITERATURA

[1] Petrović, N. „LoRa IoT mreža Telekoma Srbije u funkciji zaštite infrastrukture“, Zbornik radova, YUInfo, Kopaonik, 2019.

[2] 3GPP Release 13 Standard recommendations

IOT SISTEM ZA NADZOR KVALITETA VAZDUHA IOT SYSTEM FOR AIR QUALITY OBSERVATION

Stefan Ivanović,

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – U radu će biti prikazan IoT sistem za nadzor kvaliteta vazduha realizovan na razvojnoj ploči „EasyAVR v7“. Korišćeni hardverski moduli su Mikroelektronikini moduli: modul za kvalitet vazduha i GSM modul za mobilnu komunikaciju. Mikrokontroler na ploči je isprogramiran u programskom jeziku MikroC da prihvata i dekoduje podatke sa senzora kvaliteta vazduha i prosleđuje putem GSM modula na web server.

Abstract – The paper presents IoT system for air quality observation developed on developer circuit board “EasyAVR v7”. Additional hardware modules used in this project are “Mikroelektronika’s” module for air quality and GSM module for mobile communication. Software for microcontroller is written in MikroC language and it gives instructions to the microcontroller to read data from the air quality module and send it via GSM module to the web server.



Slika 1. EasyAVR v7

Dodatni hardverski moduli (slika 2.) su dodati u slotove za module na ploči koji se nalaze u gornjem desnom uglu ploče (slika 1.).

1. UVOD

Eksplozivni napredak industrije doveo je do nekontrolisanog zagađivanja prirode, a naročito vazduha. Pored industrije saobraćaj je još jedan od faktora koji dodatno doprinose povećanom zagađenju vazduha.

Praćenje kvaliteta vazduha može naći primenu u: planiranju zelenih površina u naseljima, zaštiti osoblja na opasnim radnim mestima, automatizovanim stočnim farmama...

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja IoT sistema za nadzor kvaliteta vazduha. Ideja je da se ovim sistemom omogući mobilno praćenje kvaliteta vazduha na bilo kojoj lokaciji sa bilo koje lokacije.

2. ANALIZA ZAHTEVA

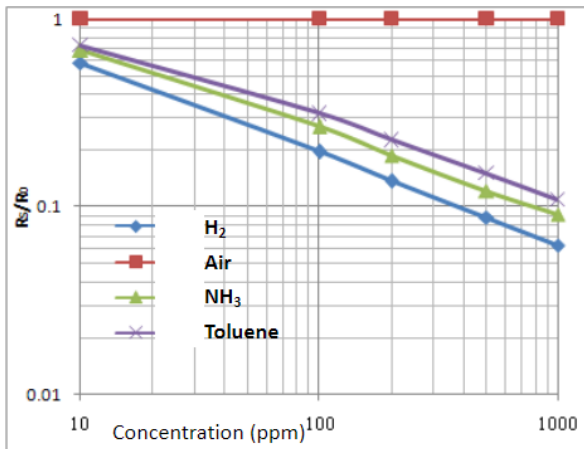
Zadatak ovog sistema je da u realnom vremenu dostavlja podatke o kvalitetu vazduha na web server i prikazuje te iste podatke na LCD ekranu. Korisnik može pratiti kvalitet vazduha ili na LCD ekranu ako je u neposrednoj blizini ploče ili ako je udaljen pristupom na web sajt web servera na koji su poslani podaci sa sistema za kontrolu kvaliteta vazduha.



Slika 2. Hardverski moduli Air quality click (levo) i GSM/GNSS click (desno)

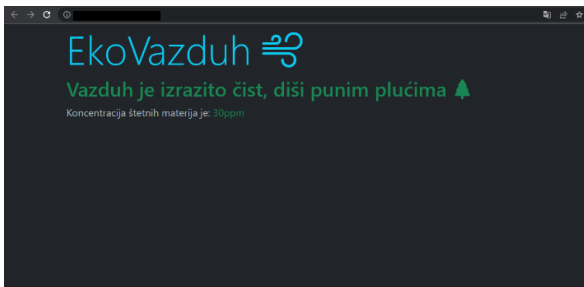
3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Pri pokretanju IoT sistema program mikrokontrolera inicijalizuje hardverske module. Pauzira rad dok se senzor kvaliteta vazduha ne zagreje i stabilizuje. Nakon toga očitava vrednost napona sa senzora kvaliteta vazduha. Senzor kvaliteta vazduha je naponski razdelnik gde jedna otpornost raste sa rastom zagađenosti vazduha (slika 3.) što direktno utiče na vrednost napona. Druga otpornost je potencijometar kojem se može podešavati vrednost otpornosti i time birati pozicija nule.



Slika 3. Zavisnost otpornosti senzora zagađenosti vazduha od zagađenosti vazduha

Nakon što očita vrednost napona mikrokontroler preračunava vrednost zagađenosti vazduha u ppm¹ preko zavisnosti sa slike 3. Izračunatu vrednost zagađenja prikazuje na LCD ekranu i šalje putem GSM modula na web server. GSM modul pre slanja proverava stanje kartice, kvalitet mreže i dostupnost servera. Ukoliko dodje do greške u slanju GSM modul ponavlja proces slanja poruke ka web serveru.



Slika 4. Primer izgleda web sajta kada je vazduh čist

Web server nakon prijema poruke u zavisnosti od vrednosti zagađenja vazduha od strane ploče isporučuje različite HTML stranice korisnicima (slika 4. slika 5. slika 6.).

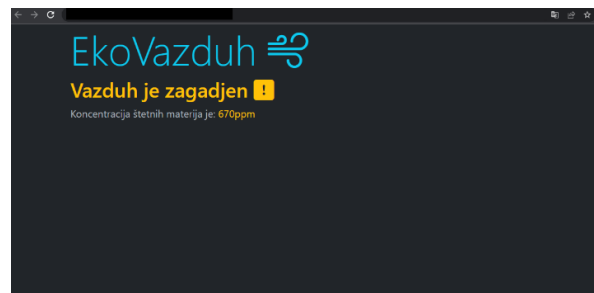
Web server klasifikuje vrednosti zagađenja u pet kategorija gde svakoj kategoriji pridružuje poruku.

Kategorije sa porukama:

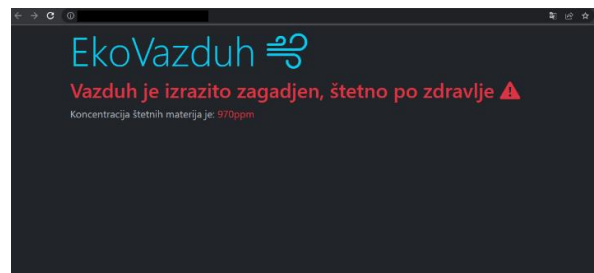
1. Zagađenost (0-100)ppm – „Vazduh je izrazito čist, diši punim plućima“.
2. Zagađenost (100-200)ppm – „Vazduh je prosečno čist“.
3. Zagađenost (200-400)ppm – „Vazduh je umereno zagađen“.

4. Zagađenost (400-700)ppm – „Vazduh je zagađen“.
5. Zagađenost (700-1000)ppm – „Vazduh je izrazito zagađen“.

Nakon toga u zavisnosti od kategorije vrednosti zagađena kreira HTML stranicu sa porukom te kategorije i određenim CSS stilom za tu stranicu.



Slika 5. Primer izgleda web sajta kada je vazduh zagađen



Slika 6. Primer izgleda web sajta kada je vazduh izrazito zagađen

Web server održava komunikaciju sa pločom preko GSM modula i ukoliko server nema zahteve od korisnika izveštava ploču da udje u sleep mod i time štedi energiju.

Tek kada server primi zahtev on šalje poruku GSM modulu na ploči koji preko prekida “budi” ploču i dovodi je u normalno stanje rada.

Ovakav način realizacije je bio neophodan iz razloga što se dosta energije troši na slanje poruka preko GSM modula. Toliki utrošak energije je takodje zahtevao da se ploča napaja eksterno.

¹ Ppm-(Parts per milion) je merna jedinica za koncentraciju koja se koristi u smešama gde su koncentracije jako male

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je predlog rešenja *IoT* sistema za nadzor kvaliteta vazduha.

Realizovani sistem nije testiran u realnim uslovima što bi bilo neophodno pre eventualnog uvođenja u upotrebu. Očekuje se da će se u budućnosti tehnologije i programsko rešenje koji su opisani u ovom radu biti praktično primenjene.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

[5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537

[6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313

[7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8

[8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L

[9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier,

Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.

[10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia

[11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia

[12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>

[13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.

[17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812

[18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>

[19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1

[20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296

[23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469
DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

NEKE OD PRIMENA LIDAR SISTEMA U ŠUMARSTVU

SOME OF THE APPLICATIONS OF THE LIDAR SYSTEM IN FORESTRY

Dejan Pavlović, dipl.inž.el. dejanpav@yahoo.com
JP „Nacionalni park Đerdap“

Sadržaj – Za praćenje i procenu velikih šumskih površina neophodna je obrada podataka visoke rezolucije. U tu svrhu mogu da se koriste LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemi. Postoje zemaljski, vazdušni i UAV (Unmanned Aerial Vehicle) sistemi. Osnovna namena ovih sistema je generisanje digitalnog elevacionog modela (DEM) koji se koristi za trodimenzionalni (3D) model šuma, kao i generisanje digitalnog modela površine (DSM) koji služi za topografski prikaz terena.

Abstract - High-resolution data processing is necessary for monitoring and assessment of large forest areas. LiDAR (Light Detection and Ranging) systems can be used for this purpose. There are ground, air and UAV (Unmanned Aerial Vehicle) systems. The main purpose of these systems is the generation of a digital elevation model (DEM) that is used for a three-dimensional (3D) forest model, as well as the generation of a digital surface model (DSM) that serves for the topographic representation of the terrain.

1. UVOD

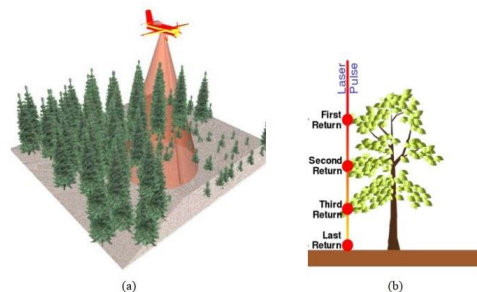
LiDAR je aktivni oblik daljinske detekcije. Uglavnom se koristi za merenje rastojanja pomoću lasera. Impulsi se emituju iz senzora koji udaraju u objekat, a zatim se reflektuju od objekta i vraćaju nazad ka prijemniku. Ova tehnologija ima višestruku primenu u šumarstvu, a neke od primena su [1]: *mikro topografija* – izrada topografije tla određene oblasti, *menadžment i planiranje u šumarstvu* – merenje vertikalnih struktura i gustine krošnji, *nadgledanje i upravljanje šumskim požarima* – obezbeđivanje podataka koji se mogu koristiti za praćenje i predikciju šumskih požara, *mapiranje šuma* – obezbeđivanje specifičnih podataka o pojedinačnim mestima terena što je naročito važno pri određivanju lokacija za pošumljavanje terena. Zatim, primenjuje se u *preciznom šumarstvu* – za planiranje specifične šumske lokacije radi povećanja produktivnosti kako u pogledu kvaliteta šumskih stabala tako i ukupnog prinosa, za *biodiverzitet ptica* – analizom vertikalnog šumskog pokrivača određuju se pogodne vrste ptica za naseljavanje odgovarajućeg šumskog terena, za *procenu uticaja na životnu sredinu* – radi osiguranja zaštite drveća i drugog biljnog pokrivača, za *ekološku klasifikaciju zemljišta* – za obezbeđivanje preciznih informacija određenog predela (pejzaža). Takođe, koristi se i za *modeliranje zagađenja* – radi identifikovanja šumskih zagađivača, za *proučavanje ekologije šuma* – radi pružanja informacija o šumskim staništima, za *kvantifikaciju (procenu) količine goriva za šumske požare* – radi proračuna broja stabala u okviru zadatog područja kao i veličine šumske degradacije u

datoj oblasti, za *analizu strukture šuma* – prikazivanjem vertikalne raspodele propusnosti svetlosti kao i raspodele lišća, *analizu pojedinačnih stabala* – određivanje visine stabla i prečnik krošnje, *kontrolu seče* – za proračun ukupne šumske i drvene mase nastale sečom i sl.

2. PRINCIP RADA LIDAR SISTEMA

LiDAR (Light Detection and Ranging) sistem emituje svetlosne impulse do željenog objekta i izračunava njegovu udaljenost na osnovu protoka vremena od trenutka emitovanja impulsa pa do momenta refleksije od predmeta [2]. LiDAR tehnologija je integrisana sa GPS (Global Positioning Systems) sistemom za izračunavanje trodimenzionalnih koordinata ciljanog objekta i jedinicom inercijalnog pokreta (IMU).

Tokom generisanja podataka ovim sistemima, svetlosni impulsi se reflektuju sa različitih nivoa vegetacije. Prva refleksija nastaje sa vrha krošnje, naredna iz sredine, a poslednja sa površine tla.



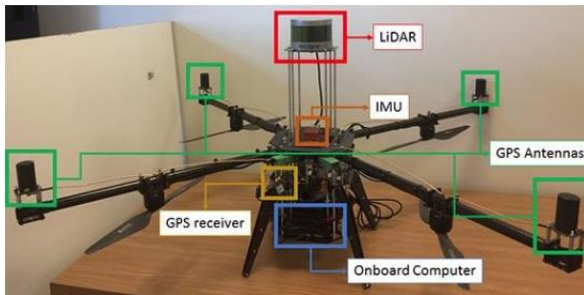
Slika 1.

Slikom 1(a) [2] prikazano je korišćenje vazdušnog LiDAR sistema, dok je slikom 1(b) prikazana višestruka refleksija svetlosnog impulsa. Na osnovu prve i druge refleksije moguće je odrediti strukturu (parametre) svakog pojedinačnog stabla: širinu krošnje, prečnik, zapreminu i visinu stabla, koji se zatim koriste za generisanje digitalnog elevacionog modela šume visoke rezolucije (DEM), dok se poslednjom refleksijom generiše digitalni model površine (DSM).

Vazdušna LiDAR tehnologija obezbeđuje tačne i visokokvalitetne podatke za primenu u šumarstvu, ali takođe ova tehnologija može biti i veoma skupa, naročito za monitoring velikih prirodnih površina. Bespilotne letelice, jednostavno nazvane dronovi, predstavljaju tehnologiju koja se rapidno širi i koja se koristi za generisanje jeftinijih fotografija visoke rezolucije.

Dronovima se upravlja daljinskim putem ili autopilotom koji može biti unapred preprogramiran tačno definisanom putanjom leta. Postoje razni tipovi dronova različitih veličina i sa različitim pogonima.

Glavna namena LiDAR tehnologije je formiranje trodimenzionalnog (3D) oblaka tačaka čija gustina zavisi od parametara leta (brzina i visina drona) kao i karakteristika senzora (talasne dužine svetlosnih impulsa i učestanosti ponavljanja). Različite primene ovog sistema zahtevaju različitu gustinu tačaka koja može biti od 10 tačaka po kvadratnom metru (za generisanje digitalnog modela terena) do preko 100 tačaka za generisanje složenijih modela. Iako je zemaljska LiDAR tehnologija jedna od najtačnijih geodetskih tehnologija, teško je postići visok nivo tačnosti vazдушnim sistemom kada je laserski senzor u pokretu. Zbog toga, ovi sistemi moraju da budu integrisani sa jedinicom inercijalnog pokreta (IMU) i GPS prijemnikom radi pružanja informacija o položaju, rotaciji i kretanju drona – slika 2 [2].



Slika 2.

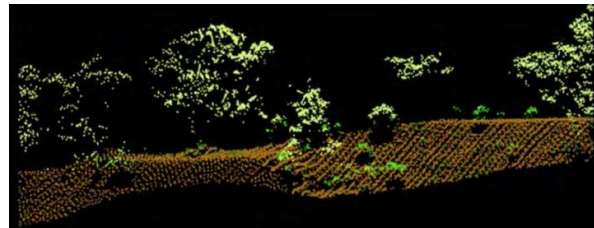
Podaci dobijeni LIDAR sistemom čuvaju se kao „oblak podataka“. Osim informacije o poziciji reflektovanog svetlosnog impulsa, dodatni atributi kao što su broj impulsa, broj refleksija po datom impulsu, intenzitet i GNSS vremenski pečat ili ugao skeniranja čuvaju se za svaku skeniranu tačku. Radi dobijanja tačnog DTM modela, tačke nastale kao refleksija sa površine zemlje ili „zemaljske tačke“ moraju biti razdvojene od tzv. „nezemaljskih tačaka“, odnosno tačaka koje nisu nastale kao refleksija sa površine zemlje. Ovaj proces oduzima najviše vremena tokom obrade podataka LiDAR sistemima i naziva se „filtriranje“ ili „filtriranje tla“ [3].

Kada su LiDAR sistemi za mapiranje prvi put razvijeni u komercijalne svrhe, oni nisu imali mogućnost snimanja punog talasnog oblika povratnog signala. Zbog toga je morao biti primenjen filter za detektovanje „vrhova“ (pikova) reflektovanog talasa, a takođe i za zapisivanje vremena tih pikova kao „diskretnih refleksija“. Pik se generiše refleksijom uslovljenog vrhom vegetacije, mada je dovoljna količina energije laserskog zraka sposobna da nastavi dalje kretanje i da generiše povratne signale i iz nižih delova vegetacije, i konačno, sa zemlje [4].

Veoma rani LiDAR sistemi su beležili samo jednu diskretnu refleksiju. Oko 2000. godine, komercijalni sistemi su postali sposobni da mere višestruke refleksije po impulsu. Ove višestruke refleksije se mogu analizirati i

klasifikovati kako bi se generisale informacije o objektima iznad zemlje, kao i o samoj površini zemlje. Prikaz reljefa terena i površina sa različitim klasama vegetacije prikazane su slikom 3 [4].

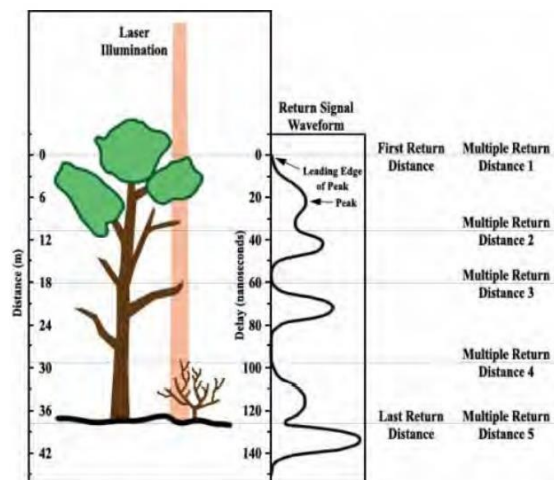
Što je veći broj refleksija zabeležen, rezultujući skup podataka postaje veći i veća je verovatnoća da će biti više refleksija koje sadrže informacije o donjem sloju, pod uslovom da krošnja nije toliko gusta da blokira laserski impuls. Skupovi podataka dobijenih LiDAR sistemima imaju tendenciju da budu veoma veliki, jednostavno zbog velikog broja emitovanih impulsa po zadatoj oblasti. Shodno tome, postojanje višestrukih refleksija po emitovanom impulsu uzrokuje geometrijski rast konačnog skupa podataka.



Slika 3.

Rani višestruki sistemi mogli su da snime do 5 reflektovanih impulsa, ali je analiza skupova podataka pokazala da se u praksi četvrta i peta refleksija skoro nikada ne dešava. Većina današnjih LiDAR sistema dizajniranih za topografsko mapiranje optimizovano je za snimanje do 3 povratna (reflektovana) impulsa. Shodno tome, veće gustine tačaka po jedinici površine mogu se dobiti preklapanjem linija leta, odnosno preletanjem iste oblasti više puta.

Međutim, postoje sistemi koji imaju opciju snimanja punog talasnog oblika, tj. signal se ne sumira kao odvojene povratne tačke, već se ceo povratni signal snima kao veliki otisak (niska prostorna rezolucija) (sl. 4). Od 2004. godine dostupni su novi LiDAR sistemi punog talasnog oblika [4].



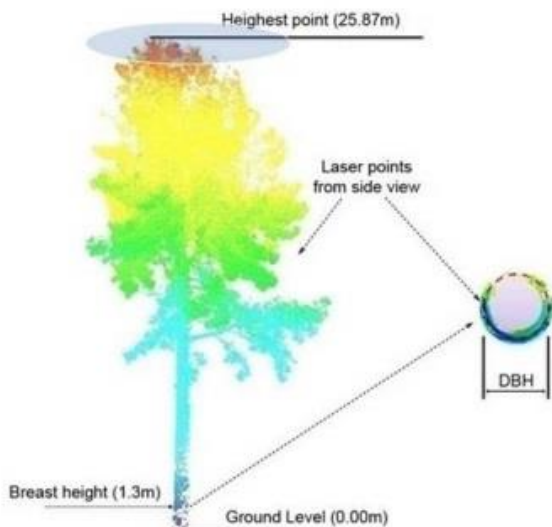
Slika 4.

3. NEKE OD PRIMENA LIDAR SISTEMA U ŠUMARSTVU

Precizno šumarstvo se u velikoj meri oslanja na tačne, pravovremene, ponovljive, detaljne, prostorno eksplicitne i strukturne karakteristike šumskog inventara. Jedna od tehnologija koja idealno odgovara potrebama preciznog šumarstva je daljinsko detektovanje. Od svojih najranijih dana, daljinska detekcija koristi nove tehnologije za sistematsko praćenje prostorno eksplicitnih promena pejzaža. Poslednjih godina, nauka o daljinskom detektovanju naginje ka korišćenju ovih metodologija kako bi obezbedila osnovne komponente za geoprostorne baze podataka radi podrške u odlučivanju. Takvi alati su od velikog značaja u drvnj industriji, gde se očekuje da sve više šuma ne samo obezbedi prihode od drvnih proizvoda, već i da obezbede raznovrstan spektar usluga neophodnih za praćenje ekosistema koji se nalaze u javnom i privatnom vlasništvu [5].

Merenje DBH faktora (DBH – Diameter at Breast Height) ili prečnika stabla u visini grudi je jedan od najvažnijih merljivih parametara stabla i služi kao osnovni i uobičajeni parametar u alometriji stabla kao i u proceni zapremine. DBH je široko rasprostranjena metoda ne samo u inventarisanju šuma, već i u ekologiji šumskih zajednica. Takođe može pružiti značajne informacije o sastojinskoj strukturi, stanju razvijenosti šuma, a donekle i načinu gazdovanja šumskim staništima.

Što se tiče merenja DBH-a, vazdušni lidar nije prikladan, jer je stablo od senzora zaklonjeno krošnjom drveta. Ovo ne važi za zemaljski LiDAR, što ovaj instrument čini pogodnim kandidatom za DBH merenje. Zbog bočnog skeniranja zemaljskog LiDAR-a i efekta senke samog stabla, neke informacije ostaju nedostupne tokom procesa skeniranja, što otežava dobijanje horizontalnog preseka stabla od 360°, pa se vrši rekonstruisanje preseka u visini grudi (slika 5) [5].

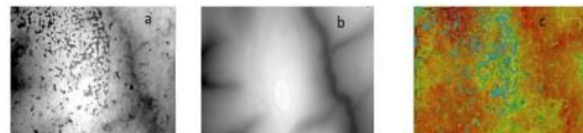


Slika 5.

Automatski nadzor šumskih požara uz pomoć LiDAR sistema ima značajne prednosti u odnosu na infracrvene i video metode nadzora ne samo zbog svoje potencijalno veće osetljivosti, već i zbog manje komplikovanog sistema za prepoznavanja alarma - dimni potpisi moraju biti odmah prepoznati, a lažni alarmi odbačeni. Lažni alarmi često nastaju zbog objekata koji izazivaju intenzivno povratno rasejanje, kao što su magla, drveće, ptice, brda, visokonaponski vodovi i sl. Nehomogenosti indeksa prelamanja uzrokovane atmosferskim pojavama takođe mogu dovesti do lažnih pikova u signalu LiDAR-a. Generalno, nedostatak informacija o distribuciji aerosola u atmosferi i slučajne promene atmosferskog indeksa prelamanja kao i njihova zavisnost od vremenskih uslova, otežavaju korišćenje ovih sistema. Zbog toga savremene metode detekcije požara različitim tehnikama, uključujući i LiDAR, oslanjaju se na algoritme veštačke inteligencije (AI), a naročito na specijalne veštačke neuronske mreže [6].

Kvantifikacija (procena) količine goriva za šumske požare koristiti se za procenu rizika od šumskih požara. Da bi se procenila količina (kapacitet) goriva na osnovu šumskih parametara kao što su broj, visina i prečnik stabla, prečnik krošnje i zapremina stabla, parametri bi trebali da budu precizno izmereni. Poslednjih godina, sa napretkom tehnologije daljinske detekcije, moguće je koristiti vazdušni LiDAR za procenu podataka šumskih parametara. Glavni faktori koji utiču na opasnost od nastanka šumskih požara su meteorološki faktori, topografski faktori kao i karakteristike sastojina. Količina šumskog goriva, procenjenog na osnovu karakteristika sastojine, smatra se još jednim faktorom koji se razlikuje od meteoroloških i topografskih faktora jer je količina goriva promenljiva i podložna kontroli. Zbog toga je procena kapaciteta goriva kritična za studije upravljanja šumama [7].

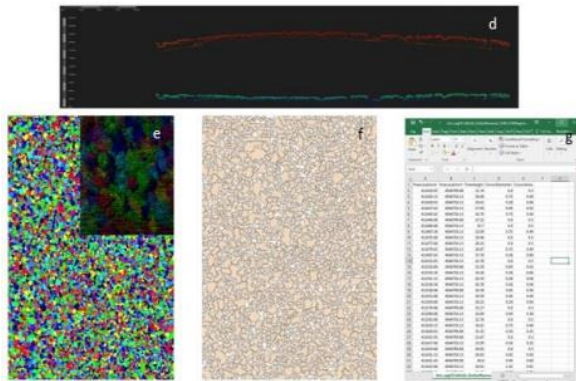
Podaci dobijeni od vazdušnog LiDAR sistema kao i fotografija sa satelitskog sistema Pléiades [8] su kombinovani korišćenjem ERDAS softvera (RGB Encode) da bi se dobio oblak tačaka u boji [7]. Ovako dobijeni podaci koriste se za eliminaciju senki stabala u narednom procesu segmentacije. Digitalni elevacioni model terena (DEM) i digitalni model površine (DSM) proučavanog područja dobijeni su korišćenjem LasTools [9] alata. Ova dva skupa podataka se koriste da bi se dobio CHM (Canopy Height Model) model - model visine krošnje (slika 6) [7].



Slika 6. (a. DSM, b. DEM, c. CHM)

Dobijeni normalizovani skup podataka je segmentovan kodovima PCL softvera, pri čemu se svakom detektovanom stablu dodeljuje TreeID. TreeID je novi vektorizovani skup podataka. TreeID-ovi u novom vektorizovanom skupu podataka takođe uključuju

tabelarne podatke kao što su visina stabla, prečnik krošnje kao i površina krošnje pojedinačnog stabla (slika 7) [7].



Slika 7. (d. Normalizovani nCHM profil, e. Segmentacioni rezultat sa TreeID, f. Vektorizovani segmentacioni rezultat, g. Tabelarni podaci ekstraktovani sa LiDAR-a)

Na osnovu ovih podataka moguće je izvršiti procenu količine šumskog goriva kao i procenu mogućnosti nastanka šumskih požara.

Menadžment i planiranje u šumarstvu – Kao podrška održivom gazdovanju šumama, potrebno je redovno ažurirati inventar šuma radi procene sastava, strukture i distribucije vegetacije, koji se zauzvrat, može koristiti kao osnovna informacija za donošenje odluka. Na operativnom nivou, inventar šuma se koristi za planiranje seče, raspored puteva, planiranje šumskih uzgojnih aktivnosti i sl. Na strateškom nivou, inventarisanje šuma pruža podatke za dugoročno planiranje gazdovanja šumama i podržava donošenje odluka relevantnih za zaštitu šuma i upravljanje divljim (šumskim) životinjama. Procena indikatora biodiverziteta šumskih sastojina uključuje ispitivanje mnogih istih varijabli dobijenih iz inventara šuma. Informacije o vertikalnom i horizontalnom rasporedu elemenata unutar krošnje stabla se lako mogu dobiti iz LiDAR podataka, a oni mogu upravljačima da obezbede informacije koje se odnose na razvoj biljnih zajednica, funkciju krošnje, uslove staništa divljih životinja i sl. [10].

Proučavanje ekologije šuma – je značajno ne samo sa stanovišta šumskih ekosistema, već i u cilju pružanja informacija o životinjskim ekosistemima vezanih za specifična (određena) šumska staništa - dostupnost hrane ili skloništa.

Postoji puno studija u kojima je razmatrana integracija LiDAR sistema sa lokacijama markiranih životinja ili životinja sa ogrlicom da bi se ispitala struktura staništa. LiDAR se takođe koristi za lociranje karakterističnih staništa ili krošnji za koje se zna da su potrebne određenoj vrsti, što omogućava modeliranje pogodnosti stanišne površine za određene životinjske vrste. Strukturne promene šuma i vegetacije dešavaju se kontinuirano iz više razloga - prirodnom selekcijom, uticajem vremenskih (ne)prilika (snegom i ledom), oštećenjima nastalim

delovanjem insekata, promenama nastalih usled seče i sl. [11].

Analiza strukture šuma – Korišćenjem multispektralnih LiDAR sistema (sistema sa više talasnih dužina), moguće je efikasnije razlikovanje tipova površina sa kojih se reflektuju svetlosni impulsi. Na taj način moguće je napraviti razliku između čistog (golog) tla i površina pod vegetacijom, površina sa četinarskim ili listopadnim drvećem, a u nekim slučajevima i detektovati pojedinačne vrste stabala.

Multispektralni LiDAR u stanju je da razlikuje površine jer koristi lasere različitih talasnih dužina sposobnih da identifikuju različite nivoe hlorofila. Biljke sadrže hlorofil i njegova koncentracija se razlikuje od vrste do vrste (npr. između četinarskog i listopadnog drveća). Takođe, multispektralni LiDAR može da napravi razliku i u prisustvu ili odsustvu hlorofila (npr. između golog tla i vegetacije) [11].

4. ZAKLJUČAK

Iako su LiDAR sistemi još uvek relativno skupi, ipak nalaze sve veću primenu u šumarstvu, naročito u kombinaciji sa bespilotnim letelicama tj. dronovima. Predstavljaju nezamenljiv alat za procenu šumske biomase, proučavanju ekologije ili mapiranje šuma naročito kada je zbog nepristupačnosti terena to teško izvesti zemaljskim sistemima ili korišćenjem nekih drugih metoda.

Danas postoje različiti LiDAR sistemi (multispektralni, sistemi sa kontinuiranim ili diskretnim talasnim oblikom i drugi), a koji će od njih biti primenjen pre svega zavisi od namene u šumarstvu.

LITERATURA

- [1] <https://lidarradar.com/apps/15-lidar-applications-in-forestry> (pristupljeno 23.12.2022. godine)
- [2] Abdullah E.A., Inanc T., Halit B. „Using Drone with a LiDAR Data Capture Systems in Forestry Applications“, ResearchGate - Conference Paper December 2018
- [3] Mihnea C., Ciubotaru A., Cristian T., „LiDAR for Ground Surface Mapping in Forest Environments“, ResearchGate - Journal of Young Scientist, Volume V, January 2017
- [4] Yebra M., Marselis S., Dijk A., Cary G., Chen Y. „Using LiDAR for Forest and Fuel Structure Mapping: Options, Benefits, Requirements and Costs“, Bushfire and Natural Hazards CRC 2015
- [5] L. Monika M., Todd E., Akira K., Jeffrey R., Guang Z., David B., „Lidar Application in Precision Forestry“ – ResearchGate – January 2009
- [6] Andrei U., Fernando P., Vasco B., Pedro M., Pedro L., „Scalable Lidar technique for fire detection“ - Conference Paper in Proceedings of SPIE - The

International Society for Optical Engineering, August 2014 DOI: 10.1117/12.2060254

[7] Inan M., Bilici E., Akay A.E., „Using Airborne LiDAR Data for Assessment of Forest Fire Fuel Load Potential“ - ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-4/W4, 2017, 4th International GeoAdvances Workshop, 14–15 October 2017, Safranbolu, Karabuk, Turkey

[8] <https://eos.com/find-satellite/pleiades-1/>
(pristupljeno 20.01.2023. godine)

[9] <https://rapidlasso.com/lastools/> (pristupljeno 22.01.2023. godine)

[10] Michael W., Christopher W.B., Nicholas C.C., Thomas H., Joanne C.W., „The role of LiDAR in sustainable forest management“ - November/December 2008, vol. 84, no. 6 — The Forestry Chronicle

[11] Markus M., Aurelie S., Paul Glover-K., „LiDAR for ecology and conservation – WWF Conservation Technology Series (3)“ - Technical Report October 2017 DOI: 10.13140/RG.2.2.22352.76801

PRIMENA NEH HEURISTIKE ZA PROBLEM REDOSLEDA U PROTOČNOJ RADIONICI

USING NEH HEURISTICS TO SOLVE FLOW SHOP SCHEDULING PROBLEM

Jana Vugdelija¹, Miloš Danilović¹
Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu¹

Sadržaj – U ovom radu predstavljeno je rešavanje problema raspoređivanja u protočnoj radionici primenom konstruktivne heuristike NEH. U radu su prvo definisani problemi redosleda delova, koji se odnose na određivanje redosleda kojim će proizvodi biti obrađivani na mašinama. Zatim je predstavljena NEH heuristika i opisana implementacija ove metode u softverski alat razvijen za rešavanje problema redosleda. Na kraju, prikazani su rezultati eksperimenta izvršenog na 50 test primera različitih dimenzija.

Abstract - This paper presents solving flow shop scheduling problem using NEH constructive heuristics. The paper first defines scheduling problems, which refer to determining the order in which the products will be processed on the machines. Next, the NEH heuristic is presented and the implementation of this method in a software tool developed for solving scheduling problems is described. Finally, the results of the experiment performed on 50 test instances with various problem dimensions are presented.

1. UVOD

Problemi redosleda delova predstavljaju značajan aspekt u oblasti planiranja proizvodnje i od velike su važnosti za svako proizvodno preduzeće. Ovi problemi odnose se na određivanje redosleda kojim će se delovi obrađivati na mašinama, ali treba napomenuti da, iako su izvorno vezani za oblast planiranja proizvodnje, mogu naći primenu i u drugim oblastima, poput određivanja redosleda izvršavanja aktivnosti na projektu, ili rasporeda transportnih sredstva i njihovih posada (avio saobraćaj, železnica). Ovaj rad posvećen je rešavanju problema redosleda delova primenom NEH heuristike. Izabrana metoda implementirana je u softverski alat razvijen za rešavanje pomenutog problema.

2. PROBLEM REDOSLEDA DELOVA

Zadatak problema redosleda delova najčešće je pronaći redosled kojim će se delovi obrađivati na mašinama takav da potrebno vreme obrade bude minimalno, s tim što se, zavisno od konkretnog problema koji se rešava mogu koristiti i druge kriterijumske funkcije. Za slučaj kada postoji m mašina i n poslova (delova) koje treba obaviti (obrađiti), problem redosleda delova se može opisati sledećim pretpostavkama [1]:

1. Poslove J_1, J_2, \dots, J_n je potrebno obaviti na mašinama M_1, M_2, \dots, M_m ;
2. Za svaki od poslova poznat je redosled prema kom će taj posao obilaziti raspoložive mašine;
3. Za svaki posao zadato je vreme izvršavanja na svakoj mašini, odnosno u vidu matrice zadato je vreme realizacije i -tog posla na j -toj mašini t_{ij} za $i=1, 2, \dots, n$ i $j=1, 2, \dots, m$;
4. Svi poslovi su istovremeno raspoloživi (od trenutka $t=0$);
5. Sve mašine su istovremeno raspoložive (od trenutka $t=0$);
6. Svaka mašina može izvršavati samo jedan posao u datom trenutku;
7. Svaki posao može se izvršavati samo na jednoj mašini u datom trenutku;
8. Nije moguće prekidati započet proces obrade posla na nekoj mašini. Realizacija jednog posla na toj mašini mora biti završena da bi rad na sledećem poslu mogao da počne;
9. Svi poslovi su jednakog prioriteta. Ne postoji prednost jednog posla pri obradi u odnosu na drugi.

U ovom radu rešavan je specijalni slučaj opisanog problema gde je redosled obrade svih elemenata na mašinama isti. Ovaj problem u literaturi je poznat pod nazvom Flou Šop (*Flow Shop*), dok se opštiji slučaj kada elementi imaju različite procese obrade naziva Džob Šop (*Job Shop*) [2]. Ukoliko se umesto neke mašine nalazi mašinski centar sa više raspoloživih mašina istog tipa radi se o problemu *Flexible Job Shop* odnosno *Flexible Flow Shop* [2]. U ovom radu kao ciljna funkcija korišćeno je vreme završetka obrade poslednjeg proizvoda (eng. *makespan*). Odnosno, potrebno je naći redosled izvršavanja operacija na mašinama takav da vreme realizacije celokupnog procesa bude minimalno.

3. NEH HEURISTIKA

Problemi određivanja redosleda delova su veoma složeni i spadaju u klasu NP-teških problema [3]. Ovo znači da nije poznat algoritam za pronalaženje optimalnog rešenja koji je polinomijalne zavisnosti od dimenzija problema, zbog čega se za rešavanje ovih problema u velikoj većini slučajeva koriste različite heurističke metode. Među

poznate heuristike koje se koriste za rešavanje problema redosleda spadaju metoda grananja i ograničavanja [4], genetski algoritmi [5], tabu pretraživanje [6], algoritmi mravljih kolonija [7] i druge.

NEH heuristika je prvi put u literaturi predstavljena 1983. godine i dobila je ime kao akronim imena naučnika koji su je kreirali – *Muhammad Nawaz, E Emory Enscore Jr, Inyong Ham* [8]. Ova metoda spada u konstruktivne heuristike, što znači da se rešenje kreira iterativno, korak po korak. NEH heuristika bazira se na principu da proizvodima sa dužim ukupnim vremenom obrade treba dati veći prioritet prilikom raspoređivanja. Proizvodi se na početku sortiraju prema vremenu obrade na svim mašinama, počevši od najvećeg, i u tom redosledu se dodaju u konačno rešenje. Prilikom dodavanja svakog proizvod u niz, redosled već postojećih elemenata niza se ne menja.

Koraci NEH heuristike mogu se predstaviti na sledeći način [9]:

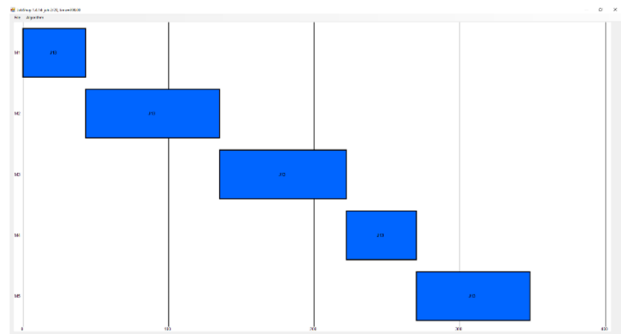
1. Za svaki proizvod izračunati sumu njegovih vremena obrade na svim mašinama – ukupno vreme obrade.
2. Sortirati niz proizvoda u opadajućem (nerastućem) poretku prema ukupnom vremenu obrade.
3. Izabrati prva dva proizvoda sa liste iz koraka 2 i odrediti njihovu najbolju sekvencu, odnosno izračunati vreme obrade za 2 potencijalna parcijalna rešenja i izabrati ono koje daje manju vrednost. Ne menjati redosled ova dva posla u daljim koracima. Postaviti $i=3$.
4. Izabrati posao na i -toj poziciji liste iz koraka 2 i naći najbolju sekvencu ubacivanjem tog posla na svaku od i mogućih pozicija u trenutno parcijalno rešenje (ne menjajući redosled prethodno dodatih proizvoda). Kao parcijalno rešenje za sedeći korak zadržati od i proverenih rešenja ono koje je dalo minimalnu funkciju cilja.
5. Ukoliko je $i=n$ algoritam je završio sa radom, u suprotnom postaviti $i=i+1$ i vratiti se na korak 4.

NEH heuristika je među najboljim konstruktivnim metodama za rešavanje problema redosleda. U literaturi postoji veliki broj radova koji se fokusiraju na unapređenje ove metode. Jedan od pravaca unapređenja je uvođenje dodatnog pravila prioriteta za slučajeve kada više proizvoda ima ista ukupna vremena obrade [10][11], ili dodatna modifikacija principa na osnovu kog se proizvodi sortiraju u redosled kojim će se dodavati u rešenje [12][13]. Još jedan pravac unapređenja uzima u obzir i druge kriterijume pored vremena obrade, poput minimizacije kašnjenja, što je vrlo čest uslov u realnim proizvodnim sistemima [14].

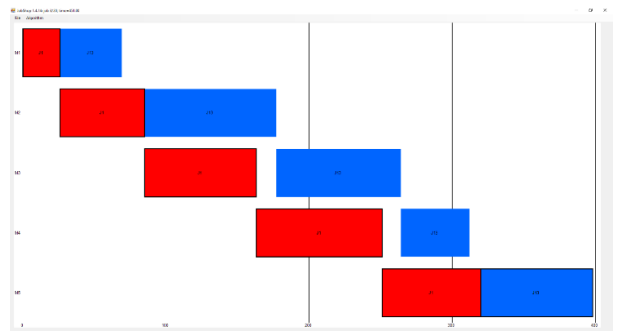
4. IMPLEMENTACIJA NEH HEURISTIKE U SOFTVER ZA REŠAVANJE PROBLEMA REDOSLEDA DELOVA

Prethodno opisana NEH heuristika implementirana je u softver za rešavanje problema redosleda napisan u programskom jeziku C#, u okruženju Visual Studio. Prvi korak u radu razvijenog softvera predstavlja učitavanje problema redosleda koji će biti rešavan. Problem se učitava iz tekstualnog fajla i u programu je predstavljen kao struktura podataka koja sadrži listu poslova i niz mašina, u redosledu kojim će ih poslovi obilaziti. Posao je takođe definisan u vidu strukture podataka čiji su atributi: redni broj, naziv posla (u slučaju da nije naveden dodeljuje se „J“ + redni broj posla), trajanja obrade na svakoj mašini, ukupno trajanje obrade i boja kojom će biti predstavljen na gantogramu.

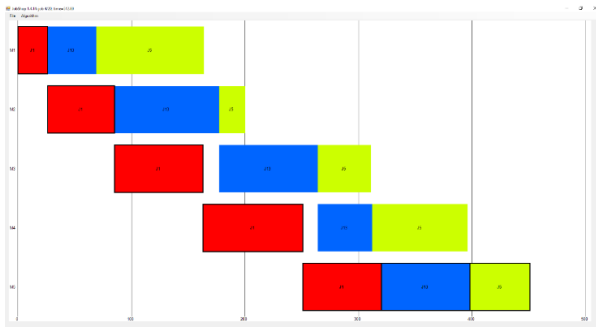
Nakon učitavanja problema potrebno je sortirati poslove u opadajućem ili nerastućem redosledu prema ukupnom vremenu potrebnom za obradu. Prvi posao sa sortirane liste dodaje se u parcijalno rešenje. Struktura podataka kojom je rešenje problema predstavljeno ima dva najznačajnija atributa: niz kojim je naznačen redosled kojim se poslovi izvršavaju i vreme potrebno za obradu svih proizvoda iz navedenog niza. Ostali atributi su vremena čekanja, lista svih operacija, koje su definisane poslom, mašinom i vremenom početka, i lista operacija koje se nalaze na kritičnom putu. Na slikama 1-4 prikazana su prva 4 koraka NEH heuristike.



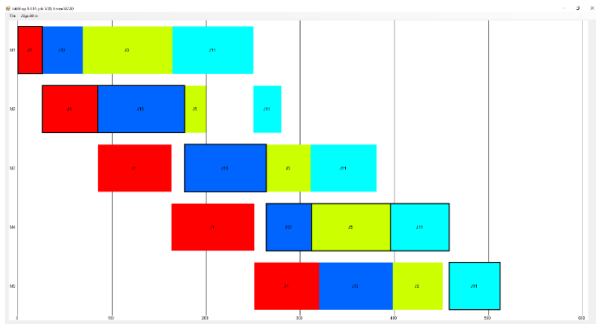
Slika 1. Prvi korak NEH heuristike



Slika 2. Drugi korak NEH heuristike



Slika 3. Treći korak NEH heuristike



Slika 4. Četvrti korak NEH heuristike

Algoritam dalje iterativno dodaje poslove u parcijalno rešenje, kao što je u opisu NEH heuristike prethodno objašnjeno. U svakoj iteraciji kreira se više potencijalnih parcijalnih rešenja (srazmerno broju iteracije) i zadržava se parcijalno rešenje koje ima najkraće vreme obrade.

Poslovi se iterativno dodaju u rešenje dok dužina rešenja nije jednaka broju poslova. Kao što je i prikazano na slikama u i -tom koraku NEH heuristike u parcijalno rešenje se dodaje i -ti član, odnosno i -ti po redu posao po ukupnom vremenu potrebnom za obradu na svim mašinama. S obzirom na to da se redosled poslova već uvrštenih u trenutno parcijalno rešenje ne može menjati, ispituje se i potencijalnih opcija. Upoređuju se vremena potrebna za obradu svih i delova kada bi se i -ti posao stavio na početak niza, između bilo koja dva elementa i na kraj niza. Onaj redosled koji obezbeđuje minimalnu funkciju cilja se zadržava kao naredno parcijalno rešenje.

5. REZULTATI EKSPERIMENTA

Svi problemi na kojima je testiran softver i koji su korišćeni za potrebe eksperimenta predstavljenog u nastavku preuzeti su sa internet stranice Tailardove instance (*Tailard's instances*) [19]. Rešavani su problemi sa 20 poslova i 5 mašina, 50 poslova i 10 mašina, 100 poslova i 10 mašina, 200 poslova i 10 mašina i 200 poslova i 20 mašina, po 10 primera iz svake kategorije. Ove kategorije su u nastavku obeležene prema dimenzijama problema, na primer 50x10 za probleme sa 50 poslova i 10 mašina. Rezultati dobijeni primenom predstavljenog softvera upoređeni su sa benčmark vrednostima koje predstavljaju najbolja poznata rešenja za ove probleme, takođe datim u [19]. U tabeli 1 predstavljeni su rezultati dobijeni primenom NEH heuristike na grupe problema navedenih dimenzija. Relativno odstupanje izračunato je prema formuli (1),

$$\Delta_i = \frac{s_i - bm_i}{bm_i} \quad (1)$$

	primer 1	primer 2	primer 3	primer 4	primer 5	primer 6	primer 7	primer 8	primer 9	primer 10
Kategorija 20x5										
Rezultat	1286	1365	1140	1340	1305	1228	1278	1235	1291	1151
Benčmark	1278	1359	1081	1293	1235	1195	1234	1206	1230	1108
Odstupanje	0.63%	0.44%	5.46%	3.63%	5.67%	2.76%	3.57%	2.40%	4.96%	3.88%
Kategorija 50x10										
Rezultat	3139	3021	2992	3194	3128	3178	3277	3123	3015	3272
Benčmark	2991	2867	2839	3063	2976	3006	3093	3037	2897	3065
Odstupanje	4.95%	5.37%	5.39%	4.28%	5.11%	5.72%	5.95%	2.83%	4.07%	6.75%
Kategorija 100x10										
Rezultat	5866	5474	5772	5901	5660	5387	5699	5746	6016	5916
Benčmark	5770	5349	5676	5781	5467	5303	5595	5617	5871	5845
Odstupanje	1.66%	2.34%	1.69%	2.08%	3.53%	1.58%	1.86%	2.30%	2.47%	1.21%
Kategorija 200x10										
Rezultat	10942	10667	11035	11057	10622	10493	10991	10810	10625	10802
Benčmark	10862	10480	10922	10889	10524	10329	10854	10730	10438	10675
Odstupanje	0.74%	1.78%	1.03%	1.54%	0.93%	1.59%	1.26%	0.75%	1.79%	1.19%
Kategorija 200x20										
Rezultat	11602	11638	11896	11768	11706	11707	11833	11821	11692	11813
Benčmark	11195	11203	11281	11275	11259	11176	11360	11334	11192	11284
Odstupanje	3.64%	3.88%	5.45%	4.37%	3.97%	4.75%	4.16%	4.30%	4.47%	4.69%

Tabela 1. Postignuti rezultati

gde je s_i postignuto rešenje za i -ti problem, a bm_i benčmark rešenje, odnosno optimalno ili najbolje poznato rešenje za taj problem.

