

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

ČETRDESET DRUGI SIMPOZIJUM
O NOVIM TEHNOLOGIJAMA U
POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM
SAOBRAĆAJU

PosTel 2024

THE FORTY-SECOND SYMPOSIUM
ON NOVEL TECHNOLOGIES IN
POSTAL AND TELECOMMUNICATION
TRAFFIC

26. i 27. novembar 2024.

BEOGRAD

**UNIVERZITET U BEOGRADU - SAOBRAĆAJNI FAKULTET
ODSEK ZA POŠTANSKI I TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ**

**ČETRDESET DRUGI SIMPOZIJUM
O NOVIM TEHNOLOGIJAMA U
POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM
SAOBRAĆAJU**

ZBORNİK RADOVA

PosTel 2024

EDITORI:

**Prof. dr Valentina Radojičić
Prof. dr Nebojša Bojović
Prof. dr Dejan Marković
Prof. dr Goran Marković**

**BEOGRAD
26. i 27. novembar 2024. godine**

**PosTel 2024 – XLII Simpozijum o novim tehnologijama
u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju
– zbornik radova –**

Editori:	Prof. dr Valentina Radojičić Prof. dr Nebojša Bojović Prof. dr Dejan Marković Prof. dr Goran Marković
Za izdavača:	Prof. dr Milorad Kilibarda, dekan
Glavni i odgovorni urednik:	Prof. dr Mirjana Bugarinović
Priprema:	Prof. dr Momčilo Dobrodolac
Izdavač:	Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Telefon: 3976-017, Fax: 3096-704, http://www.sf.bg.ac.rs
Štampa:	DONAT GRAF DOO BEOGRAD, Vučka Milićevića, 29, 11306 Grocka
Tiraž:	300 primeraka
Godina publikovanja:	2024.
DOI:	https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954899/POSTEL.2024.PS
Web stranica Simpozijuma:	postel.sf.bg.ac.rs
Kontakt e-mail:	postel@sf.bg.ac.rs
ISBN 978-86-7395-489-9	

Izdavač zadržava sva prava.
Reprodukcija pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

ORGANIZATOR

UNIVERZITET U BEOGRADU – SAOBRAĆAJNI FAKULTET
ODSEK ZA POŠTANSKI I
TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ

SUORGANIZATORI

JAVNO PREDUZEĆE "POŠTA SRBIJE"

"TELEKOM SRBIJA" A.D.

REGULATORNO TELO ZA ELEKTRONSKE
KOMUNIKACIJE I POŠTANSKE USLUGE – RATEL

POKROVITELJI

MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I
INOVACIJA REPUBLIKE SRBIJE

MINISTARSTVO INFORMISANJA I TELEKOMUNIKACIJA
REPUBLIKE SRBIJE

DONATORI I SPONZORI

UNICOM TELECOM D.O.O.

TCOM D.O.O.

A1 SRBIJA D.O.O.

KBV DATACOM D.O.O.

SAOBRAĆAJNI INSTITUT CIP D.O.O.

IRITEL A.D.

CRONY D.O.O.

DEX D.O.O.

POČASNI ODBOR

Dobrivoje Jovanović
Zoran Bojković
Milan Bukumirović
Miodrag Bakmaz
Nataša Gospić
Vujadin Vešović

PROGRAMSKI ODBOR

Radojičić Valentina, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, predsednik Odbora
Bakmaz Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Bojović Nebojša, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Dimitrijević Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Đogatović Marko, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Jevtić Nenad, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Jovanović Mihailo, Kancelarija za informacione tehnologije
i elektronsku upravu
Jovičić Olja, JP Pošta Srbije
Knežević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Malnar Marija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Marković Goran, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Mikavica Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Ostojić Ljubomir, RATEL
Pejović Dragan, RATEL
Popović Đorđe, Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Saobraćajni fakultet u Doboju
Radonjić Đogatović Vesna, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Samčović Andreja, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Simić Vladimir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Stanivuković Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Stojanović Mirjana, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Šarac Dragana, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka
Trubint Nikola, RATEL

ORGANIZACIONI ODBOR

Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, predsednik Odbora
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Bugarčić Pavle, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Čupić Aleksandar, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Đumić Slavko, JKP Infostan tehnologije
Jovanović Bojan, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka
Manović Momir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Matijašević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Mitrović Slobodan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

P R E D G O V O R

Zbornik radova XLII Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2024, sadrži rezultate istraživanja iz oblasti poštanskog i telekomunikacionog saobraćaja u proteklom jednogodišnjem periodu.

Organizator Simpozijuma je Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj Saobraćajnog fakulteta u Beogradu. Suorganizatori su: JP "Pošta Srbije", "Telekom Srbija" a.d. i Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge – RATEL. Pokrovitelji su: Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Ministarstvo informisanja i telekomunikacija Republike Srbije.

Tematika Simpozijuma vezana je za aktuelna istraživanja u oblastima od posebnog značaja za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj, kod nas i u okruženju. Radovi su po pozivu i svrstani su u tri sekcije:

- *Menadžment procesa u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju,*
- *Poštanski saobraćaj, mreže i servisi,*
- *Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi.*

*Autori sekcije **Menadžment procesa u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju** istraživali su aktuelne teme poštanskog i telekomunikacionog sektora, i mogućnosti primene savremenih menadžerskih alata i tehnika za rešavanje problema u ovim sektorima. Fokus autora bio je na analizi daljeg razvoja poštanskog i telekomunikacionog sektora, odnosno trendova koji ga karakterišu, kroz primenu odgovarajućih modela prognoziranja u različitim sektorima poštanskog saobraćaja, pronalaženje inovativnih rešenja u tehnološkim procesu prenosa i dostave poštanskih pošiljaka, a sve sa ciljem prilagođavanja novonastalim uslovima poslovanja sa posebnim osvrtom na oblast elektronskog poslovanja.*

*Sekcija **Poštanski saobraćaj, mreže i servisi** sadrži radove koji sa naučnog i stručnog aspekta analiziraju poštanski sektor i pripadajuće aktuelnosti. Autori radova, između ostalog, istražuju stavove korisnika o poštanskim uslugama, modele održivosti univerzalne poštanske usluge, proces standardizacije u poštanskom saobraćaju. Pored toga, autori predlažu primenu odgovarajućih metoda višekriterijumske analize za instalaciju paketomata. Takođe, predmet interesovanja u ovoj sekciji je primena savremenih*

tehnoloških rešenja, kao što su roboti u poštanskim preradnim centrima ili veštačka inteligencija u poštanskim sistemima.

Radovi u sekciji **Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi** obrađuju aktuelne teme i dostignuća u razvoju savremenih telekomunikacionih mreža, sistema i tehnologija. Značajan broj radova fokusiran je na probleme inženjeringa telekomunikacionog saobraćaja, razmatrajući posebno aspekte oblikovanja, karakterizacije i prognoze saobraćaja u mrežama, kao i probleme optimizacije resursa mreže. Poseban akcenat stavljen je na razvoj i implementaciju savremenih rešenja inteligentnih transportnih sistema (ITS) u funkciji unapređenja bezbednosti saobraćaja i upravljanja u drumskom, železničkom i vodnom saobraćaju, kao i na razvoj naprednih arhitektura, bezbednosnih rešenja i protokola rutiranja u budućim mrežama vozila / letelica (VANET/FANET). Pored toga, istraživani su i koncept pametnih gradova, dok je deo radova posvećen istraživanjima metoda kompresije slike, simulacionom modelovanju mobilnih mreža, problemu hendover odlučivanja u heterogenim bežičnim mrežama i dr.

Editori

S A D R Ź A J

MENADŽMENT PROCESA U POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM SAOBRAĆAJU

Marko Đogatović, David Cvetković, Nikola Matijašević:

DECENTRALIZOVANA KRAUDSORSING
PLATFORMA ZA DOSTAVU POŠILJAKA..... 3

Branka Dimitrijević, Danijela Mitrović, Marija Marić, Igor Milanov:

VIŠEKRITERIJUMSKO MODELIRANJE PROBLEMA
UVOĐENJA I INTEGRACIJE APLIKATIVNIH
REŠENJA B2B KORISNIKA I JP “POŠTA SRBIJE” 13

Olja Jovičić, Spasenija Ožegović:

BUDUĆNOST E-KOMERCA – E-KOMERC KAO
KLJUČNI POKRETAČ INOVATIVNOSTI,
KONKURENTNOSTI I EKONOMSKOG RASTA..... 23

Dordije Dupljanin, Milena Ninović, Slaviša Dumnić:

EKONOMIJA DELJENJA U SISTEMIMA
PRENOSA POŠILJAKA..... 33

Bojan Jovanović, Nataša Čačić:

MODEL ZA PROGNOZU STOPE GRANIČNE DOBITI NA
OSNOVU UČEŠĆA POJEDINIH GRUPA USLUGA U PRIHODU
NACIONALNIH POŠTANSKIH OPERATORA..... 41

Nataša Milosavljević, Miloš Milenković, Nikola Knežević, Nebojša Bojović:	
COMPARISON OF ARIMA AND LSTM FOR POSTAL TRAFFIC VOLUME FORECASTING.....	47

POŠTANSKI SAOBRAĆAJ, MREŽE I SERVISI

Amel Kosovac, Ermin Muharemović, Nino Čorić, Nedim Moranjkić:	
POSTAL SERVICES IMPROVEMENTS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA THROUGH USERS' PERSPECTIVE: A COMPREHENSIVE SURVEY ANALYSIS.....	61

Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Sladana Tomašević:	
MODEL ODRŽIVOSTI UNIVERZALNE POŠTANSKE USLUGE.....	71

Biljana Grgurović, Slavica Radosavljević, Jelena Milutinović, Jovanka Šević:	
STANDARDIZACIJA U POŠTANSKOM SAOBRAĆAJU – OBAVEZE PREMA REGULATIVI EVROPSKE UNIJE I PRIMENA STANDARDA.....	83

Željko Stević, Eldina Huskanović, Kristijan Lukić, Vladimir Simić:	
IZBOR LOKACIJA ZA INSTALACIJU PAKETOMATA PRIMJENOM FUCOM-MARCOS MODELA.....	93

Aleksandar Čupić, Mladenka Blagojević, Dejan Marković, Đorđe Popović:	
PRIMENA ROBOTA U POŠTANSKIM PRERADNIM CENTRIMA.....	103

Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Aleksandar Trifunović, Maja Petrović:	
MOGUĆNOSTI PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U POŠTANSKIM SISTEMIMA.....	113

TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ, MREŽE I SERVISI

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić:

PRIMENA TEHNIKE OBLIKOVANJA
SAOBRAĆAJA U BACKUP PROCESIMA..... 125

**Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica, Mirjana Stojanović,
Momir Manović:**

PRIMENA, ARHITEKTURE I BEZBEDNOST VANET
MREŽA ZASNOVANIH NA SDN TEHNOLOGIJI..... 135

Ivan Grgurević, Dragan Peraković, Marko Periša, Antonio Brdar:

OVERVIEW OF TRAFFIC FORECASTING
METHODS IN OPTICAL NETWORKS..... 145

Andreja Samčović, Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Ana Gavrovska:

SVOJSTVA MULTIMEDIJALNOG
SAOBRAĆAJA IoT APLIKACIJA..... 155

Goran Marković, Ivana Stefanović, Snežana Mladenović:

IMPLEMENTACIJA MODELA ZA RUTIRANJE I ALOKACIJU
PROPUSNOG OPSEGA KOD ELASTIČNIH OPTIČKIH MREŽA..... 165

Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović:

DETEKCIJA JEDVA UOČLJIVIH RAZLIKA NA
SLIKAMA SA KOMPRESIJOM U INFRACRVENOM
DELU ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA..... 175

Vesna Radonjić Đogatović, Milica Danilović:

SISTEMI ZA PREPORUČIVANJE
U PAMETNIM GRADOVIMA..... 185

Milica Selmić, Aleksandra Ivanović, Milos Nikolić, Predrag Grozdanović:

PRIMENA FAZI LOGIKE ZA VERTIKALNI
HENDOVER U HETEROGENIM BEŽIČNIM MREŽAMA..... 197

Marija Malnar, Pavle Bugarčić:	
PRIMENA UČENJA POTKREPLJIVANJEM U PROTOKOLIMA RUTIRANJA ZA FANET MREŽE.....	205
Nenad Jevtić, Milica Đorđević:	
PRIMENA SIONNA SOFTVERA ZA SIMULACIJE FIZIČKOG SLOJA 5G/6G MREŽA.....	215
Ana Ilić, Jelena Radović, Slaven Tica:	
PRINCIPIJELNO PROJEKTNO REŠENJE GSM-R SISTEMA U TUNELIMA U SKLOPU MODERNIZACIJE DEONICE BEOGRAD CENTAR – STARA PAZOVA – (NOVI SAD).....	225
Emir Smailović, Dalibor Pešić, Boris Antić, Krsto Lipovac:	
INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI U FUNKCIJI BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA AUTOPUTEVIMA U REPUBLICI SRBIJI	231
Rade Sekulić, Miroslav Gordanić, Dejan Kukolj, Milan Grujović:	
ITS I NJIHOVA INTEGRACIJA U SLUŽBI BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA PUTEVIMA: IZAZOVI PRI PROJEKTOVANJU I INTEGRACIJI.....	241
Dušan Mladenović, Miroslav Petrović:	
VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U UPRAVLJANJU PUTNOM INFRASTRUKTUROM.....	249
Enis Kočan, Milutin Radonjić, Igor Stanovčić, Božo Krstajić:	
TELEKOMUNIKACIONI SISTEMI U PREDLOGU RJEŠENJA ZA E-NAVIGACIJU NE-SOLAS PLOVILA.....	259
Registar ORCID brojeva autora.....	269

**MENADŽMENT PROCESA
U POŠTANSKOM I
TELEKOMUNIKACIONOM
SAOBRAĆAJU**

DECENTRALIZOVANA KRAUDSORSING PLATFORMA ZA DOSTAVU POŠILJAKA

Marko Đogatović, David Cvetković, Nikola Matijašević
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, davidcvetkovic58@gmail.com, nikola.matijasevic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Tradicionalne kraudsorsing (crowdsourcing) platforme angažuju ljudske resurse radi rešavanja problema koje korisnici tih platformi postavljaju. Međutim, rad takvih sistema regulišu centralizovani serveri koji ne pružaju odgovarajuću zaštitu podataka. Najpogodniji način da se taj nedostatak prevaziđe jeste prelaz na decentralizovani model upravljanja, čime se pored veće bezbednosti postiže i poverenje između korisnika. U ovom radu prikazana je decentralizovana kraudsorsing platforma za dostavu pošiljaka, gde su ključni procesi platforme automatizovani pametnim ugovorima.

Ključne reči: kraudsorsing, blokčejn tehnologija, pametan ugovor, dostava pošiljaka

1. Uvod

Početak 21. veka, Internet je povezivao više od 400 miliona korisnika. Taj broj je svakodnevno rastao, a sa njim i količina novih ideja i mogućnosti. Istovremeno, ekonomija deljenja je pokušavala da proširi prednosti razmene sredstava i usluga na veći segment populacije. Sudar ova dva fenomena rezultirao je stvaranjem onlajn platformi koje su omogućile lako deljenje resursa između svih Internet korisnika. Danas se najveći broj takvih platformi bazira na umrežavanju članova koji traže rešenje nekog problema, sa članovima koji to rešenje mogu da pruže, a takav oblik ekonomije deljenja naziva se kraudsorsing [1]. Kada je u pitanju dostava pošiljaka, kraudsorsing platforme ostvaruju interakciju između pošiljalaca i kurira, odnosno članova koji zahtevaju transport pošiljaka sa članovima koji taj transport mogu da obave. Međutim, iako tradicionalni kraudsorsing sistemi (TKS) naizgled funkcionišu dobro, oni često ne mogu da obezbede adekvatno upravljanje i zaštitu podataka, što ih često čini metom sajber napada [2].

Do danas je objavljen veliki broj radova posvećenih rešavanju ovih, ali i drugih problema TKS, gde se pokazalo da najveći potencijal leži u tehnologijama distribuiranog registra, od kojih je najpoznatija blokčejn (*blockchain*) tehnologija. Cilj ovog rada je analiza decentralizovane kraudsorsing platforme za dostavu pošiljaka, koja štiti podatke skladištenjem u distribuiranom okruženju, a zasniva se na pametnim ugovorima koji automatizuju glavne procese.

Rad je koncipiran na sledeći način: U drugom poglavlju su objašnjene karakteristike blokčejn tehnologije koje su od značaja za razumevanje ostatka rada. Treće poglavlje opisuje osnovne principe kraudsorsing platformi i njihovo poboljšanje uz pomoć blokčejn tehnologije. U četvrtom poglavlju je dat koncept decentralizovane kraudsorsing platforme za dostavu pošiljaka i prikaz korisničkog interfejsa platforme. U poslednjem poglavlju sumirani su rezultati rada.

2. Blokčejn tehnologija

Tehnologije distribuiranog registra (*Distributed Ledger Technologies, DLT*) predstavljaju digitalne sisteme za čuvanje podataka. Ono što ih razlikuje od klasičnih baza jeste činjenica da njima upravljaju mnogobrojni računari (čvorovi) koji kontinualno proveravaju ispravnost podataka u mreži.

Svi računari imaju jednaku važnost, čineći mrežu decentralizovanom, a podaci koji se u njoj čuvaju distribuirani su između svih računara. Pristup podacima omogućava računarima učestvovanje u njihovoj verifikaciji, a u tome im pomažu mehanizmi konsenzusa koji postižu sporazum o ispravnosti transakcija. Usaglašavanjem većine čvorova oko validnosti transakcija nastaje jedinstveni izvor istine koji ostvaruje poverenje u mreži i autentifikaciju transakcija bez posrednika.

Blokčejn tehnologija je glavni predstavnik ovih sistema, a njena prvobitna funkcija je bila obavljanje elektronskog plaćanja bez posredovanja finansijskih institucija [3]. Međutim, benefiti tehnologije su se brzo proširili na druge industrije. Radi lakšeg razumevanja daljeg teksta, pogodno je podeliti učesnike blokčejn mreže na sledeći način:

- 1) Čvorovi – računari koji automatski proveravaju ispravnost podataka,
- 2) Rudari – podvrsta čvorova - regulišu generisanje blokova,
- 3) Korisnici – osobe koje vrše transakcije, ali ne učestvuju u kontroli mreže.

Identitet korisnika je određen kombinacijom javnog i privatnog ključa, koji se pored identifikacije koriste i za potpisivanje obavljenih transakcija. Kada korisnik inicira transakciju, njen sadržaj se šifruje hešing (*hashing*) funkcijom, čiji je izlaz jedinstveni heksadecimalni zapis - heš (*hash*). Šifrovani podaci se dalje potpisuju pomenutim parom ključeva, pri čemu tzv. digitalni potpis jednoznačno povezuje transakciju sa korisnikom. Transakcija zatim postaje vidljiva svim čvorovima mreže, koji tada mogu započeti proces verifikacije. Da bi potvrdili ispravnost, potrebno je da su poreklo i sadržaj transakcije nepromenjeni, što će potvrditi nepromenjenost heš vrednosti i digitalnog potpisa. Validne transakcije se smeštaju u blok, čiji se sadržaj takođe hešuje. Svaki blok je obeležen svojim, i hešom prethodnog bloka. Na taj način se stvara "neraskidiv" lanac blokova čiji se sadržaj više ne može promeniti [4]. Ovaj princip dodatno je ilustrovan Slikom 1.



Slika 1. Princip rada blokčejn tehnologije

2.1 Mehanizmi konsenzusa

Da bi se ostvarilo poverenje u decentralizovanoj mreži, koriste se protokoli koji postižu jednoglasnost oko ispravnosti transakcija, ali eliminišući uticaj zlonamernih čvorova. Takvi protokoli se nazivaju mehanizmi konsenzusa, a u ostatku poglavlja su detaljnije objašnjeni neki od najznačajnijih u trenutku pisanja ovog rada.

Proof-of-Work (PoW) je prvi mehanizam konsenzusa korišćen u blokčejn tehnologiji. PoW sprečava zlonamerne aktivnosti tako što zahteva od rudara da reše računarski zahtevne matematičke probleme pre nego što mogu dodati blok u lanac [5]. Ako bi rudar pokušao da podnese lažnu transakciju (npr. dvostruko slanje istog novca [6]), pretrpeće troškove prouzrokovane iskorišćenim resursima, dok će ostali rudari negirati ispravnost dodatog bloka, čineći pokušaj prevare neisplativim.

Proof-of-Stake (PoS) je energetska efikasnija alternativa PoW mehanizmu, jer umesto računarskih resursa, validatori blokova ulažu novac, pri čemu je verovatnoća odabira validatora direktno proporcionalna uloženom iznosu [7]. U ovom slučaju, izazov je nedostatak ulaganja, što može dovesti do većeg stepena centralizacije.

Byzantine Fault Tolerance (BFT) je grupa mehanizama kod kojih čvorovi postižu konsenzus putem međusobne komunikacije. Međutim, za razliku od prethodna 2 mehanizma, BFT ne zahteva nikakvo ulaganje koje bi podstaklo čvorove na pošteno ponašanje. Jedini način da se zlonamerni čvorovi spreče, jeste da njihov broj ne prelazi 1/3 ukupnog broja čvorova, zbog čega se BFT mehanizmi koriste samo u mrežama sa malim brojem učesnika [7].

2.2 Pametni ugovori

Pametni ugovori su računarski programi koji digitalizuju odredbe nekog ugovora i automatski ih izvršavaju po ispunjenju unapred utvrđenih uslova [8]. Pretvaranjem ugovora u računarski kod, sva njegova svojstva se objedinjuju u jedan softver, a realizacijom na blokčejn mreži, softveri nasleđuju i svojstva blokčejn tehnologije [9]. Proces stvaranja pametnih ugovora može se podeliti na nekoliko faza, od kojih je prva međusobni dogovor transaktora oko odredbi i uslova. Nakon toga se dogovoreni parametri pretvaraju u kod koji se izvršava na blokčejn mreži, gde se takođe beleže i promene stanja ugovora. Nakon formiranja ugovora, on se hešuje i distribuira čvorovima blokčejn mreže kao i sve ostale transakcije. Izvršavanje ugovora se zasniva na stalnom praćenju mrežnih aktivnosti i detekciji promena definisanih parametara. Kada je neki od tih parametara zauzeo traženu vrednost, automatski se izvršava odgovarajuća akcija, stanje ugovora se menja, a informacija o ispunjenom uslovu, ili celom pametnom ugovoru, ostaje na blokčejnu.

3. Primena blokčejn tehnologije u kraudsorsingu

Termin kraudsorsing predstavlja spoj engleskih reči „crowd“ (gomila) i „outsourcing“ (angažovanje spoljnih saradnika) i predstavlja proces prikupljanja ideja, usluga i sadržaja od velikog broja dobrovoljaca okupljenih u okviru Internet platformi.

Dva osnovna entiteta u svakom kraudsorsing procesu su poslodavci i radnici [1]. Poslodavci su pojedinci ili kompanije koji podnose zahteve za radnu snagu. U obavezi su da pruže osnovne informacije o poslu i da na kraju adekvatno ocene i isplate radnike, dok

radnici čine zajednicu korisnika zainteresovanih za obavljanje poslova u zamenu za odgovarajuću kompenzaciju [4]. Efikasnost kraudsorsing platformi upravo počiva na međusobnoj koristi oba entiteta. Međutim, ono što ovakav sistem čini ranjivim jeste centralizovana platforma koja posreduje između poslodavaca i radnika. Ona rukuje velikom količinom poverljivih podataka, a često uključuje i obradu plaćanja, zbog čega predstavlja pogodnu metu sajber napadačima. Takođe, usled nedovoljnog broja bezbednosnih mehanizama, zlonamerne aktivnosti se mogu desiti i unutar sistema. Ovakav pristup ne samo da predstavlja bezbednosni rizik, već ugrožava poverenje između korisnika i integritet celokupnog sistema. Primena rešenja poput blokčejn tehnologije mogla bi smanjiti ovakve rizike i unaprediti performanse platforme.

Za razliku od TKS, struktura decentralizovanih kraudsorsing sistema (DKS) je nešto složenija i zasniva se na blokčejn klijent-server modelu. Arhitektura DKS primenjena u ovom radu koncipirana je po uzoru na [2] i deli platformu na 3 sloja: sloj aplikacije, blokčejn sloj i sloj za skladištenje podataka. Sloj aplikacije se odnosi na ono što korisnik vidi dok koristi aplikaciju i sastoji se iz 3 modula: Korisnički modul, Modul za upravljanje zahtevima i Kompajler. Korisnički modul je odgovoran za registraciju korisnika i upravljanje njihovim podacima. Modul za upravljanje zahtevima pretvara zahteve u pametne ugovore, čiji algoritmi upravljaju pojedinačnim procesima zahteva. Svi pametni ugovori se na kraju kompajliraju u jezik razumljiv blokčejn sloju. Blokčejn sloj podržava procese u sloju aplikacije i odgovoran je za skladištenje i upravljanje kompajliranim pametnim ugovorima, kao i svim podacima od važnosti. Sloj za skladištenje podataka se koristi za čuvanje podataka koji nisu ključni za obavljanje transakcija, a njihovim razdvajanjem od blokčejn sloja štedi se na memorijskom prostoru mreže [1]. Iako nisu direktno uneti u blokčejn, podaci se hešuju prilikom unosa u sloj za skladištenje podataka, a njihov heš se čuva na blokčejnu. Na taj način se uspostavlja veza između slojeva i omogućava potvrda integriteta podataka.

Primenom opisane arhitekture, podaci se više ne nalaze na jednom mestu, već su distribuirani između čvorova decentralizovane mreže. Na taj način ostaju neugroženi čak i ako su neki od čvorova kompromitovani. Takođe, pametni ugovori objedinjuju sve faze kraudsorsing procesa, a automatizacijom tih faza uklanjaju mogućnost manipulacije sistemom.

4. Koncept decentralizovane kraudsorsing platforme za dostavu pošiljaka

U ovom poglavlju razvijen je koncept platforme za dostavu pošiljaka, zasnovane na prethodno objašnjenim principima blokčejn kraudsorsing sistema. Principi funkcionisanja ove platforme ne odstupaju od principa TKS, međutim, potrebno je drugačije protumačiti uloge učesnika.

Glavna razlika kraudsorsing platformi za dostavu se ogleda u prisustvu dodatnog entiteta. U TKS, poslodavac ujedno postavlja zadatak i prima krajnje rešenje, dok se kod platformi za dostavu ta uloga deli na pošiljaoca i primaoca. S obzirom na to da se radi o specijalizovanoj platformi gde je jedini posao transport pošiljaka, svi radnici imaju ulogu kurira, a za njihovo angažovanje odabran je model zasnovan na aukciji. U poređenju sa kuririma i pošiljaocem, uloga primaoca je najmanja. Njega najčešće zanima status pošiljke, zbog čega nema potrebu za stalnom komunikacijom sa kuririma.

Na kraju, treba istaći da zaposleni, tj. kuriri, u ovakvom tipu kraudsorsinga ne traže stalno zaposlenje niti stabilan izvor prihoda, kao što je to slučaj kod sličnih

kompanija. Ovde je cilj povećanje efikasnosti, smanjenje troškova i pojednostavljenje procesa dostave, tako što će se angažovati kuriri koji već putuju ka određištu pošiljke. Kuriri na taj način bivaju plaćeni bez mnogo truda, a pošiljaoci i primaoci ispunjavaju potrebu za dostavom.

4.1 Mehanizmi reputacije

Poverenje između korisnika je ključno za funkcionisanje kraudsorsinga, naročito kada je reč o transportu pošiljaka. Ipak, ono je subjektivno i zato često nedovoljno da bi se saradnja ostvarila. Zbog toga se u ovakvim sistemima koriste mehanizmi reputacije.

Mehanizmi reputacije su protokoli koji na osnovu definisanih standarda procenjuju pouzdanost korisnika i na taj način ostvaruju neophodno poverenje. Standardi se definišu na osnovu parametara kvaliteta, koji se u ovom slučaju izvode iz osnovnog zadatka procesa dostave, koji zahteva da pošiljalac preda odgovarajuću pošiljku kuriru, koji će je bez oštećenja, umanjenja sadržaja i kašnjenja uručiti primaocu. Prema tome, zaključujemo da su glavni kriterijumi kvaliteta dostave kašnjenje i integritet pošiljke.

Kašnjenje se može podeliti na: kašnjenje kurira na prijem, kašnjenje pošiljaoca na prijem, kašnjenje kurira na uručenje i kašnjenje primaoca na uručenje. Ova vremena se evidentiraju u sistemu, što omogućava automatsko računanje kašnjenja. Integritet pošiljke se posebno posmatra iz ugla pošiljaoca i kurira. U prvom slučaju, kurir (koji je ovlašćen za pregled pošiljke) putem aplikacije potvrđuje ispravnost sadržaja i preuzima odgovornost na sebe. Međutim, ne postoji način da automatski potvrdimo stanje pošiljke nakon zaduživanja kurira. Zbog toga ovakve kompanije propisuju pravilnike kojima određuju postupke u slučaju štete nastale između prijema i dostave. Ipak, takvi pravilnici izlaze van okvira blokčejn tehnologije, i zbog toga nisu razmatrani u nastavku rada.

Poslednji parametar je subjektivna ocena svih učesnika. Ona se usrednjava sa ostalim ocenama, pri čemu se formira konačna ocena. U ovom slučaju, rizik leži u nepravednom ocenjivanju korisnika uprkos kvalitetno obavljenom poslu. Zbog toga je neophodno da mehanizam reputacije bude otporan na zlonamerne ocene. Rešenje ovog problema je inspirisano radom [10] i sastoji se iz tri koraka. Prvi korak je izračunavanje \bar{O}_j , srednje vrednosti svih ocena datih korisniku j . Zatim, računa se srednja vrednost svih ocena datih korisniku j od strane određenog korisnika i , \bar{O}_{ij} . Konačno, računa se standardno odstupanje svih ocena datih korisniku i , S_j . Na osnovu dobijenih vrednosti određuje se verodostojnost razmenjenih ocena, V_{ij} . Ukoliko se \bar{O}_{ij} nalazi u opsegu $\bar{O}_j \pm S_j$, ocena se smatra verodostojnom, dok se u suprotnom njen značaj umanjuje. Ako korisnici sarađuju po prvi put, V_{ij} će iznositi 0,5.

4.2 Implementacija pametnih ugovora

Za pravilan rad platforme odgovorna su 3 pametna ugovora: Ugovor za registraciju (UR), Ugovor za upravljanje zahtevima (UUZ), Ugovor za upravljanje reputacijom (UUR).

4.2.1 Ugovor za registraciju

Prilikom registracije, od korisnika se ne traži da odaju svoj identitet, već se prijavljuju samo uz pomoć lozinke, a nalog se dodatno štiti tajnom frazom koja je čest bezbednosni mehanizam u blokčejn aplikacijama. Jedini identifikator korisnika u sistemu je adresa koju Ugovor za registraciju generiše hešovanjem javnog ključa. Dobijena adresa biće javno dostupna i neće sadržati korisničke informacije.

4.2.2 Ugovor za upravljanje zahtevima

Ugovor za upravljanje zahtevima je glavni deo aplikacije. On reguliše celokupan proces dostave sledećim funkcijama: Kreiranje Pošiljke, Postavljanje Zahteva, Licitacija, Provera Licitacije, Određivanje Kurira, Prijem, Dostava, Otkazivanje Dostave.

4.2.2.1 Kreiranje Pošiljke

Proces postavljanja zahteva za dostavu počinje funkcijom Kreiranje Pošiljke, pri čemu se inicijatoru zahteva dodeljuje uloga pošiljaoca. U prvom koraku, pošiljalac navodi javnu adresu primaoca i fotografije sadržaj pošiljke (Slika 2a). Da bi se uštedelo na memorijskom prostoru bloka, fotografija se čuva u sloju za skladištenje podataka, dok se na blokčejnu beleži samo njena heš adresa. Nakon toga, unose se informacije koje će biti javno dostupne svim kuririma (Slika 2b). Tu spadaju veličina pošiljke, najveće dimenzije pojedinačnih paketa, rok za obavljanje prijema i dostave, vreme trajanja aukcije, lokacija prijema i dostave, minimalna reputacija kurira kao i maksimalna cena aukcije. Lokacije prijema i dostave se u odeljku za javne informacije određuju približno, obeležavanjem na mapi, dok se tačna lokacija upisuje kasnije, u informacijama dostupnim samo kuriru. Na kraju, unose se informacije koje će biti dostupne samo angažovanom kuriru (Slika 2c). One obuhvataju tačnu lokaciju prijema i dostave, kontakt pošiljaoca i primaoca, kao i dodatne instrukcije. Konačno, pošiljalac potvrđuje unete podatke i uplaćuje depozit kojim će na kraju dostave isplatiti kurira.

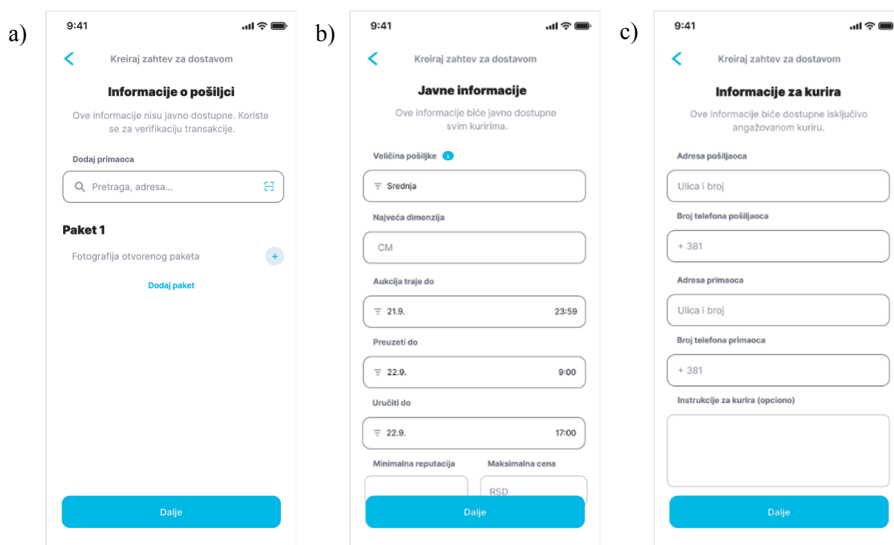
Kada korisnik potvrdi unete informacije, primaocu stiže obaveštenje o kreiranoj pošiljci. Primalac tada pristupa zahtevu, pregleda podatke i potvrđuje ili odbija zahtev. Ako potvrdi, stanje pošiljke se ažurira na *zahtev potvrđen*, a zahtev konačno postaje javno dostupan na platformi. U tom trenutku, inicira se funkcija Postavljanje Zahteva.

4.2.2.2 Postavljanje Zahteva

Ova funkcija deli prethodno unete podatke na javne i privatne. Javni podaci su vidljivi svim kuririma, a privatni su dostupni samo učesnicima u procesu dostave. Ukoliko podaci nisu od važnosti za obavljanje transakcija, čuvaju se u sloju za skladištenje podataka, dok se sledeći parametri čuvaju na blokčejnu:

- 1) Javna adresa pošiljaoca,
- 2) Javna adresa primaoca,
- 3) Javna adresa kurira,
- 4) Heš fotografije,
- 5) Broj pošiljke,

- 6) Stanje pošiljke,
- 7) Predata licitacija,
- 8) Prihvaćena licitacija.



Slika 2. a) Unos fotografije pošiljke i adrese primaoca, b) Unos javnih informacija, c) Unos informacija dostupnih samo angažovanom kuriru

Pored već objašnjenih parametara, izdvajaju se broj pošiljke i stanje pošiljke. Kao broj pošiljke koristi se heš transakcije koja je rezultat funkcije Kreiraj Pošiljku. Ovim brojem pošiljalac i primalac potvrđuju svoje uloge prilikom prijema i dostave.

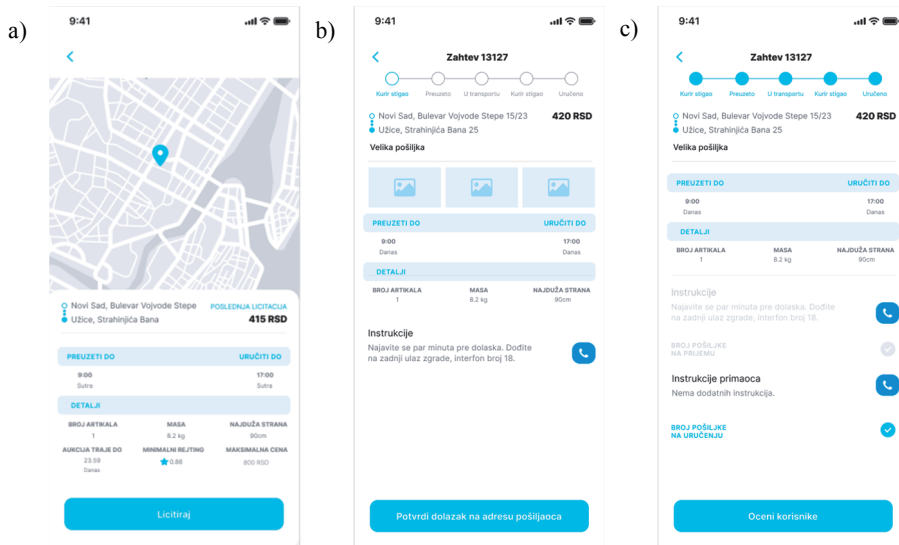
Stanje pošiljke je promenljiva koja evidentira promene faza u procesu dostave; u trenutku kada korisnik unese sve podatke, podešena je na *čeka se potvrda primaoca*, a nakon što primalac potvrdi zahtev, ažurira se na *zahtev potvrđen*. Svaka sledeća interakcija sa pametnim ugovorom ažurira stanje pošiljke.

Postoji 10 različitih stanja: *čeka se potvrda primaoca*, *zahtev potvrđen*, *traži se kurir*, *kurir pronađen*, *kurir potvrdio*, *kurir na adresi pošiljaoca*, *pošiljka preuzeta*, *kurir na adresi primaoca*, *pošiljka uručena* i *zahtev otkazan*.

Licitacija kurira je poslednji parametar koji se čuva na blokčejnu, ali je podeljen na dva dela: Predata licitacija i Prihvaćena licitacija. Dok je aukcija otvorena, licitacije kurira se smeštaju u okviru Predate licitacije, a kada se zatvori, prihvaćene vrednosti se premeštaju u Prihvaćenu licitaciju. Na kraju, stanje pošiljke se menja u *traži se kurir*.

4.2.2.3 Licitacija

Nakon što kurir odabere zahtev (Slika 3a), potrebno je da unese željenu cenu dostave. Funkcija Licitacija proverava da li je uneta cena manja ili jednaka od maksimalne cene dostave i da li reputacija prijavljenog kurira zadovoljava minimalnu potrebnu reputaciju. Ako su svi uslovi ispunjeni, generiše se oznaka licitacije. U suprotnom se licitacija odbacuje. Na kraju, funkcija hešuje generisanu oznaku licitacije i unosi tu vrednost u polje Predata licitacija funkcije Postavljanje Zahteva.



Slika 3. a) Zahtev za dostavu iz perspektive kurira, b) Ekran kurira pre prijema, c) Ekran kurira nakon dostave

4.2.2.4 Provera Licitacije

Pre određivanja kurira, funkcija Provera Licitacije proverava da li je Predata licitacija jednaka odgovarajućoj hešovanoj vrednosti i da li je hešovana vrednost jednaka odgovarajućoj generisanoj oznaci licitacije. Nepromenjenost ovih parametara ukazuje na to da u međuvremenu nije došlo do manipulacije podacima ni sa jedne strane, pri čemu se licitacija smešta u polje Priprihvaćena licitacija.

4.2.2.5 Određivanje Kurira

Priprihvaćene licitacije se rangiraju prema ceni, ali i reputaciji kurira, pri čemu se najbolje rangira kurir sa najmanjom cenom i najvećom reputacijom. Nakon toga, pošiljalac dobija listu rangiranih kurira od kojih odabira jednog i tada se stanje pošiljke ažurira na *kurir pronaden*. Odabrani kurir dobija obaveštenje putem aplikacije, nakon čega prihvata ili odbija zahtev. Ukoliko prihvati, stanje pošiljke se ažurira na *kurir potvrđio*.

4.2.2.6 Prijem

Kurir preko aplikacije označava da je stigao na adresu i ujedno o tome obaveštava pošiljaoca (Slika 3b). Ukoliko se trenutna lokacija kurira podudara sa lokacijom prijema, stanje se ažurira na *kurir na adresi pošiljaoca*. Radi identifikacije, pošiljalac pruža broj pošiljke, a kurir svoju adresu. Razmenjeni podaci se unose skeniranjem QR koda, a stanje pošiljke se ažurira na *pošiljka preuzeta*. Na ovaj način se osigurava da su se kurir i pošiljalac sreli i da je kurir zadužen.

4.2.2.7 Dostava

Prethodni postupak se ponavlja i kod dostave. Nakon što kurir označi da je stigao na adresu, i sistem potvrdi podudarnost dveju lokacija, stanje pošiljke se menja u *kurir na adresi primaoca*. Kurir tada zahteva broj pošiljke od primaoca, dok primalac od kurira zahteva javnu adresu. Razmenjeni parametri se unose u sistem, i funkcija Dostava ažurira stanje pošiljke na *pošiljka uručena*. U tom trenutku se kurir razdužuje i proces dostave se završava.

4.2.2.8 Otkazivanje Dostave

Ova funkcija omogućava pošiljaocu i kuriru da otkazu zahtev za dostavu. To mogu uraditi samo ukoliko je stanje pošiljke u jednom od sledećih stanja: *zahtev potvrđen*, *traži se kurir*, *kurir pronađen* ili *kurir potvrdio*. U suprotnom, nije moguće otkazati zahtev. Nakon izvršenja, funkcija ažurira stanje pošiljke na *zahtev otkazan*.

4.2.3 Ugovor za upravljanje reputacijom

Poslednji pametan ugovor je ugovor za upravljanje reputacijom i on se inicira nakon što je pošiljka uručena. Funkcija ovog ugovora proverava da li je stanje pošiljke *pošiljka uručena*, i obuhvata ocenu pošiljaoca, primaoca i kurira. Nakon unosa ocena (Slika 3c), algoritam proverava validnost ocene (na osnovu mehanizma iz poglavlja 4.1) i prema tome prihvata ili odbija ocenu. U tom trenutku, sistem ima sve podatke koji su mu potrebni i izračunava reputaciju svakog učesnika na osnovu automatske ocene koju dodeljuje sistem i subjektivne ocene druga dva učesnika.

5. Zaključak

Ukoliko se podaci čuvaju na jednom mestu, pristup tom mestu ugroziće sve podatke. Ovo predstavlja prepreku centralizovanim kraudsorsing sistemima koji skladište veliki broj podataka. Kod decentralizovanih sistema, kao što je blokčejn tehnologija, ta opasnost je uklonjena distribucijom podataka širom mreže. Pored decentralizacije, i ostala svojstva tehnologije pokazala su se kao vrlo pogodna za prevazilaženje nedostataka tradicionalnih kraudsorsing sistema, zbog čega je njihova integracija efikasno rešenje.

Takođe, primenjeni su i pametni ugovori koji automatizuju sve procese sistema i smanjuju mogućnost korisničke greške ili manipulacije, čime se postiže veća efikasnost i poverenje između korisnika. Međutim, da bi korisničko iskustvo bilo potpuno, potrebno je dozvoliti i razmenu ocena između učesnika kraudsorsing procesa, a pošto takve ocene mogu biti zlonamerne, primenjen je mehanizam koji ih u tom slučaju eliminiše.

Kompanije kao što su Roudi, Amazon Fleks i Dispeč, prepoznale su prednosti kraudsorsing platformi i iskoristile ih kako bi unapredile dostavu pošiljaka. Ipak, primena blokčejn tehnologije u razvoju ovih sistema mogla bi popularizovati njihovu upotrebu, a samim tim i značajno unaprediti proces dostave, pa tako i sam poštanski saobraćaj.

Literatura

- [1] C. Li, X. Qu, and Y. Guo, "TFCrowd: A blockchain-based crowdsourcing framework with enhanced trustworthiness and fairness", *J. on Wireless Comm. and Networking*, pp. 1-4, August 2021. DOI: 10.1186/s13638-021-02040-z
- [2] M. Li, J. Weng, A. Yang, W. Lu, Y. Zhang, L. Hou, J.-N. Liu, Y. Xiang, and R. H. Deng, "CrowdBC: A Blockchain-based Decentralized Framework for Crowdsourcing," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 30, pp. 1251-1254, November 2018. DOI: 10.1109/TPDS.2018.2881735
- [3] S. Nakamoto. (2008, October). Bitcoin: A Peer-To-Peer Electronic Cash System. [Online]. Available at: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [4] J. Zhang, W. Cui, J. Ma, and C. Yang, "Blockchain-based secure and fair crowdsourcing scheme", *Int. Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 15, pp. 4-5, August 2019. DOI: 10.1177/1550147719864890
- [5] M. I. Sarwar, L. A. Maghrabi, I. Khan, Q. H. Naith, and K. Nisar, "Blockchain: A Crypto-Intensive Technology—A Comprehensive Review", *IEEE Access*, vol. 11, pp. 141930-141944, December 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3342079
- [6] M. N. M. Bhutta, A. A. Khwaja, A. Nadeem, H. F. Ahmad, M. K. Khan, M. A. Hanif, "A survey on blockchain technology: Evolution, architecture and security", *IEEE Access*, vol. 9, p. 61056, April 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3072849
- [7] M. Ali, R. T. Alhassan, and M. M. Hossain, "An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends", in *Proc. 6th IEEE Int. Congress on Big Data*, p. 560, June 2017. DOI: 10.1109/BigDataCongress.2017.85
- [8] V. Buterin. (2014, December). Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. [Online]. Available at: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- [9] H. Taherdoost, "Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review", *Information*, vol. 14, p. 3, February 2023. DOI: 10.3390/info14020117
- [10] A. Alqaisi, Trustworthy Decentralized Last Mile Delivery Framework Using Blockchain, University of Windsor, Ontario, Canada, 2023.

Abstract: *Traditional crowdsourcing platforms engage human resources to solve problems requested by users of these platforms. However, such systems run on centralized servers which offer insufficient data protection. The most suitable solution is to transition to a decentralized management model, which not only enhances security but also increases trust among users. This paper presents a decentralized crowdsourcing platform for last mile delivery, where key processes are automated through the use of smart contracts.*

Keywords: *crowdsourcing, blockchain technology, smart contract, parcel delivery*

DECENTRALIZED CROWDSOURCING PLATFORM FOR PARCEL DELIVERY

Marko Đogatović, David Cvetković, Nikola Matijašević

VIŠEKRITERIJUMSKO MODELIRANJE PROBLEMA UVODENJA I INTEGRACIJE APLIKATIVNIH REŠENJA B2B KORISNIKA I JP “POŠTA SRBIJE”

Branka Dimitrijević¹, Danijela Mitrović², Marija Marić¹, Igor Milanov¹

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs,
marija.maja.maric02@gmail.com, milanov2001@gmail.com

²JP „Pošta Srbije”, danijela.mitrovic@posta.rs

Rezime: *U ovom radu akcenat je stavljen na modeliranje problema izbora izvođača aplikativnih rešenja za JP “Pošta Srbije”, kao i problema rangiranja prioriteta B2B korisnika u procesu integracije njihovih i aplikativnih rešenja JP “Pošta Srbije”. U tom smislu, razvijeni su višekriterijumski modeli koji su testirani na realnim primerima. Prikazana su i analizirana rešenja koja ukazuju na to da je odgovarajući model od velikog značaja u rešavanju problema, jer se pokazalo da iskustveni pristup rešavanju nije dovoljno pouzdan, čak i kod problema malih dimenzija.*

Ključne reči: *poštanske usluge, aplikativna rešenja, B2B korisnici*

1. Uvod

JP „Pošta Srbije“ obavlja poštanske usluge u skladu sa Zakonom o poštanskim uslugama [1] i podzakonskim aktima donetim na osnovu tog zakona, kao i aktima Regulatornog tela za elektronske komunikacije i poštanske usluge, kao nezavisnog regulatornog tela sa funkcijom regulisanja tržišta poštanskih usluga u Republici Srbiji. U smislu Zakona o poštanskim uslugama, JP „Pošta Srbije“ obavlja univerzalnu poštansku uslugu kao delatnost od opšteg interesa, na osnovu dozvole nadležnog organa, odnosno Regulatorne agencije za elektronske komunikacije i poštanske usluge, u skladu sa zakonom koji uređuje oblast poštanskih usluga [2].

U cilju obezbeđivanja kontinuiranog, kvalitetnog i održivog pružanja poštanskih usluga, JP „Pošta Srbije“ propisalo je način i uslove pristupa svojoj poštanskoj mreži, odnosno potencijalne korisnike, vrste i količine poštanskih pošiljaka sa kojima se može pristupiti, tačke na kojima se pristupa, pristup poštanskom adresnom sistemu, način podnošenja i rešavanja zahteva za pristup, zaključivanje i raskid Ugovora, uslovi opremanja i predaje poštanskih pošiljaka, cene, obračun i naplata, rokovi za uručenje i vraćanje pošiljaka, tajnost podataka, rešavanje reklamacija [3].

Poštanske aktivnosti javnog servisa su aktivnosti operatora koji rade pod jedinstvenim uslužnim sistemom u okviru jednog ili više određenih davalaca usluga. Aktivnosti podrazumevaju da pri obavljanju poštanskih usluga, poštanski operatori koriste

poštansku mrežu, jedinice poštanske mreže, preradne centre, obavljaju prevoz pošiljaka prema utvrđenoj putanji, prikupljaju i uručuju poštanske pošiljke [2].

Saradnja sa drugim kompanijama može imati različite oblike i ciljeve, zavisno od specifičnih potreba i strategija JP „Pošte Srbije“. Izrada aplikativnih rešenja i njihova inovacija omogućava JP „Pošta Srbije“ da prilagodavanjem savremenim tehnološkim trendovima i potrebama tržišta, unapredi svoje usluge, poboljša operativnu efikasnost, doprinese boljem korisničkom iskustvu bilo kompanija ili fizičkih lica. U tom smislu, u okviru strategije razvoja digitalnih rešenja, konstantno se sprovode aktivnosti na razvoju procesa prijema pošiljaka kroz implementaciju WEB servisa i integraciju sa softverskim rešenjima B2B (Business-to-Business) korisnika za prijem pošiljaka. Korisnicima je omogućeno praćenje kretanja njihove pošiljke, provera adresne komponente i dostupnosti usluge na definisanoj adresi, što je realizovano API (Application Programming Interface) komunikacijom sa poslovnim korisnicima. Skupom dobro definisanih standarda ili pravila koji omogućavaju komunikaciju između različitih računarskih aplikacija, API određuje kako aplikacije JP „Pošta Srbije“ i B2B korisnika postavljaju zahteve za podacima, koji zahtevi mogu da se upute kao i razmenu podataka. Uspostavljanjem API komunikacije značajno se unapređuje saradnja sa velikim poslovnim korisnicima, u potpunosti automatizuje razmena podataka, uz značajno smanjenje mogućnosti greške.

U savremenom poslovnom okruženju, efikasnost i prilagodljivost postaju ključni faktori konkurentnosti, naročito u poštanskom sektoru usluga. JP „Pošta Srbije“, kao javni poštanski operator, prepoznaje potrebu za unapređenjem svojih aplikativnih rešenja kako bi zadovoljila specifične zahteve B2B korisnika. U ovom kontekstu, razvoj i implementacija novih rešenja moraju biti strateški planirani kako bi se osigurao maksimalan povrat investicija i optimizirala usluga korisnicima [4].

2. Modeliranje problema izbora izvođača aplikativnih rešenja

Izrada novih ili poboljšanje postojećih aplikativnih rešenja značajno zavisi od izvođača koji su na tome angažovani, te je njihov izbor jedan od zadataka sa kojima se JP „Pošta Srbije“ susreće u procesu implementacije aplikativnih rešenja, a koji je po svojoj prirodi višekriterijumski problem jer na odluku utiče više relevantnih kriterijuma.

Autori rada i zaposleni u JP „Pošta Srbije“ koji se bave projektovanjem, testiranjem i implementacijom aplikativnih rešenja razmatrali su potencijalne kriterijume, diskutovali su i navodili kriterijume za koje su smatrali da ima smisla da budu uvršteni u modeliranje problema izbora izvođača aplikativnih rešenja, a onda su grupnim usaglašavanjem izdvojili sledeće koji čine konačan skup kriterijuma:

1. Troškovi izrade aplikativnih rešenja (K_1). Neophodan je balans između kvalitetnog aplikativnog rešenja i dostupnih finansijskih sredstava.
2. Troškovi održavanja aplikativnih rešenja (K_2). Održavanje je kontinuirani trošak koji može značajno uticati na ukupne troškove tokom životnog ciklusa aplikativnog rešenja, a uključuje nadogradnju i tehničku podršku kao neophodne za očuvanje njegove funkcionalnosti.
3. Vreme potrebno za izradu aplikativnih rešenja (K_3). Vreme potrebno za izradu aplikativnog rešenja definiše početak implementacije. Odlaganje realizacije može potencijalno uzrokovati gubitak poslovnih prilika ili dodatne troškove.

4. Nivo poznavanja zahteva za proširenje aplikativnih rešenja (K_4). S obzirom na specifične potrebe i zahteve JP „Pošta Srbije”, navedeni kriterijum pokazuje koliko će izvođač biti sposoban da se prilagodi potrebama preduzeća.
5. Postojeće iskustvo u realizaciji zahtevanih aplikativnih rešenja (K_5). Ovaj kriterijum govori o poznavanju izazova u realizaciji aplikativnih rešenja, brzini njihovog prevazilaženja i smanjenju rizika prilikom implementacije
6. Prethodno iskustvo u saradnji sa JP „Pošta Srbije” i/ili drugim kompanijama (K_6). Ovaj kriterijum se odnosi na reference koje poseduje izvođač u izradi aplikativnih rešenja što ukazuje kako na njegovu profesionalnost i pouzdanost, tako i na kvalitet usaglašavanja sa zahtevima klijenata.