Kroz prikazane rezultate može se videti da relativna odstupanja postignutih rešenja od najboljih poznatih nisu velika. NEH heuristika, iako jednostavna, daje dobra rešenja pomenutih problema. Prosečna relativna odstupanja od najboljih poznatih rešenja, po grupama test primera, prikazana su u tabeli 2.

Dimenzije problema	20 x 05	50 x 10	100 x 10	200 x 10	200 x 20
Avg Δ	3.34%	5.04%	2.07%	1.26%	4.37%

Tabela 2. Prosečna odstupanja od najboljih poznatih rešenja

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je implemantacija NEH heuristike u softver za rešavanje problema redosleda delova u protočnoj radionici. Nakon implementacije dobijeni rezultati upoređeni su sa optimalnim ili najboljim poznatim rešenjima korišćenih problema, gde se može videti da NEH metoda daje dobra rešenja koja od benčmark vrednosti odstupaju za nekoliko procenata. Iako je razvijena pre gotovo 40 godina, NEH heuristika je i dalje aktuelna tema istraživačkih radova u oblasti rešavanja problema redosleda. Veliki broj modifikacija i unapređenja ove metode je predstavljen i implementacija bilo koje od njih može biti nadgradnja predstavljenog rada. Planirani pravac daljeg istraživanja je generisanje hibridne metode koja bi na ovaj način dobijeno NEH rešenje koristila kao početnu instancu za dalju lokalnu pretragu ili druge heurističke metode poboljšanja rešenja, poput, na primer, metode promenljivih okolina.

LITERATURA

- [1] Ilić, O., Računarski integrisana proizvodnja, FON, Beograd, 2015.
- [2] Pinedo, L., Scheduling - theory, algorithms, and systems, Prentice hall, 2008.
- [3] Lenstra, J. K., Kan, A. R., & Brucker, P., "Complexity of machine scheduling problems.", In Annals of discrete mathematics, Elsevier, Vol. 1, pp. 343-362, 1977.
- [4] Gmys, J., Mezmaž, M., Melab, N., & Tuytens, D., "A computationally efficient Branch-and-Bound algorithm for the permutation flow-shop scheduling problem.", European Journal of Operational Research, 284(3), 814-833, 2020.
- [5] Mattfeld D. C., Evolutionary Search and the Job Shop: Investigations on Genetic Algorithms for Production Scheduling, Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] Nowicki, E., & Smutnicki, C., "A fast tabu search algorithm for the permutation flow-shop problem.", European Journal of Operational Research, 91(1), 160-175, 1996.
- [7] Yagmahan, B., & Yenisey, M. M., "A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem.", Expert Systems with Applications, 37(2), 1361-1368, 2010.
- [8] Nawaz, M., Enscore, E. E., & Ham, I., "A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem.", Omega, 11(1), 91-95, 1983.
- [9] Danilović M, Ilić O, "Novi pristup rešavanju permutacionog flowshop problema", Zbornik radova YUINFO, 195-199, 2015.
- [10] Sharma, M., Sharma, M & Sharma, S. "An improved NEH heuristic to minimize makespan for flow shop scheduling problems.", Decision Science Letters, 10(3), 311-322, 2021.
- [11] Dong, X., Huang, H., & Chen, P., "An improved NEH-based heuristic for the permutation flowshop problem.", Computers & Operations Research, 35(12), 3962-3968, 2008.
- [12] Kalczynski, P. J., & Kamburowski, J., "An improved NEH heuristic to minimize makespan in permutation flow shops.", Computers & Operations Research, 35(9), 3001-3008, 2008.
- [13] Danilović, M., O. Ilić, "Nova formalizacija i proširenje faze umetanja u NEH heuristici", Zbornik radova YUINFO, pp. 304-309, 2013.
- [14] Fernandez-Viagas, V., & Framinan, J. M., "NEH-based heuristics for the permutation flowshop scheduling problem to minimise total tardiness.", Computers & Operations Research, 60, 27-36, 2015.
- [15] Taillard, E., "Benchmarks for Basic Scheduling Problems", European Journal of Operational Research, Vol. 64, No. 2, pp. 278-285, 1993. (<http://mistic.heig-vd.ch/taillard/problemes.dir/ordonnancement.dir/ordonnancement.html>, poslednji pristup mart 2023.)

SAVREMENI RIZICI RAZVOJA SOFTVERA – KLASIFIKACIJA I ZNAČAJ

CONTEMPORARY SOFTWARE DEVELOPMENT RISKS - CLASSIFICATION AND SIGNIFICANCE

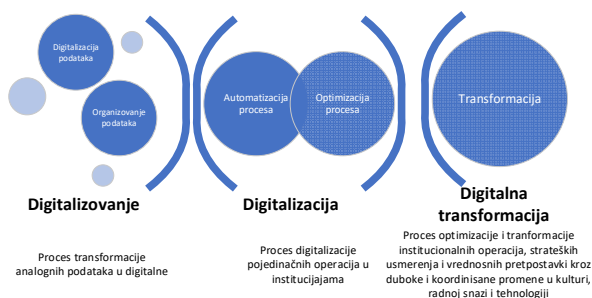
Ivan Vulić¹, Radomir Prodanović², Ivan Tot¹
Vojna akademija Univerziteta odbrane u Beogradu¹
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, Vojska Srbije²

Sadržaj – Savremeno okruženje, uslovljeno globalizacijom i pandemijom COVID-19, uticalo je i utiče na nove pristupe u razvoju softvera kao i na rizike koji ih prate. U radu je ukazano na najznačajnije savremene rizike koji su vezani za rokove, troškove i resurse za razvoj softvera. Izvršena je njihova kvalifikacija i ukazano je na njihov značaj.

Abstract - The modern environment, conditioned by globalization and the COVID-19 pandemic, influenced and continues to influence new approaches in software development and the risks accompanying them. This article points out the most significant modern risks related to deadlines, costs, and resources for software development. Their qualification was carried out and their importance was pointed out.

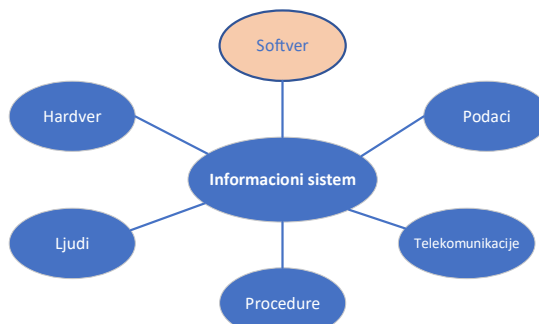
1. UVOD

Četvrta industrijska revolucija, ili Industrija 4.0, je savremeno radno i životno okruženje koje se uopšteno naziva digitalna era ili informaciono doba. Osnovna karakteristika ovakvog informacionog doba je digitalizacija poslovnih i životnih procesa (slika 1) upotrebom savremene informacione komunikacione tehnologije (IKT). Pojava velike količine podataka koja se opisuje pojmom Big Data je rezultat digitalizacije, zasnovana na razvoju novih digitalnih proizvoda i usluga. Big Data je pojam koji označava velike i kompleksne setove podataka, kod kojih tradicionalne aplikacije za obradu podataka nisu primenljive. Te skupove podataka karakterišu raznovrsnost formata, velike brzine obrade i pristupa, i veliki obim informacija [1].



Slika 1. Proces digitalizacije poslovnih procesa [2]

Osnova svih digitalnih proizvoda i usluga je softver, kao jedna od ključnih komponenti savremenih informacionih sistema (slika2). Pravovremena isporuka digitalnih proizvoda i usluga u savremenom globalnom okruženju, može biti od ključnog značaja za sve vrste njihovih naručioca ili krajnjih korisnika.



Slika 2. Komponente informacionog sistema [3]

U slučaju kada su naručioci iz domena javne administracije, pravovremena isporuka digitalnih proizvoda i usluga utiče na povećanje zadovoljstva najšireg sloja građana. Kod naručioca iz poslovnog okruženja, pravovremena isporuka digitalnih proizvoda i usluga može značiti opstanak i uspeh na tržištu, ili prouzrokovati značajne poslovne gubitke, u slučaju da isporuka kasni ili da ne zadovoljava njihove zahteve. U odbrambenom sektoru, digitalni proizvodi i usluge su postali nerazdvojni deo savremenog naoružanja i vojne opreme i savremenih komandno-informacionih sistema. Kašnjenje u isporuci novih digitalnih proizvoda i usluga može značajno uticati na mogućnost opstanka odbrambenih snaga na bojnopolju, pa čak i na ukupnu odbrambenu sposobnost vojske i države.

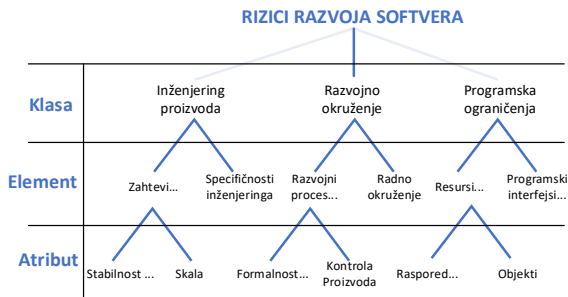
Pravovremena isporuka digitalnih proizvoda i usluga uslovljena je pravovremenom isporukom softvera na kojima su digitalni proizvodi i usluge zasnovani. Pravovremena isporuka softvera podrazumeva prevazilaženje mogućih rizika u njihovom razvoju. Rezultati savremenih istraživanja ukazuju da, iako postoji konstantan napredak u oblasti upravljanja softverskim projektima, projekti razvoja softvera ne uspeavaju da pravovremeno i u skladu sa opredeljenim resursima isporuče prihvatljiv proizvod [4].

Poznavanje vrste rizika u razvoju i njihovog značaja za razvoj softvera, uz upotrebu tehnika i alata za predviđanje rizika omogućava otkrivanje oko 70% i izbegavanje 90% otkrivenih rizika [5].

2. SAVREMENI RIZICI RAZVOJA SOFTVERA

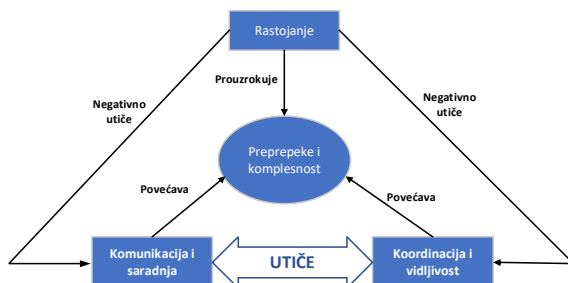
Rizik razvoja softvera se može opisati kao skup karakteristika softverskog projekta, situacija i propisa koji predstavljaju opasnost za ukupan uspeh projekta [6].

Opšta klasifikacija rizika razvoja softvera, prikazana na slici 3, definisana je još 1993. godine.



Slika 3. Klasifikacija rizika razvoja softvera [7]

Rizici razvoja softvera podeljeni su u tri velike klase: klasa inženjeringa proizvoda, klasa razvojnog okruženja i klasa programskih ograničenja [7]. Klasa rizika koji se odnose na inženjering proizvoda uključuje rizike vezane za tehničke karakteristike softvera opisane kroz specifikaciju zahteva. Klasa rizika razvojnog okruženja obuhvata rizike koji se odnose na metode i alate koji se koriste za razvoj softvera, kao i na upravljačku strukturu i upravljački proces softverskog projekta. Programska ograničenja opisuju tzv. spoljne rizike, odnosno rizike koji nisu pod kontrolom upravljačke strukture softverskog projekta. Opisana klasifikacija rizika primenljiva je kada se razvoj softvera ne odvija u globalnom okruženju i geografski i vremenski distribuiranim lokacijama, što je u skladu sa vremenskim periodom kada je nastala (1993. godina). Međutim, savremeno okruženje za razvoj softvera podrazumeva angažovanje distribuiranih razvojnih timova u različitim vremenskim zonama i na različitim geografskim lokacijama [6], što dovodi do novih rizika u razvoju softvera (slika 4).

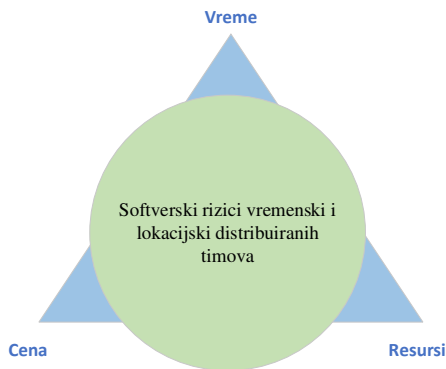


Slika 4. Uticaj rastojanja na rizike razvoja softvera u globalnom okruženje [8]

Angažovanje vremenski i lokacijski distribuiranih timova za razvoj softvera najviše se opravdava ekonomskim razlozima, zbog nižih troškova ljudskih resursa na različitim geografskim lokacijama [9]. Pored toga, članovi savremenih razvojnih timova, sa iste geografske lokacije, svoje zadatke obavljaju i od kuće, umesto iz zajedničkog radnog prostora. Ovakav način rada, koji je ustaljen u velikoj većini firmi za razvoj softvera, deo je nasleđa iz vremena pandemije COVID-19 [10], kada je rad od kuće bio deo mera za sprečavanja širenja pandemije.

Pored opšte klasifikacije opisane u [7], rizici razvoja softvera mogu se kategorisati još i vremenske, rizike

prekoračenja troškova razvoja softvera i rizike nedostataka resursa za razvoj softvera, kao i kombinaciju svih navedenih kategorija [11]. Na slici 5 prikazana je mogućnost njihovog uticaja i u slučaju razvoja softvera u savremenom okruženju zasnovanom na razvojnim timovima koji su vremenski i lokacijski distribuirani.



Slika 5. Softverski rizici vremenski i lokacijski distribuiranih timova [11]

3. ZNAČAJ SAVREMENIH RIZIKA RAZVOJA SOFTVERA

Na osnovu rezultata istraživanja opisanog u [11] izdvojeno je i pobrojano po značaju sedam rizika razvoja softvera u savremenom razvojnom okruženju zasnovanom na razvojnim timovima koji su vremenski i lokacijski distribuirani:

1. Nemogućnost obezbeđenja neophodnih resursa,
2. Kulturne razlike učesnika,
3. Neadekvatno obučeni članovi razvojnog tima,
4. Vremenska neusklađenost zadataka,
5. Prekoračenje odobrenog budžeta,
6. Neodgovarajući tehnički resursi,
7. Neusklađenost projektog tima.

Najznačajniji rizik je nemogućnost obezbeđenja neophodnih resursa za razvoj softvera, pre svega nemogućnost obezbeđenja ljudskih resursa. Drugi po značaju savremeni rizik se odnosi na kulturne razlike članova lokacijski distribuiranih timova. Rizik se odnosi na mogućnost nesporazuma u komunikaciji članova tima koji su iz različitog kulturnog i vrednosnog okruženja, što može uticati na prekoračenje vremenskih rokova kao i na prekoračenje odobrenog budžeta. Rizici označeni za vremensku neusklađenost zadataka i neadekvatno obučene članove tima su naročito karakteristični za vremenski i lokacijski distribuirane timove. Nedostatak svakodnevne neposredne komunikacije između članova razvojnog tima utiče na nedostatak informacija o obučeni članova tima. Zbog toga se pogrešno procenjuju njihove razvojne mogućnosti i izdaju im se zadaci koje neće moći izvršiti u planiranom vremenskom roku. Prostorna i vremenska udaljenost članova vremenski i lokacijski distribuiranih razvojnih timova dovodi do rizika prekoračenja odobrenog budžeta koji je prouzrokovan prethodno navedenim rizicima. Neodgovarajući tehnički resursi u vremenski i

lokacijski distribuirani razvojnim timovima mogu biti uzrok neodgovarajućeg čuvanja i zaštite izvornog koda softvera koji se razvija, kao i ažuriranja aktuelne verzije softvera na svim lokacijama.

4. ZAKLJUČAK

Savremeni rizici razvoja softvera nastaju u savremenom razvojnom okruženju u kojem su razvojni timovi vremenski i lokacijski distribuirani. Uslovljeni su fizičkom i vremenskom distancom članova razvojnog tima koja se negativno odražava na komunikaciju i saradnju članova tima, kao i na njihovu koordinaciju.

Prva tri najznačajnija savremena rizika razvoja softvera odnose se na ljudske resurse. Nedostatak ljudskih resursa, njihova neadekvatna obučenost, kao i kulturne razlike među njima u prostornom distribuiranom razvojnom timu su najznačajniji savremeni rizici razvoja softvera.

Istraživanje literature, na osnovu kojeg je nastao ovaj rad, pokazalo je da bezbednosni rizici nisu prepoznati kao rizici u razvoju softvera. U tom smislu postoji potreba za definisanjem bezbednosne komponente u svim vrstama rizika razvoja softvera za potrebe odbrambenih i bezbednosnih struktura.

ZAHVALNICA

Rad je nastao kao deo istraživanja u naučnoistraživačkom projektu „Uticaj savremenog okruženja na izvođenje borbenih dejstava u urbanim sredinama“ (VA-DH/1/21-23) na Vojnoj akademiji Univerziteta odbrane koji je finansiralo Ministarstvo odbrane.

LITERATURA

[1] Elektronsko poslovanje, Božidar Radenković, Marijana Despotović-Zrakić, Zorica Bogdanović, Dušan Barać, Aleksandra Labus, Fakultet organizacionih nauka, 2015.

[2] <https://connamix.com/digitization-digitalization-or-digital-transformation/>

[3] Subudhi, R. „Knowledge Management and the Changing Need of IT Applications“, Information and Knowledge Management Tools, Techniques and Practices, 2013.

[4] Elzamly, A. and Hussin, B. „Estimating Stepwise and Fuzzy Regression Analysis for Modelling Software Design Project Risks“, Asian J. Math. Comput. Res., Vol. 3, no. 4, pp. 234–241, 2015.

[5] Filippetto, A. S., Lima, R. and Barbosa, J. L. V. „A risk prediction model for software project management based

on similarity analysis of context histories“, Information and Software Technology, Vol. 131, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.infsof.2020.106497.

[6] Hassan, H., Manal, A. & Ghoneim, Amr. „Risk Prediction Applied to Global Software Development using Machine Learning Methods“, 2023.

[7] Carr, M. J., Konda, S. L. Monarch, I. Ulrich, F. C. and Walker, C. F. „*Taxonomy based risk identification*“, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, USA, 1993.

[8] Casey, V. „Imparting the importance of culture to global software development“, ACM inroads, vol. 1, no. 3, pp. 51–57, 2010, DOI: 10.1145/1835428.1835443.

[9] M. Rizwan, M., Qureshi, J., Al-Zaidi, A. and R. Qureshi „Global Software Development Geographical Distance“, The International Arab Journal of Information Technology, Vol. 14, No. 2, 2017.

[10] Iftikhar, A. et al. „Analysis of Risk Factors in Global Software Development: A Cross-Continental Study Using Modified Firefly Algorithm“, Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2022, DOI: 10.1155/2022/4936748.

[11] Bilal, M. et al. „Risk assessment across life cycle phases for small and medium software projects“, Journal of Engineering Science and Technology Vol. 15, No. 1, pp. 572–588, 2020.

PROCENA KVALITETA JPEG KOMPRIMOVANIH SLIKA KOMBINOVANJEM OBJEKTIVNIH MERA QUALITY ASSESSMENT OF JPEG COMPRESSED IMAGES BY COMBINATION OF OBJECTIVE MEASURES

Nenad Stojanović¹, Boban Bondžulić¹, Ivana Stojanović², Vladimir Ristić¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Telekom Srbija a.d., Beograd²

Sadržaj – U radu je dat jedan predlog mere za objektivnu procenu kvaliteta JPEG komprimovanih slika sa potpunim referenciranjem u domenu diskretne kosinusne transformacije. Predložena mera je dobijena na osnovu dve već postojeće mere. Performanse predložene mere testirane su na četiri javno dostupne baze slika koje u sebi sadrže rezultate subjektivne procene kvaliteta. Izvršeno je poređenje dobijenih rezultata sa drugim često korišćenim merama. Pokazano je da predložena mera u većini slučajeva daje bolje rezultate od mera od kojih je nastala.

Abstract - The paper presents a new measure for the objective quality assessment of JPEG compressed images with full-referencing in the domain of discrete cosine transform. The proposed measure was obtained on the basis of two already existing measures. The performance of the proposed measure was tested on four publicly available image datasets that contain the results of subjective quality assessment. The obtained results were compared with other commonly used measures. It was shown that the proposed measure in most cases provides better results than the measures from which it was created.

1. UVOD

JPEG kompresija je najčešća metoda kompresije slike danas, uprkos tome što je nastala još pre više od tri decenije [1]. Zbog sve veće potrebe za generisanjem, prenosom i čuvanjem velike količine slika, kompresija takvih podataka ima sve značajniju ulogu. JPEG kompresija spada u tip kompresije sa gubicima, te je stoga, sa stanovišta korisnika važno da se ne izgubi na kvalitetu slike usled degradacije izazvane kompresijom. JPEG kompresija se zasniva na diskretnoj kosinusnoj transformaciji (*Discrete Cosine Transform*, DCT) i na njenoj osobini da se velika količina podataka čuva u malom broju niskofrekventnih DCT koeficijenata. DCT se vrši nakon što se slika podeli na blokove. Kod JPEG je standardizovan blok dimenzija 8x8 piksela. DCT koeficijenti se određuju za svaki blok posebno. Zbog ovakvog načina obrade slike prilikom kompresije, na slikama se mogu javiti neželjene degradacije u vidu pojave blokovskih efekata.

Kako bi se obezbedio potreban kvalitet slike uz minimalne moguće gubitke informacija prilikom kompresije, u pomoć mogu priskočiti mere za objektivnu procenu kvaliteta, radi brzog i jednostavnog određivanja kvaliteta slika. Objektivne mere procene kvaliteta se zasnivaju na matematičkim algoritmima, nakon kojih se dobija numerička vrednost kvaliteta iz određenog opsega vrednosti. Česta podela objektivnih mera je na mere sa

potpunim referenciranjem (*Full-Reference*, FR), sa delimičnim referenciranjem (*Reduced-Reference*, RR) i bez referenciranja (*No-Reference*, NR) [2].

U ovom radu je predložen jedan način procene kvaliteta slike FR metodom. Ovaj tip procene kvaliteta svodi se na poređenje originalne/referentne slike i test slike, odnosno slike čiji se kvalitet procenjuje. Predložena metoda je proizašla iz dve već postojeće mere, čije se procene kvaliteta vrše u DCT domenu.

U drugom delu rada opisane su baze slika koje u sebi sadrže JPEG komprimovane slike. U trećem delu rada dat je opis predložene metode za objektivnu procenu kvaliteta slike sa potpunim referenciranjem. Najznačajniji rezultati i zaključci dati su u četvrtom i petom delu rada.

2. OPIS KORIŠĆENIH BAZA SLIKA

Četiri javno dostupne baze koje sadrže slike sa JPEG kodovanjem su analizirane. Svaka od baza ima podatke subjektivnih procena kvaliteta za svaku od degradiranih slika, bilo kroz MOS (*Mean Opinion Score*) ili kroz DMOS (*Differential MOS*). Korišćene su baze LIVE (*Laboratory for Image and Video Engineering*) [3,4], IVL (*Imaging and Vision Laboratory, University of Milan-Bicocca*) [5], MDID (*Multiply Distorted Image Database*) [6] i IR (*InfraRed Dataset*) [7,8].

A. LIVE baza slika

LIVE baza slika [3,4] Teksas univerziteta (*University of Texas at Austin*) se sastoji od 982 slike u boji. Baza slika je izvedena od 29 izvornih slika dobrog kvaliteta i visoke rezolucije (uglavnom 768x512 piksela). Slike baze su dobijene tako što su izvorne slike degradirane korišćenjem pet tipova distorzije. Korišćene su distorzije: JPEG2000 kodovanje, JPEG kodovanje, Gausov šum, Gausovo zamrljanje i simulacija grešaka u prenosu JPEG2000 povorke bita korišćenjem Rejljevog (*Rayleigh*) modela kanala sa brzim fedingom. Svaka od izvornih slika je degradirana sa svim tipovima distorzije i to tako da kvalitet dobijenih slika pokriva pun opseg kvaliteta, tj. od slike lošeg do slike dobrog kvaliteta. Baza sadrži 175 slika sa JPEG kompresijom.

U evaluaciji kvaliteta je učestvovalo 37 posmatrača, u prvoj studiji 19, a u drugoj 18. Subjektivne impresije kvaliteta date su kroz vrednosti DMOS skorova (niže DMOS vrednosti odgovaraju boljem kvalitetu slike).

B. IVL baza slika

IVL baza slika [5] sastoji se od slika degradiranih JPEG kompresijom i Gausovim šumom. Baza je generisana od

$$C_{i,j} = \frac{b_{i,j}}{\sum_{k=0}^{m-1} E_k} \quad (3)$$

gde je m ukupan broj opsega (za podelu na blokove 8×8 piksela $m=15$). Na ovaj način je izvršena normalizacija DCT koeficijenata i normalizovani koeficijenti $C_{i,j}$ imaju vrednosti između -1 i 1. Ako normalizovane DCT koeficijente svih blokova izvorne slike obeležimo sa C_{or} , normalizovane koeficijente slike sa degradacijom obeležimo sa C_{deg} , sličnost dve slike na globalnom nivou (nivou slika) može se odrediti pomoću izraza:

$$C_{QM} = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left(\frac{2C_{or}(m,n)C_{deg}(m,n) + g}{C_{or}^2(m,n) + C_{deg}^2(m,n) + g} \right), \quad (4)$$

gde je g konstanta ($g=10^{-16}$), a dimenzije slika su $M \times N$ piksela.

Nakon poređenja iz (4), dobija se vrednost koja predstavlja kvalitet slike sa degradacijom i ona može imati vrednost između -1 i 1. Slika sa većom vrednošću CQM je boljeg kvaliteta (sličnija izvornoj slici). Ako je kvalitet jednak 1, slike koje se porede su identične. Konstanta g služi za stabilizaciju mere CQM, kada su normalizovani koeficijenti jednaki nuli.

B. DSS

Mera koja izračunava kvalitet slike takođe u DCT domenu označena je sa DSS [12]. Određivanje kvaliteta degradirane slike vrši se u tri koraka.

Prvi korak se sastoji od podele slike na blokove dimenzija 8×8 piksela. Za svaki od blokova vrši se izračunavanje DCT koeficijenata, nakon čega se formiraju 64 nove matrice. Svaka od tih matrica predstavlja jedan podopseg frekvencija nakon izvršene DCT. Matrice se formiraju tako što se uzme DCT koeficijent sa iste pozicije iz svakog od prethodno načinjenih blokova.

U drugom koraku vrši se poređenje originalne slike i degradirane slike, odnosno, slike čiji se kvalitet procenjuje. Poređenje se vrši posebno za jednosmernu komponentu (DC koeficijent), a posebno za naizmenične komponente (AC koeficijenti) DCT koeficijenata. AC koeficijenti (za 63 opsega) porede se prema sledećem:

$$DSS_{m,n}(p,q) = \frac{2\sigma_{m,n}^X(p,q)\sigma_{m,n}^Y(p,q) + C}{\sigma_{m,n}^X(p,q)^2 + \sigma_{m,n}^Y(p,q)^2 + C}, \quad (5)$$

gde su $\sigma_{m,n}^X(p,q)^2$ lokalna varijansa na lokaciji (p,q) u podopsegu (m,n) originalne slike, $\sigma_{m,n}^Y(p,q)^2$ lokalna varijansa na lokaciji (p,q) u podopsegu (m,n) degradirane slike, a C je konstanta dodata zbog numeričke stabilnosti ($C=200$). DC koeficijenti se porede na sledeći način:

$$DSS_{0,0}(p,q) = \frac{2\sigma_{0,0}^X(p,q)\sigma_{0,0}^Y(p,q) + C}{\sigma_{0,0}^X(p,q)^2 + \sigma_{0,0}^Y(p,q)^2 + C}, \quad (6)$$

$$\frac{\sigma_{0,0}^{XY}(p,q) + C}{\sigma_{0,0}^X(p,q)\sigma_{0,0}^Y(p,q) + C}$$

gde je $\sigma_{0,0}^{XY}(p,q)$ međukorelacija na lokaciji (p,q) kod DC podopsega između originalne i degradirane slike. Nakon dobijenih rezultata za sve podopsege, vrši se sortiranje istih i izdvajanje 5% najnižih vrednosti.

U trećem koraku dolazi se do konačne vrednosti kvaliteta slike. Kvalitet slike se procenjuje kao:

$$DSS = \sum_{m,n=0}^7 w_{m,n} DSS_{m,n}, \quad (7)$$

gde je $w_{m,n}$ težinski koeficijent svakog podopsega. Vrednosti težinskih koeficijenata uzimaju se na osnovu Gausove dvodimenzione funkcije sa vrednošću standardne devijacije $\sqrt{6}$.

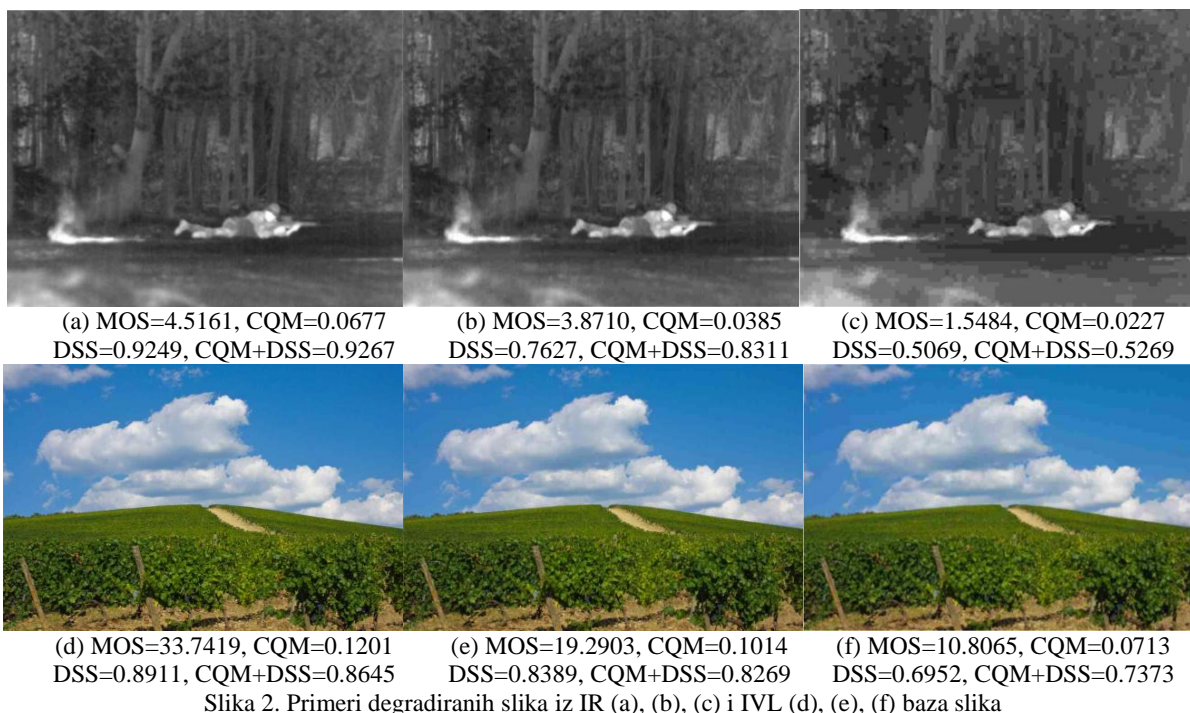
C. Kombinovana mera

Kombinovana mera dobijena je kombinovanjem prethodno dve opisane mere (CQM+DSS). U ovom slučaju, na početku obrade signala u cilju procene kvaliteta slike koristi se metoda CQM. Dakle, originalna i degradirana slika se transformišu u DCT domen, a nakon toga se odrede srednje vrednosti amplituda za svaki od opsega kako je to naznačeno u (1) i (2).

U narednom koraku se dalje primenjuje deo algoritma iz DSS mere. Kod ove, kombinovane mere, se takođe formiraju nove matrice, ali u ovom slučaju, umesto da se za to koriste DCT koeficijenti, koriste se srednje vrednosti amplituda dobijene iz (1). Broj novodobijenih matrica zavisi od broja opsega, odnosno od dimenzija bloka za izvršenje DCT (za blok 4×4 piksela biće sedam opsega, za blok 5×5 biće devet opsega, za blok 8×8 biće 15 opsega i sl.). Kako se prvi opseg uvek sastoji samo iz određenog DC koeficijenta, za ovaj opseg se primenjuje (6), dok se za izračunavanje vrednosti za ostale opsege koristi (5). Konačan kvalitet slike se izračunava kao u (7).

Optimizacija parametara kombinovane mere izvršena je testiranjem na LIVE bazi slika i predloženo je da se koriste sledeće vrednosti parametara: dimenzija bloka 4×4 piksela, konstanta $C=15$ iz (5) i (6) i nakon sortiranja dobijenih rezultata po opsezima, uzima se 4% najnižih vrednosti.

Na slici 2 su dati primeri JPEG komprimovanih slika iz dve korišćene baze slika. Na slikama pod (a), (b) i (c) prikazane su slike sa različitim stepenom kompresije iz IR baze slika. Za svaku od slika date su vrednosti MOS i vrednosti dobijene pomoću tri opisane mere objektivne procene kvaliteta slike. Sve tri objektivne mere prate vrednosti MOS, odnosno, sa povećanjem stepena kompresije, smanjuje se vrednost kvaliteta. Sa povećanjem stepena kompresije izražene su i degradacije na slikama u vidu blokovskih efekata. Slike pod (d), (e) i (f) prikazuju primere iz IVL baze slika sa istim zaključcima kada su u pitanju dobijene numeričke vrednosti procene kvaliteta. Sa većim stepenom kompresije i ovde se uočava blokovski efekat, naročito u homogenim regionima slike, ali je u konkretnom primeru manje izražen zbog veće rezolucije slike iz IVL baze u odnosu na IR bazu.



4. REZULTATI

Opisane objektivne mere su analizirane kroz stepen slaganja sa subjektivnim procenama kvaliteta pomoću linearne korelacije (*Pearson Linear Correlation Coefficient*, PLCC) i korelacije rangova (*Spearman Rank Order Correlation Coefficient*, SROCC) [15]. Opisane mere iz prethodne sekcije upoređene su međusobno, ali i sa drugim opšte poznatim merama. Za potrebe poređenja korišćene su nezaobilazne i najčešće korišćene mere, PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) [16] i SSIM (*Structural Similarity Index Metric*) [17]. Pored njih, korišćene su i tri mere koje su postigle izuzetno visoke rezultate na slikama koje su degradirane JPEG kompresijom i drugim degradacijama uopšte. Te mere su IW-SSIM (*Information Content Weighted SSIM*) [18], VIF (*Visual Information Fidelity*) [19] i MAD (*Most Apparent Distortion*) [20].

Dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 1. Osenčeni su najbolji rezultati za svaku kategoriju datu po kolonama. Rezultati prikazani u tabeli za meru CQM, odnose se za slučaj kada je blok dimenzija 8x8 piksela. Mera CQM_5x5_a6, odnosi se na slučaj kada se koristi blok dimenzija 5x5 piksela i prvih šest najznačajnijih DCT koeficijenata prema alternativnom načinu skeniranja [21]. Ove vrednosti CQM_5x5_a6 mere dobijene su optimizacijom na LIVE bazi slika. Prema dobijenim korelacionim koeficijentima, vidi se da je CQM_5x5_a6 dala bolje rezultate od CQM u skladu sa optimizovanim parametrima, a da je DSS mera bolja od CQM mere. Kombinovana mera je za nijansu dala bolje rezultate od DSS mere što je kvalifikuje kao meru koja se može smatrati kao unapređenje obe mere od kojih je nastala. U poređenju sa ostalim merama, kombinovana mera je bolja od PSNR i SSIM, dok mere IW-SSIM, VIF i MAD i dalje

pokazuju nešto bolje slaganje sa subjektivnim procenama u odnosu na predloženu metodu.

U skladu sa podešenim parametrima kod LIVE baze slika, uporedni prikaz dat je i za preostale tri baze slika. Kod IVL baze slika, kombinovana mera je bolja od CQM mere, ali ne i od DSS mere, koja je dala najbolji rezultat u odnosu na sve testirane mere, ako se posmatra PLCC. Kombinovana mera je kod PLCC dala lošije rezultate samo još u odnosu na VIF, dok kada je u pitanju SROCC, kombinovana mera je pokazala nešto slabije slaganje sa subjektivnim ocenama u odnosu na IW-SSIM, VIF i MAD, a bolje u odnosu na SSIM i PSNR.

Kombinovana mera je kod MDID baze slika pokazala bolje karakteristike u odnosu na CQM i DSS mere, a CQM bolje u odnosu na DSS. Ipak, dobre karakteristike nisu dovoljne da bi se dobila bolje korelacija sa subjektivnim procenama kvaliteta u odnosu na mere IW-SSIM i VIF. Kod ove baze slika IW-SSIM je dala najbolje rezultate.

Kada je u pitanju IR baza slika rezultati su nešto slabiji kod svih mera s obzirom da su izvorne slike u ovom slučaju iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. I u ovom slučaju je predložena kombinovana mera dala bolje rezultate u odnosu na samostalne CQM i DSS mere. DSS mera ima bolje poklapanje sa subjektivnim ocenama u odnosu na CQM. Kombinovana mera je i u odnosu na ostale korišćene mere pokazala bolje rezultate, osim kada je u pitanju mera MAD, koja se pokazala kao najbolja kod ovog podskupa slika.

Na slici 3 su prikazani dijagrami rasipanja subjektivnih i objektivnih procena kvaliteta za CQM, DSS i kombinovanu meru na sve četiri razmatrane baze slika. Generalno se može uočiti da je rasipanje ocena kod kombinovane mere sličnije rasipanju kod DSS mere, što

za pretpostavku daje da DSS mera ima značajniji uticaj od CQM mere. Ovo zapažanje je naročito izraženo kod LIVE i IVL baza slika, gde su i dobijeni koeficijenti korelacija približno jednaki za DSS i kombinovanu meru. Kod MDID baze slika kombinovana mera je čini se izvukla najbolje iz obe mere od kojih je nastala, te je stoga i dobijeni rezultat slaganja sa subjektivnim procenama

bolji, a dijagram rasipanja negde između izvorne dve mere. Kod poslednje testirane IR baze slika, dijagram rasipanja kombinovane mere je takođe sličniji dijagramu rasipanja DSS mere, ali je i u ovom slučaju stepen slaganja sa subjektivnim ocenama bolji u odnosu na CQM i DSS.

Tabela 1 – Koeficijenti korelacije subjektivnih i objektivnih skorova kvaliteta na opisanim bazama slika

Mera	LIVE		IVL		MDID		IR	
	PLCC	SROCC	PLCC	SROCC	PLCC	SROCC	PLCC	SROCC
CQM	0.8990	0.9059	0.8042	0.8240	0.9226	0.8994	0.7932	0.8548
CQM_5x5_a6	0.9314	0.9341	0.7853	0.8227	0.8588	0.8940	0.8165	0.8534
DSS	0.9796	0.9716	0.9597	0.9307	0.8859	0.8839	0.8866	0.8690
CQM+DSS	0.9797	0.9778	0.9459	0.9186	0.9250	0.9400	0.8929	0.8758
PSNR	0.8879	0.8809	0.8298	0.8432	0.3049	0.2823	0.8377	0.8146
SSIM	0.9504	0.9449	0.8155	0.8585	0.4514	0.5500	0.7097	0.6980
IW-SSIM	0.9814	0.9808	0.8693	0.9241	0.9614	0.9469	0.8963	0.8669
VIF	0.9864	0.9846	0.9536	0.9273	0.9488	0.9404	0.8899	0.8708
MAD	0.9806	0.9763	0.9368	0.9311	0.9279	0.9251	0.9390	0.9202

5. ZAKLJUČAK

U radu je predložena mera za procenu kvaliteta JPEG komprimovanih slika u DCT domenu. Mera je proizašla kombinovanjem algoritama mera CQM i DSS. Testiranje mere je izvršeno na JPEG slikama iz četiri javno dostupne baze slika sa subjektivnim procenama kvaliteta, od kojih su tri iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra, a jedna iz infracrvenog. Dobijeni rezultati su upoređeni i sa drugim najčešće korišćenim merama. Pokazano je da je kombinovana mera dala bolje rezultate u odnosu na mere od kojih je nastala na tri od četiri podskupa slika. Takođe, pokazano je da mera ne zaostaje značajno u odnosu na najbolje rangirane mere. Posebno ističemo visok nivo slaganja sa subjektivnim procenama kvaliteta na slikama iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra.

U daljem radu planira se dalja optimizacija predložene mere u cilju stvaranja univerzalne mere za procenu kvaliteta bilo kojih slika sa visokim stepenom slaganja sa subjektivnim ocenama.

LITERATURA

[1] Wallace, G. K. "The JPEG Still Picture Compression Standard", Communications of the ACM, Vol. 34, No. 4, pp. 30-44, 1991.

[2] Bovik, A. C. "Automatic Prediction of Perceptual Image and Video Quality", Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No. 9, pp. 2008-2024, 2013.

[3] Sheikh H. R., Sabir M. F. and A. C. Bovik, "A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 11, pp. 3440-3451, 2006.

[4] Sheikh H. R., Wang Z., Cormack L. and A. C. Bovik, "LIVE Image Quality Assessment Database Release2", <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.

[5] Corchs, S., Gasparini, F. and R. Schettini, "Noisy Images-JPEG Compressed: Subjective and Objective Image Quality Evaluation", Image Quality and System Performance XI, Vol. 9016, pp. 90160V, International Society for Optics and Photonics, February, 2014.

[6] Sun, W., Zhou, F. and Q. Liao, "MDID: A Multiply Distorted Image Database for Image Quality Assessment", Pattern Recognition 61, pp. 153-168, 2017.

[7] Merrouche, S., Bondžulić, B., Andrić, M. and D. Bujaković, "Description and Analysis of Infrared Image Database – Subjective and Objective Image Quality Assessment", Proc. 8th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2018, pp. 307-313, Belgrade, Serbia, 11-12 October 2018.

[8] Zelmati, O., Bondžulić, B., Pavlović, B., Tot, I. and S. Merrouche, "Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Infrared Compressed Images", Journal of Electrical Engineering, Vol. 73, No. 2, pp. 73-87, 2022.

[9] Corchs, S. and F. Gasparini, "A Multidistortion Database for Image Quality", International Workshop on Computational Color Imaging, Springer, Cham, pp. 95-104, March, 2017.

[10] Stojanović, N., Bondžulić, B. i D. Mikluc, "Procena kvaliteta slike analizom promene kontrasta", XXI naučna i biznis konferencija YUINFO 2015, Zbornik radova, str. 200-205, Kopaonik, Srbija, 08.-11.03.2015.

[11] Stojanović N., Bondžulić B., Pavlović B. and V. Ristić, "Contrast Quality Measure: Full-Reference Image Quality Assessment Metric for Infrared Images", 16th International Conference on New Trends in Signal Processing, pp. 114-121, Demanovska dolina, Slovakia, 12.-14.10.2022.

[12] Balanov A., Schwartc A., Moshe Y. and N. Peleg, "Image Quality Assessment Based on DCT Subband Similarity", IEEE International Conference on Image Processing, pp. 2105-2109, 2015.

[13] Tang, J., "A Contrast Based Image Fusion Technique in the DCT Domain", Digital Signal Processing, Vol. 14, No. 3, 2004, pp. 218-226.

[14] Tang, J., Peli, E. and S. Acton, "Image Enhancement Using a Contrast Measure in the Compressed Domain", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 10, No. 10, pp. 289-292, October 2003.

[15] International Telecommunication Union, ITU TUTORIAL: Objective Perceptual Assessment of Video Quality – Full Reference Television, Geneva, Switzerland, 2004.

[16] Wang, Z. and A. C. Bovik, "Mean Squared Error: Love it or Leave It? A New Look at Signal Fidelity Measures", IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 26, No. 1, pp. 98-117, 2009.

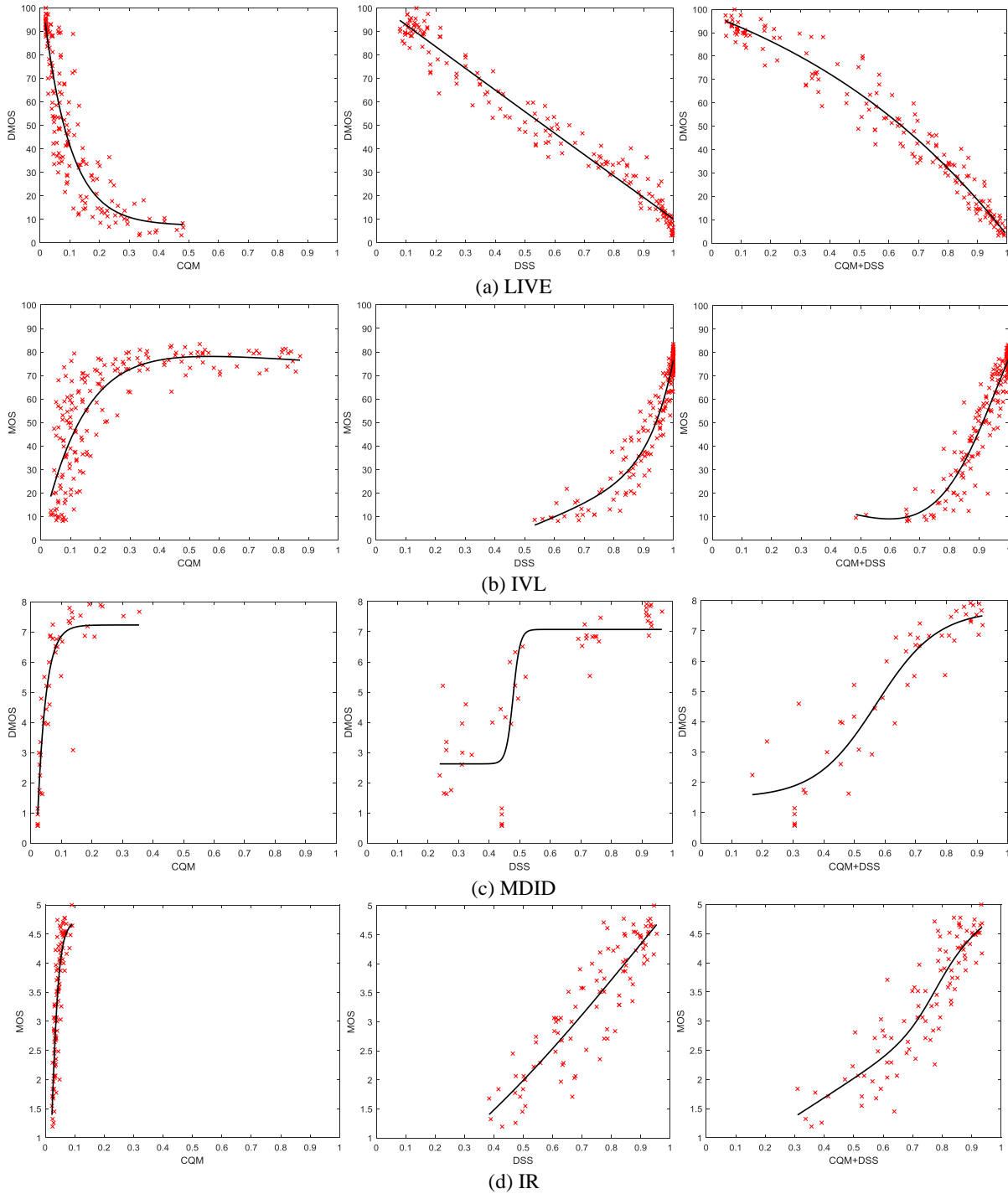
[17] Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R. and E. P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612, 2004.