Za svaki od definisanih kriterijuma potrebno je odrediti skalu na kojoj će biti vrednovani izvođači (alternative). Takođe, grupnim usaglašavanjem autora i zaposlenih u JP „Pošta Srbije” odlučeno je da za sve pobrojane kriterijume to bude intervalna skala od 0 do 5, pri čemu je:

0 - nepostojeći trošak za K_1 i K_2 , manje od 1 mesec za K_3 , nepostojeći nivo za K_4 i nepostojeće iskustvo za K_5 i K_6 ;

1 – vrlo niski troškovi za K_1 i K_2 , od 1 do 3 meseca za K_3 , vrlo nizak nivo za K_4 i vrlo malo iskustvo za K_5 i K_6 ;

2 – niski troškovi za K_1 i K_2 , od 3 do 4 meseca za K_3 , nizak nivo za K_4 i malo iskustvo za K_5 i K_6 ;

3 – srednji troškovi za K_1 i K_2 , od 4 do 5 meseci za K_3 , srednji nivo za K_4 i srednje iskustvo za K_5 i K_6 ;

4 – visoki troškovi za K_1 i K_2 , od 5 do 6 meseci za K_3 , visok nivo za K_4 i veliko iskustvo za K_5 i K_6 ;

5 – vrlo visoki troškovi za K_1 i K_2 , više od 6 meseci za K_3 , vrlo visok nivo za K_4 i vrlo veliko iskustvo za K_5 i K_6 .

U cilju testiranja predloženog višekriterijumskog modela za rešavanje problema izbora izvođača aplikativnih rešenja, zaposleni u JP „Pošta Srbije“ izvršili su selekciju kompanija koje bi mogle u tome učestvovati imajući u vidu specifične potrebe JP „Pošta Srbije“. Razmatrani su sopstveni, kao i resursi drugih kompanija i izabrano je pet izvođača (alternativa), koje su označene kao Izvođač 1, Izvođač 2, Izvođač 3, Izvođač 4 i Izvođač 5, pri čemu je jedna od njih JP „Pošta Srbije“. U postupku vrednovanja alternativa po kriterijumima i određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma učestvovala su dva zaposlena u JP „Pošta Srbije“, polazeći od činjenice da je njihovo iskustvo u tom smislu merodavnije, a koji su u nastavku označeni kao zaposleni 1 i zaposleni 2. Takođe, zaposleni su pitani da pre primene višekriterijumskog modela rangiraju pet razmatranih izvođača (kolone 3 i 5 u tabeli 5), kako bi se uporedilo iskustveno rezonovanje sa rezultatima dobijenim primenom višekriterijumskog modela.

Posmatrani kriterijumi, koji se odnose na izbor izvođača aplikativnih rešenja, imaju različit značaj za zaposlene. Značaj kriterijuma se interpretira težinskim koeficijentima (w_j) pridruženim kriterijumima. Za njihovo određivanje korišćena je Metoda dodeljivanja bodova. Ova subjektivna metoda se bazira na raspodeli bodova po kriterijumima tako da broj bodova dodeljen svakom od kriterijuma izražava stav zaposlenih o njihovoj važnosti, a ukupan broj bodova koji se može raspodeljivati iznosi 100.

U tabelama 1 i 2 prikazane su vrednosti alternativa po kriterijumima, smer ekstremizacije kriterijuma i težinski koeficijenti, odnosno bodovi, koji su im dodeljeni od strane zaposlenih Metodom dodeljivanja bodova.

Tabela 1. Postavka problema izbora izvođača - zaposleni 1

Alternative\Kriterijumi	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
Izvođač 1	0	0	5	4	0	5
Izvođač 2	1	2	2	2	1	4
Izvođač 3	2	3	1	5	5	0
Izvođač 4	4	3	3	4	4	3
Izvođač 5	4	4	4	3	3	4
max/min	min	min	min	max	max	max
W_j	10	15	25	25	20	5

Tabela 2. Postavka problema izbora izvođača - zaposleni 2

Alternative\Kriterijumi	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
Izvođač 1	1	1	5	2	0	0
Izvođač 2	0	1	4	2	2	3
Izvođač 3	2	3	2	4	4	2
Izvođač 4	4	5	1	3	3	4
Izvođač 5	3	3	3	4	4	4
max/min	min	min	min	max	max	max
W_j	10	10	20	25	25	10

3. Modeliranje problema rangiranja prioriteta izrade aplikativnih rešenja

B2B aplikativna rešenja služe potrebama poslovnih korisnika i fokusirana su na efikasnost, produktivnost i optimizaciju poslovnih procesa tako da olakšaju i poboljšaju interakciju, transakcije i komunikaciju između kompanija. JP „Pošta Srbije“ se u svom poslovanju suočava sa sve većim brojem raznovrsnih zahteva korisnika koji se upravo odnose na međusobnu usaglašenost aplikativnih rešenja, odnosno njihovu integraciju. U tom smislu, jedan od izazova je rangiranje prioriteta kompanija sa kojima se sprovedi integracija B2B aplikativnih rešenja.

Autori rada i zaposleni u JP „Pošta Srbije“ su modelirajući i ovaj problem diskutovali i navodili kriterijume za koje su smatrali da ima smisla da budu razmatrani, a onda su grupnim usaglašavanjem izdvojili sledeće:

1. Nivo razvijenosti aplikativnih rešenja B2B korisnika (K1). Postojanje aplikativnih rešenja na strani korisnika utiče na dinamiku integracije.
2. Mogućnost usaglašavanja aplikativnih rešenja B2B korisnika i JP „Pošta Srbije“ (K2). Odnosi se na eventualne dorade aplikativnih rešenja JP „Pošta Srbije“ i B2B korisnika u cilju razmene podataka.
3. Nivo otvorenosti B2B korisnika za razmenu podataka sa JP „Pošta Srbije“ (K3). Spremnost B2B korisnika za razmenu podataka sa JP „Pošta Srbije“.
4. Očekivani broj pošiljaka na mesečnom nivou (K4). Obim pošiljaka koje će kompanija distribuirati kroz poštanske tokove je svakako jedan od kriterijuma za vrednovanje B2B korisnika.
5. Važnost B2B korisnika (K5). U zavisnosti od tipa i veličine B2B korisnika zavisi i značaj koji ti korisnici imaju iz vizure JP „Pošta Srbije“.

6. Prilagođavanje poštanske mreže potrebama B2B korisnika (K6). Neophodnost da se neki elementi poštanske mreže modifikuju ili uvedu kako bi se odgovorilo na zahteve B2B korisnika.
7. Prilagođavanje poštanskih usluga B2B korisnika (K7). Potreba da se postojeće poštanske usluge koriguju zbog saradnje JP „Pošta Srbije” sa B2B korisnicima ili pak da se uvede neka nova usluga koja će biti prilagođena njihovim specifičnim zahtevima.

Za svaki od definisanih kriterijuma potrebno je odrediti skalu na kojoj će biti vrednovani B2B korisnici (alternative) i autori i zaposleni su se usaglasili da to bude kardinalna skala za K_4 , na kojoj su vrednosti u jedinicama mere broj pošiljaka/mesec, intervalna skala od 0 do 5 za kriterijume K_1 , K_2 , K_3 , K_6 i K_7 , a skala od 1 do 5 za K_5 , pri čemu je:

0 - nepostojeći nivo za K_1 i K_3 , nepostojeća mogućnost za K_2 i nepotrebno prilagođavanje za K_6 i K_7 ;

1 – vrlo nizak nivo za K_1 , K_3 i K_5 , vrlo mala mogućnost za K_2 i vrlo malo prilagođavanje za K_6 i K_7 ;

2 – nizak nivo za K_1 , K_3 i K_5 , mala mogućnost za K_2 i malo prilagođavanje za K_6 i K_7 ;

3 – srednji nivo za K_1 , K_3 i K_5 , srednja mogućnost za K_2 i srednje prilagođavanje za K_6 i K_7 ;

4 – visok nivo za K_1 , K_3 i K_5 , velika mogućnost za K_2 i veliko prilagođavanje za K_6 i K_7 ;

5 – vrlo visok nivo za K_1 , K_3 i K_5 , vrlo velika mogućnost za K_2 i vrlo veliko prilagođavanje za K_6 i K_7 .

U cilju testiranja predloženog višekriterijumskog modela za rešavanje problema rangiranja prioriteta izrade aplikativnih rešenja za B2B korisnike, zaposleni u JP „Pošta Srbije“ predložili su kompanije sa kojima bi se mogla integrisati aplikativna rešenja, imajući u vidu specifične potrebe JP „Pošta Srbije“. Razmatrano je pet kompanija (alternativa), koje su označene kao Korisnik 1, Korisnik 2, Korisnik 3, Korisnik 4 i Korisnik 5. U postupku vrednovanja alternativa po kriterijumima i određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma učestvovala su ista dva iskusna zaposlena iz JP „Pošta Srbije“, označeni kao zaposleni 1 i zaposleni 2. Takođe, zaposleni su i u ovom slučaju pitani da pre primene višekriterijumskog modela rangiraju pet razmatranih kompanija koji se može videti u tabeli 6, kolone 3 i 5.

Posmatrani kriterijumi imaju različit značaj za zaposlene, te je i u ovom slučaju za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma korišćena Metoda dodeljivanja bodova objašnjena u prethodnom poglavlju. U tabelama 3 i 4 prikazane su vrednosti alternativa po kriterijumima, smer ekstremizacije kriterijuma i težinski koeficijenti koji su im dodeljeni od strane zaposlenih.

Tabela 3. Postavka problema rangiranja prioriteta B2B korisnika - zaposleni 1

Alternative/Kriterijumi	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
Korisnik 1	0	1	1	5000	2	1	0
Korisnik 2	2	3	4	25000	4	0	1
Korisnik 3	5	5	5	50000	5	3	3
Korisnik 4	1	2	3	100000	3	4	4
Korisnik 5	4	1	2	30000	5	2	2
max/min	max	max	max	max	max	min	min
W_j	15	25	10	25	10	10	5

Tabela 4. Postavka problema rangiranja prioriteta B2B korisnika - zaposleni 2

Alternative\Kriterijumi	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
Korisnik 1	0	0	1	10000	4	3	3
Korisnik 2	2	3	4	15000	5	1	1
Korisnik 3	5	5	4	50000	4	1	1
Korisnik 4	3	3	3	100000	4	2	2
Korisnik 5	4	1	2	5000	3	2	2
max/min	max	max	max	max	max	min	min
W_j	20	20	10	15	15	10	10

4. Rešavanje problema i analiza rezultata

Višekriterijumski problemi predstavljeni tabelama 1, 2, 3 i 4 rešavani su SAW (Simple Additive Weighting) metodom, koja je jednostavna, lako razumljiva i koja kao kompenzacijska metoda za svaku alternativu računa ukupnu korisnost, a čiji je kratak opis dat u nastavku [5].

Neka je $A = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_m\}$ skup alternativa, $K = \{K_1, \dots, K_j, \dots, K_n\}$ skup kriterijuma, $X = \{x_{ij}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n\}$ skup vrednosti alternativa po kriterijumima i $W = \{w_j | j=1, \dots, n\}$ skup težinskih koeficijenata, pri čemu važi, $w_j = W_j / \sum_{k=1}^n W_k$ i $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Takođe, neka je $K' \in K$ skup kriterijuma koji se maksimiziraju, a $K'' \in K$ skup kriterijuma koji se minimiziraju.

Normalizacija vrednosti x_{ij} za kriterijume koji se maksimiziraju, odnosno minimiziraju i dobijanje vrednosti r_{ij} realizovano je jednačinom (1), odnosno (2):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-}, \forall K_j \in K' \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-}, \forall K_j \in K'' \quad (2)$$

gde su $x_j^+, j=1, \dots, n$, sve najveće vrednosti po svim kriterijumima, a $x_j^-, j=1, \dots, n$, sve najmanje vrednosti po svim kriterijumima. Nakon ovako izvršene normalizacije svi kriterijumi su maksimizacionog tipa.

Ponderisanjem normalizovanih vrednosti težinskim koeficijentima pridruženim kriterijumima, kao reprezentima njihove važnosti, dobijaju se jedinični doprinosi korisnosti alternativa po kriterijumima (3), ukupna korisnost alternativa je data izrazom (4), dok jedna ili više najboljih alternativa koje čine skup A^* određuju u skladu sa (5):

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$U_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}, i=1, \dots, m \quad (4)$$

$$: A^* = \{A_i^* | U_i^* = \max_{\square} U_i\} \quad (5)$$

Rang alternativa A_i odgovara redosledu vrednosti U_i poređanih u opadajući niz.

U tabeli 5 prikazani su rezultati rešavanja problema izbora izvođača aplikativnih rešenja, iskustvenim i metodološkim pristupom. Možemo videti da se „iskustveni“ rang i rang dobijen SAW metodom, uglavnom razlikuju. Pre svega treba uočiti da je za oba zaposlena primenom višekriterijumske metodologije za najbolju alternativu dobijen Izvođač 3. Takođe, uočava se da je zaposleni 1 i iskustvenim rangiranjem odabrao za najbolju alternativu Izvođača 3, dok je zaposleni 2 ovog izvođača rangirao na treće mesto.

U tabeli 6 dati su rezultati rangiranja prioriteta B2B korisnika, iskustvenim i metodološkim pristupom. Uočava se da su rangovi za oba zaposlena, dobijeni višekriterijumskim modeliranjem problema, u potpunoj saglasnosti - od najbolje do najlošije rangirane alternative. Rang alternativa dobijen iskustvenim pristupom za oba zaposlena se razlikuje od onog baziranog na višekriterijumskom modelu. Dakle, uočava se značajnija razlika u razmišljanju eksperata kada problem rešavaju iskustveno, pokušavajući da sagledaju sve relevantne kriterijume istovremeno i kada to čine kroz višekriterijumski model, u čijem kreiranju su učestvovali i mogli u potpunosti da ga razumeju.

Tabela 5. Rešenja problema izbora izvođača

Alternative	Zaposleni 1		Zaposleni 2	
	Rang - SAW	Rang - mišljenje	Rang - SAW	Rang - mišljenje
Izvođač 1	4 (0,517)	5	5 (0,175)	5
Izvođač 2	3 (0,455)	4	4 (0,450)	4
Izvođač 3	1 (0,813)	1	1 (0,800)	3
Izvođač 4	2 (0,519)	2	3 (0,613)	2
Izvođač 5	5 (0,306)	3	2 (0,775)	1

Tabela 6. Rešenja problema rangiranja prioriteta B2B korisnika

Alternative	Zaposleni 1		Zaposleni 2	
	Rang - SAW	Rang - mišljenje	Rang - SAW	Rang - mišljenje
Korisnik 1	5 (0,125)	5	5 (0,083)	5
Korisnik 2	2 (0,517)	3	2 (0,666)	3
Korisnik 3	1 (0,756)	1	1 (0,846)	1
Korisnik 4	3 (0,426)	4	3 (0,632)	2
Korisnik 5	4 (0,386)	2	4 (0,333)	4

Dalja analiza osetljivosti dobijenih rešenja koja olakšava nalaženje kompromisnog rešenja, vodila je sagledavanju grupnog mišljenja oba zaposlena. U tom smislu, njihova vrednovanja su agregirana u grupno, primenom ponderisane aritmetičke sredine. Neka je k , $k=1,2$, indeks k -tog zaposlenog. Neka je $w_k = (w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{nk})$, gde je $w_{ik} > 0$, $\sum_{i=1}^n w_{ik} = 1$, vektor vrednosti k -tog zaposlenog, a n broj vrednovanja [5]. Grupni vektor prioriteta $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$, čine elementi:

$$W_i = \sum_{k=1}^2 \beta_k w_{ik}, \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

gde β_k predstavlja težinski koeficijent k -tog zaposlenog, odnosno njegov značaj za rešavanje problema, pri čemu važi $\sum_{k=1}^2 \beta_k = 1$. U tabeli 7 date su, ilustracije radi, agregirane vrednosti alternativa po svakom od kriterijuma, kao i težinskih koeficijenata kriterijuma određenih Metodom dodeljivanja bodova, za problem izbora izvođača aplikativnih rešenja, posmatrajući zaposlene kao jednako značajne, $\beta_1=\beta_2=0,5$. Grupno rešenje ovog problema, odnosno ukupne korisnosti alternativa i njihov rang dati su u tabeli 8, kolona „ $\beta_1=\beta_2=0,5$ “. U tabeli 8, u koloni „ $\beta_1=0,6; \beta_2=0,4$ “, dat je i rang alternativa za upravo tako raspodeljeni značaj zaposlenih, uvažavajući činjenicu da je zaposleni 1 rukovodilac službe koja se bavi projektovanjem, testiranjem i implementacijom aplikativnih rešenja.

Tabela 7. Agregirana tabela odlučivanja zaposlenih

Alternative\Kriterijumi	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆
Izvođač 1	0,5	0,5	5	3	0	2,5
Izvođač 2	0,5	1,5	3	2	1,5	3,5
Izvođač 3	2	3	1,5	4,5	4,5	1
Izvođač 4	4	4	2	3,5	3,5	3,5
Izvođač 5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4
max/min	min	min	min	max	max	max
w_j	0,1	0,125	0,225	0,25	0,225	0,075

Za analizu osetljivosti rešenja, bilo je takođe interesantno posmatrati kako promena pristupa određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma utiče na stabilnost rešenja. Uzeta su u razmatranje dva objektivna pristupa određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma: Metoda standardnog odstupanja i Metoda jednakih težina.

Metoda standardnog odstupanja ovu meru odstupanja računa za vrednosti alternativa po svakom od kriterijuma, a težinski koeficijent svakog kriterijuma direktno je proporcionalan učešću sopstvenog standardnog odstupanja u sumi odstupanja svih kriterijuma [4]:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}}, \quad j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

gde je \bar{r}_j – aritmetička sredina normalizovanih vrednosti alternativa po kriterijumu K_j , $j=1, \dots, n$. Ova objektivna metoda daje veći značaj onim kriterijumima po kojima se značajnije međusobno razlikuju vrednosti alternativa (širi domen vrednosti), nego onima kod kojih to nije slučaj (uži domen vrednosti). Grupno rešenje problema izbora izvođača aplikativnih rešenja, odnosno ukupne korisnosti alternativa i njihov rang, kada su Metodom standardnog odstupanja određeni težinski koeficijenti kriterijuma, dato je u tabeli 8, kolona „ σ težine“.

Metoda jednakih težina pripisuje svakom kriterijumu isti značaj, pa su težinski koeficijenti kriterijuma u tom slučaju: $w_j = 1/n, j = 1, \dots, n$ [5]. Grupno rešenje problema

izbora izvođača aplikativnih rešenja, kada su težinski koeficijenti kriterijuma određeni ovom metodom, dato je u tabeli 8, kolona „= težine“.

U tabeli 9 data su sva pobrojana grupna rešenja i za problem rangiranja prioriteta B2B korisnika u pogledu integracije svojih sa aplikativnim rešenjima JP „Pošta Srbije“.

Tabela 8. Grupni rang izvođača za izradu aplikativnih rešenja

Alternative	Grupni rang sa (ukupnom korisnošću) za:				Rang zaposleni:	
	$\beta_1 = \beta_2 = 0,5$	$\beta_1 = 0,6; \beta_2 = 0,4$	σ težine	= težine	1	2
Izvođač 1	5 (0,363)	5 (0,394)	3 (0,503)	5 (0,483)	4 (0,517)	5 (0,175)
Izvođač 2	4 (0,455)	4 (0,447)	2 (0,596)	2 (0,575)	3 (0,455)	4 (0,450)
Izvođač 3	1 (0,793)	1 (0,786)	1 (0,633)	1 (0,643)	1 (0,813)	1 (0,800)
Izvođač 4	2 (0,580)	2 (0,562)	5 (0,491)	4 (0,511)	2 (0,519)	3 (0,613)
Izvođač 5	3 (0,529)	3 (0,475)	3 (0,502)	3 (0,515)	5 (0,306)	2 (0,775)

Tabela 9. Grupni rang prioriteta B2B korisnika

Alternative	Grupni rang sa (ukupnom korisnošću) za:				Rang zaposleni:	
	$\beta_1 = \beta_2 = 0,5$	$\beta_1 = 0,6; \beta_2 = 0,4$	σ težine	= težine	1	2
Korisnik 1	5 (0,096)	5 (0,114)	5 (0,152)	5 (0,164)	5 (0,125)	5 (0,083)
Korisnik 2	2 (0,608)	2 (0,585)	2 (0,703)	2 (0,707)	2 (0,517)	2 (0,666)
Korisnik 3	1 (0,794)	1 (0,785)	1 (0,776)	1 (0,766)	1 (0,756)	1 (0,846)
Korisnik 4	3 (0,469)	3 (0,461)	4 (0,404)	4 (0,393)	3 (0,426)	3 (0,632)
Korisnik 5	4 (0,376)	4 (0,388)	3 (0,411)	3 (0,410)	4 (0,386)	4 (0,333)

Analiza rezultata za problem izbora izvođača aplikativnih rešenja dobijenih primenom višekriterijumskog modela, dovodi do zaključka da su rešenja jedinstvena, odnosno najbolja alternativa, je Izvođač 3, koja je stabilno na prvoj poziciji u svim verzijama modeliranja problema (tabela 8). Kako se u ovom problemu i traži jedan-najbolji izvođač koga bi angažovala JP „Pošta Srbije” onda se, na osnovu svih ostalih rezultata, može reći da je Izvođač 3 kompromisno rešenje posmatranog problema, iako je zaposleni 2 iskustveno ovog izvođača rangirao na treću poziciju. Naravno, sve ove tvrdnje važe iz vizure zaposlenih, relevantnih za odlučivanje po ovom pitanju jer se dugi niz godina bave projektovanjem, testiranjem i implementacijom aplikativnih rešenja.

Kod problema rangiranja prioriteta B2B korisnika u integraciji njihovih i aplikativnih rešenja JP „Pošta Srbije”, uočava se da se višekriterijumskim modelom Korisnik 3 uvek nalazi na prvoj poziciji u rangu (tabela 9). Ista situacija je i sa iskustvenim rangom za oba zaposlena. Stabilnu drugu poziciju u rangu uvek ima Korisnik 2, dok je poslednji u rangu uvek Korisnik 1. U slučaju treće i četvrte pozicije postoji nesaglasnost. U 67% prikazanih rešenja Korisnik 4 je na trećem mestu u rangu, a korisnik 5 na četvrtom, dok je u 33% slučajeva obrnuta situacija. Zbog vrednosti ukupnih korisnosti alternativa daljom analizom se može smatrati da je Korisnik 4 treći u rangu, a Korisnik 5 četvrti.

5. Zaključak

U ovom radu u fokusu je bilo višekriterijumsko modeliranje problema odlučivanja u sferi projektovanja, testiranja i implementacije aplikativnih rešenja, bilo da ih JP „Pošta

Srbije“ razvija za vlastite potrebe, pa želi da angažuje najboljeg izvođača (problem izbora), ili za potrebe aplikativne integracije sa B2B korisnicima, kada je potrebno ustanoviti redosled kojim će se B2B korisnici u procesu integracije aplikativnih rešenja opsluživati (problem rangiranja).

Sušinski zaključak je da u postupku donošenja odluka ne možemo isključivo da se oslanjamo na znanje, intuiciju i pretpostavke i da ne struktuirajući problem generišemo rešenja, čak i kada postoji višegodišnja ekspertiza u posmatranoj oblasti i/ili se radi o problemu malih dimenzija. Postoje situacije kada takav pristup rešenjima i konsekventno odlukama može uzrokovati greške. Kako bismo osigurali kvalitet odluka neophodno je da naše pretpostavke proverimo koristeći formalne pristupe rešavanju problema, pri čemu se podrazumeva da su razvijeni adekvatni modeli. To su pokazali i modelirani, rešavani i analizirani višekriterijumski problemi izbora izvođača i rangiranja prioriteta B2B korisnika.

Pravci budućeg istraživanja svakako treba da budu usmereni ka uključivanju ostalih relevantnih učesnika u modeliranje i rešavanje posmatranih problema, analizi osetljivosti rešenja na promenu skala za vrednovanje, uvrštavanju elemenata neizvesnosti prisutne u izjašnjavanju učesnika na tim skalama itd.

Literatura

- [1] Zakon o poštanskim uslugama, „Službeni glasnik RS“, broj 77/19
- [2] Godišnji izveštaj o poslovanju JP “Pošta Srbije” za 2023. godinu, mart 2024.
- [3] Pravilnik o posebnim uslovima za pristup poštanskoj mreži JP “Pošta Srbije”, Službeni PTT Glasnik broj 1037, mart 2016.
- [4] Top 7 B2B Apps Transforming Industries in 2024, link: <https://www.designveloper.com/blog/b2b-apps/> (pristupljeno: avgust 2024.)
- [5] B. Dimitrijević, *Višeatributivno odlučivanje - primene u saobraćaju i transportu*, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, 2023.

Abstract: *The focus of this paper is on modeling the selection problem of applicative solution providers for the Public Enterprise "Posts of Serbia," as well as the problem of prioritizing B2B customers in the process of integrating their solutions with "Post of Serbia" applicative solutions. For that reason, multi-criteria models have been developed and tested on real-world examples. Solutions are presented and analyzed, indicating that suitable model is of great significance for problem solving, as it has been shown that an empirical approach is not sufficiently reliable, even for small scale problems.*

Keywords: *postal services, applicative solutions, B2B customers*

MULTICRITERIA MODELING OF THE APPLICATIVE SOLUTIONS' IMPLEMENTATION AND INTEGRATION PROBLEM FOR B2B CUSTOMERS AND THE PUBLIC ENTERPRISE “POSTS OF SERBIA

Branka Dimitrijević, Danijela Mitrović, Marija Marić, Igor Milanov

BUDUĆNOST E-KOMERCA – E-KOMERC KAO KLJUČNI POKRETAČ INOVATIVNOSTI, KONKURENTNOSTI I EKONOMSKOG RASTA

Olja Jovičić, Spasenija Ožegović
JP Pošta Srbije,
olja.v.jovicic@posta.rs, spasenija.ozegovic@posta.rs

Rezime: *E-komerc je velika globalna industrija koja je revolucionarizovala način na koji svet posluje i pred kojom je svetla budućnost. Stvorena je velika pogodnost za korisnike omogućavajući im da kupuju šta žele, kad god žele, gde god da se nalaze. Takođe se otvorila mogućnost za kompanije koje se ohrabruju da kreiraju nove servise i razvijaju nove poslovne modele, kako bi se prilagodile očekivanjima korisnika. E-komerc biznis raste eksponencijalno povezujući online kanale sa iskustvima fizičke distribucije robe i kreće se u pravcu neometanog hipe-rpersonalizovanog iskustva kupovine. E-komerc je visoko inovativno i brzo rastuće tržište i pruža važne poslovne mogućnosti za kompanije koje ulažu u infrastrukturu i nova tehnološka rešenja u e-lancu snabdevanja, razvijajući nove digitalne kompetencije i istražujući mogućnosti primene veštačke inteligencije, oblikujući tako novo komunikaciono okruženje.*

Ključne reči: *e-trgovina, ključni pokretač, inovacija, digitalno, komunikacija*

1. Pojam e-komerca i trendovi rasta

E-komerc je način poslovanja koji omogućava kompaniji, tj. privrednom subjektu ili fizičkom licu prodaju i kupovinu proizvoda ili usluga putem interneta. E-komerc se odnosi na seriju umreženih poslovnih procesa realizovanih putem interneta i drugih elektronskih sistema. Podrazumeva sve aktivnosti na mreži koje uključuju kupovinu i prodaju proizvoda i usluga. Drugim rečima, e-komerc je proces za obavljanje transakcija online, koji pored kupovine i prodaje preko interneta podrazumeva i digitalni marketing, transfer novca, logistiku, razmenu i sakupljanje podataka i još mnogo toga.

U 2023. godini, globalno tržište e-komerca je dostiglo vrednost od \$ 4,4 triliona dolara, dok je 2014. godine iznosilo svega % 1,3 triliona dolara. Ukupna globalna prodaja putem e-komerca će dostići \$ 6,8 triliona dolara do 2028. godine prema prognozi Forestera.

Srbija je jedna od zemalja koja u segmentu razvoja e-komerca beleži značajan rast i korisnici se sve češće opredeljuju za ovaj način kupovine. E-komerc tržište Srbije raste i procenjuje se da će rasti prosečnom stopom od 10 odsto godišnje u narednih nekoliko godina, a do kraja 2024. godine, očekuje se da će broj e-kupaca drastično porasti. Tako ćemo na internetu Srbije sa trenutna tri stići do oko četiri miliona potencijalnih korisnika. Tržište e-komerca u Srbiji dostići će vrednost od \$ 982 miliona dolara do kraja 2024.

godine, a prema prognozama ECDB-a očekuje se da vrednost tržišta e-komerc do 2028. godine bude \$ 1.284 miliona dolara sa ogromnom mogućnošću rasta.

2. Kanali prodaje putem e-komerc

Postoji nekoliko različitih kanala prodaje koje kompanije mogu koristiti kako bi dospeli do svojih kupaca. Osnovni kanal prodaje jeste online prodavnica, tj. web sajt gde kompanija ima svoju online prodavnicu u okviru svog kompanijskog web sajta kao poseban deo ili poseban sajt koji je u isključivoj funkciji prodaje. Kupci pristupaju sajtu i pregledaju proizvode, dodaju ih u korpu i obavljaju ceo process kupovine direktno na sajtu. Drugi kanal prodaje predstavljaju marketplace platforme poput Amazona, e-Baya i drugih koji omogućavaju kompanijama da prodaju svoje proizvode na već uspostavljenim platformama. Velika popularnost ovih platformi i veliki broj posetilaca omogućava drastično veći obim prodaje u odnosu na klasične web prodavnice. Mobilne aplikacije se koriste kao prodajni kanal kroz posebno dizajniranu aplikaciju za e-komerc ili kroz mobilno-optimizovanu verziju online prodavnice. One se mogu koristiti kao jak marketinški alat za reklamiranje proizvoda i usluga, obaveštenja kupcima, ponudu popusta ili kreiranje personalizovanih akcija i pdsticanje kupca da kroz učestvovanje u različitim igricama realizuje određeni popust. Neke e-trgovine koriste kombinaciju online i klasičnih trgovinskih prodavnica kako bi kreirale omnichannel iskustvo za kupca gde on može poručiti robu na klik online, a preuzeti je u klasičnoj prodavnici. Poseban kanal prodaje predstavljaju sajtovi za oglase na kojima se nude proizvodi i usluge sa mogućnošću dostave i plaćanja u skladu sa dogovorom. Takođe postoje platforme za aukcije gde se cena proizvoda formira preko online aukcije i vaučer sajtovi gde se mogu kupiti vaučeri za proizvode i usluge različitih kompanija.

Ovi kanali prodaje mogu se koristiti pojedinačno ili kombinovano u cilju maksimalne pokrivenosti tržišta i zadovoljenja potreba različitih segmenata tržišta. Odabir optimalnog prodajnog kanala zavisice od strategije i razvojnih ciljeva kompanije, segmentacije tržišta, vrste proizvoda i usluga i potražnje za njima, kao i drugih faktora

3. E-komerc (e-trgovina) u odnosu na klasičnu trgovinu

E-komerc pomaže da se pojednostave poslovni procesi, čineći ih bržim i efikasnijim. Poboljšava sveukupni imidž kompanije i povezanih brendova, a svojim kupcima pruža napredniju uslugu. E-komerc omogućava kompanijama da dosegnu globalno tržište bez potrebe za fizičkim prisustvom u različitim zemljama. Kupci sa bilo kog mesta u svetu mogu pristupiti online platformi i kupiti proizvode i usluge na bilo kom kraju planete.

3.1. Ključne prednosti elektronske kupovine su:

Pogodnost kupovine - E-komerc pruža najbolje u pogledu pogodnosti i pristupačnosti. Korisnici mogu pronaći upravo ono što im treba, u bilo kojem trenutku, direktno sa svog desktopa ili mobilnog uređaja. Više pogodnosti za kupca znači više posla za kompaniju.

Transakcije bez granica - Fizička prodavnica ograničava poslovne operacije na određeno geografsko područje. Web stranica za e-trgovinu, sa druge strane, omogućava kompaniji da dosegne više kupaca, globalno – maksimizirajući svoj prodajni potencijal.

Zarada dok spavate - Internet nikad ne spava. Klasične prodavnice verovatno rade u redovnom radnom vremenu. Uz e-trgovinu, proizvodi i usluge su dostupni za kupovinu u bilo koje vreme kupcima širom sveta.

Skalabilnost - Kako baza kupaca raste, kompanija može proširiti svoje poslovanje putem e-komercia kako bi se omogućila veća prodaja. Umesto proširenja klasične trgovinske radnje što obično podrazumeva preseljenje ili renoviranje (što može biti skupo), jednostavno kompanija može povećati propusnost na svojoj platformi za e-komerc kako bi obezbedila veći broj porudžbina. Na osnovu podataka o prošloj prodaji, može se predvideti buduća prodaja i shodno tome povećati ili smanjiti propusnost platforme.

Personalizovana iskustva - Uz e-komerc, može se iskoristiti moć za kreiranje personaliziranog iskustva kupovine za sopstvene kupce. Uz dodatnu i unakrsnu prodaju, kupcima se predstavljaju proizvodi za koje će najverovatnije biti zainteresovani, povećavajući obim prodaje kompanije.

Pristup inovativnoj tehnologiji - Kako tehnologija nastavlja da se poboljšava, naći će se više načina da se pojednostave poslovni procesi uz uštede u vremenu i novcu. Kod fizičke trgovine mogu postojati ograničenja u pogledu onoga što tehnologija može učiniti. Uz e-komerc, dostupni su niz aplikacija i integracija koje pomažu da se plasiraju proizvodi na tržište, poboljša timska saradnja i pruži brža korisnička usluga.

Pristupačan i efikasan marketing - Umesto oslanjanja na tradicionalne marketinške metode kao što su štampani oglasi za usmeravanje prometa u klasičnu prodavnicu, postoji niz pristupačnih marketinških kanala za usmeravanje kupaca na e-komerc. Marketing na pretraživačima, plaćeni oglasi na društvenim mrežama i marketing putem e-pošte omogućavaju kompanijama da dosegnu segmentirano tržište po nižoj ceni.

3.2. Slabosti e-komercia

Bezbednosni rizici-online transakcije su podložne različitim bezbednosnim rizicima, uključujući krađu identiteta, prevare sa kreditnim karticama i hakovanje

Nemogućnost fizičkog ispitivanja ili isprobavanja robe pre kupovine, što može izazvati nezadovoljstvo ako proizvod ne odgovara očekivanjima i do zahteva za povratom novca

Dostava proizvoda može biti izazovna naročito kada su u pitanju proizvodi poručeni iz inostranstva

Povrat proizvoda koji podrazumeva složen i skup postupak za prodavca

Potreba za pouzdanim internet konekcijama koji podrazumeva neometani pristup internetu

Porezi i druga regulativa gde se u oblasti elektronskog poslovanja kompanije suočavaju sa kompleksnim poreskim pravilima koja podrazumevaju u oblasti međunarodnog poslovanja poznavanje carinskih propisa zemlje porekla proizvoda, kao i zemlje uvoznice.

4. Tipovi E-komercia

Elektronska trgovina predstavlja opšti concept koji obuhvata sve oblike poslovnih transakcija ili razmene informacija putem informacionih tehnologija i može obuhvatiti različite oblike transakcija kao što su B2C-kompanija prema fizičkom licu kao kupcu, B2B-kompanija prema kompaniji i C2C- fizičko lice prema fizičkom licu.

4.1. Tip e-komercia B2B

Model elektronske trgovine B2B podrazumeva elektronsko poslovanje između dve ili više kompanijai bazira se na globalnoj dostupnosti internetai niskim cenama usluga. Internet kao jeftina, fleksibilna i univerzalna mreža, ponudio je mogućnost manjim

kompanijama da se uključe u savremene tokove elektronske trgovine. Internet tehnologije su obezbedile obradu transakcija u realnom vremenu uz brzu razmenu podataka. Predstavlja najvažniji oblik e-komercia, gde se transakcijama na ovom tržištu ostvaruje između 80-85% ukupnih prihoda generisanih e-komercem na internetu. Gore pomenuti podaci ukazuju koliko je značaj marketinga u okviru segmenta B2B poslovanja koji pruža brojne mogućnosti bilo da se šalju direktni mejlovi, postavljaju baneri ili koriste socijalne mreže. Internet omogućava kompanijama da brzo izgrade reputaciju i da dopru do velikog broja kupaca. Model poslovanja koji najčešće reprezentuje B2B model e-komercia jeste veleprodaja.

4.2. Tip e-komercia B2C

Model elektronske trgovine gde su prodavci kompanije a kupci su pojedinci i uglavnom se odnosi na maloprodajne transakcije između kompanija i individualnih potrošača. Jedan od najuspešnijih primera je Amazon osnovan 1994. godine, koji predstavlja tipičan primer kompanije koja se bavi ovakvim načinom poslovanja. Amazon je 2000. godine uspeo da proda robu u vrednosti od 2,8 milijardi dolara koju je kupilo 20 miliona kupaca iz 160 zemalja. Najčešći model poslovanja kome odgovara B2C model kada kompanija prodaje proizvode fizičkim licima jeste maloprodaja. Uz online B2C e-trgovinu, kompanija može bolje segmentirati kupce kako bi personalizirala svoje B2C marketinške kampanje. Marketinška personalizacija omogućava imda vide gde se klijenti nalaze na njihovom putu kupca i da optimizuju svoju medijsku potrošnju u skladu s tim. Korišćenjem različitih mrežnih marketinških strategija i alata takođe se mogu pratiti metrike kao što su SEO, stope konverzije, stope napuštanja korpe za kupovinu i promet na web stranici e-trgovine.

4.3. Tip e-komercia C2C

Model e-komercia gde kupci direktno prodaju robu ili nude drugim kupcima koristeći posao ili platformu treće strane da bi se olakšala transakcija. Platforma treće strane zarađuje novac naplaćivanjem naknada za transakcije ili listing. Najpoznatiji primer je online kupovina preko platforme e-Bay. Prednosti ovog modela e-komercia su mogućnost kupovine na zahtev pri čemu kupci direktno kontaktiraju prodavce, niski troškovi transakcije i veća profitabilnost, dok su nedostaci bezbednosni rizici i nedostatak kontrole kvaliteta proizvoda.

4.4. Tip e-komercia B2B2C

Napredak B2B2C zamaglio je granice između tradicionalne B2B e-komercia i krajnjeg korisnika. Proizvodne kompanije mogu povećati svoju proizvodnju uz niže troškove, distributeri mogu prodati više proizvoda uz odbitak troškova za razvoj proizvoda, a kupci mogu dobiti pristup širem izboru robnih marki prikazanih unutar jednog izloga e-komercia. Za razliku od tradicionalnih B2B ili B2C modela e-komercia, B2B2C usmerava lanac nabavki, povećavajući vrednost za sve strane. Takođe se razlikuje od proizvoda kada kompanija menja robnu marku artikla kako bi ga predstavila kao svoj vlastiti. Krajnji kupac razume da kupuje proizvod ili koristi uslugu izvorne kompanije. Dobavljači se fokusiraju na stvaranje proizvoda i usluga i saraduju s B2B posrednikom, maloprodajnom platformom, tržištem ili agregatorom usluga. Posrednička platforma zatim nudi te proizvode ili usluge direktno potrošačima putem uspostavljene mreže, često pod svojim brendom. Amazon Marketplace najveći je svetski B2B2C e-trgovac na malo. Mnogi

proizvođači navode svoje proizvode na Amazonu koji ih promoviraju potrošačima i prima nadoknadu za svaku transakciju. Usluge dostave hrane, poput Uber Eatsa, deluju kao posrednici za dobavljače (restorane) za dostavu hrane potrošačima.

Platforme za online plaćanje, kao što su PayPal i Stripe, poznate su većini potrošača. Pružaju usluge obrade kompanijama, a potom potrošačima omogućavaju sigurnu online kupovinu. Neke investicione platforme ili robo-savetnici sarađuju s drugim finansijskim institucijama (B2B) kako bi ponudile investicione usluge malim ulagačima (B2C).

4.5 Dropshipping

Predstavlja prodaju proizvoda koji je proizveden i isporučen kupcu od strane trećeg lica.

4.6 Crowdfunding

Predstavlja prikupljanje novca od kupca pre nego što je proizvod dostupan, kako bi se prikupio početni kapital potreban za njegovo plasiranje na tržištu.

4.7 Aukcije

Model gde prodavac prodaje proizvod ili uslugu ponuđaču koji ponudi najbolju cenu.

4.8 Affiliate

Popularni model e-trgovine u kojoj online prodavac pristaje da plati određeni procenat za pružanje usluge oglašavanja, ali najčešće prodaje putem drugog sajta.

5. Partnerstva kanala.

Kanalsko partnerstvo opisuje situaciju kada se kompanija udruži s proizvođačem kako bi plasirala i prodavala svoje proizvode, usluge ili tehnologije. Za razliku od B2B2C, kanalska partnerstva često završe tako da kompanija rebrendira proizvode ili usluge koje prodaje kao vlastite umesto izvornog proizvođača. Ovo je poznato kao belo označavanje. Trgovine hranom često koriste partnerske kanale kako bi ponudile uštede svojim kupcima, poput marke Kirkwood u Costcou ili kompanija Whole Foods Market.

6. E-usluge u poštanskom sektoru

Nagli razvoj u oblasti informacionih tehnologija je u suštini promenio DNK poštanskog sistema. Dok s jedne strane to dovodi do pojave elektronskih substituta, s druge strane, poštanski operatori mogu poboljšati svoje postojeće usluge ili kreirati nove usluge bazirane na inovativnim tehnologijama u skladu sa rastućim potrebama korisnika.

Poštanske e-usluge beleže veliki rast na globalnom tržištu u poslednjih nekoliko godina. Međutim, situacija nije svuda ista i dok pojedini regioni i zemlje pokazuju velike stope rasta, ostali regioni (uključujući i niz zemalja u razvoju) zaostaju za njima.

6.1 E-usluge i njihov značaj za poštanski sektor

Prema kategorizaciji Svetskog poštanskog saveza e-usluge su definisane kao "usluge koje poštanski operatori isporučuju svojim krajnjim korisnicima putem

informaciono-komunikacionih tehnologija". ¹The global roadmap for postal services, Doha Postal Strategy 2013 to 2016, Universel Postal Union, Bern 2012

U tom kontekstu, Internet predstavlja glavni kanal za isporuku e-usluga, ali koriste se i drugi kanali kao što su mobilni telefoni, call centri ili televizija. Prema Izveštaju o merenju razvoja e-usluga, Svetskog poštanskog saveza, razlikuju se četiri kategorije ovih usluga:

- usluge e-pošte i e-uprave, tj. komunikacijone, biznis i državne usluge koje se isporučuju korisnicima putem IT kanala;
- usluge e-komercija, koje olakšavaju nabavku i prodaju proizvoda i usluga putem IT kanala omogućavajući isporuku predmeta fizički ili elektronski;
- rešenja za e-finansije i plaćanja, tj. finansijske usluge koje poštanski operatori pružaju krajnjim kupcima koristeći IT kanale (Svetski poštanski savez je razvio regulativu za usluge poštanskog plaćanja koje se pružaju među poštanskim operatorima);
- usluge podrške, tj. široko dostupne i uglavnom besplatne usluge koje poštanski operatori pružaju krajnjim kupcima koji koriste IT kanale.

6.2 Razvijanje i implementacija strategije e-usluga

Poštarski operatori koji ulaze na tržište e-usluga moraju definisati jasnu strategiju, a zatim analizirati i odabrati usluge koje žele da implementiraju. Oni moraju identifikovati koje usluge mogu dodati vrednost njihovom postojećem portfoliju i koje usluge žele da primene kao samostalna rešenja u cilju pokretanja pozitivnih uticaja na druge poštanske poslovne oblasti.

Danas visoko funkcionalni poštanski operatori započinju smelim strategijama u digitalnoj ekonomiji i koriste digitalno u svim aspektima proizvoda, usluga i kanala kako bi zadovoljili potrebe korisnika. Oni u potpunosti koriste mogućnosti mobilne telefonije, tj. moć mobilnih uređaja za povećanje i stvaranje veće vrednosti za postojeće proizvode i usluge, jer prepoznaju i tehnološki prelaz korisnika na mobilni kanal, uspostavljaju odnose direktno sa korisnicima, obezbeđujući im tako kontrolu nad iskustvom isporuke, obezbeđujući im direktan komunikacioni kanal koji im takođe pruža više informacija i podataka o primarcima njihovih proizvoda koji su do sada bili relativno anonimni. Na taj način, oni postaju partner u e-komerc ekosistemu koji je deo čitavog lanca vrednosti elektronske trgovine, putem, na primer, proširivanja njihovih usluga i rešenjima van njihovog domaćeg tržišta ili pružanjem jedne tačke kontakta za veb dizajn i kreiranje, skladištenje, usluge isporuke i plaćanja.

7. Fenomen zvani Temu

Temu predstavlja online prodavnicu u vlasništvu kineskog preduzeća PDD Holdings koja nudi robu široke potrošnje koja se kupcima isporučuje direktno iz Kine. Iako je aplikacija Temu kupcima u Srbiji dostupna tek nekoliko meseci, za nju zna gotovo svaki potrošač naše zemlje koji koristi internet. Ova kineska platforma za prodaju najrazličitijih proizvoda od odeće do odeće do kuću, po funkcionisanju i ponudi je veoma slična takođe kineskom Ali ekspresu, mada nudi konkurentnije cene koje su primamljivije kupcima, dok svi proizvodi stižu u jednom paketu, a na isporuku se čeka mnogo kraće. Temu omogućava

1. The global roadmap for postal services, Doha Postal Strategy 2013 to 2016, Universel Postal Union, Bern 2012

prodavcima iz Kine da prodaju i isporučuju robu direktno kupcima bez potrebe da se oslanjaju na posredničke distributere u zemljama odredišta, čineći proizvode znatno jeftinijim. Temu zahteva od svojih prodavaca da ponude svoje proizvode po cenama nižim od onih sa platforme AliExpress a kada više prodavaca nudi isti proizvod, Temu ovlašćuje samo onaj sa najnižom cenom.

Ova aplikacija, koja je kupcima u Srbiji dostupna od maja, pod sloganom "kupujte kao milijarder", do sada je privukla 600 miliona korisnika širom sveta. Popularnost Temua, pored niskih cena i brze dostave, stručnjaci uglavnom vezuju za agresivan marketing, koji je glavno obeležje biznis modela ove kompanije. Agresivna marketinška kampanja Temua proizvela je izvanredne rezultate, ona se oglašavala u TV reklamama i mobilnim aplikacijama što je dovelo do ogromne popularnosti. tv a piše. Prema istraživanju sprovedenom od strane Sensor Tower, u poslednjem kvartalu 2023. godine, korisnici Temu platforme su provodili u proseku 23 minuta sedmično na aplikaciji, u poređenju sa 18 minuta na platformi Amazon i 22 minuta na platformi Ebay.

7.1 Pitanje konzumerističkog prosvetljenja

Kupcima su na Temu platformi dostupni proizvodi u preko 200 kategorija, a najpopularniji među njima su proizvodi za svakodnevnu upotrebu, poput predmeta za domaćinstvo. Temu takođe nudi i proizvode koji su usmereni na modu, elektroniku, kozmetiku.. Na pakete se čeka od sedam do 15 dana, dostava je besplatna, a minimum za porudžbinu je iznos od 1.700 dinara. Za taj iznos, na ovoj aplikaciji je moguće kupiti na desetine proizvoda, što donekle i opravdava njenu popularnost. Ovakva vrsta kupovine kakvu nudi Temu, više predstavlja zabavu za kupca, nego puki konzumerizam. Za naše prostore ovaj oblik kupovine je i dalje "mlad oblik kupovine", zbog čega će se njena popularnost na nekom nivou deficitinivno zadržati.

Aplikacija je napravljena tako da bude poprično prilagođena korisnicima, da su fotografije primamljive, pa stoga pruža period zabave od, na primer, dva sata listanja i biranja proizvoda. Kao rezultat te zabave, potrošač ima punu korpu od par hiljada dinara, a njegova potreba je zadovoljena.

7.2 Promene koje bi Temu mogao da izazove na našem tržištu

Dolazak Temu-a može da izazove promene na našem tržištu, posebno u oblasti elektronske trgovine. Očekuje se, da će povećana konkurencija podstaći lokalne trgovce da unaprede svoje ponude, smanje cene i poboljšaju korisničko iskustvo, kako bi zadržali lojalne kupce. Takođe, može doći do prilagođavanja u sektoru logistike, jer će povećani broj pošiljaka zahtevati efikasnije procese i bolju organizaciju. Ipak, lokalne platforme još uvek imaju prednost zbog brzine isporuke, sigurnosti, lokalne podrške i mogućnosti eventualne zamene proizvoda. Ovi faktori su ključni za kupce koji vrednuju brzinu i sigurnost više, što daje domaćim igračima prednost i šansu da održe i pojačaju svoje prisustvo na tržištu. Iako su cene proizvoda na kineskoj aplikaciji trenutno veoma konkurentne, postoji mogućnost da dođe do promena u budućnosti, koje bi mogle biti uzrokovane fluktuacijama u troškovima transporta, carinskih nameta, kao i povećanim zahtevima za poštovanjem lokalnih regulativa i standarda kvaliteta.

7.3 Kako Temu postiže cene niže od tržišnih

Temu-u odgovara da njihov model direktnog povezivanja sa fabrikama optimizuje lanac snabdevanja povezivanjem kupaca direktno sa proizvođačima, uklanjajući

nepotrebne posrednike i povezane troškove, ne dovodeći u pitanje kvalitet proizvoda. Pristup Temua osigurava da se proizvodi dostavljaju tek nakon što su prodani, čime se minimizira višak zaliha i smanjuje nepotrebna proizvodnja. Ovaj model ne samo da čini lanac snabdevanja efikasnijim, već ga čini i prilagodljivijim zahtevima potrošača, omogućavajući bolje prilagođavanje proizvoda.

U Srbiji, Temu saraduje sa nekoliko kurirskih kompanija za dostavu proizvoda potrošačima, uključujući Poštu Srbije i Dexpress. Biraju najefikasniju opciju za dostavu paketa u zavisnosti od proizvoda i njegove destinacije, a nedavno je kvalifikovanim trgovcima omogućeno da upravljaju svojim logističkim procesima i isporučuju robu iz lokalnih skladišta na tržištima SAD-a i nekih evropskih zemalja. Na taj način, smanjuje se vreme isporuke i proširuje izbor robe.

8. Zadovoljstvo kupaca

Pandemijski trend kupovine sa globalnog nivoa se preneo i na Srbiju. Kod nas je donedavno bilo važno da poručeni proizvod stigne u ispravnom, neoštećenom stanju u dogledno vreme. Cena proizvoda je često bila jedan od primarnih faktora kupovine, dok je vreme dostave bilo nešto niže na lestvici prioriteta prosečnog srpskog kupca. Ali, ove navike se menjaju. Brza i kvalitetna dostava je tokom proteklog perioda postala specifična prednost u e-commerce poslovanju. Učesnici koji budu u mogućnosti da organizuju dostavu u sopstvenoj režiji ili da razviju kvalitetne partnerske odnose Uzimajući u obzir njihove brojne prednosti, poštanski operatori mogu igrati ključnu ulogu u svim ovim uslugama i iskoristiti mogućnosti za otvaranje novih tržišta i generisanje novih prihoda. Digitalna transformacija nije zaobišla ni ovaj segment trgovine, a revolucija društvenih mreža otvorila je i prostor upravo i za ovu industriju.

Preseljenje kupaca u „onlajn svet“ navelo je i prodavce da započnu novi vid poslovanja. Potrebe kupaca su se promenile, ali danas trgovci ne moraju da im čitaju misli već su to u stanju da urade mnogi alati umesto njih. Neke od e-komerc praksi aktuelne su već neko vreme. Poseban akcenat se stavlja na alate veštačke inteligencije, koji na osnovu ponašanja kupaca mogu da odrede stepen njegove zainteresovanosti i do detalja protumače ono za čim traga, i koje su mu karakteristike važne.

8.1 Unapređenje dostave

U Srbiji su i dalje zastupljena plaćanja prilikom same dostave – plaćanje pouzecem, kao i plaćanja kroz uplate na račun putem opštih uplatnica. To bi bila jedna od specifičnosti srpskog tržišta koje Srbija deli sa zemljama Južne Evrope – Španijom, Italijom, Portugalom i drugim. Ovo je karakteristika na koju bi trebalo da se pripreme svi potencijalni e-commerce igrači. Pored uplata na račun, zastupljena su i plaćanja debitnim i kreditnim karticama. Kada su u pitanju načini dostave, postoje usluge klasične dostave, ekspres dostave, preuzimanje paketa na određenoj lokaciji.

8.2 Dobar odnos sa online kupcima

Dobar odnos sa online kupcima se lako da uvideti i izmeriti, a to su povratničke kupovine, signal da je kupac zadovoljan prethodnom kupoprodajnom avanturom. I to je trenutak gde prodavci najčešće naprave grešku, smatrajući da je taj kupac zadovoljan i da treba da se fokusiraju na akviziciju novih. Baš tu i leži najveći potencijal, a to je da se uroni u personalizovaniji odnos sa korisnikom, koji će rezultirati javnim zastupanjem od strane korisnika, što je pored uspešne prodaje, po meni sveti gral online poslovanja.

8.3. Kupac je uvek u pravu

Online korisnik se na klik može zauvek izgubiti. Brojni analitički alati lako daju uvid gde se i zbog čega korisnici gube, što je, uvelo jednu potpuno novu disciplinu u online poslovanju, a to je praćenje takozvanog „customer journey“-a. Više puta ponovljena krilatica, da je poslednje dobro korisničko iskustvo minimum koji korisnik očekuje i kod istog, ali i kod ostalih prodavaca, rezultirala je dvosmernim promenama u ponašanju. Korisnici su postali svesni da se oko njihove pažnje i zadovoljstva utrkuju, a kompanije da je konkurencija na online-u ogromna. Ulaganja u resurse i alate uslovljena su prodajom i prometom, pa kako bude rasla online ekonomija, tako će se i usvajati prakse sa razvijenijih tržišta, pri čemu je ključan pristanak korisnika da deli podatke sa prodavcem, strategiji prikupljanja i adekvatnoj analizi tih podataka. Tokom pandemije, prema zvaničnim podacima Business Insider-a, 56 odsto online kupaca je isprobalo novog eCommerce retailera, od toga 87 procenata je nastavilo da kupuje kod istog. Kao razlog promene, njih 32 odsto kaže da su dobili bolje opcije za isporuku ili povrat, čak cena nije u vrhu razloga, 26 odsto kaže da je razlog promene bila bolja komunikacija. I upravo su to i jedina mesta na kojima se kontinuiranim radom može pospešiti i unaprediti odnos sa kupcima.