[18] Wang, Z. and Q. Li, "Information Content Weighting for Perceptual Image Quality Assessment", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 20, No. 5, pp. 1185-1198, 2011.

[19]Sheikh, H. R. and A. C. Bovik, "Image Information and Visual Quality", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 2, pp. 430-444, 2006.

[20]Larson, E. C. and D. M. Chandler, "Most Apparent Distortion: A Dual Strategy for Full-Reference Image Quality Assessment", International Society for Optics and Photonics, Vol. 7242, pp. 72420S, January 2009.

[21]Stojanović N., Bondžulić B. i I. Stojanović, "Analiza značaja DCT koeficijenta u objektivnoj proceni kvaliteta slike zasnovanoj na promeni kontrasta", 63. Konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, ETRAN 2019, Zbornik radova, str. 401-406, Srebarno jezero, Srbija, 03.-06.06.2019.



Slika 3. Dijagrami rasipanja subjektivnih i objektivnih skorova kvaliteta



YU-S7-VPS: Sesija 7

Vojne primene i sistemi

MODEL REALIZACIJE ADAPTIVNOG TEMPOMATA ZA VOZILA PRIMENOM FAZI LOGIKE

Momir Drakulić¹, Milenko Andrić²

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija²

Sadržaj – Jedan od najvećih izazova za vozača tokom upravljanja vozilom na autoputu je održavanje bezbednog odstojanja od vozila koje se nalazi ispred njega, a u odnosu na brzinu kretanja, vremenske uslove, saobraćajnu gužvu i sl. Tokom održavanja bezbednog odstojanja, promena brzine vozila treba da bude blaga, bez iznenadnih kočenja i ubrzavanja. Adaptivni tempomat predstavlja napredni sistem koji kontroliše brzinu vozila. Nastao je razvojem prvobitnog sistema za kontrolu brzine nazvanog „tempomat”, koji je održavao zadatu brzinu vozila konstantnom.

Abstract - One of the biggest challenges for a driver while driving a vehicle on the highway is maintaining a safe distance from the vehicle in front of him, in relation to the vehicle speed, weather conditions, traffic congestion, etc. While maintaining a safe distance, the change in vehicle speed should be gentle, without sudden braking and acceleration. Adaptive cruise control is an advanced system that controls the speed of the vehicle. It arose from the development of the original speed control system, which kept the set speed of the vehicle constant.

1. UVOD

Napredna verzija sistema za kontrolu brzine vozila nazvana „adaptivni tempomat” ima mogućnost da utiče na brzinu vozila, tako da sistem, na osnovu ulaznih veličina, predviđa opasnu situaciju u kojoj se može naći vozilo i odlučuje na koji način će delovati na vozilo (ubrzati, kočiti ili održavati brzinu) [1]. Razlog za razvoj ovakvog sistema, pored smanjenja zamora vozača, ogleda se i u povećanju sigurnosti, jer za razliku od vozača, sistem u svakom trenutku prati vozilo ispred sebe i donosi odluke prilagođavajući brzinu tako da u svakom trenutku može zaustaviti vozilo.

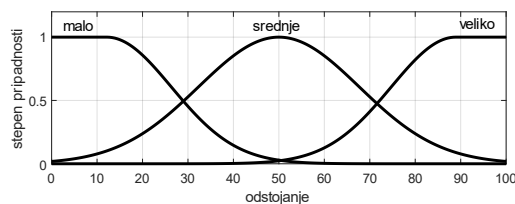
Kao provera rada razvijenog fazi logičkog kontrolera za adaptivni tempomat, razvijen je simulacioni model u programskom paketu MATLAB/Simulink. Simulacioni model sastoji se od dva vozila. Brzinom prvog vozila upravlja se sa unapred definisanim vrednostima ubrzanja, dok fazi logički kontroler upravlja drugim vozilom, tako što daje vrednost ubrzanja u zavisnosti od vrednosti ulaznih parametara.

2. IZBOR PROMENLJIVIH

Analizirajući kretanje vozila na autoputu dolazi se do zaključka da, jedno od najbezbednijih mesta za upravljanje vozilom, predstavlja ujedno i veliku opasnost, jer usled velikih brzina, i najmanja nepažnja može imati velike posledice. Parametri koji opisuju kretanje vozila na autoputu su njegova brzina, ubrzanje i odstojanje od

vozila ispred i iza. Takođe, na samo kretanja vozila bitno utiču i vremenski uslovi.

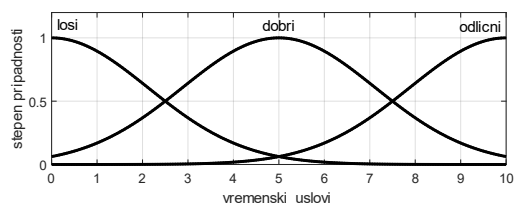
Zbog navedenog, za razvoj adaptivnog tempomata kao ulazne promenljive u radu koristeće se *odstojanje* od vozila ispred, *razlika brzina* između vozila i trenutni *vremenski uslovi*. *Razlika brzina* vozila daje informaciju da li se vozilo približava ili se udaljava od vozila ispred. Ulazna promenljiva *vremenski uslovi* je promenljiva koja veoma utiče na bezbedno kretanje vozila, i koju je teško matematički opisati, zbog čega je otežano njeno korišćenje u klasičnim sistemima automatskog upravljanja. Izlaz iz razvijenog fazi logičkog sistema je vrednost ubrzanja koje vozilo treba da postigne, bilo to ubrzanje ili usporenje. Karakteristike ulaznih promenljivih (atributa) i izlazne vrednosti iz fazi logičkog skupa date su na slikama od 1 do 4.



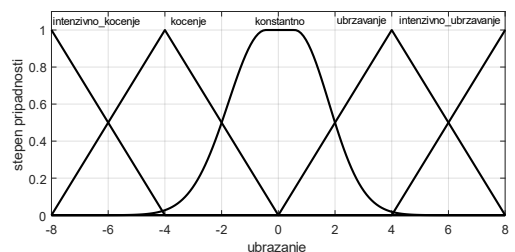
Slika 1. Prikaz ulazne promenljive odstojanje



Slika 2. Prikaz ulazne promenljive razlika brzina



Slika 3. Prikaz ulazne promenljive vremenski uslovi



Slika 4. Prikaz izlazne promenljive ubrzanje

Za projektovanje adaptivnog tempomata u ovom radu korišćen je kombinovani Mamdanijev i Larsenov fazi pristup. Fazi logički sistem ima tri ulazne promenljive i jedan izlaz. Kako bi se dobila zahtevana karakteristika upravljanja upotrebjeno je 27 pravila. Pravila su dobijena korišćenjem IF, and i THEM formi.

3. ANALIZA ZAVISNOSTI UBRZANJA

Nakon definisanja ulaznih i izlaznih parametara, kao i definisanja pravila za fazi kontroler, izvršena je analiza zavisnosti izlaznog parametra (ubrzanje) u zavisnosti od funkcija koje su korišćene za AND, implikaciju, agregaciju i defazifikaciju, pri čemu je u tabeli 1 dat pregled korišćenih kombinacija, dok je od slike 5 do slike 9 prikazano delovanje korišćenih operacija. Delovanje operacija za defazifikaciju prikazano je na slici 10.

Tabela 1. Pregled korišćenih kombinacija operacija

AND metod	implikacija	agregacija	defazifikacija	naziv FIS datoteke
1	min	max	centroid	ACC matlab Momir V14
2	min	prod	centroid	ACC matlab Momir V15
3	min	sum	centroid	ACC matlab Momir V16
4	min	min	sum	ACC matlab Momir V17
5	min	min	sum	ACC matlab Momir V18
6	min	prod	sum	ACC matlab Momir V19
7	prod	min	sum	ACC matlab Momir V20
8	prod	prod	sum	ACC matlab Momir V21

Operacije nad fazi skupovima (presek i unija), koje su korišćene u radu, mogu se objediniti uvođenjem trougaonih t i s normi [2], i to:

Presek fazi skupova:

$$A \cap B: \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)t\mu_B(x),$$

gde se t norma definiše na sledeći način:

$$xty = \min(x, y), \text{ operacija } \mathbf{min}$$

$$xty = xy, \text{ operacija } \mathbf{prod}$$

Unija fazi skupova:

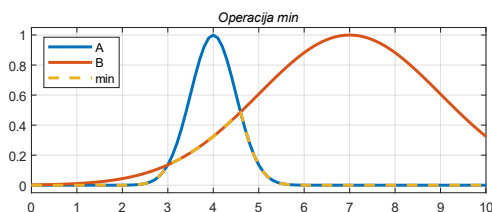
$$A \cup B: \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x)s\mu_B(x)$$

gde se s norma definiše na sledeći način:

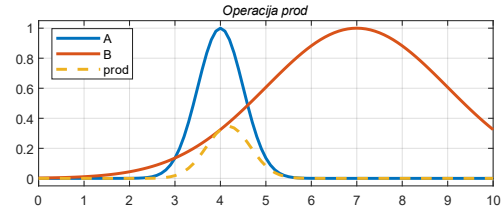
$$xsy = \max(x, y), \text{ operacija } \mathbf{max}$$

$$xsy = x + y - xy, \text{ operacija } \mathbf{probor}$$

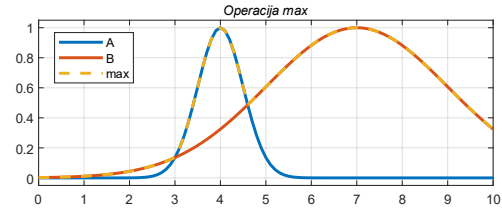
$$xsy = x + y, \text{ operacija } \mathbf{sum}$$



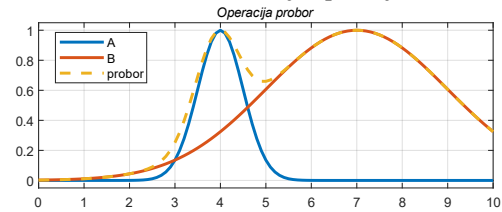
Slika 5. Prikaz delovanja operacije min



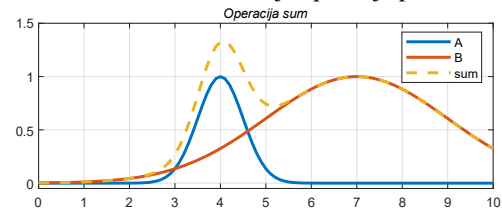
Slika 6. Prikaz delovanja operacije prod



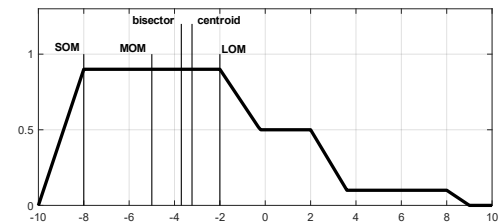
Slika 7. Prikaz delovanja operacije max



Slika 8. Prikaz delovanja operacije probor



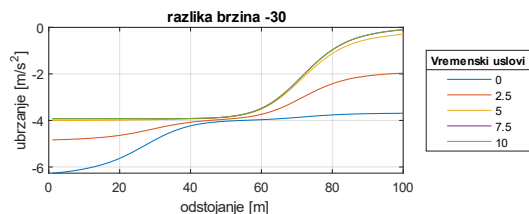
Slika 9. Prikaz delovanja operacije sum.



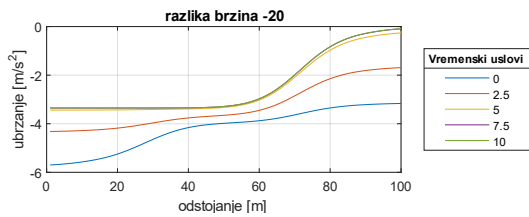
Slika 10. Prikaz operacija za defazifikaciju

4. USVAJANJE FAZI KONTROLERA

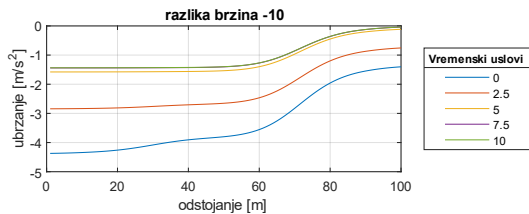
Na osnovu izvršene analize i upoređivanjem modela ACC matlab Momir, a prema postavljenim uslovima [3], kao optimalni fazi kontroler izabran je model ACC matlab Momir V21. Parametri koji su korišćeni za navedeni model prikazani su u tabeli 4 pod rednim brojem 8.



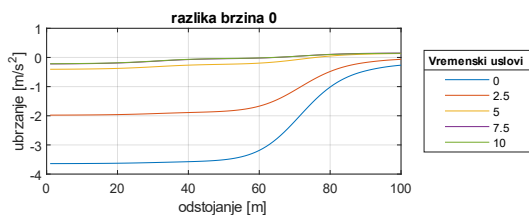
Slika 11. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



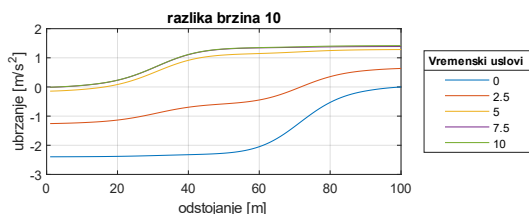
Slika 12. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



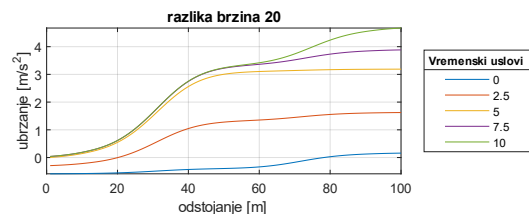
Slika 13. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



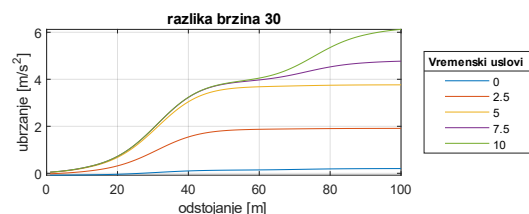
Slika 14. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



Slika 15. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



Slika 16. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21



Slika 17. Prikaz rezultata – ACC matlab Momir V21

Analizom rezultata prikazanih od slike 11 do slike 17 uočava se:

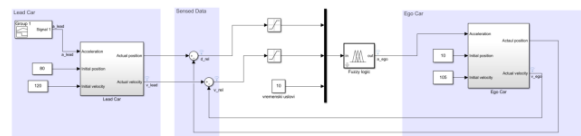
- Za sve vremenske uslove, karakter promene ubrzanja u odnosu na odstojanje ispunjava postavljene zahteve.

- Promena ubrzanja u zavisnosti od odstojanja je monotona i glatka, dok su izlazne vrednosti ubrzanja u granicama očekivanih.
- Sistem u najnepovoljnijem trenutku, a to je za vremenske uslove 0 i odstojanje manje od 10 m, ostvaruje maksimalno usporenje nešto veće od 6 m/s^2 , što odgovara postavljenim zahtevima.

Takođe, razlog za usvajanje ovog modela leži i u tome da isti omogućava glatko upravljanje, odnosno sistem neće imati nagle promene stanja koje će prouzrokovati trzanje vozila i smanjenje komfora, odnosno funkcije upravljanja su monotono i glatko rastuće/opadajuće. Takođe, model postiže željena ubrzanja i usporenja, a karakter te promene odgovara postavljenim uslovima.

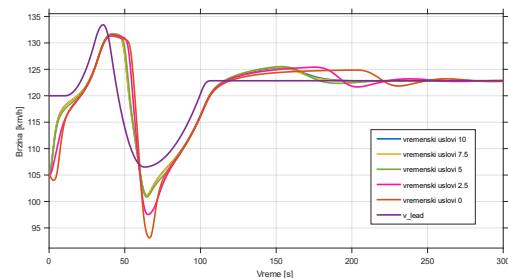
5. SIMULACIJA RADA SISTEMA

Simulacioni model razvijen je u MATLAB/Simulink okruženju, i sastoji od dva vozila koji su modelirani prenosnom funkcijom, gde su ulazi ubrzanja vozila, dok se na izlazu dobijaju njihove brzine i pređeni put [4]. Prvo vozilo je lider, i ima unapred definisanu karakteristiku kretanja, odnosno unapred zadatu promenu ubrzanja. Drugim vozilom se upravlja putem fazi logičkog kontrolera.



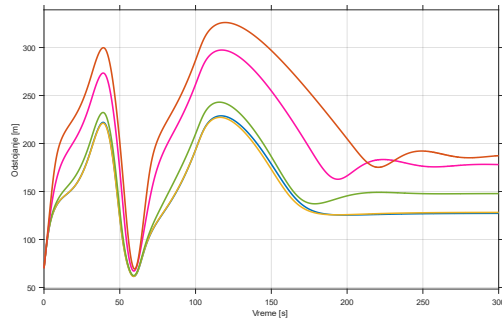
Slika 18. Simulacioni model

Ulazi u fazi logički kontroler su odstojanje i razlika brzina koje se računaju u toku simulacije, kao i vremenski uslovi koji su unapred definisani. Sprovedeno je pet simulacija pri različitim vremenskim uslovima, a rezultati simulacija prikazani su na slikama 19 i 20.



Slika 19. Prikaz rezultata simulacije rada

Na slici 19 prikazana je promena brzine drugog vozila u zavisnosti od vremenskih uslova i promene brzine prvog vozila. Ljubičastom bojom označena je promena brzine prvog vozila koje u prvom periodu ubrzava, zatim usporava do brzine od oko 105 km/h, nakon čega ubrzava do 120 km/h.



Slika 20. Prikaz rezultata simulacije rada

Na slici 20 prikazana je promena odstojanja između vozila. Analizirajući dobijene rezultate uočava se da je upravljanje drugim vozilom u granicama postavljenih zahteva, odnosno da je fazi logički kontroler zadovoljio zahteve.

6. ZAKLJUČAK

Razvijeni fazi logički sistem ACC matlab Momir V21 omogućava kontrolu ubrzanja vozila na osnovu definisane tri ulazne veličine. Vozilo bi moralo da ima davač koji meri odstojanje vozila ispred, a računar bi na osnovu brzine promene odstojanja računao razliku brzina. Takođe, vozilo bi moralo da ima i davač koji bi davao informaciju o vremenskim uslovima, ili bi možda tu informaciju vozilo (računar) dobijalo od okoline (davači na putu, sateliti, internet...). Na osnovu ulaza, računar bi upravljao položajem pedale gasa, tako da vozilo postiže zadata ubrzanja. Davači ubrzanja se odavno nalaze u obaveznoj opremi vozila i koriste se za aktiviranje vazдушnih jastuka.

Razvijeni sistem ne bi mogao da funkcioniše samostalno, već bi morao biti integrisan u veći sistem koji bi obuhvatao sistem za kočenje u slučaju opasnosti, sistem za ograničenje maksimalne brzine kretanja i dr. Zapravo, razvijeni model ACC matlab Momir V21 nema informaciju o maksimalnoj brzini vozila koju je vozač postavio. Odnosno, sistem će ubrzavati vozilo iako je ono prešlo zadatu brzinu od strane vozača. Takođe, u slučaju iznenadne opasnosti (odron, pojava vozila sa bočnog puta, presecanje trake od strane vozila sa strane...) morao bi postojati sistem koji bi iste prepoznao i preuzeo kontrolu nad vozilom.

Ovakvi sistemi predstavljaju korak ka autonomnim vozilima, ali put je veoma dug i postoje brojni problemi koji trenutno nisu rešivi. Sistemi postižu zadate ciljeve, povećavaju bezbednost i komfor u vožnji, ali pažnja vozača mora biti usmerena na upravljanje vozilom.

Takođe, razvijeni model predstavlja osnovu za dalji razvoj sistema za kontrolu brzine vozila, na način da se u sistem ugrade i dinamičke karakteristike vozila, odnosno svaki sistem bi bio posebno projektovan za svaki model vozila. Na taj način postiglo bi se optimalno upravljanje za svako vozilo u zavisnosti od njegove konstrukcije.

LITERATURA

- [1] Khaled A., Ricardo C., Stephan S., Daniel G. and Raul R., Fuzzy Logic-based Adaptive Cruise Control for Autonomous Model Car, 2020.
- [2] Timothy J., Fuzzy Logic with Engineering Application, 2010.
- [3] Sivandam S. N., Sumathi S. and Deepa S. N., Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, 2007.
- [4] Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB.

МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ И АНАЛИЗА ПЕРФОРМАНСИ СИСТЕМА ДАТОТЕКА ЗА ХИПЕРВИЗОРЕ ТИП-1 НА ПРИМЕРУ ESXi, PROXMOX И HYPER-V

MATHEMATICAL MODELING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF FILE SYSTEMS FOR TYPE-1 HYPERVISORS USING ESXi, PROXMOX AND HYPER-V

Борислав Ђорђевић¹, Милан Пантић², Никола Миловановић³ и Ненад Краљевић⁴
Институт Михаило Пупин¹, Министарство одбране Републике Србије^{2,3}, Електропривреда Србије АД⁴

Садржај – У раду је приказана и анализирана компарација перформанси хипервизора тип-1 ESXi, ProxMox и Hyper-V. Карактеристике хипервизора су испитане у једнаким условима и методама преко перформанси система датотека, коришћењем бенчмарк алата Filebench. Перформансе су упоређене узимајући у обзир тестове обављене са једном, две, три и четири виртуелне машине у раду. Постављен је математички модел, што је главни допринос овог рада и хипотеза о очекиваном понашању која је валидирана преко добијених резултата.

Abstract - The paper presents and analyzes the performance comparison of hypervisor type-1 ESXi, ProxMox and Hyper-V. Hypervisor features were tested under equal conditions and methods over file system performance, using the Filebench benchmark tool. Performance was compared considering tests performed with one, two, three and four virtual machines running. A mathematical model was set up, which is the main contribution of this work and a hypothesis about the expected behavior that was validated through the obtained results.

1. УВОД

Појам виртуелизације се први пут у рачунарству помиње шездесетих година 20. века. Код тадашњих централних рачунара (енг. Mainframe) концепт виртуелизације је била метода за логичку поделу ресурса централног рачунара између апликација. Од тада до данас концепт виртуелизације у рачунарству је напредовао и област примене се проширио. Типови виртуелизације које данас користимо су: хардверска, софтверска, меморије, мрежна, десктоп, складишног простора, оперативног система и података. У свакодневном раду са рачунаром свако се од нас сусретне барем са једним типом виртуелизације, а да тога нисмо ни свесни. Све то доводи до главних предности виртуелизације које се огледају кроз уштеду трошкова за хардвер, оптималнијег коришћења ресурса опреме и тиме доводи до мање потрошње електричне енергије. Са правом се због тога сматра зеленом технологијом [1-2].

Виртуелизација хардвера подразумева коришћење хипервизора, софтверског слоја који делује као

посредник између оперативног система домаћина и виртуелне машине. Хипервизори могу бити тип-1, односно нативни хипервизори, који се директно извршавају на хардверу хоста и могу бити тип-2, односно хостовани хипервизори, који се извршавају унутар оперативног система.

Такође виртуелизација хардвера зависи и од тога да ли је имплементирана паравиртуелизација, парцијална или пуна виртуелизација. Пуна виртуелизација представља симулацију комплетног хардвера и оперативни систем у том случају не мора бити модификован да би се извршио. Код парцијалне је само део окружења симулиран и оперативни систем госта потенцијално је потребно модификовати. Паравиртуелизација не симулира хардверско окружење и оперативни систем госта или домаћина треба модификовати. У зависности од потреба користи се одређени тип хардверске виртуелизације.

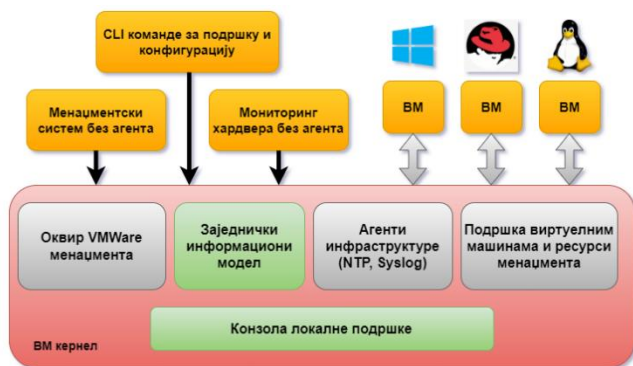
2. ИСТРАЖИВАЧКИ РАД У ОБЛАСТИ, ЦИЉ И МОТИВАЦИЈА

Циљ овог истраживања је препознавање карактеристика перформанси тестираних хипервизора, а у служби употребе истих у различитим ситуацијама. Ова област се често обрађује и радови на ову тему користе различите методологије и приступ евалуације перформанси тестираних хипервизора. Овај рад се ослонио на компаративну методу, која је била иницијатор за креирање математичког модела. Тестирања одређених виртуелних платформи се врше из више разлога. У нашем случају употреба за задату сврху, што је представљало и мотивацију за овај рад.

3. ESXi, PROXMOX И HYPER-V

ESXi виртуелна платформа (слика 1) је продукт компаније VMware Dell EMC. Овај хипервизор је тип-1, односно директно се извршава на хардверу и са тим се долази до знатно бољих перформанси система. Једна од специфичних ствари код ESXi је његова архитектура која је типа микрокERNEL и која не зависи од оперативног система. Његова архитектура обухвата основни оперативни систем који се назива VM kernel (VMkernel), са свим процесима који се покрећу изнад њега. Са њим

се врши контрола на свим хардверским уређајима на серверу и ресурсима који су потребни апликацији [3-4].



Слика 1. Архитектура VMware ESXi

ProxMox виртуелна платформа (слика 2), такође припада хипервизору тип-1. Он је платформа отвореног кода, а креирала га је компанија ProxMox Server Solutions. Једна од особина је, да је поједностављена администрација виртуелизованих система. У основи виртуализације ProxMox хипервизора налази се QEMU (Quick Emulator), хостовани емулатор виртуелне машине који ради као *root* процес. Сама архитектура ProxMox подсећа на KVM архитектуру, а пре свега што ProxMox у својој позадини користи KVM за управљање креираних виртуелних машина [5].



Слика 2. Архитектура ProxMox

Hyper-V виртуелна платформа (слика 3) је софтверски алат компаније Microsoft. Ради као хипервизор тип-1 у серверској варијанти. Ради по принципу изолације виртуелних машина у подређеним партицијама. Подређена партиција је логичка јединица у којој се извршавају сви гостујући оперативни системи. Такође

постоји партиција у истанци која покреће подржану верзију Windows сервера и назива се родитељска партиција. Она ствара подређене партиције помоћу *hypercall* апликативног програмског интерфејса. Софтвер за виртуелизацију има директан приступ хардверским уређајима и ради у родитељској партицији [6].



Слика 3. Архитектура Microsoft Hyper -V

4. МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ И ХИПОТЕЗЕ О ОЧЕКИВАНОМ ПОНАШАЊУ

Сви хипервизори на којима су рађена тестирања су тип-1, односно нативни хипервизори. Можемо назначити да свако радно оптерећење генерише секвенцијална и насумична времена за упис података, тако и секвенцијална и насумична времена за читање података. Радно оптерећење (T_w - *Time workload*) је дефинисано временом приступа за системе датотека. Оно представља укупно време за завршетак свих операција, у које спадају времена везана за слободне листе, блокове датотека, мета податке, директоријуме и вођење и чишћење дневника у систему датотека.

$$T_w = T_{FL} + T_{FB} + T_{META} + T_{DIR} + T_I + T_{HK} \quad (1)$$

Укупно време обраде које је сачињено од пет компоненти за свако радно оптерећење T_w , може се израчунати према следећој једначини:

$$T_w = f(Bnm, htOS-FS, Hip-proc, Vir-proc, gtOS-FS) \quad (2)$$

- прва и пета компонента једначине (2) **Bnm** (бенчмарк) и **gtOS-FS** (фајл систем гостујућег оперативног система) су исте за сва три хипервизора. Тестно окружење се ослања на експлоатацију идентичних виртуелних машина, идентичног бенчмарка и *ext4* као гостујући фајл систем, те можемо очекивати да ће ове компоненте имати исти утицај на укупно радно оптерећење (T_w).

- друга компонента једначине (2) **htOS-FS** (фајл систем оперативног система домаћина) представља време за обраду овог фајл система. Свака од тестираних виртуелних платформи користи сопствено решење фајл система, где ESXi користи VMFS, ProxMox користи ext4, а Hyper-V свој NTFS. Због тога се очекује да ће ова компонента имати различито време обраде за сва три хипервизора.

- трећа компонента ове једначине **Hip-proc** (процесирање хипервизора) представља потребно време да хипервизор прими захтеве од драјвера виртуелног хардвера и да их проследи драјверима оперативног система домаћина. Сваки хипервизор има сопствено процесирање, односно различито време за обраду захтева.

- четврта компонента **Vir-proc** (процесирање виртуелног хардвера) је време обраде пуне хардверске виртуелизације. Сваки од ових хипервизора користи сопствено решење за овај тип виртуелизације, те ће и перформансе бити другачије. Поред виртуелних драјвера фајл система, ова компонента има снажну интеракцију са оба кеш фајл система, што са кеш фајл системом госта, тако и са кеш фајл системом домаћина. Ово доноси различите перформансе код сва три тестирана хипервизора.

Пошто су тестови концентрисани на перформансама нативно виртуелизованих гостију при пуној хардверској виртуелизацији, очекује се доминантни утицај друге, треће и четврте компоненте једначине (2) [7-8].

5. ТЕСТ КОНФИГУРАЦИЈА И БЕНЧМАРК АПЛИКАЦИЈА

За добијање што адекватнијих резултата тестирања коришћена је иста метода и једнаки услови тестирања. Коришћена је идентична хардверска конфигурација сервера за тестирање свих хипервизора (табела 1). Верзије хипервизора који су коришћене у овом тестирању су: VMware ESXi 8.0, ProxMox 7.3 и Microsoft Hyper -V са Windows Server 2022 21H2.

Табела 1. Карактеристике сервера

Модел	PowerEdge R740xd2
Процесор	Intel(R) Xeon(R) Silver 4210R CPU @ 2.40GHz
Број CPU језгара	20
Меморија	DDR4 16GB x 4
Такт рада меморије	2400 MHz
Хард диск	SAS 1862.5 GB

За гостујући оперативни систем на виртуелним машинама изабрана је бесплатна верзија CentOS 7.9 оперативног система који припада Red Hat Enterprise Linux (RHEL) дистрибуцији. Виртуелне машине које су креиране на виртуелним платформама су потпуно идентичне (табела 2). Тестови су рађени са једном, две,

три и четири виртуелне машине у раду, што је резултирало до 70% оптерећење сервера.

Табела 2. Карактеристике виртуелних машина

Број CPU језгара	4
Виртуелна меморија	DDR4 12GB
Виртуелни хард диск	60GB

Тестови су рађени помоћу бенчмарк алата *Filebench*, верзија 1.4.9.1-1 који је бесплатан. Предвиђен је за мерење перформанси система датотека, генерисањем више типова оптерећења. За тестирање одабрана су оптерећења *file*, *web*, *mail* и *random file access* (RFA) сервера [9].

За добијање објективних резултата рађено је пет мерења по виртуелној машини за све типове оптерећења на сваком хипервизору и узимана је просечна вредност као крајњи резултат [10].

6. РЕЗУЛТАТИ ТЕСТИРАЊА И АНАЛИЗА

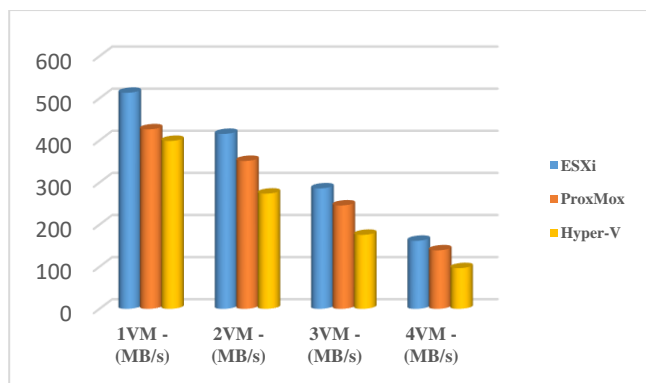
Циљ овог рада је мерење перформанси система датотека за наведене хипервизоре, посебно у ситуацији када се користи више од једне инстанце виртуелне машине. При раду већег броја инстанци смањују се перформансе система што је и требало доказати.

Процедура тестирања под оптерећењима која су одабрана извршавају се употребом већег броја модификованих датотека изворног кода, *fileserv.f*, *webserver.f*, *varmail.f* и *randomfileaccess.f* (RFA). Трајање сваког теста је подешено на 120 секунди, како би се добили што адекватнији и прецизнији резултати.

Водило се рачуна да се на минимум сведе могућност утицаја било ког екстерног ентитета на рад компоненти система. Прво је тестирање рађено на ESXi хипервизору тако што се прво на једној виртуелној машини одраде тестирања са свим одабраним радним оптерећењима. За свако оптерећење рађена су пет мерења. Када се уради мерење за једну виртуелну машину и сва оптерећења тестирана на истој, додаје се нова виртуелна машина и поступак се понавља. Поступак се понавља са три и на крају са четири виртуелне машине у раду. Пре инсталирања наредне виртуелне платформе, све виртуелне машине и ESXi хипервизор су деинсталиране. Цео поступак је поновљен и са остала два хипервизора ProxMox и Windows сервером и његовом Hyper-V ролом. Резултате тестирања можемо видети у табелама (3, 4, 5 и 6) и графиконима (1, 2, 3 и 4).

Табела 3. Резултати File сервера

Fileserver	1VM - (MB/s)	2VM - (MB/s)	3VM - (MB/s)	4VM - (MB/s)
ESXi	513,2	415,47	286,2	161,6
ProxMox	426,36	351,36	245,53	138,98
Hyper-V	398,8	273,69	175,77	96,69

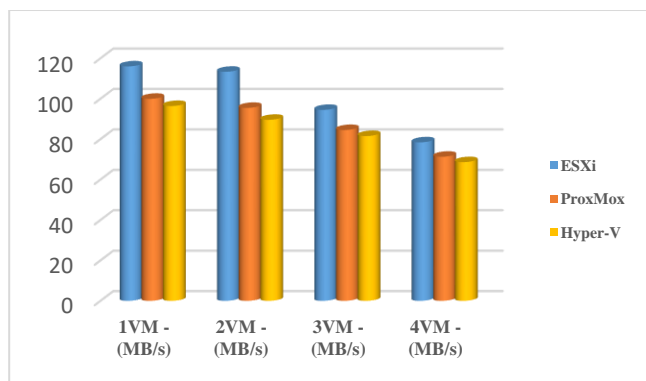


Графикон 1. Резултати File сервера

File сервер радно оптерећење је веома богат свим компонентама насумичног уписа, насумичног читања, секвенцијалног уписа и секвенцијалног читања, затим са солидним бројем улазно-излазних операција, као и са великим протоком података. ESXi побеђује, пре свега због четврте компоненте једначине (2) Vir-proc и кеширања фајл система на гостујућој и на страни домаћина. Због изразитих разлика у фајл систему домаћина и друга компонента једначине (2) је јако утицала на разлике у перформансама. Због истих тумачења, ProxMox је солидно бољи од Hyper-V хипервизора.

Табела 4. Резултати Web сервера

Webserver	1VM - (MB/s)	2VM - (MB/s)	3VM - (MB/s)	4VM - (MB/s)
ESXi	116	113,34	94,5	78,4
ProxMox	99,96	95,46	84,52	71,29
Hyper-V	96,4	89,57	81,53	68,62



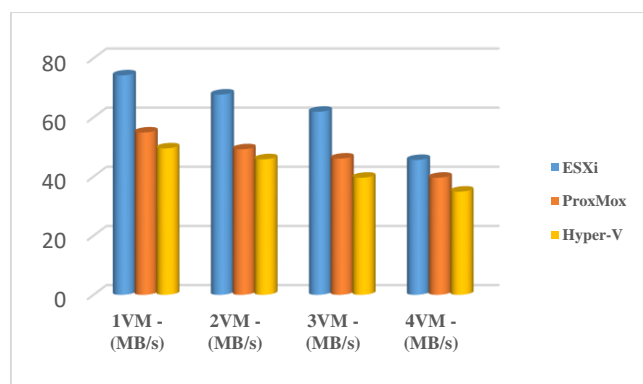
Графикон 2. Резултати Web сервера

Web сервер радно оптерећење има карактеристично изразите компоненте насумичног читања, и мале количине насумичног уписа, као и упис у log фајлове. Ово радно оптерећење има релативно мали број улазно-излазних операција и мали проток података. ESXi побеђује и у овом случају, а пре свега због треће и четврте компоненте (Hip-proc и Vir-proc) једначине (2). Утицај кеширања фајл система на гостујућој и на страни

домаћина је веома мали. Опет, због изразитих разлика у фајл систему домаћина, друга компонента је јако утицала на разлике у перформансама. Због истих тумачења, ProxMox је и у овом радном оптерећењу нешто бољи од Hyper-V.

Табела 5. Резултати Mail сервера

Mailserver	1VM - (MB/s)	2VM - (MB/s)	3VM - (MB/s)	4VM - (MB/s)
ESXi	74,22	67,73	61,9	45,6
ProxMox	54,9	49,22	46,08	39,61
Hyper-V	49,54	45,84	39,6	34,9

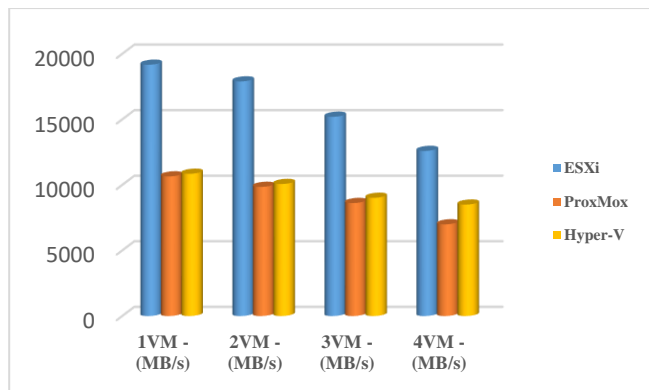


Графикон 3. Резултати Mail сервера

Радно оптерећење Mail сервер је оптерећење са изразитим компонентама насумичног читања и синхроним компонентама насумичног уписа. Ово оптерећење има солидан број улазно-излазних операција, али мали проток података. ESXi изразито побеђује и у овом радном оптерећењу, а пре свега због треће и четврте компоненте једначине (2). Утицај кеширања фајл система на страни госта и домаћина је веома мали због синхроних насумичних уписа. Наравно, утицај друге компоненте је и у овом радном оптерећењу правио разлике у перформансама. ProxMox је и у овом радном оптерећењу нешто бољи од Hyper-V, а све због горе наведених тумачења.

Табела 6. Резултати RFA сервера

RFA	1VM - (MB/s)	2VM - (MB/s)	3VM - (MB/s)	4VM - (MB/s)
ESXi	19167,46	17893,26	15195,7	12592,3
ProxMox	10648,84	9850,88	8619,09	6991,76
Hyper-V	10848,52	10070,55	9017,5	8497,64



Графикон 4. Резултати RFA сервера

Радно оптерећење RFA (Randomfileaccess) сервер има изразите компоненте насумичног читања и асинхроне компоненте насумичног уписа, као и солидан број улазно-излазних операција које прате мали проток података. Хипервизор ESXi више него изразито побеђује и у овом радном оптерећењу, а све због треће и четврте компоненте једначине (2). Овде је утицај кеширања фајл система на обе стране веома велики због асинхроног насумичног уписа. Као и у претходна три радна оптерећења и у овом је утицај друге компоненте на разлике у перформансама хипервизора веома велики. У овом типу радног оптерећења Нупер-V је бољи од ProxMox виртуелне платформе, а све због горе наведених тумачења овог радног оптерећења.

6. ЗАКЉУЧАК

Виртуелизација доноси драстичне промене у рачунарској индустрији. Поред значајних смањења улагања у хардвер и инфраструктуру, затим уштеде у потрошњи електричне енергије, мањој оптерећености физичког простора и бољој интеграцији различитих пословних апликација, технологија виртуелизације доноси поузданост и флексибилност. На тржишту постоји велики број софтверских решења за примену виртуелизације, која са собом доносе одређене предности или мане.

Када се сумирају резултати нашег истраживачког случаја, можемо приметити да најбоље перформансе има виртуелна платформа ESXi која је однела победу у сва четири теста, а изразито у File и RFA сервер радном оптерећењу. Дефинитивно, ESXi има најбоље решено процесирање хипервизора, најбоље решено процесирање виртуелног хардвера, те најбоље користи кеш ефекте. ProxMox и Нупер-V су испољили релативно сличне карактеристике, мада је ProxMox био бољи у три од четири теста.

Ипак, за неке озбиљне закључке морало би се урадити већи број истраживачких случајева на различитим типовима хардвера, где би онда могли доћи до коначног закључка о квалитету и употреби тестираних хипервизора. Намеће се много идеја које би могле послужити као наставак овог рада, а пре свега

компарација истих учесника на неком другом оперативном систему или у неком другом систему датотека.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] C. Jiang, et al, "Energy efficiency comparison of hypervisor," Informatics and Systems, 2017

[2] Y. Jin, Y. Wen, Q. Chen, "Energy efficiency and server virtualization in data centers," IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), pp. 133-138, 2012.

[3] VMware, [online] <https://www.vmware.com/>, 2022

[4] V. P. Singh, "Analysis of system performance using VMware ESXi server virtual machines," PhD Thesis, 2012.

[5] ProxMox, [online] <https://www.proxmox.com/en/>, 2022

[6] Hyper-V, [online] <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/virtualization/hyper-v-on-windows-server>, 2022

[7] B. Djordjevic, V. Timcenko, N. Kraljevic, and N. Macek, "File system performance comparison in full hardware virtualization with ESXi, KVM, Hyper-V and Xen hypervisors." Advances in Electrical and Computer Engineering, Vol. 21, No. 1, 2021, pp. 11-20.

[8] B. Đorđević, V. Timčenko, N. Nedeljković, N. Davidović, „ESXi and Proxmox: FileSystem Performance Comparison for Type-1 Hypervisors”, pp 507-512, IcETRAN 2021

[9] Filebench, [online] <https://sourceforge.net/project/filebench/files/>, 2022

[10] H. Kazan, L. Perneel, M. Timmermann, "Benchmarking the performance of Microsoft Hyper-V server, VMware ESXi and Xen hypervisors," Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, vol. 4, no. 12, pp. 922-933, 2013.

BESPOSADNA ZEMALJSKA VOZILA U VOJNIM PRIMENAMA

UNMANNED GROUND VEHICLES IN MILITARY APPLICATIONS

Nina Mitričević, Rade Pavlović
Vojnotehnički institut, Ministarstvo odbrane Republike Srbije

Sadržaj – *Besposadna zemaljska vozila (UGV – engl. Unmanned Ground Vehicle) imaju veliki potencijal u vojnim i civilnim primenama i postala su fokus istraživanja u mnogim zemljama. U radu je data analiza postojećih rešenja i dosadašnja dostignuća po pitanju UGV. Dat je pregled bitnih karakteristika vozila i njihove mogućnosti u vidu savlađivanja prepreka i rešavanja kompleksnih zadataka koje treba da ispune. Posebna pažnja posvećena je senzorskom polju kao jednom od najvažnijih elemenata UGV. Opisani su vitalni senzori koji se koriste za automatizovano kretanje i njihove uporedne karakteristike po pitanju mogućnosti primene. Kao bitna karakteristika UGV je izbegavanje prepreka za čiju realizaciju je neophodna fuzija različitih senzora. Posebno su istaknute prednosti i mane svakog od senzora, kao i njihova cena. Takođe, predstavljene su i simulacione platforme koje imaju bitnu ulogu u razvoju i testiranju novih algoritama pre implementacije na besposadna vozila.*

Abstract - *Unmanned ground vehicles (UGV) have great potential in military and civilian applications and have become the focus of research in many countries. In the paper analysis of existing solutions and achievements so far in the matter of UGV is given. An overview of the important characteristics of vehicles and their capabilities in the form of obstacles avoiding and solving complex tasks they need to complete is presented. Special attention is paid to the sensor field as one of the most important elements of UGV. Vital sensors used for automated moving are described and their comparative characteristics regarding the possibility of application. As an essential characteristic of UGV is the avoidance of obstacles for the realization of which the fusion of different sensors is necessary. There are advantages and disadvantages of each of the sensors, as well as their price. Also, there are presented simulation platforms that play an important role in the development and testing of new algorithms before implementation on unmanned vehicles.*

1. UVOD

Eksplozivni razvoj svih grana tehnologije kojima svedočimo poslednjih decenija je dovelo do značajnog napretka i u razvoju savremenih vozila, a najviše u razvoju besposadnih zemaljskih vozila – UGV [1]. UGV imaju mogućnost da se njima upravlja sa velike udaljenosti ili da budu potpuno autonomna, da sama vrše osmatranje terena i odlučuju kojom će se putanjom kretati. Razvoj UGV-a zahteva mnogo istraživanja iz oblasti programiranja, elektronike, robotike i mašinstva i njihovu fuziju u jedinstveni zaključak koji će dovesti do unapređenja.

Značaj ovih vozila se ogleda i u civilnim i u vojnim primenama. Neke od glavnih primena su im izviđanje, transport ljudi i robe (hrana, lekovi, oružje i municija), odbrana i zamena ljudi na bojnopolju ili u oblastima za koje se sumnja da su opasna, kako bi se sačuvali životi vojnika. Za vojne primene je najznačajnija njihova mogućnost daljinskog upravljanja sa velikih udaljenosti što štiti ljudstvo i omogućava im bezbedno osmatranje i prikupljanje podataka.

Kako su ovo besposadni sistemi, razvoj je najviše usmeren ka unapređenju autonomije koju sistemi imaju i njihovu navigaciju, kako između operatera i robota tako i uvođenjem mreže robota koji bi međusobno komunicirali i navodili jedni druge. UGV sistemi se trenutno najviše oslanjaju na jednu od nekoliko mogućnosti komunikacije i upravljanja koji nisu potpuno autonomni, kao što su direktna zavisnost od operatera koji njima upravlja daljinski sa određene udaljenosti, dovoljna anatomija da slede unapred definisanu rutu i autonomija pri osmatranju unapred definisanog puta i prepreka koje se na njemu nalaze kako bi ih izbegli. Korišćenje UGV sistema sve više zahteva razvoj i primenu potpune autonomije koja se ogleda u funkcionalnostima kao što su praćenje (follow me) i mašinsko učenje (machine learning) koje bi dodatno rasteretile operatera. Ove funkcionalnosti zahtevaju fuziju mnogobrojnih senzora koji bi bili integrisani na sistemu i njihovo usklađivanje, o čemu će biti reči kasnije u radu.

2. REŠENJA UGV U VOJNIM PRIMENAMA

THEMIS UGV koje je dizajnirao Milrem Robotics iz Estonije je razvijen sredinom 2010-ih i kontinuirano unapređivan (slika 1). Predstavlja akronim koji označava hibridni sistem pešadije na gusenicama. Lako je gusenično autonomno vozilo bez posade dizajnirano da podrži operacije pešadije. Potpuno je operativan u estonskoj vojsci i nedavno je dostavljen Ukrajini, u malom broju nabavile su ga i druge vojske, uglavnom za eksperimentalne programe. Opremljen je i za logističke misije.

Pokreće ga hibridni sistem sastavljen od dizel generatora i baterije, od kojih ovaj drugi obezbeđuje napajanje elektromotorima koji aktiviraju gusenice. Može da se kreće brzinom do 20 km/h, da savlađuje 60% nagiba i pređe 0,6 metara duboke vodene prepreke. Njegova težina praznog vozila je 1.650 kg, nominalna nosivost je 750 kg, ali maksimalna nosivost može da dostigne 1.200 kg. THEMIS ima vučnu silu od 15 kN, tako da može povući prikolicu sa značajnom nosivošću.



Slika 1. TheMIS UGV proizvođača Milrem Robotics iz Estonije.

Vojska Srbije trenutno u svom naoružanju ima nekoliko UGV sistema kojima se upravlja daljinski sa bezbedne udaljenosti (slika 2). To su sistemi besposadne zemaljske platforme daljinski kontrolisane Miloš, naoružane i logističke varijante. Sistemi se razlikuju u gabaritnim dimenzijama i osnovnim namenama, ali je izvedba upravljanja i komunikacije ista kod svih.

Ovi UGV nemaju autonomiju kretanja. Kretanjem i odabirom putanje upravlja operater putem upravljačkog pulta. Na sistem su integrisane kamere sa kojih se slika prikazuje na upravljačkom pultu i pomoću njih operater ima uvid u stanje okoline u kojoj se sistem nalazi u realnom vremenu. Na osnovu toga, operater izdaje komande kretanja.

Ovakva izvedba UGV sistema zahteva konstantnu pažnju i koncentraciju operatera. Takođe, kretanje sistema je ograničeno daljinama do kojih doseže signal radio-stanica preko kojih se odvija komunikacija. Pored gore navedenih, postojećih, izvedbi Miloša, aktivno se radi i na budućim varijantama ove platforme. Glavni zadaci daljeg razvoja su veća autonomija kretanja, mogućnost formiranja mreže više robota i mogućnosti navigacije kako bi preuzeo ulogu osmatrača prve borbene linije.



Slika 2. Besposadno vozilo Miloš.

3. SENZORI ZA UGV

Rad UGV-a zahteva konstantno prikupljanje informacija o sredini u kojoj se nalazi. Kako bi se izvršilo efikasno prikupljanje informacija vozila se oslanjaju na veoma precizne senzore visoke pouzdanosti, te su zbog toga senzori ključni za efikasan rad UGV-a [2].

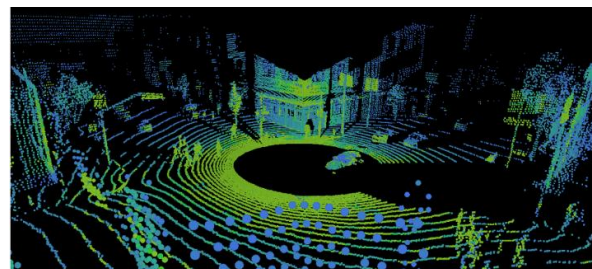
Senzori se mogu podeliti na dva tipa: aktivni senzori i pasivni senzori. Aktivni senzori su najčešće Lidar, radar i ultrazvučni, dok pasivni senzori uključuju monokularne kamere, stereo kamere, omni-direkzione kamere, kamere za događaje i infracrvene (termovizijske) kamere. U narednom delu biće objašnjeni pojedinačno svaki od senzora i njihova uloga u UGV.

Lidar

Lidar može da dobije informacije o položaju objekta, orijentaciji i brzini pomoću slanja i prijema laserskog snopa i izračunavanja vremenske razlike (slika 3) [3]. Prikupljeni podaci su serija informacija o 3D tačkama koje predstavljaju koordinate objekata u odnosu na centar Lidarovog koordinatnog sistema. Lidar može da realizuje omni-direkcionu detekciju i može se podeliti na jednolinijski Lidar i višelinijski Lidar prema broju laserskih zraka. Jednolinijski Lidar može da dobije samo dvodimenzionalne informacije cilja, dok višelinijski Lidar može da dobije trodimenzionalne informacije (slika 4).



Slika 3. Slika 3d Lidar-a.



Slika 4. Informacije dobijene od višelinijskog Lidar-a.

Lidar se uglavnom koristi u detekciji objekata, predviđanju putanje i praćenju. Lidar ima veliku daljinu detekcije i široko vidno polje. Takođe, poseduje visoku tačnost prikupljanja podataka i može dati informacije o dubini cilja. Na dobijene informacije ne utiču svetlosni uslovi, tj.

može raditi isto u bilo koje doba dana. Međutim, veličina Lidara je velika i sa visokom cenom ne može prikupiti informacije o boji i teksturi objekata. Ugaona rezolucija je niska, a gustina tačaka na velikim udaljenostima je slabo raspoređena, što je može izazvati pogrešnu detekciju i pogrešno otkrivanje. Na Lidar utiču vremenske neprilike kao što je kiša, sneg, magla, peščane oluje i drugo. Lidar je aktivan senzor i položaj vozila sa senzorom se može detektovati.

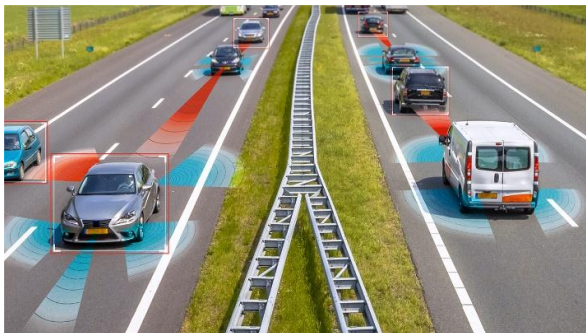
Radar

Radar se široko koristi u vojnim i civilnim oblastima i ima važan strateški značaj (slika 5). Princip rada radarskog senzora je sličan kao kod Lidara, tako što se emituju radio talasi, koji mogu otkriti položaj i udaljenost objekta [4]. Radari se mogu klasifikovati prema različitim opsezima rada. Radari koje koriste UGV uglavnom su sa milimetarskim talasima, koji se koriste za otkrivanje objekata i praćenje, otkrivanje mrtvog ugla, pomoć pri promeni trake kretanja vozila, upozorenje na sudar i druge funkcije vezane za autonomno kretanje. Radari milimetarskih talasa kojima mogu biti opremljeni UGV mogu se podeliti na 24GHz i 77GHz. Radar 77GHz ima kraći domet od radara 24GHz, ali i relativno visoku preciznost uz veoma nisku cenu. Iz tih razloga skoro svaki novi automobil je opremljen sa jednim ili više 77GHz radara (slika 6).

U poređenju sa Lidarom, radar ima veći domet detekcije, manju veličinu, nižu cenu i na njegov rad ne utiču vremenski uslovi. Međutim, radar ne može dati informacije kao što su boja i tekstura. Dobijeni podaci imaju prilično šuma i potrebni su algoritmi za filtriranje i obradu podataka. Radar je aktivan senzor, te se lako uočava i detektuje i lako ga je ometati. Takođe, može i da ometa drugu opremu ako nije postavljen na adekvatno mesto.



Slika 5. Fizički izgled radara za automobile.

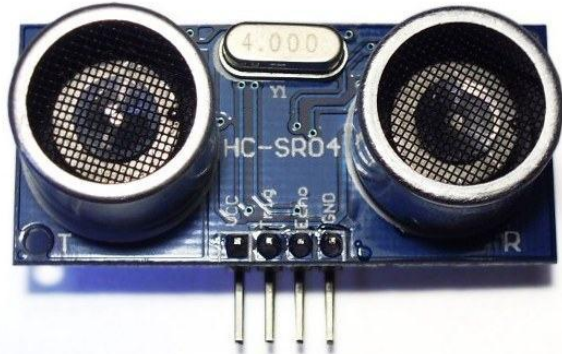


Slika 6. Opremljenost automobila radarima sa poljima koje oni pokrivaju.

Ultrasonični (ultrazvučni) senzor

Ultrazvučni senzor detektuje objekte emitujući zvučne talase i uglavnom se koristi za plovne objekte (slika 7). Što se tiče UGV-a, ultrazvučni senzor se koristi za detekciju bliskih ciljeva [5]. Osnovne funkcije za koje se koriste ovi senzori su u autonomnim vozilima su automatsko parkiranje i upozorenje na sudar.

Ultrazvučni senzori su male veličine, niske cene i na njega ne utiču vremenski uslovi i doba dana. Nedostaci su mala daljina detekcije, niska tačnost, nivo šuma, kao i da ometa drugu opremu.



Slika 7. Ultrazvučni senzor.

Monokularna kamera

Monokularne kamere daju informacije o okruženju u obliku piksela, pretvarajući optičke signale u električne signale (slika 8). Slika koju prikuplja monokularna kamera je u osnovi isto što i okruženje koje opaža ljudsko oko. Monokularna kamera je jedan od najpopularnijih senzora u UGV sistemima i koristi se za veći broj aplikacija za predstavljanje okruženja vozila.



Slika 8. Monokularne kamere za vozila.

Monokularne kamere se uglavnom koriste u semantičkoj segmentaciji, detekciji vozila, detekciji pešaka, detekciji

puta, detekciji saobraćajne signalizacije itd. U poređenju sa Lidarom, radarom i ultrazvučnim senzorima, najznačajnija prednost monokularnih kamera je u tome što mogu da generišu slike visoke rezolucije koje sadrže informacije o boji i teksturi životne sredine. Kamere kao pasivni senzor imaju dobre karakteristike zaštite od osmatranja. Veličina monokularne kamere je mala i cena je niska. Ipak, monokularna kamera ne može da dobije informacije o dubini, što je bitno kod autonomnih vozila, veoma je osetljiva na smanjenje osvetljenja i različite vremenske uslove. Za dobijanje slike visoke rezolucije, potrebno je više resursa za obradu podataka, što predstavlja izazov za rad u realnom vremenu.

Stereo kamera

Princip rada stereo kamere i monokularne kamere je isti. U poređenju sa monokularnom kamerom, stereo kamera je opremljena dodatnim sočivo na simetričnom položaju tako da se informacije o dubini mogu dobiti snimanjem dve slike u isto vreme (slika 9). Pored toga, sistem stereo vida se takođe može formirati instaliranjem dve ili više monokularnih kamera na različitim pozicijama na UGV-ovima uz određene kalibracije.

U oblasti UGV-a, stereo kamere se uglavnom koriste za detekciju vozila, detekciju puta, detekciju saobraćajnih znakova itd. Stereo kamere mogu prikupiti više informacija u poređenju sa monokularnim kamerama od kojih je moguće dobiti podatke o dubini cilja. Međutim, ove kamere takođe zavise od vremenskih uslova i osvetljenja. Pored toga, vidni uglovi su uski i za proračun dubine potrebno je dodatno izračunavanje, što zahteva dodatne računarske resurse.



Slika 9. Stereo kamera.

Infracrvena kamera

Infracrvene kamere prikupljaju informacije o okruženju primajući infracrveno zračenje od objekata (slika 10). Infracrvene kamere dopunjuju televizijske kamere koje se pretežno koriste u sredinama sa visokim nivoom svetlosti. Primeri korišćenja infracrvenih kamera je kod vozila koja se kreću iz tunela prema suncu ili detekcija toplih tela uglavnom preko noći.

Infracrvene kamere se mogu podeliti na infracrvene kamere koje rade u bliskoj infracrvenoj oblasti (NIR) i infracrvene kamere koje rade u dalekoj infracrvenoj oblasti (LWIR). Prema podeli bliska infracrvena kamera je osetljiva na talasnu dužinu od 0,15 do 1,4 μm , dok je infracrvena kamera u dalekoj infracrvenoj oblasti osetljiva na talasnu dužinu od 6 do 15 μm .

U oblasti UGV-a, infracrvene kamere se uglavnom koriste za detekciju pešaka i detekciju vozila u noćnim uslovima i uslovima smanjene vidljivosti. Najznačajnije prednosti infracrvenih kamera su dobre karakteristike noću, mala veličina, niska cena i otporne su na smanjeno osvetljenje. Međutim, dobijene slike ne sadrže informacije o boji, teksturi i dubini, dok je i rezolucija relativno niska.



Slika 10. Termovizijska kamera za vozila.

4. PLATFORME ZA SIMULACIJU UGV

Kada se razvije novi algoritam, obično je teško direktno verifikovati njegove performanse na UGV za stvarne uslove. Razlog predstavlja nestabilnost i neizvesnost novih algoritama koji mogu izazvati opasnost i nesreću. Stoga, pre testiranja algoritama u realnim uslovima, potrebno je izvesti preliminarne testove u simulacionoj platformi kako bi se otkrili potencijalni problemi. Takođe, prilikom simulacija moguće je i izvršiti poboljšanje algoritama.

Simulirano okruženje može pomoći da se skрати razvojni ciklus, smanjujući troškove razvoja, povećanje bezbednosti testa i konstruisanje raznih scenarija, čak i pod ekstremnim uslovima za testiranje. Testiranje u simulacionoj platformi uglavnom uključuje tri procedure. Prvo treba postaviti simulacionu scenu u kojoj će se vozila, pešaci, zgrade i putevi iz stvarnog sveta modelovati na platformi, uključujući njihov izgled i model dinamike. Drugo, trebalo bi uspostaviti senzorski model koji bi pretvorio scenu u tip podataka koji senzor prima. Konačno, implementira se algoritam za simulirane testove i prati njegov rad u okruženju. U sledećem delu predstavljene su samo neke od najčešće korišćenih simulacionih platformi.

Gazebo

Gazebo je platforma za simulaciju otvorenog koda uglavnom za robote zasnovana na Robot operativnom sistemu (ROS) [6]. Postoje brojni interfejsi između Gazebo i 3D softvera za modeliranje, kao što su Solidworks i ProE, što olakšava uvoz 3D modela za UGV. U fazi izgradnje scene, okruženje za simulaciju može se izgraditi pomoću geometrije, ali nije pogodno za izgradnju složenog okruženja za vožnju.

Korišćenjem senzora kao što su Lidar, televizijska kamera, GPS i IMU mogu se realizovati algoritmi u Gazebo-u.

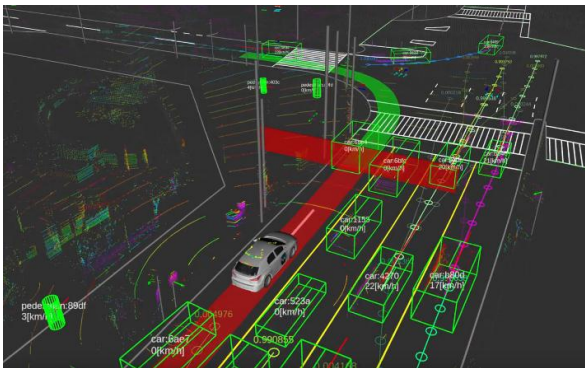
Pored toga, dinamika modela platforme sa dva do šest točkova može se realizovati preko „priključka za diferencijalni pogon“. Korisnici mogu da vizuelizuju rezultate detekcije senzora i proces kretanja platforme u u simulacionom modelu. Treba napomenuti da se Gazebo uglavnom koristi za robotiku i male UGV vozila, tako da nije pogodan za simulaciju i verifikaciju velikih UGV-ova na otvorenom.



Slika 11. Gazebo okruženje za simulaciju.

Autoware

Autoware je platforma za simulaciju isto zasnovana na ROS-u koju je razvio tim sa Univerziteta Nagoja (slika 12)[7]. Platforma omogućuje detekciju objekata (vozilo, pešak, semafor itd.), odluke o planiranju puta i kontrolu kretanja. Ova platforma za simulaciju integriše mnoge glavne algoritme kao što su JOLO, SSD i Euklidsko grupisanje, koji se mogu direktno koristiti. Veoma bitna činjenica je da se podaci koje je senzor prikupio iz stvarnog okruženja mogu obrađivati i vršiti testiranje različitih algoritama.



Slika 12. Autoware platforma za simulaciju.

Udacity

Udacity platforma je razvijena na osnovu Unity3D motora, koji uglavnom sprovodi simulacioni test za "deep learning" algoritme za UGV. Ova platforma za simulaciju je slična trkačkoj igri koja uključuje režim treninga i automatski režim. U režimu obuke, korisnici mogu ručno da kontrolišu vozilo za snimanje podataka i obučavaju dizajnirani model (model se može izgraditi preko C++ i python-a). Zatim, obučeni model može se koristiti za kontrolu vozila koje radi u automatskom režimu za procenu modela.

5. ZAKLJUČAK

UGV imaju veliku primenu kako u civilnim tako i u vojnim oblastima. U prethodnim godinama postepeno postaju fokus istraživanja u raznim zemljama. Rad je najpre predstavio neke od rešenja UGV u vojnim primenama. Zatim, dati su osnovni senzori koji se obično koriste u UGV-ovima. Različiti senzori na različite načine otkrivaju objekte u svom okruženju. Svaki od navedenih senzora ima svoje prednosti i mane, tako da se fuzijom podataka može dobiti najbolja predstava okoline.

Performanse senzora igraju važnu ulogu u efikasnosti i bezbednom radu UGV-a. Senzori visoke tačnosti i pouzdanosti su veoma važni za konstrukciju algoritma za kretanje vozila i percepciju okruženja.

Opisane su platforme za simulaciju koje se mogu primeniti na UGV da bi se olakšalo testiranje algoritma. Postoji veliki broj platformi, gde korisnici u zavisnosti od karakteristika UGV-a i njegove primene biraju adekvatnu platformu.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor broj 451-03-47/2023-01/202325.

LITERATURA

- [1] Li, Z.; Gong, J.; Lu, C.; Xi, J. Importance Weighted Gaussian Process Regression for Transferable Driver Behaviour Learning in the Lane Change Scenario. *IEEE Trans. Veh. Technol.* **2020**, *69*, 12497–12509.
- [2] Rosique, F.; Lorente, P.N.; Fernandez, C.; Padilla, A. A Systematic Review of Perception System and Simulators for Autonomous Vehicles Research. *Sensors* **2019**, *19*, 648.
- [3] Chen, T.; Wang, R.; Dai, B.; Liu, D.; Song, J. Likelihood-Field-Model-Based Dynamic Vehicle Detection and Tracking for Self-Driving. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* **2016**, *11*, 3142–3158.
- [4] Patole, S.M.; Torlak, M.; Wang, D.; Ali, M. Automotive radars: A review of signal processing techniques. *IEEE Signal Process. Mag.* **2017**, *34*, 22–35.
- [5] Pech, H.; Nauth, P.M.; Michalik, R. A new Approach for Pedestrian Detection in Vehicles by Ultrasonic Signal Analysis. In Proceedings of the IEEE EUROCON 2019-18th International Conference on Smart Technologies, Novi Sad, Serbia, 1–4 July 2019; pp. 1–5.
- [6] Koenig, N.; Howard, A. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No. 04CH37566), Sendai, Japan, 8 September–2 October 2004; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2004; Volume 3, pp. 2149–2154.
- [7] Kato, S.; Takeuchi, E.; Ishiguro, Y.; Ninomiya, Y.; Takeda, K.; Hamada, T. An open approach to autonomous vehicles. *IEEE Micro* **2015**, *35*, 60–68.

PRAĆENJE DRONOVA KORIŠĆENJEM OPENCV ALGORITAMA

DRONE TRACKING USING OPENCV ALGORITHMS

Rade Pavlović, Justina Petrović
Vojnotehnički Institut

Sadržaj – U ovom radu prikazana je mogućnost primene OpenCV biblioteke funkcija za praćenje objekata na besposadne letelice (dronove). Besposadne letelice poslednjih godina našle su primenu u raznim sistemima i predstavljaju pouzdano i jeftino rešenje. Međutim, kao i svaki sistem, mogu se koristiti u lošim svrhama te je potrebno pronaći način kako se zaštititi. U radu su korišćeni snimci televizijske kamere sistema za rad u realnom vremenu na kome su implementirani algoritmi za praćenje. Prema praktičnim rezultatima prikazanim u ovom radu, detekciju i praćenje moguće je izvršiti pomoću optoelektronskog sistema i većeg broja algoritama sa različitim pouzdanošću. Pokazano je da neki od algoritama uspešno uspešno prate dronove koji su na slici od samo nekoliko piksela.

Abstract - This paper shows the possibility of applying the OpenCV library of functions for tracking objects to unmanned aerial vehicles (drones). In recent years, unmanned aerial vehicles have found application in various systems and represent a reliable and inexpensive solution. However, like any system, they can be used for bad purposes and it is necessary to find a way to protect them. In the paper, recordings of the television camera of the system for real-time work, on which the tracking algorithms were implemented, were used. According to the practical results presented in this paper, detection and monitoring can be performed using an optoelectronic system and a number of algorithms with different reliability. Some of the algorithms have been shown to successfully track drones that are in an image of only a few pixels.

1. UVOD

Zahvaljujući brzom razvoju novih tehnologija, kao što je radio komunikacija, razni interfejsi, senzori, minijaturizacija uređaja, sistemi globalnog pozicioniranja (GPS) i tehnike kompjuterskog vida, bespilotne letelice (UAV) su našle primenu u domenu vojnog i civilnog društva [1]. UAV sistemi koriste se u mnoge civilne primene, kao što su nadzor iz vazduha, dostava paketa, precizna poljoprivreda, inteligentni transport, operacije pretrage i spasavanja, operacije nakon katastrofe, požari, daljinska detekcija praćenje saobraćaja i drugo. U poslednje vreme primena UAV značajno se povećala zahvaljujući isplativosti, brzom mobilnosti i lakoći primene.

Bespilotne letelice se klasifikuju na osnovu njihovih karakteristika [2], kao što su veličina, nosivost, domet, vek trajanja baterije, nadmorska visina i princip letenja. U poređenju sa UAV-ovi na velikim visinama, UAV-ovi na malim visinama imaju manji kapacitet baterije i manje

računarske resurse zbog njihovih ograničenja veličine. Nekoliko bespilotnih letelica na velikim visinama ima mogućnost dopune energije, uključujući bežične stanice za punjenje i male solarne panele montirane na letelicu. Uopšteno govoreći, bespilotne letelice se kategoriju na osnovu njihove fizičke strukture, kao što su fiksna i rotirajuća krila.

Bespilotne letelice sa fiksnim krilima se široko koriste u vojnim primenama, kao što su vazdušni napadi i vazdušno otkrivanje ciljeva. Karakterišu se velikom brzinom kretanja, velikom težinom tereta koji mogu da ponese i dugotrajnim rezervnim baterijama. Bespilotne letelice sa rotacionim krilima naširoko su korišćene u različitim civilnim primenama zbog svojih fizičkih karakteristika.

Međutim, kao i većina tekovina modernih tehnologija, bespilotne letelice se mogu koristiti i za ugrožavanje teritorije i ljudstva ili nanošenje materijalne štete [3]. Kako bi mogli da predvidimo i eliminišemo ovakve pretnje neophodno je blagovremeno otkrivanje letelica i njihovo onesposobljavanje u nameri koju imaju. Ovaj rad ima za cilj da prikaže jedan od načina otkrivanja i praćenja besposadnih letelica pomoću optoelektronskih senzora. Rad je organizovan po sledećem, posle uvoda sledi opis algoritama implementiranih u OpenCV bibliotekama. Kao glavni deo rada je korišćenje algoritama na konkretnoj bazi sa snimcima dronova i poređenje uspešnosti algoritama. Na kraju je dat zaključak sa daljim nastavkom istraživanja.

2. IMPLEMENTIRANI ALGORITMI ZA PRAĆENJE OBJEKATA U OPENCV BIBLIOTEKAMA

Pored detekcije multikoptera od osnovnog interesa je i njegovo praćenje, a zatim i ometanje ako predstavlja opasnost. U literaturi postoji veći broj algoritama za praćenje objekata, ali su u radu izabrani algoritmi implementirani u OpenCV bibliotekama za praćenje objekata kao jedni od najpopularniji. Princip praćenja objekata je gotovo identičan u svim aplikacijama gde nakon detekcije operator označi objekat koji se prati i na osnovu poređenja izabranog skupa piksela sa sledećim frejmovima video strima određuje se njegova pozicija na slici u funkciji vremena.

Prilikom istraživanja korišćen je multisenzorski sistem koji sadrži televizijsku i termovizijsku kameru (slika 1). Prikazani rezultati odnose se samo na televizijsku kameru, kao lošiji slučaj, jer su često dronovi na slici slabiji uočljivi nego na termovizijskoj slici. Termovizijska slika prikazuje znatno vidljivije objekte koji se nalaze u vazduhu i bolja je za detekciju i praćenje.



Slika 1. Multisenzorski sistem za osmatranje.

Primer televizijske slike sa dva komercijalna drona manjih dimenzija proizvođača DJI iz NR Kine dat je na slici 2. U gornjem delu slike obeležen crvenom strelicom nalazi se dron na bližem rastojanju sive boje i on je prilično uočljiv na slici. Strelicom crne boje označen je dron koja je na nešto većem rastojanju i on je jedva uočljiv na slici. Njegov prikaz je od samo nekoliko piksela i predstavlja izuzetno kompleksan objekat za praćenje. Pored toga, dron koji je bele boje prilikom kretanja prolazi pored oblaka iste boje, što dodatno otežava praćenje. Baš ovako izuzetno kompleksna situacija mogla bi da primenu algoritama za praćenje, koji su za neke veće objekte veoma uspešni. Takođe, ocenjivače se i brzina praćenja zbog primene u realnom vremenu.



Slika 2. Prikaz slike televizijske kamere na kojoj se nalaze dva drona.

Kompjuterska vizija je proces kojim možemo da razumemo slike i video zapise kako se čuvaju ili kako možemo da manipuliramo i preuzimamo podatke iz njih [4]. Kompjuterska vizija je osnova ili se uglavnom koristi za veštačku inteligenciju i igra glavnu ulogu u autonomnim automobilima, robotici kao i u aplikacijama za korekciju fotografija. OpenCV je ogromna biblioteka otvorenog koda za kompjutersku viziju, mašinsko učenje i obradu slika i videa. OpenCV ima prednost rada u realnom vremenu, što je veoma važno u današnjim sistemima. Koristeći OpenCV biblioteke, možemo obraditi slike i video zapise da bi identifikovali objekte, lica ili čak rukopis čoveka. U daljem delu rada ukratko je opisano sedam OpenCV algoritama za praćenje objekata.

BOOSTING algoritam za praćenje

Ovaj metod se zasniva na onlajn verziji algoritma AdaBoost. Algoritam povećava težine pogrešno klasifikovanih objekata, što omogućava klasifikatoru da se „fokusira“ na njihovu detekciju. Pošto je klasifikator obučen „online“, korisnik postavlja okvir u kome se nalazi objekat praćenja. Ovaj objekat se u početku tretira kao pozitivan rezultat detekcije, a objekti oko njega se tretiraju kao pozadina. Primajući novi okvir slike, klasifikator ocenjuje okolne piksele detekcije iz prethodnog okvira i nova pozicija objekta će biti oblast u kojoj rezultat ima maksimalnu vrednost.

MIL (Multiple Instance Learning) algoritam za praćenje

Ovaj algoritam ima isti pristup kao BOOSTING, međutim, umesto nagađanja gde je praćeni objekat u sledećem kadru, koristi se pristup u kome se nekoliko potencijalno pozitivnih objekata, nazvanih „korpa“, bira oko pozitivno određenog objekta. Pozitivna „korpa“ sadrži najmanje jedan pozitivan rezultat.

KCF (Kernelized Correlation Filters) algoritam za praćenje

Kombinacija je prethodna dva algoritma: BOOSTING i MIL. Koncept metode je korišćenje skupa slika iz „korpe“ dobijenih MIL metodom gde ima veći broj oblasti koje se preklapaju. Korelaciono filtriranje primenjeno na ove oblasti omogućava da se sa velikom preciznošću prati kretanje objekta i predvidi njegov dalji položaj.

TLD (Tracking Learning Detection) algoritam za praćenje

Ovaj metod nam omogućava da dekomponujemo zadatak praćenja objekta u tri procesa: praćenje, učenje i otkrivanje. Praćenje (zasnovano na MedianFlow algoritmu) prati objekat, dok detektor lokalizuje spoljne znakove i koriguje treker ako je potrebno. Deo za učenje procenjuje greške detekcije i sprečava ih u budućnosti prepoznavanjem propuštenih ili lažnih detekcija.

MedianFlow algoritam za praćenje

Ovaj algoritam je zasnovan na Lucas-Kanade metodi. Algoritam prati kretanje objekta u pravcu napred i nazad u vremenu i procenjuje grešku ovih putanja, što omogućava trekeru da predvidi dalju poziciju objekta u realnom vremenu.

MOSSE (Minimum Output Sum of Squared Error) algoritam za praćenje

Ovaj algoritam se zasniva na proračunu adaptivnih korelacija u Furijeovom prostoru. Filter minimizira zbir grešaka na kvadrat između stvarnog korelacionog izlaza i predviđenog korelacionog izlaza. Algoritam za praćenje je otporan na promene u osvetljenju, veličini i obliku objekta.

CSRT (Discriminative Correlation Filter with Channel and Spatial Reliability) algoritam za praćenje

Ovaj algoritam koristi mape prostorne pouzdanosti za prilagođavanje podrške filtera delu izabranog regiona iz okvira za praćenje, što daje mogućnost povećanja oblasti pretraživanja i praćenja nepravougaonih objekata. Indeksi

pouzdanosti odražavaju kvalitet proučavanih filtera po kanalima i koriste se kao ponderi za lokalizaciju.

3. REZULTATI PRAĆENJA DRONOVA OPENCV ALGORITMIMA

Prilikom praćenja dronova, kao i bilo kojih drugih objekata najpre je potrebno odrediti okvir praćenja kao što je urađeno na slici 3 i 4 za oba drona. Dronovi nisu praćeni zajedno već nezavisno, odnosno prvi pa drugi dron. Okviri praćena su definisani od strane operatera i pokazalo se da uspešnost praćenja zavisi i od veličine okvira, kao da veličina okvira nije ista za sve algoritme. Rezolucija slike je 640x480 piksela sa 30 frejmova u sekundi. Prilikom analize mereno je i koliko frejmova u sekundi se obradi na računaru i dati su rezultati za svaki algoritam. Ovi podaci se mogu jedino koristiti za poređenje algoritama i razlikovaće se za svaki sistem i rezoluciju kamere koja se koristi.



Slika 3. postavljanje okvira za praćenje na sivi dron.



Slika 4. Postavljanje okvira za praćenje na beli dron.

BOOSTING algoritam prati oba drona kroz celu sekvencu i nema gubljenja objekata. Prilično je pouzdan i brz algoritam sa brzinom praćenja 125 frejmova u sekundi. Pokazalo se da brzina praćenja zavisi i od veličine okvira koji se postavlja na objekat praćenja.

Pored toga okvir za praćenje može se postaviti i van objekta, odnosno na mesto gde se očekuje njegov nailazak i algoritam će nakon ulaska drona u okvir početi sa praćenjem kao što je prikazano na slikama 5 i 6.



Slika 5. Postavljanje okvira za praćenje na mesto gde se očekuje nailazak drona.



Slika 6. Praćenje drona nakon prolaska kroz okvir.

MIL algoritam prati oba drona uspešno kroz kompletnu sekvencu, ali okvir nije uvek u centru drona koji se prati. Ovakvo nestabilno pomeranje okvira može da prouzrokuje nestabilno kretanje motorizovanih sistema koji vrše praćenje. Brzina algoritma je 25 frejmova u sekundi, što dovodi u pitanje primenu algoritma u realnom vremenu.

KCF algoritam prati oba drona u početku sekvence, ali ih posle izgubi i nema ponovnog praćenja kao što je prikazano na slici 7. Nakon gubitka praćenja operater mora ponovo da izavere objekat od interesa. Algoritam je prilično računarski efikasan što se tiče brzine i u ovom slučaju moguće je pratiti sa preko 600 frejmova u sekundi.

TLD algoritam prati oba drona u većem delu sekvence uspešno. Posедуje adaptibilan prozor praćenja, što je pogodno zbog promene oblika i veličine dronova u toku sekvence. Dolazi do privremenog gubitka belog drona ali nakon nekoliko frejmova treker pronalazi dron i uspešno dalje prati (slika 8). Brzina praćena je od 20 do 25 frejmova po sekundi.



Slika 7. KCF algoritam gubi praćenje drona.



Slika 8. Frejm kada TLD treker gubi dron.

Medianflow algoritam uspešno prati gornji sivi dron, dok beli dron u većem delu sekvence ne može da prati. Prednost je što prilikom gubitka praćenja može da ponovo nastavi praćenje kad prepozna objekat. Brzina praćenja oko 400 frejmova po sekundi.

MOSSE algoritam prati samo veći sivi dron, dok beli dron ne može ni u jednom delu sekvence da prati. Veoma brz treker sa preko 6000 frejmova po sekundi (slika 9) ali nije upotrebljiv za veoma male objekte.



Slika 9. Praćenje sivog drona MOSSE algoritmom.

CSRT algoritam je veoma precizan sa adaptibilnim prozorom praćenja. Prati oba drona uspešno, čak i mali beli dron kada se nalazi ispred bele pozadine (oblaci). Brzina praćenja oko 50 frejmova u sekundi.



ZAKLJUČAK

U radu je data analiza sedam algoritama za praćenje objekata u OpenCV bibliotekama primenjenih na praćenje dronova, kao jednih od najmanjih objekata. Algoritmi su ispitivani na više scenarija, s tim što je u radu dat prikaz na jednoj od sekvenci koja je najpogodnija za analizu. Analiza praćenja prikazana je na dva drona separativno koja su na različitim udaljenostima. Beli dron koji je na većoj udaljenosti prikazan je sa samo nekoliko piksela i veoma je težak za praćenje. Uspešno praćenje kroz celu sekvencu uspešno je izvedeno sa samo tri algoritma (BOOSTING, MIL i CSRT). MIL algoritam je više računarski zahtevan od ostalih, pa se dovodi u pitanje praćenje sa sekvencama sa većom rezolucijom. Prilikom praćenja veoma je bio važan izbor adekvatnog prozora za praćenje, gde su se neki od algoritama različito ponašali prilikom promene veličine prozora.

U daljem radu akcenat će biti na korišćenju obe kamere za praćenje koristeći algoritme iz OpenCV biblioteke i poređenje uspešnosti kroz oba kanala i kroz sjedinjeni kanal. Takođe, pažnja će biti posvećena izboru optimalnog prozora za praćenje, kao i automatskom definisanju prozora.

LITERATURA

- [1] Qiu Z, Bai H, Chen T. Special Vehicle Detection from UAV Perspective via YOLO-GNS Based Deep Learning Network. *Drones*. 2023; 7(2):117.
- [2] Mittal, P.; Singh, R.; Sharma, A. Deep Learning-Based Object Detection in Low-Altitude UAV Datasets: A Survey. *Image Vis. Comput.* 2020, 104, 104046.
- [3] Fejsov N., Tubin I. "Mogućnosti ometanja sistema za upravljanje letom radio kontrolisanih multikoptera", YU INFO 2015, Kopaonik 08-11.03.2015. godine.
- [4] <https://opencv.org/tag/people-tracking>

POSTUPAK REALIZACIJE SIMULACIJA SA FPGA HARDVEROM U PETLJI SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA

REALIZATION OF FPGA IN THE LOOP SIMULATION FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Momir Stanković¹, Stojadin Manojlović¹
Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu¹

Sadržaj – U ovom radu detaljno je opisana metodologija realizacije (Hardware In the Loop) HIL simulacija na bazi MATLAB/Simulink softvera za modelovanje objekta upravljanja i (Field Programmable Gate Array) FPGA hardvera za implementaciju algoritma upravljanja. FIL Simulacije sa FPGA hardverom u petlji upravljanja (FIL simulacije) praktično su demonstrirane na modelu guseničnog besposadnog vozila, upravljanog algoritmom sa aktivnim potiskivanjem poremećaja (Active Disturbance Rejection Control, ADRC) koji je implementiran na FPGA hardver. Na ovaj način omogućena je detaljna analiza performansi i robusnosti projektovanog sistema upravljanja kroz različite simulacione scenarije, odnosno, poslednji nivo verifikacije pre testova na realnom besposadnom guseničnom vozilu.

Abstract – In this paper, the detailed procedure of (Hardware In the Loop) HIL simulation based on MATLAB/Simulink software for plant modelling and (Field Programmable Gate Array) FPGA hardware for control algorithm implementation is proposed. FPGA In the Loop (FIL) simulations are demonstrated on unmanned tracked vehicle model with Active Disturbance Rejection (ADRC) controllers, implemented in FPGA hardware. In this way is enabled performance and robustness analysis of the designed control system in different simulation scenarios, i.e. the last level of verification before tests on real unmanned tracked vehicle.

1. UVOD

Postupak projektovanja sistema automatskog upravljanja zahteva realizaciju računarskih simulacija u cilju analize karakteristika projektovanog sistema pre testova na realnom objektu upravljanja. Kako bi se obezbedile što realnije simulacije, poslednjih godina su razvijeni softverski alati koji omogućavaju simulacije sa hardverom u petlji upravljanja (Hardware In the Loop, HIL), gde se objekat upravljanja softverski modeluje na računaru, a upravljanje se vrši signalima sa realnog hardvera, na kojem je implementiran odgovarajući algoritam upravljanja.

Kao hardveri za implementaciju algoritama upravljanja najčešće se koriste mikroprocesorske platforme na bazi mikrokontrolera ili Digital Signal Processing (DSP) jedinica. Međutim, poslednjih godina sve veću primenu imaju hardverske platforme na bazi (Field Programmable

Gate Array) FPGA čipova. Prednost realizacije algoritama upravljanja na FPGA hardveru u odnosu na druge realizacije je posebno izražena u slučajevima kada se zahteva obrada brzih signala (reda MHz ili GHz) ili istovremeno upravljanje sa više paralelnih procesa, zbog nepostojanja problema raspodele vremenskih resursa koji se javlja kod mikroporocesorski orijentisanih rešenja [1].

Kako bi se FPGA hardver približio i ponudio kao alternativno rešenje projektantima upravljačkih sistema, u ovom radu je predstavljena metodologija implementacije upravljačkih algoritama i realizacija HIL simulacija na bazi FPGA hardvera i MATLAB/Simulink softvera za modelovanje objekta upravljanja. U skladu sa tim, u nastavku je korišćen termin „FPGA In the Loop (FIL) simulacija”.

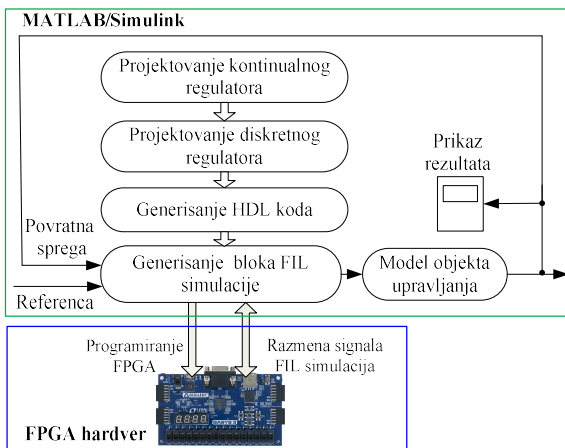
Rad je strukturiran tako da je nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju predložena opšta metodologija postupka realizacije FIL simulacija, dok su u trećem poglavlju predstavljeni rezultati konkretne FIL simulacije na modelu autonomnog kretanja besposadnog guseničnog vozila na bazi algoritma upravljanja sa aktivnim potiskivanjem poremećaja (Active Disturbance Rejection Control) ADRC. Zaključna razmatranja su data u poslednjem poglavlju.

2. OPŠTI POSTUPAK REALIZACIJE FIL SIMULACIJA

Metodologija realizacije FIL simulacija primenom MATLAB/Simulink softverskog paketa i FPGA hardvera grafički je prikazana na slici 1. Kao što možemo videti, u Simulink okruženju je neophodno modelovati objekat upravljanja i na osnovu zadatih performansi sistema projektovati odgovarajući algoritam upravljanja, odnosno regulator. Nakon izbora periode diskretizacije i načina realizacije algoritma, vrši se projektovanje diskretnog regulatora, a nakon toga primenom Simulink alata *Code generation* potrebno je izgenerisati Hardware Description Language (HDL) kod projektovanog regulatora. Treba napomenuti da je prilikom generisanja koda neophodno odabrati željeni format za predstavljanje signala i koeficijenata regulatora, koji može biti sa pokretnim decimalnim zarezom (*floating-point*) ili sa fiksnim decimalnim zarezom (*fixed-point*). Kod odabira *fixed-point* formata posebno se definiše broj bita za predstavljanje celobrojnog i decimalnog dela za svaki signal i koeficijent regulatora, dok se kod *floating-point*

formata najčešće koristi 64-bitni prikaz, gde se pozicija decimalnog zarezka menja u zavisnosti od vrednosti signala, odnosno koficijenta [2]. Poznato je da *floating-point* format omogućava veću preciznost u odnosu na *fixed-point* format, ali zahteva značajno više resursa implementacionog hardvera. Pored toga, neke hardverske platforme ne podržavaju *floating-point* format, pa je neophodno sve signale i koeficijente definisati u *fixed-point* formatu. Projektovanjem u Simulinku ovaj postupak je u mnogome automatizovan primenom *Model Data Editor* alata, gde korisnik može relativno jednostavno prevesti sve signale i koeficijente u odgovarajući format.

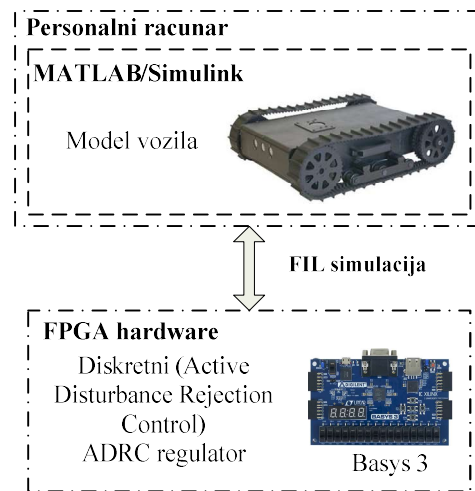
Nakon generisanja HDL koda projektovanog regulatora potrebno je pokrenuti *FIL Wizard* alat Simulink-a koji će na osnovu izabranog HDL koda i definisanog FPGA hardvera izgenerisati FIL blok projektovanog regulatora sa definisanim ulazima i izlazima kao i fajl (.bit fajl) za programiranje FPGA čipa. FIL blok regulatora je potrebno povezati u Simulink-u sa modelom objekta upravljanja. U okviru podešavanja FIL bloka vrši se odabir programabilnog .bit fajla i programiranje FPGA hardvera koji je prethodno fizički povezan sa računarom. Pokretanjem simulacije sa FIL blokom, obrada signala unutar regulatora se realizuje na FPGA hardveru, a ulazni i izlazni signali se preko komunikacije FPGA čipa i Simulink-a šalju ka čipu, odnosno vraćaju u Simulink kao upravljački signali modela objekta upravljanja. Prikaz rezultata simulacije se ostvaruje pomoću Simulink blokova kao i kod čisto računarskih simulacija. Na ovaj način omogućena je uporedna analiza rezultata različitih simulacija sa kontinualnim i/ili diskretnim regulatorima i FIL simulacija, što omogućava detaljnu analizu performansi sistema i modifikaciju strukture algoritma upravljanja i formata za predstavljanje signala i koeficijenata, ako je potrebno.



Slika 1. Metodologija realizacije FIL simulacija

3. PRIMENA FIL SIMULACIJA U ANALIZI SISTEMA UPRAVLJANJA BESPOSADNIM GUSENIČNIM VOZILOM

Primena FIL simulacija i rezultati prikazani su u sklopu projektovanja sistema autonomnog kretanja besposadnog guseničnog vozila po zadatoj putanji na neravnom terenu, koji dovodi do proklizavanja pogonskih gusenica. Dinamički i kinematički model besposadnog laboratorijskog vozila Jaguar-Lite sa nezavisnim električnim pogonom za leue i desnu gusenicu realizovan je Simulink-u. U cilju rešavanja problema kretanja vozila po unapred zadatoj putanji, na bazi ADRC upravljanja [3] projektovani su lateralni i longitudinalni regulatori. Prvi za upravljanje normalnim odstupanjem vozila od zadate putanje, a drugi za održavanje longitudinalne brzine vozila [5]. Projektovani regulatori su diskretizovani primenom *Zero Order Hold - ZOH* metode diskretizacije [4], sa periodom diskretizacije $T_s=1$ ms. Oba regulatora su realizovana u *fixed-point* formatu. Strukturni dijagram sprovedene FIL simulacije prikazan je na slici 2, dok su uporedni rezultati FIL simulacija za različite bitske dužine reči (*word length*) WL i potpuno računarske, odnosno Simulink simulacije, prikazani na slikama 3, 4 i 5. U model kretanja vozila uključeni su slučajni poremećaji u vidu proklizavanja leve i desne gusenice. Osim toga simulirano je i postojanje mernog šuma senzora pozicije vozila.

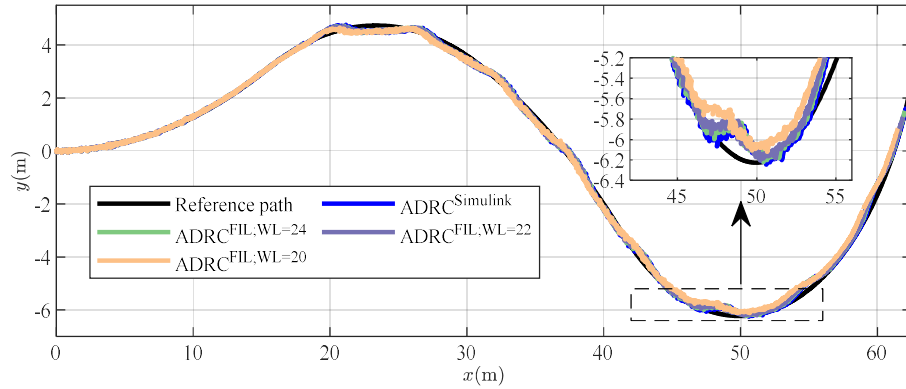


Slika 2. Strukturni blok dijagram FIL simulacije predloženog ADRC algoritma upravljanja guseničnog besposadnog vozila

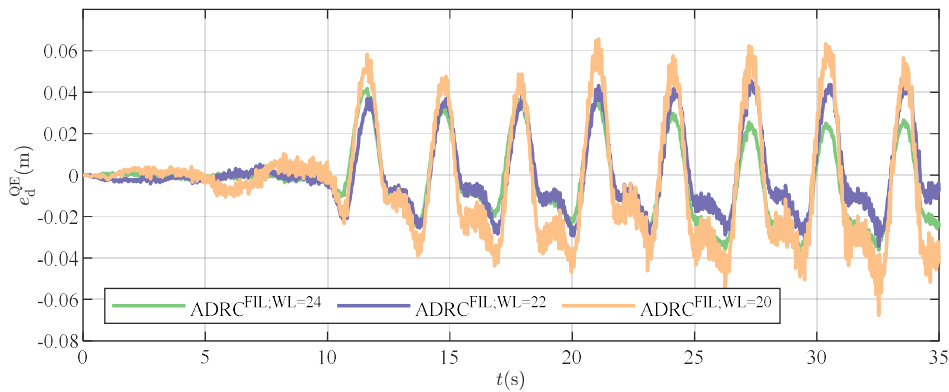
Kao što možemo videti sa slike 3, performanse praćenja referentne putanje su neznatno degradirane kod FIL simulacija, koje postaju lošije sa smanjenjem bitske dužine reči, odnosno sa smanjenjem preciznosti predstavljanja signala regulatora. Ovo se jasnije uočava na slici 4, gde je prikazana razlika u grešci odstupanja od referentne putanje odgovarajuće FIL simulacije i Simulink simulacije. Može se videti da se razlika povećava sa smanjenjem bitske dužine reči. Upravljački signali levog i desnog pogonskog točka prikazani su na

slici 5, na kojoj se vidi da je ograničena preciznost FPGA realizacije regulatora dovela do manjeg odstupanja upravljačkih signala od vrednosti dobijenih potpuno računarskom simulacijom u Simulink-u. Međutim, kao što se vidi iz prethodnog to nije dovelo do značajno lošijih karakteristika sistema, čime je praktično potvrđena

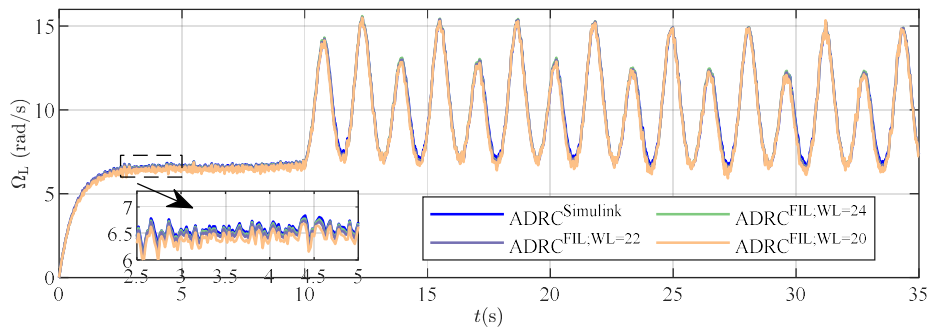
valjanost projektovanja i implementacije predloženog sistema upravljanja, što omogućava prelazak na eksperimentalni nivo testiranja na realnom vozilu.