8.4. Mogućnost plaćanja carinskih dažbina unapred-slučaj Norveške

Zakonodavni okvir koji je usvojila Vlada Norveške u cilju optimizacije prikupljanja PDV-a na uvezenu robu male vrednosti, a koja se poručuje online od strane fizičkih lica u Norveškoj ima pravni osnov u Zakonu o porezu na dodatu vrednost Norveške. Novi zakonodavni okvir Norveške omogućava da međunarodne e- trgovine zaračunavaju porez na dodatu vrednost (PDV) prilikom naručivanja i plaćanja robe. Na ovaj način, korisnik ne mora razmišljati o uveznoj carini, jer internet trgovina plaća porez direktno norveškoj poreskoj upravi. Ovo se odnosi na online trgovine koje su registrovane u sistemu VOEC - PDV za E-trgovinu. Prilikom kupovine u VOEC registrovanoj online prodavnici, kupac će prilikom kupovine imati uvid u ukupnu cenu proizvoda ili usluge koje poručuje. Kada je strana elektronska prodavnica registrovana u VOEC-u, obračunavaće se će PDV na isti način kao za norvešku elektronsku prodavnicu sa prikazanom ukupnom cenom, a paket će takođe brže preći granicu jer nema naplaćivanja PDV, dodatne carine niti carinjenja. Za korisnika to znači da internet trgovina obračunava PDV direktno prilikom poručivanja robe, tako da ga korisnik plaća direktno internet prodavnici, zajedno s cenom dostave i svim ostalim troškovima.

9. Zaključak

Velika svetska e-komerc tržišta trenutno se takmiče u naprednim uslugama i visoko tehnološkim inovacijama u dostavi, logistici i skladištenju robe, jer njihovi kupci većinski ne sumnjaju u stubove online trgovine – jednostavnost, brzinu, bezbednost. Usluge koje će u budućnosti igrati važnu ulogu uključuju upravljanje identitetom i proveru autentičnosti, mobilnu trgovinu i analitiku. Ova druga oblast ima izuzetan poslovni potencijal jer poštanski operatori raspolažu sa ogromnim bazama podataka koje im omogućavaju veoma preciznu analitičku prognostiku u visoko konkurentnom tržišnom okruženju. Već nekoliko godina, razvija se tehnologija koja će prepoznati kupca unapred (već prilikom registracije): njegove demografske podatke, navike, hobi, čime se profesionalno bavi, šta voli koje proizvode preferira I najčešće kupuje, njegov kompletan profil. Koristeći istoriju pretrage i onlajn kupovine, komentare i objave na društvenim mrežama i forumima, koji se odnose na informacije o tome koju smo hranu poručili onlajn

ili koji smo film pogledali, e-komerc platforme nude proizvode i shopping iskustvo koje je personalizovano. Usavršavanjem ove tehnologije, personalizovana onlajn kupovina definitivno postaje standard koji će za nekoliko godina postati nešto što će imati svaka veća e-komerc platforma. Suočavajući se sa sve većom konkurencijom i rastućim, promenljivim očekivanjima potrošača, kompanije kontinuirano prilagođavaju svoje strategije kako bi ostale relevantne na ovom tržištu. Inovativne tehnologije poput veštačke inteligencije, analitike podataka i digitalnog marketinga postaju ključni alati u optimizaciji korisničkog iskustva i personalizaciji ponude. Trendovi u e-komercu neprekidno se razvijaju i oblikuju budućnost onlajn trgovine. Kompanije koje su sposobne da prate ove trendove i prilagode svoje strategije u skladu s njima imaju mogućnost da ostvare konkurentsku prednost i ostvare uspeh na sve zahtevnijem tržištu e-komercera. Predviđa se da će tehnološke inovacije i dalje biti ključne za rast e-komercera, dok će promene u potrošačkim navikama i ponašanju oblikovati strategije kompanija. Predstojeći izazovi, uključujući regulativne promene i konkurenciju, zahtevaće agilnost i prilagodljivost svih učesnika na tržištu.

Literatura

- [1] The global roadmap for postal services, Doha Postal Strategy 2013 to 2016, Universal Postal Union, Bern 2012
- [2] European Commission: Directorate-General for the Internal Market and Services, Rølmer, S., Okholm, H., Basalisco, B., Thelle, M. et al., E-commerce and delivery – A study of the state of play of EU parcel markets with particular emphasis on e-commerce, European Commission, 2013,
- [3] UPU E-Commerce Guide, Universal Postal Union, 2020, BernePostal Regulation, Principles and Orientation, Universal Postal Union, Berne, 2004.
- [4] E-Commerce Trends, Accelerating the future of E-Commerce, Dr Simran Mehta, Eduphoria, An International Multidisciplinary Magazine, 2024
- [5] Main developments in Postal sector (2017-2021), Copenhagen Economists, European Commission 2022

Abstract: *E-commerce is a worldwide big industry that has revolutionized the way the world is conducting business, with bright future laying ahead. It has created greater convenience for customers enabling them to purchase what they want, whenever they want and wherever they are. It has also created opportunities for companies encouraging them to create new services and develop new business models to better adjust to customer expectations. E-commerce business is growing exponentially comprising online channels with physical retail experiences, heading towards seamless hyper-personalized shopping experience. E-commerce is highly innovative and rapidly growing market and provides important business opportunities for companies who will invest in infrastructure and new technological solutions in the e-commerce supply chain by developing new digital competencies and exploring usage of artificial intelligence, thus shaping the new communication landscape*

Keywords: *e-commerce, key driver, innovation, digital, communication*

THE FUTURE OF E-COMMERCE – E-COMMERCE AS A KEY DRIVER FOR INNOVATION, COMPETITIVENESS AND ECONOMIC GROWTH

Olja Jovičić, Spasenija Ožegović

EKONOMIJA DELJENJA U SISTEMIMA PRENOSA POŠILJAKA

Đordije Dupljanin, Milena Ninović, Slaviša Dumnić
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka,
ddjordji@uns.ac.rs, milenainovic@uns.ac.rs, dumnic.s@uns.ac.rs

Rezime: *Ekonomija deljenja omogućava efikasniju upotrebu resursa, smanjenje troškova i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu. U ovom radu istražene su mogućnosti primene ovog koncepta u sistemima prenosa pošiljaka i generalno u poštanskom saobraćaju. U tom kontekstu, analizirane su prednosti i izazovi ekonomije deljenja, uz razmatranje različitih opcija za zajedničko korišćenje resursa, kao što su transportna sredstva, infrastruktura, paketomati i drugi elementi poštanskog sistema.*

Ključne reči: *ekonomija deljenja, prenos pošiljaka, dostava, održivost*

1. Uvod

Kako e-trgovina nastavlja svoj ubrzani rast, poštanski operatori i maloprodajni lanci suočavaju se s izazovom dostave sve većeg broja pošiljaka u sve kraćim rokovima, što postaje ključna konkurentska prednost. Poseban izazov predstavlja poslednji korak u procesu prenosa pošiljaka, tzv. "last-mile" dostava, koja je organizaciono i resursno najzahtevnija [1]. U nastojanju da poštanski operatori ispune zahteve potrošača za bržom, pouzdanijom i povoljnijom dostavom, sistemi za prenos pošiljaka koji su zasnovani ili imaju elemente ekonomije deljenja dobiju sve veću popularnost.

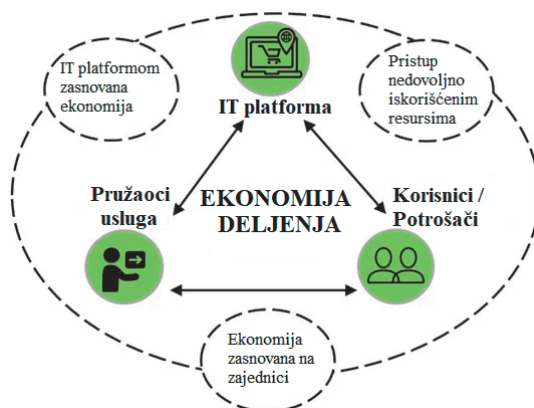
Današnje tržište nameće složene zahteve pred nudioce usluga prenosa pošiljaka, uključujući i potrebu za ekološki odgovornim poslovanjem, kao jednim od ključnih aspekata održivosti. Budući da se većina dostava obavlja drumskim prevozom, sve veći broj istraživanja usmeren je na razvoj modela koji bi smanjili negativan uticaj na životnu sredinu. U skladu s tim, ekonomija deljenja može doprineti smanjenju emisija štetnih gasova, kao i efikasniju potrošnju resursa, kroz bolje iskorišćenje postojećih kapaciteta i integraciju zelenih tehnologija, čineći dostavu efikasnijom i održivijom.

Ekonomija deljenja, kao savremeni fenomen koji omogućava deljenje resursa i usluga putem digitalnih platformi, transformisala je mnoge sektore, uključujući i sektor dostave. Tradicionalno, usluge dostave su podrazumevale da pružalac usluge koristi sopstvene resurse – skladišta, transportna sredstva i zaposlene u sistemima prenosa pošiljaka.

2. Ekonomija deljenja

Ekonomija deljenja (engl. *sharing economy*), termin prvi put pomenut 2008. godine, je poslovni koncept koji se odnosi na aktivnost sticanja, obezbeđivanja ili deljenja pristupa dobrima i uslugama, i uključuje deljenje procesa, ideja, tehnika i informacija sa drugim pojedincima ili firmama [2, 3]. Glavni cilj inkorporacije ekonomije deljenja je smanjenje upotrebe resursa za obavljanje poslovnih aktivnosti i postizanje maksimalnih rezultata.

Suština ovog koncepta leži u pružanju privremenog pristupa dobrima i uslugama putem digitalnih platformi [4]. Ove platforme povezuju pružaoce resursa, kao što su pojedinci ili preduzeća, sa korisnicima, olakšavajući deljenje vozila, smeštaja, pa čak i usluga dostave. U tom smislu, platforme predstavljaju ključni posrednik između pružaoaca i korisnika, pri čemu same ne poseduju resurse koje omogućavaju deljenje. Na slici 1 dat je grafički prikaz elemenata ekonomije deljenja.



Slika 1. Elementi ekonomije deljenja [5]

Pojmovi koji se često povezuju i poistovećuju sa ekonomijom deljenja, a prisutni su u literaturi, uključuju: „*collaborative consumption*”, „*collaborative economy*“, „*on-demand economy*“ i drugi.

Što je određena geografska oblast naseljenija i urbanizovanija, sa većom i raznovrsnijom zajednicom različitih starosnih grupa, to je pogodnija za primenu aktivnosti ekonomije deljenja. Prostor za delovanje ekonomije deljenja širi se kada postoje viškovi imovine, kada je imovina nedovoljno iskorišćena, a vlasnici spremni da je ustupe drugima. Takođe, rast preduzetničkog duha, posebno među onima koji razvijaju aplikacije i platforme, doprinosi razvoju ove ekonomije. Važno je napomenuti da, pored fizičkih dobara, i usluge mogu biti predmet deljenja, što rezultira raznolikim poslovnim modelima u okviru ekonomije deljenja.

Ekonomija deljenja funkcioniše kroz dvostrane poslovne modele, u kojima platforme moraju privući kako pružaoce usluga, tako i korisnike [6]. Primeri takvih platformi su *Airbnb* za deljenje smeštaja i *BlaBlaCar* za deljenje vožnji. Ove platforme značajno smanjuju transakcione troškove i olakšavaju pristup uslugama koje su ranije bile dostupne isključivo kroz tradicionalne poslovne modele. Na tržištima kao što je Srbija, najdominantnije su platforme iz oblasti smeštaja i transporta, dok su u drugim oblastima manje zastupljene.

Koristi ekonomije deljenja su višestruke, uključujući ekonomske, ekološke i društvene aspekte. Na ekonomskom planu, deljenje resursa omogućava bolju iskorišćenost neiskorišćenih kapaciteta, povećava produktivnost i smanjuje troškove, dok na ekološkom planu doprinosi smanjenju emisije gasova i optimizaciji potrošnje resursa. Na društvenom nivou, omogućava demokratizaciju tržišta i širi pristup raznim uslugama, što dodatno doprinosi održivom razvoju [5]. Ekonomija deljenja daje kompanijama pristup informacijama, resursima i tehnikama i osigurava kredibilitet odnosa [3].

Ovaj model poslovanja se može posmatrati i kroz prizmu ciljeva održivog razvoja posebno u oblastima kao što su održivi ekonomski rast, industrija i inovacije, održiva potrošnja i proizvodnja [7]. Ovo ukazuje da ekonomija deljenja može biti efikasan alat za stvaranje održivih vrednosti kroz podsticanje efikasnosti resursa i smanjenje ekološkog uticaja.

Digitalne tehnologije, koje su temelj ekonomije deljenja, omogućavaju platformama da unaprede ekonomske aktivnosti i podstaknu održive prakse, što je ključna dimenzija ovog poslovnog modela. Na primer, u oblasti transporta, deljenje vozila smanjuje broj transportnih sredstava na putevima, dok usluge kao što je *Yandex Taxi* omogućavaju mobilnost uz niže ekološke i ekonomske troškove [8].

Ekonomija deljenja ima nekoliko značajnih nedostataka. Prvo, poverenje u učesnike, uključujući platforme i pružaoce usluga, često je nisko, naročito zbog nepoverenja prema nepoznatim osobama i osećaja narušavanja privatnosti. Mnogi potencijalni pružaoци usluga imaju percepciju da nemaju dovoljno veština ili resursa za deljenje. Osim toga, nedostatak podrške lokalnih i regionalnih vlasti, kao i nedovoljna informisanost korisnika o modelima i prednostima ekonomije deljenja, predstavljaju prepreke. Neki modeli nisu prilagođeni zakonodavnim ili tarifnim okvirima specifičnog tržišta. Kvalitet usluga i proizvoda, njihovo osiguranje, kao i zaštita podataka i prava zaposlenih u ovom sektoru, takođe su ključni izazovi koji zahtevaju sistemski rešenja i zakonodavne promene na globalnom nivou [9].

Prema procenama, globalni prihodi od ekonomije deljenja do 2025. godine dostići će 335 milijardi dolara [10]. Ovaj trend ukazuje na to da će ekonomske, ekološke i društvene koristi ovog modela nastaviti da rastu, pružajući nove prilike za preduzetnike i platforme, ali i izazove u pogledu regulativa i zaštite prava učesnika.

3. Primeri deljene ekonomije u sistemima za prenos pošiljaka

Ekonomija deljenja nudi brojne mogućnosti za poštanske operatore da poboljšaju svoju efikasnost, smanje troškove i unaprede održivost u sistemima prenosa pošiljaka. Korišćenje zajedničkih resursa, vozila i infrastrukture pomaže ne samo u smanjenju troškova, već i u optimizaciji procesa dostave, posebno u urbanim sredinama, ali i u manje dostupnim ruralnim područjima.

Deljenje vozila za dostavu (engl. *Car-sharing*)

Poštanske kompanije mogu koristiti model deljenja vozila za potrebe dostave pošiljaka. Umesto posedovanja velikog i heterogenog voznog parka, poštanski operatori mogu unajmiti ili deliti vozila sa drugim prevoznim ili logističkim kompanijama. Ovakvo poslovanje može da omogući fleksibilnost i smanjenje troškova, naročito u periodima kada je potreban veći broj vozila za sezonske ili vršne periode dostave [11]. Na slici 2 dat je

ilustrativni prikaz funkcionisanja deljenja vozila. U tom smislu, platforme poput *Getaround* ili *Zipcar* mogu biti korišćene za kratkoročno iznajmljivanje vozila za dostavu na poslednjoj milji (engl. *lastmile delivery*).



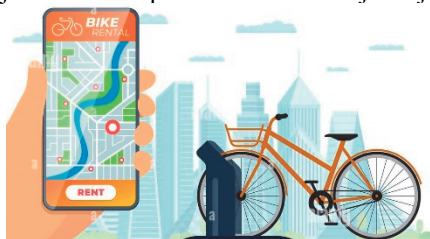
Slika 2. Ilustrativni prikaz funkcionisanja deljenja vozila [12]

Deljena infrastruktura

Deljenje infrastrukturnih kapaciteta između različitih kompanija može biti veoma korisno za poštanske operatore, posebno u manjim gradovima i ruralnim oblastima. Kompanije koje bi delile skladišta, distribucione centre ili čvorišta potencijalno bi smanjile troškove skladištenja i pratećih operacija. Pored toga, mogućnost deljenja vozila za dostavu iz zajedničkih čvorišta doprinelo bi povećanju efikasnosti. Opcijom *Warehousing-as-a-Service* (WaaS) poštanske kompanije mogu koristiti zajedničke skladišne prostore u velikim gradovima ili u blizini transportnih ruta, smanjujući potrebu za sopstvenim objektima. Korišćenjem preradnih centara drugih poštanskih operadora ostvarile bi se iste prednosti.

Deljenje bicikala i električnih vozila (engl. *Bike-sharing* i engl. *E-vehicle sharing*)

Upotreba deljenih bicikala i električnih vozila (poput električnih bicikala, trotineta ili malih automobila) može značajno poboljšati dostavu pošiljaka, posebno u urbanim sredinama [13]. Ova vozila su energetske efikasna, smanjuju troškove goriva i omogućavaju dostavu u teško pristupačnim oblastima, poput centara gradova ili zagušenih saobraćajnica. Na slici 3 dat je ilustrativni prikaz funkcionisanja deljenja bicikala.



Slika 3. Ilustrativni prikaz funkcionisanja deljenja bicikala [14]

Sistemi za deljenje električnih bicikala i skutera poput platformi *Lime* i *Bird* mogu biti korišćeni za brzu dostavu malih paketa, smanjujući emisije štetnih gasova i troškove goriva. Deljenje teretnih bicikala (engl. *Cargo bike sharing*) omogućilo bi poštanskim operatorima da dostavljaju pošiljke u urbanim centrima gde je pristup vozilima ograničen.

Jedna od alternativnih opcija za deljenje vozila, koja je posebno popularna u istočnim zemljama, jeste deljenje električnih rikši [15]. Ovaj vid prevoza nudi veći komfor u poređenju sa biciklima ili električnim biciklima, uz dodatnu pogodnost prostora za prtljag, što ih na neki način čini sličnim teretnim biciklima [16].

Peer-to-peer dostava (engl. Crowdsourced delivery)

Crowdsourced dostava podrazumeva angažovanje velikog broja ljudi za dostavu uz podršku digitalnih platformi koje upravljaju ponudom i potražnjom [17]. Ideja je da se iskoristi široka baza potencijalnih dostavljača, koji se dobrovoljno uključuju u dostavu, dok platforme koordiniraju aktivnosti i povezuju učesnike, što je ilustrativno prikazano na slici 4. Dostavljači su dinamički dostupni i biraju se sami ili automatski na osnovu blizine preuzimanja i odredišta, uz praćenje pošiljke u realnom vremenu.

Za razliku od profesionalnih kurira, *crowdsourced* dostavljači nisu nužno profesionalci, već su voljni da, uz nadoknadu, obavljaju dostavu dok se kreću gradom (najčešće svojim automobilom). Iako dostava može biti deo njihovog redovnog kretanja, često se angažuju i oni koji imaju slobodno vreme ili žele dodatni prihod. Ovaj model donosi niže operativne troškove i smanjuje potrebu za skladišnim kapacitetima zahvaljujući ubrzanj distribuciji pošiljaka [18].



Slika 4. Prikaz funkcionisanja Crowdsourced dostave [17]

Platforme poput *UberEats* ili *Postmates* mogu se koristiti i za dostavu pošiljaka. Vozači ili biciklisti koji već obavljaju druge usluge mogu istovremeno dostavljati i poštanske pošiljke. *Amazon Flex* omogućava vozačima da se prijave i dostavljaju pošiljke koristeći sopstvena vozila. Sličan sistem bi mogao biti implementiran kod nacionalnih poštanskih operatera.

Deljenje prevoznih sredstava unutar zajednica

U ruralnim ili slabije naseljenim oblastima, poštanske kompanije mogu koristiti resurse lokalne zajednice, kao što su vozila lokalnih prevoznika, kako bi optimizovale dostavu pošiljaka. Ovaj model podrazumeva saradnju sa lokalnim stanovništvom koje može preuzeti ulogu dostavljača u deljenju resursa. Deljena vozila u manjim mestima mogu biti korišćena za dostavu pošiljaka. Na primer, lokalni preduzetnici ili vozači koji već obavljaju druge poslove (npr. dostava hrane ili prevoz putnika) mogu preuzeti ulogu dostavljača pošiljaka.

Deljenje poštanskih paketomata (engl. *Parcel locker sharing*)

Paketomati omogućavaju korisnicima da preuzmu ili predaju pošiljke u pogodno vreme, bez potrebe za interakcijom sa dostavljačem. Poštanska kompanija koja poseduje mrežu paketomata može deo ćelija iznajmljivati zainteresovanim stranama. Fizička lica bi, pored korišćenja poštanskih usluga, mogla zakupljivati pregrade za kratkotrajno skladištenje ili ostavljanje paketa koje će druga osoba kasnije preuzeti. Ova deljena usluga bila bi korisna i za kompanije koje nemaju sopstvene paketomate. Time se povećava mobilnost korisnika, uz napomenu da postoje i mobilni paketomati [15].

Paketomat sistemi kao što su oni koje koristi *Amazon Locker* ili *InPost* omogućavaju korisnicima da preuzimaju ili ostavljaju pošiljke u deljenim ormarićima na raznim lokacijama, smanjujući potrebu za ličnom dostavom na kućnu adresu. Slični paketomati mogu biti postavljeni u partnerstvu sa trgovinskim centrima, benzinskim stanicama ili poštanskim jedinicama.

Deljenje infrastrukture za punjenje električnih vozila

S obzirom na rast popularnosti električnih vozila, poštanske kompanije s električnim flotama mogu ostvariti prednosti deljenjem infrastrukture za punjenje sa drugim prevoznim kompanijama ili privatnim korisnicima. To bi smanjilo troškove izgradnje i održavanja punionica i omogućilo efikasnije korišćenje resursa, i doprinelo bi održivom razvoju i smanjenju zagađenja. Partnerstva sa gradskim vlastima i energetskim kompanijama mogla bi da pokrenu razvoj zajedničkih stanica za punjenje. Ovakva rešenja podržala bi širu primenu električnih vozila.

4. Zaključak

Iako ekonomija deljenja u sistemima prenosa pošiljaka nosi značajan potencijal za unapređenje efikasnosti i održivosti, njena primena u praksi još uvek je ograničena. Deljenje resursa poput transportnih sredstava, infrastrukture i paketomata može značajno smanjiti troškove i poboljšati efikasnost dostave. Međutim, kako bi se ovaj potencijal u potpunosti realizovao, potrebno je unaprediti zakonsku regulativu i uspostaviti jasne smernice. Uz to, ključno je raditi na izgradnji poverenja među svim učesnicima u sistemu, što bi dodatno podstaklo šire prihvatanje i uspešnu primenu ekonomije deljenja u poštanskom saobraćaju.

Literatura

- [1] Aurambout, J. P., Gkoumas, K., & Ciuffo, B., Last mile delivery by drones: An estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *European Transport Research Review*, 11(1), 1-21, 2019.
- [2] Moslehpour, M., Ismail, T., Purba, B., & Wong, W. K., What makes GO-JEK go in Indonesia? The influences of social media marketing activities on purchase intention. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 17(1), 89-103, 2021.

- [3] Tu, Y. T., Aljumah, A. I., Van Nguyen, S., Cheng, C. F., Tai, T. D., & Qiu, R., Achieving sustainable development goals through a sharing economy: Empirical evidence from developing economies. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1), 100299, 2023.
- [4] Bojković, N., Petrović, M., Živojinović, T., Aničić, Z., Živanović, M., Janjić, J., ... & Jeremić, V., Ekonomija deljenja–karakteristike, poslovni modeli, primeri platformi i razvojni izazovi, 2022.
- [5] Karobliene, V., & Pilinkiene, V., The Sharing Economy in the Framework of Sustainable Development Goals: Case of European Union Countries. *Sustainability*, 13(15), 8312. DOI: 10.3390/su13158312, 2021.
- [6] Öberg, C., Towards a typology of sharing economy business model transformation. *Technovation*, 123, 102722, 2023.
- [7] Pérez-Pérez, C., Benito-Osorio, D., García-Moreno, S. M., & Martínez-Fernández, A., Is Sharing a Better Alternative for the Planet? The Contribution of Sharing Economy to Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 13(4), 1843. DOI: 10.3390/su13041843, 2021.
- [8] Parezanović, T., Petrović, M., Bojković, N., & Pamučar, D., One approach to evaluate the influence of engineering characteristics in QFD method. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(3), 299-331, 2019.
- [9] Eckhardt, G. M., Houston, M. B., Jiang, B., Lambertson, C., Rindfleisch, A., & Zervas, G., Marketing in the sharing economy. *Journal of Marketing*, 83(5), 5-27, 2019.
- [10] Price Waterhouse Coopers, Dostupno na: <https://www.pwc.com/us/en/industry/entertainment-media/publications/consumer-intelligence-series/assets/pwc-cis-sharing-economy.pdf>. Pristupano: 16.10.2024.
- [11] Roblek, V., Meško, M., & Podbregar, I., Impact of car sharing on urban sustainability. *Sustainability*, 13(2), 905, 2021.
- [12] Stars, Dostupno na: <https://stars-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/03/Photo-INEA-Project-Fiche.png>. Pristupano: 16.10.2024.
- [13] Binetti, M., Caggiani, L., Camporeale, R., & Ottomanelli, M., A sustainable crowdsourced delivery system to foster free-floating bike-sharing. *Sustainability*, 11(10), 2772, 2019.
- [14] Alamy, Dostupno na: <https://c8.alamy.com/comp/2JKP0HW/bike-rental-mobile-app-banner-hand-hold-smartphone-with-online-application-with-bicycle-rent-station-in-modern-city-public-cycle-eco-transport-sharing-service-urban-ecological-transportation-vector-2JKP0HW.jpg>. Pristupano: 16.10.2024.
- [15] Lazarević, D., Dobrodolac, M., & Popović, Đ. Koncept deljene mobilnosti u sistemima za prenos pošiljaka. XXXIX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021, 157-166, 2021.
- [16] Mulley, C., Mobility as a Services (MaaS)—does it have critical mass?. *Transport reviews*, 37(3), 247-251, 2017.
- [17] Bojković, N., Petrović, M., & Živojinović, T., Crowdsourced dostava: mogućnosti i izazovi. In *XL Symposium on New Technologies in Postal and Telecommunication Traffic–PosTel 2022* (pp. 53-62), 2022.

- [18]Rougès, J. F., & Montreuil, B., Crowdsourcing delivery: New interconnected business models to reinvent delivery. In *1st international physical internet conference* (Vol. 1, pp. 1-19). Québec City (Canada) IPIC, 2014.

Zahvalnica

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta "Savremeni trendovi i inovacije u razvoju kurikuluma u oblasti saobraćaja i trasporta“, osnovanog od strane Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

***Abstract:** The sharing economy enables more efficient use of resources, cost reduction, and a decrease in negative environmental impact. This paper explores the possibilities of applying this concept to parcel delivery systems and the postal sector in general. In this context, the advantages and challenges of the sharing economy are analyzed, along with consideration of various options for shared use of resources, such as transport vehicles, infrastructure, parcel lockers, and other elements of the postal system.*

***Key words:** sharing economy, parcel delivery, shipping, sustainability*

THE SHARING ECONOMY IN PARCEL DELIVERY SYSTEMS

Đorđije Dupljanin, Milena Ninović, Slaviša Dumnić

MODEL ZA PROGNOZU STOPE GRANIČNE DOBITI NA OSNOVU UČEŠĆA POJEDINIH GRUPA USLUGA U PRIHODU NACIONALNIH POŠTANSKIH OPERATORA

Bojan Jovanović, Nataša Čačić
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
bojanjov@uns.ac.rs, ncacic@uns.ac.rs

Rezime: Prognoziranje ekonomskih parametara oduvek je privlačilo pažnju eksperata. Nastojanje da se smanji neizvesnost je stalno prisutna. U okviru rada postavlja se zadatak realizovanja prognoze stope granične dobiti za nacionalne poštanske operatore. Ulazne veličine su procentualno učešće grupa usluga u ukupnom prihodu prema klasifikaciji Svetskog poštanskog saveza. Za razvijanje modela primeniće se ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) pristup. Dobijeni rezultati nakon uveštavanja i validacije obećavaju da je koncept moguće uspešno realizovati.

Ključne reči: nacionalni poštanski operatori, stopa granične dobiti, ANFIS

1. Uvod

Nacionalni poštanski operatori suočavaju se danas sa brojnim izazovima. Jedan od njih je da održe konkurentnost u komercijalnom sektoru sa konkurencijom. Sa druge strane od njih se očekuje ispunjenje javnog interesa kroz univerzalnu uslugu. Tu se možda nalazi ključ za ostvarivanje njihovog potpunog potencijala.

Kao rezultat njihovog poslovanja na kraju godine dobijamo usluge, koje zauzimaju određenu poziciju u prihodnom spektru. Različite usluge, različito doprinose ukupnom prihodu. To naravno ne zavisi samo od njihovog obima, već i od njihove prirode.

Prisutni trendovi idu u prilog paketskim pošiljkama. Zapravo u periodu od 2017.-2021. godine u EU prosečna godišnja stopa rasta im je bila 14,6%, dok istovremeno za pismonosne pošiljke konstantan pad od 7% godišnje [1].

Najveći broj poštanskih operatora prepoznaje da će e-trgovina imati najveći uticaj na njihovo poslovanje u narednih pet godina [2]. Takođe, očekuju se i velika ulaganja u fazu dostave uzimajući u obzir automatizaciju, kao i nove tehnologije poput Big Data, veštačke inteligencije i sajber bezbednosti. U 2024. godini očekuje se operativni prihod od poštanskih sektora u iznosu od preko 0,5 triliona € [3].

Nalaženjem pravih odgovora na postavljena pitanja, trebao bi se kreirati optimalan portfolio usluga, da bi učešće u prihodu pojedinih usluga bilo na zahtevanom nivou. Odnosno, maksimizirati funkciju dobiti na osnovu raspoloživih kapaciteta.

2. Cilj rada

Zadatak koji se postavio pred autore rada je proznati obrazac ponašanja onih poštanskih operatera koji se prepoznaju kao uspešni. Kakva je njihova struktura usluga u prihodnoj celini i poredeći sa ostalima uočiti pravilnosti ukoliko postoje. Pretpostavka je da uspešni liče jedni na druge, dok oni koji to nisu verovatno imaju nit neuspeha koja ih spaja. Balgovremenim sagledavanjem sopstvene pozicije, i shvatanjem suštine problema, moguće je preduzeti pravovremene mere i zahvatiti više tržišnog „kolača“ koji se uvećava.

Formiranjem modela, olakšaće se poštanskim operatorima, da na bazi sopstvene „recepture“ usluga predvide kako će se ponašati njihovi sistemi. Nalaženjem optimalne kombinacije, sledi preduzimanje odgovarajućih mera (pre svega iz domena marketinga) kako bi se postigla zahtevana preorijentacija u pogledu ciljanih segmenata korisnika.

3. Ključni parametri

U istraživanju smo se ograničili na nacionalne poštanske operatore EU (za 18 su na raspolaganju potrebni podaci) kao predvodnike u poštankom sektoru, pre svega iz ugla reaulative, a samim time i u njihovom poslovnom okruženju. Tržište poštanskih usluga je u stanju potpune liberalizacije već više od decenije [4]. Tako da rezultati koje postižu nacionalni operatori u EU mogu poslužiti operatorima iz ostatka sveta i kao primer dobre prakse i kao primer učenja na tuđim greškama.

Tabela 1. Ključni parametri nacionalnih poštanskih operatera EU[5]

država/ usluga	<i>pismonosne</i>	<i>paketi i logističke usluge</i>	<i>finansijske</i>	<i>ostali proizvodi</i>	<i>filatelija</i>	<i>stopa granične dobići %</i>
Belgija	21.00%	61.00%	0	18.00%	0	5.57
Bugarska	33.00%	5.00%	1.00%	61.00%	0.94%	-33.80
Hrvatska	43.57%	17.73%	1.46%	37.25%	0.02%	-0.70
Češka	92.10%	6.90%	0.20%	0.80%	0	-9.28
Estonija	20.00%	74.00%	1.00%	5.00%	0.20%	20.69
Nemačka	9.00%	91.00%	0	0	0	5.84
Madarska	50.00%	16.00%	24.00%	10.00%	0.40%	2.65
Irska	48.51%	19.79%	20.43%	11.28%	0.43%	-43.68
Italija	17.10%	11.60%	42.40%	28.90%	0.06%	12.61
Letonija	28.00%	43.00%	9.00%	20.00%	1.00%	2.20
Litvanija	15.00%	47.00%	11.00%	28.00%	0.10%	4.26
Malta	69.60%	13.60%	1.00%	15.80%	1.20%	1.74
Holandija	38.50%	56.00%	0.00%	5.50%	0	0.83
Poljska	50.00%	12.00%	12.00%	26.00%	0	-0.08
Portugal	51.00%	29.00%	20.00%	0.00%	1.00%	4.02

Romania	36.00%	8.00%	50.00%	6.00%	0	0.77
Slovakia	47.00%	15.00%	5.00%	33.00%	0	-2.36
Slovenia	59.20%	23.40%	5.00%	12.40%	0.30%	1.49

Ključni parametri (Tabela 1.) predstavljaju procentualno učešće pojedinih vrsta usluga (to su ujedno i ulazne veličine u model). Kao izlaznu veličinu posmatraćemo stopu granične dobiti. Ova veličina služi za evaluaciju profitabilnosti prodaje usluga pojedinih poštanskih operatera. Drugim rečima, na taj način se vrši merenje svake jedinice vrednosti prodaje, koja ostaje nakon odbitka svih troškova, uključujući i kamate i poreze [6]. Formula stope granične dobiti jedanka je:

$$\text{Stopa granične dobiti} = \frac{\text{profit nakon oporezivanja}}{\text{ukupan prihod}} * 100\% \dots \dots \dots (1)$$

4. ANFIS model

Adaptivni neuro-fazi sistemi (ANFIS) predstavljaju klasu adaptivnih sistema, koji omogućavaju kombinaciju učenja, prilagodljivosti i sposobnosti rešavanja nelinearnih, vremenski promenljivih problema osobenih za veštačke neuronske mreže, kao i pristupa aproksimativnog rezonovanja i obrade informacija uz podršku fazi skupova [7]. Osnovna struktura fazi sistema sastoji se od baze pravila, baze podataka i mehanizma rasuđivanja, a ANFIS se zasniva na Takagi-Sgeno fazi sistemu [8].

U sledećem koraku sledi izbor mogućih rešenja u programskom okruženju Matlab. Na bazi raspoloživih alternativa odabira se onaj koji raspolaze sa najboljim performansama. Kriterijumi za vrednovanje biće: R² (koeficijent determinacije), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) i oblika **provrsi** prenosne funkcije za pojedine parove ulaznih podataka. U pogledu koeficijenta determinacije kojom se opisuje jačina veze između poređanih podataka važi sledeće [9]: <0.30 niska, 0.30 - 0.60 umerena i preko 0.60 visoka. Vrednosti koeficijenta determinacije se posmatraju kroz sledeću "prizmu" [10]: <10% visoko precizna prognoza, 10%-20% dobra prognoza, 20%-50% prihvatljiva prgnoza i >50% neprecizna prognoza.

U zavisnosti od načina generisanja polaznog ANFIS sistema, kao i mogućnosti za njegovo obučavanje iskristalisalo se šest opcija (Tabela 2.).

Tabela 2. Mogući ANFIS sistemi

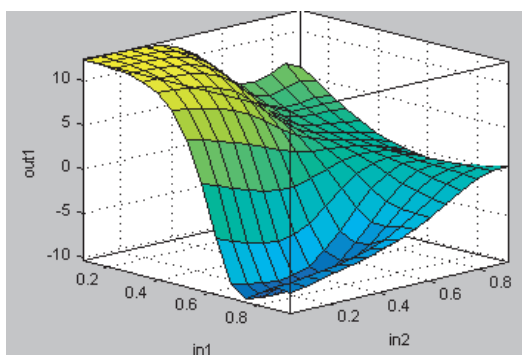
obuka/polazno formiranje	grid partition		sub. clustering
	constant	linear	
hybrid	npm11	npm12	npm31
backpropagation	npm21	npm22	npm32

Nakon formiranja potencijalnih kandidata, pristupili smo njihovom utvrđivanju koliko verodostojno reprezentuju polazni realni sistem (Tabela 3.).

Tabela 3. Poređenje razvijenih ANFIS sistema

parametri/sistemi	npm11	npm12	npm21	npm22	npm31	nmp32
MAPE (%)	20.2	19.27	95.5	97.34	5.27	1151
R ²	0.645	0.645	0.418	0.533	0.997	0.632

Analizirajem posmatranih veličina uočeno je da najbolje performanse poseduje ANFIS sistem nmp31 sa zaista izuzetnim vrednostima MAPE od 5.27% i veoma i visokim koeficijentom determinacije (R²) od 0.997. Shodno tome njegaćemo i detaljnije opisati. Ceo sistem je definisan sa svega 13 fazi pravila što čininjegovo jezgro. Funkcije pripadnosti ulaznih veličina su u obliku Gausove krive. Slika 1. ukazuje na premisu koja je pretpostavljena a to je da značajnije učešće paketskih i logističkih usluga dorinosa boljem rezultatu nego kada se aktivnosti usmere na pismonosne usluge. Sve to govori da sistem verodostojno simulira odnose koje postoje u realnom svetu.



Slika 1. Prenosna funkcija nmp31 za prve dve ulazne veličine

5. Validacija modela i diskusija

Kako bi proverili da li sistem daje adekvatne rezultate nije dovoljno samo sagledati parametre na podacima koji su poslužili za trening. Potrebno je videti kako ANFIS reaguje na nepoznate kombinacije ulaza, tj. koliko je njegov izlaz blizak sa rezultatima koje su postigli nacionalni poštanski operatori, koji su poslužili za testiranje. Kako bi to sproveli, izabraćemo 10 nasumično izabranih nacionalnih poštanskih operatera (Tabela 4.)

Nakon pripreme podataka za validaciju, podaci su obrađeni u ANFIS nmp31 modelu. Poređenje realnih podataka sa simuliranim podacima dati su u Tabeli 5.

Dobijene vrednosti su osnova za proročun MAPE i R² kako bi sagledali podesnost posmatranog ANFIS sistema. Vrednost MAPE je 42% što spada u ne tako dobre vrednosti, ali smatra se kao prihvatljiva prognoza. Uzrok tome može biti različit, a pre svega tu su različiti privredni sistemi u kojima posluju nacionalni operatori, a samim tim su drugačiji i poreski sistemi, što sve ukupno utiče na vrednost izlazne veličine u

realnosti. Druga veličina koja je bitna je R^2 ima relativno veliku vrednost od 0.943 što ukazuje na visok stepen povezanosti između podataka. Radi dodatne analize sproveden je Spirmanov test korelacije u SPSS20, gde je dobijena vrednost 0.891 pri nivou značajnosti od 0.01, što potvrđuje rezultate dobijenog R^2 .

Tabela 4. Podaci za validaciju

države/ usluge	<i>pismo- nosne</i>	<i>paketi i logističk e usluge</i>	<i>finansijske</i>	<i>ostali proizvodi</i>	<i>filatelija</i>	<i>stopa granične dobiti %</i>
Crna Gora	0.40	0.03	0.34	0.23	0.01	4.07
Kazahstan	0.11	0.40	0.26	0.23	0.33	-19.90
Zimbabve	0.23	0.16	0.17	0.44	0.02	-27.93
Bocvana	0.10	0.14	0.01	0.75	0.03	-46.97
Alžir	0.21	0.00	0.75	0.04	0.02	12.06
Egipat	0.19	0.12	0.60	0.09	0.07	12.14
Etiopija	0.05	0.82	0.02	0.11	0.02	14.43
Gabon	0.23	0.06	0.71	0.00	0.00	-8.58
Maroko	0.17	0.11	0.68	0.04	0.00	-2.54
Novi Zeland	0.23	0.67	0.01	0.09	0.01	9.75

Tabela 5. Stopa granične dobiti realna i simulirana

stopa granične dobiti realna u %	stopa granične dobiti kao rezultat npm31 u %
4.07	3.60
-19.90	-11.50
-27.93	-22.88
-46.97	-34.12
12.06	3.69
12.14	3.68
7.95	9.63
-8.58	-3.50
-2.54	-3.18
9.75	2.28

6. Zaključak

Razvijeni model predstavlja polazno rešenje za prognozu veličine stope granične dobiti na bazi učešća pojedinih vrsta usluga u ukupnom prihodu. Rezultati validacije ukazuju (pre svega vrednost MAPE koja je relativno visoka) da postoji prostor za unaprđenje. Uzrok tome može ležati u činjenici da nacionalni poštanski operatori posluju

u specifičnim poslovnim ambijentima, osobenim za države u kojima funkcionišu, što sve utiče na razmatranu izlaznu veličinu. Stoga je potrebno sistem nadograditi barem još jednom ulaznom veličinom, koja će obuhvatiti možda stepen razvoja pojedinih država u kojima posluju nacionalni operatori (recimo: razvijene zemlje i zemlje u razvoju, podela prema različitim parametrima održivosti itd.).

Zahvalnost

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta "Savremeni trendovi i inovacije u razvoju kurikuluma u oblasti saobraćaja i transporta", osnovanog od strane Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

Literatura

- [1] Eurosender (2024), Courier Industry and Parcel Delivery Statistics in the EU. Available at: <https://www.eurosender.com/en/resources/courier-parcel-statistics>
- [2] Post&Parcel (2023), Top Postal Industry Themes for 2024. Available at: <https://postandparcel.info/154615/features/e-commerce-features/top-postal-industry-themes-for-2024/>
- [3] Statista (2024), Postal Services – Worldwide. Available at: <https://fr.statista.com/outlook/mmo/transportation-logistics/postal-services/worldwide>
- [4] Directive 2008/6/EC of the European Parliament and of the Council
- [5] Universal Postal Union (2023), Postal Statistics2022. Available at: https://www.upu.int/UPU/media/upu/publications/StatisticsEn_Fr2022.pdf
- [6] Bostanci, F., Kadioglu, E., & Sayilgan, G., (2018). Determinants of Dividend Payout Decisions: A Dynamic Panel Data Analysis of Turkish Stock Market. *International Journal of Financial Studies*, 6(4), 93. doi:10.3390/ijfs6040093
- [7] Kiani Mavi, R., Kiani Mavi, N. & Goh, M., (2017). Modeling corporate entrepreneurship success with ANFIS. *Operational Research*, 17, pp.213-238.
- [8] Takagi T, & Sugeno M., (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans Systems Man Cybern.* SMC-15:116–132.
- [9] Sanchez, G., (2013). *PLS path modeling with R*. Berkeley: Trowchez Editions, 383(2013), 551.
- [10] Lewis, C.D., (1982). *Industrial and business forecasting methods*. London: Butterworths

Abstract: *Forecasting economic parameters has always attracted the attention of experts. The effort to reduce uncertainty is a constant endeavor. The task at hand is to forecast the net profit margin for national postal operators. The input variables are the percentage share of service groups in total revenue according to the classification of the Universal Postal Union. To develop the model, the ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) approach will be applied. The results obtained after training and validation are promising, indicating that the concept can be successfully implemented.*

Keywords: *national postal operators, net profit margin, ANFIS*

MODEL FOR FORECASTING NET PROFIT MARGIN BASED ON THE SHARE OF INDIVIDUAL SERVICE GROUPS IN THE REVENUE OF NATIONAL POSTAL OPERATORS

Bojan Jovanović, Nataša Čačić

COMPARISON OF ARIMA AND LSTM FOR POSTAL TRAFFIC VOLUME FORECASTING

Nataša Milosavljević¹, Miloš Milenković², Nikola Knežević², Nebojša Bojović²

¹University of Belgrade - Faculty of Agriculture, natasam@agrif.bg.ac.rs

²University of Belgrade – The Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia, m.milenkovic@sf.bg.ac.rs, n.knezevic@sf.bg.ac.rs, nb.bojovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *The postal services market is characterized by fluctuating demand, particularly for letter mail and parcel services. Accurate forecasting of postal traffic volumes, especially for these service types, is essential for improved resource allocation, operational efficiency, financial planning, and cost control. In this paper the volume of domestic postal traffic was modelled with a focus on letter mail and parcels. Monthly time series data, comprising of 156 observations for each traffic type, are used to train and test various forecasting models. Both, traditional ARIMA models and Long-Short-Term Memory (LSTM) neural network models, are fitted to each time series. The best model for each series was selected based on the lowest Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) values.*

Key words: *postal traffic, letter mail, parcels, LSTM, Arima.*

1. Introduction

In modern times postal companies face significant challenges, including declining shipment volumes, increasing competition from digital services and private courier companies, and the rising expectations of consumers for fast and reliable delivery. Nowadays, postal companies are facing significant challenges including declining shipment volumes, increasing competition from digital services and courier companies as well as the rising expectations of consumers for fast and reliable delivery. In this very intense competitive landscape and under the increasing demand expectations, forecasting of postal volumes is essential, enabling postal companies to optimize resource allocation, maintain efficient operations, and meet financial objectives. Effective forecasting of postal volumes on short or medium time basis allows a Postal company to anticipate demand shifts, adapt to market changes and remain competitive by improving service quality and customer satisfaction.

The Post of Serbia (PoS) is currently undergoing significant strategic and organizational changes as it transitions to a joint-stock company. This restructuring process involves workforce reduction and adapting operations to meet evolving market trends. These

changes are aimed at increasing efficiency, enhancing competitiveness, and aligning with the demands of a modern postal market. Forecasting of postal traffic volume is crucial during the PoS restructuring phase, as it provides data-driven insights for making strategic and organizational changes. Forecasting also supports the adaptation to new market trends, guiding decisions on service diversification and enabling the company to stay competitive in a shifting market landscape. By anticipating future demand, the company can implement sustainable changes that enhance operational efficiency and financial stability.

In this paper, we analyze historical data on domestic letter mail and parcel volumes handled by the PoS. Specifically, using monthly volume data from January 2010 to December 2022 (more recent data are not available), we compare two classes of time series forecasting techniques: the traditional parametric ARIMA model and the non-parametric Long Short-Term Memory (LSTM) neural network. This comparison aims to evaluate the predictive accuracy of each approach for forecasting postal traffic volumes.

The paper is organized as follows. The next section outlines the methodology for modeling and forecasting postal traffic volumes. In Section 3, the proposed models are tested and compared using two time series representing the letter mail and parcel volumes for the PoS. Finally, concluding remarks and directions for future research are presented in the last section.

2. Methodology

This research is based on evaluation of parametric ARIMA methods and non-parametric LSTM models for modelling the volume of domestic postal traffic in PoS. Diagram illustrated on Figure 1. summarizes methodology applied in this paper. Alternative ARIMA models and LSTM configurations were tested on a training part of both time series (January 2010 – June 2020), whereas the comparison of selected optimal configurations was conducted on a 20% of test sample (July 2020 – December 2022). Models with best forecasting performances for a given time series can be used for forecasting in forthcoming periods.

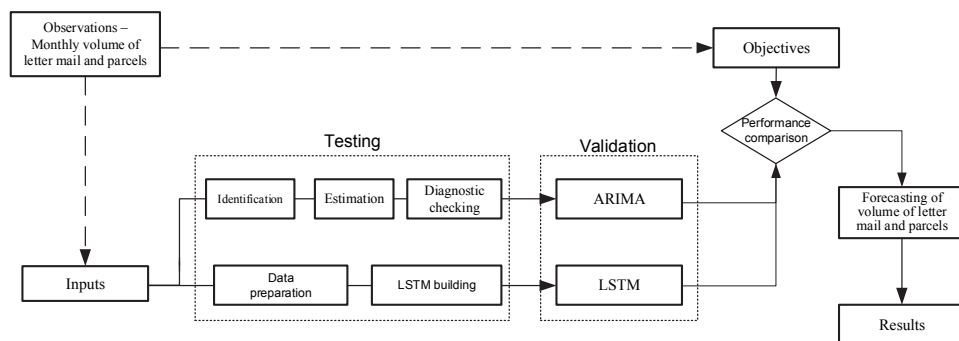


Figure 1. Comparative analysis of ARIMA and LSTM methods for modelling of letter mail and parcel services

2.1 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

ARIMA method represents one of the most important parametric univariate techniques for time series modelling (Box et al., 2008). ARIMA methods are composed of autoregressive model (AR – Auto Regressive), model of moving averages (MA – Moving Average) and ARMA model as a combination of AR and MA (Milenkovic et al., 2019). AR model includes time shifted members of noise or residuals. Necessary condition for application of ARIMA models is a stationary time series. Letter „I“ (Integrated) in the abbreviation ARIMA means that differentiation of 1. order has been conducted in order to make the time series stationary.

Equation which represents $ARIMA(p, d, q)$ model for time sequence Y_t can be represented as:

$$\phi_p(B)(1-B)^d Y_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (1)$$

where p represents the order of AR process, d is the differentiation order and q is the order of MA process. ε_t represents a white noise sequence which is assumed as a normally distributed variable with zero mean and variance σ^2 . B represents the backshift operator, whose effect on a time series Y_t can be summarized as $B^d Y_t = Y_{t-d}$. If time series has trend, seasonal pattern and short time corelacitons a Seasonal ARIMA (SARIMA) model can be used. Besides the three main components already described above, there is a need for seasonal differencing in order to make a seasonal time series stationary (Milenković et al., 2016). The generalized form of SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q) $_s$ model for a series Y_t can be written as (Suhartono, 2011):

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (2)$$

ARIMA modelling for a given time series includes model identification, parameter estimation and model validation (Box et al., 2008). Box-Jenkins methodology is illustrated on Figure 2. Analysis of autocorrelation (ACF) and partial autocorrelation functions (PACF) results in identification of an appropriate ARIMA model. For the sake of elimination of subjectivity and improving the process of determining the final order of ARMA model, Akaike Information criteria (AIC), Akaike Information Criteria with correction (AICc), Bayesian Information Criteria (BIC) as well as normalized BIC can be applied. The phase of estimation includes fitting of model and time series as well as estimation of parameters by maximum likelihood method. The last step includes validation of selected model by diagnostic checking of stationarity, invertibility and presence of redundance in model parameters (Milenkovic et al., 2016).

2.2 Long Short Term Memory (LSTM) models

Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks are a type of recurrent neural network (RNN) designed to handle the vanishing gradient problem, which is common in traditional RNNs. LSTMs are particularly effective for time series prediction tasks due to their ability to learn long-term dependencies (Sepp and Schmidhuber 1997; Manowska et al. 2021). Memory blocks that are responsible for memorizing, and manipulations between blocks are done by special multiplicative units called gates (Figure 3.).

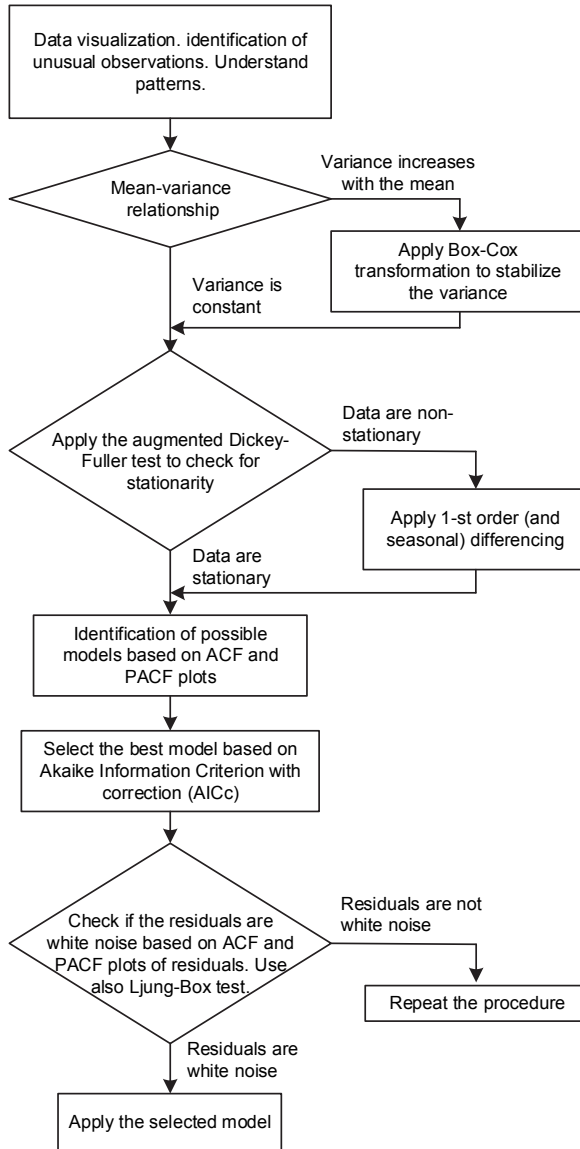


Figure 2. Box-Jenkins methodology for ARIMA model selection

The gates control the flow of information (Ma et al. 2015; Hrnjica and Mehr 2020). The forget gate decides which information to discard from the cell state. It is defined as:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

Where f_t is forget gate activation at time step (t), σ is sigmoid activation function, W_f is a weight matrix for the forget gate, h_{t-1} is hidden state from the previous time step, x_t Input at the current time step and b_f is bias term for the forget gate.

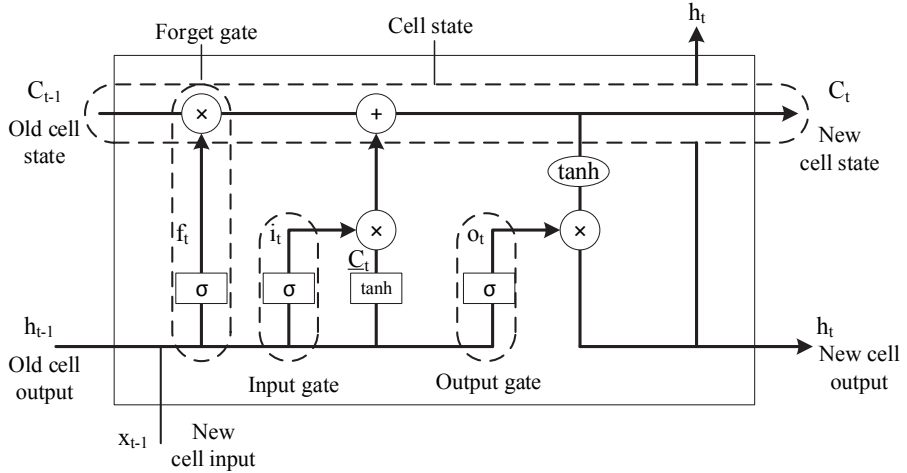


Figure 3. Memory cell and gate units of LSTM memory block (Milenkovic et al., 2023)

The input gate determines which values from the input should be updated in the cell state. It consists of two parts: the input gate layer and the candidate values.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

Where i_t is the input gate activation at time step (t), \tilde{C}_t is candidate cell state, W_i is weight matrix for the input gate, W_c is weight matrix for the candidate cell state, b_i is bias term for the input gate and b_c is bias term for the candidate cell state. The cell state is updated using the forget gate and the input gate:

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t \quad (4)$$

C_t is the cell state at time step (t), whereas C_{t-1} represents cell state from the previous time step. The output gate determines the output of the LSTM cell. It is defined as:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (6)$$

Where o_t is output gate activation at time step (t), h_t is hidden state at time step (t), W_o is a weight matrix for the output gate and b_o represents the bias term for the output gate.

3. Results and discussion

This study focuses on the observation and prediction of letter mail and parcel volumes of PoS. The historical data for both time series are presented in Figure 4. The time series data have been obtained from the Statistical Office of the Republic of Serbia (<https://www.stat.gov.rs>). The sample data are monthly observations of letter mail volumes and parcel volumes covering the period from January 2010. to December 2022. The first 126 monthly observations were used as a training data set, whereas the remaining 30 observations served for verification of selected models. Both types of services (letter mail and parcels) were independently investigated and the appropriate models were estimated. ARIMA and LSTM are implemented by the use of R and Python software packages, respectively.

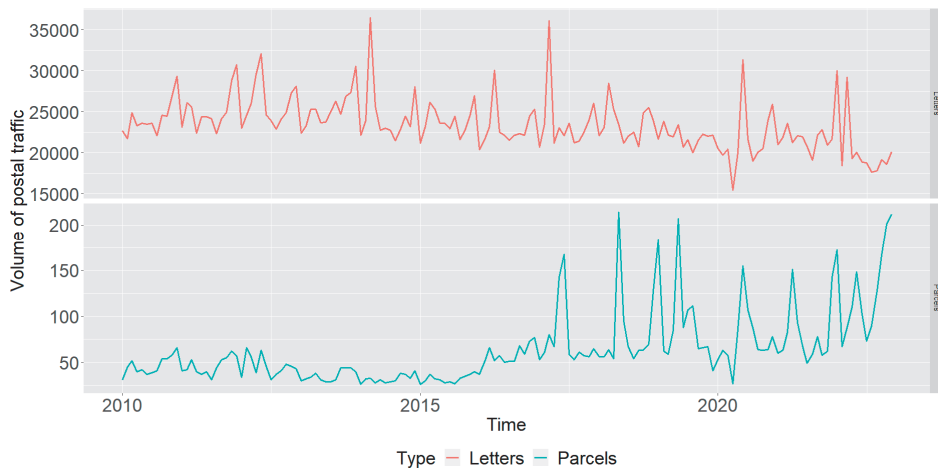


Figure 4. Historical observations of postal traffic volume – letter mails and parcels (January 2010 – December 2022).

3.1 ARIMA results

Table 1. summarizes the process of the ARIMA model selection. In the preliminary step, the time series is visually examined and the procedure for detecting outliers is applied. Letter mail time series contains 3 outliers (March 2014, March 2017, June 2020). Parcels time series contains 8 outliers (May 2017, June 2017, May 2018, December 2018, January 2019, May 2019, April 2020, June 2020). All these outliers in both time series are replaced with interpolated values based on the surrounding non-outlier data, preserving the overall trend and seasonality. According to ADF test the letter mail time series is stationary (it doesn't have unit root, p-value is less than 0.05), however, by visual inspecting (there is a subtle trend in the data) and by employing KPSS test (Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test) it can be concluded that the time series is non-stationary with a strong indication of a trend (p-value is 0.01, which means the null hypothesis of stationarity at the 1% significance level can be rejected). KPSS proves that parcel volume related time series is non-stationary too (p-value is 0.01). Based on the

results of Ljung-Box test it appears there is a significant seasonality in the letter mail time series ($p\text{-value} = 1.99 \cdot 10^{-06} < 0.05$). This is proven by KPSS testing of stationarity of seasonally differenced time series ($p\text{-value} = 0.0992$ which means the time series is stationarized). Parcel volume time series also has a seasonal character (KPSS test of seasonally differenced time series gives $p\text{-value}$ of 0.07).

Table 1. Arima model selection

Time series	Stationarity (ADF test: p-value)	Correlogram			
		Non-seasonal		Seasonal (frequency = 12)	
		ACF	PACF	ACF	PACF
Letters	0.0156	1 st lag (0.416) 2 th lag (0.222) 12 th lag (0.408)	1 st lag (0.182) 4 th lag (0.182) 12 th lag (0.321) 13 th lag (- 0.202)	1 st lag (0.345) 12 th lag (- 0.426)	1 st lag (0.345) 12 th lag (- 0.339)
Parcels	0.254	1 st lag (0.777) 2 th lag (0.645) 3 rd lag (0.648) ... 12 th lag (0.526)	1 st lag (0.777) 3 rd lag (0.302) 4 th lag (- 0.228) 15 th lag (- 0.258)	1 st lag (0.576) 2 th lag (0.376) ... 6 th lag (0.260)	1 st lag (0.576) 3 rd lag (0.408)

In the letter mail volume related time series, based on autocorrelation values of seasonally differenced series and significant negative autocorrelation at Lag 12 (-0.426) as well as significant partial autocorrelation at Lag 12 (-0.339) the seasonal AR and MA orders are equal to 1. For non-seasonal AR and MA components, the initial order was 1. The best model for letter mail related time series, according to AIC is SARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂ which also has the lowest MAPE and the highest Adj R-squared. The same procedure was followed for parcels volume time series, where the best model found was SARIMA(1,1,2)(1,1,2)₁₂. Table 2. summarizes the performances of alternative configurations of evaluated ARIMA models for both time series.

Since the $p\text{-value}$ of residuals for selected SARIMA model of letter mail time series is relatively high (0.3818), it can be concluded that there is no significant autocorrelation in the residuals of selected model. Ljung-Box test for the parcels volume time series also indicates that residuals show no significant autocorrelation, they can be considered white noise ($p\text{-value} = 0.8539 \gg 0.05$).

The BDS (Brock-Dechert-Scheinkman) test evaluates whether a time series (or residuals in this case) exhibits nonlinearity or is purely random. In case of letter volumes, at smaller epsilon values (e.g., 863.8745), some low $p\text{-values}$ (e.g., 0.0320 at dimension 2

and 0.0018 at dimension 4) indicate possible nonlinearity. However, for most higher epsilon values, the p-values are not significant, suggesting no strong evidence of nonlinearity or dependency at broader scales. In case of parcel volumes, given the very small p-values across most embedding dimensions and epsilon values, the null hypothesis (no evidence of nonlinearity) can be rejected. This suggests that the residuals are not i.i.d. (independent and identically distributed) and that there is embedded nonlinearity or structure in the residuals that has not been fully captured by the model.

Table 2. MAPE, AIC and adjusted R-squared of ARIMA models

Time series	Models	MAPE (%)	Akaike Information Criteria (AIC)	Adjusted R-squared
Letters	SARIMA(1,1,1)(1,1,1) ₁₂	5.16	2043.38	0.49
	SARIMA(0,1,1)(0,1,1)₁₂	5.10	2041.38	0.51
	SARIMA(1,1,0)(1,1,0) ₁₂	6.46	2073.14	0.28
Parcels	SARIMA(0,1,2)(1,1,2) ₁₂	12.46	863.02	0.68
	SARIMA(1,1,2)(1,1,2)₁₂	12.06	861.81	0.69
	SARIMA(1,1,1)(1,1,1) ₁₂	12.89	869.24	0.67

Table 3. Non-linearity testing for ARIMA residuals

Time series	Parameter ϵ/σ	Dimension (m=2)		Dimension (m=3)	
		Statistic	Probability	Statistic	Probability
Letters	0.5	2.1450	0.0320	1.8118	0.0700
	1.0	0.6414	0.5213	0.4976	0.6188
	1.5	1.2139	0.2248	0.4157	0.6777
Parcels	0.5	2.2258	0.0260	3.8923	0.0001
	1.0	2.6669	0.0077	3.8187	0.0001
	1.5	3.3050	9e-04	3.7963	1e-04

3.2. LSTM results

The LSTM network was built based on the Keras framework of the Python 3.10 platform. Before modelling, each training data that belonged to a time series for each border crossing was normalized or rescaled from the original range so that all values were within the range of 0 and 1 (Milenkovic et al., 2023). Then the methods and parameters of the LSTM model needed to be configured. Depending on the time series, the hidden layer was built from 50 to 100 LSTM cells, the number of iterations varied from 20 to 400 and the batch size spanned from 4 to 10. The activation function was set to the rectified linear activation function (ReLU), the loss function was MSE, and the optimizer was the stochastic gradient descent (SGD). The best LSTM model configurations for each time series with associated MAPE values for training and testing samples are given in Table 4.

Table 4. LSTM models configuration

Time series	LSTM model configuration			MAPE (%)	
	Number of cells in hidden layer	Number of epochs	Batch size	Train	Test
Letters	75	90	8	0.20	0.34
Parcels	80	95	8	5.52	7.59

3.3. Discussion of results

In this section, the prediction accuracy of each of the two forecasting methods is analyzed. Actual observations, as well as the predictions generated by each of the proposed models for training and testing samples of domestic letter mail and parcel flows are graphically illustrated in Figure 5 (letter mail flows) and Figure 6 (parcel flows). The vertical dashed line divides the training and testing samples.

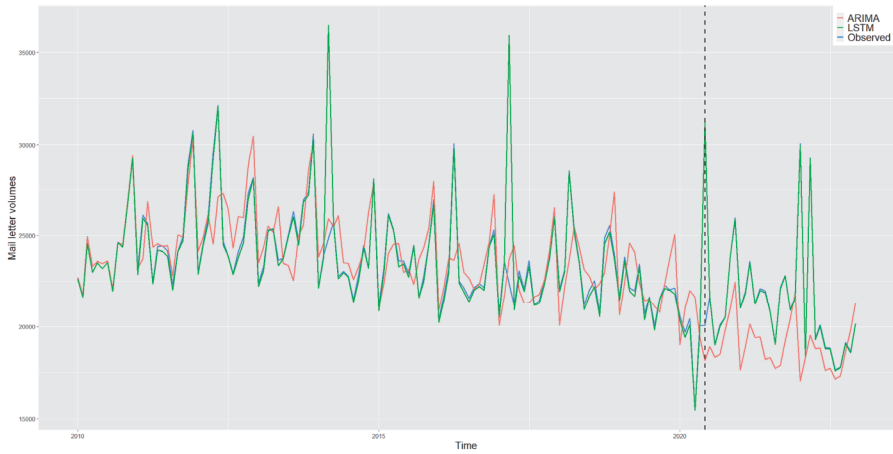


Figure 5. Letter mail flows: Fitting performances of ARIMA and LSTM

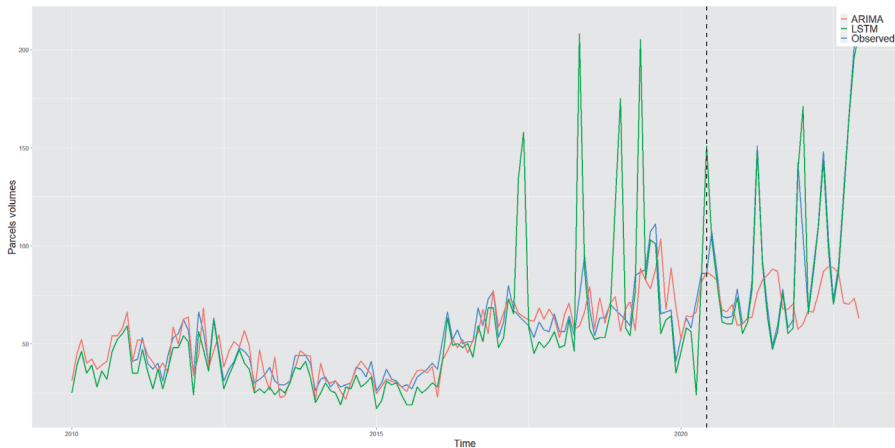


Figure 6. Parcel flows: Fitting performances of ARIMA and LSTM

Forecasting performances are tested based on Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percent Error (MAPE) and the Root Mean Squared Error (RMSE) which are defined as follows (Milenković et al., 2023):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \tag{5}$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| 1 - \frac{\bar{Y}_i}{Y_i} \right| \tag{6}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2}{n}} \tag{7}$$

where Y_i and \bar{Y}_i represent the actual and predicted values of the time series in period i , respectively. MAE represents the mean of absolute errors. MAPE is one of the most commonly used criteria to measure forecast accuracy. It represents the sum of the individual absolute errors divided by the actual observation. RMSE represents a square root of the average squared error. Forecasting accuracy of proposed methods for letter mail volumes is given in Figure 7.

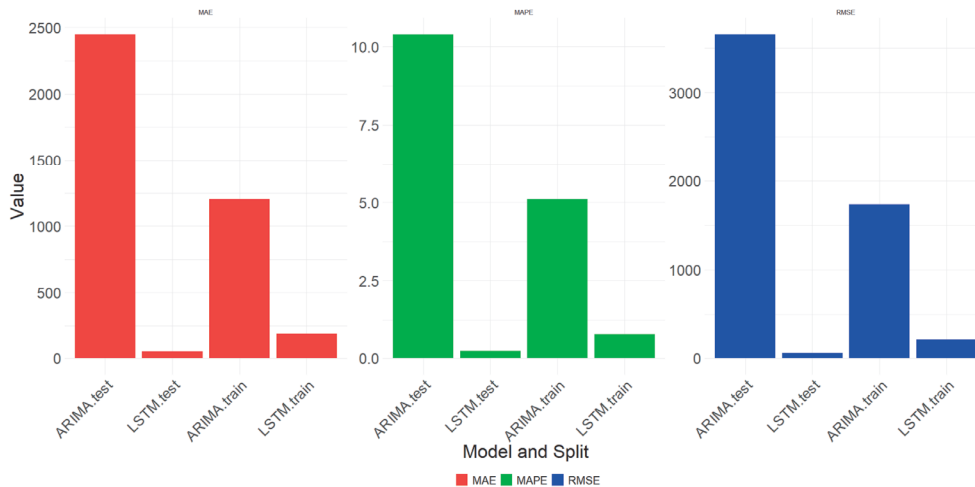


Figure 7. Letter mail volumes: Performance metrics

Forecasting accuracy of proposed methods for parcel volumes is given in Figure 8. In both time series, in terms of performances on a training and testing sample, the LSTM shows the lower values of MAE, MAPE and RMSE. In terms of the ratio between training and testing performances in case of ARIMA the results for letter mail volumes are: RMSE (train/test): 0.19, MAE (train/test): 0.19, MAPE (train/test): 0.44 (similar results are obtained in case of parcel volumes). From these results it can be concluded that the ARIMA model much better performs on the training set, and not generalizes well to unseen data. On the other side, in case of parcel volumes, LSTM model performs

better on the test set (RMSE (train/test): 1.81, MAE (train/test): 1.81, MAPE (train/test): 3.34) (similar results are obtained in case of letter mail volumes). The LSTM's ratios being above 1 suggest that it generalizes better on the test data, indicating that it is not overfitting to the training data. In contrast, ARIMA's very low ratios ($\ll 1$) show poor generalization, as it performs much better on the training data than on the test data. This discrepancy is particularly significant for time series with nonlinear patterns, such as parcel volumes, where ARIMA fails to capture nonlinearities, leading to overfitting and poor performance on testing data.

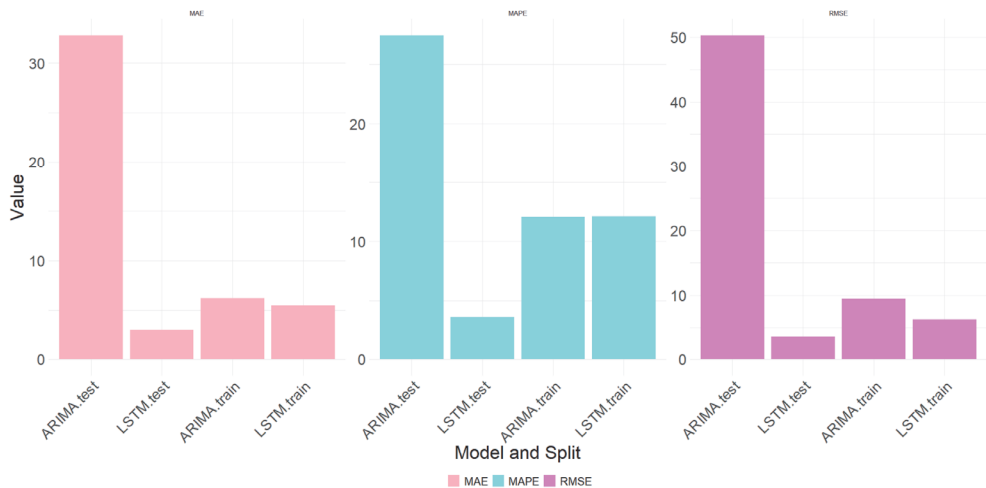


Figure 8. Parcel volumes: Performance metrics

4. Concluding remarks

In the paper, two time series modelling techniques, parametric ARIMA and non-parametric LSTM, were applied to analyze letter mail and parcel volumes in the domestic postal traffic of the Republic of Serbia. Based on the performance results, it can be concluded that LSTM outperforms ARIMA for both time series. Future research will focus on exploring alternative machine learning techniques and developing hybrid models that combine multiple prediction methods to further improve the accuracy of postal traffic forecasting.

Literature

- [1] G. E. Box, G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel, Time Series Analysis, Forecasting and Control, New Jersey, John Wiley and Sons, 2008.
- [2] M. Milenković, N. Milosavljević, N. Bojović, and S. Val, "Container flow forecasting through neural networks based on metaheuristics", Operational Research: An International Journal, vol. 21, pp. 965-997, 2019.

- [3] M. Milenković, L. Svadlenka, V. Melichar, N. Bojović, and Z. Avramović, "SARIMA modelling approach for railway passenger flow forecasting", *Transport*, vol. 33(5), pp. 1113-1120, 2016.
- [4] Suhartono, "Time Series Forecasting by using Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: Subset, Multiplicative or Additive Model", *Journal of Mathematics and Statistics*, vol 7(1), pp. 20-27, 2011.
- [5] H. Sepp and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory", *Neural computation*, vol. 9(8), pp. 1735–1780, 1997.
- [6] A. Manowska, A. Rybak, A. Dylong, and J. Pielot, "Forecasting of Natural Gas Consumption in Poland Based on ARIMA-LSTM Hybrid Model" *Energies*, vol. 14, pp. 1–16, 2021.
- [7] Ma X., Z. Tao, Y. Wang, H. Yu, and Y. Wang, "Long Short-Term Memory Neural Network for Traffic Speed Prediction Using Remote Microwave Sensor Data" *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 54, pp. 187–197, 2015.
- [8] B. Hrnjica and A. D. Mehr, "Energy Demand Forecasting Using Deep Learning." In *Smart Cities Performability Cognition Security*, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, edited by F. Al-Turjman, pp. 71–104, 2020.
- [9] M. Milenković, M. Gligorić, N. Bojović and Z. Gligorić, "A comparison between ARIMA, LSTM, ARIMA-LSTM and SSA for cross-border rail freight traffic forecasting: the case of Alpine-Western Balkan Rail Freight Corridor", *Transportation Planning and Technology*, vol. 47(1), pp. 89-112, 2023.

Abstract: Tržište poštanskih usluga se karakteriše izrazito promenljivom tražnjom posebno u domenu pismonosnih i paketskih pošiljaka. Precizno modelovanje tokova poštanskog saobraćaja od suštinskog značaja za poboljšanje iskorišćenja resursa, operativnu efikasnost, finansijsko planiranje i kontrolu troškova. U ovom radu modelovan je obim nacionalnog poštanskog saobraćaja, odnosno pismonosnih i paketskih pošiljaka. Dve vremenske serije, od po 156 observacija, na mesečnom nivou, su iskorišćene za obuku i testiranje modela prognoziranja. Tradicionalni parametarski ARIMA modeli i neparametarski LSTM modeli neuronskih mreža su razvijeni za svaku od vremenskih serija. Odabran je najbolji model na osnovu najniže vrednosti kriterijuma korena srednje kvadratne greške, srednje apsolutne greške i srednje apsolutne procentualne greške.

Keywords: *poštanski saobraćaj, pismonosne pošiljke, paketi, LSTM, Arima*

POREĐENJE ARIMA I LSTM MODELA ZA PROGNOZIRANJE OBIMA POŠTANSKOG SAOBRAĆAJA

Nataša Milosavljević, Miloš Milenković, Nikola Knežević, Nebojša Bojović

**POŠTANSKI SAOBRAĆAJ,
MREŽE I SERVISI**

POSTAL SERVICES IMPROVEMENTS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA THROUGH USERS' PERSPECTIVE: A COMPREHENSIVE SURVEY ANALYSIS

Amel Kosovac¹, Ermin Muharemović¹, Nino Čorić², Nedim Moranjkic²

¹ Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije,
amel.kosovac@fsk.unsa.ba, ermin.muharemovic@fsk.unsa.ba

² Agencija za poštanski promet Bosne i Hercegovine,
nino.coric@rap.ba, nedim.moranjkic@rap.ba

Abstract: *The research focuses on analyzing the satisfaction and needs of postal service users in Bosnia and Herzegovina. The aim of the study, which was conducted for the first time in Bosnia and Herzegovina, was to collect data on the use of postal services, customer satisfaction, and their specific needs, including cross-border shipments. The research was conducted through field and online surveys, using a representative sample of 1,008 respondents. The results show a high level of satisfaction with the proximity of post offices and the friendliness of delivery personnel, while users were least satisfied with the use of information technology and the resolution of complaints. These findings will be used to improve postal services and better adapt them to customer needs. The research results were presented at the "Standardization and Quality in Postal Traffic" conference.*

Keywords: *Postal Traffic, Customer Satisfaction, E-commerce, Bosnia and Herzegovina*

1. Introduction

The postal sector in Bosnia and Herzegovina has been operating for many years, facing challenges directly related to modern market demands and the digitalization of services. A particularly challenging aspect is the existence of three public postal operators that exchange mail among themselves, which, according to the Postal Law of Bosnia and Herzegovina, is defined as inter-operator traffic and is treated as internal postal traffic.

In a rapidly changing world, the efficiency of postal services becomes crucial in meeting the needs of an increasing number of users, especially in the context of the growth of e-commerce and market globalization. Moreover, postal services are an essential part of the communication infrastructure, bridging the digital divide in rural areas. The development of these services in Bosnia and Herzegovina has not kept pace

with the progress achieved by countries in the region, such as Croatia and Serbia [1], [2], which have been conducting regular user satisfaction surveys for many years. These surveys provide data on user needs and preferences, enabling service adaptation to the market and improving quality. For example, Croatian Post, through regular user surveys, has achieved high standards in the digitalization of its services, reducing delivery times, and increasing customer satisfaction [3]. Similarly, Post of Serbia has introduced a range of innovative services based on feedback obtained through similar surveys.

In Bosnia and Herzegovina, this user satisfaction survey in the postal services sector is the first of its kind, making it extremely important for the future development of this sector. Through a survey that included a wide range of users, data were collected on satisfaction with current services as well as unmet user needs. The data obtained from this survey will enable the improvement of postal services in line with market needs, thereby increasing customer satisfaction and enhancing operational efficiency.

Countries in the region have been working for years to align their postal services with the demands of the European Union through regular surveys that analyze user experience, customer needs, and the efficiency of the system itself. The examples of Croatia and Serbia demonstrate how continuous market analysis allows postal systems not only to remain competitive but also to provide high-quality services that meet modern demands.

The Postal Agency of Bosnia and Herzegovina conducted this type of research for the first time [4]. Bosnia and Herzegovina now has the opportunity to use the results of this pioneering research to lay a solid foundation for further development of the postal system, making it more efficient, modern, and better prepared for future challenges.

2. Methodology

The user satisfaction survey of postal services in Bosnia and Herzegovina was conducted using a combination of quantitative and qualitative methods. A survey was used as the primary data collection method, covering a representative sample of 1,008 respondents. The respondents were randomly selected from different parts of the country to ensure representation of postal service users from both urban and rural areas.

Data were collected through surveys available in two formats: face-to-face field surveys and online surveys [5]. The survey questionnaire included a series of questions addressing various aspects of user satisfaction, including the quality of postal services, the use of information technology, the friendliness of couriers, and delivery time. The questions were structured in the form of a Likert scale [6], where respondents rated different service elements on a scale from 1 to 5, with 1 indicating "very dissatisfied" and 5 "very satisfied."

The survey was conducted on a representative sample that included different demographic categories of users, such as various age groups, gender, education, and geographic location. Special focus was placed on including users from remote and rural areas to examine the specific challenges and needs related to postal services in these communities.

After data collection, the survey results were analyzed using descriptive statistical methods [7] to determine the average levels of user satisfaction with various

service aspects. Comparative analyses were also used to compare satisfaction across different demographic groups and to identify key areas for service improvement.

3. Results

3.1. Demographic Data of Respondents

The survey consists of a total of 18 questions and is divided into two parts. The first part of the questionnaire covers general information about the respondents, such as gender, age, employment status, place of residence, and the provider of universal postal services in the respondent's area. The second part of the questions relates to the use, satisfaction rating, and needs of postal service users.

In the first part of the research, the analysis focused on gender structure, age groups, employment status, type of settlement, and the provider of universal postal services in the respondents' places of residence. The sample was slightly skewed toward female respondents, with 56% women compared to 44% men, indicating greater engagement of women in the survey. This also reflects their more active role in using postal services and greater interest in participating in surveys. The majority of respondents fall within the younger and middle age groups (18-49 years), accounting for more than 79% of the sample. This demographic group tends to use digital channels and has higher expectations regarding the modernization and digitalization of postal services.

A significant number of respondents are employed (over 600 respondents), indicating the need for faster and more efficient postal services due to limited free time. Employed users prefer services that allow for more flexible planning of daily activities. Additionally, most respondents come from urban areas (over 79%), where postal services are more accessible compared to rural areas. Statistics from other neighboring countries show similar trends, indicating that postal services in urban areas are more accessible and better developed.

Bosnia and Herzegovina has a uniquely structured market with three public postal operators, each covering a specific geographic region of the country. The majority of respondents use the services of BH Pošta—559 respondents, or 55%. HP Mostar serves 145 respondents, or 14%, while Pošte Srpske serves 304 respondents, or 30%.

3.2. User Satisfaction

The second part of the survey questionnaire relates to the use, satisfaction ratings, and needs of users of postal services in Bosnia and Herzegovina. The questions focus on the frequency of using postal services, the level of user satisfaction with various aspects of postal services, and the identification of specific needs that users have with both public and private postal operators. The results of this part of the research provide a deeper insight into users' experiences and expectations, allowing for a better understanding of how postal services can be improved and tailored to meet user needs.

The results for the question: "How many postal items do you receive on average per month?" are presented in the following figure.

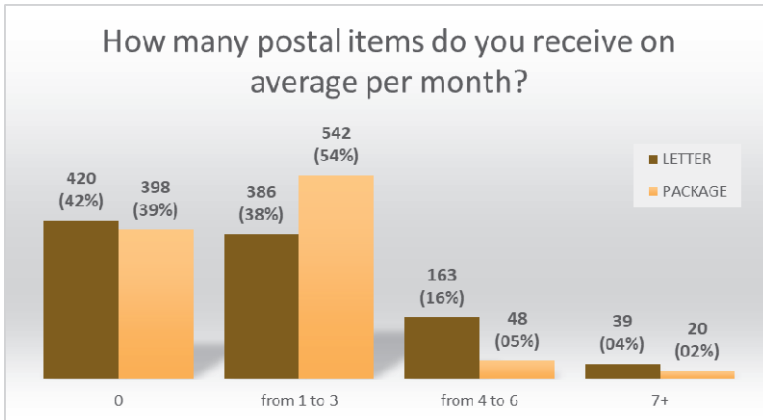


Figure 1. The average number of postal items received by users per month

Most respondents receive 1-3 postal items per month, which indicates moderate activity in using postal services. Additionally, there is a noticeable higher frequency of using parcel services compared to letter mail, which aligns with trends in countries with developed postal services. This may be related to both personal and business needs of the users. Notably, 42% of respondents do not use letter delivery services, and 39% do not use parcel delivery services. The youngest respondents (18-29 years) are the most likely to not receive any parcels or letters during the month. Furthermore, this age group is the most represented in the category of 1 to 3 received postal items per month, with 21% for parcels and 11% for letters.

The results for the question regarding how often, on average, respondents use the services of: sending letters, sending parcels, and financial services per month are presented in the following figure.

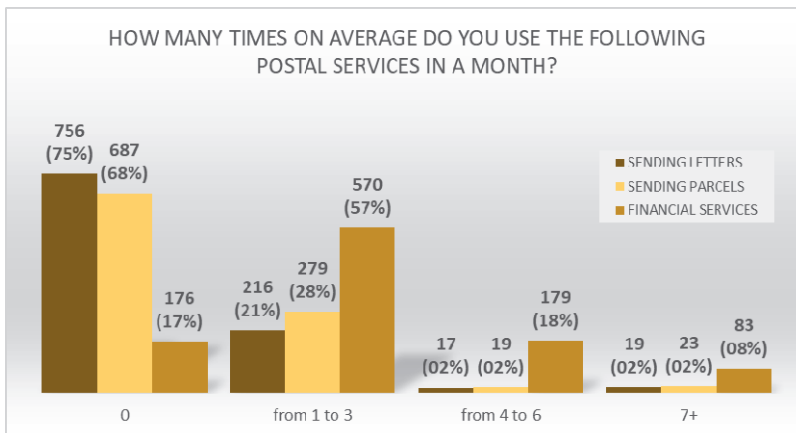


Figure 2. Display of results for the usage of postal services (sending parcels, sending letters, and financial services)

The results show that the vast majority of respondents rarely use postal services during a single month. Specifically, 75% of respondents did not send a single letter, while 68% did not send any parcels. Similarly, 17% of respondents did not use financial services through the post. Among occasional users, 176 respondents used the letter-sending service 1 to 3 times a month, while 28% used the parcel-sending service within the same range. Financial services were more frequently used in this segment, with 57% of respondents using 1 to 3 services per month. A very small percentage of regular users utilized services 4 to 6 times a month. In this segment, the majority comes from financial services, accounting for 17%. A very small percentage represents the most intensive users, who use postal services 7 or more times a month. The data indicate that most respondents use postal services sporadically, with a significantly larger proportion of occasional users for financial services compared to letter and parcel sending.

Analyzing age in relation to postal service usage, it is clear that the largest number of respondents who do not send letters comes from the 18-29 age group (28%), followed by the 30-39 age group (16%) and the 40-49 age group (13.4%). Occasional parcel sending (1 to 3 times a month) is most common in the 30-39 age group (8.5%). Sending parcels more than 7 times a month is rare, with the smallest number of respondents being from older age groups.

The largest number of respondents who do not use financial services comes from the 18-29 age group (6.7%), followed by the 30-39 age group (3.4%) and the 40-49 age group (4%). On the other hand, the largest number of respondents who use financial services comes from the 18-29 age group (20.8%), followed by the 30-39 age group (14.1%) and the 40-49 age group (10.6%).

The following questions focused on the level of satisfaction with the characteristics of services provided by public postal operators and other postal operators—courier services. Respondents rated the following characteristics through a Likert scale survey:

- Meeting delivery deadlines
- Simplicity of procedures
- Service price
- Parcel tracking options
- Communication regarding parcel status
- Handling of complaints and claims
- Use of information technology
- Couriers' friendliness and helpfulness

For each of the above sub-questions, respondents expressed their opinions using a five-point Likert scale, where 1 indicated "NOT AT ALL SATISFIED," 2 "MOSTLY DISSATISFIED," 3 "NEITHER SATISFIED NOR DISSATISFIED," 4 "MOSTLY SATISFIED," and 5 "COMPLETELY SATISFIED." The results for the question regarding the rating of satisfaction levels with the characteristics of services provided by public postal operators are presented in the figure below.

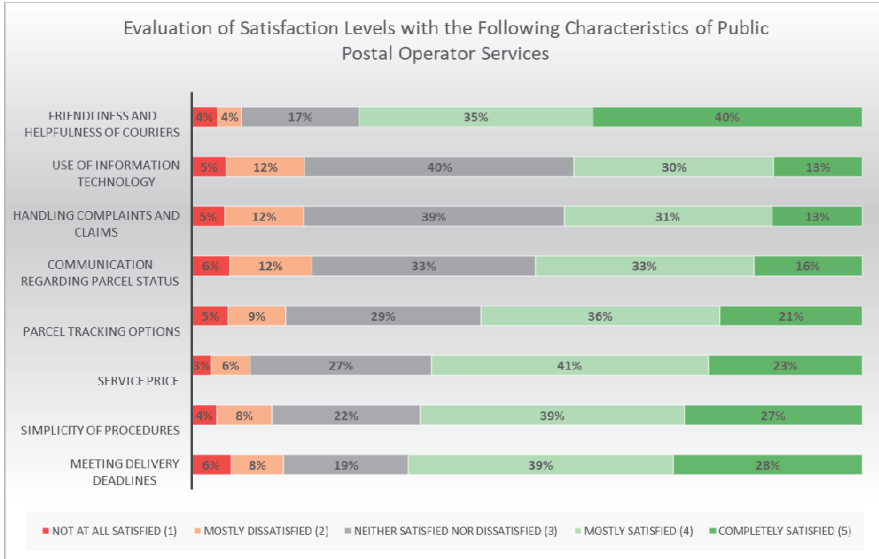


Figure 3. Evaluation of satisfaction levels with the characteristics of public postal operators' services

The previous results and analyses indicate that respondents are generally satisfied with the services of public postal operators. The highest satisfaction was expressed with the friendliness and helpfulness of couriers, with an average rating of 4.03. The simplicity of procedures was also rated highly, with an average score of 3.77. On the other hand, areas that require improvement include the use of information technology, with an average rating of 3.34, handling of complaints and claims, with an average rating of 3.36, and communication regarding the status of parcels, with an average rating of 3.41.

The results for the question about the evaluation of satisfaction levels with the characteristics of services provided by other postal operators – courier services – are presented in Figure 4 below.

The previous results indicate that respondents are generally satisfied with courier services, with the highest satisfaction expressed for the couriers' friendliness and the simplicity of procedures, while the service price represents an area with lower satisfaction. Given the large sample size (N=1008), the mean values and standard deviations, which align with expectations for a Likert scale, show that the results are statistically acceptable. Moreover, the large sample size and small standard errors indicate the reliability of the results. The standard deviations show that there is variability in respondents' ratings, reflecting a variety of perspectives. All these characteristics demonstrate that the data was well-collected and analyzed, and that the results are statistically valid for further interpretation and conclusion-making.

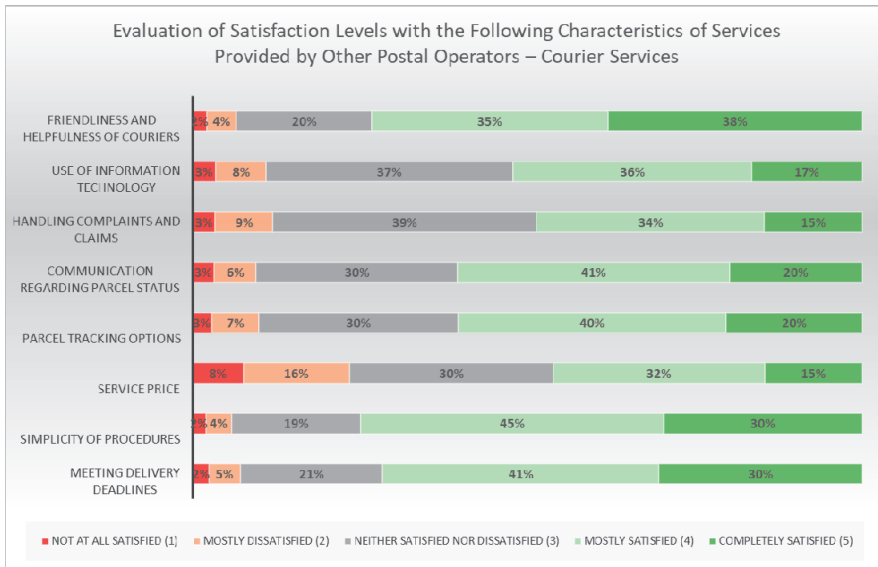


Figure 4. Evaluation of Satisfaction Levels with the Characteristics of Services Provided by Other Postal Operators – Courier Services

Table 1 below provides an overview of the satisfaction ratings based on the five-point Likert scale for the questions on satisfaction levels with the characteristics of services provided by public postal operators and other postal operators – courier services.

Table 1: Results of satisfaction ratings for public postal operators and courier services

Characteristic/Statistical Values	Public Postal Operators	Other Postal Operators – Courier Services
Meeting Delivery Deadlines	3.7629	3.9236
Simplicity of Procedures	3.7688	3.9673
Service Price	3.755	3.2966
Parcel Tracking Options	3.5863	3.6786
Communication Regarding Parcel Status	3.4137	3.6746
Handling Complaints and Claims	3.3631	3.4792
Use of Information Technology	3.3413	3.5427
Friendliness and Helpfulness of Couriers	4.0397	4.0248

The next question directed to the respondents was related to e-commerce. The question was: Do you purchase goods online (e-commerce)? The results for this question are shown in the following graph.

Survey results indicate that out of a total of 1008 respondents, 809 (80.7%) regularly purchase goods online, while 199 (19.7%) do not. These data provide insight into the significant prevalence of e-commerce among respondents.

In comparison with other countries in the region, these results indicate similar rates of online shopping, suggesting a broad adoption of digital technologies for shopping in Bosnia and Herzegovina.

Table 2. E-Commerce usage by age group

DO YOU PURCHASE GOODS ONLINE (E-COMMERCE)?	AGE GROUP				
	18-29	30-39	40-49	50-59	60 and more
Yes	29.1%	20.4%	17.7%	11.1%	2.0%
No	5.2%	2.1%	4.4%	5.1%	3.1%

Table 3. Operators delivering purchased goods via the internet by age group

WHO MORE OFTEN DELIVERS THE GOODS YOU PURCHASED ONLINE?	AGE GROUP				
	18-29	30-39	40-49	50-59	60 +
Public postal operators (Pošte Srpske, BH Pošta, HP Mostar)	13.0%	5.3%	8.4%	4.8%	1.3%
Other postal operators (courier services)	19.6%	16.3%	12.3%	7.9%	1.6%

Respondents more frequently report that goods purchased online are delivered by other postal operators (582 respondents, representing 63.5%), while a smaller number of respondents prefer public postal operators such as Pošte Srpske, BH Pošta, and HP Mostar (330 respondents, or 36.4%).

4. Conclusion

Continuous research allows for tracking user satisfaction, identifying trends, and recognizing the specific needs of different demographic and socio-economic groups. Therefore, it is essential that this research continues in the coming years to consistently monitor trends, needs, and behaviors of postal service users.

This research provides important information and insights into the postal service market in Bosnia and Herzegovina, laying the groundwork for future planning and the development of services that will meet users' needs and improve the quality of postal services in the country. Regularly conducting such research and implementing the recommended measures will be crucial for the continuous progress and adaptation of postal services to the rapid changes in technology and customer expectations.

Establishing a web platform dedicated to continuous research of the postal services market in Bosnia and Herzegovina could significantly enhance the data collection process. The platform should be user-friendly, allowing users to easily access surveys and provide feedback. The site should offer information about the goals of the research, the protection of data privacy, and the results of previous surveys so that users can see concrete changes resulting from their participation.

Postal operators need to continuously monitor global trends and innovations in the postal sector to be able to implement the latest solutions and technologies in a timely manner, improving their services.

Conducting educational campaigns for users from all population groups on the benefits and security of digital services could increase their acceptance and trust in these technologies. Establishing a central registry for complaints would enhance consumer protection.

Literature

- [1] Tcom, “Istraživanje stepena zadovoljenja potreba korisnika poštanskih usluga,” Beograd, 2021.
- [2] HAKOM, “Istraživanje zadovoljstva i potreba korisnika poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj,” Zagreb, 2023.
- [3] M. Spremic and V. Hlupic, “Development of e-commerce in Croatia: A survey,” *Information Technology for Development*, vol. 13, no. 4, pp. 391–409, Oct. 2007.
- [4] RAP, “Istraživanje zadovoljstva i potreba korisnika poštanskih usluga u Bosni i Hercegovini,” Sarajevo, 2024.
- [5] F. Fowler, *Survey Research Methods (4th ed.)*. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States: SAGE Publications, Inc., 2009.
- [6] A. Joshi, S. Kale, S. Chandel, and D. Pal, “Likert Scale: Explored and Explained,” *British Journal of Applied Science & Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 396–403, Jan. 2015.
- [7] N. Blaikie, *Analyzing Quantitative Data*. 1 Oliver’s Yard, 55 City Road, London England EC1Y 1SP United Kingdom: SAGE Publications Ltd, 2003.

Abstract: *The research focuses on analyzing the satisfaction and needs of postal service users in Bosnia and Herzegovina. The aim of the study, which was conducted for the first time in Bosnia and Herzegovina, was to collect data on the use of postal services, customer satisfaction, and their specific needs, including cross-border shipments. The research was conducted through field and online surveys, using a representative sample of 1,008 respondents. The results show a high level of satisfaction with the proximity of post offices and the friendliness of delivery personnel, while users were least satisfied with the use of information technology and the resolution of complaints. These findings*

will be used to improve postal services and better adapt them to customer needs. The research results were presented at the "Standardization and Quality in Postal Traffic" conference.

Keywords: *Postal Traffic, Customer Satisfaction, E-commerce, Bosnia and Herzegovina*

**POBOLJŠANJA USLUGA POŠTANSKOG SAOBRAĆAJA
U BOSNI I HERCEGOVINI KROZ PERSPEKTIVU
KORISNIKA: SVEOBUH VATNA ANALIZA ANKETE**
Amel Kosovac, Ermin Muharemović, Nino Čorić, Nedim Moranjkć

MODEL ODRŽIVOSTI UNIVERZALNE POŠTANSKE USLUGE

Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Slađana Tomašević
Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL),
dragan.pejovic@ratel.rs, ljubomir.ostojic@ratel.rs, sladjana.tomasevic@ratel.rs

Rezime: *U 21. veku univerzalna poštanska usluga se suočava sa mnogim izazovima. Razvoj novih tehnologija na polju elektronskih komunikacija uticao je na promene u profilu potreba korisnika poštanskih usluga, što je dovelo do pada obima pismonosnih usluga i rasta paketskih usluga. RATEL je u saradnji sa Ministarstvom informisanja i telekomunikacija, Javnim preduzećem „Pošta Srbije“, Beograd i akademskom zajednicom iz oblasti poštanskog saobraćaja razvio model koji ima za cilj da se osigura dostupnost i održivost univerzalnog poštanskog servisa u skladu sa potrebama korisnika i promenama na tržištu, uz očuvanje ekonomske održivosti.*

Ključne reči: *održivost univerzalne poštanske usluge, opseg, kvalitet, dostupnost, finansiranje*

1. Uvod

Univerzalna poštanska usluga je usluga od opšteg interesa i predstavlja skup poštanskih usluga koje se obavljaju u kontinuitetu na celokupnoj teritoriji Republike Srbije, u okviru propisanog kvaliteta, po pristupačnim cenama i pod jednakim uslovima za sve korisnike, bez diskriminacije.

Međutim, zbog značajnih promena na tržištu poštanskih usluga u poslednjih 10-15 godina, kao što su razvoj tehnologije na polju komunikacija, promene u profilu i potrebama korisnika, razvoj alternativnih, posebno digitalnih servisa kojima se vrši supstitucija klasičnih poštanskih usluga, uslovile su pad obima usluga iz univerzalnog servisa (prevashodno pismonosnih usluga), što je dovelo do toga da se postavlja pitanje održivosti univerzalne poštanske usluge.

U cilju osiguranja dostupnosti i održivosti univerzalnog poštanskog servisa u skladu sa potrebama korisnika i promenama na tržištu, u Akcionom Planu Strategije razvoja poštanskog saobraćaja u RS za period od 2021-2025. godine [1] definisane su mere za obezbeđivanje održivosti pružanja svih usluga iz okvira univerzalne poštanske usluge, kao usluge od opšteg interesa u Republici Srbiji i kao nosioca aktivnosti u okviru ove mere određeno je Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL), a partneri Ministarstvo informisanja i telekomunikacija i javni poštanski operator. U cilju

ispunjenja propisanih ciljeva za održivi razvoj univerzalne poštanske usluge u Republici Srbiji, u toku 2023. i 2024 godine realizovana je *Studija o održivosti univerzalne poštanske usluge i definisanje njene uloge u skladu sa promenljivim potrebama korisnika* (Studija) i objavljena je na sajtu RATEL-a [2].

2. Međunarodna iskustva

Na nivou Evropske unije (EU) kroz Direktive Evropske unije (97/67/EC; 2002/39/EC; 2008/6/EC) [3], propisano je da kao minimum, države članice moraju da obezbede univerzalnu poštansku uslugu koja obezbeđuje prijem, preradu, prevoz i uručenje najmanje pet radnih dana nedeljno:

1. pismonosnih pošiljaka težine do 2 kg;
2. paketa do 10 kg;
3. kao i preporučene pošiljke i pošiljke sa označenom vrednošću u obe kategorije.

Obaveza pružanja univerzalne usluge se definiše i razrađuje na nacionalnom nivou kroz zakonska i podzakonska akta u skladu sa potrebama korisnika i države, a u najširem smislu podrazumeva: opseg obaveze pružanja univerzalne poštanske usluge, predviđeni kvalitet usluga iz definisanog opsega, dostupnost usluga i finansiranje obaveze pružanja univerzalne poštanske usluga kroz intervencije kako u oblasti naknade neto troška tako i delu cena.

Održivost univerzalne poštanske usluge, odnosno koncepta koji omogućava sa jedne strane zadovoljenje osnovnih poštanskih servisa svih građana, a sa druge alat odnosno kanal za sprovođenje politike pružanja servisa od opšteg interesa, nalazi se pred velikim izazovom.

RATEL je u skladu sa preuzetom obavezom vršio istraživanje inostrane najbolje prakse iz ove oblasti, ali nije pronađen sveobuhvatan model koji bi pitanje održivosti univerzalne poštanske usluge posmatrao na jedinstven i sveobuhvatan način, što je predstavljalo veliki izazov za pronalaženje optimalnog rešenja.

U okviru aktivnosti *ERGP-a (European Regulatory Group for Post)* [4] koji je savetodavni organ EU u oblasti poštanskih usluga, u kojima RATEL aktivno učestvuje, održivost poštanskog servisa uglavnom je usmerena na zaštitu životne sredine, kao i na potrebe ugroženih odnosno ranjivih korisnika kao što su: starije osobe, ljudi kojima nedostaju digitalne veštine, ljudi koji žive u ruralnim područjima (sa ograničenim pristupom poštanskim uslugama) i ljudi koji žive u siromaštvu.

3. Dimenzije sagledavanja održivosti univerzalne poštanske usluge

Uzimajući u obzir da je problem izrazito multidisciplinarnog karaktera, održivost univerzalne poštanske usluge trebalo je sagledati i analizirati kroz tri dimenzije (potrebe korisnika, kvalitet prenosa i dostupnosti, troškovi i način finansiranja), Slika 1, odnosno odgovoriti na sledeća pitanja:

1. Koje su potrebe korisnika za uslugama iz univerzalnog opsega - da li su postojeće usluge ono što korisnicima stvarno treba ili ih treba redefinisati, smanjiti ili proširiti

- opseg; da li je postojeće usluge prilagođene promenjenim potrebama korisnika; da li je poštansku mrežu moguće koristiti za obavljanje drugih usluga od javnog interesa;
2. Koji je optimalan kvalitet usluga - koji kvalitet usluga je neophodan korisnicima (fizička lica, pravna lica) da bi se ispunio određeni stepen zadovoljstva: u kojoj meri se može razlikovati kvalitet u urbanoj i ruralnoj sredini; u kojoj meri se mogu prilagoditi kriterijumi kvaliteta usluga i dostupnosti u odnosu na evropsku praksu i standarde; sa aspekta kvaliteta prenosa pošiljaka i kvaliteta dostupnosti, da li je potrebno smanjiti, zadržati ili povećati nivo kvaliteta u odnosu na definisan; kako definisati i sprovesti mere za smanjenje emisije ugljen-dioksida u procesu pružanja poštanskih usluga.
 3. Koji su troškovi univerzalnog servisa i kako ih finansirati - da li su prihodi iz rezervisanog i nerezervisanog opsega dovoljni da pokriju troškove univerzalne poštanske usluge; da li postoji prelivanje troška sa komercijalnog tržišta u univerzalni opseg ili obrnuto; kako definisati optimalni odnos - troškovi/kvalitet usluge; koji su mehanizmi i optimalni model za finansiranje (zadržavanje rezervisanih usluga ili nakanda za nepravedno finansijsko opterećenje iz Budžeta Republike Srbije).



Slika 1: Analiza održivosti kroz tri dimenzije

Takođe, bilo je potrebno analizirati i definisati balans javnog interesa, potreba korisnika i održivog poslovanja javnog poštanskog operatora, kao davaoca univerzalne poštanske usluge. Cilj je da se uspostavi model kojim bi se osigurala dostupnost i održivost univerzalnog poštanskog servisa u skladu sa potrebama korisnika i promenama na tržištu uz očuvanje ekonomske održivosti.

4. Metodologija za ocenu održivosti univerzalne poštanske usluge

Kao osnovni metodološki koncept korišćeno je višekriterijumsko odlučivanje, zasnovano na saradnji sa ekspertima iz oblasti poštanskog saobraćaja, konkretno *FUZZY AROMAN* metoda, kao jedna od najnovijih metoda iz ove oblasti, i to kroz segmente izmene opsega univerzalne usluge, kvaliteta prenosa pošiljaka i kvaliteta dostupnosti jedinica poštanske mreže. Za svaki od ovih segmenata prikazani su primeri dobre evropske prakse, kao i budući scenariji odnosno različite alternative.

4.1. Izmena opsega univerzalne poštanske usluge

Od donošenja Direktive EU, skup usluga uključenih u univerzalnu poštansku uslugu generalno je ostao nepromenjen u većini članica EU. Pismonosne i paketske pošiljke, preporučena pisma, pisma sa označenom vrednošću u unutrašnjem poštanskom saobraćaju, kao i pisma i paketi u međunarodnom saobraćaju su i dalje deo obaveze pružanja univerzalne poštanske usluge u većini zemalja. Međutim, neke od zemalja su uvele određene promene u odnosu na definisanu univerzalnu poštansku uslugu i to:

- smanjenja opsega: smanjenje dimenzije pismonosne pošiljke (CZ), ukidanje prioritnog pisma (FR), ukidanje direktne pošte iz univerzalnog servisa (IT, PT);
- proširenja opsega: gde su novine i časopisi dodati univerzalnog servisu (AT, BE NO), uvođenjem elektronsko *on line* pismo – elektronsko prikupljanje i fizička dostava (FR), uključujući i izborni materijal (ES);
- usluge od javnog interesa: uvođenje elektronskog poštanskog sandučeta (PT, FR, PL, CZ i NO) i e-novčanika; kao i usluge za stara lica (gde svi u domaćinstvu imaju preko 80 godina) i osobe sa invaliditetom u ruralnim oblastima (SE);
- finansijske i ostale usluge: isplata penzija i isplata socijalnih nadoknada penzionerima i osobama sa invaliditetom (BE, DK, PPL)

U Republici Srbiji skup usluga koje čine univerzalnu poštansku uslugu definisan je Zakonom o poštanskim uslugama (Zakon) i obavezu obavljanja istih ima javni poštanski operator, kao i pravo na obavljanje rezervisanih poštanskih usluga.

Shodno navedenom, opseg univerzalne poštanske usluge razmatran je kroz sledeće alternative:

A.1.1 – Zadržavanje postojećeg stanja – nepromenjen opseg usluge, u skladu sa važećim Zakonom.

A.1.2 – Promene unutar postojećeg opsega - definisanje limita za dimenzije paketa (maksimalno 60x50x50cm), ukidanje prioritnih pismonosnih pošiljaka, kao i direktne pošte iz univerzalnog servisa i dr.

A.1.3 – Promene unutar postojećeg opsega - dodavanje novih usluga u skup usluga koje čine univerzalnu poštansku uslugu i to uvođenjem hibridnog pisma i usluge za kategoriju „ranjivu“ korisnika (usluge za stara lica - gde svi u domaćinstvu imaju preko 80 godina i za osobe sa invaliditetom u ruralnim oblastima).

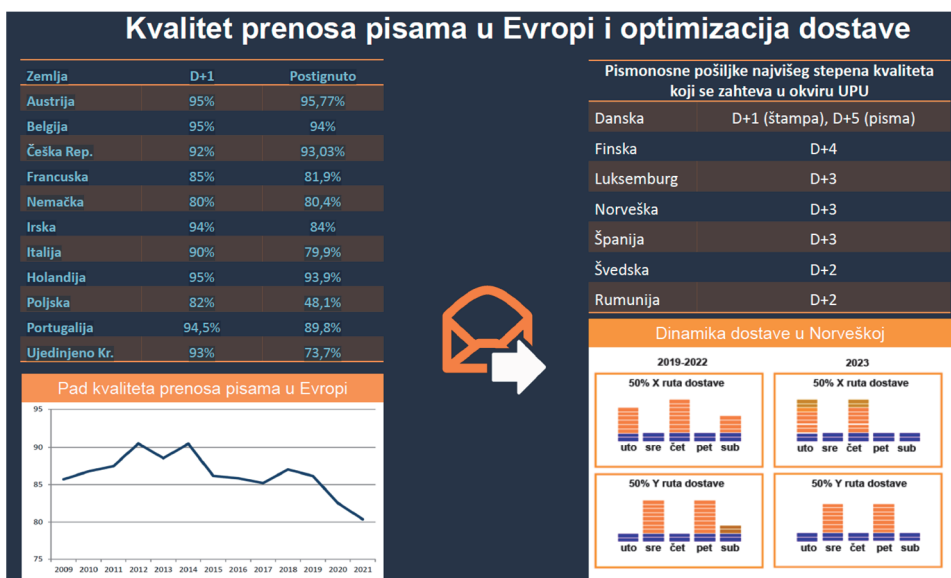
A.1.4 – Uvođenje javnih usluga koje bi bile dodatak univerzalnog servisa - uvođenje određenih poštansko-finansijskih usluga (isplata penzija, socijalne pomoći i drugih naknada), uvođenje e-usluga kao podrške državnim projektima na razvoju e-servisa državne uprave - podnošenje zahteva za dobijanje i preuzimanje određene dokumentacije, potvrda, uverenja izdatih od strane pojedinih državnih organa, prijave za upis školu/vrtić, zakazivanje termina u državnim institucijama i sl.