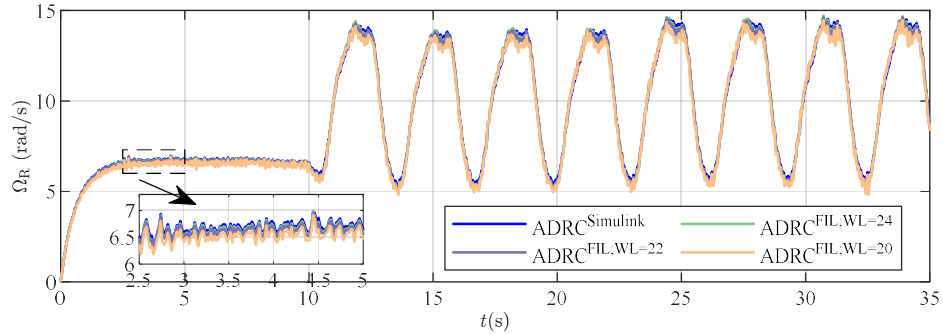


Slika 3. Uporedne performanse praćenja referentne putanje besposadnog guseničnog vozila dobijene računarskom i FIL simulacijama



Slika 4. Razlika rezultata računarske i FIL simulacije za različite bitske dužine reči implementiranog ADRC regulatora





Slika 5. Upravljački signali levog (slika gore) i desnog (slika dole) pogonskog točka dobijeni računarskom i FIL simulacijom

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena metodologija realizacije HIL simulacija na bazi MATLAB/Simulink softvera za modelovanje objekta upravljanja i FPGA hardvera za implementaciju algoritma upravljanja (FPGA In the Loop, FIL). Predložena metodologija je prvo predstavljena u opštem slučaju, a nakon toga za specifični slučaj upravljanja besposadnim guseničnim vozilom na bazi algoritma sa aktivnim potiskivanjem poremećaja (Active Disturbance Rejection Control, ADRC) koji je implementiran na realnom FPGA hardveru. Na osnovu sprovedenih FIL simulacija analizirane su performanse i robusnost projektovanog sistema upravljanja kroz različite simulacione scenarije, odnosno realizovan je poslednji nivo verifikacije sistema pre testova na realnom guseničnom besposadnom vozilu.

ZAHVALNICA

Rad je podržan od strane Ministarstva odbrane Republike Srbije u okviru Projekta VA/TT/1/21-23.

LITERATURA

- [1] Stanković, M. R., Manojlović, S. M., Simić, S. M., Mitrović, S. T., and Naumović, M. B. (2016). FPGA system-level based design of multi-axis ADRC controller. *Mechatronics*, 40, 146-155.
- [2] Stankovic, M., Naumovic, M., Manojlovic, S., & Simic, S. (2018). Optimized pure hardware FPGA-based implementation of active disturbance rejection control. *Electrical Engineering*, 100, 111-121.
- [3] Gao, Z. (2003, June). Scaling and bandwidth-parameterization based controller tuning. In *ACC* (pp. 4989-4996).
- [4] Wang, H., Zuo, Z., Wang, Y., Yang, H., & Chang, S. (2021). Composite nonlinear extended state observer and its application to unmanned ground vehicles. *Control Engineering Practice*, 109, 104731.

- [5] Miklosovic, R., Radke, A., & Gao, Z. (2006, June). Discrete implementation and generalization of the extended state observer. In *2006 American control conference* (pp. 6-pp). IEEE.

IZAZOVI PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U VOJNIM POSLOVIMA

CHALLENGES OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MILITARY AFFAIRS

Milan Miljković¹, Katarina Miljković²

¹Univerzitet odbrane Ministarstva odbrane

²Vojska Srbije

Sadržaj – Veštačka inteligencija (AI – Artificial Intelligence) odnosi se na sisteme koji pokazuju razumno, inteligentno, ponašanje na osnovu analize svog okruženja i donose odluke sa određenim stepenom autonomije. Iako veštačka inteligencija ima potencijal da pruži brojne prednosti u vojnoj primeni, on sa sobom nosi i specifične izazove. Primena veštačke inteligencije na konvencionalne vojne sposobnosti imaju potencijal da ubrza donošenje odluka i potisne sukob izvan ljudskih kognitivnih sposobnosti. Čini se da je neposredni doprinos veštačke inteligencije danas u sukobima na taktičkom nivou vodjenja borbi, ali i za donošenje odluka na strateškom nivou.

Abstract - Artificial Intelligence (AI) refers to systems that exhibit reasonable, intelligent behavior based on the analysis of their environment and make decisions with a certain degree of autonomy. Although artificial intelligence has the potential to provide numerous advantages in military applications, it also brings with it specific challenges. The application of artificial intelligence to conventional military capabilities has the potential to accelerate decision-making and push conflict beyond human cognitive capabilities. It seems that the immediate contribution of artificial intelligence in conflicts today is at the tactical level of fighting, but also for decision-making at the strategic level.

1. UVOD

Prodor informacija u kombinaciji sa brzim tehnološkim razvojem transformiše karakter savremenog ratovanja. Zbog činjenice da u informacionom dobu informacija postaje komponenta nacionalne moći, „najbolji informisani“ će dobiti stratešku nadmoćnost poboljšanjem donošenja odluka i većom efikasnošću. Veštačka inteligencija (VI) će igrati ključnu ulogu u transformaciji OODA petlje (petlje za donošenje odluka) u digitalnom dobu, kao i u središtu komandovanja vojnim operacijama. Primena veštačke inteligencije na konvencionalne sposobnosti imaju potencijal da ubrza donošenje odluka, omogućujući ratovanje mašinskom brzinom i potisne sukob izvan ljudskih kognitivnih sposobnosti. Veštačka inteligencija već oblikuje vojnu doktrinu i nastaviće da definiše buduću strategiju kako tehnologija bude sazrevala.

Iako veštačka inteligencija ima potencijal da pruži brojne prednosti u vojnoj primeni, on sa sobom nosi i specifične

izazove. Ona može da bude ranjiva na jedinstvene oblike manipulacije.

Konvencionalne vojne sposobnosti proširene VI imaju potencijal da destabilizuju stratešku stabilnost i poremete trenutnu globalnu ravnotežu vojnih snaga velikih sila, pogoršavajući „maglu rata“, izazivajući nenamernu eskalaciju sukoba i povećavajući verovatnoću nuklearne konfrontacije. Iako mali broj analitičara veruje da će tehnologija imati minimalan uticaj na buduće ratovanje, većina veruje da će VI imati barem evolucijski, ako ne i revolucionarni uticaj na način angažovanja vojnih snaga u budućim sukobima.

2. POJAM VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Pojam veštačke inteligencije prvi put se pominje 1956. godine na jednom naučnom skupu u SAD u organizaciji američkog informatičara Džona Makartija. Dalji razvoj veštačke inteligencije obeležen je usponima i stagnacijama, da bi početkom XXI veka ponovo došlo do proboja u ovoj oblasti, pre svega zbog povećanih mogućnosti računarskih obrade informacija i olakšanog pristupa sve većim količinama podataka.

Iako veštačka inteligencija nije nov pojam, sa ubrzanjem njenog razvoja u XXI veku, naučnici kontinuirano vrše revidiranje njene definicije. Za okvire ovog rada, može se koristiti široko prihvaćena definicija u stručnim telima Evropske Unije kojom se navodi da se „veštačka inteligencija (AI – Artificial Intelligence) odnosi se na sisteme koji pokazuju razumno, inteligentno, ponašanje na osnovu analize svog okruženja i donose odluke – sa određenim stepenom autonomije – da ostvare konkretne ciljeve[1].

Takodje treba shvatiti da je veštačka inteligencija i sposobnost kompjuterskih sistema da obavljaju zadatke koji zahtevaju ljudsku inteligenciju. Veštačka inteligencija trenutno prevazilazi ljudsku inteligenciju u obavljanju uskog skupa specifičnih zadataka. Međutim, potrebna su dalja istraživanja da bi se postigla veštačka superinteligencija, gde sposobnost mašina prevazilazi ljudsku kognitivnu sposobnost [2].

U veštačkoj inteligenciji, veštačko je to što neživo biće obavlja inteligentne radnje, odnosno oponaša prirodnu inteligenciju koja je osobina ljudi i ostalog živog sveta. U veštačkoj inteligenciji inteligentno je to što se primenjuju logička pravila i principi koje je postavio ljudski um, a

potom i sposobnost učenja mašina. Ono što veštačka inteligencija ne može da postigne je samosvest – postojanje svesti o vlastitom identitetu i onome što jednu osobu razlikuje od drugih.

Globalno priznanje VI kao strateške tehnologije i sredstva za vršenje moći i uticaja na međunarodnom nivou, pokrenuo je globalnu trku za prevlast u upotrebi VI ekonomiji i vojnim poslovima. Svetske velesile su već objavile svoje programe razvoja veštačke inteligencije. U julu 2017. godine Vlada NR Kine objavila je strategiju sa ciljem da postane globalni lider u oblasti veštačke inteligencije do 2030. godine. U septembru 2017. godine Vladimir Putin je najavio nameru Rusije da razvija veštačku inteligenciju, ocenivši da će država koja postane globalni lider u ovoj oblasti. U januaru 2018. godine, američka nacionalna odbrambena strategija identifikovala je veštačku inteligenciju kao jednu od ključnih tehnologija koja će „osigurati da se SAD mogu boriti i pobediti u ratovima budućnosti“. Američka vojska već integriše sisteme veštačke inteligencije u okviru „Projekta Maven“, koja se koristila za identifikaciju pobunjenika u Iraku i Siriji [3].

3. PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U VOJNIM POSLOVIMA

Veštačka inteligencija igra značajnu ulogu u vojnim poslovima. Postoje mnoge oblasti u kojima se veštačka inteligencija koristi u vojsci, a ovde će se navesti samo pojedine koje imaju najveći uticaj na strategiju upotrebe vojnih snaga.

U oblasti otkrivanja i prepoznavanje protivničkih ciljeva, tehnike VI mogu poboljšati preciznost prepoznavanja mete. Sistemi za identifikaciju ciljeva vođeni veštačkom inteligencijom mogu predvideti neprijateljsku aktivnost i agregirati podatke o borbenoj sredini. Ciljevi se prate korišćenjem mašinskog učenja i prikupljenih podataka. Veštačka inteligencija je uključena u brojne druge obavještajne i izviđačke primene, a očekuje se da će se veštačka inteligencija najviše iskoristiti u obavještajnom radu, zbog velikih skupova podataka koji su dostupni za analizu.

Prva faza projekta "Maven" američke vojske uključuje automatizaciju obrade obavještajnih podataka za podršku kampanjama protiv terorističkih snaga. Konkretno, tim koji radi na Projektu Maven implementira kompjutersku viziju i algoritme mašinskog učenja u obavještajne redove koji analiziraju snimke snimljene dronovima i automatski identifikuju aktivnosti neprijatelja radi obavještavanja i ciljanja. U ovoj aplikaciji, AI bi trebalo da poboljša rad ljudskih analitičara koji trenutno provode sate pregledavajući video zapise kako bi pronašli korisne informacije, potencijalno oslobađajući analitičare da donose efikasnije i pravovremene odluke na osnovu prikupljenih podataka.

U razvoju i primeni veštačke inteligencije aktivna je i obavještajna zajednica. Samo Centralna obavještajna

agencija ima oko 140 projekata u razvoju koji imaju uticaj na veštačku inteligenciju u obavljanju zadataka kao što su prepoznavanje slika i prediktivna analitika. Neki primeri uključuju razvoj algoritama za prepoznavanje jezika i prevođenje govora u bučnim okruženjima, geolociranje slika bez povezanih metapodataka, spajanje dvodimenzionalnih slika za kreiranje trodimenzionalnih modela i razvoj alata za identifikaciju funkcije izgradnje na osnovu analize životnih obrazaca.

Za unapređenje svesti o borbenom okruženju i analizu situacije takođe su ključne obavještajne i izviđačke aktivnosti. Ove aktivnosti mogu da se izvode pomoću sistema bez posade koji se šalju duž unapred određene putanje. Ako ove tehnologije uključuju veštačku inteligenciju, vojno osoblje će moći bolje da proceni pretnje i održava svest o situaciji. Bepilotne letelice i veštačka inteligencija mogu da se kombinuju radi nadgledanja graničnih područja, za identifikovanje rizika i prenošenje informacija o pretnjama relevantnim snagama za brzo reagovanje. Veštačka inteligencija je od velike pomoći u brzom obradi velikih količina podataka i izvlačenju korisnih informacija. Ona pomaže u sastavljanju ključnih podataka iz nekoliko skupova podataka i prikupljanju i dodavanju superskupova podataka iz mnogih izvora. Vojno osoblje može koristiti ovu tehniku da pronađe trendove u ponašanju protivničkih snaga i izvuče određene zaključke.

Za unapređenje strateškog odlučivanja veštačka inteligencija ima veliki doprinos zbog unapređenja tačnosti i brzine analiza mogućih scenarija budućih sukoba, zbog uklanjanja pristrasnosti u odlučivanju, kao i zbog donošenja razumnih odluka u hitnim okolnostima.

Da bi poboljšale komandu i kontrolu vojnih snaga, SAD nastoje da iskoriste analitički potencijal veštačke inteligencije u oblasti komandovanja i kontrole. Američko vazduhoplovstvo razvija sistem komande i kontrole sa više domena koji ima za cilj da centralizuje planiranje i izvođenje vazdušnih, svemirskih, sajber, pomorskih i kopnenih operacija. AI bi se u bliskoj budućnosti mogao koristiti za spajanje senzorskih podataka iz svih ovih domena kako bi se stvorio jedan izvor informacija, takođe poznat kao „zajednička operativna slika“, za donosiocima odluka. Trenutno su donosiocima odluka dostupne informacije u različitim formatima sa više platformi, često sa greškama ili netačnim podacima. Zajednička operativna slika sa omogućenom veštačkom inteligencijom bi teoretski kombinovala te podatke u jedan prikaz, pružajući sveobuhvatnu sliku prijateljskih i neprijateljskih snaga i automatski uklanjajući smetnje iz ulaznih podataka.

Za izvođenje informativnih operacija i plasiranje „dubokih laži“, veštačka inteligencija omogućava sve realnije falsifikovanje fotografija, audio i video snimaka koje se mogu upotrebiti protiv neke zemlje. Tehnologija dubokog lažiranja mogla bi da se koristi protiv protivničkih država za generisanje lažnih vesti, uticaj na javno mnjenje i podrivanje poverenja javnosti. Iako su

stručnjaci u prošlosti mogli da otkriju većinu dubokih falsifikata, sofisticiranost tehnologije napreduje do te mere da bi uskoro mogla da prevazi alate za forenzičku analizu. U cilju borbe protiv duboko lažnih tehnologija, američka odbrambena agencija DARPA je pokrenula projekat medijske forenzike (MediFor), koji nastoji da „automatski otkrije manipulacije, pruži detaljne informacije o tome kako su ove manipulacije izvedene i proveriti ukupan integritet vizuelnih medija.

Sa druge strane, postoje i pojedini nedostaci u načinima na koji se veštačka inteligencija koristi u vojsci: Tako kad je u pitanju strateško odlučivanje, to je:

- negativan uticaj na stratešku stabilnost u kriznim situacijama kao posledica brzih procena i odluka, i
- činjenica da algoritmi za donošenje odluka mogu biti pristrasni i podložni protivničkom uticaju.

Kada su u pitanju vojne operacije, postoje brojni problemi kao što je:

- rizik lanca snabdevanja izazvan nedostatkom zaliha,
- neizvesnost da li se automatizovana vozila mogu koristiti u komplikovanim situacijama, i
- visoka cena implementacije veštačke inteligencije.

Visoka cena implementacije veštačke inteligencije predstavlja značajnu prepreku s obzirom na složenost inženjeringa uključenog u stvaranje jednog složenog oružanog sistema opremljenog sa veštačkom inteligencijom. Pored toga, troškovi se tu ne završavaju jer popravke i održavanje takvog složenog sistema mogu biti izuzetno visoki i složeni u ratnim uslovima.

4. IZAZOVI VOJNE PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Međutim, primena veštaka inteligencije u kombinaciji sa nuklearnim ili raketnim oružjem visokog dometa i razorne moći osim tehnoloških izazova, uključuju etičke principe. Etičke i političke smernice nalažu da čovek mora da ostane u krugu donošenja odluka i da „povuče okidač“ kada okolnosti to zahtevaju. Međutim, ova percepcija se može promeniti kako tehnologije veštačke inteligencije sazrevaju i postaju pouzdanije. Robert Vork, zamenik američkog sekretara za odbranu, izjavio je 2016. godine da Ministarstvo odbrane SAD „neće delegirati smrtonosna ovlašćenja mašini da donese odluku“ u upotrebi sile. Međutim, Vork je dalje objasnio da ako protivnici sa nuklearnim oružjem, kao što su Kina ili Rusija, budu „spremniji da delegiraju ovlašćenja mašinama nego mi i, kako se to takmičenje odvija, moraćemo da donosimo odluke o tome kako najbolje možemo da takmiče“ [4]. Vorkova izjava sugerise da će Sjedinjene Države ozbiljno razmotriti uklanjanje čoveka iz petlje, ukoliko njihovi protivnici donesu takvu odluku. Takva spremnost da se takmiči u autonomnom domenu je alarmantna, jer potvrđuje predviđanje da će AI povećati trenje, neizvesnost i nestabilnost međunarodne bezbednosti na stratejskom nivou.

6. PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U VOJNOJ STRATEGIJI I STRATEGIJSKOM ODLUČIVANJU

Primena veštačke inteligencije na konvencionalne vojne sposobnosti imaju potencijal da ubrza donošenje odluka, omogući ratovanje mašinskom brzinom i potisne sukob izvan ljudskih kognitivnih sposobnosti. Veštačka inteligencija već oblikuje vojnu doktrinu i nastaviće da definiše buduću strategiju kako tehnologija bude sazrevala. [5].

Rane studije pokazuju da će VI biti korisna i na taktičkom i strateškom nivou. Za donošenje odluka na strateškom nivou, međutim, verovatno će biti više nejasnoća u vezi sa podacima o kojima treba donositi odluke i funkcije nagrađivanja koje svaka mašina želi da zadovolji. Čini se da će neposredna uloga veštačke inteligencije biti u taktičkom domenu; ali to će ipak imati važne strateške implikacije [6].

Osim strateškog efekta akumuliranih taktičkih pobeda, VI će takođe oblikovati strategiju nudeći uvid elitnim donosiocima odluka na osnovu obrada ogromnih skupova podataka. Veštačka inteligencija na strateškom nivou koja bude u ulozi „proroka“ za donosioca odluka, moći će da se testira, odbacujući lažne asocijacije i pretpostavke o protivniku i identifikovanje ključnih ranjivosti neprijatelja. Strateška VI neće biti podložna pojedinačnim i kolektivnim psihološkim procesima od uticaja na ljudsko odlučivanje, uključujući grupno razmišljanje, pristrasnost, birokratsku politiku, preterano optimizam i lošu procenu rizika.

Tačno donošenje odluka i predviđanje scenarija sukoba mogu se dodatno potvrditi kroz ratne igre koje koriste veštačku inteligenciju i naprednu simulaciju. Sve ove mere bi teoretski poduprle stratešku stabilnost.

Međutim, najteži problemi u vezi sa ratovanjem su ustvari i najveći problemi strategije, a to je neizvesnost ili ono što je dobro poznato još od Klauzevica kao „magla rata“. U takvoj nejasnoj stratejskoj situaciji, kako navodi Jon Lindsay, vanredni profesor na Školi za sajber bezbednost i Školi međunarodnih poslova Sem Nun, „potreban je ljudski smisao i da donosite moralne, etičke i intelektualne odluke u neverovatno zbunjujućoj, napetoj, zastrašujućoj situaciji“.

Lindsay navodi da se donošenje odluka pomoću VI zasniva se na četiri ključne komponente: podacima o situaciji, tumačenju tih podataka (ili predviđanju), određivanju najboljeg načina da se postupi u skladu sa ciljevima i vrednostima (ili rasuđivanju) i akciji. Napredak mašinskog učenja je učinio predviđanja lakšim, što podatke i prosuđivanje čini još vrednijim. Iako veštačka inteligencija može da automatizuje sve, od trgovine do tranzita, ljudi moraju da intervenišu u rasuđivanju, napisali su Lindsay i Avi Goldfarb u članku „Predviđanje i sud: zašto veštačka inteligencija povećava važnost ljudi u ratu“ [7].

Mnogi kreatori politike pretpostavljaju da bi se vojnici mogli zameniti automatizovanim sistemima, u idealnom slučaju čineći vojsku manje zavisnom od ljudskog rada i efikasnijom na bojnopolju. Ovo se zove teorija zamene VI, ali Lindzi i Goldfarb navode da VI ne treba posmatrati kao zamenu, već kao dopunu postojećoj ljudskoj strategiji. Mašine su dobre u predviđanju, ali zavise od podataka i prosuđivanja, a najteži problemi u ratu su informacije i strategija. Uslovi zbog kojih VI funkcioniše u trgovini su uslovi koje je najteže ispuniti u vojnom okruženju zbog njegove nepredvidljivosti. U ratu, međutim, obično nedostaje obilje nepristrasnih podataka, a sudovi o ciljevima i vrednostima su inherentno kontroverzni, ali to ne znači da je nemoguće popraviti.

Ako se ljudi kao centralni element za odlučivanje zamene sa veštačkom inteligencijom u ratu, onda bi struktura i hijerarhija vojnog rukovodstva mogla da se promeni i da se svede na osobe zadužene za dizajniranje i čišćenje sistema podataka i donošenje političkih odluka. To takođe znači da će protivnici imati za cilj da ugroze i podatke i rasuđivanje jer bi oni u velikoj meri uticali na putanju rata. Nadmetanje protiv veštačke inteligencije može naterati protivnike da manipulišu ili poremete podatke kako bi zdravo rasuđivanje bilo još teže. Zbog toga će ljudska intervencija će biti još potrebna.

„Ako VI automatizuje predviđanje, to čini prosuđivanje i podatke zaista važnim“, zaključuju Lindzi i Goldfarb. Ocenjuju da su moderne vojske već automatizovale mnoge vojne akcije sa mehanizovanim snagama i preciznim oružjem, zatim su automatizovali prikupljanje podataka obaveštajnim satelitima i senzorima, a sada automatizuju predviđanje pomoću veštačke inteligencije. S tim u vezi postavljaju pitanje kada će vojske automatizovati prosuđivanje, ili da li postoje komponente analize i procene koje se ne mogu automatizovati? Do tada, može da se zaključi da donošenje taktičkih i strateških odluka od strane ljudi i dalje je najvažniji aspekt ratovanja.

Sa druge strane ostaje činjenica da donošenje brzih i ispravnih odluka postaje izazov za današnje strateške vojne rukovodioce. Metoda brze analize odlučivanja polazi od čitavog problema donošenja odluka, u potpunosti koristi kognitivne sposobnosti i empirijsku intuiciju donosilaca odluka i koristi metodu logičkog zaključivanja za vođenje procesa donošenja odluka. U tradicionalnom brzom donošenju odluka, prvi korak je da se očisti osnovna struktura problema donošenja odluka, da se shvate ključni elementi i da se problemi pojednostave. Zatim se formira stablo odlučivanja, uvode funkcije korisnosti, proračuni verovatnoće i druge metode koje se koriste za donošenje sudova i rasuđivanja, tako da analiza mogućih odluka može biti brza i efikasna.

Praksa je dokazala da danas, u nedostatku vojnog iskustva iz borbenih operacija, zajedničko donošenje odluka postaje glavni način komandovanja i rukovođenja vojnim operacijama. Sa razvojem nauke i tehnologije, naučnost rata postepeno je zamenila svoju umetnost, oslanjanje na

timsko naučno odlučivanje i grupno odlučivanje postaje „*mejnstrim*“, što je dokazala i ratna praksa u Zalivski rat, agresija na SRJ i sukobi na Kosovu i Metohiji, Irak, Avganistan, Libija, Sirija itd [8]. Tradicionalno odlučivanje na osnovu ličnog iskustva nije više dostupno vojnim komandantima kao nekada. Umesto toga, grupno donošenje odluka ističe prednost kolektivne mudrosti, kao i naučnog odlučivanja, koje se oslanja na savremene modele odlučivanja i operacionog istraživanja, što je postalo glavni metod rukovođenja savremenim vojnim operacijama na strategijskom nivou.

Zbog toga se čini da precizno donošenje odluka ipak postaje moguće. U tradicionalnom vojnom odlučivanju komandanti su navikli da donose odluke na osnovu sopstvenog iskustva, intuicije i pameti. Pojava tehnologije i alata velikih podataka omogućila je ljudima da pronađe novi način analize odluka. Veliki podaci napuštaju tradicionalno iskustvo i intuiciju, naglašavaju zavisnost od podataka i analiza, što ne samo da više čini rezultate donošenja odluka naučnim, već i ublažava ogroman mentalni stres kojima su donosioci odluka izloženi. Inteligentno donošenje odluka će se u potpunosti oporiti od ljudskog iskustva i intuicije, zaobilazeći greške koje ljudsko donošenje odluka može doneti, a postizanje tačnih i brzo donetih odluka je moguće.

6. IZRAELSKI PRISTUP PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U VOJNIM POSLOVIMA

U Izraelu, gde naučno-tehnički kadar predstavlja ključni stub nacionalne bezbednosti, veštačka inteligencija je priznata kao „strateška tehnologija“, sa potencijalom da preoblikuje vojne poslove, globalnu ekonomiju i raspodelu moći unutar međunarodnog sistema. Izrael zato nastoji da se uspostavi kao jedan od pet najboljih zemalja u svetu u oblasti četvrte industrijske revolucije (4IR) i VI. Izraelski bezbednosni sektor igra centralnu ulogu u ovom poduhvatu u nacionalnom ekosistemu VI. [9]

Izraelski strateški pristup u razvoju mogućnosti i aplikacija VI u bezbednosnom i vojnom kontekstu čini zanimljiv slučaj iz više razloga. Prvo, Izrael je postavio ambiciozan cilj za uspostavljanje sebe kao jedne od prvih pet zemalja u ovoj oblasti u roku od pet godina. Drugo, izraelski bezbednosni sektor je poznat po svojim naprednim tehnološkim sposobnostima, kvalifikovanom ljudskom kapitalu, kao i po efikasnom saradnjom bezbednosnog sektora sa industrijom i akademskom zajednicom. Treće, suočavajući se sa raznim bezbednosnim pretnjama na granicama zemlje i u bližem i daljem okruženju, Izrael je u stalnom stanju operativnih trvenja sa svojim protivnicima. Ovo trvenje stvara potražnju za naprednim tehnološkim rešenjima (odozdo prema gore) i omogućava brze i konkretne povratne informacije sa terena u vezi sa aplikacijama koje se razvijaju i integrišu u operativne aktivnosti negovih vojnih snaga (IDF). Takva operativna iskustva pružaju Izraelu znatne prednosti u globalnom takmičenju u učenju u pogledu razvoja i integracija veštačke inteligencije u vojne svrhe.

Izraelovi pristup za postizanje nacionalnih odbrambenih ciljeva oblikovani su uglavnom kroz tri faktora. Prvo, tehno naučno vodstvo je centralni stub izraelskog koncepta nacionalne bezbednosti. Pravovremeno identifikovanje novih i strateški ključnih tehnoloških oblasti su glavni prioritet u Izraelu, posebno s obzirom na njegova ograničenja kao male zemlja sa ograničenim resursima. Drugo, to je trka za prevlast u oblasti VI u između velikih sila. Za Izrael je ključno da se uspostavi kao vodeći igrač sa nezavisnim sposobnosti da garantuje svoju nacionalnu bezbednost, stratešku autonomiju delovanja, ekonomski rast i blagostanje njenih građana. Ovo obrazloženje je dovelo do toga da premijer Benjamin Netanjahu 2018. godine pokrene „Nacionalnu inicijativu za bezbedne inteligentne sisteme”. Treće, to je uverenje da Izrael ima potencijal da postane vodeći igrač u oblasti VI zbog značajnih i brojnih *startup* kompanija, kao i razvijene kulture inovacija, visokotehnološkog ekosistema, brojnog kvalifikovanog ljudskog potencijala i investicije velikih razmera u oblasti VI.

Takođe, izraelski odbrambeni i bezbednosni sektor igra centralnu ulogu u izraelskom razvoju veštačke inteligencije. Razvoj veštačke inteligencije usmerava se preko Uprave za istraživanje i razvoj Ministarstva odbrane (MAFAT) i srodnih razvojnih odeljenja iz Izraelskih odbrambenih snaga (IDF-a) i drugih bezbednosnih agencija. Međutim, koristi se i tehnologije iz privatnog sektora, gde najviše pozicije zauzimaju naučnici, inženjeri i rukovodioci koji u stvari su veterani oružanih snaga, koji su upoznati sa potrebama vojske. Štaviše, jedna od ključnih prednosti izraelskog sektor visoke tehnologije je njegova sposobnost da prevede vojna dostignuća u civilne komercijalne upotrebe. Dakle, bezbednosni sektor ima trostruku ulogu u okviru izraelskog inovacionog ekosistema, jer povećava potražnju za tehnološkim rešenjima, doprinosi razvoju novih tehnologija i obučava visoko kvalifikovane kadrove. Tako da može da se zaključi da nastavak i intenziviranje odnosa između sektora bezbednosti i ostatka naučno-tehnološkog ekosistema u ovoj zemlji predstavlja vitalan značaj za nacionalnu bezbednost Izraela i za uspostavljanje izraelske vodeće pozicije u globalnoj trci za razvoj veštačkr inteligencije.

7. ZAKLJUČAK

Primena veštačke inteligencije u vojne svrhe može se načelno podeliti u tri glavne oblasti: 1) prva je omogućavanje oružju i vojnoj opremi da rade bez ljudskog nadzora, 2) druga podrazumeva obradu i tumačenje velikih količina podataka što pomaže u obaveštajnom radu, definisanju vojne strategije i donošenju strategijskih odluka, 3) dok se treća odnosi na pomoć vojnim sistemima da samostalno izvršavanje komandi i osmatranja u borbenim situacijama.

Veštačka inteligencija je moćan multiplikator vojne sile. Aplikacije VI mogu da obezbede konkurentsku prednost oružanim snagama tako što ubrzavaju donošenje odluka transformišući OODA petlju za donošenje odluka i

unapređujući sposobnost komandovanja, kontrole i nadzora. Dok se ne otkriju „nepredvidljive, krhke, nefleksibilne i neobjašnjive karakteristike veštačke inteligencije“, tehnologija će nastaviti da „prevazilazi strategiju i ljudsku grešku“. Veštačka inteligencija, kao i svaka revolucionarna tehnologija, verovatno će izazvati konkurenciju između vojno snažnih država, što će dovesti do bezbednosne dileme i narušiti predvidljivost sukoba i povećati izgleda za njihovu eskalaciju.

NAPOMENA (ZAHVALNICA)

Rad je rezultat istraživanja u naučnoistraživačkom projektu koji je finansiralo Ministarstvo odbrane Republike Srbije, pod brojem: VA-DH/1/22-24 „Model upravljanja razvojem sposobnosti sistema odbrane”.

LITERATURA

- [1] Стратегија развоја вештачке интелигенције у Републици Србији за период 2020–2025. година, <https://www.srbija.gov.rs/tekst/437277>
- [2] Tim Sweijs, “Artificial Intelligence and Its Future Impact on Security”, Report, Hague Centre for Strategic Studies, 2018., <https://hcss.nl/report/testimony-from-tim-sweijs-on-artificial-intelligence-and-its-future-impact-on-security/>
- [3]. Umjetna inteligencija u obrani, <https://obris.org/svijet/umjetna-inteligencija-ai-u-obrani>.
- [4] Lamothe, Dan. 2016. "The Killer Robot Threat: Pentagon Examining How Enemy Nations Could Empower Machines". *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2016/03/30/the-killer-robot-threat-pentagon-examining-how-enemy-nations-could-empower-machines/>.
- [5]. Linda Lastovych, Artificial Intelligence's impact on future strategy, 05/14/2021 <https://www.defenceiq.com/air-land-and-sea-defence-services/articles/artificial-intelligences-impact-on-future-strategy>
- [6] Kenneth Payne, „Artificial Intelligence: A Revolution in Strategic Affairs?“, *Survival*, Global Politics and Strategy, Published online: 18 Sep 2018.
- [7] Avi Goldfarb, Jon R. Lindsay. Prediction and Judgment: Why Artificial Intelligence Increases the Importance of Humans in War. *International Security*, 2022; 46 (3): 7 DOI: 10.1162/isec_a_00425, <https://direct.mit.edu/isec/article/46/3/7/109668/Prediction-and-Judgment-Why-Artificial>
- [8] Xianjin Bu and Qiwan Huang, The Theories and Methods of Military Operations Research in BD&AI Era, Center for Assessment and Demonstration Research, Academy of Military Sciences, Beijing 100091, China, <https://www.atlantispress.com/proceedings/mmssa-18/55912662>.
- [9] Leehe Friedman, Military Artificial Intelligence and Israel's National Security: A Strategic Game Changer?, The S. Rajaratnam School of International Studies (RSIS), 20 May 2022, <https://www.rsis.edu.sg/rsis-publication/idss/military-ai-and-israels-national-security-a-strategic-game-changer/>.



YU-S8-VPPS: Sesija 8
Vojne primene - poster sesija

INFORMACIONI SISTEM ZA ANKETIRANJE KADETA VOJNE AKADEMIJE INFORMATION SYSTEM FOR SURVEYING MILITARY ACADEMY CADETS

Emilija Jovanović¹, Ivan Tot², Miloš Jovanović³
Univerzitet Singidunum¹
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija²
Univerzitet Metropolitan³

Sadržaj – U ovom radu prikazan je predlog rešenja informacionog sistema za anketiranje kadeta Vojne akademije. Predloženo rešenje bi omogućilo upravi Vojne akademije da dobija odgovor od strane kadeta i slušalaca kako bi se unapredilo stanje. Baza podataka implementirana je u SUBP-u Microsoft SQL Server 2018, a klijentska aplikacija izrađena je u alatu Microsoft Visual Studio 2019 (ASP.NET).

Abstract - This paper presents a proposal for an information system for surveying Military Academy cadets. The proposed solution would allow the administration of the Military Academy to receive feedback from cadets and listeners in order to improve the situation. The database was implemented in DBMS Microsoft SQL Server 2018, and the client application was created in Microsoft Visual Studio 2019 (ASP.NET).

1. UVOD

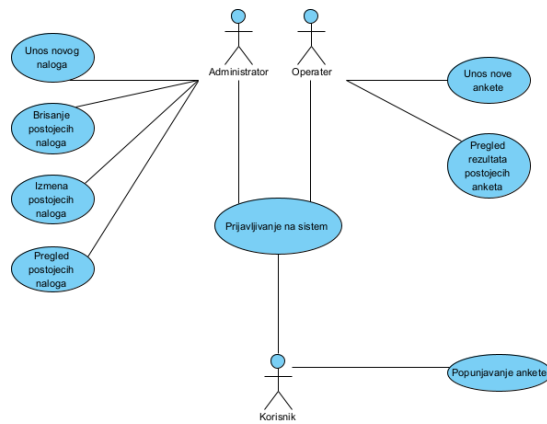
Vojnu akademiju karakteriše svestranost u pogledu školovanja studenata raznih rodova i službi. U svom sastavu Vojna akademija ima veliki broj kapaciteta koji se koriste u svakodnevnom životu i radu kadeta, slušalaca i drugih struktura na Vojnoj akademiji.

Anketiranje studenata je bitan zadatak koji bi trebalo obavljati povremeno. Na taj način uprava Vojne akademije dobila bi odgovor od strane kadeta i slušalaca i svakodnevica na Vojnoj akademiji mogla bi da se unapredi ukoliko bi to bilo potrebno.

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja informacionog sistema za anketiranje studenata Vojne akademije. Pošto trenutno ne postoji adekvatan informacioni sistem za ove potrebe, došlo se do ideje da se izradi informacioni sistem koji bi automatizovao poslove koji su vezani za anketiranje.

2. ANALIZA ZAHTEVA

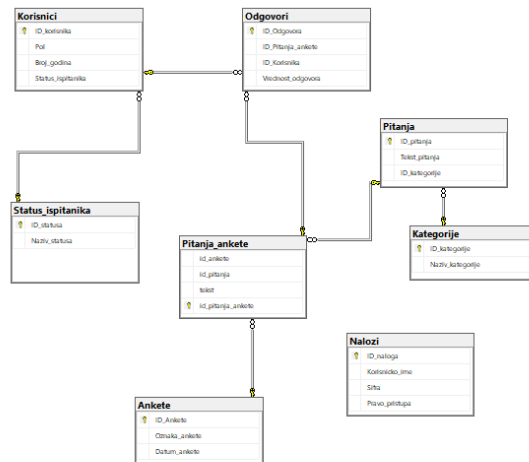
Na slici 1 prikazan je sistemski use case dijagram odnosno model slučajeva upotrebe. Akteri radnje su administrator, operater i korisnik. Administrator je akter koji unosi nove naloge sa pravima pristupa - administrator ili operater i ima mogućnost pregleda postojećih naloga, izmenu i brisanje istih. Operater je akter koji omogućava pravljenje ankete i ima pristup statističkim podacima. Korisnik je akter koji se prijavljuje na sistem i izvršava anketu.



Slika 1. Sistemski dijagram slučajeva upotrebe

Baza podataka implementirana je u SUBP-u Microsoft SQL Server 2018, a klijentska aplikacija izrađena je u alatu Microsoft Visual Studio 2019 (ASP.NET).

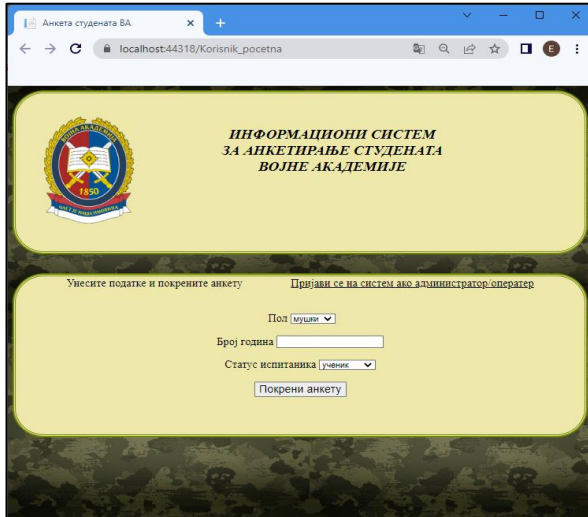
Model podataka baze podataka prikazan je na slici 2.



Slika 2. Model podataka baze podataka

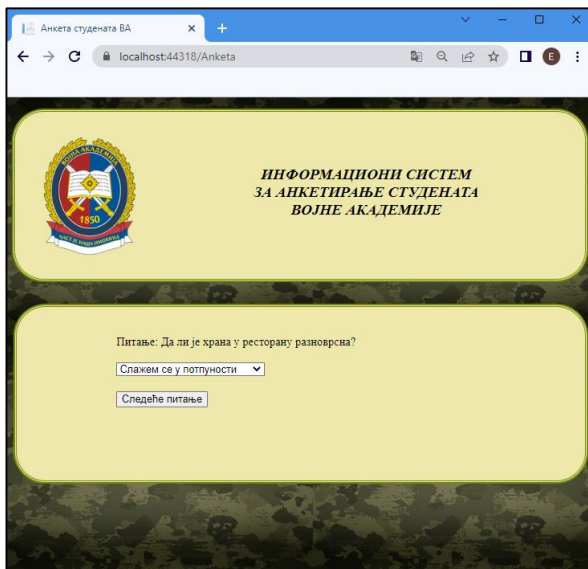
3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Pri pokretanju web aplikacije iz web pretraživača prikazuje se stranica na kojoj korisnik unosi svoje podatke i tako se prijavljuje na sistem za anketiranje (slika 3).



Slika 3. Korisnička web stranica za prijavljivanje na sistem

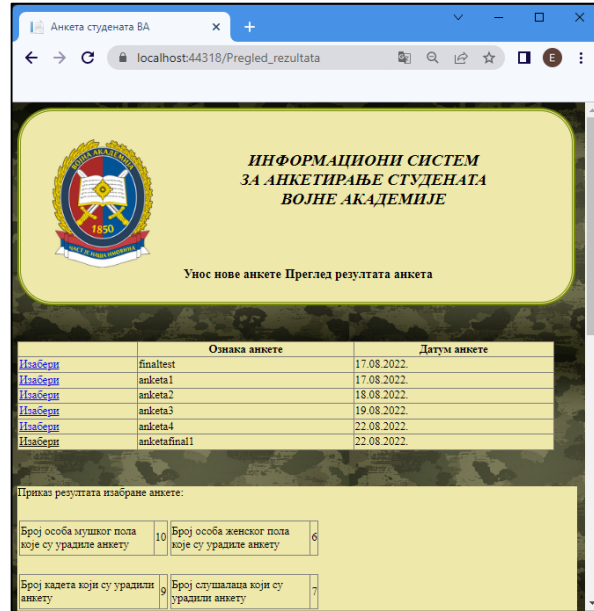
Nakon pokretanja ankete korisniku se prikazuju stranice za anketiranje. Na slici 4 prikazan je primer jedne od njih gde korisnik može da izabere jedan od ponuđenih pet odgovora.



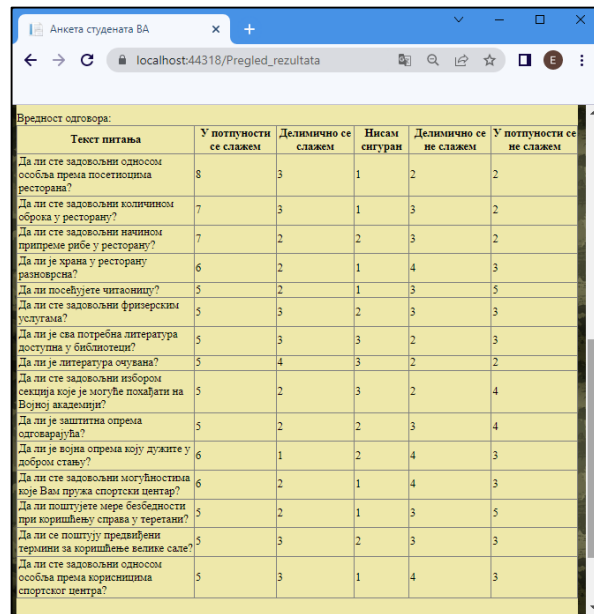
Slika 4. Primer stranica za anketiranje

Po završetku anketiranja, operater ima mogućnost dobijanja raznih statistika kao što su: broj osoba muškog pola koje su uradile anketu, broj osoba ženskog pola koje su uradile anketu, broj kadeta koji su uradili anketu, broj slušalaca koji su uradili anketu (slika 5).

Takođe, postoji statistika koja pokazuje koliko ispitanika je na određeno pitanje odgovorilo sa "U potpunosti se slažem", "Delimično se slažem", "Nisam siguran", "Delimično se ne slažem" ili "U potpunosti se ne slažem" (slika 6).



Slika 5. Statistika broja anketiranih



Slika 6. Statistika odgovora na pitanja

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je predlog rešenja informacionog sistema za anketiranje kadeta i slušalaca Vojne akademije.

Realizovani sistem nije testiran u realnim uslovima što bi bilo neophodno pre eventualnog uvođenja u upotrebu. Očekuje se da će se u budućnosti tehnologije i programsko rešenje koji su opisani u ovom radu biti praktično primenjene na Vojnoj akademiji i po potrebi u celokupnoj Vojsci Srbije.

LITERATURA

- [1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric

standards and methods, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296

[23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469
DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

INFORMACIONI SISTEM ZA EVIDENTIRANJE NAORUŽANJA VOJSKE SRBIJE

INFORMATION SYSTEM FOR LOGGING WEAPONS OF THE SERBIAN MILITARY

Mihajlo Jovanović¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U ovom radu prikazana je aplikacija za evidentiranje izdavanja i vraćanja naoružanja u kasarnama Vojske Srbije. Pored njene glavne funkcionalnosti evidentiranja, aplikacija ima mogućnost beleženja podataka o ljudstvu te kasarne i podataka o naoružanju koje oni trenutno duže. Klijentska aplikacija i baza podataka su implementirani u SUBP-u Microsoft Access 2019.

Abstract - This paper presents an application for logging the issuance and return of weapons in the barracks of the Serbian Military. In addition to the main logging functionality, the application has the ability to store data of personnel and data of weapons that they currently have. The client application and database are implemented in DBMS Microsoft Access 2019.

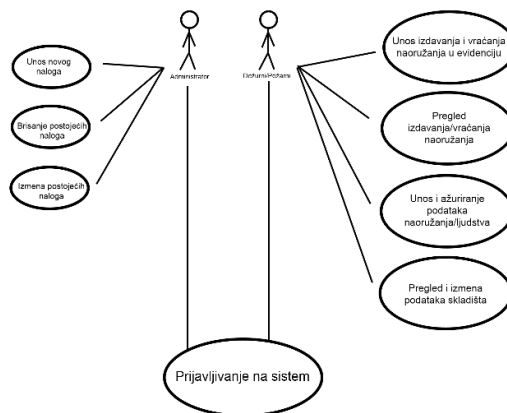
1. UVOD

U Vojski Srbije, evidentiranje izdavanja i vraćanja naoružanja se trenutno vrši zapisivanjem u odgovarajuće evidencije koje su u papirnom obliku. To je veliki broj utrošenih sredstava i potrebno je arhivirati svaku evidenciju kada se ona popuni. Da bi se izvršio uvid u stanje takvih evidencija, potreban je duži proces koji bi zahtevao da se pronade lokacija skladištenja te evidencije a zatim da se preuzme sa te lokacije i pretraži željeni period nad kojim želimo da izvršimo uvid.

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja informacionog sistema za evidentiranje izdavanja i vraćanja naoružanja u kasarnama Vojske Srbije. Pošto je trenutno proces evidentiranja izdavanja i vraćanja naoružanja iz oružana spor, aplikacijom bi se ubrzalo vreme evidentiranja i uvid u stanje tokom prethodnog perioda bi mogao da se dobije u nekoliko sekundi.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Na slici 1 prikazan je model slučajeva upotrebe. Akteri radnje su administrator i dežurni ili požarni. Administrator je akter koji unosi nove naloge sa pravima pristupa, ima mogućnost pregleda postojećih naloga, izmenu i brisanje postojećih naloga. Dežurni i požarni imaju mogućnost unosa novog zapisa u evidenciju, pregled izdavanja i vraćanja naoružanja, unos i ažuriranje podataka o naoružanju i ljudstvu, pregled i izmena podataka o skladištima.

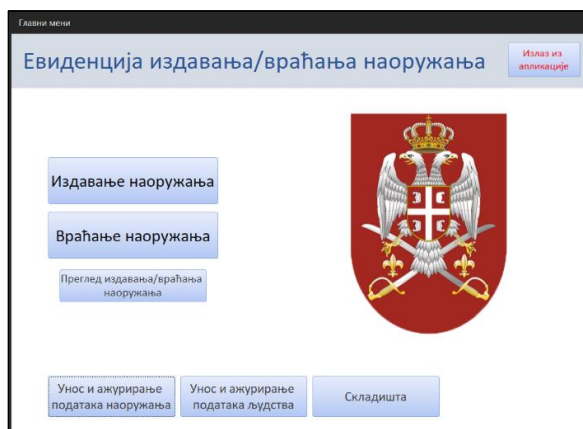


Slika 1. Sistemski dijagram slučajeva upotrebe

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

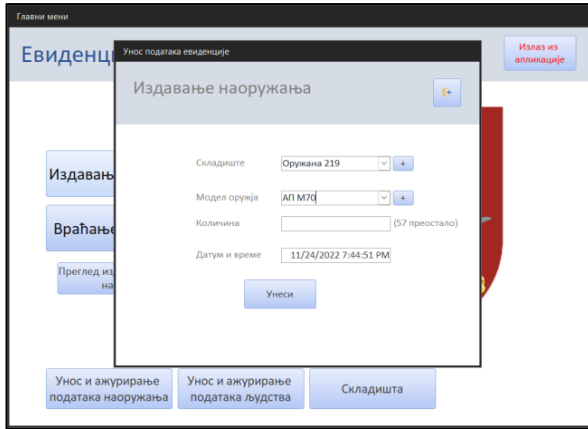
Pri pokretanju aplikacije prikazivaće se prozor na kojem administrator ili dežurni unosi svoje podatke i tako se prijavljuje na informacioni sistem za evidentiranje naoružanja.