4.2. Kvaliteta prenosa pošiljaka

Saglasno Direktivi EU o poštanski uslugama propisano je da zemlje članice treba da obezbede da se standardi kvaliteta univerzalne poštanske usluge utvrđuju i objavljuju, kako bi se garantovala poštanska usluga dobrog kvaliteta.

Prema podacima iz *ERGP* izveštaja o budućim potrebama univerzalne poštanske usluge (*Main developments in the postal sector (2017-2021)*) [5], može se videti da većina evropskih zemalja nije ostvarila kvaliteta prenosa neregistrovanih prioritetnih pisamonosnih pošiljaka za rok D+1. Takođe, za period od 2009. do 2021. godine, uočen trend opadanja kvaliteta prenosa, što je dovelo do toga da pojedine zemlje relaksiraju rokove prenosa i da izvrše optimizaciju dinamike dostave poštanskih pošiljaka, Slika 2.

Najveći broj zemalja ima petodnevnu dostavu. Međutim, najveću promenu je uvela Norveška, koja naizmenično radi uručenje neprioritetnih pisamonosnih pošiljaka: ponedeljak, sredi, petak jedne nedelje, a onda utorak, četvrtak druge nedelje. Belgija je takođe uvela izmene u učestalosti dostave neprioritetnih pisama i to sa 5 dana u nedelji na dva dana naizmenično. U Finskoj je od 1.10.2023. godine učestalost dostave smanjena sa 5 dana u nedelji na 3 dana, dok je u Italiji dostava svakog drugog dana ukoliko postoje posebni geografski i infrastrukturni uslovi.



Slika 2. Kvalitet prenosa pisama u Evropi i optimizacija dostave

Shodno navedenom, kvalitet prenosa razmatran je kroz sledeće alternative:

A.2.1 – Podrazumeva poštanske usluge sa smanjenim kvalitetom u smislu brzine prenosa u odnosu na postojeći propisani kvalitet - dostava pošiljaka svaki drugi dan, relaksirani rokovi prenosa pošiljaka. Dakle, ne očekuje se dostava svakog radnog dana, što javnom poštanskom operatoru pruža mogućnost ekonomičnije organizacije dostave, npr. dostava za jednu grupu korisnika (jedan deo teritorije) se vrši jednog dana, a dostava za drugu grupu korisnika (drugi deo teritorije) se vrši drugog dana, pri čemu bi naredne nedelje došlo do

promene u smislu rotiranja dana uručenja. U tom slučaju, potencijalni standardi kvaliteta za prenos pismonosnih i paketskih pošiljaka, prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. Potencijalni standardi kvaliteta za prenos pošiljaka

	Propisani minimum
D+2	50%
D+3	70%
D+5	99%

A.2.2 – zadržavanje postojećeg stanja i ostvarivanje propisanih rokova prenosa - poštanske usluge se vrše na osnovu kvaliteta prenosa koji je propisan u Pravilniku o parametrima kvaliteta za obavljanje poštanskih usluga („Službeni glasnik RS“, broj 114/20, u daljem tekstu: Pravilnik), prikazani u Tabeli 2

Tabela 2. Rokovi prenosa pismonosnih pošiljaka u skladu sa Pravilnikom

	Propisani minimum za neprioritetne pošiljke	Ostvaren kvalitet za neprioritetne pošiljke u 2022. god.[6]	Propisani minimum za prioritetne pošiljke	Ostvaren kvalitet za prioritetne pošiljke u 2022. god[6]
D+1	/	/	83%	38,17%
D+2	80%	54,01%	88%	64,83%
D+3	85%	73,78%	93%	80,20%
D+5	90%	91,19%	/	/

A.2.3 – zadržavanje postojećeg stanja i optimizacija rokova dostave - imajući u vidu da rokovi prenosa propisani u Pravilniku, nisu ostvareni, predložena je optimizacija rokova prenosa pismonosnih pošiljaka koje imaju petodnevnu dostavu na način kako je prikazano u Tabeli 3, bez usluge prioritetnog pisma.

Табела 3. Потенцијални параметри квалитета

	Нерегистроване писмоносне пошиљке	Пакети	Поштанске упутнице
Д+1	/	/	90%
Д+2	60%	80%	/
Д+3	75%	90%	/
Д+5	99%	95%	/

4.3. Dostupnost jedinica poštanske mreže (pošte)

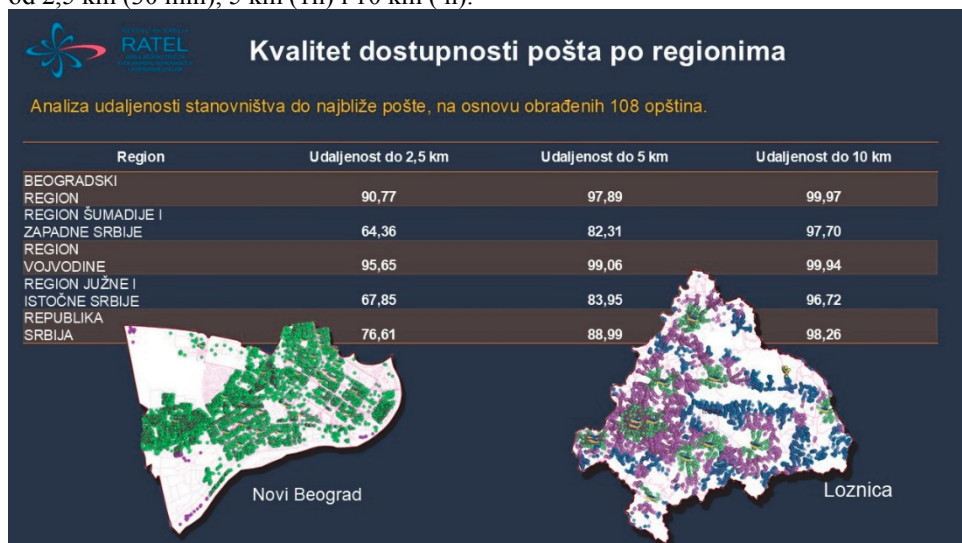
Direktiva EU definiše pristupne tačke kao fizičke objekte, gde pošiljaoci mogu predati poštanske pošiljke zarad prenosa poštanskom mrežom, kao i da države članice moraju da obezbede da gustina pristupnih tačaka bude u skladu sa potrebama korisnika. Kao primeri dobre prakse na nivou EU, u pogledu formiranih kriterijuma dostupnosti poštanske mreže, mogu se istaći sledeći:

- demografska specifičnost: najmanje jedna pošta u svakom opštinskom mestu (urbano i ruralno) (BE, FI, DE, IT, NO, PL); svako opštinsko mesto sa više od 10.000 stanovnika treba da ima najmanje jednu poštu na svakih 20.000 stanovnika (FR); pošte moraju biti otvorene najmanje 3 dana i 18 sati nedeljno (IT), jedna pošta na broj stanovnika u rasponu 2.500-6.000 (ES, PT, PL);
- geografska specifičnost: u opštinskim mestima i gradovima više od 90% stanovništva mora imati poštu na udaljenosti do 2 km (DE); 90% stanovništva mora imati poštu na udaljenosti do 5 km (NL); 95% stanovništva mora imati poštu na udaljenosti do 5 km i 98% stanovništva mora imati poštu do 10 km (AT); 75% stanovništva mora imati poštu na udaljenosti do 3 km, 92,5% na udaljenosti do 5 km, 97,5% na udaljenosti do 6 km (IT)

Javni poštanski operator planiranje i organizaciju poštanske mreže vrši u skladu sa Zakonom i podzakonskim aktima, pri čemu je glavni cilj kvalitetno pozicioniranje pošte na celoj teritoriji Republike Srbije, kako bi korisnicima obezbedili veću dostupnosti i unapredili nivo kvaliteta poštanskih usluga. S tim u vezi, Pošta je dužna da obezbedi prijem i uručenje poštanskih pošiljaka iz domena univerzalne poštanske usluge, u toku dana, svaki radni dan, a ne manje od 5 (pet) dana u nedelji, osim u slučajevima državnih i verskih praznika, više sile i ugroženosti zdravlja i sigurnosti zaposlenih, izuzetaka u pogledu radnih vremena, kao i izuzetaka u pogledu dostave, definisanim u podzakonskim aktima.

U skladu sa navedenim, dostupnost pošta razmatrana je kroz sledeće alternative:

A.3.1 – Zadržavanje postojećeg stanja – zadržavanje broja jedinica poštanske mreže, kriterijuma teritorijalne dostupnosti, kao i minimalnog radnog vremena jedinice poštanske mreže (minimum 4 časa računajući vreme pružanja usluge na šalteru i na dostavi). Za potrebe ove alternative urađena je analiza teritorijalne dostupnosti, GIS analiza, gde je prikazano koliko procenata stanovnika je trenutno pokriveno sa maksimalnom udaljenošću od 2,5 km (30 min), 5 km (1h) i 10 km (h).



Slika 3. Procenat stanovnika koji gravitira do najbliže pošte do 2,5km, 5km 10km

A.3.2 – Smanjenje broja jedinica poštanske mreže (od 10%-20%) i smanjenje minimalno definisanog radnog vremena pošta. GIS analiza (na nivou opština) bi pokazala kako bi smanjen broj pošta uticao na pokrivenosti stanovništva na udaljenosti 2,5 km, 5 km i 10 km, pri čemu bi se uzela u obzir ispitivanja zadovoljenja potreba korisnika. Analiziralo bi se i smanjenje radnog vremena tako da se uvede minimum radnog vremena u urbanom području, na primer 4 časa, s tim, ako ne radi subotom, a isporučna je pošta, obezbediti minimum jedan dan u nedelji da radi popodne do 17 časova. U ruralnom području da pošta radi minimum 2 časa, ako radi minimum 2 dana u nedelji, a ako radi 1 dan – minimum 3 časa. Navedeni minimum radnih vremena odnosi se na rad pošte sa korisnicima na šalteru.

A.3.3 – Povećanje broja pošta (5%) i povećanje minimalno definisanog radnog vremena pošte. GIS analiza (na nivou opština) bi pokazala koliko bi povećan broj pošta uticao na pokrivenosti stanovništva na udaljenosti 2,5 km, 5 km i 10 km, pri čemu bi se uzela u obzir ispitivanja zadovoljenja potreba korisnika. Takođe, analizirala bi se duža radna vremena tako da se uvede minimum radnog vremena u urbanom području, na primer 6 časova, s tim, ako ne radi subotom, a isporučna je pošta, obezbediti da minimum jedan dan u nedelji radi popodne do 17 časova. Zatim, uvesti minimum radnog vremena od 8 do 17 časova za glavnu poštu u sedištu opštine, (koja ima više od 5.000 stanovnika u gradskom delu), da radi subotom. U ruralnom području da pošta radi minimum 2 ili 3 dana u nedelji, pri čemu radi minimum 3 časa.

5.Priprema i prikupljanje neophodnih setova podataka na osnovu kojih će se izvršiti testiranje modela

Prikupljeni su podaci za svaki kriterijum (obimu usluga, prihod, očekivane investicije, očekivani operativni troškovi, uticaj emisije CO₂, kvalitet prenosa, dostupnost pošta i dr.). Zatim, sprovedeno je *Ispitivanje stepena zadovoljstva korisnika poštanskih usluga* [2], anketiranjem 1200 fizičkih i 300 pravnih lica, a koje je obuhvatalo set pitanja vezanih za održivost univerzalne poštanske usluge. Takođe, u cilju sagledavanja mišljenja zaposlenih kod javnog poštanskog operatora, u vezi univerzalne poštanske usluge, urađeno je istraživanje, anketiranjem 825 zaposlenih.

Kako bi se izvršila evaluacija predstavljenih alternativa, primenom *FUZZY AROMAN* metode, definisani su kriterijumi za svaku alternativu, i to kroz: ekonomske faktore, faktore životne sredine, socijalnih i tehničkih faktora, Tabela 4.

Tabela 4. Kriterijumi za evaluaciju od strane eksperata po alternativama

KRITERIJUMI ZA EVALUACIJU OD STRANE EKSPERATA PO ALTERNATIVAMA			
EKONOMSKI FAKTORI	Izmjena opsega	Kvalitet prenosa	Kvalitet dostupnosti
Očekivani obim usluga (maks)	√	√	√
Očekivani prihod (maks)	√	√	√
Očekivane investicije (min)	√	√	√
Očekivani operativni trošak (min)	√	√	√
Procenjena finansijska korisnost koncepta – odnos očekivanih prihoda i uloženi resursa (maks)	√	√	√
SOCLJALNI FAKTORI			
Broj stanovnika po jedinici poštanske mreže u urbanim oblastima (maks)			√
Broj stanovnika po jedinici poštanske mreže u ruralnim oblastima (maks)			√
Ispunjenje potreba korisnika (maks)	√	√	√
Očekivani nivo kvaliteta (maks)	√	√	√
Zadovoljstvo zaposlenih (maks)	√	√	√
Uticaj na kategoriju ranjivih korisnika (min)	√	√	√
FAKTORI ŽIVOTNE SREDINE			
Uticaj nazagadenje vazduha, emisija CO2 (min)	√	√	√
Uticaj nasaobraćajne gužve u gradu (min)	√	√	√
Uticaj na nivo buke (min)	√	√	√
TEHNIČKI FAKTORI			
Rastojanje koje korisnik prelazi do najbliže pristupne tačke (min)			√
Kompleksnost uređenja regulativom (min)	√	√	√
Pouzdanost pristupne tačke (maks)			√
Bezbednost zaposlenih (maks)	√	√	√
Kompleksnost organizacije tehničko-tehnološkog procesa (min)	√		
Bezbednost i pouzdanost prenosa pošiljaka (maks)	√	√	
Kompleksnost organizacije prenosa (min)		√	

Na osnovu definisanih kriterijuma, eksperti iz poštanskog saobraćaja (nadležno Ministarstvo, javni poštanski operator, RATEL i akademski sektor) su pomoću *fuzzy* lingvističkih varijabli ocenjivali alternative, Tabela 5, pri čemu su dali svoje mišljenje i na set pitanja u vezi univerzalne poštanske usluge i ponuđenih alternativa, što je uzeto u obzir prilikom izrade finalnog fokumenta – Studije.

Tabela 5. Fuzzy lingvističke varijable pri ocenjivanju alternativa po svakom kriterijumu

Lingvističke varijable
Vrlo nisko (VN)
Nisko (N)
Srednje-nisko (SN)
Srednje (S)
Srednje-visoko (SV)
Visoko (V)
Vrlo visoko (VV)

6. Ocena održivosti univerzalne poštanske usluge sa preporukama

- I. **Opseg univerzalne poštanske usluge** – opravdano je ukidanje prioritetnog pisma, predlaže se uvođenje javnih usluga koje bi bile dodatak univerzalnog servisa (uvođenje e-usluga kao podrške državnim projektima na razvoju e-servisa državne uprave), zatim uvođenje usluga za kategoriju „ranjivih“ korisnika (stara lica, invalidi), kao i eventualno uvođenje usluge hibridnog pisma.
- II. **Kvalitet prenosa** – ne očekuje se dostava svakog radnog dana, organizaciju dostave uskladiti sa relaksiranim parametrima kvaliteta u smislu rokova prenosa u odnosu na postojeći propisani kvalitet (Tabela 6), uz korekciju predloženog cilja za D+5, odnosno smanjenja istog sa 99% na 97% prema oceni eksperata.

Tabela 6. Potencijalni standardi kvaliteta za prenos pošiljaka

	Propisani minimum
D+2	50%
D+3	70%
D+5	97%

Ukoliko se ipak zadrži prioritetno pismo, na osnovu mišljenja eksperata, potencijalni standardi bi mogli biti: D+1=75%, D+2=89% i D+3=96%;

- III. **Kvalitet dostupnosti pošta** – predlaže se smanjenje broja pošta (od 10%-20%), kao i smanjenje minimalno definisanog radnog vremena pošta. U Tabeli 7. dat je prikaz minimalnih procenata stanovništva koji treba da gravitira do najbliže pošte na udaljenosti 2,5km, 5km i 10 km, na nivou opštine i na nacionalnom nivou.

Tabela 7. procenat stanovništva koji treba da gravitira do najbliže pošte

	Nivo opštine	Nacionalni nivo
2,5 km	48%	71%
5 km	67%	83%
10 km	86%	94%

Udaljenost pošte do 10 km treba posmatrati uslovno jer se radi o stanovništvu na najudaljenijim područjima, koje je najugroženije u smislu dostupnosti usluga. Trenutno 98% stanovnika ima poštu na udaljenosti do 10 km i preporuka je da se ipak ovaj procenat ne smanjuje kako bi se zaštitili najugroženiji korisnici.

Minimalno radno vreme pošta:

- u urbanim sredinama radnim danom trebalo bi da bude 5 časova. Ukoliko pošta ne radi subotom, a isporučna je pošta, minimalno radno vreme pošte trebalo bi da bude bar jedan dan do 18 časova.
- u ruralnim sredinama trebalo bi minimalno da rade 2 dana u nedelja, a minimalno radno vreme bi bilo 3 časa dnevno.

- IV. **Finansiranje univerzalne poštanske usluge** – imajući u vidu trend opadanja pismonosnih pošiljaka, kao i da rezervisani servis godinama ostvaruje gubitak,

potrebno je obezbediti dugoročno planiranje finansijske održivosti univerzalnog servisa, te se preporučuje prelazak sa režima rezervisanih poštanskih usluga na režim finansiranja iz odgovarajućeg fonda. Na osnovu iskustava razmatranih zemalja iz Evrope, najčešći je model državnog (budžetskog) finansiranja, pri čemu se isti predlaže i u slučaju Republike Srbije.

7. Zaključak

U skladu sa donetim preporukama u vezi ocene održivosti univerzalne poštanske usluge, jedno od osnovnih pitanja koje se neminovno nameće jeste način finansiranja univerzalne poštanske usluge kao usluge od opšteg interesa. Dosadašnji princip koji je podrazumevao postojanje rezervisanih poštanskih usluga za javnog poštanskog operatora dovodi se u pitanje, kako zbog pada obima pismonosnih pošiljaka iz rezervisanog servisa, tako i zbog obaveza koje su pred Republikom Srbijom u procesu pridruživanja EU. Direktiva EU podrazumeva ukidanje rezervisanih poštanskih usluga i stvaranje slobodnog (liberalizovanog) tržišta poštanskih usluga.

Postupak potpune liberalizacije tržišta poštanskih usluga nije jednostavan i treba voditi računa da se ne ugrozi finansijska stabilnost javnog poštanskog operatora. Zbog toga mora da postoji jasna politika cena univerzalne poštanske usluge i način nadoknade neto troška, odnosno finansiranja univerzalne poštanske usluge.

Procenjeno je da bi liberalizacija poštanskog tržišta u Republici Srbiji dovela do pada od -8,08% pismonosnih usluga. Navedena vrednost ne može se posmatrati isključivo kao posledica liberalizacije, već treba imati u vidu i generalni trend pada obima pismonosnih usluga.

Preporuka je da se potpuno ukine rezervisani servis, nakon 2 godine od usvajanja novog Zakona o poštanskim uslugama, a u međuvremenu da se smanji limit po masi sa 50 na 20 grama. Ipak, eksperti javnog poštanskog operatora su se izjasnili da potpunu liberalizaciju treba odložiti nakon pristupanja Srbije EU.

Prporuke donete prilikom izrade Studije, uzete su u obzir prilikom izrade Nacrta novog Zakona o poštanskim uslugama, te će se koristiti i kod izrade podzakonskih akata.

Literatura

- [1] *Strategija razvoja poštanskih usluga u Republici Srbiji za period 2021-2025. godine*, „Službeni Glasnik RS“, br. 68/21
- [2] <https://www.ratel.rs/cyr/page/cyr-studije-iz-oblasti-postanskih-usluga>
- [3] <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/postal-services-in-the-eu.html>
- [4] https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/postal-services/european-regulators-group-postal-services_en
- [5] <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e8348d3f-79d0-11ed-9887-01aa75ed71a1/language-en>
- [6] https://www.ratel.rs/uploads/documents/empire_plugin/blob/645a0c0a1313e_Izveštajta_j%20prioritetne.pdf

Abstract: In the 21st century, the universal postal service faces many challenges. The development of new technologies in the field of electronic communications influenced changes in the profile of the needs of users of postal services, which led to a decline in the volume of letter services and an increase in parcel services. RATEL, in cooperation with the Ministry of Information and Telecommunications, the Public Company "Post of Serbia", Belgrade and the academic community in the field of postal traffic, has developed a model that aims to ensure the availability and sustainability of the universal postal service in accordance with the needs of users and changes in the market while preserving economic sustainability.

Keywords: *sustainability of the universal postal service, scope, quality, availability, financing*

**MODEL FOR THE SUSTAINABILITY
OF THE UNIVERSAL POSTAL SERVICE**

Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Slađana Tomašević

STANDARDIZACIJA U POŠTANSKOM SAOBRAĆAJU – OBAVEZE PREMA REGULATIVI EVROPSKE UNIJE I PRIMENA STANDARDA

Biljana Grgurović¹, Slavica Radosavljević¹, Jelena Milutinović¹, Jovanka Šević²

¹Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija u Beogradu - Odsek Visoka škola za informacione i komunikacione tehnologije, biljana.grgurovic@ict.edu.rs,

slavica.radosavljevic@ict.edu.rs, jelena.milutinovic@ict.edu.rs

²JP „Pošta Srbije”, Beograd, e-mail: jovanka.sevic@posta.rs

Rezime: *Standardizacija i regulativa Evropske unije igraju ključnu ulogu u poštanskom saobraćaju, jer omogućavaju efikasnost, usklađenost i konkurentnost unutar jedinstvenog tržišta. Značaj standardizacije u poštanskom saobraćaju proizlazi iz potrebe za harmonizacijom različitih operativnih sistema i procedura među državama članicama EU, čime se obezbeđuje nesmetano funkcionisanje prekograničnih poštanskih usluga. Usklađenost sa međunarodnim standardima doprinosi povećanju kvaliteta poštanskih usluga, omogućavajući poštanskim operatorima da primenjuju najbolje prakse i da kontinuirano unapređuju svoje procese. EU regulativa se stalno menja kako bi se prilagodila tehnološkom napretku i novim poslovnim modelima u poštanskoj industriji, naročito zbog porasta e-trgovine i potrebe za bržom i jeftinijom dostavom. Sve ove promene nameću poštanskim operatorima potrebu da usvoje najnovije standarde kako bi ostali konkurentni i usklađeni sa zahtevima evropskog tržišta. U radu je predstavljen rad Komisije za standarde i srodna dokumenta KS A331- Poštanski saobraćaj koja pokriva ovu oblast na teritoriji Republike Srbije.*

Ključne reči: *standardizacija, regulativa, poštanski saobraćaj, kvalitet, KS A331*

1. Uvod u standardizaciju pružanja poštanskih usluga

Standardi su odigrali ključnu ulogu u tehnološkom napretku i razvoju tržišta, poput Evropskog jedinstvenog tržišta [1]. Standardizacija značajno doprinosi većim pogodnostima za potrošače kroz smanjenje cena, povećanje inovacija i širenje ponude. Istovremeno, standardizacija podstiče konkurentnost tržišta, čime se stvara dinamičnije i efikasnije poslovno okruženje.

Standard je po definiciji dokument usvojen konsenzusom i odobren od strane priznate organizacije. Pruža, za zajedničku i ponovnu upotrebu, pravila, smernice ili karakteristike za aktivnosti ili njihove rezultate, sa ciljem postizanja optimalnog stepena reda u datom kontekstu. Standardizacija je aktivnost uspostavljanja standarda [2].

Realizacija poštanskih usluga podrazumeva svako postupanje davaoca poštanskih usluga sa pošiljkama od prijema do uručivanja u unutrašnjem i međunarodnom

poštanskom saobraćaju. Jedno od načela iz Zakona o poštanskim uslugama podrazumeva usklađivanje obavljanja delatnosti u oblasti poštanskih usluga sa srpskim i međunarodnim standardima [3].

Organizacije koje razvijaju i objavljuju međunarodne standarde su, prvenstveno Međunarodna organizacija za standardizaciju (*International Organization for Standardization*, ISO) a potom Međunarodna elektrotehnička komisija (*International Electrotechnical Commission*, IEC). ISO standard podrazumeva skup smernica i specifikacija koje definišu određeni proizvod ili usluga i pokrivaju širok spektar tema, uključujući upravljanje kvalitetom, bezbednost informacija i upravljanje životnom sredinom. Sa druge strane IEC standardi se fokusiraju na tehničke specifikacije koje se odnose na električne i elektronske tehnologije i pokrivaju različite aspekte električnih sistema, kao što su bezbednost, smetnje i energetska efikasnost. Zajednički rad ove dve organizacije se manifestuje kroz rad specifičnih tehničkih komiteta kao što je IEC/ISO JTC 1 Informacione tehnologije (*Technical Committees ISO/IEC JTC 1 Information technology*) [4].

Evropski prostor standardizacije u oblasti poštanskih usluga pokrivaju tri organizacije, odgovorne za razvoj i definisanje standarda na evropskom nivou, priznate od strane Evropske unije (*European Union*, EU) i Evropskog udruženja za slobodnu trgovinu (*European Free Trade Association*, EFTA):

- Evropski komitet za standardizaciju (*European Committee for Standardization*, CEN),
- Evropski komitet za standardizaciju u oblasti elektrotehnike (*European Electrotechnical Committee for Standardization*, CENELEC) i
- Evropski institut za telekomunikacione standarde, (*European Telecommunications Standards Institute*, ETSI).

CEN podržava aktivnosti standardizacije u vezi sa širokim spektrom oblasti i sektora uključujući: vazduh i svemir, hemikalije, građevinarstvo, potrošačke proizvode, odbranu i bezbednost, energiju, životnu sredinu, hranu i hranu za životinje, zdravlje i bezbednost, zdravstvenu zaštitu, IKT, mašine, materijali, oprema pod pritiskom, usluge, pametan život, transport i pakovanje. CENELEC priprema dobrovoljne standarde u oblasti elektrotehnike, koji pomažu u olakšavanju trgovine između zemalja, stvaranju novih tržišta, smanjenju troškova usklađenosti i podržavanju razvoja jedinstvenog evropskog tržišta [5]. ETSI pruža članovima otvoreno, inkluzivno i saradničko okruženje za blagovremeni razvoj, ratifikaciju i testiranje globalno primenljivih standarda za sisteme, aplikacije i usluge podržane IKT [6].

Članice CEN-a i CENELEC-a čine nacionalna tela za standardizaciju 34 evropske zemlje, tako da su Evropski standardi (*European Standard*, EN) i drugi srodni dokumenti koje su usvojili CEN i CENELEC, prihvaćeni i priznati u svim zemljama članicama.

Evropski standardi doprinose povećanju bezbednosti, poboljšanju kvaliteta, olakšavanju prepreka u trgovini i jačanju jedinstvenog evropskog tržišta. Oni se razvijaju kroz proces saradnje između eksperata iz oblasti privrede i industrije, istraživačkih institucija, organizacija za zaštitu potrošača, organizacija za zaštitu životne sredine, kao i mnogih drugih zainteresovanih strana.

U Republici Srbiji nadležno telo za donošenje standarda je Institut za standardizaciju Srbije (ISS). U skladu sa Zakonom o standardizaciji, u ISS se obrazuju stručni saveti i Komisije za standarde, kao stručna tela ISS, koja rade na donošenju

srpskih standarda. Komisije za standarde se formiraju na predlog stručnih saveta, koji se obrazuju radi usmeravanja stručnog rada u pojedinim oblastima standardizacije. Komisije za standarde moraju uzeti u obzir svaki standard i srodni dokument odgovarajućeg međunarodnog (ISO, IEC ili ISO/IEC JTC 1) i/ili evropskog tehničkog komiteta (CEN, CENELEC ili ETSI) koji pripada oblasti rada Komisije.

Za oblast poštanskih usluga u Republici Srbiji, oformljena je Komisija za standarde i srodna dokumenta KS A331 - Poštanski saobraćaj.

2. Međunarodna poštanska regulativa značajna za standardizaciju

Međunarodna poštanska regulativa značajna za standardizaciju podrazumeva sledeće vrste dokumenata:

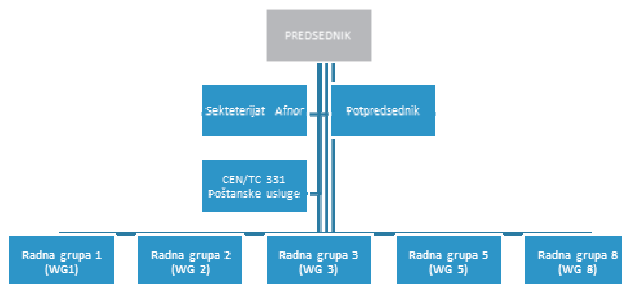
- Konvenciju Svetskog poštanskog saveza, temeljni dokument Svetskog poštanskog saveza (*Universal Postal Union, UPU*), kojim se uređuju pravila o međunarodnim poštanskim uslugama i standardima. Ovaj dokument se redovno ažurira na Kongresima Svetskog poštanskog saveza.
- Međunarodne ugovore, koji postavljaju osnovne principe za univerzalnu poštansku uslugu, uključujući tarifne sisteme, standarde kvaliteta usluga, bezbednosti poštanskog saobraćaja i druge tehničke aspekte.
- ISO/IEC standarde, koji pokrivaju širok spektar tehničkih aspekata vezanih za logistiku, elektronsku komunikaciju, bezbednost podataka i druge relevantne oblasti koje se odnose na poštansku industriju.
- Direktivu Evropske unije 97/67/EC (dopunjenu kroz Direktive 2002/39/EC i 2008/39/EC) o zajedničkim pravilima za razvoj unutrašnjeg tržišta poštanskih usluga u EU, koja definiše standarde kvaliteta, univerzalnu uslugu i liberalizaciju tržišta poštanskih usluga.
- Konvencije Svetske trgovinske organizacije (*World Trade Organization, WTO*), podrazumevane za prekogranične sporazume u okviru Opšteg sporazuma o trgovini uslugama (*General Agreement on Trade in Services, GATS*), koje se odnose na poštanske i kurirske usluge.
- Pravila Međunarodne organizacije civilnog vazduhoplovstva (*International Civil Aviation Organization, ICAO*), značajna za međunarodni prevoz pošte, posebno za bezbednost i logistiku u vazдушnom saobraćaju.

3. Evropska iskustva i formiranje tehničkih komiteta

U okviru Evropskog komiteta za standardizaciju formirani su tehnički komiteti koji su zaduženi za pripremu standarda u svim oblastima.

Tehnički komitet podrazumeva mesto gde se usaglašavaju različiti interesi svih učesnika, pa tako Tehnički komitet 331 „Poštanske usluge“ CEN-a (CEN/TC 331), usaglašava interese učesnika, kao što su poštanski operatori, proizvođači poštanske opreme i predstavnici korisnika usluga. Ovaj komitet zadužen je za sve evropske standarde iz oblasti poštanske delatnosti [5]. Organizacija i striktura CEN/TC 331 data je na slici 1.

Rad CEN / TC 331 je organizovan u okviru pet radnih grupa.



Slika 1. Organizacija i struktura CEN/TC 331

- **Radna grupa 1 (WG1) - bavi se standardima iz oblasti kvaliteta usluga i ispunjenje očekivanja korisnika poštanskih usluga**

Cilj WG 1 je stalno unapređenje nivoa kvaliteta usluge prema zahtevima i potrebama korisnika, uspostavljanje boljeg dijaloga između regulatornih tela i poštanskih operatera, unapređenje efikasnosti poštanskog tržišta na celom evropskom nivou, kao i razvijanje korisnih standardizovanih alata za praćenje i poboljšanje kvaliteta poštanskih usluga. U radu WG 1 učestvuju stručnjaci iz sledećih zemalja: Belgije, Hrvatske, Češke, Danske, Francuske, Nemačke, Holandije, Norveške, Poljske, Srbije, Slovenije, Švedske, Švajcarske i UK.

- **Radna grupa 2 (WG 2) - bavi se standardima iz oblasti hibridne pošta, elektronskih poštanskih usluga i elektronskog identiteta**

WG 2 pruža podršku u razvoju novih digitalnih rešenja u procesu poštanske razmene, uključujući međusobnu povezanost sa upravljanjem poštanskim lancem snabdevanja. Elektronska razmena naprednih podataka na nivou pošiljaka između ovlašćenog poštanskog operatera, drugih poštanskih operatera, nadležnih državnih organa i Svetskog poštanskog saveza omogućuje svim zainteresovanim stranama lakše praćenje i rešavanje reklamacija u čitavom poštanskom lancu. U radu WG 2 učestvuju stručnjaci iz sledećih zemalja Austrije, Francuske, Ujedinjenog Kraljevstva, Nemačke, Belgije, Irske, Poljske, Švedske, Slovenije, Švajcarske, Slovačke, Hrvatske i Španije uz učešće organizacija ETSI i GS1¹.

- **Radna grupa 3 (WG 3) - pokriva standardizaciju razmene informacija u celom fizičkom lancu procesa za pisma i pakete, uključujući tehničku opremu kao što su mašine za sortiranje (pisama, paketa) sa pripadajućim tokovima podataka (planovi sortiranja, upravljanje adresama, itd.)**

Zadatak WG 3 je da se pojednostavi i poboljša interoperabilnost i kvalitet u celom lancu procesa prenosa za pisma i paketa, što pomaže u poboljšanju rukovanja prekograničnom poštom. U radu WG 3 učestvuju stručnjaci iz sledećih zemalja: Švedske, Francuske, Velike Britanije, Holandije, Nemačke, Belgije, Poljske, Španije, Norveške, Slovačke, Hrvatske, Švajcarske, Slovenije, Finske i Austrije.

- **Radna grupa 5 (WG 5) – stavlja fokus na standarde opreme krajnjih primaoca koji će osigurati funkcionalnost, upotrebljivost, ergonomiju i usklađenost sa zakonskim okvirima**

¹ GS1 je neutralna, neprofitna, međunarodna organizacija koja radi na razvoju standarda i rešenja za poboljšanje efikasnosti i preglednosti u lancu snabdevanja u različitim privrednim granama. [6]

Ova radna grupa pokriva oblast IT interfejsa i hardverske opreme. Uključeni su predstavnici proizvođača, poštanskih operatera i potrošačkih organizacija. U radu grupe učestvuju stručnjaci iz sledećih zemalja: Belgije, Danske, Francuske, Nemačke, Irske, Holandije, Norveške, Poljske, Slovačke, Slovenije, Hrvatske, Španije, Švajcarske i UK.

- **Radna grupa 8 (WG 8) - bavi se standardima koji se tiču ekoloških aspekata u poštanskim uslugama**

Zadatak WG 8 je razvijanje uputstava i rešenja koja će omogućiti dostavu koja je prihvatljiva po životnu sredinu uz uslov da se identifikuju kriterijumi za definisanje održivog uručenja. Poštanski sektor se već bavi potrebom za preciznijim merenjem emisija gasova sa efektom staklene bašte (*GreenHouse Gases*, GHG) kroz standard EN 17837 - Poštanske usluge - Uticaj na životnu sredinu dostave paketa - Metodologija za obračun i prijavu emisija staklene bašte i zagađivača vazduha usluge dostave paketa logistike (*Postal Services - Parcel Delivery Environmental Footprint - Methodology for calculation and declaration of GHG emissions and air pollutants of parcel logistics delivery services*). U radu WG 8 učestvuju stručnjaci iz sledećih država, Francuska, Nemačka, Holandija, Španija, Švedska, Švajcarska i Međunarodne poštanske korporacije.

4. Aktivnosti CEN/331 i zahtevi Evropske komisije (M/590)

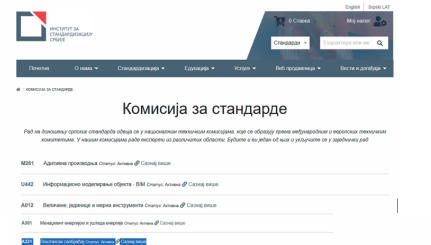
Memorandumom o razumevanju se promoviše zajednički razvoj aktuelnih tehničkih standarda i definišu aktivnosti CEN/TC 331 i Odbora za standarde UPU. Evropska komisija izdaje zahteve za standardizaciju, ili mandate, za evropsku standardizaciju poštanskih usluga. Tako je Odlukom Komisije o implementaciji M/590 od 18. januara 2023. godine zvanično CEN/TC 331 izdat zahtev za standardizaciju „poštanske usluge” i unapređenje kvaliteta usluge u skladu sa Direktivom 97/67/EC i Uredbom (EU) 2018/644. Rok za završetak aktivnosti je 19. januar 2027. godine[7].

Novi standardi koje treba razviti a obuhvaćeni su M/590 su:

1. Harmonizacija Track & Trace događaja;
2. Korišćenje tehnologije za praćenje poštanskih pošiljaka;
3. Digitalizacija poštanskih transportnih dokumenata;
4. Digitalna identifikacija poštanskih operatera;
5. Rešenja za postizanje efikasne i ekološki prihvatljive isporuke;
6. Definisane metodologije za izračunavanje i izveštavanje uticaja isporuke paketa na životnu sredinu;
7. Sigurna, bezbedna i beskontaktna dostava poštanskih pošiljaka.
Postojeći standardi koje treba revidirati, prema ovoj odluci su:
8-10. Hibridna pošta;
11. Kvalitet usluga;
12. Digitalizacija poštanskih informacija.

5. Komisija za standarde KS A331 - Poštanski saobraćaj

Za oblast poštanskih usluga u Republici Srbiji, u okviru Instituta za standardizaciju Republike Srbije oformljena je Komisija za standarde i srodna dokumenta KS A331- Poštanski saobraćaj.



Slika 2. Prikaz veb stranice Komisije za standarde i srodna dokumenta KS A331 - Poštanski saobraćaj

Komisija donosi srpske standarde iz oblasti terminologije i specifikacije poštanskih usluga, bavi se prevođenjem, usklađivanjem i implementacijom evropskih standarda. Čine je predstavnici Instituta za standardizaciju Srbije, nadležnog Ministarstva, Javnog poštanskog operatora, Privredne komore, Regulatora i visokoškolskih ustanova.

Komisija za standarde i srodna dokumenta KS A331 - Poštanski saobraćaj obrazovana je zarad:

- donošenja, preispitivanja i povlačenja srpskih standarda i srodnih dokumenata u navedenoj oblasti rada, u skladu sa internim pravilima i uputstvima Instituta za standardizaciju Srbije;
- obezbeđivanja usaglašenosti srpskih standarda i srodnih dokumenata sa evropskim i međunarodnim standardima u navedenoj oblasti rada;
- učestvovanja u izradi i preispitivanju standarda i srodnih dokumenata koje donose evropske i međunarodne organizacije za standardizaciju u navedenoj oblasti rada.

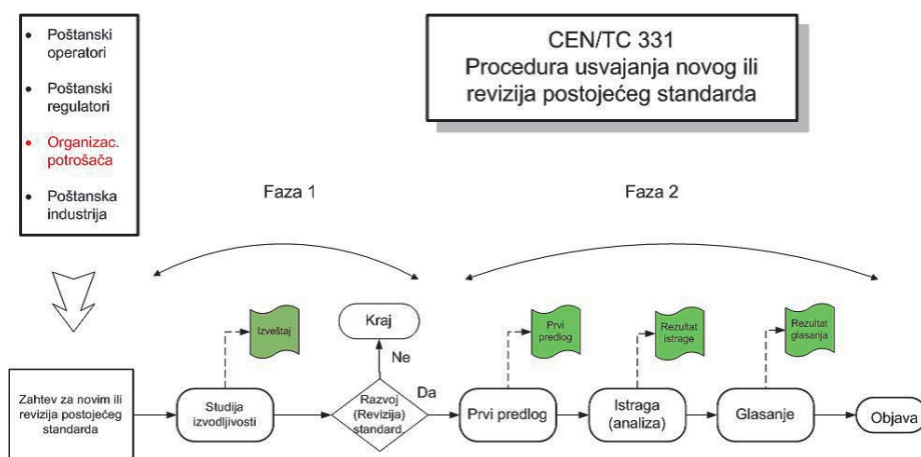
Prva sednica Komisije za standarde i srodna dokumenta Poštanske usluge KS A331, održana je 27. aprila 2012. godine u Institutu za standardizaciju Srbije. Komisija je do sada objavila 82 standarda od kojih je 7 na srpskom jeziku, 2 nacionalna standarda i povukla 15 standarda.

Pri izradi standarda – SRPS A.L.3.001, Adresni sistem – Model za razmenu podataka, pored stalnih članova Komisije KS A331 u radu i izradi standarda učestvovali su i Republički geodetski zavod, Ministarstvo unutrašnjih poslova Republike Srbije, Republički zavod za statistiku i dva eksperta iz Pošte Srbije, čija je ekspertiza poštanski adresni kod (PAK). Ovim nacionalnim standardom se utvrđuju sadržaj i struktura adresnog sloga za razmenu, tako da se evidencije o fizičkoj adresi razmenjuju na jedinstven način na području države. Format adrese u elektronskom formatu koji propisuje standard treba da bude primenljiv za sve organizacije koje u delokrugu svoga rada vode evidenciju o fizičkoj adresi. Adresni slog za razmenu predstavlja jedinstven format za razmenu podataka između entiteta zaduženih za kreiranje, ažuriranje i upotrebu istih. Struktura adresnog sloga definiše se modelom baze podataka. Adresni standard je usvojen i objavljen u maju 2016. godine, sa namerom da se budući akt koji će definisati adresni registar na nacionalnom nivou referencira na njega. Uredba o Adresnom registru je objavljena u "Službenom glasniku RS", br. 63/2017 od 28.6.2017. godine, a stupila je na snagu 6.7.2017. godine. Ovom uredbom propisuje se način i postupak vođenja Adresnog registra, označavanje naziva naseljenih mesta, ulica i trgova, način i postupak utvrđivanja kućnih brojeva, označavanje i obeležavanje zgrada i katastarskih parcela kućnim brojevima.

Adresni registar je osnovni i javni registar o kućnim brojevima i nazivima ulica i trgova u naseljenom mestu koji vodi i održava Republički geodetski zavod. Državni organi i organizacije, organizacije teritorijalne autonomije i lokalne samouprave, javna preduzeća, kao i druga lica kojima je povereno vršenje javnih ovlašćenja dužni su da u obavljanju svojih poslova koriste podatke iz Adresnog registra. Podaci Adresnog registra dostavljaju se organima i organizacijama u skladu sa Srpskim standardom SRPS A.L.3.001, Adresnim sistemom – modelom za razmenu podataka iz avgusta 2016. godine.

Srpski standard pod oznakom SRPS A.L.3.002, Poštanski saobraćaj - Terminologija, objavljen je 2020. godine, nastao je kao podrška prevodu tehničkih standarda i međunarodne poštanske regulative na srpski jezik [8].

U toku je usaglašavanje teksta i termina na standardu CEN/TR 17536:2020 - Zahtevi za napredne elektronske podatke (EDA) u poštanskim procesima, u skladu sa bezbednosnim i carinskim zahtevima (*Requirements for electronic advanced data (EDA) in postal operations, in particular compliant to security and customs requirements*).



Slika 3. Prikaz procedure usvajanja novog ili revizije postojećeg standarda u okviru CEN/TR 331

Planom rada Komisije KS A331 za 2025. godinu predviđeno je prevođenje standarda EN 17837 - Poštanske usluge - Uticaj na životnu sredinu dostave paketa - Metodologija za obračun i prijavu emisija staklene bašte i zagađivača vazduha usluge dostave paketa logistike, kao i revizija standarda SRPS A.L.3.002, Poštanski saobraćaj – Terminologija.

6. Primena standarda u Pošti Srbije

Pravilnikom o parametrima kvaliteta za obavljanje poštanskih usluga [9] za ocenu ispunjenosti parametara kvaliteta, u Pošti Srbije primenjuju se standardi SRPS EN 13850:2014 i SRPS EN 14508:2014, kao i standard SRPS EN 14012:2014.

Projekat „Implementacija sistema menadžmenta kvaliteta prema zahtevima standarda ISO 9001:2008” u Pošti Srbije, pokrenut je u martu 2014. godine sa ciljevima

poboljšanja efikasnosti i efektivnosti poslovanja kroz primenu procesnog pristupa i ispunjenja zahteva korisnika, odnosno povećanje nivoa zadovoljstva korisnika.

Pošta Srbije je 2018. godine implementirala „Projekat proširenja područja primene SMK prema zahtevima standarda ISO 9001:2015“, dok je 2024. godine sertifikovana za novi trogodišnji sertifikacioni ciklus 2024-2027 (slika 4).



Slika 4. Prikaz sertifikata SRPS ISO 9001:2015 Pošte Srbije

Postupak uvođenja Projekta Sistema menadžmenta kvaliteta (SMK) čine:

- priprema,
- projektovanje SMK,
- dokumentovanje SMK,
- priprema dokumenata,
- sertifikacija.

6.1. Primena standarda u RJ Hibridna pošta

RJ Hibridna pošta sertifikovana je standardima (slika 5):

- ISO 9001:2015 sa obimom sertifikacije: grafička priprema, štampanje i izrada grafičkih proizvoda i koverata, personalizacija i insertovanje dokumenata u koverte;
- ISO 22301:2019 sa obimom sertifikacije: štampanje i štamparske usluge;
- ISO/IEC 27001:2013 sa obimom sertifikacije: poštanske aktivnosti, štampanje i štamparske usluge, proizvodnja proizvoda od papira i kartona, izdavanje knjiga i časopisa i druge izdavačke delatnosti.

Kroz primenu standarda RJ Hibridna pošta može bolje odgovoriti na zahteve tržišta, povećati konkurentnost na tržištu i unaprediti svoju poslovanje uz :

- optimalno organizovanje procesa unutar organizacije;
- učešće zaposlenih u procesu kontinuiranog unapređenja kvaliteta;
- racionalnije iskorišćenje vremena i raspoloživih resursa;
- povećanja stepena zadovoljstva i lojalnosti korisnika;
- pruža uverenje da je željeni nivo kvaliteta postignut i da se održava;
- učestvovanja i nadmetanja u tenderima.



Slika 5. Prikaz sertifikata RJ Hibridna pošta kao dokaz standardizovanog poslovanja

7. Zaključak

Korišćenje standarda u pružanju usluga dovodi do povećanja efikasnosti i efektivnosti procesa poslovanja, čime se povećava kvalitet usluga, izlazi u susret potrebama korisnika usluga i doprinosi podizanju nivoa njihovog zadovoljstva. Standardizacija kao jedan od prvih koraka u ovom procesu izrazito je kompleksan i multidisciplinaran. Potpuna implementacija standarda zahteva sinergetsko delovanje državnih organa, poštanskih operatora i korisnika, jednom rečju svih učesnika na tržištu poštanskih usluga.

Saradnja između EU, poštanskih operatora i državnih institucija ključna je za unapređenje konkurentnosti evropskog poštanskog tržišta i prilagođavanje rastućim zahtevima e-trgovine i održivog razvoja. Transparentnost, odnosno uključivanje što više zainteresovanih činilaca je karakteristika procesa koji je preduslov za kvalitetno i održivo rešenje. Otvaranjem jedinstvenog tržišta standardizacija je postala jedan od glavnih alata za funkcionisanje evropskog unutrašnjeg tržišta.

Komisija za standarde KS A331 ima ključnu ulogu u razvoju, primeni i unapređenju standarda koji se odnose na poštanski saobraćaj. Fokusira se na standarde koji obuhvataju različite aspekte poštanskih usluga, od kvaliteta poštanskih usluga, sigurnosti u poštanskom saobraćaju, tehničkih i operativnih standarda elektronskih usluga i e-pošta, do standardizacije oznaka i kodiranja. Komisija prati i primenjuje standarde koje donose relevantne međunarodne organizacije, čime se osigurava kompatibilnost poštanskog sistema Srbije sa globalnim poštanskim mrežama.

Takođe, KS A331 aktivno doprinosi digitalizaciji poštanskih usluga, definišući standarde koji omogućavaju uvođenje novih tehnologija i inovativnih rešenja u poštanskom saobraćaju. Time osigurava da poštanski standardi budu u skladu sa važećim zakonodavnim i regulatornim okvirom Republike Srbije kao i sa regulativama Evropske unije. Standardizacija poštanskih usluga daje osnovu za unapređenje poslovanja i omogućava poštanskim operatorima da se lakše prilagode tržišnim promenama i zahtevima korisnika. Dobra praksa pokazuje da je Adresni registar postao osnovni i javni registar o kućnim brojevima i nazivima ulica i trgova u naseljenom mestu koji vodi i održava Republički geodetski zavod. Tako se podaci Adresnog registra dostavljaju organima i organizacijama u skladu sa Srpskim standardom SRPS A.L.3. 001.

Pored planiranih aktivnosti Komisije na aktuelnim standardima koji se tiču potvrđivanja standarda EN 17837 i revizije standarda SRPS A.L.3.002, predstojeći period predstavlja izazov po pitanju praćenja razvoja i usaglašavanja novih standarda na nivou CEN/TC 331.

Odnos države prema nacionalnim i međunarodnim telima za standardizaciju, treba da poprimi strateška obeležja, jer predstavlja neophodan korak u procesu evrointegracija, kako bi najbolja evropska praksa na ovom polju bila uvek dostupna i unapredila projektovanje narednih koraka.

Literatura

- [1] Spencer, C., and Temple, P., (2016). Standards, learning, and growth in Britain, 1901-2009 The Economic History Review, 69 (2) (2016), pp. 627-652
- [2] Heikkilä, J., Rissanen, J. and Ali-Vehmas, T., (2023). Coopetition, standardization and general purpose technologies: A framework and an application, Telecommunications Policy, Volume 47, Issue 4, 2023, ISSN 0308-5961, doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102488
- [3] Zakon o poštanskim uslugama, Sl.glasnik Republike Srbije, br 77/2019.
- [4] <https://www.cencenelec.eu/>
- [5] <https://standards.cencenelec.eu/BPCEN/6312.pdf>
- [6] <https://www.gs1.org/>
- [7] European Committee for standardization CEN/TC 331 Business plan, November 2023 pp. 8-9
- [8] Poštanski saobraćaj – terminologija, Srpski standard dnaSRPS A.L.3.002:2020 (sr), Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, 2020.
- [9] Pravilnik o parametrima kvaliteta za obavljanje poštanskih usluga, Službeni glasnik RS broj 114/20.

Abstract: *European Union standardisation and regulation play a crucial role in postal communications, ensuring efficiency, harmonisation and competition within a single market. The importance of standardisation in postal communications arises from the need to harmonise different operational systems and procedures among the EU Member States, which, in turn, facilitate smooth functioning of cross-border postal services. Coordination with international standards helps to increase the quality of postal services, thus facilitating postal operators to apply best practices and continuously improve their processes. EU regulations are constantly changing to adapt to technological progress and new business models in the postal sector in particular due to the growth of e-commerce and the need for faster and cheaper delivery. All these changes force the postal operators to adopt the latest standards in order to remain competitive and in line with the requirements of the European market. The operation of the Committee for standards and related documents KS A331 - Postal Communications is presented in this paper.*

Keywords: *standardization, EU regulation, postal traffic, quality, KS A331*

STANDARDIZATION IN POSTAL TRAFFIC – OBLIGATIONS ACCORDING TO EUROPEAN UNION REGULATIONS AND APPLICATION OF STANDARDS

Biljana Grgurović, Slavica Radosavljević, Jelena Milutinović, Jovanka Šević

IZBOR LOKACIJA ZA INSTALACIJU PAKETOMATA PRIMJENOM FUCOM-MARCOS MODELA

Željko Stević¹, Eldina Huskanović¹, Kristijan Lukić², Vladimir Simić³

¹ Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboj,
zeljko.stevic@sf.ues.rs.ba, eldina.mahmutagic@sf.ues.rs.ba

² X-Express, Banja Luka, kristijanlukic@x-express.ba

³ Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, vsima@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Svjesni činjenice da je brzina života uticala na povećanje zahtjeva krajnjih potrošača, odnosno na potrebu da kupcu roba bude isporučena u što kraćem roku i na adresi koja mu odgovara u datom trenutku, sve veći broj brzih pošta se odlučuje na postavljanje i aktiviranje paketomata. U ovom radu, prikupljeni su podaci potrebni za izbor lokacije za postavku paketomata kompanije X Express na području Banja Luke. Nakon definisanih kriterijuma i alternativa, ocjenu istih od strane rukovodioca, primjenjene su metode VKO (višekriterijumskog odlučivanja). FUCOM (Full Consistency method) metoda je primjenjena za određivanje težina kriterijuma, potom MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking According to the Compromise Solution) metoda za rangiranje potencijalnih lokacija. Cilj rada je da se odabere najbolja lokacija za postavku paketomata, a rezultati pokazuju da postoje dvije lokacije sa najboljim performansama.*

Ključne reči: *brza pošta, paketomat, VKO, FUCOM, MARCOS*

1. Uvod

Iako su brze pošte omogućile svojim klijentima da kroz praćenje narudžbe vide kakav je to logistički proces i koje komponente moraju biti povezane, korak dalje svim brzim poštama jeste postavljanje paketomata kao i razvoj tehnologije koja će moći ispratiti takve isporuke. Značaj brze pošte posebno je primijećen u doba globalne pandemije 2020. godine, kada su fizičke kupovine bile gotovo nemoguće, te su tada primat preuzele online narudžbe, samim time i isporuke dostavnim vozilima brze pošte.

Na području BiH postoji nekoliko kompanija koje se bave brzom dostavom, među kojima je jedna od najuspješnijih X Express. Kompanija X Express je osnovana 2016. godine, te za svojih 8 godina postojanja kroz 17 distributivnih centara i 6 poslovnih centara, sa više od 600+ vozila isporučuje pošiljke na teritoriji cijele Bosne i Hercegovine. Savremena tehnološka rješenja koja primjenjuju svakodnevno su unaprijedili sigurnost i efikasnost te distribucijske mreže. O tome svjedoči kvalitet dostave od preko 98% i izuzetno važno, zadovoljstvo više od 19.000 korisnika.

Brze pošte zbog velikog broja zahtjeva za isporukom robe imaju probleme kod lociranja adresa, propuštenih isporuka, saobraćajne gužve kao i uticaja na okoliš. Iz tog razloga smatra se da su paketomati efikasno rješenje. Odabir lokacije za postavku paketomata zahtjeva ozbiljan pristup i što veći broj podataka, te je tako kreiran upitnik u kojem je definisano devet kriterijuma (za svrhu početne studije korišteno sedam od kreiranih devet) i 12 alternativa odnosno potencijalnih lokacija za postavljanje paketomata čije ocjenjivanje su vršili rukovodioci kompanije X-Express. Alternative predstavljaju 12 najatraktivnijih lokacija na području grada Banja Luka.