Dežurnom i požarnom se otvara stranica “Glavni meni“ u kojoj se nalaze opcije kojima će moći da izvrši evidentiranje izdavanja i vraćanja naoružanja, pregled izdavanja i vraćanja naoružanja, unos i ažuriranje podataka naoružanja, ljudstva i skladišta.



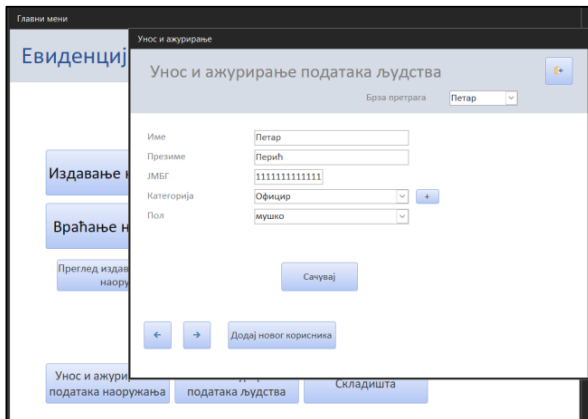
Slika 2. Glavni meni aplikacije

U prozoru za unos podataka evidencije dežurni bira skladište, model naoružanja, količinu i vreme unošenja. Zatim potvrđuje unos klikom na dugme “Unesi”.

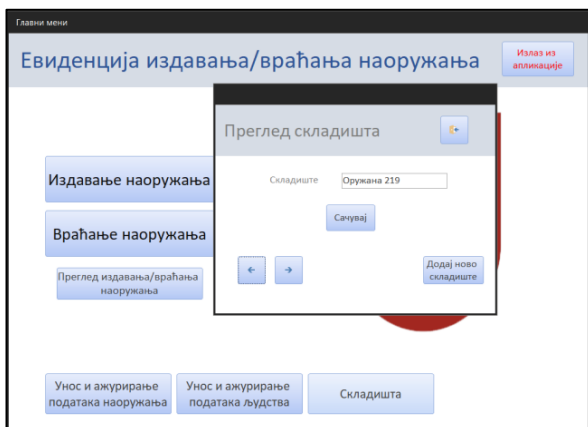


Slika 3. Prozor za unos podataka evidencije

U prozorima za unos i ažuriranje podataka naoružanja, ljudstva i skladišta mogu se menjati svi potrebni podaci koji su od značaja za naoružanje, lica i skladišta.



Slika 4. Prozor za unos i ažuriranje podataka



Slika 5. Prozor za pregled i izmenu podataka skladišta

Издато	Колличина	Модел наоружања	Датум
Издато	45	АП М70	10/12/2022 7:36:03 AM
Издато	5	Ц399	10/12/2022 7:56:43 AM
Враћено	30	АП М70	10/12/2022 10:12:06 AM
Враћено	15	АП М70	10/12/2022 10:40:09 AM
Враћено	5	Ц399	10/12/2022 11:05:24 AM

Страна 1 од 1

Slika 6. Pregled stanja za određeni datum

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je predlog rešenja informacionog sistema za evidentiranje izdavanja i vraćanja naoružanja u kasarnama Vojske Srbije.

Potrebno je testirati realizovani sistem u realnim uslovima pre uvođenja u upotrebu u kasarne Vojske Srbije. Informacioni sistem bi ubrzao rad dežurnih i požarnih tokom evidentiranja izdavanja i vraćanja naoružanja, smanjio bi mogućnost nastajanja gresaka i omogućio brz uvid u stanje tokom prethodnog perioda.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

[5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537

[6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313

- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, *Acta Polytechnica Hungarica* vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, *Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015*, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, *Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3*, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, *Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia*
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, *BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia*
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - *Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2*, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: *Osnove java programiranja*, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: *Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL*, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: *Biometrija otiska prsta od momenta rođenja*, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: *ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results*, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: *Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans*, 10th International Conference on Business Information Security *BISEC'2018*, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: *Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: *An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System*, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: *A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle*, 10th International Conference on Information Society and Technology *ICIST 2020*, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: *Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield*, 10th International Conference on Information Society and Technology *ICIST 2020*, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: *Biometric standards and methods*, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: *Fiware: A Web of Things Development Platform*, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

MERENJE NIVOVA OSVETLJENOSTI PROSTORIJE UPOTREBOM FOTOOTPORNIKA

MEASURING THE LEVEL OF ILLUMINATION OF THE ROOM USING PHOTORESISTS

Milica Marinković

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – Zadatak projekta je merenje nivoa osvetljenosti prostorije upotrebom fotootpornika i prikazivanje informacija na LCD-u. Ukoliko je nivo osvetljenosti niži od predefinisane vrednosti, uključiti LED, a ukoliko je viši, LED treba da bude isključena. Informacija o nivou osvetljenosti i uključenosti LED treba slati na predefinisani server putem TCP/UDP protokola korišćenjem WiFi modula svake sekunde u sledećem formatu: "Osvetljenost prostorije 120 lux, LED OFF".

Abstract - The task of the project is to measure the level of illumination of the room using photoresists and display information on the LCD. If the brightness level is lower than the predefined value, turn on the LED, and if it is higher, the LED should be turned off. Information on the level of brightness and inclusion of the LED should be sent to the predefined server via the TCP/UDP protocol using the WiFi module every second in the following format: "Room brightness 120 lux, LED OFF".

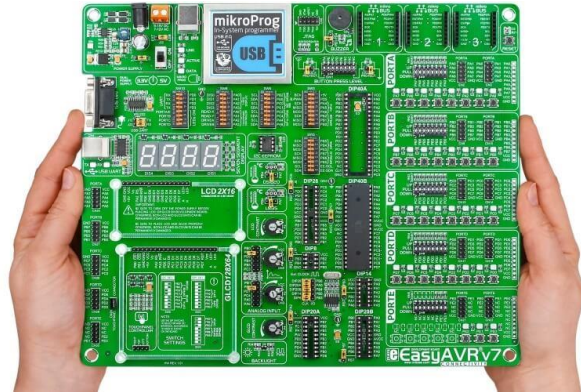
1. UVOD

Wi-Fi je bežična lokalna računarska mreža (WLAN) koja počiva na standardu IEEE 802.11. Ona omogućava da se uređaji, kao što su računari (stoni računar i laptopovi), mobilni uređaji (pametni telefoni i prenosni uređaji) i druga oprema (štampači i video kamere), povezuju na Internet. Ovi uređaji su u mogućnosti da razmenjuju informacije jedni sa drugima, stvarajući mrežu. Dovoljno je da svaki uređaj poseduje bežičnu karticu, koja je u samoj osnovi kao modem, bez telefonske linije, i može biti povezan na Internet preko Wi-Fi-a. Samim povezivanjem na Wi-fi mrežu, povećava se primena svakog uređaja ili sistema, jer je izbegnuto žično povezivanje, koje ima ograničavajući faktor – dužinu.

Potencijal ovog projekta se ogleda u tome što ciljane informacije mogu biti podeljene sa više korisnika, pomoću web servera, na kojem se prikazuju iste. Korišćenjem ovog sistema, može se doprineti uštedi električne energije i automatizaciji.

2. HARDVERSKA REALIZACIJA

Hardverske komponente koje su korišćene u realizaciji seminarskog rada su razvojna ploča easy AVR v7 (Slika 1.) proizvođača Mikroelektronika sa Atmelovim mikrokontrolerom Atmega32.



Slika 1. Razvojna ploča easy AVR v7

Razvojna ploča je sa svojim različitim funkcionalnostima, omogućava korisniku da dodaje komponente preko „microBus“ socket-a, koje su dizajnirane za neke naprednije funkcionalnosti.

WI-FI 3 click (Slika 2.) modul je jedna od mnogih komponenti koje kompanija Mikroelektronika proizvodi za tu namenu.



Slika 2. WI-FI 3 click modul

Wi-Fi 3 click modul je kompletno samostalno Wi-Fi rešenje koje nosi ESP8266 modul sa sistemom na čipu. Modul je dizajniran da radi samo sa napajanjem od 3,3V. Sa ciljanim mikrokontrolerom komunicira preko microBUS RX, TX, CS i RST linija.

Za merenje same osvetljenosti, korišćen je fotootpornik (Slika 3). Fotootpornik (eng. Photoresistor ili light dependent resistor – LDR) je otpornik, čiji se električni otpor smanjuje sa povećanjem intenziteta svetlosti.



Slika 3. Fotootpornik

Za prikaz informacija na samom mikrokontroleru, korišćen je LCD 2x16 (Slika 4.) sa plavim pozadniskim svetlom.



Slika 4. LCD

3. SOFTVERSKA REALIZACIJA

Programiranje mikrokontrolera ostvaruje se korišćenjem softverskog paketa MicroC PRO for AVR koji je razvila Mikroelektronika.

Faze izvršavanja programa su prikazane na slici 5:



Slika 5. Faze izvršavanja programa

Da bi bilo omogućeno korišćenje LCD, potrebno je izvršiti inicijalizaciju istog.

```

sbit LCD_RS at PORTA2_bit;
sbit LCD_EN at PORTD6_bit;
sbit LCD_D4 at PORTC4_bit;
sbit LCD_D5 at PORTC5_bit;
sbit LCD_D6 at PORTC6_bit;
sbit LCD_D7 at PORTC7_bit;
  
```

```

sbit LCD_RS_Direction at DDA2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at DDD6_bit;
sbit LCD_D4_Direction at DDC4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at DDC5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at DDC6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at DDC7_bit;
  
```

Pozivanjem funkcije LCD_Init(); u main funkciji vršimo inicijalizaciju LCD-a.

Wi-fi modul i mikrokontroler komuniciraju preko UART-a, i to brzinom koja se odredi u UART1_Init() komandi. Preko UART-a se šalju određene AT (Attention Command) komande modulu.

Za svaki modul postoji određen set komandi. Uključivanje Wi-Fi modula i povezivanje sa serverom izvršava se sledećim setom komandi:

```

UART1_Init(9600);
//resetuje se modul
UART1_Write_Text("AT+RST\r\n");
// određuje režim rada modula (infrastrukturni ili ad-hoc)
UART1_Write_Text("AT+CWMODE=1\r\n");
//podešava se protokol (TCP ili UDP)
UART1_Write_Text("AT+CIPMUX=1\r\n");
//navođenje SSID i šifre za ciljani ruter
UART1_Write_Text("AT+CWJAP=\"MIPS\",\"\r\n");
// navođenje ciljane IP adrese za ciljani server
UART1_Write_Text("AT+CIPSTART=1,\"UDP\",192.168.1.52\",80\r\n");
  
```

Izvršavanjem navedenih komandi, Wi-Fi modulu je definisan način slanja, protokol, kao i adresa primaoca, tako da je spreman za slanje informacija na server.

Nakon inicijalizacije i povezivanja Wi-Fi modula, u beskonačnoj petlji se vrši očitavanje vrednosti sa fotootpornika.

Očitavanje vrednosti sa fotootpornika vrši se sledećom naredbom:

```

adc_value = ADC_Read(0);
vrednost = adc_value/5.04;
  
```

Kako je očitana vrednostu u opsegu od 0 do 1023, potrebno je izvršiti skaliranje. Pomoću multimetra je meren nivo osvetljenosti u prostoriji u Lux-evima. Kako

veza između napona na fotootporniku i nivo osvetljenosti nije linearna, odrađena je gruba linearizacija, pomoću 2 para izmerenih vrednosti.

Generisanje poruke i uključivanje LED:

```
LCD_OUT(1, 1, vrednost);
LCD_OUT(1,7,"LUX");
if(vrednost < 150){
    LCD_OUT(2,1,"LED ON ");
    PORTB.b0=1;
    sprintf(string, "1. Osvetljenje prostorije %d lux,
LED ON ", vrednost);
}
else{
    LCD_OUT(2,1,"LED OFF");
    PORTB.b0=0;
    sprintf(string, "1. Osvetljenje prostorije %d lux,
LED OFF ", vrednost);
}
```

Komandom PORTB.b0 definisali smo uključenost LED.

Nakon potrebnog skaliranja, potrebno je ispisati željene informacije na LCD-u i uključiti LED, ako je to potrebno. To izvršavamo pomoću komande:

```
LCD_OUT(1,1,string);
```

U navedenoj komandi, prvi parametar predstavlja red na LCD-u (može biti 1 ili 2), drugi parametar predstavlja kolonu od koje počinje ispis (može biti od 1 do 16), a treći parametar predstavlja tekst koji treba da se ispiše. U zavisnosti od nivoa osvetljenosti može biti „120 LUX, LED OFF“ ili „60 LUX, LED ON“. U slučaju kada je nivo osvetljenosti ispod predefinisane nivoa, LED na potru V, tačnije na pinu V0 uključuje se dioda.

Kako je prethodno izvršeno povezivanje sa serverom, ostalo je još da se informacije o osvetljenosti prostorije ispišu na serveru.

To se izvršava sledećim setom komandi:

```
//šalje poruku na server
UART1_Write_Text("AT+CIPSEND=1,43\r\n");
//ispisuje poruku na server
UART1_Write_Text(string);
```

U samoj if petlji se definiše se tekst koji će se ispisati, koji zavisi od predefinisane nivoa osvetljenosti.

4. ZAKLJUČAK

Rad sa Wi-Fi 3 click modulom i EasyAVR v7 pločom u toku ovog projekta je pružio uvid u proces kreiranja softvera za funkcionisanje hardvera na niskom nivou programiranja. U procesu rešavanja zadatka uočen je niz problema.

Problematika uspostavljanja mrežne konekcije se ukazala kao najveći problem pri radu, jer je zahtevala pronalaženje pravilnog redosleda komandi za podešavanje modula, za koji se primeri teško nalaze. Pored ovog problema ukazao se i problem sa udaljenošću modula od

ciljanog mikrokontrolera za povezivanje. U slučaju da modul nije u opsegu rutera, neće moći da izvrši slanje informacija na server. Zbog grube linearizacije, može doći i do greške u određivanju nivoa osvetljenosti.

Što se tiče daljeg razvoja, postoji mogućnost unapređivanja. U nekim sledećim projektima, moguće je ovaj sistem implementirati u pametnim kućama. Šta više, moguće je dodati više predefinisanih nivoa, pa će se, u zavisnosti od njih, uključivati definisan broj sijalica (kako nivo osvetljenosti opada, uključivaće se sijalice postepeno, dok se ne dostigne maksimalno osvetljenje, koje pruža sistem). Ovim projektom se može doprineti i uštedi električne energije.

Rešenje ovog seminarskog rada može biti implementirano i u sistemima uličnog osvetljenja, kako bi se produžio životni vek sijalica, koje se u njima koriste, a samim tim bi se uštedela i električna energija.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

[5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537

[6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313

[7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8

- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BISEC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogićević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogićević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogićević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogićević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogićević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

IoT SISTEM ZA NADZOR TEMPERATURE VAZDUHA IoT TEMPERATURE MONITORING SYSTEM

Đorđe Cvijanović

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – U ovom radu je prikazan IoT sistem za nadzor temperature vazduha realizovan na razvojnoj ploči EasyAVR v7. Korišćene hardverske komponente su digitalni senzor temperature DS1820 i Wi-Fi modul za bežičnu konekciju sa udaljenim serverom. Mikrokontroler Atmega32 na ploči je isprogramiran pomoću softverskog paketa mikroC PRO for AVR da pročita podatke sa senzora temperature i prosleđuje putem Wi-Fi modula na veb server putem UDP protokola.



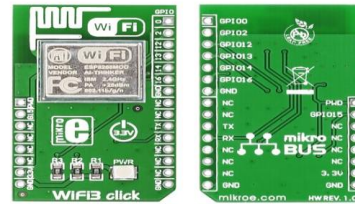
Slika 1. EasyAVR7

Abstract - This paper presents an IoT system for air temperature monitoring implemented on the EasyAVR v7 development board. The hardware components used are a DS1820 digital temperature sensor and a Wi-Fi module for wireless connection with a remote server. The Atmega32 microcontroller on the board is programmed using the mikroC PRO for AVR software package to read the data from the temperature sensor and forward it via the Wi-Fi module to the web server via the UDP protocol.

WiFi3 click modul je idealan za IoT (internet of Things) aplikacije. Sistem na čipu preuzima sve funkcije umrežavanja sa MCU-a. Može se integrisati sa senzorima i pogonima preko svojih GPIO-a i omogućava povezivanje na internet uz minimum dodatnih hardverskih komponentata. Umesto standardnih mikroBUS AN i RST pinova, WiFi3 click ima PWD i G15 pinove. Oni odgovaraju CH_PD i GPIO15 pinovima na modulu. Kada se konektuje WiFi3 click na mikroBUS, setuje PWD na VCC i G15 pin na GND, unutar koda.

1. UVOD

WiFi (Wireless Fidelity) je bežična mreža koja omogućava razmjenu podataka između dva ili više računara, digitalnih komunikacionih uređaja, mrežne opreme i raznih drugih uređaja pomoću radio frekvencija. Sva radio tehnologija se nalazi u WiFi karticama koje se ugrađuju u računar i to je praktično sve što je potrebno za bežično umrežavanje, koje se baš zbog toga smatra jednim od najjednostavnijih trenutno u ponudi, a dodatni razlog je što ne zahtjeva kablove ili ostale mrežne uređaje. Korisniku preostaje da se poveže sa WiFi pristupnom tačkom, takozvanim AP (Access Point), odnosno čvorištem gdje se spajaju ostali korisnici.



Slika 2. WiFi3 click modul

2. ANALIZA ZAHTJEVA

Zahtjev rada je očitavanje temperature sa senzora kao i uspostavljanje komunikacije pomoću WiFi modula između mikrokontrolera i računara. Zadatak je da nakon podešavanja modula, provjere validnosti SSID imena i lozinke bez kojih povezivanje ne bi bilo moguće i nakon uspostavljene konekcije, poruka o temperaturi bude poslata na LCD kao i na veb server korišćenjem UDP-a u formatu: „Temperatura prostorije 22°C, optimalno za rad“.

LCD displej predstavlja izlazni uređaj na kome je moguće prikazati određene podatke kao što je na primjer broj koji se unosi, aktivnost nekog porta ili ispisati bilo koji drugi tekst. Displej ima dva reda sa po 16 karaktera. Svaki karakter je veličine do 5h8 piksela. Displej je povezan na mikrokontroler preko 4-bitne magistrale.

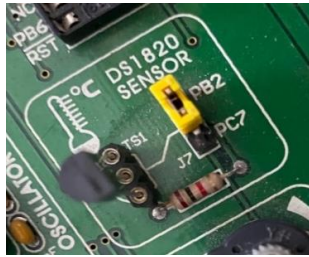
3. IMPLEMENTACIJA RJEŠENJA

Hardverske komponente korišćene u realizaciji zadatka su: EasyAVR7 (Slika 1), WiFi3 click modul (Slika 2), LCD (Slika 3) i senzor temperature (Slika 4).



Slika 3. LCD

Digitalni termometar DS1820 mjeri temperaturu u opsegu od -55°C do 125°C, sa odstupanjem $\pm 5\%$. DS1820 komunicira preko 1-Wire magistrale koja po definiciji zahtjeva samo jednu liniju podataka (i uzemljenje) za komunikaciju sa centralnim mikroprocesorom. Pin koji se koristi za komunikaciju sa senzorom (B2 ili C7) se određuje preko kratkospojnice J7.



Slika 4. Senzor temperature

Za programiranje mikrokontrolera korišćen je programski paket MicroC PRO for AVR. Softverska implementacija kreće sa inicijalizacijom UART-a. WiFi3 click modul i mikrokontroler komuniciraju preko UART-a, brzinom od 9600 bps . Nakon inicijalizacije, preko UART-a se šalju određene AT komande modulu. Za svaki modul postoji tačno definisan set AT (Attention) komandi uz pomoć kojih se upravlja modulom. Ove komande predstavljaju univerzalni set instrukcija. Svaka komanda počinje sa nizom znakova AT. Potom se vrši inicijalizacija LCD-a na kom će se ispisivati temperatura sa senzora temperature.

Zatim se resetuje modul. Nakon toga se šalje AT komanda AT+CWMODE=1 kojom se podešava da je modul u ulozi klijenta, tj. da je STA a ne Access Point. Potom se šalje AT komanda AT+CIPMUX=1 kojom se podešava da modul može podržavati i TCP (Transmission Control Protocol) i UDP (User Datagram Protocol) konekciju. Zatim komandom AT+CWJAP="","" se modul povezuje sa željenim Access Point-om uz navođenje SSID i lozinke bez kojih povezivanje ne bi bilo moguće. Nakon toga komanda AT+CIPSTART=1,"UDP","192.168.1.52",80 određuje da se preko kanala jedan uspostavlja UDP kanal, na AP sa IP adresom 192.168.1.52 preko porta 80.

Poslije uspostavljanja komunikacije sa pristupnom tačkom ulazi se u beskonačnu petlju u kojoj se vrši očitavanje temperature sa senzora, a zatim ispis iste na LCD-u kao i na samom veb serveru komandom AT+CIPSEND=1,48 gdje 48 predstavlja veličinu poruke u bajtovima.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen sistem za nadzor temperature vazduha. Poruka je stigla na odredište bez poteškoća. Implementirani sistem ima mogućnost nadogradnje koja bi omogućila održavanje temperature na ciljanom nivou. Takvi sistemi se danas mnogo koriste:

Laboratorije u kojima se proizvode lijekovi moraju da održavaju temperaturu takvu da lijekovi ne bi izgubili pozitivna svojstva i na taj način ugrozili živote pacijenata. Restorani imaju potrebu da se hrana čuva na određenim temperaturama da ne bi došlo do ubrzanog kvarenja.

U tranzitu, prilikom prevoza kvarljivih namirnica potrebno je da se temperatura u kamionima prati konstantno.

LITERATURA

[1] ATmega32 Datasheet ATMEL. <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>

[2] EasyAVRV7 Manual, MikroElektronika. http://download.mikroe.com/manuals/development-boards/avr/easyavr-v7/easyavr_v7_manual_v101.pdf

[3] WiFi3 click, MikroElektronika <http://www.mikroe.com/click/wifi3/>

[4] ESP8266 WiFi Module Quick Start Guide http://rancidbacon.com/files/kiwicon8/ESP8266_WiFi_Module_Quick_Start_Guide_v_1.0.4.pdf .

[5] ESP8266 AT Command Set <http://www.pridopia.co.uk/pi-doc/ESP8266ATCommandsSet.pdf>

[6] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

[7] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296

[8] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[9] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[10] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1

[11] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313

- [12] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [13] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [14] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [15] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [16] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [18] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [19] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [20] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [21] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [22] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [23] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [24] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [25] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [26] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [27] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [28] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [29] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

REALIZACIJA DIGITALNOG SIGURNOSNOG SISTEMA KORIŠĆENJEM FPGA PLOČE

REALIZATION OF DIGITAL SECURITY SYSTEM USING FPGA BOARD

Luka Veselinović¹
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U radu će biti prikazan način realizacije sigurnosnog sistema primenom algoritma na FPGA ploči korišćenjem aplikacije Vivado. Šema se sastoji od osnovnih logičkih kola i signala kloka. Sistem omogućava da zadavanje šifre određene dužine u binarnom zapisu. Zatim se preko prekidača ploče unosi šifra. Ukoliko dođe do pogotka, na 7-segmentnom displeju će pisati da je sistem otključan, u suprotnom pisace da je sistem zaključan.

Abstract - I will show how to implement a security system using an algorithm on an FPGA board using the Vivado application. The schematic consists of basic logic circuits and clock signals. The system allows us to set a code of a certain length in binary notation, then we enter the code via the panel switch. If there is a hit, the 7-segment display will say that the system is unlocked, otherwise it will say that the system is locked.

1. UVOD

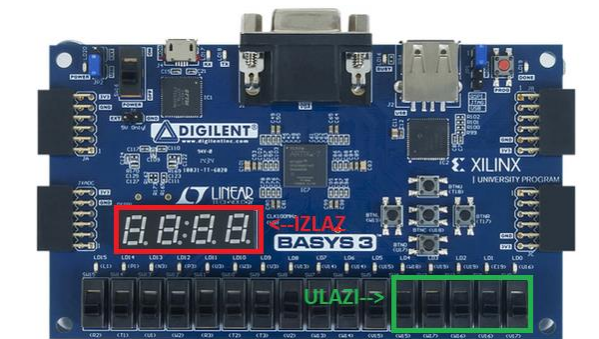
Sigurnosni sistemi su projektovani za otkrivanje neovlašćenog upada u neki objekat ili oblast u kojem se nalaze materijalna sredstva ili informacije od velikog značaja. S obzirom da u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije imamo mnogo takvih kapaciteta, primena digitalnog sistema zaštite može biti od velikog značaja i primene jer bi značajno olakšala postojeće načine čuvanja sredstava i informacija.

Samim tim, stiče se utisak da je došlo vreme kada je neophodna automatizacija sve većeg broja objekata kako bi se olakšao posao ljudima koji obezbeđuju sigurnost bitnih informacija. Automatizacija je proces koji je u sve većem obimu zastupljen u svakodnevnici.

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja digitalnog sigurnosnog sistema primenom FPGA ploče.

2. ANALIZA ZAHTEVA

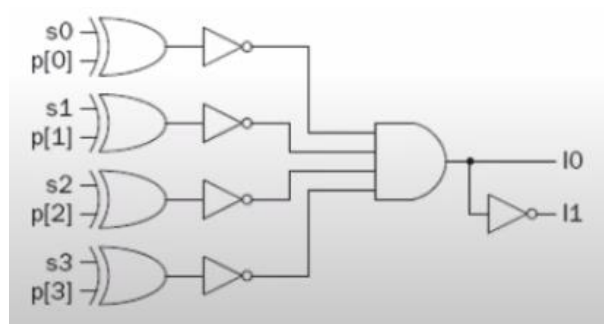
Na slici 1. prikazan je model Basys 3 FPGA ploče koja je korišćena u radu. Sama ploča ima određene načine na koji se mogu unositi i prikazivati podaci, pa tako se na njoj nalaze prekidači i dugmići kao ulazne i LED i sedmosegmentni displej kao izlazne.



Slika 1. FPGA ploča sa naznačenim ulazima i izlazima

Ideja je da korisnik koji je konkretno zadužen za realizaciju ovakvog sigurnosnog sistema osmisli šifru uz pomoć koje će se pristupiti objektu zaštite. Šifra će se, u ovakvom primeru zbog principa FPGA ploče, sastojati od nula i jedinica i biće proizvoljne dužine (do 16 cifara zbog 16 prekidača). U ovom primeru realizovaćemo sistem koji će raditi sa šifrom koja predstavlja niz od pet cifara.

Algoritam za rešavanje ovog sistema predstavljen je na slici 2. Šema se sastoji od XOR kola (ekskluzivna Ili kola), invertora i I kolom. Princip rada se sastoji od toga da se svaka cifra unesene šifre poredi preko XOR kola sa odgovarajućom cifrom (istog indeksa) zadate šifre. Ukoliko dođe do poklapanja svih cifara, sistem će biti otključan. U suprotnom, sistem ostaje zaključan.



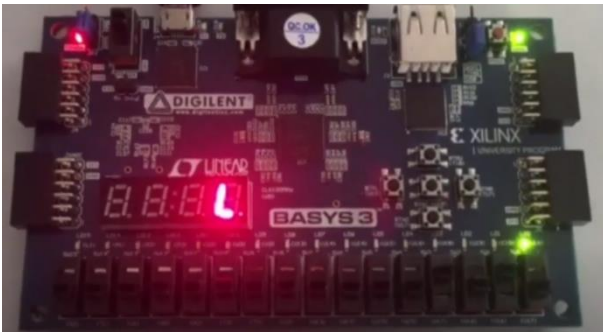
Slika 2. Šema sa osnovnim logičkim kolima za realizaciju sigurnosnog sistema (šema je projektovana za šifre od 4 cifre)

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Rešenje je realizovano programiranjem FPGA ploče uz pomoć Vivado aplikacije i Verilog programskog jezika.

Na samom početku, u kodu, zadajemo određenu šifru proizvoljne dužine koja se sastoji od nula i jedinica. U ovom primeru šifra ima pet cifara i glasi: 01100.

Šifru pogađamo uz pomoć 5 prekidača i dok god je ona pogrešna na sedmosegmentnom displeju FPGA ploče će pisati L (lock-zaključano) kao što je prikazano na slici 3. Sistem ostaje zaključan jer smo pretpostavili da je šifra 01010. Realizacija sigurnosnog sistema ispisanog u Verilog jeziku po ugledu na šemu sa slike 2, prikazana je na slici 4.

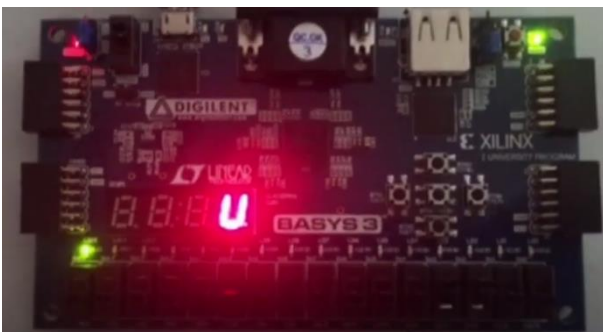


Slika 3. Sedmosegmentni displej FPGA ploče prikazuje da je sigurnosni sistem zaključan zbog unosa pogrešne šifre.

```
module Digital_Safe(  
    input [4:0] in,  
    output [1:0] status  
);  
    parameter code=5'b01100;  
  
    assign status[1] = ~(in[0]*code[0]) & ~(in[1]*code[1]) & ~(in[2]*code[2]) & ~(in[3]*code[3]) &  
    ~(in[4]*code[4]);  
    assign status[0] =~status[1];
```

Slika 4. Realizacija sigurnosnog sistema

Ukoliko unesemo ispravnu kombinaciju nula i jedinica na ulazu, sigurnosni sistem će biti otključan i ono što je čuvano postaje dostupno. Na sedmosegmentnom displeju će biti prikazano U (unlock-otključano) kao što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Sedmosegmentni displej kada je sistem otključan

Ideja je da se u nastavku ovog projekta napravi sigurnosni sistem koji će biti bezbedniji od ovog. Jasno je da je ovde jednostavno uneti ispravnu kombinaciju jer postoji 2^n ulaznih kombinacija (u ovom slučaju sa 5 cifara samo 32 moguće kombinacije). Na primer, kada bismo koristili svih 16 prekidača imali bismo 65536 različitih kombinacija na ulazu. Pored toga, sistem je jednostavan jer je putem FPGA ploče na jednom ulazu moguće upisati samo nule i jedinice, ali ne i ostale dekadne cifre.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena FPGA ploče kojom se realizuje digitalni sigurnosni sistem. Sistem nije testiran u realnim uslovima, ali se na osnovu testova vidi da je primenjiv.

Razlog zašto bi ova implementacija zaživela je niska cena same implementacije jer su komponente lako dostupne i isplative. Pored niske cene, brzina celokupnog sistema je velika uzevši u obzir da je korišćena FPGA ploča. Potreba da se u današnje vreme zaštite poverljive informacije i materijalna sredstva je na visokom nivou, odatle dolazi očigledna primena ovakvih i sličnih sistema.

Očekuje se da se u budućnosti prikazani sistem uvede i u praktičnu primenu u Vojsci Srbije i Ministarstvu odbrane tamo gde bude bio potreban.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

[5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija

- Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

PRIMENA FPGA PLOČE ZA REALIZACIJU SISTEMA RADA AUTOPARKA

APPLICATION OF THE FPGA BOARD FOR THE IMPLEMENTATION OF THE CAR PARK OPERATION SYSTEM

Milomir Jovičević¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U ovom radu će biti prikazana primena FPGA ploče putem koje se realizuje sistem rada autoparka. Od softverskih sredstava biće korišćeni aplikacija Vivado i programski jezik VHDL, dok se hardverska realizacija pored same ploče, sastoji i od ultrasoničnog senzora koji služi za detekciju blizine vozila do same rampe, kao i određenog parking mesta. Zauzimanjem parking mesta, brojač slobodnih mesta se inkrementira, a u suprotnom slučaju dekrementira.

Abstract - This paper will show the application of the FPGA board being used for the car park operation system. The Vivado application and the VHDL programming language will be used as software tools, while the hardware implementation, in addition to the board itself, also consists of an ultrasonic sensor that is used to detect the proximity of the vehicle to the ramp itself, as well as a certain parking slots. By occupying a parking space, the counter of free spaces is incremented, and in the opposite case, it is decremented.

1. UVOD

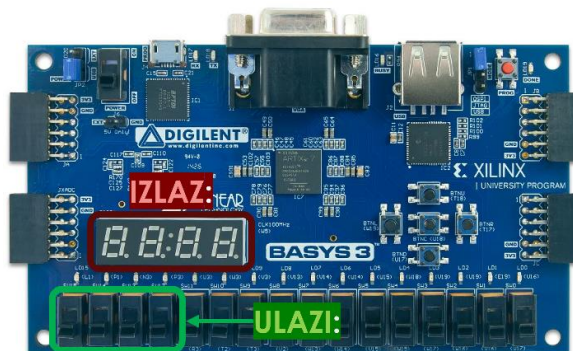
Kapaciteti Vojne akademije su mnogobrojni i raznovrsni i jasna je stvar da je potrebno mnogo ljudi i sredstava kako bi se svi ti kapaciteti održavali. Samim tim, stiče se utisak da je došlo vreme kada je neophodna automatizacija sve većeg broja objekata i kapaciteta i time se obim rada ljudstva smanji.

Automatizacija je proces koji je u sve većem obimu zastupljen u svakodnevnicu. Iako se došlo do velikih pomaka u ovoj oblasti, sama njena primena nije našla previše odziva u našem radu.

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja za rad rampe autoparka primenom FPGA ploče i ultrasoničnog senzora. Pošto trenutno ne postoji sistem koji olakšava kadetima koji dežuraju u autoparku, došlo se do ideje da se izradi sistem koji bi automatizovao rad celokupnog autoparka.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Na slici 1. prikazan je model Basys 3 FPGA ploče koja je korišćena u radu. Sama ploča ima određene načine na koji se mogu unositi i prikazivati podaci, pa tako se na njoj nalaze prekidači i dugmići kao ulazne i LED i sedmosegmentni displej kao izlazne.



Slika 1. FPGA ploča sa naznačenim ulazima i izlazima

Ideja je da kada ultrasonični senzor detektuje da je parking mesto zauzeto, šalje signal FPGA ploči čime pomera njene prekidače u gornju poziciju što je ekvivalentno stanju 1 i to signalizira da je to parking mesto zauzeto, a ujedno se i LED uključuje i svetli sve dok je mesto zauzeto.

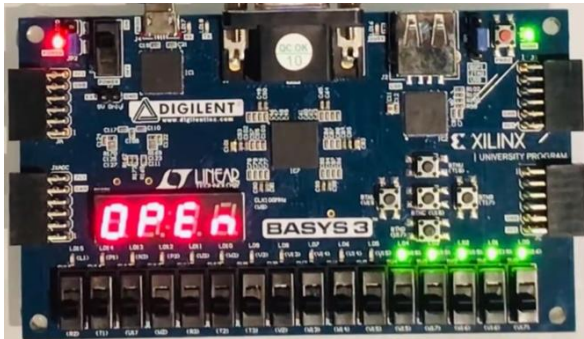
Ultrasonični senzor prikazan je na slici 2.



Slika 2. Ultrasonični senzor HC-SR04

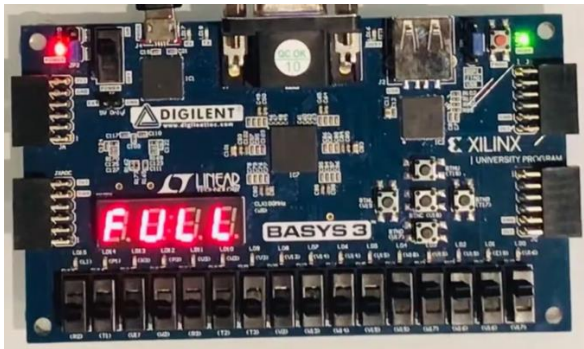
3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Na samom početku, kada su svi prekidači isključeni, na sedmosegmentnom displeju se ispisuje „OPEN“, što ukazuje da ima slobodnih mesta koji se mogu iskoristiti (slika 3).



Slika 3. Sedmosegmentni displej FPGA ploče pri ispisivanju reči „OPEN“

Dok god je isključen jedan od četiri prekidača, ispisivaće se na displeju „OPEN“. Kada su svi prekidači uključeni, što implicira da su sva parking mesta zauzeta, na displeju će se ispisivati reč „FULL“ (slika 4.).

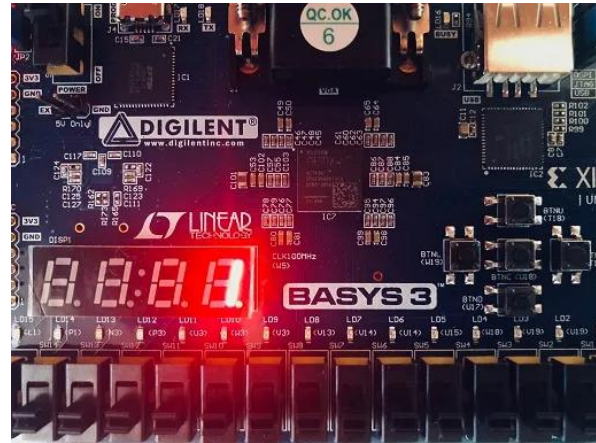


Slika 4. Sedmosegmentni displej FPGA ploče pri ispisivanju reči „FULL“

Ultrasonični senzor u ovoj implementaciji služi da detektuje daljinu do vozila i da spram toga pomera prekidače u poziciju „1“ ili „0“.

U samoj implementaciji nije korišćen ultrasonični senzor ali je u planu da se on takođe upotrebi u ovom projektu. Senzor funkcioniše po principu generisanja ultrazvučnih talasa frekvencija koje ljudsko uho ne može da čuje. Ti ultrazvučni talasi se odbijaju od svih prepreka koje okružuju sam senzor. Kada se ništa ne pomera, tada se talasi na ulazu, na izlaz vraćaju u nepromenjenom obliku. Kada postoji i najmanje kretanje, signali na izlazu su izobličeni i spram izobličenja se zna na kojoj razdaljini od senzora se nalazi objekat. Ovakvi senzori služe za jako tačna merenja pri čemu mogu meriti rastojanja od 20mm do oko 10m.

Pored navedenih stvari, kao ulazne jedinice se pored prekidača koristi i dugmad. Jedno dugme je iskorišćeno za ispisivanje broja slobodnog mesta. Dok god se dugme drži, na sedmosegmentnom displeju se ispisuje broj slobodnih mesta što mogu biti brojevi od 1 do 4 (za test projekat na ploči je uzeto 4 slobodnih mesta i 4 ulazna prekidača).



Slika 5. Na sedmosegmentnom displeju FPGA ploče ispisivanje broja slobodnih mesta

Pored gore navedenih potrebnih sredstava, biće potrebno i obezbediti slanje signala od senzora do FPGA ploče. To bi se moglo obezbediti putem žice, što je sa jedne strane zadovoljavajuće za autopark koji nije velike površine i velikog broja parking mesta. Povećanjem površine koju treba pokriti, žično obezbeđivanje prenosa podataka postaje neisplativo i teško ostvarivo. Druga ideja je obezbediti prenos podataka putem neke bežične mreže poput blututa (Bluetooth).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena FPGA ploče putem koje se realizuje sistem rada autoparka. Ovaj sistem nije testiran u realnim uslovima, ali bi to bilo neophodno uraditi pre same implementacije u samom autoparku.

Razlog zašto bi ova implementacija zaživela je niska cena same implementacije jer su sve navedene komponente lako dostupne i isplative. Pored niske cene, brzina celokupnog sistema je velika uzevši u obzir da je korišćena FPGA ploča.

Očekuje se da se u budućnosti prikazani sistem uvede i u praktičnu primenu na parkinzima, autoparkovima i parkovima tehničkih sredstava na Vojnoj akademiji, a u buduće i celoj Vojsci Srbije.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

- [3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, *Metalurgija* vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, *Acta Polytechnica Hungarica* vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, *Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015*, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, *Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3*, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, *Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia*
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, *BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia*
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - *Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2*, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: *Osnove java programiranja*, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: *Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL*, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: *Biometrija otiska prsta od momenta rođenja*, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: *ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results*, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: *Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans*, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: *Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: *An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System*, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: *A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle*, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: *Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield*, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: *Biometric standards and methods*, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: *Fiware: A Web of Things Development Platform*, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

PREDSTAVLJANJE BROJAČA HEKSADECIMALNIH BROJEVA NA FPGA PLOČI

REPRESENTATION OF HEXADECIMAL COUNTERS ON FPGA BOARD

Aleksandar Milosević

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – Uz pomoć FPGA ploče i aplikacije Vivado (Koristim VHDL jezik u sklopu ove aplikacije) prikazaću brojač heksadecimalnih brojeva na četvorocifrenom sedmo-segmentnom ekranu FPGA ploče. Početno stanje brojača je stanje 0. Brzina brojanja je 1 sekunda. Brojač se svake sekunde uveća za 1 npr. (0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A-B-C-D-E-F...). Program sadrži signal reset koji kada pokrenemo vrati brojač u početno stanje.

Abstract – With the help of the FPGA board and the Vivado application (I use the VHDL language as part of this application), they display the counter of hexadecimal numbers on the four-digit, seven-segment screen of the FPGA board. The initial state of the counter is state 0. The counting speed is 1 second (0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A-B-C-D-E-F...). The program contains a signal reset which, when started, returns the counter to its initial state.

1. UVOD

Brojači imaju veliku primenu u danšnjem svetu. Oni se ne koriste samo za brojanje već i za merenje frekvencije i vremena. Takođe brojač može da beleži koliko puta se dogodio neki događaj.

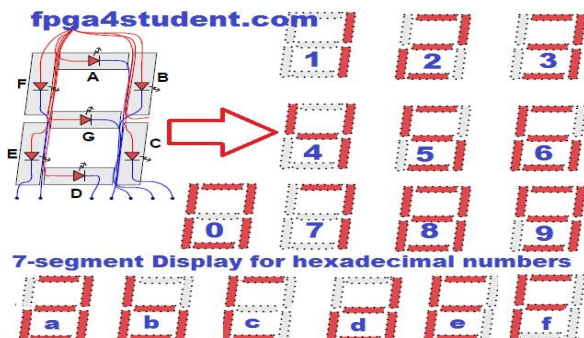
Brojači su ključne komponente hardvera i definisani su kao „digitalno kolo koje se koristi za brojanje broja impulsa“. Brojači su nam dobro poznati i kao „tajmeri“. Brojanje znaci povećanje ili smanjenje vrednosti operatora u odnosu na vrednost njegovog prethodnog stanja. Dakle za izvođenje matematičke operacije ne koristimo druge uređaje osim brojača.

Postoje dve osnovne vrste brojača:

- 1) sinhroni
- 2) asinhroni

Brojače možemo da koristimo i u mnogim drugim uređajima poput mikrotalasne pećnice (kada dostigne određenu temperaturu prestane sa grejanjem) ili kada računamo koliko je ljudi uslo u neku prostoriju.

Cilj ovog rada je da predstavim heksadecimalni brojač na četvorocifrenom ekranu FPGA ploči koji će da broji od 0000 do FFFF.

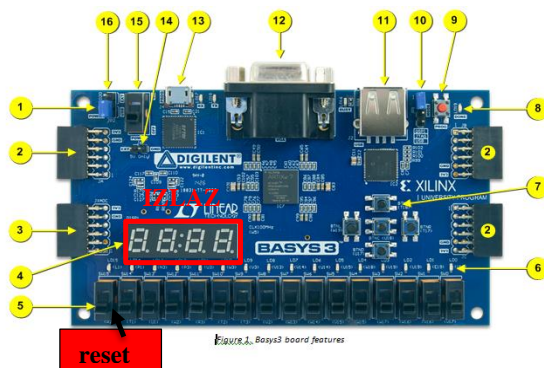


LED dioda je opticka dioda sa PN spojem u čvrstom staju koja emituje svetlosnu energiju u obliku fotona.

Digits	Input Lines				Output Lines							Display Pattern
	A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
A	0			0	0	1	1	0	0	1	1	0
b	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
c	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
d	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
E	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
F	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1

2. ANALIZA ZAHTEVA

Na slici 1. prikazan je model Basys 3 FPGA ploče koja je korišćena u radu. Sama ploča ima određene načine na koji se mogu unositi i prikazivati podaci, pa tako se na njoj nalaze prekidač kao reset signal i sedmosegmentni displej kao izlazne.

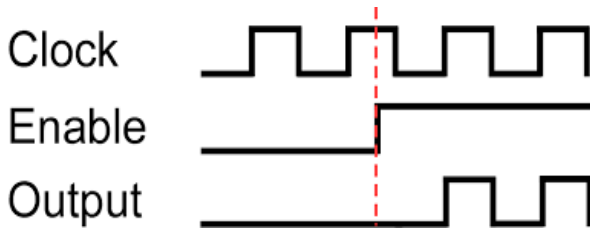


Callout	Component Description	Callout	Component Description
1	Power good LED	9	FPGA configuration reset button
2	Pmod connector(s)	10	Programming mode jumper
3	Analog signal Pmod connector (XADC)	11	USB host connector
4	Four digit 7-segment display	12	VGA connector
5	Slide switches (16)	13	Shared UART/JTAG USB port
6	LEDs (16)	14	External power connector
7	Pushbuttons (5)	15	Power Switch
8	FPGA programming done LED	16	Power Select Jumper

Slika 1. FPGA ploča

Za rad brojača neophodan nam je clock signal(100MHz)tj. logicki signal napon ili struja koji osciluje izmedju visokih i niskih stanja na konstantnoj frekvenciji.

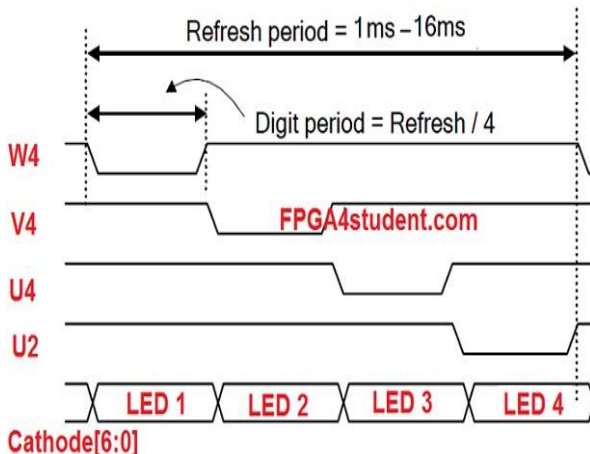
Reset signal služi za asinhrono resetovanje brojača.



Slika 2. Clock signal

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Period osvežavanja potreban za rad četvorocifrenog ekrana je od 1ms do 16ms. Za ovaj rad je korišćen period osvežavanja od 10.5ms. Prvo se aktivira LED1 pa zatim LED2, posle toga LED3 i na kraju LED4.