Nakon prikupljenih podataka, korištene su metode višekriterijumskog odlučivanja kako bi se primjenio model za izbor lokacije postavljanja paketomata. U ovom radu primjenjene su FUCOM i MARCOS metoda. FUCOM metoda se koristi za proračun težina kriterijuma, dok je MARCOS metoda primjenjena za rangiranje potencijalnih lokacija za postavljanje paketomata.

2. Pregled literature

U poslovnom svijetu su dva načina razmjene, jedan od načina razmjene jeste sa drugim poslovnim korisnicima B2B (business-to-business) poslovanje. Drugi vid razmjene odnosi se na razmjenu sa pojedincima ili domaćinstvima i njega nazivamo B2C (business-to-customer) poslovanje. U B2C poslovanju od sve većeg značaja su kompanije koje se bave brzom dostavom [1-5]. Korisnička služba i logističke aktivnosti su lanac međusobno zavisnih aktivnosti koje se međusobno nadopunjuju kako bi olakšale protok informacija, robe i gotovine unutar lanca vrijednosti [6]. Ukoliko pogledamo ekspresnu industriju u Kini i njen razvoj, može se uočiti i značaj brzih dostava u tako velikim sistemima [7]. Također, možemo vidjeti značaj online kupovine i brzih dostava koje su doživjele nagli rast u posljednje dvije decenije [8]. Sa velikim razvojem ekspresne industrije i brzih dostava, dolazi do prevelikih opterećenja kurira koji su zaposleni u takvim kompanijama [9]. Kako bi se smanjila opterećenja zaposlenih zbog prevelikog broja isporuka, većina kompanija se odlučuje za postavljanje paketomata, kako bi kupci tokom 24 sata mogli preuzeti svoju narudžbu [10]. Tako je već u Francuskoj, Velikoj Britaniji i Holandiji primijećen značaj paketomata i samim time smanjen broj neisporučених pošiljki [11].

Kako se tržište e-trgovine nastavlja povećavati, mreže paketomata doprinose rješavanju logističkih problema. Oni mogu biti korisni za gradove, smanjenjem gradskih logističkih tokova, iskorištavanjem mogućnosti konsolidacije; logističkim prijevoznicima, smanjenjem broja neuspjelih isporuka i broja vozila i dostavljača potrebnih za pokrivanje geografskog područja; trgovcima, nudeći pogodne lokacije za dostavu za svoje potrošače, a za potrošače, nudeći fleksibilnost u vremenu prikupljanja, sigurnosti i uštedi u poređenju sa redovnom dostavom na kućnu adresu [12,13]. U radu [14] istražen je odnos između ekoloških stavova i ponašanja generacije Y i njihove sklonosti da kupuju preko interneta i prikupljaju ih pomoću paketomata. Kako bi paketomati imali pravu svrhu i dali doprinos efikasnosti cijelog logističkog lanca, potrebno je napraviti pravi izbor prilikom odabira lokacije za postavljanje paketomata. Vrlo je bitno definisati faktore koji utiču na postavljanje paketomata [15]. U novim izazovima logistike koji se odnose na pravilan izbor lokacije za postavljanje paketomata od velikog su značaja metode višekriterijumskog odlučivanja. Paketomati nude efikasno rješenje za rješavanje problema isporuke klijentima, ali odabir odgovarajuće lokacije je od vitalnog značaja kako bi se osigurala optimalna usluga i poboljšale ukupne logističke performanse. U radu [16] primjenom

metoda SFAHP (*Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) definisana je strategija i izbor lokacija za postavljanje paketomata u Dublinu, Irska. Metodama VKO također je izabrana optimalna lokacija za postavljanje paketomata u jednom dijelu Istanbula (Beşiktaş) u Turskoj [17].

3. Metodologija rada

Primjenjena metodologija se sastoji od tri faze i to: prva faza rada jeste definisanje kriterijuma i alternativa za odabir lokacije paketomata te formiranje upitnika za prikupljanje podataka od rukovodioca. Druga faza rada podrazumijeva primjenu FUCOM metode za određivanje težina kriterijuma, a potom primjenu MARCOS metode za rangiranje. Posljednja faza rada jeste rezultat primjenjenog modela i verifikacioni testovi.

3. 1. FUCOM

FUCOM metod su razvili Pamučar, Stević i Sremac za određivanje težina kriterijuma. FUCOM daje mogućnost da se izvrši validacija modela tako što se proračunava veličina greške za dobijene vektore težina, kroz određivanje stepena konzistentnosti [18-20]. U narednom tekstu predstavljen je FUCOM algoritam uključujući korake ove metode [21]

Korak 1. U prvom koraku rangiraju se kriterijumi iz unaprijed definisanog skupa kriterijuma na osnovu značaja kriterijuma.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (1)$$

gdje k predstavlja rang posmatranih kriterijuma. U slučaju da postoje dva ili više kriterijuma sa istim značajem, izrazu (1) umjesto znaka „>” stavlja se znak jednakosti.

Korak 2. U drugom koraku vrši se upoređivanje rangiranih kriterijuma i definišu se vrijednosti komparativnih prioriteta ($\varphi_{k/(k+1)}$, $k = 1, 2, \dots, n$; gdje k predstavlja rang kriterijuma). Uporedni prioritet vrednovanja kriterijuma ($\varphi_{k/(k+1)}$) je prednost kriterijuma ranga $C_{j(k)}$ u odnosu na kriterijum $C_{j(k+1)}$. Tako se dobijaju vrijednosti vektora upoređenih prioriteta kriterijuma, kao što se može vidjeti u jednačini (2):

$$\varphi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k(k+1)}) \quad (2)$$

gdje $\varphi_{k/(k+1)}$ predstavlja značaj kriterijuma $C_{j(k)}$ u odnosu na kriterijum $C_{j(k+1)}$ poređenih u rang.

Korak 3. U trećem koraku izračunate su konačne vrijednosti težinskih koeficijenata posmatranih kriterijuma (W_1, W_2, \dots, W_n)^T. Konačne vrijednosti težinskih koeficijenata treba da ispunjavaju dva uslova:

Da je odnos težinskih koeficijenata jednak komparativnom prioritetu posmatranih kriterijuma ($\varphi_{k/(k+1)}$) definisanom u 2. koraku ove metode:

$$\frac{W_k}{W_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

Pored uslova (3) konačne vrijednosti težinskih koeficijenata treba da ispunjavaju i sljedeće matematičke tranzicije, $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$. Na osnovu $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{W_k}{W_{k+1}}$ i $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{W_{k+1}}{W_{k+2}}$ dobija se $\frac{W_k}{W_{k+1}} \otimes \frac{W_{k+1}}{W_{k+2}} = \frac{W_k}{W_{k+2}}$. Na osnovu navedenog dobija se još jedan uslov koji konačne vrijednosti težinskih koeficijenata treba da ispunje:

$$\frac{W_k}{W_{k+2}} = \varphi_{\frac{k}{k+1}} \otimes \varphi_{\frac{k+1}{k+2}} \quad (4)$$

Potpuna konzistentnost, odnosno minimalna vrijednost DFC (X) zadovoljena je samo ako se u potpunosti poštuje tranzitivnost kriterijuma, odnosno kada su ispunjeni uslovi $\frac{W_k}{W_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$ i $\frac{W_k}{W_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$.

$$\begin{aligned} \left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| &\leq X; \forall j \\ \left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| &\leq X; \forall j \\ \sum_{j=1}^n W_j &= 1, W_j \geq 0, \forall j \end{aligned} \quad (5)$$

3.2. MARCOS

MARCOS metoda bazira se na definisanju odnosa između alternative i referentnih vrijednosti (idealnih i anti-idealnih alternativa). Najbolja alternativa je ona koja je najbliža idealnoj i istovremeno najudaljenija od anti-idealne referentne tačke. MARCOS metoda se realizuje kroz sljedeće korake [22,23].

Korak 1: Formiranje početne matrice odlučivanja.

Korak 2: Formiranje proširene početne matrice. U ovom koraku vrši se proširenje početne matrice kroz definisanje idealnog (AI) i antiidealnog (AII) rješenja.

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} AAI \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \\ AI \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{aa1} & x_{aa2} & \dots & x_{aan} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \\ x_{ai1} & x_{ai2} & \dots & x_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

Antiidealno rješenje (AAI) predstavlja najlošiju alternative dok idealno rješenje (AI) predstavlja alternative sa najboljom karakteristikom:

$$AAI = \min_j x_{ij} \text{ ako } j \in B \text{ i } \max_j x_{ij} \text{ ako } j \in C \quad (7)$$

$$AI = \max_j x_{ij} \text{ ako } j \in B \text{ i } \min_j x_{ij} \text{ ako } j \in C \quad (8)$$

Gdje B predstavlja benefit grupu, dok C predstavlja troškovnu grupu kriterijuma.

Korak 3: Normalizacija proširene početne matrice (X) primjenom izraza:

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \text{ ako } j \in C \quad (9)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}} \text{ ako } j \in B \quad (10)$$

Korak 4: Određivanje otežane matrice $V = [v_{ij}]_{m \times n}$.

$$v_{ij} = n_{ij} \times w_j \quad (11)$$

Korak 5: Proračun stepena korisnosti alternative K_i .

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (12)$$

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (13)$$

Gdje S_i ($i=1,2,\dots,m$) predstavlja sumu elemenata otežane matrice V , izraz

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (14)$$

Korak 6: Određivanje funkcije korisnosti alternative $f(K_i)$.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (15)$$

Gdje $f(K_i^-)$ predstavlja funkciju korisnosti u odnosu na anti-idealno rješenje, dok $f(K_i^+)$ predstavlja funkciju korisnosti u odnosu na idealno rješenje.

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (16)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (17)$$

Korak 7: Rangiranje alternative.

4. Primjena FUCOM-MARCOS modela za izbor lokacije za postavljanje paketomata

U ovom radu prikazana je početna studija slučaja koja se odnosi na određivanje lokacija za instalaciju paketomata na području grada Banja Luka, kao jedne od najvećih urbanih sredina u BiH. Bitno je naglasiti da je potrebno izvršiti lociranje mjesta za instalaciju paketomata u svim sredinama gde kompanija X Express ima svoje distributivne centre, a njih je ukupno 17 čija je mapa prikazana na slici 1.



Slika 1. Mapa distributivnih centara u BiH, kompanije X Express

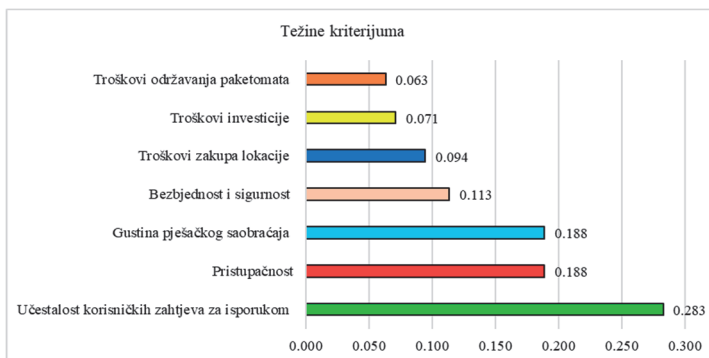
Međutim, ovaj rad se fokusira na samo jedan distributivni centar. Proučavanjem literature i relevantnih svjetskih izvora koji se bave ovom problematikom, te

konultovanjem sa rukovodiocima u kompaniji za koju se vrši projektni zadatak, definisano je ukupno devet kriterijuma prikazanih i objašnjenih u Tabeli 1.

Tabela 1. Opis kriterijuma koji su definisani za lociranje paketomata

	Opis kriterijuma
K1	Dostupnost - mogućnost za prikupljanje i isporuku paketa 24 h svih 7 dana u sedmici.
K2	Pristupačnost - podrazumijeva lagan i neometan pristup paketomatima pješke, biciklom ili privatnim automobilom.
K3	Troškovi zakupa lokacije (ovo može podrazumijevati određene partnerske ugovore, pa samim tim cijena je nula, ali igra važnu ulogu, jer će partnerska lokacija imati bolju karakteristiku po ovom kriterijumu u odnosu na one koje naplaćuju zakup).
K4	Troškovi investicije - troškovi instalacije paketomata sa svim pratećim karakteristikama.
K5	Troškovi održavanja paketomata (ovaj kriterijum može biti približno isti za mnoge lokacije, pa potencijalno može biti isključen, ali svakako zavisi od vrste paketomata ili njegove veličine da određenoj lokaciji).
K6	Bezbjednost i sigurnost - podrazumijeva poštovanje privatnosti korisnika tokom preuzimanja pošiljke, osvijetljenost, video nadzor 24/7 i njegovu povezanost sa eventualno policijskom stanicom ili kod nas što je popularno sa security kompanijama.
K7	Gustina pješačkog saobraćaja u kraćem radijusu lokacije, poželjno što veći pješački saobraćaj i da korisnici mogu preuzimati pakete usputno tj. obavljajući svoje svakodnevnne aktivnosti.
K8	Učestalost korisničkih zahtjeva za isporukom - podrazumijeva istorijske podatke o korisnicima koji su prethodno zahtjevali isporuku robe. Lokacije sa gustim zahtjevima korisnika su poželjnije.
K9	Rizik od prirodnih katastrofa i rizik od pojave nezgode.

Ukupno je definisano 12 potencijalnih lokacija na području grada Banja Luka koji neće biti detaljno prikazani zbog poslovnih razloga kompanije i konkurencije na tržištu. Nakon postavke viškriterijumskog problema, najprije je primjenjena FUCOM metoda na osnovu definisanih preferencija rukovodioca u kompaniji koja je predmet istraživanja. Težine kriterijuma dobijene sa FUCOM algoritmom date su na slici 2.



Slika 2. Težinski koeficijenti nakon primjene FUCOM metode

Rezultati pokazuju da je učestalost korisničkih zahtjeva za isporukom najvažniji parametar što je na jedan način i očekivano. Ovdje je potrebno objasniti da su dva kriterijuma (dostupnost i rizik od prirodnih katastrofa i rizik od pojave nezgode) eliminisani, jer za ovu urbanu sredinu sve lokacije imaju jednake vrijednosti, a samim tim nemaju nikakvog uticaja i ne uzimaju se u obzir.

Sljedeći korak podrazumijeva primjenu koraka MARCOS metode na osnovu kojih se vrši vrednovanje potencijalnih lokacija i izbor najboljih. Rezultati nakon primjene MARCOS metode dati su u Tabeli 2.

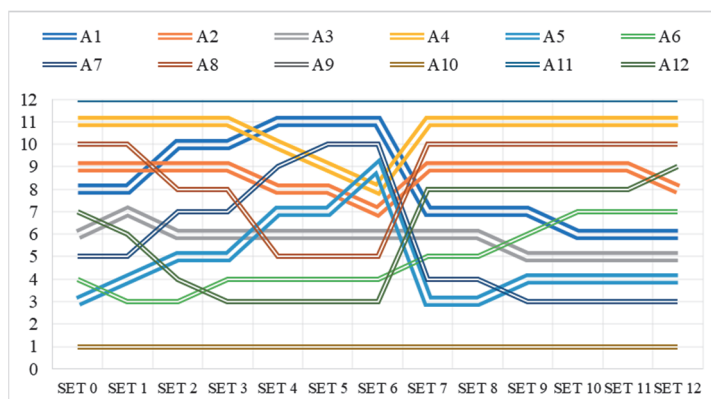
Tabela 2. Rangovi potencijalnih lokacija dobijeni sa MARCOS metodom

	Si	Ki-	Ki+	fK-	fK+	Ki	Rang
AAI	0.592						
A1	0.825	1.394	0.825	0.372	0.628	0.676	8
A2	0.812	1.371	0.812	0.372	0.628	0.665	9
A3	0.852	1.439	0.852	0.372	0.628	0.698	6
A4	0.771	1.303	0.771	0.372	0.628	0.632	11
A5	0.877	1.481	0.877	0.372	0.628	0.719	3
A6	0.874	1.475	0.874	0.372	0.628	0.716	4
A7	0.865	1.462	0.865	0.372	0.628	0.709	5
A8	0.798	1.348	0.798	0.372	0.628	0.654	10
A9	0.973	1.644	0.973	0.372	0.628	0.797	1
A10	0.973	1.644	0.973	0.372	0.628	0.797	1
A11	0.696	1.176	0.696	0.372	0.628	0.571	12
A12	0.836	1.413	0.836	0.372	0.628	0.685	7
AI	1.000		1.000				

Može se naglasiti da postoje dvije lokacije (A9 i A10) koje predstavljaju najpogodnije lokacije za implementaciju paketomata s obzirom na razmatrani skup podataka i izvršeno ocjenjivanje unutar kompanije X Express.

5. Analiza osjetljivosti i komparativna analiza

U ovom dijelu rada pristupljeno je krearanju analize koja podrazumijeva promjenu težinskih koeficijenata kroz dva najznačajnija kriterijuma (K7 i K1) u intervalu 15-90%. Rezultati analize promjene uticaja dva najvažnija faktora data su na slici 3, dok je uporedna analiza sa drugim VKO metodama predstavljena na slici 4.



Slika 3. Rezultati nakon promjene težina dva najznačajnija kriterijuma

Posmatrajući dobijene rezultate može se zaključiti da nema promjena u smislu dvije najbolje lokacije, a da su u rangovima drugih varijanti one prisutne i da je model osjetljiv na promjenu vrijednosti najvažnijih kriterijuma. Ovo može biti posljedica nedovoljno kvalitetnog inicijalnog poređenja kriterijuma od strane donosioca odluke, što može biti razlog za dublju analizu u ocenjivanju istih za druge teritorije na kojima funkcioniše kompanija X express.



Slika 4. Rezultati uporedne analize

Rezultati uporedne analize pokazuju veliku korelaciju početnih rangova, osim sa MABAC i CoCoSo metodama kada se javlja manji korelacioni odnos, što je posljedica različitih metodoloških principa.

6. Zaključak

U ovom radu je primijenjen integrisani FUCOM-MARCOS model da bi se izvršilo vrednovanje i rangiranje lokacija za postavku paketomata u Banja Luci, što predstavlja samo jedan segment istraživanja odnosno projekta utvrđivanja pogodnih lokacija za instalaciju paketomata na čitavoj teritoriji BiH. Rezultati pokazuju da dvije lokacije zaslužuju prednost u postavci paketomata, a verifikacioni testovi da postoji osjetljivost na promjenu težina dva najvažnija kriterijuma. Naredne faze istraživanja podrazumijevaju definisanje lokacija na nivou područja urbanih sredina u kojima su locirani distributivni centri, te njihovo vrednovanje i dobijanje jedne kompletne mape za postavljanje paketomata na teritoriji čitave države, a u vlasništvu kompanije X Express.

Literatura

- [1] Gulc A (2021) Multi-stakeholder perspective of courier service quality in B2C e-commerce. *PLoS ONE* 16(5): e0251728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251728>
- [2] SEGHEZZI, A. (2020). Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency in B2c e-commerce.
- [3] Vakulenko, Y., Shams, P., Hellström, D., & Hjort, K. (2019). Online retail experience and customer satisfaction: the mediating role of last mile delivery. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 29(3), 306-320.

- [4] Lim, S. F. W., Jin, X., & Srari, J. S. (2018). Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 308-332.
- [5] Borsenberger, C. (2016). The European parcel delivery market: A contestable market. In *23rd Conference on Postal and Delivery Economics* (Vol. 1).
- [6] Ling, T. K., Lee, C. K., & Ho, W. (2009). The analysis and case studies of successful express logistics companies. *International Journal of Value Chain Management*, 3(1), 20-35.
- [7] Wang, X., Zhang, J., Yang, T. (2015). Improved SWOT Approach for Strategic Constructing in China Worldwide Express Mail Service. In: Zhang, R., Zhang, Z., Liu, K., Zhang, J. (eds) LISS 2013. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40660-7_203
- [8] Morganti, E., Dablanc, L., & Fortin, F. (2014). Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 23-31
- [9] Wu, C., Wu, J., Wu, Y., Wu, Q., Lin, X., & Xiong, N. N. (2019). Design and analysis of the task distribution scheme of express center at the end of modern logistics. *Electronics*, 8(10), 1141.
- [10] Vakulenko, Y., Hellström, D., & Hjort, K. (2018). What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery. *Journal of Business Research*, 88, 421-427.
- [11] Kedia, A., Kusumastuti, D., & Nicholson, A. (2017). Acceptability of collection and delivery points from consumers' perspective: A qualitative case study of Christchurch city. *Case Studies on Transport Policy*, 5(4), 587-595.
- [12] Deutsch, Y., & Golany, B. (2018). A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 251-261.
- [13] Lachapelle, U., Burke, M., Brotherton, A., & Leung, A. (2018). Parcel locker systems in a car dominant city: Location, characterisation and potential impacts on city planning and consumer travel access. *Journal of Transport Geography*, 71, 1-14.
- [14] Moroz, M., & Polkowski, Z. (2016). The last mile issue and urban logistics: choosing parcel machines in the context of the ecological attitudes of the Y generation consumers purchasing online. *Transportation Research Procedia*, 16, 378-393.
- [15] Lagorio, A., & Pinto, R. (2020, April). The parcel locker location issues: An overview of factors affecting their location. In *Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain: Interconnected Supply Chains in an Era of Innovation, ILS* (pp. 414-421).
- [16] Moslem, S., & Pilla, F. (2023). A hybrid decision making support method for parcel lockers location selection. *Research in Transportation Economics*, 100, 101320.
- [17] Kavus, B. Y., Ayyildiz, E., Tas, P. G., & Taskin, A. (2022). A hybrid Bayesian BWM and Pythagorean fuzzy WASPAS-based decision-making framework for parcel locker location selection problem. *Environmental Science and Pollution Research International*, 1.
- [18] Pamučar, D., Stević, Ž., Sremac, S., (2018), A new model for determining weight coefficients of criteria in mcdm models: Full consistency method (fucom), *Symmetry*, 10(9), 393.

- [19] Durmić, E., Stević, Ž., Chatterjee, P., Vasiljević, M., Tomašević, M., (2020), Sustainable supplier selection using combined FUCOM–Rough SAW model, *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43.
- [20] Đalić, I., Stević, Ž., Erceg, Ž., Macura, P., Terzić, S., (2020), Selection of a distribution channel using the integrated FUCOM-MARCOS model, *International Review*, (3-4), 91-107.
- [21] Pamučar, D., Lukovac, V., Božanić, D., & Komazec, N. (2018), Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129.
- [22] Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., Chatterjee, P., (2020), Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution (MARCOS), *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.
- [23] Puška, A., Stević, Ž., Stojanović, I., (2021). Selection of Sustainable Suppliers Using the Fuzzy MARCOS Method, *Current Chinese Science*, 1(1).

Abstract: *Aware of the fact that the speed of life has influenced the increase in the demands of end consumers, i.e. the need for the goods to be delivered to the customer in the shortest possible time and at the address that suits him at the given moment, an increasing number of express mail services decided to install and activate parcel locker. In this work, the data necessary for the selection of the location for setting up the X-Express package locker in the Banja Luka area were collected. After the defined criteria and alternatives, the evaluation of them by the manager, the MCDM method (multi-criteria decision-making) was applied. The FUCOM (Full Consistency method) method was used to determine the weights of the criteria, then the MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking According to the Compromise Solution) method was used to rank potential locations. The aim of the work is to choose the best location for setting up the parcel locker, while results show that there are two locations with the best performances.*

Keywords: *express mail service, parcel locker, MCDM, FUCOM, MARCOS*

PARCEL LOCKERS LOCATION SELECTION USING FUCOM-MARCOS MODEL

Željko Stević, Eldina Huskanović, Kristijan Lukić, Vladimir Simić

PRIMENA ROBOTA U POŠTANSKIM PRERADNIM CENTRIMA

Aleksandar Čupić¹, Mladenka Blagojević¹, Dejan Marković¹, Đorđe Popović²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
a.cupic@sf.bg.ac.rs, m.blagojevic@sf.bg.ac.rs, mdejan@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet Doboj,
djdjpopovic1970@gmail.com

Rezime: *Višegodišnji konstantan porast broja paketskih pošiljaka uzrokovan, pre svega, e-trgovinom, kao i očekivanja da će se taj trend stabilno nastaviti u dužem vremenskom periodu naterali su poštanske operatore i poštanske kompanije širom sveta da ozbiljno preispitaju svoje pristupe ne samo finalnom razvrstavanju pošiljaka, već i svakoj manipulaciji koja zahteva ljudski rad. U radu je prikazano da robotizacija dela operacija u pripremi pošiljaka za sortiranje, u samom sortiranju, kao i operacija koje slede nakon što su pošiljke razvrstane po odlaznim pravcima predstavlja neminovnost u poštanskoj industriji koja prati sveopšti trend robotizacije i široke upotrebe veštačke inteligencije u poslovanju. Identifikovane su tri glavne oblasti potencijalne primene robotskih sistema u poštanskim preradnim centrima: prilikom uvođenja paketa u sistem, robotski sistemi za razvrstavanje paketa i primena robota za manipulaciju razvrstanih pošiljaka.*

Glavne reči: *automatizacija, prerada pošiljaka, robot*

1. Uvod

Internet kupovina, njena globalna prisutnost i intenzivan rast predstavljaju glavni razlog povećanja broja paketskih pošiljaka sa kojim se suočava većina poštanskih operatera širom sveta. Tradicionalni sistemi sortiranja koji su se razvijali više decenija postali su standardna oprema preradnih centara nudeći im automatizaciju velikog procenta operacija uz visoke kapacitete, pouzdanost i efikasnost bez obzira na izabrani princip rada ili proizvođača. Zajednički imenitelj ovih sistema sortiranja je neprekidnost kretanja pošiljaka i njihovo poluautomatsko ili automatsko upućivanje na krajnja odredišta. Bez obzira što je većina operacija sa pošiljkama mehanizovana i automatizovana, ipak je do sada u najvećem broju slučajeva, izuzimajući najprotočnije sisteme sortiranja prisutne kod poštanskih integratora kao što su DHL, FedEx, UPS, bio potreban i manuelni rad u pripremi pošiljaka za finalno sortiranje, kao i u otpremanju pošiljaka ka spoljnom transportu. Osim toga, određeni procenat pošiljaka zahteva posebno rukovanje bilo zbog osetljivosti sadržaja ili zbog nestandardnih gabarita tako da manuelni rad, bez obzira na sve napore, nikada u suštini nije bio iskorenjen iz preradnih centara.

Nekada prihvatljiv procenat manuelnog rada, koji je gotovo neizbežan pri eksploataciji kontinualnih transporterata za preradu pošiljaka, usled porasta cene ljudskog rada, u kombinaciji sa brzim padom cene robotskih sistema, postaje sve više neprihvatljiv. To je glavni razlog zašto se i manje poštanske kompanije poslednjih godina okreću rešenjima koja imaju za cilj smanjenje, ako ne i potpuno ukidanje, ljudskog rada gde god je to moguće u procesu prenosa pošiljaka.

Proces robotizacije operacija u poštanskom saobraćaju pojavom autonomnih vozila i dronova stavio je akcenat na optimizaciju i smanjenje troškova prikupljanja pošiljaka od pošiljaoca, smanjenje troškova prenosa i uručenja primaocu. Činjenica da je fokus čitave industrije na automatizaciji sakupljanja i dostave nije neočekivana jer prikupljanje i dostava (eng. *First/Last mile delivery*) generišu veliki procenat ukupnih troškova prenosa pošiljaka dok se, sa druge strane, smatralo da je proces prerade, odnosno razvrstavanja pošiljaka, najvećim delom već automatizovan i da efekat investiranja u ovu fazu ne može imati toliku ekonomsku opravdanost. Autonomnim sistemima dostave autori su se ranije bavili u radu [1]. U ovom radu akcenat će biti upravo na neophodnosti i načinima uvođenja robota i sa njima povezane veštačke inteligencije u fazu prerade pošiljaka.

2. Pregled relevantne literature

Upotrebom robota u manipulaciji pošiljkama bavilo se više autora u proteklih desetak godina. Najviše interesovanja za istraživanja u ovoj oblasti pokazala je industrija e-trgovine koja je na taj način pokušala da reši problem komisioniranja robe u svojim skladištima koja su u tom periodu imala dramatičan rast kako po površini, tako i po broju i vrsti jedinica koje kroz ta skladišta prolaze. Poseban problem im je predstavljao zahtev da se rokovi uručenja ne samo ispoštuju, već često i skrate bez obzira na povećanje obima posla. Kako se tipičan konvejski sistem komisioniranja robe i sortiranja pošiljaka ugrubo sastoji od uvodnih stanica, samog konvejera i izlaznih dokova, veoma su važna istraživanja kako različite alternative razmeštaja opreme utiču na performanse *tilt-tray* ili *cross-belt* sistema sortiranja. Fedtke i Boysen [2] su u svom istraživanju analizirali scenarija sa paralelnim konvejerima, različitim brojem uvodnih stanica, kao i različitim pravilima utovara. Takođe, pomenuti autori su se u istom radu bavili i utvrđivanjem procedura za dodelu dolaznih i odlaznih tokova pošiljaka određenim dokovima za istovar/utovar.

Lamballais i ostali [3] su se bavili istraživanjem uticaja rasporeda opreme (*layout*) na performanse prerade u sistemima sa mobilnim autonomnim robotima (eng. *Autonomous Mobile Robot – AMR*). Autori ovog rada su došli do zaključka da na propusnost, odnosno kapacitet prerade sortirnog centra (logističkog u njihovom slučaju), najveći uticaj imaju lokacije radnih stanica i odnos dužine i širine skladišnog prostora. Wang i ostali [4] su istraživali radni ciklus robota koji pomera regale u skladištu. Njihovi rezultati su veoma ilustrativni prilikom računanja vremenskih parametara kretanja mobilnih robota za sortiranje, o kojim će više reči biti u nastavku. Tan i ostali [5] istražuju problem optimizacije sortiranja paketa u skladištu e-trgovine gde paketi čekaju na sortiranje i dostavu. Detaljan operativni plan prebacivanja paketa sa komisionih stanica i automatski vođenih vozila (eng. *Automated Guided Vehicle – AGV*) na prikolice se utvrđuje u cilju da se minimizira vreme završetka obrade poslednje pošiljke. Na osnovu definisanog problema autori su razvili model mešovitog celobrojnog linearnog programiranja koji je rešavan algoritmom optimizacije rojem čestica (eng. *Particle Swarm Optimization – PSO*).

Predloženim PSO algoritmom uspeali su da reše model sa visokom efikasnošću, dok je analiza osetljivosti sugerisala kakav bi trebalo da bude razmeštaj prikolica u koje prihvataju pakete od AGV.

Xu i ostali u izuzetno ilustrativnom radu [6] koriste tabu pretraživanje kako bi dokazali da je moguće unaprediti performanse sistema prerade pomoću mobilnih robota (smanjuju vreme prerade pošiljka i troškove manuelnog rada) promenom politike dodeljivanja paketa robotu. Trenutno je najrasprostranjenije pravilo dodeljivanja paketa najbližem – slučajnom robotu, ali autori rada [6] dokazuju da je moguće povećati protočnost sistema do 8,76% i smanjiti manuelni rad čak za 17,5% kada se koristi njihov algoritam dodele. Ovaj rad pokazuje da je uvođenje mobilnih robota u sortiranje paketa uveliko usvojeno i da će u budućnosti glavni akcenat naučne zajednice biti na usavršavanju softvera upravljanja ovim uređajima, a ne dokazivanju da li su njihova fleksibilnost i niski operativni troškovi dovoljan razlog za širu primenu u industriji.

S obzirom na aktuelnost teme korišćenja robota u mnogim industrijama moguće je pronaći inspirativne radove u širokom spektru naučnih oblasti, ali su najbliže problematici razvrstavanja paketa kojom se bavi ovaj rad radovi [7, 8, 9, 10].

3. Korišćenje robota u pripremi pošiljaka za sortiranje

Pre nego što se pristupi finalnom sortiranju pošiljaka potrebno je iste pripremiti kroz nekoliko sukcesivnih faza. Radno najintenzivnije faze koje prethode razvrstavanju, a u kojima je moguće substituisati ljudski rad robotima, su istovar pošiljaka iz dolaznih vozila i naročito uvođenje pošiljaka na kontinualna sredstva (trakaste, *tilt-tray*, *cross-belt* i slične konveje).

Uvođenje pošiljaka u sistem za razvrstavanje je u velikom procentu sistema prerade malog i srednjeg kapaciteta (do 18.000 pak/h) do sada bilo rešeno pomoću operatera čiji zadatak je bio da iz nadolazećeg kontingenta nerazvrstanih pošiljaka izdvajaju jednu po jednu pošiljku, mere im masu ako je to potrebno, pravilno ih orijentišu (u smislu vidljivosti adrese) i postavljaju na konvejer. Ponekad su, kod sistema manjeg preradnog kapaciteta, uz prethodno navedene operacije vršili i očitavanje adrese uz kodiranje pošiljke. U slučajevima kada je obim pošiljaka prevazilazio kapacitet jedne mašine, poštanski operatori i kompanije bi uvodili u eksploataciju veći broj mašina pre nego što bi se odlučili za kompleksnije i daleko skuplje potpuno automatizovane sisteme. Ovakve odluke su imale za posledicu da je broj angažovanih ljudi rastao prateći rast broja pošiljaka.

Ideja zamene operatera uvođenjem robota nije nova, ali je za njenu širu implementaciju bilo neophodno da se ispuni nekoliko važnih uslova. Na prvom mestu smanjenje cena robotskih sistema koje su do pre samo desetak godina bile tolike da je čak i u zemljama sa najvećom cenom rada bilo potpuno neisplativo koristiti ih za izvršavanje ipak jednostavnih i relativno nepreciznih operacija kakva je uvođenje i singulacija pošiljaka. Pojeftinjenje svih komponenti manipulativnih robota, kako hardverskih tako i softverskih, uz pojavu veštačke inteligencije i njenu primenu u upravljanju učinili su ih upotrebljivim u gotovo svim procesnim industrijama. Globalna kriza radne snage kojom je naročito pogođen evropski kontinent i posledično rast jedinične cene rada samo su dodatno pospešili robotizaciju. Ne samo da su skratili period povratka investicije u novu tehnologiju, već su i usloveli da je u svim planovima za ozbiljna proširenja poslovanja prisutna strategija menadžmenta da se potreba za novim radnicima reši prekvalifikacijom

postojećih zaposlenih koji bivaju zamenjeni robotima. Prema [11] već u toku sledeće 2025. godine širom sveta će biti u upotrebi 4 miliona robota u 50 hiljada skladišnih/sortirnih objekata.



Slika 1. Manipulativni robot Yaskawa GP12 u radu [12]

Na slici 1 prikazan je jedan od manipulativnih robota (robotska ruka) koji se koriste na poslovima uvođenja i singulacije paketa na tradicionalni kontinualni transporter za razvrstavanje. Osnovni zahtev koji se postavlja pred robote u ovoj fazi prerade je da se mogu što lakše integrisati sa postojećim tradicionalnim sistemima sortiranja. U zavisnosti od broja stepeni slobode kretanja robotima je potrebno manje ili više prostora na radnom mestu tako da je u slučaju nedostatka slobodnog prostora potrebno postaviti sofisticiraniji, a samim tim i skuplji uređaj. Osim toga, važno je pravilno izabrati tip zahvatanja u zavisnosti od karakteristika paketa (masa, gabarit, lomljivost, itd.). Za skeniranje, zahvatanje, orijentaciju i pozicioniranje paketa koristi se trodimenzionalno inteligentno snimanje u kombinaciji sa obradom slike pomoću veštačke inteligencije. Kapacitet uvođenja je maksimalno do 1.700 kom/h, maksimalna masa paketa je 12 kg, dok je domet robota 1440 mm u horizontalnoj, odnosno 2511 mm u vertikalnoj ravni [12].

4. Roboti kao rešenje faze sortiranja pošiljaka

U nastavku će biti predstavljeni roboti kao rešenja za finalno sortiranje po destinacijama. Ovi roboti koriste kombinaciju senzora, kamera, aktuatora i drugih mehaničkih komponenti kako bi detektovali, okarakterisali i sortirali objekte u ispravnu posudu/vreću ili pregradak. Njihov proces sortiranja je prilagođen specifičnim potrebama i zahtevima svakog preduzeća i prilagođen je vrsti predmeta/paketa koji se sortiraju. Osim u poštanskoj koriste se u različitim industrijama, uključujući e-trgovinu, logistiku, proizvodnju, poljoprivredu i reciklažu [13].

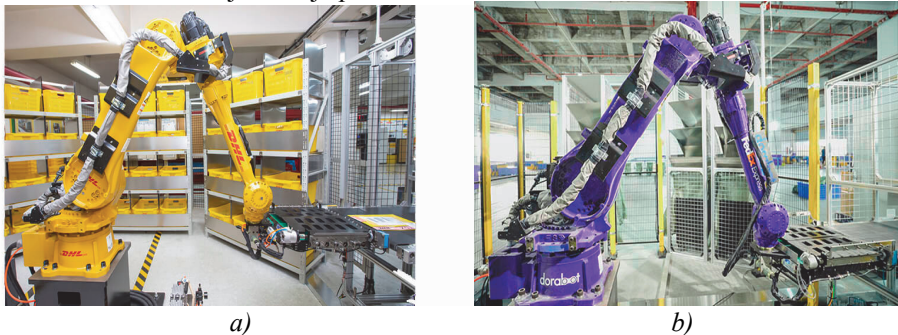
Primena robota u fazi sortiranja paketa predstavlja novinu koja u mnogome redefiniše postulate dobre inženjerske prakse ustanovljene prethodnih nekoliko decenija na iskustvima korišćenja kontinualnih konvejera. Najvažnija razlika je u tome da aksiom u projektovanju sortirnih linija, a koji se odnosio na to da se kontinualni tok paketa ako je to ikako moguće ne prekida, uvođenjem robota u sortiranje više nije obavezan. Osim toga, kapaciteti prerade koji su bili definisani brzinom kretanja paketa i njihovim međurastojanjem na transporteru nezavisno od dužine transportera i broja odredišta sada su kod robotskog sortiranja definisani, pre svega, brojem robota, njihovom pojedinačnom

kapacitivnošću i zavise od raspoloživog prostora, odnosno broja odredišta. Bez obzira na očigledne razlike između pojedinačnih robotskih sistema, najuopštenije rečeno, postoje dva tipa robota za sortiranje pošiljaka: fiksni i mobilni.

4.1 Fiksni roboti u sortiranju paketa

Fiksni roboti koji se koriste za sortiranje paketa svojim izgledom veoma podsećaju na robote koji su predstavljeni u prethodnom poglavlju. Međutim, funkcionalne karakteristike ovih robota su daleko ispred onih koji su namenjeni za uvođenje pošiljaka na kontinualne transportere, odnosno manipulaciju razvrstanih paketa. Zadatak ovih robota je daleko složeniji s obzirom da je potrebno identifikovati određenu adresu preuzetog paketa i na osnovu nje odložiti ga u jednu od maksimalno 100 mogućih kliznica/posuda/vreća (trenutno je to najveći broj odredišta). Zbog toga ne treba upoređivati cene robotskih sistema za sortiranje paketa sa robotima namenjenim uvođenju/odvođenju paketa, već sa tradicionalnim sistemima za sortiranje malih paketa svedenih na isti kapacitet sortiranja.

Robot predstavljen na slici 2 postiže kapacitet sortiranja preko 1.000 kom/h najviše zahvaljujući veštačkoj inteligenciji kojom je upravljani. Možda ovaj kapacitet, pojedinačno gledan, ne ostavlja utisak da bi mogao da reši rastući problem prerade velikog broja pošiljaka, ali kada se ima u vidu da je ovom robotu dovoljno 40m² za rad i da je na srazmerno malom prostoru moguće instalirati potreban broj robota koji bi povećali ukupni kapacitet prerade, onda je potpuno logično što su dva najveća svetska integatora DHL i FedEx instalirali ove uređaje u svoje preradne centre.



Slika 2. Fiksni sortirni AI robot - Dorabot: a) DHL b) FedEx

Robotski sistemi sortiranja nude mogućnost poštanskim operatorima i kompanijama da bolje dimenzionišu svoje preradne kapacitete prema trenutnim, ali i budućim potrebama nudeći im konstantno visok koeficijent iskorišćenja. Sa druge strane, nosivost od 10 kg po paketu, kao i limitirana debljina paketa, ograničavaju upotrebu ovih robota na sortiranje malih paketa zbog smeštanja velikog broja odredišta na malom prostoru [14]. Ni mobilni roboti se još uvek ne mogu koristiti za sortiranje velikih i teških paketa tako da je najverovatniji scenario da će u preradnim centrima u budućnosti biti prisutni tradicionalni sistemi sortiranja potpomognuti novim inteligentnim robotskim sistemima.

4.2 Autonomni mobilni roboti u fazi sortiranja paketa

Autonomni mobilni roboti kao rešenje za sortiranje malih i srednjih paketa imaju značajno veću primenu od fiksnih. Osnovni razlog je, prema mišljenju autora ovog rada, značajno iskustvo koje je poštanska i industrija logističkih usluga sakupila u dužem nizu godina u kojima su se koristila autonomna vozila u unutrašnjem transportu. Autonomni roboti koji neodoljivo u radu podsećaju na AGV vozila zapravo to i jesu sa razlikom da im nisu potrebne tradicionalne tehnike navođenja (kontaktno, indukciono i sl.) već imaju sposobnost samonavođenja u kontrolisanim uslovima, dok je rutiranje i optimizacija najčešće prepuštena veštačkoj inteligenciji. U suštini, AMR transformišu i optimizuju operacije automatizacijom dugotrajnih zadataka nudeći prilagodljivost različitim poslovnim potrebama. Ne definiše ih oblik ili veličina već njihova sposobnost navigacije i određivanja vlastitih ruta.

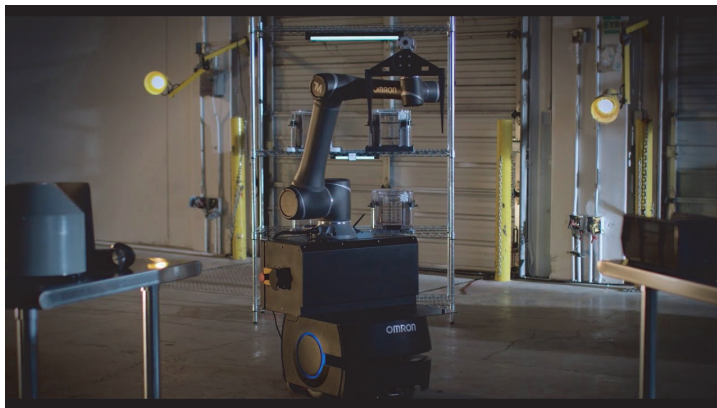
Uopšteno govoreći, u zavisnosti od njihove primene, izdvajaju se tri kategorije autonomnih mobilnih robota koji se koriste u poštanskim preradnim centrima:

- AMR za prenos inventara, čiji je zadatak da automatizuju prenos kutija, paleta, kontejnera unutar preradnog centra. U tu svrhu rukuju i ukрупnjem i pojedinačnim predmetima;

- AMR za prikupljanje pošiljaka unutar preradnog centra, čiji je zadatak da sa određenih zadatih mesta na kojima pošiljke čekaju na preradu iste preuzmu i prevezu do punktova za sortiranje;

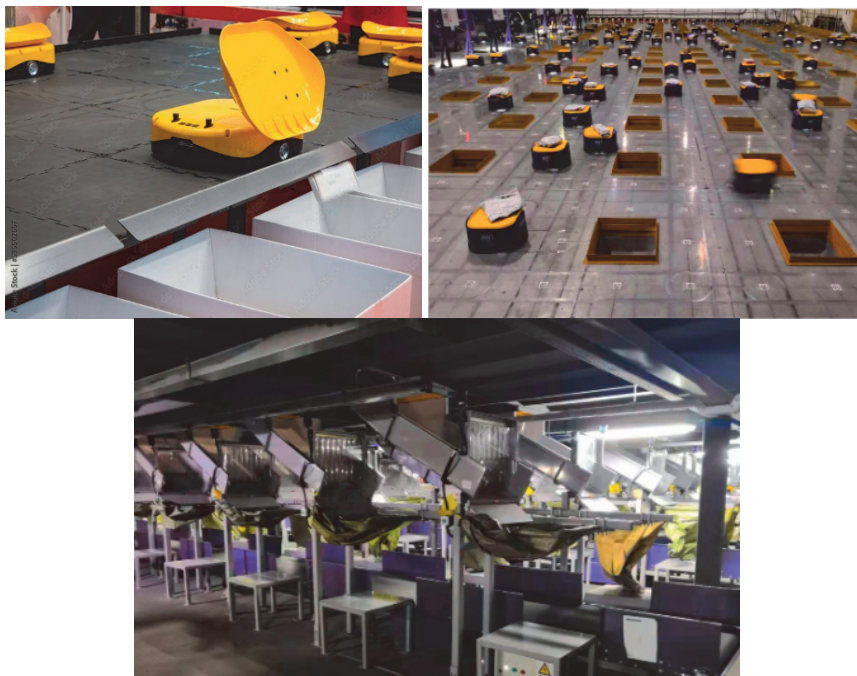
- AMR za sortiranje, čiji je zadatak da olakšaju sortiranje pomoću različitih alata.

U fazi sortiranja poštanskih paketa ovi roboti se mogu koristiti kroz nekoliko pojava oblika. Jedan od njih je AMR sa robotskom rukom koji je pogodan za napredne zadatke automatizacije kao što su fleksibilno komisioniranje, pakovanje i paletizovanje (slika 3). Njihova svestranost čini ih idealnim za sortiranje u poštanskim preradnim centrima.



Slika 3. Autonomni mobilni robot sa robotskom rukom

Takođe, u poštanskim preradnim centrima pogodni su za korišćenje i AMR koji pojednostavljaju proces sortiranja različitim tehnologijama rukovanja. Upravljaju zadacima kao što su brzo sortiranje paketa koji su uglavnom posledica e-trgovine i rukovanje povratom robe. Autonomne mobilne robote ove vrste odlikuje brz i precizan rad, uska područja za sortiranje i zauzimanje malog prostora (slika 4).

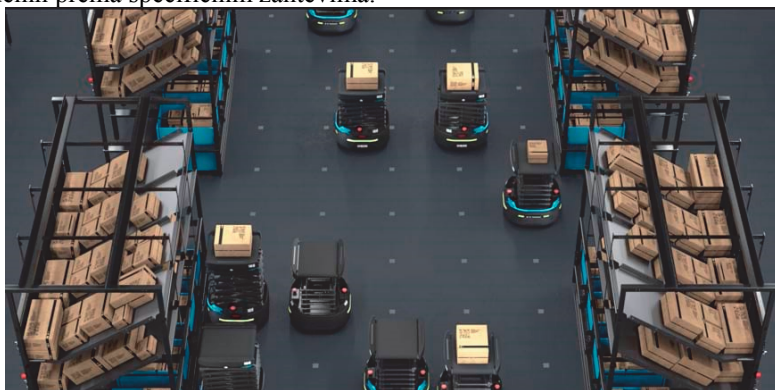


Slika 4. Autonomni mobilni robot u radu

U poslednjih nekoliko godina primetna je sve veća primena AMR ove vrste kod poštanskih operatera u procesima prerade. Bez fiksnih infrastrukturnih zahteva, modularni sistemi zasnovani na AMR su skalabilni i nude potpunu fleksibilnost, sa dodatnim robotima koji se lako uvode kada su potrebni. Jedan od takvih uspešnih primera je Hellenic Post gde su roboti deo programa digitalnog restrukturiranja državne kompanije čiji je cilj da se nosi sa sve većim brojem paketa od onlajn kupovine koji datira još od pandemije korona virusa. Hellenic Post je pre tri godine u prerađni centar u Atini u prvoj iteraciji uvela u eksploataciju 55 malih autonomnih mobilnih robota na četiri točka pokretanih veštačkom inteligencijom, ubrzavajući proces sortiranja koji često oduzima mnogo vremena. Pri toj aktivnosti roboti skeniraju poštanski broj, mere masu paketa i, vođeni senzorima, istovaruju paket u odgovarajuće poštanske vreće postavljene oko platforme kojom se roboti kreću (slika 5). Zahvaljujući robotima proces je i do tri puta brži, obezbeđujući dostavu sledećeg dana, a greške su praktično eliminisane. Danas ovaj operator raspolaže sa 120 autonomnih mobilnih robota i može da obradi blizu 125.000 paketa težine do 10 kg svakog dana. Svaki robot se puni samo pet minuta svaka četiri sata, roboti su izrazito efikasni, pa su potrošnja energije na licu mesta i troškovi energije minimizirani. Rešenje za sortiranje zasnovano na AMR je navodno omogućilo operatoru da poboljša efikasnost svoje radne snage raspoređivanjem osoblja na produktivnije zadatke.

Još jedan oblik primene AMR u poštanskim prerađnim centrima za potrebe sortiranja pošiljaka su i AMR sa podiznom platformom (slika 5). To je najosnovniji tip autonomnih mobilnih robota i predstavlja osnovu za mnoge raznovrsne primene zavisno od opremljenosti samog uređaja i potreba onih koji ih uvode u eksploataciju. Njihova

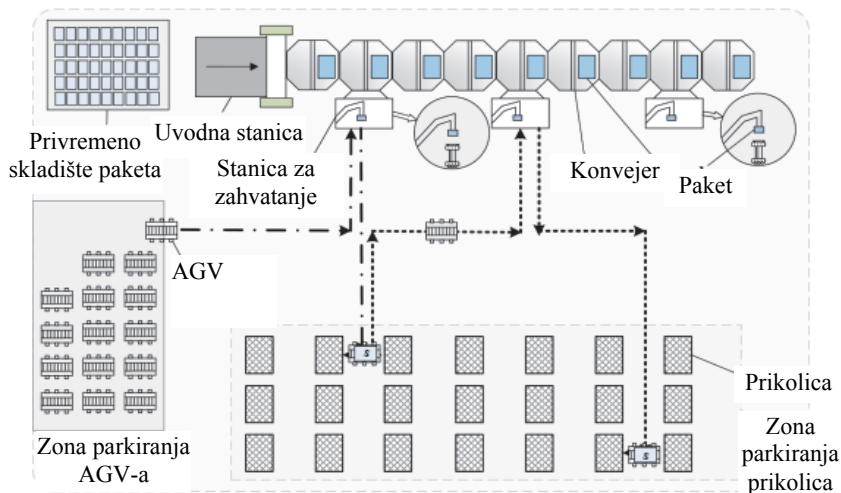
osnovna prednost je prilagodljivost koja kompanijama omogućava izradu robotskih rešenja prilagođenih prema specifičnim zahtevima.



Slika 5. Sortirni mobilni roboti sa podiznim platformama

5. Mogućnosti upotrebe robota u manipulaciji razvrstanih pošiljaka

Slično robotima koji zamenjuju skup manualni rad u pripremnim fazama prerade paketa, i roboti namenjeni za rad sa razvrstanim paketima imaju neke specifične zahteve koje moraju da ispune. Zadatak je, u najkraćem, da se iz gomile pošiljaka (koje su u ovom slučaju sa istim pravcem upućivanja, ali ih može biti više na kraju kliznice bilo zbog brzog nailaska ili zbog nedostupnosti odvoženja dalje) identifikuje pojedinačna pošiljka i prebaci na AGV/boks paletu/vreću i slično. Za razliku od uvodnih robota, ovi roboti ne moraju da pravilno orijentišu paket, ali u nekim slučajevima može se tražiti od njih daleko komplikovanija operacija slaganja, odnosno formiranja logističke jedinice.



Slika 6. Prikaz odvoženja razvrstanih pošiljaka korišćenjem robota i AGV-a

Na slici 6 dat je šematski prikaz jednog mogućeg rešenja odvoženja razvrstanih paketa [5]. Nakon upućivanja paketa na određenu kliznicu od strane kontinualnog

konvejera (može biti bilo koji), paketi bivaju zahvaćeni od strane robota koji ih utovaruje na AGV. Nakon što biva utovaren, AGV transportuje paket do odgovarajuće prikolice gde ga istovaruje i vraća se do robota koji mu je dodeljen za utovar sledećeg paketa. Iako je tehnološki, kapacitivno, pa čak i softverski apsolutno moguće da jedan robot opslužuje više od jedne određene kliznice to se u praksi ne praktikuje zbog smanjenja složenosti upravljanja samim robotom, što je u skladu sa istraživanjem koje su sprovedeli Fedtke i Boysen [2].

Osim ovog scenarija, u zavisnosti od broja odredišta, kapaciteta prerade i udaljenosti utovarnog fronta na vozila spoljnog transporta, moguća su i jednostavnija scenarija – bez korišćenja AGV-a. U toj varijanti bi roboti prebacivali pakete sa kraja kliznice, recimo, direktno u prikolice/box palate sa točkovima koje bi se na manje ili više automatizovan način odvozile. U tom slučaju bi se pojavio poseban problem slaganja paketa, što bi moglo da uspori rad robota.

Cene manipulativnih robota koji se koriste za uvođenje paketa na transporter ili za manipulaciju razvrstanim pošiljkama variraju u relativno širokom opsegu, ali ih je moguće nabaviti već za oko 3000 hiljada dolara. Ovakva cena apsolutno opravdava postavljanje zasebnog robota na kraju svake kliznice umesto komplikovanja upravljačkih procedura jer fleksibilnija i produktivnija rešenja mogu koštati i preko 10000 dolara. S obzirom na uštede koje sa sobom donose, period povratka investicije je u svakom slučaju i više nego zadovoljavajuć.

6. Zaključak

Tradicionalno sortiranje poštanskih pošiljaka, pre svega paketa, obavljalo se ručnim radom sa značajnim utroškom vremena i često nedostatkom istog, uzrokujući kašnjenja u procesu uručjenja pošiljaka, ponekad i sa greškama. Sortiranje je bivalo dugotrajno i radno intenzivno. Dugo su kontinualni transporter bili jedina opcija za mašinsko razvrstavanje paketa i sva je prilika da će još dugo biti u upotrebi. Zbog svoje fleksibilnosti i niskih operativnih troškova atraktivna alternativa za rešavanje ovih problema, koja na specifičan način doprinosi povećanju produktivnosti i efikasnosti preradnog centra, je neminovno uvođenje robota u proces prerade i sortiranja pošiljaka. Kao što je u radu prikazano, mnogostruke su niše primene raznih varijanti robota na raznim aktivnostima procesa prerade i sortiranja. Ono što se mora istaći je da cilj nije da se radnici zamene robotima, već da se radna snaga učini efikasnijom.

Literatura

- [1] A. Čupić, M. Blagojević, D. Marković, “Analiza sistema kombinovane dostave poštanskih pošiljaka”, *Zbornik radova XLI Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2023*, 87-98, 28-29. novembar 2023, Beograd, <https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954752/POSTEL.2023.009>
- [2] S. Fedtke, N. Boysen, “Layout planning of sortation conveyors in parcel distribution centers”, *Transp. Sci.* 51 (1) (2017) 3–18, <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0540>.
- [3] T. Lamballais, D. Roy, M.B.M. De Koster, “Estimating performance in a Robotic Mobile Fulfillment System”, *Eur. J. Oper. Res.* 256 (3), 976–990, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.063>.

- [4] K. Wang, Y.M. Yang, R.X. Li, “Travel time models for the rack-moving mobile robot system”, *Int. J. Prod. Res.* 58 (14), 4367–4385, 2020, <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652778>.
- [5] Z. Tan, H. Li, X. He, “Optimizing parcel sorting process of vertical sorting system in e-commerce warehouse”, *Advanced Engineering Informatics*, 48, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101279>
- [6] X. Xu, Y. Chen, B. Zou, Y. Gong, “Assignment of parcels to loading stations in robotic sorting systems”, *Transportation Research Part E* (164), 2022, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102808>
- [7] N. Boysen, D. Briskorn, S. Fedtke, M. Schmickerath, “Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective”, *European J. Oper. Res.* 276 (3), 796–815, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.014>.
- [8] D.L. McWilliams, “A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem”, *Comput. Ind. Eng.* 57 (3), 958–962, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.03.013>.
- [9] M. Merschformann, T. Lamballais, M. De Koster, L. Suhl, 2019. “Decision rules for robotic mobile fulfillment systems”, *Oper. Res. Perspect.* 6, 100128, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100128>.
- [10] B. Zou, R. De Koster, Y. Gong, X. Xu, G. Shen, “Robotic sorting systems: Performance estimation and operating policies analysis”, *Transp. Sci.* 55 (6), 1430–1455, 2021, <https://doi.org/10.1287/trsc.2021.1053>
- [11] <https://www.abiresearch.com/press/50000-warehouses-use-robots-2025-barriers-entry-fall-and-ai-innovation-accelerates/>
- [12] <https://www.motoman.com/en-us/about/media-center/news/october-2022/flexible,-high-speed-robotic-parcel-induction-for>
- [13] <https://www.unboxrobotics.com/sorting-robots-in-express-logistics-industry-a-complete-guide/>
- [14] <https://newsroom.fedex.com/newsroom/asia-pacific/fedex-launches-ai-powered-sorting-robot-to-drive-smart-logistics>

Abstract: *The multi-year constant increase in the number of parcels caused, above all, by e-commerce, as well as the expectation that this trend will continue stably for a long period of time has forced postal operators and postal companies around the world to seriously reconsider their approach not only to the final sorting of postal items, but also to any manipulation that requires human work. The paper shows that the robotization of part of the operations in the preparation of postal items for sorting, in the sorting itself, as well as the operations that follow after the items (parcels) are sorted according to outgoing directions, is an inevitability in the postal industry, which follows the general trend of robotization and the wide use of artificial intelligence. Three main areas of potential application of robotic systems in postal sorting centers have been identified: during the introduction of parcels into the system, robotic systems for sorting parcels and the application of robots for the manipulation of sorted postal items.*

Keywords: *automation, sorting of postal items, robot*

USE OF ROBOTS IN POSTAL SORTING CENTERS

Aleksandar Čupić, Mladenka Blagojević, Dejan Marković, Đorđe Popović

MOGUĆNOSTI PRIMENE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U POŠTANSKIM SISTEMIMA

Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Aleksandar Trifunović, Maja Petrović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
m.dobrodolac@sf.bg.ac.rs, d.lazarevic@sf.bg.ac.rs,
a.trifunovic@sf.bg.ac.rs, majapet@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U radu su sagledane neke od mogućnosti i efekti primene veštačke inteligencije – Artificial Intelligence (AI) u poštanskim sistemima. Ukratko je prikazano stanje literature u ovoj oblasti, kao i pregled najčešće korišćenih rešenja istaknutih svetskih kompanija koje se bave dostavom pošiljaka. Kako bi se došlo do određenih pokazatelja, koji mogu usmeriti implementaciju i eksploataciju ovog koncepta, sprovedeno je istraživanje stavova eksperata o primeni AI u poštanskim sistemima, pri čemu su analizirani ključni prioriteti, koristi i izazovi ovog koncepta.*

Ključne reči: *dostava pošiljaka, veštačka inteligencija - AI, optimizacija, unapređenje efikasnosti, savremena tehnološka rešenja*

1. Uvod

Veštačka inteligencija - Artificial intelligence (AI) postaje sve prisutnija u modernim poslovnim sistemima, uključujući i poštanske kompanije, odnosno sisteme za dostavu pošiljaka. Primena AI koncepta ima potencijal da unapredi efikasnost poslovnih procesa, kao i korisničko iskustvo. Tradicionalni poštanski sistemi suočavaju se sa brojnim izazovima u digitalnoj eri, kao što su povećanje obima e-trgovine, potreba za bržim prenosom pošiljaka, implementacija i razvoj strategija održivosti. U tom kontekstu, AI nudi inovativne mogućnosti za rešavanje ovih izazova, omogućavajući kompanijama da prilagode svoje usluge potrebama savremenih korisnika [1].

Primena različitih rešenja veštačke inteligencije u poslednjih nekoliko godina postaje sve prisutnija, a rezultati te primene ukazuju na izuzetne mogućnosti koncepta. Kada je reč o primeni u poštanskim sistemima, može se posmatrati sa dva aspekta – organizacionog i korisničkog. Koristeći AI, poštanski sistemi mogu unaprediti efikasnost postrojenja za prerađivanje pošiljaka, upravljanje resursima, dostavne rute, mogu poboljšati predikcije o opterećenju i omogućiti personalizovanu komunikaciju sa korisnicima. Na primer, algoritmi za mašinsko učenje mogu analizirati podatke o rutama i vremenskim prilikama kako bi sistem za podršku predložio pogodne putanje, dok virtuelni asistenti, mogu pružiti podršku korisnicima 24/7, automatski odgovarajući na unapred definisane upite, generisane na osnovu iskustva u radu sa korisnicima. Primena AI koncepta ima

potencijal da utiče na smanjenje operativnih troškova, kao i na unapređenje zadovoljstva korisnika. U skladu sa navedenim, uvođenje modela i rešenja zasnovanih na primeni veštačke inteligencije, predstavlja jedan korak napred ka obezbeđivanju kontinualnog unapređenja poslovnog procesa i nastojanju ka održivosti [2], [3].

Svakako, primena AI u poštanskim sistemima generiše i određene izazove. Problemi kao što su visoki troškovi implementacije, privatnost podataka, transparentnost, ali i digitalni jaz između razvijenih i manje razvijenih zemalja, samim tim između nivoa razvijenosti tehnologije i zaposlenih koji mogu to ispratiti, ističu potrebu za odgovornim pristupom prilikom implementacije. Uspostavljanje jedinstvene strategije za AI u poštanskom sektoru postaje prioritet, sa ciljem balansiranja između tehnologije i ljudskog pristupa.

Ovaj rad istražuje mogućnosti primene veštačke inteligencije u poštanskim sistemima, analizirajući dostupnu literaturu i rešenja koja su implementirana od strane istaknutih svetskih kompanija koje se bave dostavom pošiljaka. Cilj je da se sagledaju načini na koje AI može transformisati tradicionalne poštanske operacije, unaprediti korisničko iskustvo i osigurati dugoročnu održivost poštanskih usluga u sve konkurentnijem okruženju. U radu su prikazani i rezultati istraživanja o stavovima eksperata o primeni veštačke inteligencije u poštanskim sistemima. Cilj ovog istraživanja je bio da se sagledaju određeni pokazatelji, koji mogu usmeriti implementaciju i eksploataciju AI koncepta.

2. Pregled literature i iskustava iz prakse

Primena veštačke inteligencije u poštanskim i drugim sistemima za dostavu je u porastu, što je ispratio i porast broja istraživačkih studija u ovoj oblasti. Analizirajući dostupnu literaturu, može se izdvojiti nekoliko ključnih aspekata u kojima AI ima značajan potencijal:

- *Optimizacija ruta i smanjenje ukupnog vremena dostave* - Optimizacija ruta je jedan od najistraženijih aspekata u primeni AI u poštanskom saobraćaju i dostavi poslednje milje. Rešenja zasnovana na mašinskom učenju, genetskim algoritmima, neuronskim mrežama, fuzzy logici i sl, utiču na smanjenje vremena dostave, posebno u urbanim područjima, gde su saobraćajni uslovi kompleksni. Jedan od osnovnih razloga, jeste što ovakva rešenja mogu analizirati velike količine podataka u realnom vremenu, uključujući saobraćajne uslove, vremenske prilike, dnevne i sezonske varijacije, kao i druge uticajne faktore [4], [5].
- *Predikcija obima pošiljaka i efikasno planiranje resursa* - Analitički alati zasnovani na AI, kao što su regresioni modeli i metode za obradu *big data*, omogućavaju poštanskim operatorima da predviđaju obim pošiljaka u određenim periodima. Na taj način pomažu i u planiranju resursa, kao što su broj vozila, radna snaga i kapacitet skladišta [6].
- *Automatizacija poslovnih aktivnosti* - U poštanskim kompanijama se u velikoj meri koriste automatizovani sistemi za preradu i dostavu pošiljaka. Kada je reč o preradi pošiljaka, brojni su podsistemi pogodni za upotrebu AI, jedan od poznatijih jeste prepoznavanje rukopisa, odnosno adrese na pošiljci. Veoma važnu primenu, a u cilju unapređenja iskorišćenja tovarnog prostora, imaju algoritmi za rešavanje problema pakovanja pošiljaka [7]. Kada je reč o fazi dostave, sistemi zasnovani na upotrebi robota, dronova ili autonomnih vozila, koriste čitav splet

različitih podsistema AI, kao što su prepoznavanje slika, navigacija koja omogućava vozilima da se kreću bez ljudske intervencije i reaguju na promene u okruženju i sl [8], [9].

- *Smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu* - Postoji sve veći pritisak na poštanske i sisteme za dostavu, da smanje svoj ekološki otisak [10]. Pri tome, kompanije razvijaju razne strategije, koje se uglavnom odnose na poštovanje modela održivog razvoja [11]. AI je koristan alat za planiranje zelenih ruta, koje u eksploataciji rezultiraju smanjenjem emisije CO₂ i optimizacijom potrošnje goriva. Pojedine studije ukazuju na to da kombinacija AI sa električnim vozilima i drugim održivim alternativama može značajno smanjiti štetne emisije [12], [13].
- *Unapređenje kvaliteta usluga i njihova personalizacija* - Kontinualno unapređenje kvaliteta usluge, predstavlja jedan od preduslova za konkurentno poslovanje na tržištu [2]. Alati zasnovani na AI, mogu biti vrlo efikasna korisnička podrška, dostupna 24/7. Takođe, mogu se koristiti u marketinške svrhe, pre svega u direktnom marketingu, prepoznajući navike i potrebe korisnika. Dodatno, analiza preferencije korisnika može se koristiti za predikciju vremena dostave, odnosno za prilagođavanje termina dostave prema preferencijama korisnika, što doprinosi zadovoljstvu korisnika [14].
- *Izbor modela dostave* – Primena AI, može biti od izuzetnog značaja, prilikom izbora adekvatnog modela dostave, pri čemu se simulira rezonovanje eksperata ili sagledavaju realne okolnosti i odgovarajući uticajni faktori. Uglavnom su to tehnički, društveni, ekonomski i ekološki faktori, na osnovu kojih se gradi održivost alternativa [15].

Iako AI donosi brojne prednosti, postoje izazovi poput visokih troškova implementacije, potrebe za obukom zaposlenih i rešavanja pitanja sigurnosti i privatnosti podataka. Takođe, integracija novih tehnologija sa postojećim sistemima može biti kompleksna i zahtevati dodatne resurse. Ovi aspekti su takođe prisutni u literaturi [16].

Kada su u pitanju iskustva u primeni veštačke inteligencije u realnom sistemu, istraženi su izvori istaknutih svetskih kompanija koje se bave dostavom. U nastavku su prikazana neka od njihovih AI rešenja.

AI rešenja u kompaniji DHL. U oblasti optimizacije i automatizacije procesa, kompanija DHL koristi napredne algoritme za optimizaciju ruta, uključujući *dynamic route optimization* koja se prilagođava u realnom vremenu na osnovu saobraćajnih uslova i prioriteta pošiljaka. Kompanija je implementirala i robote u skladištima, koji pomažu u prenosu i pakovanju pošiljaka, čime se smanjuje radno opterećenje i vreme pakovanja. Za otpremu pošiljaka, uveden je koncept *vision picking*, koji podrazumeva da radnici nose pametne naočare kako bi identifikovali proizvode za pakovanje uz pomoć AR (augmented reality). Kada je reč o prediktivnoj analitici i unapređenju korisničkog iskustva koriste se koncepti *big data* i AI za praćenje i predikciju zahteva korisnika, što kasnije omogućava bolje upravljanje vremenom dostave i smanjuje verovatnoću grešaka. U sektoru korisničke podrške, DHL koristi virtualne asistente i NLP (*Natural Language Processing*) kako bi automatizovao obradu korisničkih upita i brzo pružio odgovore. U okviru faze dostave, DHL već duže vreme razvija nova tehnološka rešenja, poput dronova i autonomnih vozila, čije funkcionisanje zasniva na primeni veštačke inteligencije. Kada su u pitanju sigurnosni

sistemi, izdvaja se primena AI kamera za identifikaciju sumnjivih aktivnosti u skladištima i halama za prerađu pošiljaka, kao i ustaljeni sistemi za praćenje pošiljaka.¹

AI rešenja u kompaniji FedEx. FedEx takođe koristi AI modele za dinamičko usmeravanje paketa u realnom vremenu, uzimajući u obzir faktore kao što su vremenski uslovi i stanje saobraćaja. Ovi modeli poboljšavaju tačnost procene potrebnog vremena isporuke i samim tim omogućavaju efikasnije planiranje ruta. U saradnji sa kompanijama kao što su Nimble i Dexterity, FedEx je uveo veštačkom inteligencijom vođene robote za automatizaciju procesa kao što su sortiranje pošiljaka i njihov utovar u kamione. Konkretno, robot *DexR* koristi AI za efikasno slaganje paketa različitih veličina unutar dostavnih vozila. Sa aspekta unapređenja sigurnosti, kompanija je implementirala *FedEx Surround* sistem koji kombinuje AI i senzorsku tehnologiju za praćenje pošiljaka u realnom vremenu, omogućavajući predviđanje potencijalnih problema i proaktivno delovanje. Za integrisanje podataka iz različitih izvora, kako bi se generisala rešenja zasnovana na analitici i AI, razvijen je sistem *FedEx Dataworks*.²

AI rešenja u kompaniji UPS. Za optimizaciju ruta UPS koristi sistem pod nazivom *On-Road Integrated Optimization and Navigation (ORION)*, koji primenjuje napredne algoritme za planiranje i optimizaciju ruta koje vozači koriste. Ovaj sistem analizira podatke o saobraćaju, vremenskim uslovima i drugim relevantnim faktorima kako bi smanjio pređene kilometre i potrošnju goriva, što rezultira uštedom od oko 200 miliona dolara godišnje. Kao i ostale kompanije iz ove oblasti, na sličnom tehnološkom nivou, kompanija koristi AI i automatizaciju za poboljšanje efikasnosti. To podrazumeva i upotrebu robota i mašinskog učenja za optimizaciju skladišnog prostora i ubrzanje procesa dostave. Sa aspekta sigurnosti UPS je implementirao sistem *DeliveryDefense*, koji koristi AI za identifikaciju potencijalnih rizika od krađe paketa. Ovaj sistem analizira podatke o lokaciji, učestalosti gubitaka i drugim faktorima kako bi predvideo verovatnoću uspešne dostave i omogućio preusmeravanje rizičnih pošiljaka na sigurnije lokacije. Kako bi unapredili radno okruženje, u kompaniji je implementirana platforma *Languages Across Logistics (LAL)*, koja služi za prevazilaženje jezičkih barijera među zaposlenima. Ova tehnologija omogućava prevodenje u realnom vremenu, olakšavajući komunikaciju i obuku zaposlenih iz različitih jezičkih sredina.³

AI rešenja u kompaniji Amazon. Kako je primarno usmerena na e-trgovinu i dostavu kupljenih proizvoda, kompanija Amazon koristi AI za prediktivnu analitiku koja procenjuje buduću potražnju za proizvodima i optimizuje zalihe u skladištima. Kroz predikcije potražnje, kompanija može poslati proizvode do najbližih skladišta, unapređujući efikasnost čitavog procesa. Takođe, Amazon je uveo *AI Shopping Guides* kako bi pomogao kupcima da brže pronađu proizvode koji odgovaraju njihovim potrebama. Ovi vodiči koriste AI za konsolidaciju ključnih informacija o proizvodima, olakšavajući proces donošenja odluka prilikom kupovine. U skladištima su u upotrebi rešenja, kao što su *Kiva* roboti za transport i organizaciju paketa. Oni automatski optimizuju skladišni prostor i povećavaju efikasnost tako što autonomno pomeraju proizvode do tačaka pakovanja. Poznat je i koncept *PrimeAir* koji kompanija koristi za

¹ <https://www.dhl.com/>

² <https://www.fedex.com>

³ <https://www.ups.com>

dostavu pošiljaka dronom. ⁴ Kompanija je otišla korak dalje i oformila *Amazon Web Services (AWS)* platformu za računarstvo u oblaku koju pruža trećim licima. AWS nudi preko 200 potpuno funkcionalnih usluga, omogućavajući korisnicima da pristupe različitim IT resursima putem interneta. Platforma nudi širok spektar i servisa veštačke inteligencije koje omogućavaju korisnicima da integrišu inteligentne funkcionalnosti u svoje aplikacije bez potrebe za opsežnim znanjem o mašinskom učenju. Najpoznatije AI usluge koje AWS pruža, uključuju⁵:

- *Amazon Q* - AI asistent dizajniran za poslovnu upotrebu, omogućava korisnicima da postavljaju pitanja, generišu sadržaj i dobijaju uvide povezivanjem sa internim informacijama kompanije. Može se prilagoditi specifičnim potrebama preduzeća i integriše se sa različitim sistemima za upravljanje podacima.
- *Amazon SageMaker* - Omogućava programerima i drugim interesnim grupama da brzo kreiraju, obuče i implementiraju modele mašinskog učenja na oblaku. Pruža alate za rad sa različitim algoritmima i omogućava integraciju sa drugim *AWS* uslugama.
- *Amazon Rekognition* - Pruža unapred obučene i prilagodljive mogućnosti računarskog vida za ekstrakciju informacija i uvida iz slika i video zapisa. Koristi se za prepoznavanje objekata, lica i teksta, kao i za modeliranje sadržaja i analizu medija.
- *Amazon Polly* - Pretvara tekst u govor, podržavajući više jezika i glasova. Koristi se za kreiranje aplikacija sa mogućnostima govora, kao što su čitači ekrana i interaktivni glasovni asistenti.
- *Amazon Lex* - Omogućava kreiranje konverzijskih interfejsa koristeći glas i tekst. Pogodan je za kreiranje virtuelnih asistenata i drugih interaktivnih aplikacija koje koriste prirodni jezik.
- *Amazon Transcribe* - Automatski konvertuje govor u tekst brzo i precizno. Koristi se za transkripciju poziva, generisanje titlova i analizu govora.
- *Amazon Translate* - Neuralna mašinska prevodilačka usluga koja pruža brze, visokokvalitetne, pristupačne i prilagodljive prevode između različitih jezika. Pomaže u prevazilaženju jezičkih barijera u aplikacijama i sadržaju.

3. Rezultati istraživanja stavova eksperata o primeni veštačke inteligencije u poštanskim sistemima

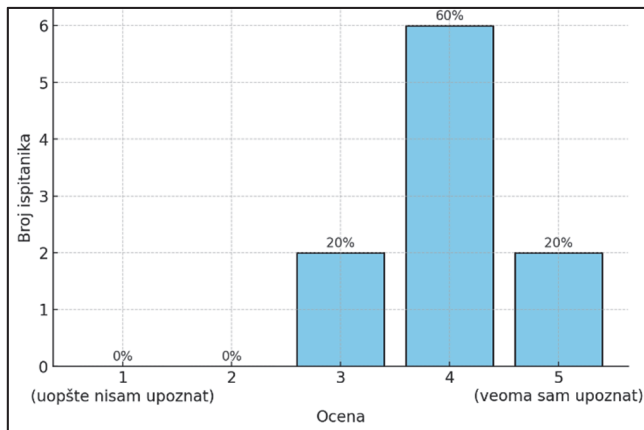
U nastavku će biti prikazani rezultati istraživanja o stavovima eksperata vezanih za primenu veštačke inteligencije u poštanskim sistemima. U istraživanju je učestvovalo deset eksperata iz oblasti poštanskog saobraćaja, koji dolaze iz akademske institucije, javnog i privatnih poštanskih operatora. Upitnik se sastojao od ukupno 10 pitanja, i to iz demografske grupe, kao i iz oblasti primene AI u poštanskim sistemima. Kreiran je na *Google* platformi, tako da su tim putem prikupljeni i odgovori.

U okviru prve grupe pitanja, eksperti su se izjašnjavali o polu i godinama iskustva u struci. Dok su se u okviru druge grupe pitanja izjašnjavali o nivou poznavanja koncepta veštačke inteligencije, kao i o prednostima AI u poštanskim sistemima. Nakon toga,

⁴ <https://www.amazon.com>

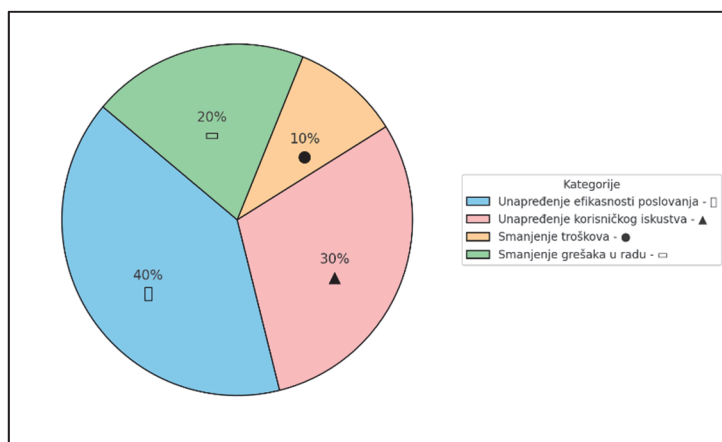
⁵ <https://aws.amazon.com/ai/services/>

eksperti su imali zadatak da definišu nivo prioriteta za implementaciju AI rešenja prilikom rešavanja određenih zadataka u poštanskim sistemima kao i izazove u implementaciji ovog koncepta. Analizirana je i percepcija eksperata da li veštačka inteligencija više doprinosi optimizaciji unutrašnjih operacija ili poboljšanju usluge prema korisnicima, nakon čega su ispitanici i stavovi o balansu između ljudske interakcije i AI, kao i o njenom uticaju na radna mesta. Za poslednje pitanje, ispitanici su iznosili svoja predviđanja o razvoju poštanskih sistema u narednih 5-10 godina. Na Slici 1, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Koliko ste upoznati sa konceptom veštačke inteligencije?”.



Slika 1. Nivo poznavanja AI koncepta

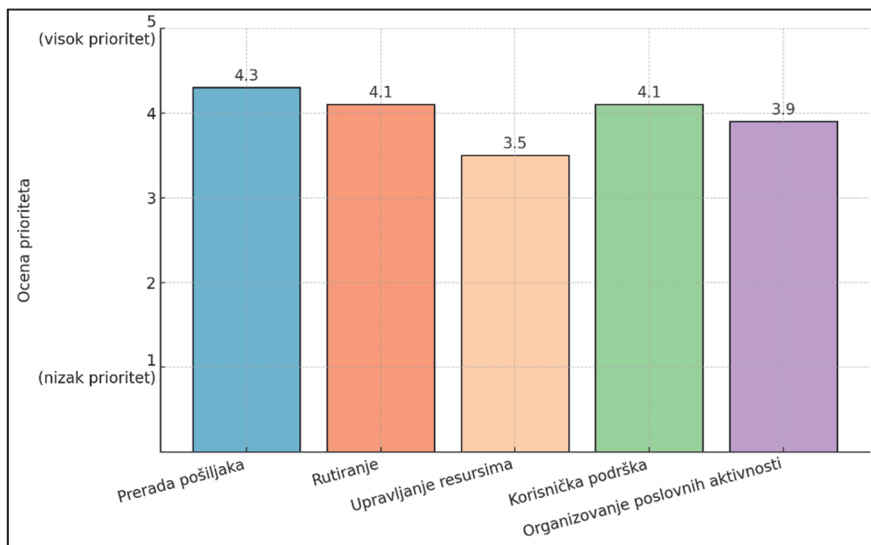
Na osnovu prikazanih rezultata, lako je zaključiti da je većina eksperata dobro upoznata sa konceptom AI, dok onih koji nisu upoznati nije bilo. Razlog je pre svega u rasprostranjenosti i prisutnosti veštačke inteligencije u savremenom poslovanju i svakodnevnom životu. Na Slici 2, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Koja je, prema Vašem mišljenju, glavna prednost primene veštačke inteligencije u poštanskim sistemima?”.



Slika 2. Glavna prednost primene veštačke inteligencije u poštanskim sistemima

Mišljenja eksperata ukazuju da se najveća prednost primene veštačke inteligencije u poštanskim sistemima, može sagledati na polju unapređenja efikasnosti poslovanja i na unapređenju korisničkog iskustva. Na osnovu pregleda literature i dostupnih rešenja iz prakse, može se zaključiti da je ovim oblastima posvećena značajna pažnja, što dodatno potvrđuje stavove eksperata.

Na Slici 3, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Definišite prioritete, za implementaciju AI, između izdvojenih zadataka u poštanskom sistemu?”.

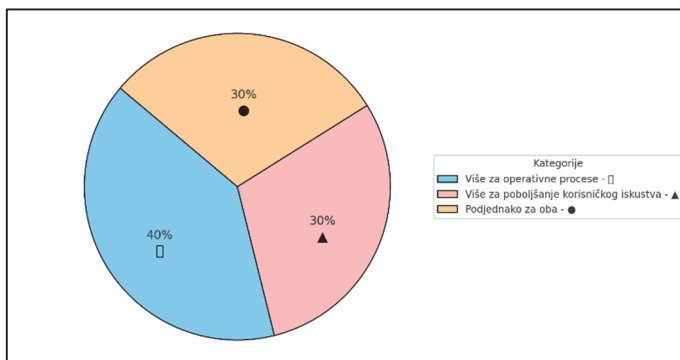


Slika 3. Ocene prioriteta uvođenja AI za izdvojene zadatke

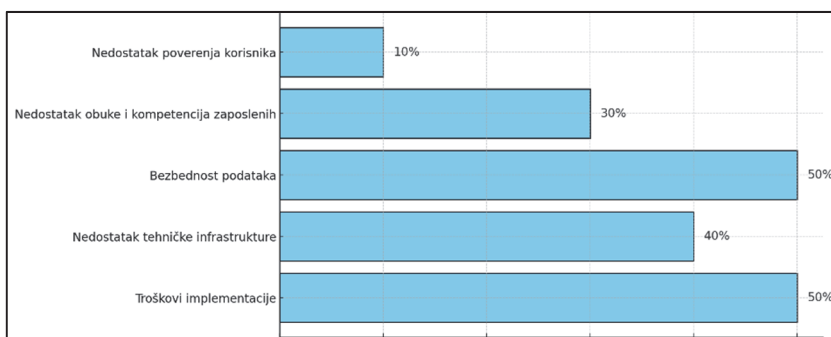
Dobijeni rezultati ukazuju da se posebno izdvajaju tri zadatka, kao prioriteta, za čije je rešavanje potrebno implementirati AI, a to su prerada pošiljaka, rutiranje i korisnička podrška. To svakako jesu zadaci za čije rešavanje se već uspešno koriste mogućnosti AI, u onim sistemima gde je ova tehnologija implementirana, što je još jedna potvrda validnosti stavova eksperata. Svakako i preostala dva zadatka imaju respektabilne ocene prioriteta, koje ih stavljaju u fokus za dalji monitoring.

Na Slici 4, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Da li smatrate da je AI više koristan za operativne procese ili za poboljšanje korisničkog iskustva?”.

Najveći deo ispitanika smatra da je AI korisniji za poboljšanje operativnih procesa. To može uključivati zadatke kao što su automatizacija obrade pošiljaka, optimizacija ruta, upravljanje resursima i sl. Ovaj rezultat ukazuje na percepciju da AI ima najveći potencijal u poboljšanju efikasnosti unutar same organizacije. Značajan deo ispitanika takođe vidi vrednost AI u unapređenju korisničkog iskustva, kao što su brže i preciznije odgovaranje na upite korisnika ili personalizacija usluga. To može biti ključan faktor za zadržavanje korisnika i unapređenje njihovog zadovoljstva. Treći grupa eksperata smatra da AI može podjednako doprineti i operativnim procesima i korisničkom iskustvu. Ovaj rezultat sugerise da mnogi vide potencijal u balansiranju koristi koje AI donosi i organizaciji i korisnicima. Na Slici 5, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Koji su, po Vašem mišljenju, najveći izazovi u primeni AI u poštanskim sistemima?”.

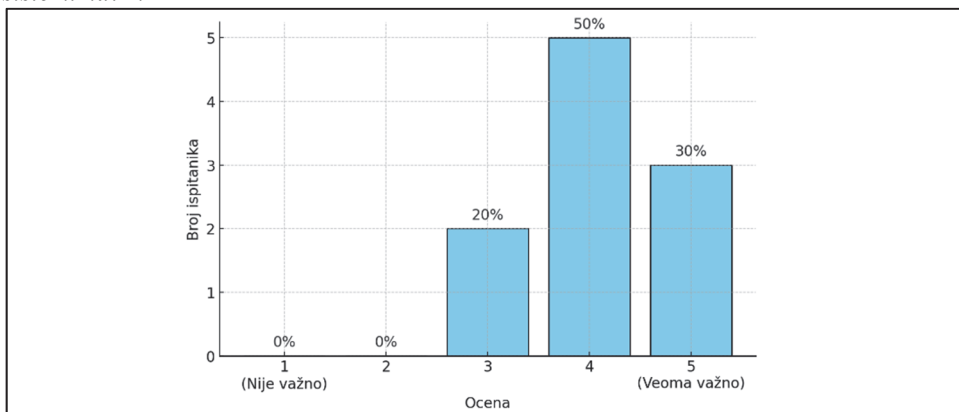


Slika 4. Korisnost veštačke inteligencije po izdvojenim oblastima



Slika 5. Izazovi u primeni AI u poštanskim sistemima

Prilikom odgovora na ovo pitanje, eksperti su mogli označiti više opcija, što se odrazilo i na rezultate, kao što se može zaključiti sa grafika. Kao izazovi, posebno se izdvajaju bezbednost podataka, troškovi implementacije i nedostatak tehničke infrastrukture. Na Slici 6, prikazani su rezultati odgovora na pitanje “Koliko je važno održati ravnotežu između ljudske interakcije i automatizovanih AI procesa u poštanskim sistemima?”.



Slika 6. Ocena važnosti ravnoteže između ljudske interakcije i AI

Rezultati pokazuju jasnu tendenciju ka očuvanju ravnoteže između AI i ljudske interakcije. To sugerise da većina eksperata veruje da, i pored koristi od automatizacije, ljudska komponenta ostaje bitna u poštanskim sistemima. Kada je reč o uticaju AI na broj radnih mesta u poštanskom sektoru, 20% ispitanika smatra da će se on značajno smanjiti, 50% da će se umereno smanjiti, dok 30% smatra da se broj radnih mesta neće smanjiti. Dodatno, eksperti većinom od 90% smatraju da će u narednom periodu primena AI u poštanskim sistemima biti u fazi umerenog rasta i prilagođavanja.

4. Zaključak

Uvođenje veštačke inteligencije u sisteme za dostavu pošiljaka predstavlja ključan korak u transformaciji logističkog sektora prema bržim, efikasnijim i održivijim uslugama. Zahvaljujući ovom konceptu, moguće je bolje planirati resurse, predvideti potražnju, efikasno obrađivati zahteve i distribuirati pošiljke u zavisnosti od uslova u realnom vremenu. Sa druge strane, AI rešenja unapređuju i korisničko iskustvo, što predstavlja vrednost više. Osim ovih koristi, primena veštačke inteligencije donosi sa sobom izazove poput tehničke složenosti, visokih inicijalnih troškova i etičkih pitanja vezanih za privatnost i bezbednost podataka. Potrebno je rešiti i izazove usaglašenosti između različitih tehnologija i sistema, kao i obezbediti adekvatnu obuku zaposlenih za rad sa novim tehnologijama. Buduća istraživanja mogu doprineti razvoju održivijih rešenja, što će dodatno oblikovati globalnu logistiku i odgovoriti na rastuće zahteve savremenog tržišta.

Literatura

- [1] A. Mandale, P. Jumle, M. Wanjari, and D. Biranje, "A Review Paper on the Use of Artificial Intelligence in Postal and Parcel Sorting," *Proc. Int. Conf. Contemp. Comput. Informatics, IC3I 2023*, pp. 768–773, 2023, doi: 10.1109/IC3I59117.2023.10397892.
- [2] D. Lazarević, M. Dobrodolac, L. Švadlenka, and B. Stanivuković, "A model for business performance improvement: a case of the postal company," *J. Bus. Econ. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 564–592, Feb. 2020, doi: 10.3846/JBEM.2020.12193.
- [3] J. Brand, "Exploring the Moral Value of Explainable Artificial Intelligence Through Public Service Postal Banks," *AIES 2023 - Proc. 2023 AAAI/ACM Conf. AI, Ethics, Soc.*, pp. 990–992, Aug. 2023, doi: 10.1145/3600211.3604741.
- [4] B. Mo, Q. Wang, X. Guo, M. Winkenbach, and J. Zhao, "Predicting Drivers' Route Trajectories in Last-Mile Delivery Using A Pair-wise Attention-based Pointer Neural Network," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 175, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.tre.2023.103168.
- [5] P. Suanpang and P. Jamjuntr, "Optimizing Last-Mile Delivery By Deep Q-Learning Approach For Autonomous Drone Routing In Smart Logistics," *Oper. Res. Eng. Sci. Theory Appl.*, vol. 7, no. 2, Jun. 2024, doi: 10.31181/ORESTA190101S.
- [6] A. C. De Araujo and A. Etemad, "End-to-End Prediction of Parcel Delivery Time with Deep Learning for Smart-City Applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 23, pp. 17043–17056, Sep. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2021.3077007.
- [7] D. Lazarevic, M. Dobrodolac, M. Petrovic, and A. Tfunovic, "Application Of Geometric Modeling To Improve The Efficiency Of The Delivery Phase In The

- E-Commerce,” in *9th International Conference MoNGeometrija 2023*, 2023, pp. 381–388.
- [8] E. Shaklab *et al.*, “Towards Autonomous and Safe Last-mile Deliveries with AI-augmented Self-driving Delivery Robots,” May 2023, Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2305.17705v1>
- [9] C. K. Indira, N. Gayathrilahari, J. Jyoshna, A. Jyothi, M. S. C. Sruthi, and D. V. Saranya, “Automated Handwritten Letter Recognition using Optimized Deep Learning Model,” *2024 Int. Conf. Knowl. Eng. Commun. Syst. ICKECS 2024*, 2024, doi: 10.1109/ICKECS61492.2024.10617014.
- [10] D. Lazarevic, L. Švadlenka, V. Radojicic, and M. Dobrodolac, “New Express Delivery Service and Its Impact on CO2 Emissions,” *Sustain. 2020, Vol. 12, Page 456*, vol. 12, no. 2, p. 456, Jan. 2020, doi: 10.3390/SU12020456.
- [11] D. Lazarević and M. Dobrodolac, “Sustainability Trends In The Postal Systems Of Last-Mile Delivery,” *Perner’s Contacts*, vol. 15, no. 1, p. 2020, Jun. 2020, doi: 10.46585/PC.2020.1.1547.
- [12] W. L. Shang *et al.*, “Driving forces of CO2 emissions from the transport, storage and postal sectors: A pathway to achieving carbon neutrality,” *Appl. Energy*, vol. 365, p. 123226, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.APENERGY.2024.123226.
- [13] W. Chen, Y. Men, N. Fuster, C. Osorio, and A. A. Juan, “Artificial Intelligence in Logistics Optimization with Sustainable Criteria: A Review,” *Sustain. 2024, Vol. 16, Page 9145*, vol. 16, no. 21, p. 9145, Oct. 2024, doi: 10.3390/SU16219145.
- [14] M. S. Islam, S. F. R. Suad, and A. Rahman, “Leveraging AI to Overcome Key Challenges in Last-Mile Delivery: Enhancing Customer Experience and Operational Efficiency in E-commerce,” *Supply Chain Insid. | ISSN 2617-7420 (Print), 2617-7420*, vol. 14, no. 1, Oct. 2024, Accessed: Nov. 05, 2024. [Online]. Available: <https://supplychaininsider.org/ojs/index.php/home/article/view/118>
- [15] D. Pamucar, D. Lazarević, M. Dobrodolac, V. Simic, and Ö. F. Görçün, “Prioritization of crowdsourcing models for last-mile delivery using fuzzy Sugeno–Weber framework,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 128, p. 107414, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.ENGAPPAI.2023.107414.
- [16] I. A. Shah, N. Z. Jhanjhi, and S. K. Ray, “Artificial Intelligence Applications in the Context of the Security Framework for the Logistics Industry,” <https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-6684-6361-1.ch011>, pp. 297–316, Jan. 1AD, doi: 10.4018/978-1-6684-6361-1.CH011.

Abstract: *The paper examines some possibilities and effects of applying Artificial Intelligence (AI) in postal systems. A brief overview of the literature in this field and a review of the most commonly used solutions by leading global companies engaged in shipment delivery are presented. A survey was conducted to gather expert views on AI application in postal systems, aiming to identify key indicators that could guide the implementation and utilization of this concept and to analyze the main priorities, benefits, and challenges it presents.*

Keywords: *shipment delivery, artificial intelligence (AI), optimization, efficiency improvement, modern technological solutions*

POSSIBILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN POSTAL SYSTEMS

Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Aleksandar Trifunović, Maja Petrović

**TELEKOMUNIKACIONI
SAOBRAĆAJ, MREŽE I
SERVISI**

PRIMENA TEHNIKE OBLIKOVANJA SAOBRAĆAJA U BACKUP PROCESIMA

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
s.mitrovic@sf.bg.ac.rs, valentin@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Upravljanje lokalnim mrežnim saobraćajem često se oslanja na primenu odgovarajućih tehnika sa zadatkom kontrolisane upotrebe raspoloživih mrežnih kapaciteta u prisustvu konkurentnih mrežnih aktivnosti kao što su backup procesi. U ovom radu predstavljena je uporedna analiza primene algoritama za upravljanje paketskim redovima za čekanje, u okviru paketskog filtera za oblikovanje saobraćaja. Analizom je obuhvaćeno nekoliko algoritama koji su široko primenjeni u praksi, uključujući i algoritam za ravnomerno tretiranje paketa u redu za čekanje sa kontrolisanim kašnjenjem (Fair Queuing with Controlled Delay – FQ-CoDel). Cilj ove uporedne analize je da se ispita pogodnost upotrebe navedenih algoritama za potrebe realizacije backup procesa u lokalnoj računarskoj mreži.*

Gljučne reči: *oblikovanje saobraćaja, backup proces, paketski redovi, FQ-CoDel*

1. Uvod

Struktura savremenih servisa, koji su u upotrebi u lokalnim računarskim mrežama (LAN), u potpunosti reflektuje multifunkcionalnost potreba korisnika u pogledu pristupa podacima, multimedijalnim sadržajima, kao i načinu komunikacije. U skladu sa tim, lokalno serversko okruženje vrlo često ima kompleksnu strukturu, čiji je zadatak da na efikasan način realizuje interne servise koristeći raspoložive mrežne resurse. Imajući u vidu važnost obrađenih i razmenjenih informacija, proces formiranja i upravljanja rezervnim kopijama serverskih podataka, (odnosno tzv. *backup* proces) može se smatrati ključnom merom zaštite poslovnih i drugih procesa u okviru posmatranih institucija, gde rezervne kopije služe kao prva linija odbrane od gubitka podataka usled slučajnog brisanja, sajber-napada, zagušenja, kvarova na hardveru ili katastrofalnih događaja. Proces formiranja rezervnih kopija, po pravilu predstavlja upravljivu seriju realizacija zadataka koji se odnose na kopiranje i skladištenje podataka sa primarnih namenskih servera na tzv. *backup* servere. U zavisnosti od operativne uloge u poslovnim procesima, pojedini servisi mogu zahtevati različite prioritete prenosa podataka i organizaciju sistema skladištenja, zbog čega konfiguracije formiranja rezervnih kopija direktno utiču na trajanje, pouzdanost i ukupan uspeh procesa pravljenja rezervnih kopija. Na ovaj način, *backup* proces može imati određeni uticaj na performanse lokalne računarske

mreže tokom i/ili van radnog vremena, u zavisnosti od definisane konfiguracije, na taj način što može izazvati pojavu kašnjenja u prenosu podataka drugih namena, kao i usporavanje ostalih poslovnih i drugih operacija čija se efikasnost oslanja na određen nivo raspoloživih resursa posmatrane LAN mreže u datom trenutku. Zbog toga, uvođenje mehanizama upravljanja saobraćajem predstavlja neophodan korak koji vodi ka efikasnijoj upotrebi raspoloživih resursa na posmatranoj LAN mreži.

Imajući navedeno u vidu, u ovom radu biće predstavljena uporedna analiza primene algoritama za upravljanje paketskim redovima za čekanje, u slučaju realizacije *backup* procesa u lokalnoj računarskoj mreži. Uporedna analiza će obuhvatiti nekoliko algoritama koji su široko primenjeni u praksi (odnosno u komercijalno dostupnim mrežnim uređajima), uključujući i algoritam za ravnomerno tretiranje paketa u redu za čekanje sa kontrolisanim kašnjenjem (*Fair Queuing with Controlled Delay* – FQ-CoDel). Ispitivani algoritmi su pozicionirani unutar mehanizma za primenu saobraćajnih polisa ili za oblikovanje saobraćaja baziranom na primeni tzv. algoritma klasične (jednostruke) korpe sa žetonima (*Token Bucket algorithm* - TB). Prikazani eksperiment je osmišljen sa ciljem da evaluiira efikasnost primene navedenih algoritama u uslovima simulacije prenosa *backup* podataka u prisustvu različitih tokova podataka za druge namene.

Ostatak rada je struktuiran na sledeći način: u drugom poglavlju prikazan je pregled najvažnijih elemenata *backup* procesa, kao i značaj primene mehanizama kontrole mrežnog saobraćaja prilikom realizacije ove vrste serverskih aktivnosti. U trećem poglavlju prikazan je pregled algoritama za upravljanje paketskim redovima za čekanje. Četvrto poglavlje sadrži opis sprovedenog eksperimenta, kao i prikaz dobijenih rezultata, sa odgovarajućim zaključcima na kraju rada.

2. Backup proces i kontrola saobraćaja

Backup proces, odnosno proces pravljenja rezervnih kopija podataka, može biti organizovan na nivou svakog pojedinačnog servera ili na grupi servera, koji svi mogu biti u okviru iste LAN mreže ili podeljeno – u okviru LAN mreže i u WAN okruženju (u okviru definisanih *Disaster Recovery* centara ili drugih lokacija te namene). Takođe nije redak slučaj da se *backup* proces odvija i u kombinovanim režimima. U okviru posmatrane LAN mreže, u ovom procesu po pravilu učestvuje veći broj servera, koji svoje sadržaje kopiraju na jedan ili nekoliko namenskih *backup* servera. Serveri koji treba da kopiraju svoje sadržine, mogu biti namenski (*dedicated*) serveri ili serveri koji hostuju virtuelizovane mašine, odnosno druge virtuelizovane servere. U tom smislu, rezervne kopije podataka mogu se pojaviti u obliku [1]:

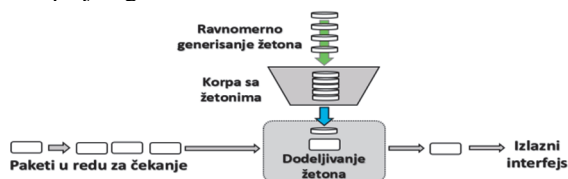
- *celokupnih* rezervnih kopija (*full backup*), koje predstavljaju kopije celokupnih sadržaja posmatranih medija na kojima su uskladišteni originalni podaci. *Celokupne* rezervne kopije mogu se kroz mrežu prenositi u originalnom ili kompresovanom režimu ka odgovarajućoj lokaciji na *backup* serveru. Ova vrsta kopije omogućava jednostavnu rekonstrukciju originalnih sadržaja, ali zahteva veći skladišni prostor na *backup* serveru, kao i duže vreme za prenos kopije kroz mrežu;
- *bare metal* kopija, koje u jednoj datoteci sadrže kompletnu strukturu podataka jedne skladišne jedinice (cele particije ili *hard drive*) originalnog servera. Ovakva struktura može uključivati i kompletan operativni sistem, koji se može koristiti i za potrebe eventualne rekonstrukcije na praznom medijumu u slučaju većih oštećenja originalne infrastrukture;

- *inkrementalnih* rezervnih kopija, koje sadrže samo one promene koje su napravljene u periodu od formiranja poslednje rezervne kopije (bilo da se radi inicijalno formiranoj celokupnoj kopiji ili prethodno formiranoj inkrementalnoj kopiji). Primene inkrementalnog principa podrazumeva mogućnost da se vrši pristup uskladištenim kopijama na *backup* serveru radi identifikacije razlika. Proces formiranja inkrementalnih kopija može biti značajno brži u poređenju sa procesom formiranja celokupnih rezervnih kopija, ali zahteva više vremena za rekonstrukciju sadržaja na originalnim skladišnim lokacijama;
- *diferencijalnih* rezervnih kopija, koje sadrže one promene koje su napravljene u periodu od formiranja celokupne kopije. Proces formiranja diferencijalnih kopija zahteva više vremena u poređenju sa slučajem formiranja inkrementalnih kopija, ali sa druge strane zahteva manje vremena potrebnog za rekonstrukciju sadržaja na originalnim skladišnim lokacijama.

Osim navedenih koncepata formiranja rezervnih kopija postoji i koncept formiranja tzv. brzih snimaka (*snapshots*). *Snapshot*-ovi predstavljaju zamrznutu sliku svih podataka u vreme pravljena rezervne kopije, zbog čega su pogodni za primenu u slučajevima kada treba izvršiti trenutni oporavak u slučaju gubitka podataka, oštećenja ili kvarova sistema [2]. Formiranje *snapshot*-ova je korisno u okruženjima kao što su virtuelne mašine gde stanja servera mogu varirati u zavisnosti od aktivnosti. Ipak, primena *Snapshot* koncepta ima i određene nedostatke. Naime, *snapshot*-ovi se obično čuvaju na istim serverima koji hostuju i virtuelne mašine, tako da u slučaju ugroženosti *host* servera mogu biti ugroženi i *snapshot*-ovi koji su uskladišteni na istoj lokaciji. Takođe, ukoliko server formira previše *snapshot*-ova, performansa njegovog rada može opasti tokom vremena eksploatacije. Važno je napomenuti i da *snapshot*-ovi sami po sebi ne predstavljaju datoteke koje se mogu *ad-hoc* koristiti za čuvanje podataka u backup procesu (kao što je to slučaj sa *bare metal* kopijama), imajući u vidu da su *snapshot*-ovi inherentno zavisni od korespondentnog virtuelnog diska pripadajuće virtuelne mašine. Ipak, savremena rešenja za formiranje rezervnih kopija virtuelnih diskova mogu da formiraju upotrebljive kopije bez gašenja virtuelnih mašina na osnovu stanja *snapshot*-ova primenom posebnih mehanizama replikacije na alternativnu skladišnu lokaciju [3]. Tek nakon završetka tog procesa, rezultujuće *backup* datoteke mogu se preneti u skladišni prostor određenog *backup* servera.

Imajući navedeno u vidu, savremeni pristupi vezani za strategije formiranja rezervnih kopija imaju hibridni karakter, kojima se kombinuje formiranje svih navedenih oblika rezervnih kopija, kao i *snaphot*-ova zavisno od namene. Raspoloživost kapaciteta odgovarajućih mrežnih resursa ima važnu ulogu u realizaciji efikasnog *backup* procesa. Tome u najvećoj meri doprinosi činjenica da su TCP protokoli, koji po pravilu služe za prenos podataka, konekciono orjentisani i po svojoj prirodi skloni zauzimanju svog raspoloživog kapaciteta posmatrane veze koji im stoji na raspolaganju. Na ovaj način TCP protokoli doprinose formiranju tzv. *bursty* karaktera mrežnog saobraćaja kojim se dovodi do generisanja veoma velikog broja paketa u jedinici vremena. Zbog toga može da se desi da procesi formiranja i prenosa rezervnih kopija kroz mrežu utiču na pad performansi mreže i na taj način uspore ili čak ugroze druge poslovne i ostale procese koje se oslanjaju na određen nivo raspoloživosti kapaciteta mrežnih resursa. Da bi se u prisustvu aktivnih *backup* procesa obezbedila i realizacija drugih aktivnosti koje se oslanjaju na obradu podataka u realnom vremenu koristeći resurse posmatrane LAN mreže, potrebno je uvesti mehanizme upravljanja mrežnim saobraćajem. Ovo se postiže

definisanjem određenih tipova mrežnog saobraćaja kojima se dodeljuju odgovarajući nivoi prioriteta radi realizuje kritičnih poslovnih funkcija. Upravljanje lokalnim mrežnim saobraćajem se pored primene virtuelnih LAN mreža (odnosno, VLAN-ova na *Data-Link* sloju) namenskog rutiranja saobraćaja (na mrežnom sloju), često oslanja na primenu tehnika saobraćajnih polisa (*Traffic Policing*), kao i tehnika oblikovanja saobraćaja (*Traffic Shaping*). Obe tehnike pružaju mogućnost kontrolisane upotrebe raspoloživih mrežnih kapaciteta u prisustvu konkurentnih mrežnih aktivnosti, na taj način što će limitirati *bursty* karakter mrežnog saobraćaja na nivo koji je neophodan za realizaciju posmatranih procesa u celini. U ovom slučaju konkurentnost se upravo javlja između *backup* procesa sa jedne strane i drugih vrsta mrežnih aktivnosti sa druge, pri čemu svi procesi konkurišu za što veći udeo u zauzimanju tzv. tehničkog (tj. realnog) propusnog opsega linka (*Access Information Rate* - AIR). S druge strane, limitiranje pojedinih mrežnih procesa u pogledu upotrebe AIR, sprovodi se tako da se koristi definisani udeo propusnog opsega (*Committed Information Rate* - CIR) [4], kojim se garantuje mogućnost realizacije u definisanom vremenu. Limitiranje resursa sprovodi se upotrebom kontrole protoka paketa tako što paketi mogu ulaziti u paketski filter bilo kojim intenzitetom, ali je učestanost njihovog izlaza iz filtera određena dužinom reda za čekanje, kao i načinom na koji se „odobrava“ njihov izlazak iz posmatranog paketskog filtera. Dakle, algoritmi upravljanja redom za čekanje i algoritmi „odobravanja“ izlaska paketa se razlikuju po svojoj ulozi i mogu imati različiti uticaj na efikasnost rada paketskog filtera u zavisnosti od vrste primenjenih algoritama. U ovako koncipiranim paketskim filterima, odobravanje izlaska paketa se često realizuje primenom algoritma tzv. *korpe žetona* (*Token bucket* - TB) [5]. Ovaj algoritam je zasnovan na metafori tzv. *korpe* koja se puni *žetonima* tokom vremena, pri čemu nadalje svaki *žeton* „ispada“ iz *korpe* i dodeljuje se ili definisanoj jediničnoj količini podataka (u bajtovima/bitima) ili se dodeljuje samom paketu. *Žeton* predstavlja vrstu dozvole da posmatrani paket može napustiti paketski filter ka definisanom izlaznom interfejsu (Slika 1). Princip rada *korpe sa žetonima*, zasnovan je na sledećim pravilima: *žetoni* se uvek generišu ravnomerno, u istim vremenskim intervalima. Nadalje, *korpa* ima limitiran kapacitet, odnosno broj *žetona* koji može stati u korpu je ograničen.



Slika 1. Princip rada korpe sa žetonima

Kada *korpa* biva u potpunosti napunjena *žetonima*, svaki naknadno generisani *žeton* može se odbaciti ili se može prebaciti u drugu korpu, u slučaju kompleksnijih algoritama. To znači da se, u nekoj jedinici vremena, na izlasku iz TB paketskog filtera može pojaviti onoliko paketa koliko ima *žetona* u korpi. Na taj način kapacitet *korpe* definiše veličinu *burst*-a, koji se može pojaviti na izlasku iz filtera. S druge strane, ukoliko tokom nailaska paketa ponestane *žetona* u *korpi*, paket će biti tretiran u zavisnosti od tehnike koja je primenjena u tom slučaju:

- ukoliko je primenjena tehnika saobraćajnih polisa, posmatrani paket će biti odbačen;

- ukoliko je primenjena tehnika oblikovanja saobraćaja, paket će biti „stavljen na čekanje” da se nova količina *žetona* generiše i smesti u *korpu*, dok u slučaju kompleksnijih algoritama može biti „preusmeren” na sekundarnu *korpu* koja može biti u ravnopravnom ili hijerarhijskom položaju [6, 7] u odnosu na primarnu *korpu* [8]. Pored navedenog, u TB paketskim filterima, značajnu ulogu imaju i redovi za čekanje paketa. Način na koji se paketi iz reda za čekanje mogu slati na pridruživanje sa žetonom, može u velikoj meri uticati na regulaciju tokova saobraćaja, koji se generišu u multikorisničkom okruženju uz pridržavanje zadatah CIR ograničenja. Shodno navedenom, u narednom poglavlju će biti predstavljen kratak pregled onih algoritama za upravljanje paketima u redovima za čekanje, koji su široko zastupljeni u komercijalno dostupnim uređajima za rutiranje mrežnog saobraćaja.