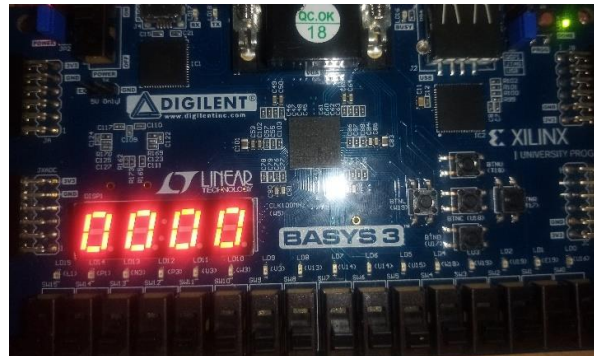


```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;
entity seven_segment_display_VHDL is
Port ( clock_100Mhz : in STD_LOGIC;-- 100Mhz clock on Basys 3 FPGA board
reset : in STD_LOGIC; -- reset
Anode_Activate : out STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);-- 4 Anode signals
LED_out : out STD_LOGIC_VECTOR (6 downto 0));-- Cathode patterns of 7-s
end seven_segment_display_VHDL;

architecture Behavioral of seven_segment_display_VHDL is
signal one_second_counter: STD_LOGIC_VECTOR (27 downto 0);
-- counter for generating 1-second clock enable
signal one_second_enable: std_logic;
-- one second enable for counting numbers
signal displayed_number: STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
-- counting decimal number to be displayed on 4-digit 7-segment display
signal LED_BCD: STD_LOGIC_VECTOR (3 downto 0);
signal refresh_counter: STD_LOGIC_VECTOR (19 downto 0);
-- creating 10.5ms refresh period
signal LED_activating_counter: std_logic_vector(1 downto 0);
-- the other 2-bit for creating 4 LED-activating signals
-- count 0 -> 1 -> 2 -> 3
-- activates LED1 LED2 LED3 LED4
-- and repeat
```

```
process(clock_100Mhz,reset)
begin
if(reset='1') then
refresh_counter <= (others => '0');
elsif(rising_edge(clock_100Mhz)) then
refresh_counter <= refresh_counter + 1;
end if;
end process;
LED_activating_counter <= refresh_counter(19 downto 18);
-- 4-to-1 MUX to generate anode activating signals for 4 LEDs
process(LED_activating_counter)
begin
case LED_activating_counter is
when "00" =>
Anode_Activate <= "0111";
-- activate LED1 and Deactivate LED2, LED3, LED4
LED_BCD <= displayed_number(15 downto 12);
-- The first hex digit of the 16-bit number
when "01" =>
Anode_Activate <= "1011";
-- activate LED2 and Deactivate LED1, LED3, LED4
LED_BCD <= displayed_number(11 downto 8);
-- The second hex digit of the 16-bit number
when "10" =>
Anode_Activate <= "1101";
-- activate LED3 and Deactivate LED2, LED1, LED4
LED_BCD <= displayed_number(7 downto 4);
-- The third hex digit of the 16-bit number
when "11" =>
Anode_Activate <= "1110";
-- activate LED4 and Deactivate LED2, LED3, LED1
LED_BCD <= displayed_number(3 downto 0);
-- The fourth hex digit of the 16-bit number
end case;
end process;
```

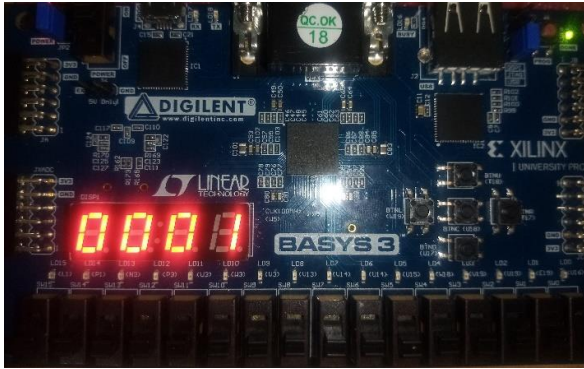
Na samom početku, kada je prekidač reset aktivan brojač se nalazi u sledećem stanju: (slika 3).



Slika 3. Sedmosegmentni displej FPGA ploče pri aktiviranju prekidača reset

```
begin
-- VHDL code for BCD to 7-segment decoder
-- Cathode patterns of the 7-segment LED display
process(LED_BCD)
begin
case LED_BCD is
when "0000" => LED_out <= "0000001"; -- "0"
when "0001" => LED_out <= "1001111"; -- "1"
when "0010" => LED_out <= "0010010"; -- "2"
when "0011" => LED_out <= "0000110"; -- "3"
when "0100" => LED_out <= "1001100"; -- "4"
when "0101" => LED_out <= "0100100"; -- "5"
when "0110" => LED_out <= "0100000"; -- "6"
when "0111" => LED_out <= "0001111"; -- "7"
when "1000" => LED_out <= "0000000"; -- "8"
when "1001" => LED_out <= "0000100"; -- "9"
when "1010" => LED_out <= "0000010"; -- a
when "1011" => LED_out <= "1100000"; -- b
when "1100" => LED_out <= "0110001"; -- c
when "1101" => LED_out <= "1000010"; -- d
when "1110" => LED_out <= "0100000"; -- e
when "1111" => LED_out <= "0111000"; -- f
end case;
end process;
```

Kada prekidač reset postane aktivan brojač će se nalaziti u ovom stanju. Kada prekidač reset postane neaktivan brojač će krenuti sa brojanjem(kao što je prikazano na slikama)



Slika 4. Sedmosegmentni displej FPGA ploče kada signal reset postane neaktivan

```

process(clock_100Mhz, reset)
begin
    if(reset='1') then
        one_second_counter <= (others => '0');
    elsif(rising_edge(clock_100Mhz)) then
        if(one_second_counter>="5F5E0FF") then
            one_second_counter <= (others => '0');
        else
            one_second_counter <= one_second_counter + "00000001";
        end if;
    end if;
end process;
one_second_enable <= '1' when one_second_counter="5F5E0FF" else '0';
process(clock_100Mhz, reset)
begin
    if(reset='1') then
        displayed_number <= (others => '0');
    elsif(rising_edge(clock_100Mhz)) then
        if(one_second_enable='1') then
            displayed_number <= displayed_number + x"0001";
        end if;
    end if;
end process;
end Behavioral;
  
```



Slika 5. Sedmosegmentni displej FPGA kada brojač dođe u krajnje stanje

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena FPGA ploče putem koje se realizuje brojač heksadecimalnih brojeva. Ako uzmemo u obzir da je svaka cifra predstavljena sa četiri bita mozemo da kazemo da dve cifre čine jedan bajt. Koristi se u kontroli složenih digitalnih sistema. Male modifikacije u kodu može se napraviti heksadecimalni tajmer.

LITERATURA

- [1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric

identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia

[12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>

[13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

[16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.

[17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812

[18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>

[19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1

[20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296

[23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

REALIZACIJA GENERATORA PSEUDOSLUČAJNIH OSMOBITNIH BROJEVA KORIŠĆENJEM FPGA PLOČE

REALIZATION OF PSEUDORANDOM EIGHT-BIT NUMBER GENERATOR USING FPGA BOARD

Nikola Vasić¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U ovom radu će biti prikazana realizacija generatora pseudoslučajnih osmobicnih brojeva korišćenjem FPGA ploče. Od softverskih alata koriste se aplikacija Vivado i programski jezik VERILOG, a ceo generator je napravljen koristeći samo fpga ploču, na kojoj su isprogramirani flip flopovi i xor kolo, a sam algoritam omogućava generisanje svakog broja od 1 do 255, prema Gausovoj raspodeli. FPGA je programiran tako da, nakon unošenja komande, generiše slučajni broj na prvu uzlaznu ivicu signala klocka.

Abstract - This paper will present the realization of the generator of pre-random eight-bit numbers using an FPGA board. Regarding software tools, I used Vivado application and VERILOG programming language. The main generator is made using only an fpga board, on which flip flops and a core circuit are programmed, and the algorithm itself enables the generation of any number from 1 to 255, according to the Gaussian distribution. The FPGA is programmed to generate a random number on the first rising edge of the clock signal after entering a command.

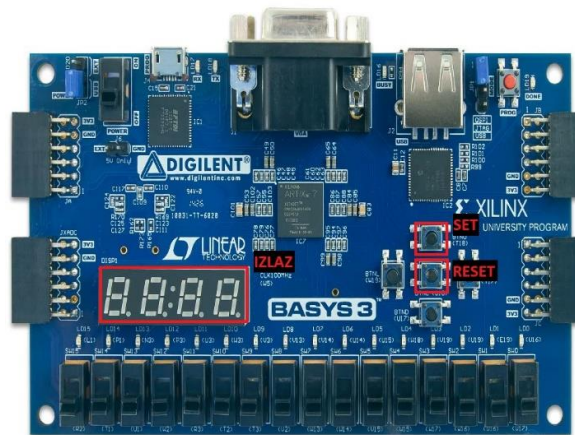
1. UVOD

Postoji mnogo vrsta generatora pseudoslučajnih brojeva, ali je glavna mana mnogih od njih sporo generisanje broja i samim tim otežavanje i usporavanje rada celog sistema. Ideja da generator pseudoslučajnog broja koristi upravo FPGA ploču potekla je od saznanja da je ovakav način rada, to jest ovakva hardverska implementacija najbrža moguća.

Jedini način da se pseudoslučajni broj generiše brže je korišćenje samih flip flopova i xor kola, ali je takav način rada nepraktičan s obzirom da bismo i za najmanju promenu načina rada morali da promenimo celo kolo.

2. ANALIZA ZAHTEVA

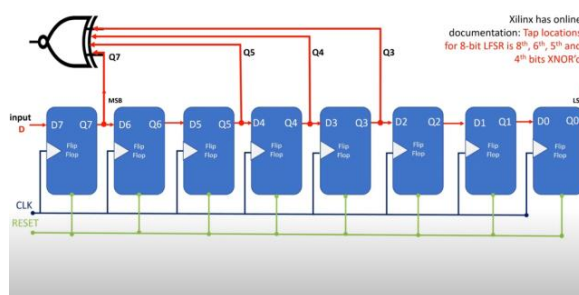
Na slici 1. prikazan je model Basys 3 FPGA ploče koja je korišćena u radu. Sama ploča ima određene načine na koji se mogu unositi i prikazivati podaci, pa tako se na njoj nalaze prekidači i dugmići kao ulazne i LED i sedmosegmentni displej kao izlaze.



Slika 1. FPGA ploča naznačenim ulazima i izlazima

Ideja je da kada kada korisnik pošalje signal ploči korišćenjem SET kontrole, kolo generiše slučajni broj na sedmosegmentnom displeju. Nakon svakog signala, biće generisan novi slučajni broj, a nula će se pojaviti samo nakon što korisnik unese komandu RESET, nakon koje će ponovnim klikom na SET kontrolu niz slučajnih brojeva krenuti iz početka

Princip programiranja kola prikazan je na slici 2



Slika 2. Način programiranja kola

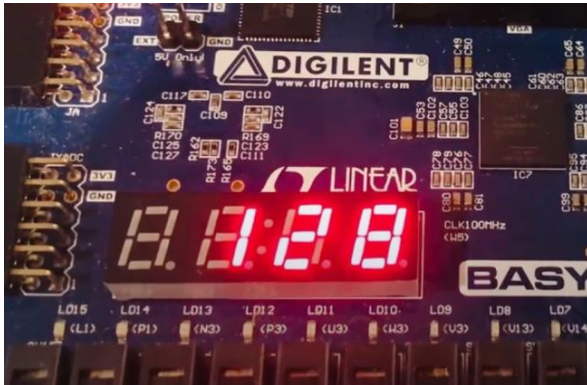
3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Pre slanja prvog SET signala ploči, na sedmosegmentnom displeju biće ispisano „000“, što je jedini broj od 0 do 255 koji nije deo niza pseudoslučajno generisanih brojeva, ali se uvek može dobiti resetovanjem samog kola



Slika 3. Sedmosegmentni displej FPGA ploče pri ispisivanju „000“

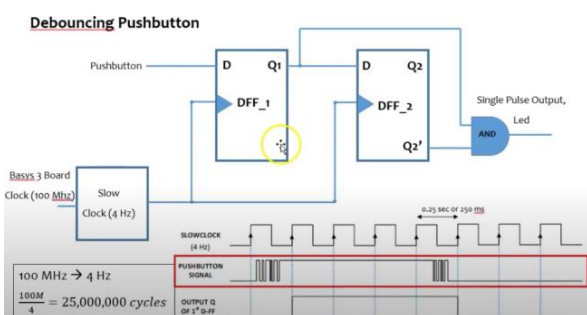
Dok god ne pošaljemo prvi signal ploči ova vrednost će ostati nepromenjena. Nakon slanja signala dobićemo prvi slučajno generisani broj, koji će uvek biti broj 128, što je posledica ovog načina programiranja samog kola. Nakon ovog broja, svaki sledeći broj se može predvideti i zbog toga se kaže da ovaj generator generiše pseudoslučajne, a ne prave slučajne brojeve.



Slika 4. Sedmosegmentni displej FPGA ploče pri ispisivanju broja „128“

Korišćenjem debounce funkcije obezbeđeno je da se držanjem SET kontrole ne generiše novi pseudoslučajni broj na svaku uzlaznu ivicu signala takta, već da za generisanje novog broja mora da se pusti kontrola i da se ponovo pokrene. Ukoliko bi bilo drugačije, brojevi bi se generisali previše brzo (zbog brzine kloka FPGA ploče koja iznosi 30MHz).

Način realizacije debounce funkcije prikazan je na slici 5.



Slika 5. Realizacija debounce funkcije

```

1 module debounce(
2 input pb, clk_in,
3 output led);
4
5 wire clk_out;
6 wire Q1, Q2, Q2_bar;
7
8 Slow_Clock_4Hz ul(clk_in, clk_out);
9 D_FF d1(clk_out, pb, Q1);
10 D_FF d2(clk_out, Q1, Q2);
11
12 assign Q2_bar = ~Q2;
13 assign led = Q1 & Q2_bar;
14 endmodule

```

Slika 6. Kod debounce funkcije

Ideja je da se u nastavku ovog projekta napravi generator pseudoslučajnih brojeva koji će raditi kao jedna vrsta brojača i koji će generisati broj automatski, na svaki određeni vremenski period. Ovakav generator bi na SET kontrolu započinjao brojanje, a na RESET kontrolu zaustavljao. Kao i trenutna realizacija manualnog generatora, ovaj automatski generator bi predstavljao najbrže moguće rešenje implementacije ove vrste. V

4. ZAKLJUČAK

Ovaj generator nije testiran kao deo nekog većeg sistema, ali iz dosadašnjih testova jasno da je primenjiv.

Razlog zašto bi ova implementacija zaživela je niska cena same implementacije jer su sve navedene komponente lako dostupne i isplative, a potreba za što bržim generisanjem pseudoslučajnih brojeva kao delova različitih sistema je velika.

Očekuje se da se u budućnosti prikazani sistem uvede i u praktičnu primenu.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka),

- izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

IMPLEMENTACIJA DVOFAKTORSKE AUTENTIKACIJE PRIMENOM OTISKA GLASA

IMPLEMENTATION OF TWO-FACTOR AUTHENTICATION USING VOICE PRINT

Mihailo Tomić

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – U ovom radu prikazan je jedan pristup implementaciji dvofaktorske autentifikacije korisnika u informacionim sistemima primenom klasifikacije obeležja glasa. Predloženo rešenje bi omogućilo veći nivo zaštite pristupa poverljivim podacima na aplikativnom nivou. Upotreba će biti demonstrirana kroz test aplikaciju, u vidu REST servisa. Baza podataka implementirana je u SUBP-u PostgreSQL, web API korišćenjem biblioteke NestJS, a samo prepoznavanje glasa korišćenjem biblioteke TensorFlow.

Abstract - This paper presents one approach of implementing two-factor authentication in information systems using classification of voice features. The proposed solution would enable a higher level of protection of access to confidential data at the application level. The usage will be demonstrated through a test application, in the form of a REST API. The database is implemented in DBMS PostgreSQL, the web API using the NestJS library, and the voice recognition itself using the TensorFlow library.

1. UVOD

U modernim informacionim sistemima teži se povećanju sigurnosti podataka i kontrole pristupa podacima. Glavni razlog je uvećanje performansi novih generacija računara, koje znatno doprinosi uspešnosti i brzini napada grubom silom na informacione sisteme, ukoliko za autentifikaciju koriste samo sistem tekstualne lozinke. Ovakav problem jako je važan za informacione sisteme koji se primenjuju u vojne svrhe, zbog velike važnosti očuvanja tajnosti podataka.

Dvofaktorska autentifikacija je metoda autentifikacije u kojoj se korisniku odobrava tek nakon što uspešno predstavi dva dokaza. Dokazi spadaju u jednu od kategorija:

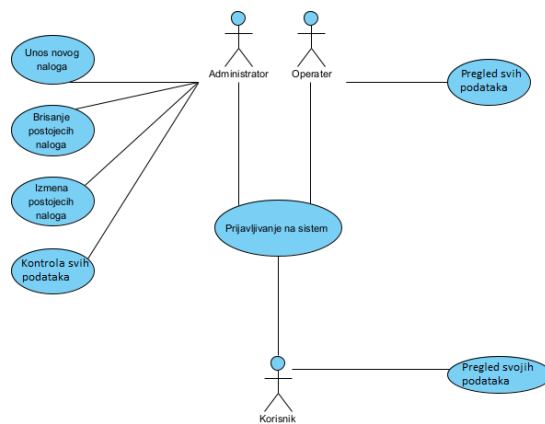
- nešto što korisnik zna
- nešto što korisnik poseduje
- nešto što korisnik jeste

U ovom radu predstavljen je jedan pristup implementaciji dvofaktorske autentifikacije korisnika, korišćenjem otisaka glasa, koja je zatim demonstrirana na test aplikaciji za vođenje evidencije o broju radnih sati radnika.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Na slici 1 prikazan je sistemski use case dijagram odnosno model slučajeva upotrebe. Akteri radnje su administrator, operater i korisnik. Administrator je akter koji unosi nove naloge sa pravima pristupa, ima pravo izmene podataka o broju radnih sati, ima mogućnost

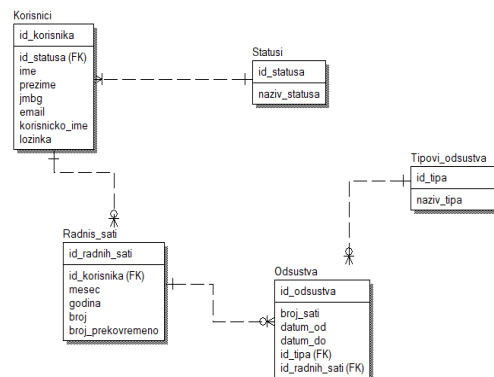
pregleda postojećih naloga, izmenu i brisanje istih. Operater je akter koji može pregledati sve podatke o broju radnih sati za sve korisnike. Korisnik je akter koji može pregledati podatke o svojim radnim satima. Dvofaktorska autentifikacija omogućena je samo administratorima i operaterima, zbog velike količine snimaka gasa potrebnih za klasifikaciju.



Slika 1. Sistemski dijagram slučajeva upotrebe

Baza podataka implementirana je u SUBP-u PostgreSQL, web servis korišćenjem biblioteke NestJS, a samo prepoznavanje glasa korišćenjem biblioteke TensorFlow.

Model podataka baze podataka prikazan je na slici 2.



Slika 2. Model podataka baze podataka

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Sama test aplikacija za autorizaciju korisnika koristi metod tokena koji se čuvaju na klijentskoj strani. Za implementaciju tokena korišćen je IETF predloženi standard pod nazivom *JSON Web Token*. Standard se sastoji od podataka u JSON formatu, zaglavlju koje nosi metapodatke i potpisa koji se kreira primenom HMAC algoritma nad zaglavljem, porukom i tajnim ključem. Svi delovi se zatim odvojeno serijalizuju u Base64 format i zajedno kreiraju token. Ovakav mehanizam omogućava laku proveru autentičnosti podataka i nema potrebu za distribucijom tajnog ključa, jer se svaka provera vrši isključivo na serveru, a klijentska strana aplikacije samo skladišti token i koristi ga da dokaže svoju autentičnost.

Radi upravljanja tokenima, kreirani su posebni moduli za kreiranje i verifikaciju tokena za obične korisnike i administratore i opertere. Obični korisnici za autentikaciju koriste samo korisničko ime i lozinku. Ukoliko se kriptografski otisak lozinke koju je korisnik uneo poklapa sa kriptografskim otiskom lozinke za njegov nalog u bazi podataka, kreira se token koji korisnici koriste kao dokaz autentičnosti. Za administratore i opertere, nakon uspešnog prijavljivanja korišćenjem tekstualne lozinke, kreira se privremeni token. Privremeni token služi kao dokaz autentičnosti isključivo za proveru otiska glasa.

Otisak glasa se uzima na klijentskoj strani aplikacije u vidu glasovne lozinke. Treba naglasiti da otisak ima tačno određeno trajanje od jedne sekunde koje svaka klijentska aplikacija (*web, desktop...*) mora obezbediti. Ovakav audio snimak se zatim mora serijalizovati u Base64 format, radi prenosa putem mreže.

Na serverskoj strani aplikacije, poruka se prvo deserijalizuje u audio format, a zatim se od nje kreira spektrogram. Klasifikacija otiska se vrši pomoću konvolucione neuronske mreže koje određuju da li je otisak validan. Validacija otiska izdvojena je u zaseban servis.

Kako ni jedna klijentska aplikacija nije razvijena za testiranje servisa, najbolji način za testiranje je slanje HTTP zahteva pomoću nekog od alata namenjenog za to. Na slici 3. prikazano je slanje inicijalnog zahteva za prijavu administratora pomoću alata *Postman*.

```
1 {
2   ... "username": "Admin120100022222",
3   ... "password": "@Adminad1"
4 }
```

Slika 3. Slanje inicijalnog zahteva za prijavu administratora

Nakon validacije tekstualne lozinke, server kao odgovor šalje odgovarajući privremeni token, koji se koristi kao dokaz autentičnosti pre provere otiska glasa.

Nakon slanja otiska glasa, server odgovara sa odgovarajućim standardnim tokenom. Format tokena oslikan je kroz primer:

```
eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJlbWVpbGciOiJmFkbWluMUBnbWFpbC5jb20iLCJzdWIiOiI4IiwidHlwZSI6ImJZ3VsYXkiLCJpYXQiOiJlMzgwNTA4ODUsImV4cCI6MTY3ODAlMTg4NX0.Ok3XEKCE-7POtk_ewYp1rzIwrcSn8nUSuaupmuzogos
```

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je jedan pristup implementaciji dvofaktorske autentikacije korisnika, korišćenjem otisaka glasa i demonstrirana je upotreba na test aplikaciji.

Jedna od glavnih prednosti ovakvog servisa razvijenog pomoću biblioteke *NestJS* jeste njegoja modularna arhitektura. Sama biblioteka zauzima modularan pristup kreiranju servisa. Tako su sve klase koje su korišćene za prijavljivanje i kontrolu pristupa odvojene od klasa koje služe za manipulaciju samim podacima. Ovo omogućava laku reimplementaciju kompletne logike ovakve dvofaktorske autentikacije u novim informacionim sistemima kreiranih pomoću iste biblioteke ili izdvajanje modula za prijavljivanje kao posebnog mikroservisa informacionog sistema kreiranog u drugim tehnologijama.

Ovakav pristup dvofaktorskoj autentikaciji nije testiran u realnim uslovima što bi bilo neophodno pre eventualnog uvođenja u upotrebu, ali rešenje stoji na raspolaganju ukoliko se pojavi potreba za implementacijom u informacionim sistemima u Vojsci Srbije.

LITERATURA

[1] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogićević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469
DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting

PRIMENA SENZORA PREPREKA ZA BROJANJE SLOBODNIH MESTA NA PARKINGU

USAGE OF IR CLICK SENSOR FOR COUNTING OF FREE PARKING SPACE

Sava Stanišić¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U ovom radu prikazan je predlog rešenja sistema za brojanje slobodnih mesta na parkingu primenom senzora prepreke. Predloženo rešenje bi omogućilo korisnicima parkinga da se uvere u broj slobodnih mesta na određenom parkingu. Baza podataka je implementirana u SUBP-u Microsoft SQL Server 2018, a samo rešenje je izradeno korišćenjem ATmega 32 mikrokontrolera i MikroC programskog jezika.

Abstract - This paper presents a proposal for an information system for counting of available parking space using IR Click sensor.. The proposed solution would allow drivers to receive feedback about available parking space and it will help reduce traffic congestion. The database was implemented in DBMS Microsoft SQL Server 2018, and the solution is made by using ATmega 32 MCU and MicroC programming language.

1. UVOD

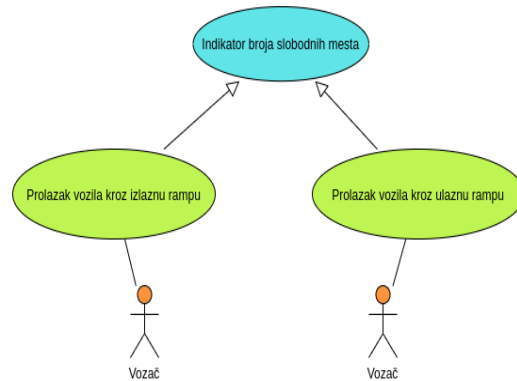
Sve je veća prisutnost automobila u gradskom saobraćaju, što samim tim povećava i saobraćajne gužve i otežava problem pronalazjenja parking mesta. Svaki parking u gradu ima rampu, kao i brojač koji označava broj slobodnih mesta.

Pronalazjenje parkinga i brzina pri toj radnji je jako bitna, jer se time značajno smanjuju saobraćajne gužve i ubrzava protok saobraćaja. Prikazivanjem broja slobodnih mesta smanjuje se problem koji muči sve vozače današnjice.

U ovom radu predstavljen je predlog rešenja sistema za brojanje slobodnih parking mesta. Ovim sistemom bi se značajno olakšala vožnja u prenaseljenim mestima, kao i umanjile gužve i samim tim čuvao kvalitet vazduha u gradovima.

2. ANALIZA ZAHTEVA

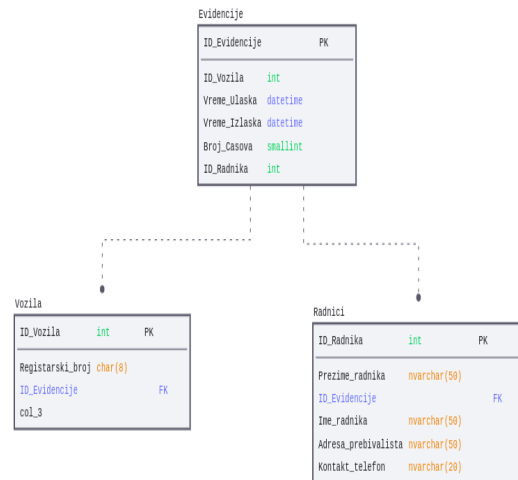
Na slici 1 prikazan je sistemski use case dijagram odnosno model slučajeva upotrebe. Akteri radnje su vozači koji ulaze, odnosno izlaze sa određenog parking prostora.. Korisnike predstavljaju upravo ti vozači, čijim se prolaskom inkrementira, odnosno dekrementira broj slobodnih parking mesta, u zavisnosti od rampe kroz koju su prošli. Sistem poseduje i indikator slobodnih mesta, koji se ažurira na svaki prolazak vozila.



Slika 1. Sistemski dijagram slučajeva upotrebe

Baza podataka implementirana je u SUBP-u Microsoft SQL Server 2018, a samo rešenje je implementirano korišćenjem ATmega 32 mikrokontrolera i MikroC programskog jezika.

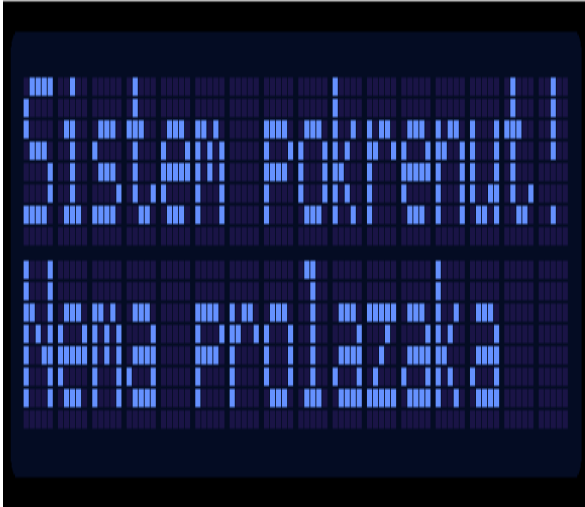
Model podataka baze podataka prikazan je na slici 2.



Slika 2. Model podataka baze podataka

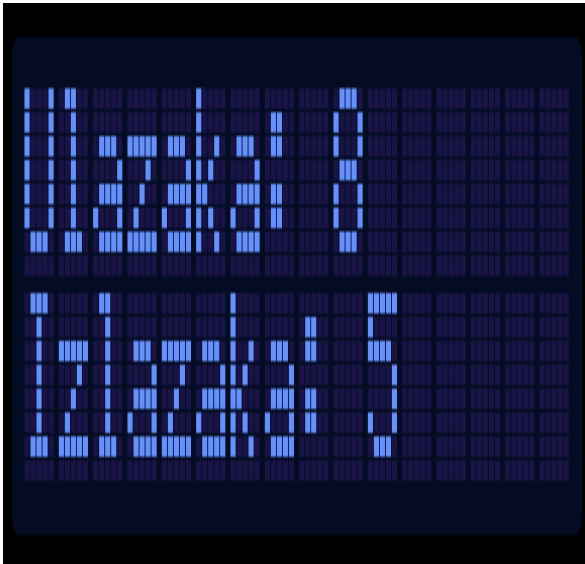
3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Sistem se pokreće inicijalizacijom koda u programskom okruženju MikroC PRO for AVR i programiranjem mikrokontrolera ATmega 32. Nakon pokretanja sistema, prikaz na LCD displeju je dat na slici 3.



Slika 3. Izgled LCD displeja nakon same inicijalizacije

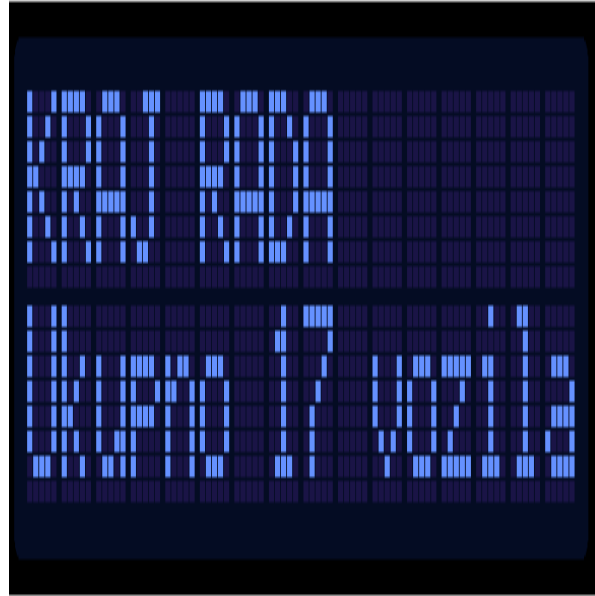
Sistem nakon inicijalizacije aktivira dva senzora prepreke koji počinju da beleže prekide. Na slici 4 prikazan je izgled LCD displeja nakon aktiviranja senzora i nekoliko izlazaka, odnosno ulazaka, sa parking prostora.



Slika 4. Izgled LCD displeja nakon nekoliko prolazaka

Nakon zatvaranja parking prostora, radnik preuzima podatak o ukupnom broju vozila koja su koristila uslugu parkiranja. (slika 5).

Senzor beleži prolaskе tako što inicira prekid nakon prekida njegovog infracrvenog snopa. Taj prekid se prosleđuje MikroC kodu, koji, u zavisnosti od redosleda aktivacije senzora, inkrementira, odnosno dekrementira promenljivu koja predstavlja broj vozila na parkingu i menja vrednosti broja ulazaka i izlazaka sa parkinga. (slika 6)



Slika 5. Prikaz ukupnog broja vozila tog dana



Slika 6. Izgled senzora prepreke koji se koristi za izradu brojača parking mesta

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je predlog rešenja koje koristi dva senzora prepreke za evidentiranje rada parking prostora.

Ovaj sistem već postoji i u širokoj je primeni, ali je poenta bila izrada ovakvog sistema korišćenjem što je moguće hardverske opreme i softverskih alata. Sistem nije testiran u stvarnom okruženju, ali predstavlja dobru podlogu za eventualna unapređenja i, eventualno, puštanje sistema u upotrebu i korišćenje u realnim uslovima.

LITERATURA

- [1] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, *Metalurgija* vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [2] Komlen Lalović, book: *Biometrija otiska prsta od momenta rođenja*, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [3] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: *Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka)*, izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, *Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015*, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [6] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogićević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, *Acta Polytechnica Hungarica* vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Tot Ivan: *Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka)*, 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, *Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik*, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, *BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia*
- [12] Bogićević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [13] Komlen Lalović, Book: *Osnove java programiranja*, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: *Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL*, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [16] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, *Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia*
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Tot Ivan, Bogićević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: *Fiware: A Web of Things Development Platform*, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359
- [19] Tot Ivan: *Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka)*, 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [20] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogićević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogićević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, *Vojnotehnički glasnik*, vol. 69, br.

4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI:
10.5937/vojtehg69-32296

[23] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović
Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric
Security Standardization, Zooming Innovation in
Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019.
godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-
7281-2901-3, IEEE:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>

KLASIFIKACIJA BUKE U PROSTORIJI CLASSIFICATION OF NOISE IN THE ROOM

Branislav Belotić

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – Ovim projektom biće prikazana klasifikacija nivoa buke u prostoriji na razvojnoj ploči EasyAVR v7. Korišćene hardverske komponente su mikrofoni i Wi-Fi modul za bežičnu konekciju sa udaljenim serverom. Mikrokontroler Atmega32 na ploči je isprogramiran pomoću softverskog paketa mikroC PRO for AVR da pročita podatke sa senzora zvuka (mikrofona), klasifikuje zvuk u određenu kategoriju, i zatim preko Wi-Fi modula prosledi informaciju na veb server putem UDP protokola.

Abstract - This project will show the classification of room noise level on the EasyAVR v7 development board. The hardware components used are a microphone and a Wi-Fi module for wireless connection with a remote server. The Atmega32 microcontroller on the board is programmed using the mikroC PRO for AVR software package to read data from the sound sensor (microphone), classify the sound into a certain category, and then send the information to the web server via the UDP protocol via the Wi-Fi module.

1. UVOD

Povodom sve većih zahteva za jednostavnim i ekonomičnim rešenjima u svetu bezbednosti, kako javne tako i privatne, došlo se na ideju za stvoriti praktično rešenje, kojim bi se dale osnovne ideje kako realizovati rešenje ovog problema. Ovim projektom, pokušalo se pokazati da uz mala ulaganja, moguće je na tržištu stvoriti senzor kojim bi se na licu mesta, ili na udaljenoj poziciji, registrovala kretanja ili radnje u prostoriji.

WiFi (Wireless Fidelity) je bežična mreža koja omogućava razmenu podataka između dva ili više računara, digitalnih komunikacionih uređaja, mrežne opreme i raznih drugih uređaja pomoću radio frekvencija. Sva radio tehnologija se nalazi u WiFi karticama koje se ugrađuju u računar i to je praktično sve što je potrebno za bežično umrežavanje, koje se baš zbog toga smatra jednim od najjednostavnijih trenutno u ponudi, a dodatni razlog je što ne zahteva kablove ili ostale mrežne uređaje. Korisniku preostaje da se poveže sa WiFi pristupnom tačkom, takozvanim AR (Access Point), odnosno čvorištem gde se spajaju ostali korisnici.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Planirana funkcionalnost sistema je da mikrofoni vrši merenje nivoa buke u prostoriji u decibelima, zatim se vrši analogno-digitalna konverzija putem ploče i na displeju se ispisuje dobijeni rezultat. Isti rezultat, putem WiFi modula se šalje na postojeći server. Potrebno je podesiti odgovarajući mrežni modul, upisati šifru bez koje neće doći do povezivanja, i zatim na server upisati

dobijeni rezultat, u sličnom formatu kako je prikazano i na displeju.

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Hardverske komponente korišćene u realizaciji zadatka su: EasyAVR7 (Slika 1), Atmega32 (Slika 2), WiFi3 click modul (Slika 3), LCD (Slika 4) i mikrofoni (Slika 5).

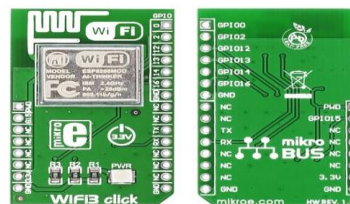


Slika 1. EasyAVR7



Slika 2. Atmega32

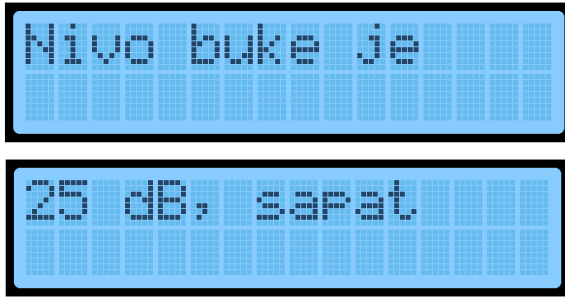
WiFi3 click modul je idealan za IoT (internet of Things) aplikacije. Sistem na čipu preuzima sve funkcije umrežavanja sa MCU-a. Može se integrisati sa senzorima i pogonima preko svojih GPIO-a i omogućava povezivanje na internet uz minimum dodatnih hardverskih komponentata. Umesto standardnih mikroBUS AN i RST pinova, WiFi3 click ima PWD i G15 pinove. Oni odgovaraju CH_PD i GPIO15 pinovima na modulu. Kada se konektuje WiFi3 click na mikroBUS, setuje PWD na VCC i G15 pin na GND, unutar koda.



Slika 3. WiFi3 click modul

LCD displej je izlazni uređaj koji nam služi za prikaz dobijenih rezultata, u ovom slučaju, nivoa buke (zvuka) izraženo u decibelima, kao i kategoriju buke u koju

dobijeni rezultat spada. Displej ima dva reda sa po 16 karaktera. Svaki karakter je veličine do 5x8 piksela.



Slika 4. LCD

Mikrofon (senzor zvuka) je komponenta koja nam daje analogni ulaz, koji daljom konverzijom koristimo u sistemu. Što se samog uređaja tiče, nije velika razlika između pregršt modela mikrofona koji se koriste na računarima, bitna razlika je da ovaj modul sa pločom mora biti povezan preko USB porta.



Slika 5. Mikrofon

Za kreiranje softverskog dela sistema korišćen je paket MicroC PRO for AVR. WiFi3 click modul i mikrokontroler komuniciraju preko UART-a, brzinom od 9600 bps.

Zvuk	nivo jačine zvuka (dB)
prag čujnosti	0
šapat	20
govor	50
stan u prometnoj ulici	60
prometna ulica	70
automobil	70
kamion	90
avion	120
prag bola	130

Slika 6. Tabela sa klasifikacijom

4. ZAKLJUČAK

Svrha ovog sistema i projekta bila je da se pokaže da je uz malo znanja i nekoliko relativno dostupnih komponenti. Moguća dalja nadogradnja sistema bila bi u smeru da se napravi „nova“ klasifikacija zvuka, koja bi bila za određenu svrhu, spram onoga što se nalazi u prostoriji, čime bi se tačno odredio uzrok buke.

Sama primena ovog sistema nalazi se od privatnih domova do velikih fabrika, kancelarija, prodavnica... U ovakvim okruženjima, neophodno je u savremenom dobu nivo bezbednosti i nadzora podići na najviši mogući nivo, a bez novih tehnoloških rešenja, napredak se čini nemogućim.

LITERATURA

[1] ATmega32 Datasheet ATMEL. <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>

[2] EasyAVR V7 Manual, MikroElektronika. http://download.mikroe.com/manuals/development-boards/avr/easyavr-v7/easyavr_v7_manual_v101.pdf

[3] WiFi3 click, MikroElektronika <http://www.mikroe.com/click/wifi3/>

[4] ESP8266 WiFi Module Quick Start Guide http://rancidbacon.com/files/kiwicon8/ESP8266_WiFi_Module_Quick_Start_Guide_v_1.0.4.pdf

[5] ESP8266 AT Command Set <http://www.pridopia.co.uk/pi-doc/ESP8266ATCommandsSet.pdf>

[6] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

[7] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296

[8] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7

- [9] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [10] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [11] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [12] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [13] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [14] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [15] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [16] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [18] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [19] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [20] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [21] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [22] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [23] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [24] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [25] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [26] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [27] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector , Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [28] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [29] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

ODREĐIVANJE TRENUTNE LOKACIJE I SLANJE KOORDINATA NA WEB SERVER

DETERMINATION OF THE CURRENT POSITION AND SENDING THE COORDINATES TO THE WEB SERVER

Nemanja Kaplanović
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – Svedoci smo vremena u kojem raste broj slučajeva otuđivanja automobila, telefona, drugih uređaja čak i kidnapovanja ljudi. U ovom radu je dato rešenje za uređaj za određivanje i pregled satelitske GPS lokacije, koji bi pomogao u brzem lociranju osobe ili predmeta i jasno istakao poruku na web sajtu.

Rešenje je realizovano uz pomoć Atmelovog ATmega32 mikrokontrolera, GPS3 modula za određivanje lokacije i GPS/GNSS modula za slanje poruke na Web server. Korišćena je razvojna ploča EasyAVRv7. Programiranje mikrokontrolera je izvršeno u programskom paketu MikroC PRO for AVR.

Abstract - *We are witnessing a time in which the number of cases of theft of cars, phones, other devices and even the kidnapping of people is increasing. In this paper, a solution is given for a device for determining and viewing a satellite GPS location, which would help in quickly locating a person or object and clearly highlight the message on the website.*

The solution was realized with the help of Atmel's ATmega32 microcontroller, GPS3 module for location determination and GPS/GNSS module for sending messages to the Web server. The EasyAVRv7 development board was used. Microcontroller programming is done in the MikroC PRO for AVR software package.

1. UVOD

GPS (Global Positioning System) je Američki sistem koji omogućava određivanje pozicije na svakoj tački na svetu. Pored njega postoji i GLONASS sistem koji je Ruski sistem. Zajedno se koriste u sistemu GNSS (Global Navigation Satellite System). GPS i GLONASS su opremljeni sa 33 odnosno 24 satelita raspoređenih u orbiti Zemlje. Radio talasima sateliti šalju radio signal koji prijemnici na Zemlji koriste da odrede svoju tačnu poziciju. Prijemniku je potrebno da primi signal sa 3 ili više satelita. Na osnovu upoređivanja vremena prispeća signala dobija se tačna lokacija.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Zahtev rada jeste određivanje koordinata putem GPS prijemnika i ispisivanje koordinata na LCD-u. Na osnovu određene lokacije utvrditi koji od ponuđenih gradova je najbliži. Uz

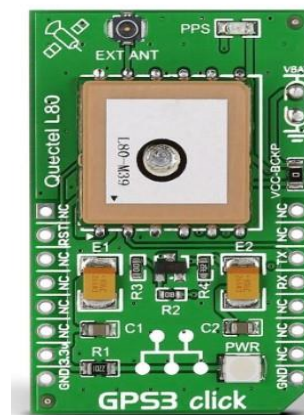
pomoć GSM modula i TCP protokola svake sekunde slati poruku na Web server u formatu: "4. Pozicija 44.81115H, 20.4812, Beograd".

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Rešenje je hardverski implementirano uz pomoć razvojne ploče easy AVR v7 (slika 1), na koju su pridodati moduli za određivanje pozicije (GPS slika 2) i komunikaciju (GPS/GNSS slika 3).



Slika 1. Razvojna ploča



Slika 2. GPS3 Click modul

GPS3 Click je modul koji sadrži Quectel's L80 čip koji svake sekunde automatski šalje UART interfejsom NMEA sekvencu koja u sebi sadrži koordinate, vreme, nadmorsku visinu i druge informacije primljene od satelita.



GSM/GNSS

Click modul korišćen za komunikaciju sa web serverom. Srce modula je Quectel MC60 čip koji sadrži 2G čipset za SMS i GNSS tehnologiju za komunikaciju sa satelitima preko internet protokola. Poruka se šalje kao običan SMS putem SIM kartice.

Slika 3. GSM/GNSS Click modul

Softverska realizacija je realizovana u softverskom paketu MicroC PRO for AVR u programskom jeziku C. Kod sadrži podešavanje ulaznih i izlaznih pinova, inicijalizaciju LCD-a, zadavanje varijabli sa geografskim dužinama i geografskim širinama zadatih gradova, inicijalizaciju UART interfejsa i softverskog UART interfejsa, obradu NMEA sekvence i slanje poruke.

Preko softverskog UART-a se prihvata poruka od GPS3 click modula i smesta u buffer. Koristi se komanda `Soft_UART_Read` koja čita bajt po bajt. Vrsi se provera da li je poruka validna – da li sadrži koordinate. GPS3 click nije sinhronizovan sa radom mikrokontrolera zbog toga u primljenoj poruci se mora naći rečenica od koristi i izvući u posebnu varijablu. Rad sa stringom je olakšan korišćenjem STR biblioteke. Rečenica od koristi se pronalazi komandom `strchr([buffer],[traženi pojam])` koja vraća pokazivač na traženi pojam u ovom slučaju "\$GPRMC" što predstavlja početak naše rečenice. Zarezima u rečenici su odvojene koordinate koje izvlačimo pomeranjem pokazivača, pomeraj pokazivača (broj zarez) je konstantan jer se format rečenice ne menja. Primljene koordinate se koriste u izračunavanju vazdušne udaljenosti od unetih gradova. IF petljama se dolazi do najbližeg grada.

Blok koda:

```
if(maks>acc){
    maks=acc;
    najgrad=gradovi[0];
};
```

Maks - prethodni najbliži grad, acc - trenutna udaljenost od grada sa kojim se poredimo. Ako je taj grad bliži on će postati najbliži grad (`najgrad=gradovi[X]`) a njegova daljina najbliža (`maks=acc`).

Vrednosti trenutnih koordinata i naziv najbližeg grada se pakuju u jedan string i dodeljuju varijabli. Formatirana rečenica se nakon podešavanja GSM/GNSS click modula, AT komandama za slanje putem TCP protokola na javnu adresu web server, šalje komandom:

```
UART1_Write_text(rečenica)
```

Nakon toga ciklus dolazi na početak i proces se ponavlja. Prosečno vreme osvežavanja koordinata na serveru je 15 sekundi. Vreme je uslovljeno konfigurisanjem modula za slanje i čekanjem njegovog odziva.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je jednostavan sistem za lociranje objekata. Uslov sistema jeste veza sa satelitima i sa operaterima za slanje poruke. Transparentnost poruke na web serveru je čini lako dostupnom informacijom kojoj brzo može pristupiti veliki broj korisnika. Daljom automatizacijom se vreme reakcije može svesti na minimum.

Sistem je testiran u laboratorijskim uslovima. Uočen je potencijal i značaj sistema koji se uz adekvatnu zaštitu i tajnost podataka može primeniti u vojne i civilne svrhe.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogićević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogićević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogićević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogićević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogićević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogićević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

FM primopredajnik realizovan u SDR tehnologiji primenom softverskog paketa GNU Radio

FM transciever realized in SDR technology utilising GNU Radio software development kit

Marko Marković

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – U ovom radu prikazana je jedna od mogućih izvedbi FM primopredajnika realizovana u SDR tehnologiji. Iskorišćena je analogna modulacija implementirana upotrebom različitih blokova u GNU Radio SDK. Prenos podataka ostvaren je koristeći jednu NI USRP-2974 univerzalnu softversku radio periferiju kao primopredajnik u loop režimu i dva identična USRP uređaja u duplex režimu.

Abstract - This paper presents one of the possible FM transceiver solutions, realized in SDR technology. The analog modulation was implemented utilising different GNU Radio blocks. Data transmission was established using one NI USRP-2974 universal software radio peripheral in a loop state and using two identical USRP devices in duplex transmission.

1. UVOD

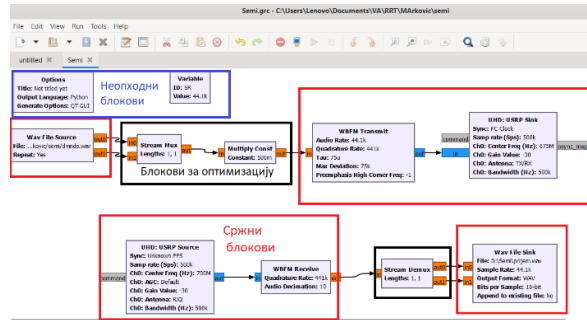
SDR je radio komunikacioni sistem čije su komponente pretežno realizovane softverski, primenom embedded sistema ili personalnih računara. To su sistemi koji imaju širok dijapazon mogućnosti jer nisu hardverski ograničeni kao konvencionalni sistemi za telekomunikacije.

GNU Radio je open-source SDK koji omogućava upotrebu SDR-a ili simulira postojanje SDR sistema. Kao i svaki SDK, sadrži kompajler, debugger, IDE, a uz to dozvoljava i grafičko programiranje upotrebom blokova koji su predstava skripti Python programskog jezika. Jedna njegova mana je slaba dokumentacija. Argumenti blokova često su bez adekvatnog opisa.

Frekvencijska modulacija je postupak kojim se informacija koju nosi koristan (modulišući) signal „utiskuje“ u signal pogodan za prenos (nosilac) promenom njegove trenutne devijacije učestanosti. Ovu vrstu modulacije koriste radio-difuzne stanice koje emituju u opsegu od 88 do 108 MHz, pa se po vrsti modulacije i ovaj opseg naziva FM opsegom frekvencija. Otpornija je na šum od drugih analognih modulacija, stoga se koristi za kvalitetan prenos muzičkog signala.

2. ANALIZA PROBLEMA

Potrebno je ostvariti prenos podataka korišćenjem FM signala. Za izvor podataka odabrana je audio datoteka zbog jednostavne provere kvaliteta i jer se analogna frekvencijska modulacija koristi za prenos govora i zvuka u drugim sistemima prenosa. Primopredajnik realizovan u SDR tehnologiji optimalno je rešenje za sistem čija je karakteristika univerzalnost vrste prenosa, i jednostavnost realizacije.



Slika 1. Izgled korisničkog interfejsa i podela blokova

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Ovaj projekat realizovan je grafički, oslanjanjem na korisnički interfejs SDK GNU Radio. Upotrebljena su dva niza blokova koje možemo podeliti u predajni i prijemni lanac. Druga vrsta podele je u odnosu na ulogu u sistemu, gde delimo blokove na neophodne, sržne i blokove za optimizaciju.

3.1. NEOPHODNI BLOKOVI

Blokovi Options i Variable neophodni su prilikom svakog rada u SDK GNU Radio. Blok Options koristi se za određivanje vrste interfejsa, upis podataka i opisa projekta, izlazni programski jezik i drugo. U Bloku Variable definiše se ID i vrednost globalne promenljive. Najčešća upotreba ovog bloka je za definisanje učestanosti odabiranja odnosno sample rate-a.

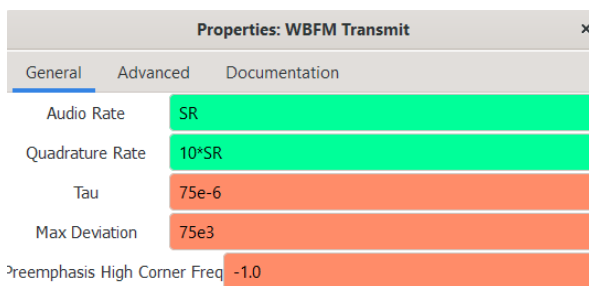
3.2. SRŽNI BLOKOVI

Sržni blokovi čine jezgro projekta. Većina odbade signala izvodi se u njima i karakteristični su za odabranu vrstu prenosa.

Svaki telekomunikacioni sistem služi za prenos informacije. Stoga, osnovno polazište u sistemu za prenos je izvor informacije. U ovom radu, kao izvor informacije iskorišćena je .wav datoteka. Da bi se on odabrao i obradio, potreban je Wav File Source blok. Ovaj blok služi za odabir datoteke i način reprodukcije. Moguće opcije su mono, stereo i surround sound. Odabran je stereo audio snimak popularne pesme uz periodično ponavljanje.

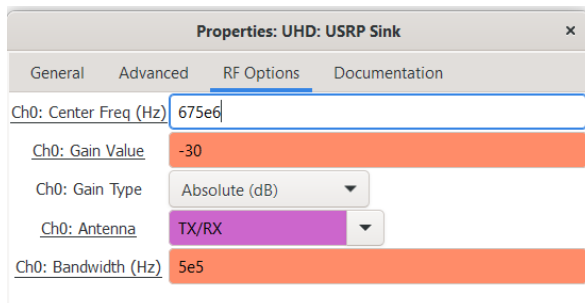
Sklop koji korisnu informaciju utiskuje u signal pogodan za prenos naziva se modulator. U ovom projektu tu

funkciju ostvaruje blok WBFM Transmit (široko-pojasni FM predajnik). Pet parametara opisuje ovaj blok, od kojih su nama od interesa dva, a ostale vrednosti su podrazumevane. Parametrom Audio Rate određuje se brzina odabiranja izvornog signala. Potrebno je uskladiti ovaj parametar sa učestanošću odabiranja koja je korišćena tokom snimanja .wav datoteke. Sledeći parametar od značaja je Quadrature Rate. Njegova promena menja brzinu izlaznog niza podataka. Vrednost ovog parametra mora biti celobrojni umnožak vrednosti parametra Audio Rate. Mala vrednost ovog parametra dovodi do gubitaka podataka i distorzije, a usled velike vrednosti dolazi do odsecanja dela spektra izlaznog niza zbog automatskog filtriranja koje ovaj blok vrši. Optimalna vrednost je deset puta veća od vrednosti parametra Audio Rate.



Slika 2. Parametri WBFM bloka

Blok UHD: USRP Sink omogućava upotrebu hardvera i stvarni prenos podataka. Bez UHD: USRP blokova GNU Radio služio bi samo za simulacije. Sink varijanta ovog bloka koristi se u slučaju predaje, pa je ovo i poslednji blok u predajnom nizu ovog projekta. Ulazni niz podataka ovaj blok pretvara u električni signal koji se šalje na antenu i emituje u vidu elektromagnetnog zračenja. Parametri od interesa za ovaj rad su centralna frekvencija nosioca, čija je vrednost 675 MHz i dobitak na predajniku koji iznosi -30 dB. Širina propusnog opsega (Bandwidth) je 500 kHz.



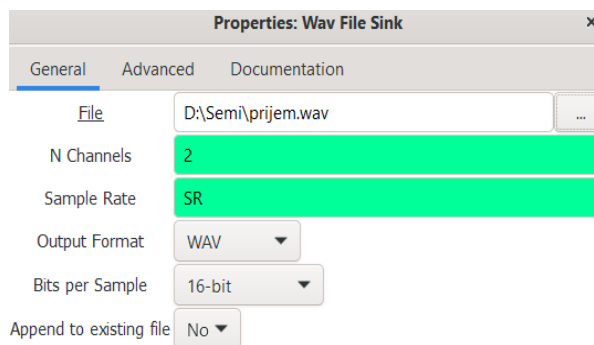
Slika 3. Parametri UHD: USRP Sink bloka

Druga vrsta Source bloka koji služi kao izvor informacije je UHD: USRP Source blok. Specifičnost ovog bloka u odnosu na druge Source blokove je to što informacija potiče iz antene, u vidu električnog signala koji se pretvara u niz podataka koristeći ovaj blok. Parametri

ovog bloka identični su vrednostima prethodnog, s tim što je centralna frekvencija 700 MHz zbog dupleksnog režima rada. Ovaj blok predstavlja početak prijemnog niza. Još jedna razlika u odnosu na prethodni blok je parametar AGC odnosno automatska regulacija pojačanja, koja je karakteristična za prijemnik u telekomunikacionom sistemu. Vrednost ovog parametra je podrazumevana u ovom projektu.

Blok WBFM Recieve služi kao demodulator, iz nosioca izvlači koristan signal. Ima dva parametra. Quadrature Rate, čija vrednost treba da se podudara sa onom iz WBFM Transmit bloka. Drugi parametar je Audio Decimation. To je celobrojna vrednost koja opisuje koliko se odbiraka iz niza obrađuje. Vrednost deset, govori da se svaki deseti odbirak u nizu obrađuje, dok se ostali odbacuju. Ova vrednost mora biti identična količniku vrednosti parametara Quadrature Rate i Audio Rate u WBFM Transmit bloku radi najvernijeg prenosa. Manja vrednost ovog parametra od idealne ne utiče na kvalitet audio snimka, ali menja veličinu izlaznog niza što bi nakon narednog bloka uticalo na veličinu datoteke koja se prenosi.

Poslednji sržni blok u ovom projektu, Wav File Sink, pretvara prethodno obrađeni niz podataka u .wav datoteku. Najpre se mora odabrati direktorijum i naziv datoteke koja je primljena, što se izvodi preko parametra File. Vrednost parametra N Channels govori o mono/stereo/surround sound audio snimku, i trebala bi da bude ista kao kod Wav File Source bloka. Moguće je primeniti različite kvalitete audio snimka promenom parametra Bits per Sample. Parametar Append to existing file u slučaju odabira Yes nastavlja primljen niz podataka na već postojeći, odnosno prilikom svakog prijema dodaje primljeni audio snimak na već sačuvani. U drugom slučaju, datoteka se pri svakom prijemu priše i čuva iznova.



Slika 4. Parametri Wav File Sink bloka

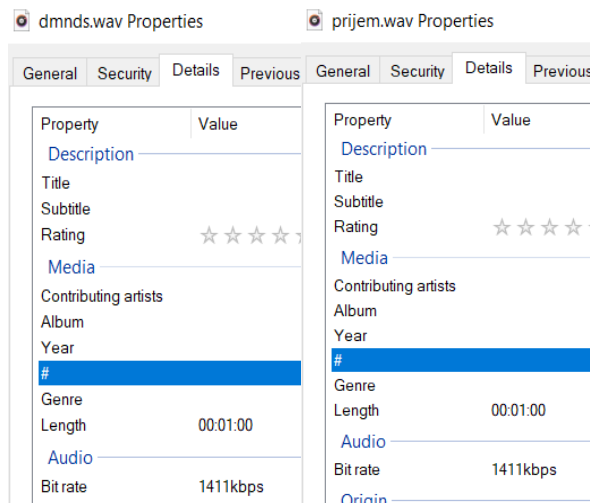
3.3. BLOKOVI ZA OPTIMIZACIJU

Svrha ovih blokova je da omogućе najverniji prenos. Oni utiču na kvalitet krajnjeg audio snimka i na količinu memorije koju će primljena datoteka zauzeti. Blokovi Stream Mux i Stream Demux izvorni niz podataka, koji je

bio podeljen na dva dela, za levi i desni zvučnik, spajaju u jedan niz radi obrade i prenosa, i opet dele radi reprodukcije. Moguće je i promeniti udeo koji neki od nizova uzima u konačnom nizu. Blokom Multiply Const vrši se podešavanje jačine zvuka u audio snimku. Odabrana je vrednost 0.5 jer se u slučaju veće vrednosti pojavljuje distorzija. Komponente na određenim frekvencijama ulaze u zasićenje i dolazi do efekta „probijanja“ zvučnika.

4. REZULTAT

Postoje dve karakteristike datoteke koje možemo lako proveriti. Sam kvalitet audio snimka i memorijska verodostojnost primljene datoteke. Odabrana je učestanost odabiranja od 44100, što odgovara učestanosti odabiranja audio snimka od 44.1 kHz. Izvorni niz sastoji se od dva niza te učestanosti odabiranja, koji se spajaju u jedan i bivaju „ubrzani“ 10 puta u WBFM Transmit bloku. Nakon prijema, WBFM Receive blok svaki deseti član ulaznog niza prosleđuje na izlaz. Izlazni niz se deli na dva dela u Stream Demux bloku, i čuva sa po 16 bita u Wav File Sink bloku. Konačni Bit rate iznosi $2 \cdot 16 \cdot 44100$ bps, odnosno 1411 kbps. Na slici 5 prikazano je poređenje između predate datoteke, dmnds.wav, i primljene datoteke, prijem.wav. Slušanjem audio snimka može se potvrditi da je ostvaren kvalitetan i veran prenos podataka.



Slika 5. Osobine poslate i primljene datoteke

5. ZAKLJUČAK

U ovom projektu ostvaren je kvalitetan prenos podataka na jednostavan način. Za ovu vrstu prenosa bilo bi neophodno mnogo veće iskustvo u radu sa radio uređajima i poznavanje većeg broja sistema.

Pojavom SDR tehnologije radio prenos postaje pristupačniji i univerzalniji. Upotrebom jednog uređaja moguće je ostvariti mnoštvo tehnika prenosa. Izmeštanje obrade signala sa hardvera na softver takođe omogućava velik stepen kontrole, što bi bio preduslov za buduće tehnologije poput kognitivnog radio prenosa.

LITERATURA

[1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić -Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6

[2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4

[3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111

[4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596

[5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537

[6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313

[7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8

[8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L

[9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.

[10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia

[11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric

- identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469
DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

PRIMENA *SpeakUp* MODULA ZA PREPOZNAVANJE GLASOVNIH KOMANDI

IMPLEMENTATION OF *SpeakUp* MODULE FOR VOICE RECOGNITION

Miroslav Sabo

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

Sadržaj – Sve više se razvija tehnologija hands-free korišćenja uređaja. Potreba za komunikaciju za uređajima dok su nam ruke zauzete je sve veća. U ovom radu je dato rešenje za uređaj za prepoznavanje glasovnih komandi jednog čoveka, gde bi se komanda prenosila dalje na web sajt.

Rešenje je realizovano uz pomoć Atmelovog ATmega32 mikrokontrolera, *SpeakUp* modula za prepoznavanje glasa i GPS/GNSS modula za slanje poruke na Web server. Korišćena je razvojna ploča EasyAVRv7. Programiranje mikrokontrolera je izvršeno u programskom paketu MikroC PRO for AVR.

Abstract – Hands free Technology is rapidly developing. Communication with devices while our hands are busy is more and more popular. In this paper, a solution is given for a device for recognizing one person voice commands and the command is sent further to the website.

The solution was realized with the help of Atmel's ATmega32 microcontroller, *SpeakUp* module for voice recognition and GPS/GNSS module for sending messages to the Web server. The EasyAVRv7 development board was used. Microcontroller programming is done in the MikroC PRO for AVR software package.

1. UVOD

Vidimo sve veće korišćenje glasovnog komandovanja uređajima i prepoznavanja glasa od strane uređaja. Ova tehnologija se razvijala najpre za osobe sa specijalnim potrebama, a kasnije je počela da se koristi u od strane običnih ljudi. Uglavnom se koristi tokom vožnje kola, prilikom obavljanja posla koji zahteva konstantno korišćenje ruku ili za autentikaciju.

2. ANALIZA ZAHTEVA

Zahtev rada jeste prepoznavanje glasovnih komandi i ispisivanje prepoznatih komandi na LCD-u. Od komandi su navedene opcije : "Uključi", "Isključi" i objekti : "Grejanje" i "Klimu". Uz

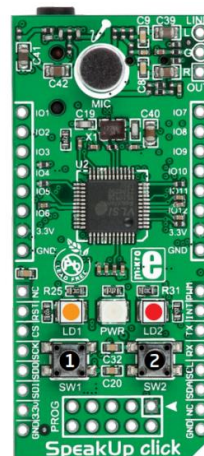
pomoć GSM modula i TCP protokola nakon svakog izdavanja komande poruka se šalje na Web server u formatu: "2. Uključi grejanje."

3. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Rešenje je hardverski implementirano uz pomoć razvojne ploče easy AVR v7 (slika 1), na koju su pridodati *SpeakUP* modul (slika 2) i modul za komunikaciju (GPS/GNSS slika 3).



Slika 1. Razvojna ploča



200

SpeakUp modul je pločica za prepoznavanje unapred snimljenih glasovnih komandi. Ona koristi svoj ugradjeni mikrofon za snimanje I prepoznavanje glasa. Može da prepozna I do komandi koje obradjuje I mikrokontroleru na samoj pločici.

Slika 2. *SpeakUp* Click modul



GSM/GNSS
Click modul korišćen za komunikaciju sa web serverom. Srce modula je Quectel MC60 čip koji sadrži 2G čipset za SMS i GNSS tehnologiju za komunikaciju sa satelitima preko internet protokola. Poruka se šalje kao običan SMS putem SIM kartice.

Slika 3. GSM/GNSS Click modul

Softverska realizacija je realizovana u softverskom paketu MicroC PRO for AVR u programskom jeziku C. Kod sadrži podešavanje ulaznih i izlaznih pinova, inicijalizaciju LCD-a, zadavanje varijabli sa komandama i poredjenje komandi dobijenih od SpeakUp modula, inicijalizaciju UART interfejsa i softverskog UART interfejsa, rad sa tekstom i slanje poruke.

SpeakUp modul se programira preko posebnog programa za njegovo programiranje. Za svaku komandu se posebno snima glas. Svakom snimku se dodeljuje indeks tog snimka koji se šalje na mikrokontroler. U ovom softverskom alatu se definiše brzina prenosa podataka izmedju modula i mikrokontrolera i parameter osetljivosti prepoznavanja. Preko softverskog UART-a se prihvata poruka od SpeakUp click modula i smesta u promenljivu. Koristi se komanda Soft_UART_Read koja čita bajt po bajt. Vrsi se provera da li je poruka validna – da li sadrži indeks postojeće komande. SpeakUp click nije sinhronizovan sa radom mikrokontrolera zbog toga se svo vreme osluškuje pin za komunikaciju preko softverskog UART interfejsa. Rad sa tekstom je olakšan korišćenjem STR biblioteke. Dobijeni indeks komande se proverava i u zavisnosti od njegove vrednosti se u izlaznu promenljivu upisuje odgovarajuća reč. Vodi se računa da u isto vreme ne budu uključena oba objekta preko poredjenja teksta u kodu. To se postiže pamćenjem stanja objekata u posebnim promenljivima.

Izlazni tekst podleže proveru ispravnosti gde se utvrđuje da li je poruka za slanje kompletna. Kada se utvrdi da je izlazni tekst pogodan za

slanje onda se šalje na web sajt. Formatirana rečenica se nakon podešavanja GSM/GNSS click modula, AT komandama za slanje putem TCP protokola na javnu adresu web server, šalje komandom:

`UART1_Write_text(izlaz)`

Nakon toga ciklus dolazi na početak i proces se ponavlja. Vreme je uslovljeno konfigurisanjem modula za slanje i čekanjem njegovog odziva.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je jednostavan sistem za prepoznavanje glasa. Uslov sistema jeste prethodno programiranje speak up modula i konfiguracija mobilnog operatera za poruke. Transparentnost poruke na web serveru je čini lako dostupnom bilo kojem uradjaju ili čoveku. Daljim poboljšanjima se broj komandi i adrese primaoca poruke mogu povećati.

Sistem je testiran u laboratorijskim uslovima. Uočen je potencijal i značaj sistema koji se uz adekvatnu zaštitu i tajnost podataka može primeniti u vojne i civilne svrhe.

LITERATURA

- [1] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [2] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [3] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [4] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [5] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537

- [6] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [7] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [10] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, Bisec 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [12] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [15] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [16] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogičević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [19] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [20] Bogičević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [21] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogičević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogičević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Tot Ivan, Bogičević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469
DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359

PRIMENA ULTRAZVUČNOG SENZORA PREPREKA HC-SR04 ZA MERENJE PROMENE KOLIČINE PADAVINA APPLICATION OF ULTRASONIC OBSTACLE SENSOR HC-SR04 FOR MEASUREMENT OF CHANGE IN THE QUANTITY OF PRECIPITATION

Nikola Čitić¹

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija¹

Sadržaj – U ovom radu prikazan je predlog rešenja merenja promene količine kišnice pomoću ultrazvučnog senzora prepreka HC-SR04, prikazivanje rezultata merenja na LCD-u i slanje istih svakih 60 sekundi na predefinisani server pomoću WiFi modula i UDP protokola u odgovarajućem formatu, pri čemu je nivo porasta padavina podeljen u tri kategorije (bez padavina, slaba kiša i pljusak).

Abstract – This paper presents a solution proposal for measuring the change in the amount of rainwater using the ultrasonic obstacle sensor HC-SR04, displaying the measurement results on the LCD and sending them every 60 seconds to a predefined server using the WiFi module and the UDP protocol in the appropriate format, where the level of increase precipitation divided into three categories (no precipitation, light rain and shower).

1. UVOD

WiFi je bežična lokalna računarska mreža (WLAN) koja se zasniva na standardu IEEE 802.11. Uređaji koji su povezani na ovu mrežu moraju se nalaziti u blizini antene, odnosno uređaja koja prima i predaje potrebne signale. Prema podacima iz 2019. godine, više od 3 milijarde uređaja sa WiFi podrškom se proizvede godišnje.

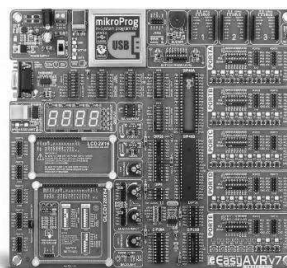
Uređaji koji su kompatibilni mogu biti deo zajedničke mreže, ali i mogu biti spojeni putem bežične pristupne tačke, žičnim uređajima i Internetom. Da bi se korisnik povezoao na WiFi mrežu, uglavnom mora znati ime (SSID) i lozinku. WiFi je generalno osetljiviji na napad od žičnih mreža jer svako unutar dometa mreže može pokušati da ostvari pristup.

Može se primetiti sve veća primena WiFi tehnologije u malim "pametnim" uređajima i njen rast je eksponencijalan. Veliku ekspanziju u ovakvim uređajima doživljava posebno na primeru "pametnih" kuća, gde bi kao jedan od uređaja produkt ovog seminarog rada mogao naći mesto. Dakle, primena ove tehnologije uz merenje određene veličine sve više i više olakšava domaćinstvima širom sveta.

2. HARDVERSKA REALIZACIJA

Hardverske komponente korišćene u realizaciji projekta su: Razvojna ploča easy AVR v7 proizvođača Mikroelektronika sa Atmelovim mikrokontrolerom Atmega32, LCD modul, ultrazvučni senzor prepreka HC-SR04 i WiFi modul.

Korišćena razvojna ploča (slika 1.) nudi niz funkcionalnosti i mogućnost korišćenja značajnog broja proširenja. Od interesa za izradu seminarog rada bili su mogućnost upotrebe LCD modula, povezivanje WiFi modula (korišćenjem microBus soketa) i pinova ultrazvučnog senzora prepreka HC-SR04 na jedan od ulazno-izlaznih portova.

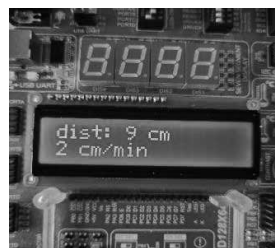


Slika 1. Razvojna ploča easyAVR v7

Za prikazivanje rezultat merenja korišćen je alfanumerički LCD (2x16) modul (slika 2.). Ovaj modul omogućava prikazivanje 32 karaktera podeljena u dva reda po 16 kolona. Kontrast osvetljenja moguće je menjati pomoću potencijometra na razvojnoj ploči. Primer funkcionisanja u okviru projekta dat je na slici broj 3.



Slika 2. 2x16 LCD alfanumerički modul (MIKROE-55)



Slika 3. Prikazivanje rezultata merenja na LCD modulu

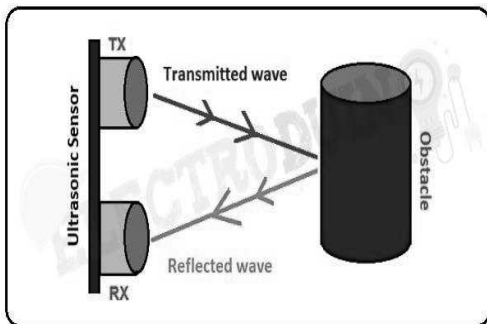
Merenje udaljenosti od prepreke vršeno je pomoću ultrazvučnog senzora HC-SR04 koji se sastoji od prijemnika, predajnika i upravljačkog kola i napaja se sa

5V. Funkcioniše tako što senzor generiše visokofrekventne zvučne (ultrazvučne) talase. Kada ovaj ultrazvuk naiđe na prepreku, reflektuje se kao eho koji prijemnik registruje (slika 5.). Sastoji se od 4 pina: VCC, GND, TRIG, ECHO (slika 4.).

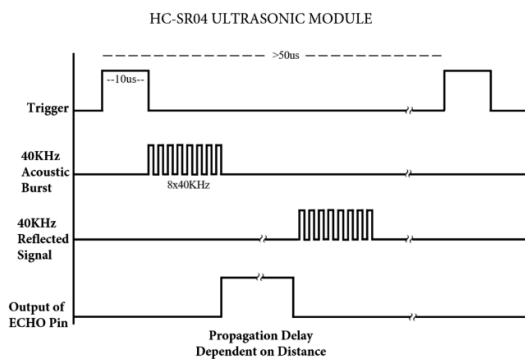


Slika 4. Ultrazvučni senzor prepreka HC-SR04

Pomoću TRIG pina šalje se ultrazvučni signal tako što se pin postavi na HIGH u trajanju od 10 mikrosekundi, nakon čega se šalje 8 taktova frekvencije 40 kHz. ECHO je pin za podatke, odnosno pomoću njega određujemo daljinu do prepreke. Pin se nakon slanja ultrazvučnog signala postavlja na HIGH i zadržava stanje sve do povratka signala na prijemnik (prikaz na slici 6.). Opseg merenja senzora je od 2 do 400 cm.



Slika 5. Slanje i prijem ultrazvučnog signala



Slika 6. Prikaz trigger signala, 8 taktova zvučnog signala (koji se odbija o prepreku) i izlaza na ECHO pinu

WiFi modul (WiFi3 Click) korišćen je za bežično uspostavljanje konekcije i slanje potrebnih podataka na

predefinisani server. Modul je na razvojnu ploču povezan preko microBus soketa i preko njegovih RX, TX, CS i RST linija komunicira sa mikrokontrolerom. S obzirom da je potrebno napajanje od 3.3 V za ovaj modul, na razvojnoj ploči treba podesiti džemper za konfiguraciju napona napajanja na zahtevanu vrednost.(Slika 7.)

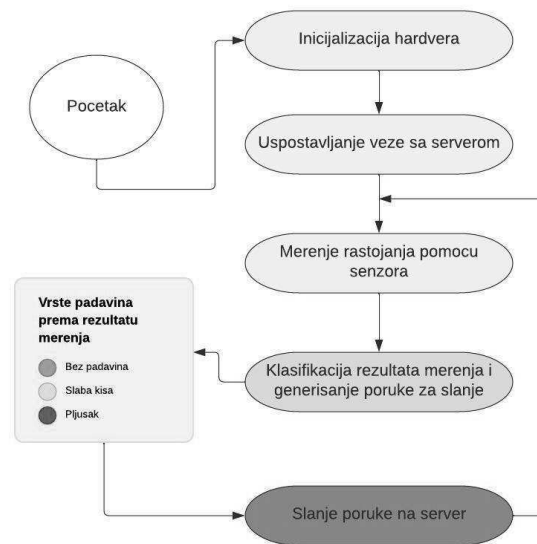


Slika 7. WiFi modul (WiFi3 Click)

3. SOFTVERSKA REALIZACIJA

Programiranje mikrokontrolera izvršeno je pomoću softverskog paketa MicroCProforAVR, razvijenog od strane Mikroelektronike.

Faze izvršavanja programa su prikazane na slici 8.



Slika 8. Faze izvršavanja programa

Prvi korak u softverskoj realizaciji obuhvataju inicijalizacija hardvera i dodeljivanje promenljivih-podešavanje parametara LCD modula namenjenog za prikaz rezultata merenja i dodeljivanje promenljivih u kojima se čuvaju rezultati merenja.

Drugi deo prvog koraka postavlja port PB0 na napon logičke nule i definiše ga kao izlazni port (povezan na

TRIG pin ultrazvučnog senzora), dok portove PB1 (povezan na ECHO pin ultrazvučnog senzora), i PC0 (namenjen da upozori da je kišnica čiji nivo raste u posudi blizu senzora) postavlja na napon logičke nule. Uspostavljanje konekcije sa serverom pomoću WiFi modula:

Pre svega potrebno je podesiti parametre za komunikaciju, koja se ostvaruje pomoću WiFi modula koristeći UART interfejs za komunikaciju. U sledećem delu koda izvršena je inicijalizacija modula:

```
UART1_Init(9600);
```

Komande koje su bile od interesa za uspostavljanje konekcije sa serverom su:

AT+RST – resetovanje modula
AT+CWMODE – izbor moda rada modula
AT+CIPMUX – odabir tipa konekcije (single connection, multiple connections)
AT+CWJAP- povezivanje na pristupnu tačku
AT+CIPSTART – odabir IP adrese, porta i protokola

Merenje porasta nivoa kišnice i klasifikacija dobijenih rezultata:

Nakon uspostavljene veze sa serverom sledi merenje pomoću ultrazvučnog senzora. S obzirom da kod ulazi u beskonačnu petlju, svakom iteracijom briše se prethodni sadržaj sa LCD modula. Prvi korak u merenju predstavlja slanje trigger signala- impuls trajanja 10 mikrosekundi.

Merenje rastojanja od prepreke vrši se kroz sledeću petlju tako što inkrementiramo brojač za 1 svakih 58 mikrosekundi sve dok je ECHO pin, odnosno PB1 na razvojnoj ploči na visokom naponu. (razlog zbog kog brojač inkrementiramo svakih 58 mikrosekundi je taj što se daljina do prepreke računa kao polovina umnoška dužine impulsa eha i brzine zvuka (približno 0.034 cm/us) što daje rastojanje od prepreke u cm).

```
while(pinb.b1==0){
};
while(pinb.b1==1){
brojac++;
delay_us(58);
}
```

Dalje, promenljivoj daljina dodeljujemo vrednost brojača i ispisujemo na LCD modulu rastojanje do prepreke, s ciljem provere ispravnosti merenja. Porast nivoa dobija se iz poslednjeg izraza – razlikom prethodnog stanja i daljine.

Sledi provera kroz if/ if else klauzule i klasifikacija padavina u 3 kategorije (bez padavina, slaba kiša, pljusak), na osnovu graničnih vrednosti zadatih u kodu. Takođe, na osnovu kategorije kojoj rezultat promene nivoa kišnice odgovara kreira se zahtevana poruka namenjena za slanje ka serveru, kao i ispisivanje ispisivanje promene nivoa na LCD modulu.

Na kraju svake iteracije poruka koja sadrži podatak o promeni nivoa kišnice i klasi padavine šalje se na server komandom AT+CIPSEND dužine 43 karaktera (dužina poruke). Zahtev, da se poruka šalje svakih 60 sekundi ostvarena je sa dve delay_ms funkcije od po 30 sekundi. Ostavljajući 30 sekundi između AT komande za slanje i komande sa tekstom poruke.



Slika 9. Primer poruke poslate na server

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je jedan od načina merenja promene količine padavina, koji ima za cilj da pokaže kako se na relativno jednostavan način može kreirati jedan "pametna" uređaj, što ostavlja za razmišljanje o mogućnosti slanja različitih ili istih vrsta podataka (prikupljenih sa senzora) sa različitih lokacija na odgovarajući server. Primena senzora promene količine padavina odnosila bi se na praćenje i merenje količine padavina u različitim regionima pri čemu se senzor se može instalirati na krovu zgrade ili na otvorenom polju kako bi merio količinu kiše koja pada u određenom periodu. Merenja ovog tipa mogu biti korisna u različitim situacijama, uključujući upravljanje vodnim resursima, prognoziranje vremena i praćenje poljoprivrednih useva.

Stoga, proizvod ovog rada bio bi od značaja poljoprivrednim proizvođačima i poljoprivrednim kompanijama koji žele pratiti količinu padavina na svojim farmama, kako bi bolje planirali navodnjavanje i zaštitu useva ili u javnom sektoru lokalnim vlastima koje žele pratiti padavine na svojim teritorijama i planirati odgovarajuće mere u slučaju nepredviđenih vremenskih uslova.

Realizovani sistem nije testiran u realnim uslovima što bi bilo neophodno pre eventualnog uvođenja u upotrebu jer je potrebno definisati način na koji bi bio zaštićen senzor i mikrokontroler od spoljnih efekata.

LITERATURA

[1] Tot Ivan, Trikoš Mladen, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Bogičević Dušan: Software Platform for Learning about Brain Wave Acquisition and Analysis, Acta Polytechnica Hungarica vol. 18, No. 3, Str./P. 147-162, 2021. godine, ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.18.3.2021.3.8

- [2] Komlen Lalović, Mitko Bogdanoski - Java GUI application for comparing the levels of biometric security - fingerprint vs. iris, Military Technical Courier, Vojnotehnički glasnik, godina 2021, Vol. 69, Issue 3, <https://doi.org/10.5937/vojtehg69-32007>.
- [3] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz modelovanja podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2022. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0771-4, COBISS.SR-ID 60674313
- [4] Tot Ivan: Zbirka zadataka iz baza podataka, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), 2020. godine, Vojna štamparija Beograd, ISBN 978-86-335-0700-4, COBISS.SR-ID 13686537
- [5] Tot Ivan, Lalović Komlen, Brzaković Miodrag: Zbirka zadataka iz SQL-a, pomoćni udžbenik (zbirka zadataka), izdavač MEF, jul 2018., ISBN 978-86-84531-32-4, COBISS.SR-ID 264003596
- [6] Ranitović Predrag, Tot Ivan, Đorović Boban, Tepić G., Todić V. V.: Logistic model of the security system in the military industry repair sector, Metalurgija vol. 52, Br./No. 2, Str./P 271-274, 2013. godine, ISSN 0543-5846, UDC: 621.747 : 621.006.2 : 658.564 = 111
- [7] Komlen Lalović, Ivan Tot, Aleksandra Arsić, Milan Škarić - Security Information System, Based on Fingerprint Biometrics, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 16, Issue Number 5, 2019 DOI: 10.12700/APH.16.5.2019.5.6
- [8] Komlen Lalović, Milan Milosavljević, Ivan Tot, Nemanja Maček: Device for Biometric Verification of Maternity, Serbian Journal of Electrical Engineering-Vol. 12, No. 3, October 2015, DOI: 10.2298/SJEE1503293L
- [9] Komlen Lalović, Nemanja Maček, Milan Milosavljević, Mladen Veinović, Igor Franc, Jelena Lalović, Ivan Tot - Biometric Verification of Maternity and Identity Switch Prevention in Maternity Wards, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 13, Issue Number 13, 2016 DOI: 10.12700/APH.13.5.2016.5.4
- [10] Lalović, Jasmina Nikolić, Ivan Tot, Žana Lalović - Software Algorithm of Device for biometric identification of Parenthood, BISEC 2016 - International conference in Security ICT, October 15th-Belgrade, Serbia
- [11] Komlen Lalović, Book: Java programiranje 2 i uvod u baze podataka kroz MySQL, 2021. Srbija, ISBN: ISBN 978-86-902148-1-5, Issuer: Golden mind llc - IT consultingKomlen 7281-2901-3, IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8769419>
- [13] Komlen Lalović, Book: Osnove java programiranja, Beograd 2020. Srbija, ISBN: 978-86-902148-0-8, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [14] Komlen Lalović, Ivan Tot, Svetlana Andjelić - How to Guarantee Baby Identity based on Fingerprint Biometry, BiseC 2017 - International conference in Security ICT, October 18th-Belgrade, Serbia
- [15] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan, Bogićević Dušan: Model for authenticating the Internet of Military Things and Internet of Battlefield, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [16] Vulić Ivan, Prodanović Radomir, Tot Ivan: An Example of a Methodology for Developing the Security of a Distributed Business System, 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019), 2019. godine, DOI: 10.2991/senet-19.2019.34, ISSN: 2352-5428, ISBN: 978-94-6252-861-1
- [17] Lalović Komlen, Tot Ivan: Biometric Security Level Fingerprint vs. Iris and Forming Period at Humans, 10th International Conference on Business Information Security BISEC'2018, ISBN: 978-86-89755-17-6, COBISS.SR-ID 277900812
- [18] Komlen Lalović, Patent Overview: Device for Fingerprint Identity Guarantee - Military Technical Courier, 2018, Vol. 66, Issue 2, <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15868>
- [19] Komlen Lalović, book: Biometrija otiska prsta od momenta rođenja, Beograd 2018/2/10. Srbija, ISBN: 978-86-84531-31-7, Issuer: Golden mind llc - IT consulting
- [20] Tot Ivan, Bogićević Dušan, Trikoš Mladen, Lalović Komlen: Fiware: A Web of Things Development Platform, Vojnotehnički glasnik, vol. 66, br. 4, 2018. godine, ISSN: 0042-8469 DOI: 10.5937/vojtehg66-17063, UDC: 623 + 355/359
- [21] Komlen Lalović, Ivana Živić: ANDROID – JAVA mobile application for presenting fingerprint scanner results, YU Info IT konferencija 2022. Mart – Kopaonik, Srbija.
- [22] Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Jovanović Boriša, Trikoš Mladen, Bogićević Dušan, Gajić Tamara: Biometric standards and methods, Vojnotehnički glasnik, vol. 69, br. 4, 2021. godine, ISSN: 0042-8469, DOI: 10.5937/vojtehg69-32296
- [23] Bogićević Dušan, Leonid Stoimenov, Tot Ivan, Prodanović Radomir, Vulić Ivan: A new IoT solution for control of the entry and routing the vehicle, 10th International Conference on Information Society and Technology ICIST 2020, 2020. godine, ISBN: 978-86-85525-24-7
- [12] Trikoš Mladen, Tot Ivan, Bajčetić Jovan, Lalović Komlen, Jovanović Boriša, Bogićević Dušan: Biometric Security Standardization, Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC), 2019. godine, DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769419, ISBN: 978-1-

Indeks svih autora konferencije "YU INFO 2023":

Autor	Sesija	Broj rada u sesiji
Aleksandrov, Radica	YU-S4-ON2	4.3.
Aleksandrov, Slobodan	YU-S4-ON2	4.3.
Aleksić, Aleksandar	YU-S2-RZF	2.4.
Aleksić, Danijela	YU-S6-SAI	6.5.
Andrić, Milenko	YU-S7-VPS	7.1.
Andrijević, Nebojša	YU-S4-ON2	4.4.
Antić, Slobodan	YU-S5-EDR	5.4.
Antunović-Terzić, Sandra	YU-S4-ON2	4.2.
Atanasijević, Jordan	YU-S6-SAI	6.4.
Babović, Elmir	YU-S1-ON1	1.5.
Belotić, Branislav	YU-S8-VPPS	8.11.
Berković, Ivana	YU-S1-ON1	1.3.
Blažić, Marko	YU-S1-ON1	1.9.
Blažić, Marko	YU-S1-ON1	1.3.
Bogdanović, Dalibor	YU-S1-ON1	1.5.
Bolbotinović, Željko	YU-S5-EDR	5.3.
Bondžulić, Boban	YU-S6-SAI	6.10.
Čabarkapa, Milan	YU-S2-RZF	2.2.
Cincović, Jelica	YU-S3-VI	3.5.
Ćitić, Nikola	YU-S8-VPPS	8.15.
Ćulibrk, Dubravko	YU-S3-VI	3.3.
Cvijanović, Đorđe	YU-S8-VPPS	8.4.
Cvjetković, Slobodanka Jelena	YU-S4-ON2	4.2.
Cvjetković, Slobodanka Jelena	YU-S4-ON2	4.5.
Danilović, Miloš	YU-S6-SAI	6.8.
Delibašić, Boris	YU-S3-VI	3.3.
Delić, Vlado	YU-S3-VI	3.1.
Delić, Vlado	YU-S3-VI	3.2.
Dimitrijević, Aleksandar	YU-S1-ON1	1.2.
Dodevska, Zorica	YU-S3-VI	3.3.
Đorđević, Borislav	YU-S7-VPS	7.2.
Đorđević-Milutinović, Lena	YU-S5-EDR	5.4.
Drakulić, Momir	YU-S7-VPS	7.1.
Drašković, Dražen	YU-S3-VI	3.5.
Đukić, Predrag	YU-S4-ON2	4.5.
Erić-Obućin, Jelena	YU-S4-ON2	4.3.
Gajin, Slavko	YU-S2-RZF	2.3.
Gavrilović-Božović, Marijana	YU-S2-RZF	2.2.

Gjorgjevikj, Ana	YU-S3-VI	3.4.
Glušac, Dragana	YU-S1-ON1	1.9.
Ilić, Denis	YU-S2-RZF	2.4.
Ivanović, Stefan	YU-S6-SAI	6.6.
Ivetić, Dragan	YU-S1-ON1	1.3.
Janev, Marko	YU-S3-VI	3.2.
Janković, Dragan	YU-S1-ON1	1.4.
Janković, Zoran	YU-S2-RZF	2.1.
Jeličić, Mihael	YU-S4-ON2	4.5.
Jovanović, Emilija	YU-S8-VPPS	8.1.
Jovanović, Mihajlo	YU-S8-VPPS	8.2.
Jovanović, Miloš	YU-S8-VPPS	8.1.
Jovičević, Milomir	YU-S8-VPPS	8.6.
Kaplanović, Nemanja	YU-S8-VPPS	8.12.
Katin, Andrej	YU-S4-ON2	4.10.
Knežević, Ivan	YU-S4-ON2	4.6.
Knežević, Ivan	YU-S4-ON2	4.7.
Kojić, Nenad	YU-S2-RZF	2.5.
Korolija, Nenad	YU-S1-ON1	1.8.
Korolija, Nenad	YU-S4-ON2	4.1.
Kraljević, Nenad	YU-S7-VPS	7.2.
Kresović, Dejana	YU-S5-EDR	5.2.
Kresović, Dejana	YU-S5-EDR	5.3.
Krstanović, Lidija	YU-S3-VI	3.2.
Lalović, Komlen	YU-S6-SAI	6.2.
Lončar, Miloš	YU-S5-EDR	5.3.
Luknar, Ivana	YU-S1-ON1	1.6.
Majstorović, Vidosav	YU-S6-SAI	6.3.
Makitan, Vesna	YU-S1-ON1	1.9.
Manojlović, Stojadin	YU-S7-VPS	7.5.
Marinković, Milica	YU-S8-VPPS	8.3.
Marković, Marko	YU-S8-VPPS	8.13.
Milenković, Aleksandar	YU-S1-ON1	1.4.
Milić, Saša	YU-S2-RZF	2.4.
Miljković, Katarina	YU-S7-VPS	7.6.
Miljković, Milan	YU-S7-VPS	7.6.
Milošević, Aleksandar	YU-S8-VPPS	8.7.
Milovanović, Dragorad	YU-S1-ON1	1.7.
Milovanović, Nikola	YU-S7-VPS	7.2.
Miodragović, Goran	YU-S4-ON2	4.3.
Mishev, Kostadin	YU-S3-VI	3.4.
Mišić, Marko	YU-S6-SAI	6.1.
Mišković, Dragiša	YU-S3-VI	3.3.

Mišković, Žarko	YU-S6-SAI	6.3.
Mitrić, Milica	YU-S3-VI	3.5.
Mitričević, Nina	YU-S7-VPS	7.3.
Mitrović, Radivoje	YU-S6-SAI	6.3.
Negočić, Rastko	YU-S6-SAI	6.3.
Nemec, Dejan	YU-S1-ON1	1.1.
Nemec, Dejan	YU-S4-ON2	4.6.
Nemec, Dejan	YU-S4-ON2	4.7.
Nikolić, Boško	YU-S3-VI	3.5.
Nosek, Tijana	YU-S3-VI	3.1.
Obradović, Miloš	YU-S3-VI	3.7.
Obradović, Miloš	YU-S3-VI	3.8.
Obradović, Predrag	YU-S6-SAI	6.1.
Ognjenović, Višnja	YU-S1-ON1	1.3.
Pakoci, Edvin	YU-S3-VI	3.2.
Pantić, Milan	YU-S7-VPS	7.2.
Pavlović, Dejan	YU-S6-SAI	6.7.
Pavlović, Rade	YU-S7-VPS	7.3.
Pavlović, Rade	YU-S7-VPS	7.4.
Pekar, Darko	YU-S3-VI	3.1.
Pekar, Darko	YU-S3-VI	3.2.
Petrović, Dalibor	YU-S5-EDR	5.4.
Petrović, Justina	YU-S7-VPS	7.4.
Petrović, Nada	YU-S6-SAI	6.5.
Popov, Srđan	YU-S1-ON1	1.3.
Popovac, Ranka	YU-S5-EDR	5.2.
Popovac, Ranka	YU-S5-EDR	5.3.
Popović, Branislav	YU-S3-VI	3.1.
Popović, Branislav	YU-S3-VI	3.2.
Popović, Miloš	YU-S1-ON1	1.8.
Popović, Miloš	YU-S4-ON2	4.1.
Prodanović, Radomir	YU-S6-SAI	6.9.
Protić, Jelica	YU-S3-VI	3.7.
Protić, Jelica	YU-S3-VI	3.8.
Protić, Jelica	YU-S6-SAI	6.1.
Radojčić, Dragana	YU-S3-VI	3.9.
Radojčić, Stefan	YU-S5-EDR	5.2.
Radovanović, Radovan	YU-S2-RZF	2.4.
Radulović, Jasna	YU-S2-RZF	2.2.
Rajković, Petar	YU-S1-ON1	1.4.
Ristić, Vladimir	YU-S6-SAI	6.10.
Sabo, Miroslav	YU-S8-VPPS	8.14.
Samardžić, Biljana	YU-S4-ON2	4.8.

Samardžić, Biljana	YU-S4-ON2	4.9.
Sečujski, Milan	YU-S3-VI	3.1.
Sečujski, Milan	YU-S3-VI	3.2.
Simeunović, Vladimir	YU-S6-SAI	6.3.
Simić, Dejan	YU-S3-VI	3.6.
Sladojević, Srđan	YU-S4-ON2	4.10.
Srbljanović, Aleksa	YU-S3-VI	3.7.
Srbljanović, Aleksa	YU-S3-VI	3.8.
Stanišić, Sava	YU-S8-VPPS	8.10.
Stanković, Momir	YU-S7-VPS	7.5.
Stanojev, Vuk	YU-S3-VI	3.1.
Stanojević, Nebojša	YU-S5-EDR	5.2.
Stefanović, Darko	YU-S4-ON2	4.10.
Stojanović, Ivana	YU-S6-SAI	6.10.
Stojanović, Jana	YU-S6-SAI	6.1.
Stojanović, Nenad	YU-S6-SAI	6.10.
Stošić, Dragan	YU-S6-SAI	6.3.
Štrbac-Savić, Svetlana	YU-S1-ON1	1.8.
Štrbac-Savić, Svetlana	YU-S4-ON2	4.1.
Suzić, Siniša	YU-S3-VI	3.1.
Terzić, Rajko	YU-S1-ON1	1.7.
Todorović, Filip	YU-S6-SAI	6.3.
Tomić, Mihailo	YU-S8-VPPS	8.9.
Tot, Ivan	YU-S6-SAI	6.2.
Tot, Ivan	YU-S6-SAI	6.9.
Tot, Ivan	YU-S8-VPPS	8.1.
Trajanov, Dimitar	YU-S3-VI	3.4.
Urošević, Vlade	YU-S4-ON2	4.4.
Vasić, Nikola	YU-S8-VPPS	8.8.
Vasković-Jovanović, Mina	YU-S2-RZF	2.2.
Vasković-Jovanović, Mina	YU-S2-RZF	2.4.
Veljanovski, Aleksandar	YU-S1-ON1	1.4.
Veljanovski, Marija	YU-S1-ON1	1.4.
Veselinović, Luka	YU-S8-VPPS	8.5.
Vrljić, Ivan	YU-S4-ON2	4.2.
Vugdelija, Jana	YU-S6-SAI	6.8.
Vugdelija, Natalija	YU-S2-RZF	2.5.
Vukmirović, Dragan	YU-S5-EDR	5.2.
Vukmirović, Dragan	YU-S5-EDR	5.3.
Vukmirović, Jovanka	YU-S5-EDR	5.1.
Vulić, Ivan	YU-S6-SAI	6.9.
Zajeganović, Marija	YU-S2-RZF	2.5.
Živadinović, Miloš	YU-S3-VI	3.6.

Živić, Miloš	YU-S1-ON1	1.1.
Živojinović, Lazar	YU-S1-ON1	1.8.
Zlatković, Bojana	YU-S4-ON2	4.8.
Zlatković, Bojana	YU-S4-ON2	4.9.
Zorica, Siniša	YU-S4-ON2	4.2.
Zorica, Siniša	YU-S4-ON2	4.5.