3. Pregled algoritama za formiranje paketskih redova za čekanje

Paketski red za čekanje ima ulogu privremenog bafera gde se dolazni paketi prihvataju i čuvaju po odgovarajućem setu pravila, odnosno algoritmu pre nego što bivaju poslani na pridruživanje sa žetonima. Paketski red za čekanje ima dužinu koja se podešava u skladu sa primenjenim algoritmom za opsluživanje paketa. Ukoliko nadolazeći paketi premaše definisani prag maksimalno dozvoljenog intenziteta saobraćaja, nadolazeći paketi mogu biti odbačeni (tehnika saobraćajne polise) ili stavljeni na čuvanje (tehnika oblikovanja saobraćaja). U tom slučaju, nadolazeći paketi će biti zadržani u onom broju koji odgovara definisanoj dužini reda, dok će prekobrojni paketi biti odbačeni (tzv. *tail-drop* efekat) [9]. Način na koji se rukuje paketima unutar reda je regulisan posebnim algoritmima, među kojima se izdvajaju tipski algoritmi (slika 2):

- algoritam *First-In-First-Out* (FIFO) je osnovni algoritam čekanja u redu gde se paketi propuštaju tačno onim redosledom kojim su i pristigli. U FIFO algoritmu ne postoji prioritet ili kategorizacija paketa, odnosno svaki paket čeka u redu onoliko koliko je potrebno da se svakom od paketa dodeli po jedan žeton, na putu ka izlazu iz paketskog filtera. Iako navedene karakteristike čine FIFO algoritam veoma brzim, podjednak tretman svakog paketa umanjuje adekvatnost primene ovog algoritma. To je posebno uočljivo u slučajevima kada treba klasifikovati dolazni saobraćaj po nekoj vrsti prioriteta, jer može doći do kašnjenja visoko priritetnog saobraćaja u slučajevima kada je red za čekanje popunjen paketima koji su nižeg prioriteta [10];
- SFQ (*Stochastic Fairness Queuing*) algoritam je jedan od algoritama koji su osmišljeni da otklone nedostatak prioritizacije paketa, sa ciljem da se raspoloživi kapacitet pravično raspodeli u odnosu na posmatrane tokove podataka. U tom smislu, SFQ opslužuje dolazni saobraćaj na taj način što upotrebom funkcije za heširanje klasifikuje dolazne pakete na osnovu određenog broja identifikatora i smešta ih u određen broj FIFO bafera (obično 1024), gde svaki od njih ima podjednake šanse da bude opslužen u daljem procesu. Paketi koji se nalaze na izlazima iz FIFO grupe bafera, nadalje se preuzimaju – po jedan iz svakog bafera u cikličnom (*Round-Robin*) maniru i smeštaju u red za dodeljivanje žetona na putu ka izlazu iz paketskog filtera [10]. Iako je princip pravičnosti pri izboru tokova saobraćaja izraženiji u poređenju sa FIFO algoritmom, nedostatak SFQ algoritma se ogleda u pravičnosti izbora saobraćajnih tokova u odnosu na izvor/korisnika. Naime, u situaciji u kojoj jedan korisnik generiše saobraćaj sa jednim tokom, a drugi korisnik generiše saobraćaj sa n

saobraćajnih tokova – SFQ algoritam će dati drugom korisniku n puta više šansi da bude opslužen u poređenju sa prvim korisnikom;

- PCQ (*Per Connection Queuing*) algoritam, predstavlja unapređenu verziju SFQ algoritma, na taj način što dvofazno koristi baferu za klasifikaciju paketa. Naime, u prvoj fazi, paketi se klasifikuju po tokovima saobraćaja (i smeštaju u primarnu FIFO grupu bafera), da bi se u drugoj fazi dodatno klasifikovali po kriterijumu pripadnosti posmatranih tokova u odnosu na izvorišnu adresu (*source-address* klasifikator), na osnovu čega se vrši pregrupisanje paketa i njihovo smeštanje u sekundarnu grupu FIFO bafera. Nadalje, kao i u slučaju SFQ algoritma, paketi se preuzimaju – po jedan iz svakog bafera u cikličnom (Round-Robin) maniru i smeštaju u red za dodeljivanje žetona na putu ka izlazu iz paketskog filtera [11];
- RED (*Random Early Detection*) algoritam proaktivno kontroliše stepen zauzetosti paketskog reda za čekanje sa ciljem da izbegne potpunu zauzetost bafera. Kontrola stepena zauzetosti vrši se u odnosu na prosečnu dužinu reda na sledeći način: RED prati prosečnu dužinu reda i ukoliko se ova veličina počne približavati definisanom pragu, algoritam počinje nasumično da odbacuje pristigle pakete [12]. Ovakav pristup kontroli zagušenja sprečava uticaj pojave velikog stepena gubitaka paketa kod iznenadnih i velikih *burst*-ova, do kojih može u slučajevima kada se paketski red za čekanje potpuno popuni. Smanjenjem broja odbačenih paketa na kontrolisan način, RED minimizira verovatnoću pojave *tail-drop* efekta, čime se može doprineti uspostavljanju konsistentnijeg protoka, kao i manjeg kašnjenja u slučaju aktivnih tokova. Ipak, ovaj algoritam ima i nedostatak koji se ogleda u velikom broju različitih parametara, tako da je veoma komplikovan za podešavanje [13].
- FQ-CoDel (*Fair Queuing with Controlled Delay*) algoritam se smatra naprednim algoritmom koji pripada klasi algoritama za aktivno upravljanje paketskim redovima za čekanje (*Active Queue Management - AQM*). Ovaj algoritam funkcioniše tako što razdvaja saobraćaj u pojedinačne tokove i na svaki primenjuje poseban algoritam kontrolisanog kašnjenja (*Controlled Delay Active Queue Management – CoDel*, IETF RFC 8289) [14]. CoDel algoritam minimizira kašnjenje praćenjem vremena čekanja paketa i selektivnim propuštanjem paketa samo kada kašnjenja pređu određeni prag. Izolujući tokove i aktivno upravljanje kašnjenjem, FQ-CoDel algoritam obezbeđuje tzv. *pravednu* distribuciju propusnog opsega i nizak nivo kašnjenja. Posebno je efikasan u smanjenju *buffer-bloat* stanja, u kojem prekomerno baferovanje dovodi do značajnog povećanja nivoa kašnjenja u mreži [15]. FQ-CoDel algoritam je detaljno definisan u dokumentu IETF RFC 8290 [16].

4. Opis eksperimenta i dobijeni rezultati

Za potrebe uporedne analize pojedinih algoritama za upravljanje paketskim redovima za čekanje, prilikom realizacije *backup* procesa u lokalnoj računarskoj mreži, sproveden je eksperiment koji je realizovan u laboratorijskim uslovima. Eksperiment je sproveden na način koji bi trebalo da simulira realno mrežno okruženje na osnovu sledećih pretpostavki:

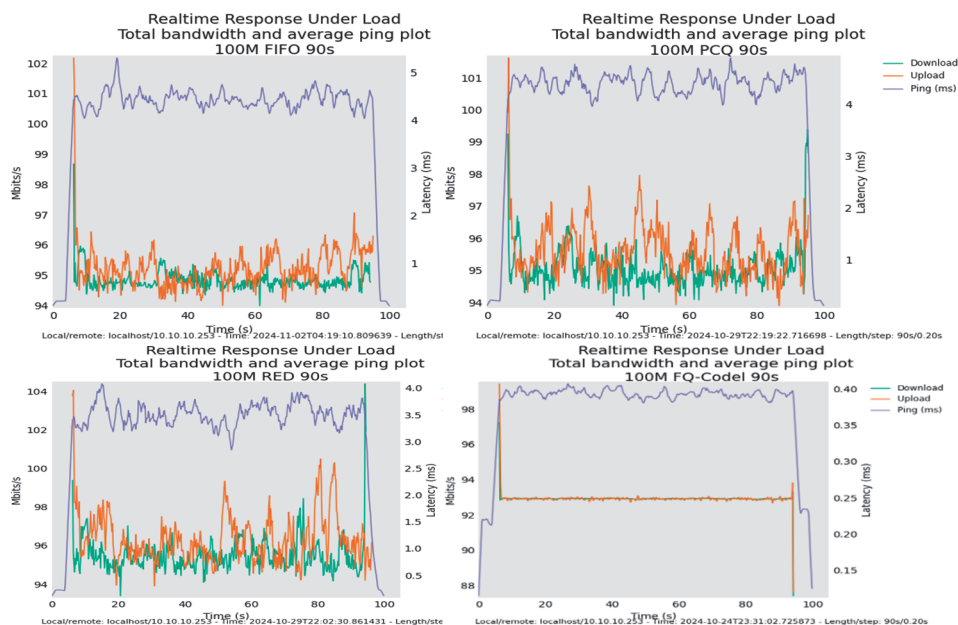
1. *backup* proces može se sprovoditi, kako van radnog vremena, tako i u toku radnog vremena. S tim da je scenario kompleksniji kada se ovaj proces sprovodi u toku radnog vremena, odnosno kada postoji veći broj mrežnih aktivnosti koji su vezani za kritične procese. Analizom svih aktivnosti došlo se do zaključka da vrednost

- CIR za realizaciju *backup* procesa na posmatranoj LAN mreži može iznositi do 10% ukupno raspoloživog kapaciteta upotrebljenih mrežnih linkova;
2. svi serveri koji formiraju kopije sadržaja svojih skladišnih prostora su aktivni u toku realizacije *backup* procesa. To znači da navedeni mrežni interfejsi vrše razmenu podataka, kako za *backup* procese, tako i za sve ostale servise za koje su primarno konfigurisani;
 3. svi posmatrani *host* serveri koji imaju mogućnost formiranja *snapshot*-ova, imaju mogućnost i replikacije skladišnog prostora virtualne mašine bez njenog gašenja;
 4. operativni serveri i *backup* serveri su na *Data-Link* sloju locirani u različitim VLAN-ovima. To znači da je za njihovu komunikaciju na mrežnom sloju zadužen mrežni ruter, koji sa ovim serverima razmenjuje podatke preko korespondentnih *default-gateway* adresa;
 5. navedeni mrežni ruter je softverski orijentisan, sa operativnim sistemom koji podržava rad prikazanih paketskih redova za čekanje.

Imajući u vidu navedene pretpostavke, kao i raspoloživu opremu u trenutku sprovođenja eksperimenta, formirana je laboratorijska instalacija, koja se sastoji od upravljivog gigabitnog sviča TP-Link TL-SG3428, mrežnog rutera Mikrotik CCR200416G-2S+, dva računara sa gigabitnim portovima i sa instaliranim operativnim sistemima OpenSUSE Leap 15.6. Navedeni računari su deo hardvera neophodnog za pokretanje programskog paketa Flent (*The FLExible Network Tester*), koji je dizajniran za pokretanje i agregiranje različitih tipova mrežnih testova. Flent je posebno pogodan za merenje performansi (*benchmarking*) mreže, jer može da pruži detaljan uvid u ponašanje mreže posebno u scenarijima koji zahtevaju istovremeno testiranje različitih parametara [17]. U tom smislu, ovaj softverski paket može da oponaša opterećenje mreže u multiservisnom okruženju u realnim uslovima i da istovremeno pokrene testove kašnjenja, kao i druge *benchmarking* testove, da bi se moglo proceniti kako posmatrana mreža funkcioniše u prisustvu različitih tokova saobraćaja uključujući i scenario u kome je na mreži prisutan i mehanizam za oblikovanje saobraćaja. U tom smislu, Flent sadrži *Netperf* modul za potrebe realizacije *benchmarking*-a, za čiji rad je potrebno prisustvo dva računara koji u toku realizacije eksperimenta dobijaju uloge klijenta i servera.

Eksperiment je sproveden realizacijom *The Realtime Response Under Load* (RRUL) testa [18], koji generiše opterećenje mreže realizujući scenario „najgoreg mogućeg slučaja“ i u tim uslovima meri odziv u realnom vremenu, relativne performanse TCP i UDP tokova različitih brzina i dr. U konkretnom slučaju, upotrebljeno je klasično RRUL opterećenje mreže koje se sastoji od osam TCP tokova (po četiri u *uplink* i *downlink* smerovima), čime se pouzdano postiže zasićenje kapaciteta analiziranog linka, kao i svih bafera koji su uključeni u transport paketa [18]. RTT (*Round Trip Time*) vrednosti mere se upotrebom ICMP protokola (*ping*) i UDP protokola (*roundtrip time*). Podešeno je da se nivo ostvarenog intenziteta *backup* procesa, u prisustvu tokova drugih namena, meri generisanjem saobraćaja u trajanju 90 sec, s tim što ukupan test ima trajanje 100 sec, jer se definisanom trajanju dodaju dva perioda od po 5 sec potrebnih za formiranje tzv. *baseline* stanja na početku i na kraju testa. Na mrežnim ruteru, izvršene su sledeće pripreme radnje: definisanje VLAN-ova na *Data-Link* sloju; definisanje korespondentnih adresnih opsega i *default-gateway* vrednosti (na osnovu čega su na računarima dodeljene adekvatne fiksne IP adrese); pojedinačna podešavanja jednostrukog paketskog reda za primenu FIFO, PCQ, RED i FQ-CoDel algoritama. Ovi redovi su aktivirani - jedan po jedan i za svaki od njih je tri puta puštan u rad RRUL test. Za

uporednu analizu, uzet je najboljši od tri dobijena rezultata testiranja, gde svaki grafikon sadrži ostvarene bitske brzine za *upload* i *download* podataka, kao i vrednost RTT dobijenu na osnovu primene *ping* testa (Slika 2).



Slika 2. Rezultati sprovedenih RRUL testova

Algoritam oblikovanja saobraćaja za sve testove podešen je na sledeći način: svi posmatrani linkovi tokom eksperimenta imaju isti kapacitet od 1 Gb/s, CIR za *korpu žetona* (TB) podešen je na 100 Mb/s (odnosno na 10% od kapaciteta posmatranih linkova), veličina *korpe žetona* definisana je na 10% CIR. Shodno navedenom, dobijeni rezultati o prenosu podataka tokom realizacije *backup* procesa u trajanju od 90 sec prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Performanse algoritama primenjenih u realizaciji backup procesa

Red	Preneto bajtova (MB)		Preneto paketa		Odbačeno paketa		CPU load (%)
	Upload	Download	Upload	Download	Upload	Download	
FIFO	1.077,6	1.089,2	1.256.176	1.252.726	26.131	24.045	10
PCQ	1.079,3	1.088,7	1.232.367	1.241.605	27.038	28.545	13
RED	1.101,5	1.079,4	1.197.670	1.203.497	24.363	25.373	12
FQ-CoDel	1.079,9	1.077,9	1.935.651	1.932.095	0	0	17

Dobijeni rezultati ukazuju da je količina podataka, koja se prenosi tokom realizacije *backup* procesa, približna u slučaju primene svih analiziranih algoritama za opsluživanje paketa u redovima za čekanje. S druge strane, rezultati sprovedenih RRUL testova (Slika 2) pokazali su da je primena FQ-CoDel algoritma u procesu oblikovanja

saobraćaja uticala na izrazito povećanje stabilnosti prenosa podataka, u poređenju sa primenom tradicionalnih algoritama. Daljom analizom Tabele 1, može se uočiti da je tokom sprovedenih testova broj prenesenih paketa u slučaju primene FQ-CoDel algoritma za oko 60% veći u odnosu na broj paketa koji je prenesen primenom drugih algoritama. To se može objasniti povećanim stepenom aktivacije TCP *slow-start* mehanizma, koji ovaj algoritam koristi tokom separacije tokova saobraćaja na veći broj redova, čime umanjuje verovatnoću pojave *burst*-ova. Ovo se može uočiti i po tome što je broj odbačenih paketa u samom filteru jednak nuli (za razliku od FIFO i PCQ algoritama, u kojima je nivo gubitaka paketa nešto manji od 2%), gde ovaj algoritam prikazuje efikasnost kontrole upravljanja baferima, u poređenju sa ostalim algoritmima (sa izuzetkom RED algoritma, kod koga je odbacivanje paketa princip rada). Treba napomenuti da se kompleksnost analiziranih algoritama tokom realizacije eksperimenata reflektovala na procesorsko opterećenje, gde su prosečne vrednosti opterećenja bile najveće u slučaju FQ-CoDel i PCQ algoritama.

5. Zaključak

Positivni efekti primene tehnika oblikovanja saobraćaja dodatno su izraženi izborom odgovarajućeg algoritma za upravljanje paketskim redovima, Zbog toga je u ovom istraživanju sproveden eksperiment, u kome je izvršena uporedna analiza primene ovih algoritama u slučaju kada je u LAN mreži potrebno realizovati prenose podataka inicirane serverskim *backup* procesima. Eksperiment je uključio FIFO, PCQ, RED i FQ-CoDel algoritme, nad kojima je sprovedeno testiranje upotrebom programskog paketa *Flent*. Rezultati eksperimenta pokazali su izrazitu stabilnost mrežnih tokova prilikom transporta podataka u slučaju primene FQ-CoDel algoritma. Rezultat pokazuje da primena AQM algoritama može pozitivno uticati na stabilnost tokova saobraćaja u slučajevima kada je potrebno realizovati zahtevne procese transporta podataka u prisustvu drugih mrežnih procesa koji su osetljivi na kašnjenje, odnosno na pojavu zagušenja na mreži.

Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] S. Gnanasundaram, A. Shrivastava, "Information storage and management: Storing, managing, and protecting digital information in classic, virtualized, and cloud environments", John Wiley & Sons, 2012.
- [2] Cohesity, "Key concepts and best practices for snapshot backup", 17.7.2024. [Online]. Dostupno: <https://www.cohesity.com/glossary/snapshot-backup/>.
- [3] TuxCare, "Linux KVM Backup and Recovery: Expert Tips", 24.7.2024. [Online]. Dostupno: <https://tuxcare.com/blog/linux-kvm-backup-and-recovery-expert-tips/>.
- [4] D. Medhi, K. Ramasamy, "Traffic Conditioning", pp. 626–644, 2018.
- [5] Y. Guo, "Comparison between token bucket algorithms in QoS technology", *ZTE Commun.*, Vol. 13, pp. 56–60, 2007.

- [6] X. Li, "Research based on multilayer token re-allocation traffic shaping", M.S. thesis, College Comput. Sci. Technol., Nat. Univ. Defense Technol., Changsha, China, 2010.
- [7] R. Wang, W. Chi and H. Zhang, "Adaptive traffic shaping policy based on token bucket algorithm of wireless-optical broadband access network", *Journal of Electronics & Information Technology*, Vol. 39, pp. 1401–1408, 2017.
- [8] H. Fu, M. Sun, B. He, J. Li and X. Zhu, "A survey of traffic shaping technology in internet of things", *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 3794–3809, 2022.
- [9] G. D. Orueta, E. S. C. Ruiz, N. O. Alonso and M. C. Gil, "Quality of service", *Industrial Communication Systems*, 2016., <https://doi.org/10.1201/b16521-13>.
- [10] N. Harshini, *Measuring And Modeling Of Open vSwitch Performance: Implementation in Docker*, 2016.
- [11] D. Iswadi, R. Adriman / R. Munadi, "Adaptive Switching PCQ-HTB Algorithms for Bandwidth Management in RouterOS", pp. 61–65, August 2019.
- [12] S. Floyd and V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, pp. 397–413, 1993.
- [13] T. A. Trinh and S. Molnár, "A Comprehensive Performance Analysis of Random Early Detection Mechanism", *Telecommunication Systems*, Vol. 25, pp. 9–31, January 2004.
- [14] K. Nichols, V. Jacobson, A. McGregor and J. Iyengar, *IETF RFC 8289: Controlled Delay Active Queue Management*, RFC Editor, 2018.
- [15] V. G. Cerf, „Bufferbloat and Other Internet Challenges,“ *IEEE Internet Computing*, Vol. 18, pp. 80–80, September 2014.
- [16] T. Høiland-Jørgensen, P. McKenney, J. Gettys and E. Dumazet, "The Flow Queue CoDel Packet Scheduler and Active Queue Management Algorithm", RFC, 2018.
- [17] J. Kim and J. H. Lee, "Performance Evaluation of Queueing Mechanisms for Network-based Intrusion Prevention System", *SCIS & ISIS 2010*, Dec. 8-12, 2010.
- [18] D. Täht, "Realtime Response Under Load (RRUL) Specification", 6.11.2012. [Online]. Dostupno: https://www.bufferbloat.net/projects/bloat/wiki/RRUL_Spec/.

Abstract: *Local network traffic management based on application of the appropriate techniques with the task of controlling the use of available network capacity in the presence of competing network activities such as backup processes. This paper will present a comparative analysis of the queue algorithms in terms of traffic shaping. The analysis includes several algorithms that are widely used in practice, including the Fair Queueing with Controlled Delay - FQ-CoDel algorithm. The aim of this comparative analysis is to examine the convenience of using the mentioned algorithms when the backup process is deployed among other services, which operate in a local area network environment.*

Keywords: *traffic shaping, backup process, packet queues, FQ-CoDel*

TRAFFIC SHAPING TECHNIQUES: APPLICATION IN BACKUP PROCESSES

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954899/POSTEL.2024.14>

PRIMENA, ARHITEKTURE I BEZBEDNOST VANET MREŽA ZASNOVANIH NA SDN TEHNOLOGIJI

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica, Mirjana Stojanović,
Momir Manović

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
a.kostic@sf.bg.ac.rs, b.mikavica@sf.bg.ac.rs
m.stojanovic@sf.bg.ac.rs, m.manovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *VANET (Vehicular Ad Hoc Network) mreže su prepoznate kao jedna od ključnih tehnologija koje mogu doprineti poboljšanju bezbednosti u saobraćaju. Problem komunikacije u VANET mrežama je izazovan, jer uključuje mobilnost čvorova, dinamičan kanal komunikacije i prepreke u komunikaciji. Za rutiranje paketa u mreži koriste se različiti distribuirani ad-hoc protokoli rutiranja. SDN (Software-Defined Networking) pretpostavlja novu ideju upravljanja mrežom, gde dolazi do razdvajanja kontrolne ravni i ravni podataka. Sve kontrolne funkcije smeštene su u centralizovani entitet koji se naziva kontroler. Inicijalno, SDN je bio namenjen isključivo mrežama sa žičnim medijumom prenosa, ali je vremenom razvijena podrška i za bežičnu komunikaciju. Ovo je omogućilo integraciju SDN mreža sa VANET mrežama i otvorilo brojna nova rešenja koja pre SDN-a nisu bila moguća u VANET-u. U ovom radu razmatrane su SDN VANET mreže, njihova arhitektura i problemi bezbednosti. Takođe, dat je pregled sajber napada koji su mogući u SDN mrežama, kao i simulacija jednog DDoS (Distributed Denial-of-Service) napada na SDN-VANET mrežu.*

Ključne reči: *Softverski definisane mreže, VANET, bezbednost, DoS, ARP flood*

1. Uvod

Inteligentni transportni sistemi (*Intelligent Transportation Systems, ITS*) predstavljaju aktivnu oblast istraživanja, jer veliki broj istraživača smatra da ITS ima potencijal za rešavanje brojnih problema u saobraćaju. Intenzivna urbanizacija prouzrokovala je migraciju velikog broja stanovnika u gradove što je dovelo do prenaseljenosti gradskih sredina. Sa porastom broja stanovnika, porastao je i broj vozila koja se svakodnevno nalaze na kolovozima gradova. Posledice su gužve u saobraćaju, zagađenje i veliki broj saobraćajnih nezgoda. Iako se saobraćajne regulative u oblasti bezbednosti saobraćaja stalno unapređuju, broj žrtava i dalje ostaje visok. Svetska zdravstvena organizacija (*World Health Organization, WHO*) je 2023. godine objavila podatak da godišnje 1,19 miliona ljudi strada u saobraćajnim nezgodama, od kojih su više od polovine ranjivi učesnici u saobraćaju, kao što su pešaci i biciklisti [1].

ITS pruža vozilima mogućnost komunikacije i razmene informacija koje mogu pomoći u izbegavanju problema u saobraćaju. Brojna istraživanja pokušavaju da iskoriste

ovu mogućnost za rešavanje problema bezbednosti u saobraćaju. Međutim, komunikacija između vozila predstavlja zaseban problem. Dinamični uslovi prenosa signala, koji su prouzrokovani mobilnošću čvorova otežavaju komunikaciju bez grešaka koja je neophodna za povećanje bezbednosti.

Trenutno najčešći način komunikacije između vozila je bežična *ad-hoc* komunikacija, a mreža vozila koja koriste ovaj način komunikacije naziva se VANET (*Vehicle Ad Hoc Network*) mreža. *Ad hoc* komunikacija podrazumeva direktnu komunikaciju između vozila, kao i komunikaciju između vozila i infrastrukture. Glavna karakteristika ovih mreža su česte promene topologije, što otežava održavanje pouzdanog kanala komunikacije tokom dužeg vremenskog perioda. Ovaj problem danas je tema velikog broja istraživanja, čiji je cilj pronalaženje efikasnog algoritma rutiranja [2-3].

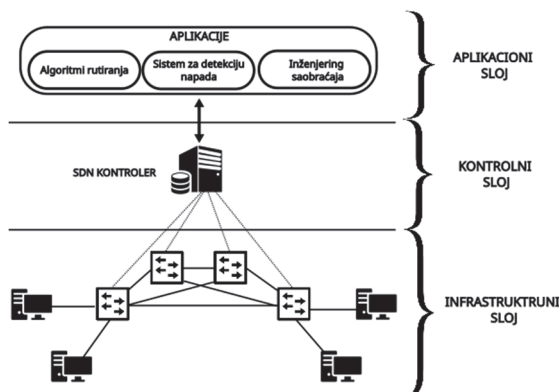
Softverski definisano umrežavanje (*Software Defined Networking*, SDN) omogućuje nov način upravljanja mrežama. Osnovna ideja SDN mreža je u razdvajanju kontrolne ravni i ravni podataka postavljanjem kontrolne ravni u centralizovani entitet koji se naziva kontroler. Kontroler je lokacija sa koje se vrši upravljanje celom mrežom. U početku su SDN mreže bile namenjene isključivo za mreže sa žičnim medijumom prenosa. Međutim vremenom je SDN našao primenu i u bežičnim mrežama.

Centralizovana struktura SDN mreže ima brojne prednosti, ali i nedostatke. Glavni nedostaci centralizovane strukture su problemi skalabilnost i bezbednosti. Postojanje jedne tačke otkaza (*Single Point of Failure*, SPF) otežava efikasnu odbranu sistema od napada. Kao odgovor na ovaj problem razmatrane su različite promene u arhitekturi, kao i brojni algoritmi za detekciju i prevenciju napada [4].

Rad je struktuiran na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju prikazane su različite arhitekture SDN VANET mreža, kao i njihove prednosti i mane. U trećem poglavlju razmatran je problem bezbednosti i prikazana je simulacija DDoS (*Distributed Denial-of-Service*) napada u SDN VANET mreži. Poglavlje četiri prikazuje rezultate i posledice napada. Poglavlje pet sadrži zaključna razmatranja.

2. Arhitektura SDN-VANET mreže

SDN mreža ima troslojnu arhitekturu koja se sastoji od: infrastrukturnog sloja, kontrolnog sloja i aplikacionog sloja. SDN arhitektura prikazana je na Slici 1.



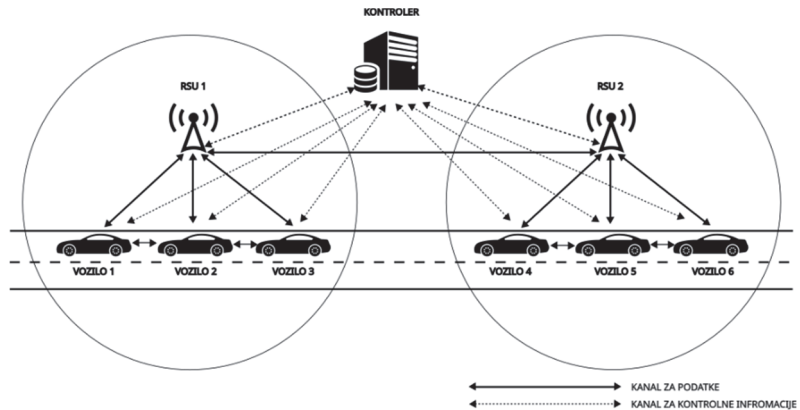
Slika 1. SDN arhitektura

Infrastrukturnom sloju pripadaju uređaji koji podržavaju *OpenFlow* protokol i prosleđuju pakete na osnovu pravila koje definiše kontroler. Kontroler se nalazi u kontrolnom sloju i predstavlja posrednika između aplikacija i uređaja. On je zadužen za prevođenje instrukcija aplikacionog sloja u instrukcije koje su razumljive uređajima za prosleđivanje. Aplikacije koje se nalaze u aplikacionom sloju obavljaju funkcije koje su neophodne za rad svake mreže, kao što su: rutiranje, balansiranje saobraćaja, detekcija napada i druge.

SDN VANET koristi istu troslojnu arhitekturu sa razlikom u infrastrukturnom sloju. U klasičnoj SDN mreži ulogu prosleđivanja imaju *OpenFlow* svičevi, dok u SDN VANET-u prosleđivanje na osnovu definisanih tokova mogu vršiti: vozila, putna infrastruktura (*Road Side Units*, RSU), kao i bazne stanice [5-6].

U SDN VANET-u postoje tri osnovna tipa arhitektura koje se koriste u implementaciji, a to su: centralizovana arhitektura, distribuirana ili hijerarhijska arhitektura i hibridna arhitektura [7].

Centralizovana arhitektura je najbliža klasičnoj ideji SDN mreže, u kojoj postoji jedan centralizovani kontroler koji je zadužen za upravljanje celom mrežom. Prednost ove arhitekture je pregled svih dešavanja u mreži u realnom vremenu. Vozila koja se nalaze u mreži periodično šalju *beacon* signale koji sadrže podatke o trenutnoj lokaciji vozila, vektoru brzine, stanja na putu i druge. Kontroler pomoću dobijenih informacija može da formira graf trenutnog stanja u mreži na osnovu koga, korišćenjem heurističkih algoritama, može da vrši optimizaciju rute između čvorova po različitim kriterijumima. Na Slici 2 prikazana je SDN VANET mreža sa centralizovanom arhitekturom.



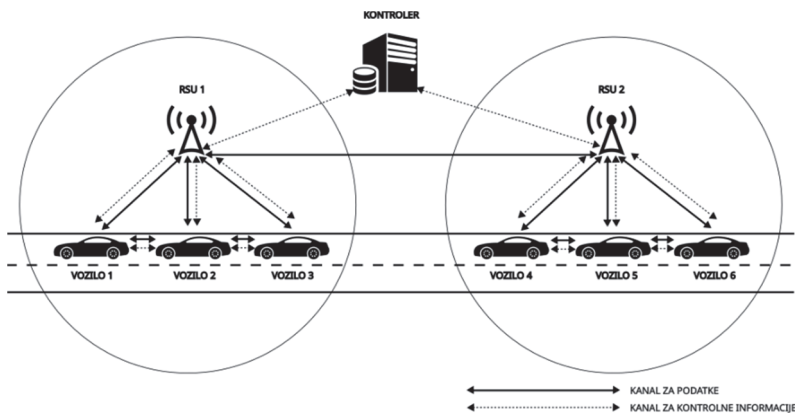
Slika 2. Centralizovana arhitektura

Problemi ove arhitekture su skalabilnost, bezbednost i kašnjenje. Veliki broj korisnika u mreži implicira i veliki broj zahteva koje treba opslužiti. Posledica ovoga može biti zauzeće svih resursa, nakon čega nije moguće uslužiti nove zahteve. Ovo stanje mreže može uzrokovati pad kvaliteta servisa ili potpuni prekid. Kao odgovor na ovu mogućnost, sva vozila u mreži kada detektuju da je veza sa kontrolerom prekinuta prelaze na *ad-hoc* način komunikacije.

Centralizovana arhitektura je takođe osetljiva na sajber napade. Najčešći napadi su DoS (*Denial of Service*) napadi koji za cilj imaju prekid servisa ili narušavanje kvaliteta servisa. Vrste napada koji se koriste su: TCP (*Transmission Control Protocol*) flood, ICMP (*Internet Control Messaging Protocol*) flood i ARP (*Address Resolution Protocol*) flood napadi.

Rastojanje između čvorova i kontrolera koji se nalazi na centralizovanoj lokaciji unosi dodatno kašnjenje u sistem, što je još jedan problem centralizovane strukture.

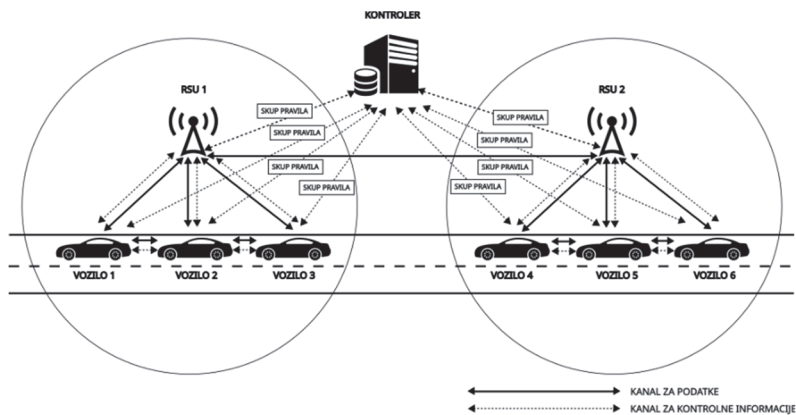
Za razliku od centralizovane arhitekture u kojoj se svi zahtevi za pronalaženje rute prosleđuju kontroleru, distribuirana arhitektura primarno dodeljuje zadatak pronalaženja ruta krajnjim čvorovima, na sličan način kao kod *ad-hoc* komunikacije. Ako vozila ne uspeju da pronađu rutu do odredišta, zahtev se prosleđuje RSU koji pokušava da pronađe odredište. Ako RSU pronađe odredište on definiše odgovarajuće tokove u krajnjim uređajima, u suprotnom slučaju zahtev se prosleđuje kontroleru koji pronalazi odredište. Na Slici 3 prikazana je SDN VANET mreža sa distribuiranom arhitekturom.



Slika 3. Distribuirana arhitektura

Ova arhitektura rešava problem skalabilnosti. Međutim, mehanizam pronalaženja rute može uneti dodatna kašnjenja.

Hibridna arhitektura, prikazana na Slici 4, pokušava da spoji prethodne dve ideje i iskoristi njihove prednosti, a odbaci mane. U ovoj arhitekturi kontroler može da preuzme potpunu kontrolu nad mrežom što stvara centralizovanu strukturu, ali takođe može da sve odluke prepusti krajnjim čvorovima kao kod distribuirane arhitekture. U najčešćem slučaju, mreža je konfigurisana tako da kontroler centralizovano upravlja putnom infrastrukturom, a krajnjim uređajima dopušta da samostalno donose odluke. Postavljanje upravljačkog dela u RSU približava kontroler krajnjim korisnicima što smanjuje kašnjenje i poboljšava kvalitet servisa.



Slika 4. Hibridna arhitektura

3. Bezbednost SDN VANET-a

Svi servisi koje SDN omogućava zavise od komunikacije između kontrolera i krajnjih uređaja. Ukoliko je kanal komunikacije kompromitovan, to može dovesti do ozbiljnih posledica po bezbednost vozača. Bežični medijum komunikacije u SDN VANET mreži stvara dodatni problem [8-11].

Sajber napadi u SDN VANET-u mogu se kategorizovati na sledeći način:

1. Napadi autentifikacije – Da bi mreža bila bezbedna neophodno je da kontroler autentifikuje sve čvorove u mreži. Neautentifikovani čvorovi predstavljaju potencijalne zlonamerne korisnike koji mogu izvršiti brojne napade na mrežu kao što su: *DoS*, *Man-in-the-middle*, *Spoofing*, *Black hole* napadi.

2. Napadi na raspoloživost – Cilj ove vrste napada je da naruše normalan rad kontrolera i na taj način ugroze vozila koja zavise od pravovremenih informacija koje kontroler pruža. U ovu grupu spadaju sve vrste *DoS* i *Jamming* napada.

3. Napadi na poverljivost podataka – Podaci koji se razmenjuju između vozila i kontrolera mogu sadržati veoma poverljive informacije. Primer ovog tipa informacije je trenutna lokacija vozila koja se šalje kontroleru u realnom vremenu. Ovaj problem je još ozbiljniji ako se uzme u obzir da sva vozila koriste isti medijum za prenos.

4. Napad na integritet podataka – Pored očuvanja poverljivosti podataka važno je obezbediti da sadržaj paketa nije menjan tokom prenosa do korisnika. Kako bi verovatnoća uspešnosti napada na poverljivost i integritet bila smanjena na minimum, neophodna je autentifikacija svakog korisnika kao i korišćenje algoritama enkripcije podataka.

5. Napad na neporecivost – U mreži je važno kreirati sistem tako da je nemoguće poreći da je određeni korisnik primio ili poslao paket. Na ovaj način sprečava se mogućnost slanja ručno kreiranih paketa koji se mogu koristiti za: *Replay* i *Man-in-the-middle* napade.

4. DDoS napad na centralizovanu arhitekturu: simulacija i rezultati

DDoS napadi su najčešća vrsta napada u SDN mrežama. Razlog česte upotrebe je jednostavnost kreiranja napada i visok stepen uspešnosti. Ideja DoS napada je da istroši sve resurse na serveru kako bi došlo do prekida servisa. Način na koji se to postiže je „plavljenjem“ servera velikim brojem zahteva koje je potrebno obraditi. Razlika između klasičnog DoS napada i DDoS napada je u broju napadača. Kod klasičnog DoS napada postoji jedan napadač koji generiše saobraćaj, dok kod DDoS napada postoji više napadača u mreži na različitim lokacijama. Zbog distribuiranosti, odnosno činjenice da svaki napadač generiše relativno male količine saobraćaja, DDoS napade je teže uočiti i sprečiti.

DoS napadi su posebno efektivni u SDN mrežama jer je cilj napada jasno određen. Takođe, napadač ne mora da pozna javnu IP (*Internet Protocol*) adresu servera da bi započeo napad, jer je svaki paket koji uređaj za prosleđivanje ne može da obradi direktno prosleđen kontroleru.

Za simulaciju napada u SDN VANET mreži korišćen je *mininet* emulator i ONOS (*Open Network Operating System*) kontroler.

U simulaciji je korišćen računar sa procesorom AMD Ryzen 7 5700X i 32 GB RAM (*Random Access Memory*) memorije. Kontroler je kreiran kao *Docker* kontejner za koga su rezervisana četiri jezgra procesora i 4 GB RAM memorije.

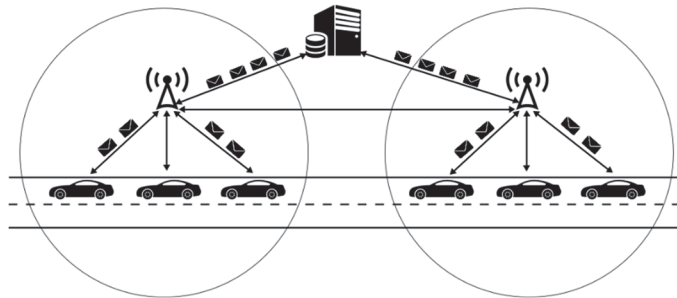
SDN VANET mreža korišćena u simulaciji prikazana je na Slici 2. U mreži se nalazi šest vozila koja za međusobnu komunikaciju i komunikaciju sa infrastrukturom koriste Wi-Fi (*Wireless-Fidelity*) standard 802.11g. Međusobne veze između RSU-a, kao i veze između RSU-a i kontrolera su žične veze.

Napad korišćen u simulaciji je ARP *flood* napad. Razlog korišćenja ARP paketa je posledica toga što se u centralizovanoj arhitekturi pronalaženje svih hostova u mreži vrši posredstvom kontrolera. Svaki uređaj koji koristi tabelu tokova za prosleđivanje sadrži tok koji sve ARP pakete prosleđuje kontroleru. Ovo pravilo prikazano je na Slici 5.

```
table=0, n_packets=4, n_bytes=168, send_flow_rem priority=40000,arp actions=CONTROLLER:65535,clear_actions
table=0, n_packets=75, n_bytes=10425, send_flow_rem priority=40000,d_l_type=0x8942 actions=CONTROLLER:65535,clear_actions
table=0, n_packets=3, n_bytes=294, send_flow_rem priority=5,ip actions=CONTROLLER:65535,clear_actions
table=0, n_packets=75, n_bytes=10425, send_flow_rem priority=40000,d_l_type=0x88cc actions=CONTROLLER:65535,clear_actions
```

Slika 5. Inicijalna tabela tokova nakon pokretanja uređaja za prosleđivanje

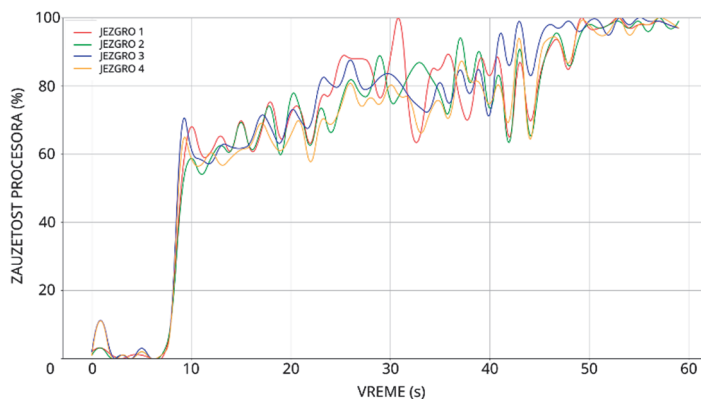
U simulaciji četiri hosta generišu ARP pakete sa intenzitetom 10000 ARP paketa u sekundi u periodu od 60 sekundi. Dva hosta se nalaze u oblasti pokrivanja RSU-a 1, a dva u oblasti pokrivanja RSU-a 2. Kao što je prikazano na Slici 6, RSU-ovi ne pokušavaju samostalno da pronađu hosta, već pakete prosleđuju direktno kontroleru.



Slika 6. DDoS ARP flood napad

4.1. Rezultati simulacije

Rezultati u ovom poglavlju prikazuju kako je u realnom vremenu napad uticao na iskorišćenost procesorskih resursa servera. Na Slikama 7 i 8, respektivno, prikazana je zauzetost pojedinačnih jezgara i prosečna zauzetost jezgara tokom napada.

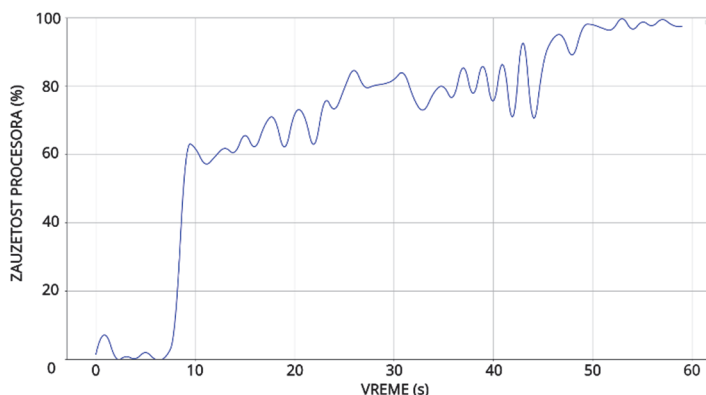


Slika 7. Zauzetost pojedinačnih jezgara tokom napada

Sa Slika 7 i 8 može se videti da napad započinje u sedmoj sekundi nakon početka monitoring resursa procesora. U trenutku napada iskorišćenost resursa se naglo povećava, međutim, nisu svi resursi zauzeti odmah. Zauzetost se povećava linearno sa vremenom pri istom intenzitetu napada. Nakon 50 sekundi napada, server nije u stanju da obrađuje zahteve iz mreže i dolazi do prekida servisa.

Kao mera ublažavanja napada mogu se koristiti statičke konfiguracije u kojima se definiše granična vrednost broja zahteva u jedinici vremena na nivou uređaja, ili na nivou interfejsa. Ukoliko broj zahteva nadmaši definisanu vrednost sistem to prepoznaje kao napad i sve dalje zahteve odbacuje, a MAC (*Medium Access Control*) adresu uređaja koji je slao zahteve stavlja na „crnu listu“. Prednost ovog tipa konfiguracije je jednostavnost, međutim, u slučajevima DDoS napada detekcija je otežana jer se za napad koristi više različitih tokova koji pojedinačno ne prelaze graničnu vrednost, ali prilikom agregiranja

saobraćaja ka kontroleru broj zahteva postaje preveliki. Kao unapređenje statičkih konfiguracija mogu se koristiti sistemi za detekciju napada zasnovani na mašinskom učenju. SDN kontroler u realnom vremenu prikuplja velike količine informacija o dešavanjima u mreži. Ove informacije se mogu koristiti kao ulazni parametri za istrenirane neuronske mreže koje na izlazu izračunavaju verovatnoću da se napad dešava u mreži.



Slika 8. Prosečna zauzetost jezgara tokom napada

5. Zaključak

Softverski definisane mreže predstavljaju nov koncept upravljanja koji se višestruko primenjuje. Jedna od mogućih primena je korišćenje SDN za upravljanje VANET mrežama. VANET mreže koriste distribuirane *ad hoc* protokole rutiranja. SDN pokušava da centralizuje upravljanje tako što svi uređaji u mreži šalju informacije kontroleru na osnovu kojih je moguće formirati graf povezanosti čvorova u mreži. Nakon formiranja grafa, moguće je efikasno upravljanje mrežom. Međutim, formiranje grafa u slučaju mreža sa velikim brojem čvorova nije jednostavan proces i može preopteretiti kontroler. Kao rešenje ovog problema predložene su različite arhitekture mreže koji imaju hijerarhijske osobine.

Pored skalabilnosti mreže, jedan od ključnih problema SDN mreža je bezbednost. Centralizovane arhitekture su česte mete različitih sajber napada. Razlog je kontroler koji predstavlja tačku otkaza celog sistema, i većina napada je direktno usmerena na njega. Narušavanje normalnog rada kontrolera može imati velike posledice po mrežu, posebno u situacijama gde kontroler obavlja funkcije koje su ključne za bezbednost u saobraćaju.

U ovom radu prikazane su posledice DDoS napada na centralizovanu arhitekturu SDN VANET mreže. Ovaj jednostavan napad doveo je do potpunog otkaza kontrolera i prekida servisa. Kako bi ovi napadi bili sprečeni, neophodno je implementirati odgovarajuće algoritme za detekciju i prevenciju napada u mreži.

Literatura

- [1] “Road traffic injuries.” Accessed: Sep. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [2] K. P. Sampoonam, S. Saranya, S. Vigneshwaran, P. Sofiarani, S. Sarmita, and N. Sarumathi, “A Comparative Study on Reactive Routing Protocols in VANET,” in *2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Coimbatore, India: IEEE, Nov. 2020, pp. 726–731. doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297550.
- [3] T. Marinov, “Comparative analysis of AODV, DSDV and DSR routing protocols in VANET,” in *2022 57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, Ohrid, North Macedonia: IEEE, Jun. 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICEST55168.2022.9828684.
- [4] O. Sadio, I. Ngom, and C. Lishou, “SDN Architecture for Intelligent Vehicular Sensors Networks,” in *2018 UKSim-AMSS 20th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim)*, Cambridge: IEEE, Mar. 2018, pp. 139–144. doi: 10.1109/UKSim.2018.00036.
- [5] I. Ku, Y. Lu, M. Gerla, R. L. Gomes, F. Ongaro, and E. Cerqueira, “Towards software-defined VANET: Architecture and services,” in *2014 13th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET)*, Slovenia: IEEE, Jun. 2014, pp. 103–110. doi: 10.1109/MedHocNet.2014.6849111.
- [6] N. H. Hussein *et al.*, “SDN-Based VANET Routing: A Comprehensive Survey on Architectures, Protocols, Analysis, and Future Challenges,” *IEEE Access*, pp. 1–1, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3355313.
- [7] Md. M. Islam, M. T. R. Khan, M. M. Saad, and D. Kim, “Software-defined vehicular network (SDVN): A survey on architecture and routing,” *J. Syst. Archit.*, vol. 114, p. 101961, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.sysarc.2020.101961.
- [8] O. S. Al-Heety, Z. Zakaria, M. Ismail, M. M. Shakir, S. Alani, and H. Alsariera, “A Comprehensive Survey: Benefits, Services, Recent Works, Challenges, Security, and Use Cases for SDN-VANET,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 91028–91047, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992580.
- [9] F. R. Almhrezi, C. Y. Yeun, P. D. Yoo, E. Damiani, Y. A. Hammadi, and H. Yeun, “An Emerging Security Framework for Connected Autonomous Vehicles,” in *2020 7th International Conference on Behavioural and Social Computing (BESC)*, Bournemouth, United Kingdom: IEEE, Nov. 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/BESC51023.2020.9348317.
- [10] M. Arif *et al.*, “SDN-based VANETs, Security Attacks, Applications, and Challenges,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 9, p. 3217, May 2020, doi: 10.3390/app10093217.
- [11] R. Sultana, J. Grover, and M. Tripathi, “Security of SDN-based vehicular ad hoc networks: State-of-the-art and challenges,” *Veh. Commun.*, vol. 27, p. 100284, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.vehcom.2020.100284.

Abstract: *VANET (Vehicular Ad Hoc Network) networks are recognized as one of the key technologies that can contribute to increasing traffic safety. The problem of communication in VANET networks is challenging, because it involves node mobility, dynamic communication channel, and communication obstacles. Different distributed ad-hoc routing protocols are used to route packets in the network. SDN (Software Defined Networking) represent a new idea of network management, where the control plane and the data plane are separated. All control functions are placed in a centralized entity called the controller. Initially, SDN was intended exclusively for networks with a wired transmission medium, but over time, support for wireless communication was also developed. This enabled the integration of SDN networks with VANET networks and opened up a number of new solutions that were not possible in VANET before SDN. In this paper, we discuss SDN VANET networks, their architecture, and problems. Also, an overview of cyber attacks that are possible in SDN networks and a simulation of a DDoS attack on an SDN-VANET network are presented.*

Keywords: *Software-defined networks, VANET, security, DoS, ARP flood*

APPLICATION, ARCHITECTURES AND SECURITY OF SDN BASED VANET NETWORKS

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica, Mirjana Stojanović,
Momir Manović

OVERVIEW OF TRAFFIC FORECASTING METHODS IN OPTICAL NETWORKS

Ivan Grgurević, Dragan Peraković, Marko Periša, Antonio Brdar
University of Zagreb - Faculty of Transport and Traffic Sciences
igrgurevic@fpz.unizg.hr, dragan.perakovic@fpz.hr,
marko.perisa@fpz.hr, antoniobrdar@gmail.com

Abstract: *An optical network is a data communication network that uses optical fiber technology for data transmission. This paper provides an overview of the key traffic parameters within optical networks, some of which are common to all communication networks while others are specific to optical networks. The paper describes in detail the techniques for monitoring and collecting traffic data that facilitate a deeper understanding of network performance and resource optimization. The research focuses on applying machine learning methods for predicting the variability of key traffic parameters, aiming to enhance the efficiency and adaptability of optical networks. The objective of the paper is to conduct a review analysis of practical applications of the selected traffic forecasting methods/techniques in optical networks through relevant available research.*

Key words: *Optical network, traffic parameters, data collection, machine learning, traffic forecasting*

1 Introduction

An optical network is a communication network built using optical fiber technology. Some types of optical networks include active optical networks, passive optical networks, and more modern elastic and software-defined optical networks. The implementations of optical networks refer to the way in which the optical fiber connects to the user's premises, such as Fiber to the Home (FTTH), Fiber to the Building (FTTB), Fiber to the Node (FTTN), Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Desk (FTTD), etc. Optical networks have various features and parameters that affect the quality of transmission (QoT), with some of the more important ones being optical power, optical nonlinearity, optical signal-to-noise ratio (OSNR), traffic volume, blocking probability, bit error rate (BER), Q factor, bandwidth, etc. With growing complexity of the optical networks, traffic prediction becomes crucial for the implementation of adaptive adjustments, optimization, and improvement of user experience. Today, the capabilities

of artificial intelligence and deep learning open revolutionary possibilities focusing on enhancing network efficiency and user experience.

The purpose of this paper is to present methods for predicting optical network traffic using modern machine learning techniques. The machine learning methods will be presented in categories, and the way in which each method works and what type of traffic it is most suitable for, will be analyzed. The goal of the paper is to conduct an overview analysis of the optical network traffic prediction methods/techniques.

In Chapter 2, the methods and techniques for measuring traffic parameters in optical networks are described. Chapter 3 describes the techniques that can be used for prediction of the traffic parameters in optical networks. Chapter 4 presents and describes the examples of the application of the methods mentioned in the previous chapter through past research. Chapter 5 presents the classification of the analyzed methods. In the Conclusion, all the collected information is synthesized, and a proposal for planning the future research is provided.

2 Methods of Data Collection in Optical Networks

Collecting data in optical networks is often very complex and most performed at the physical or network layer. [1], [2] There are direct detection systems, which are further divided into analog and digital ones. Analog techniques are used to gather information about channel impairments by analysing the waveform of the analog signal, and they are divided into Time domain, Frequency domain, and Polarization domain techniques.

Time domain monitoring techniques can be categorized into asynchronous and synchronized, depending on whether the data collection rate is synchronized with the symbol rate or not. Some examples of the asynchronous data collection techniques are asynchronous amplitude histograms (AAH), asynchronous delay-tap plots (ADTP), and others. The Eye diagram and Q-factor are examples of synchronized techniques. Frequency domain monitoring techniques can be divided into optical spectrum-based techniques and radio frequency spectrum-based techniques. Radio frequency spectrum-based techniques provide a better assessment of signal quality compared to optical spectrum-based techniques because they analyse the spectrum of the signal encoded onto the optical carrier. Polarization domain monitoring techniques use changes in the polarization characteristics of optical signals, caused by various channel degradations, to monitor network faults [3], [4].

Digital methods provide information about the overall signal quality degradation caused by network impairments, but their individual impact cannot be isolated. In digital coherent systems, the dispersion does not necessarily degrade transmission, if it is properly estimated. Therefore, transmission performance is primarily determined by the OSNR. [3]

3 Traffic Prediction Methods in Optical Networks

For this review analysis, five traffic prediction techniques have been examined. Neural Networks (NN) are machine learning algorithms used to solve problems by processing data in a manner like the functioning of brain cells in the human brain. These

neurons send data to the hidden layers, which in turn send the final output data to the last output layer. The hidden layer itself can consist of multiple layers, and various algorithms can be used within it to process the data. Input data move through the network via a series of interconnected nodes, being weighted and recalculated with each node from the beginning.

Support Vector Machine (SVM) is a machine learning algorithm used for classifying unlabelled collected data into two labelled categories, effectively separating the dataset into distinct binary groups [5]. This method involves complex data transformation based on the selected kernel function, aiming to maximize the separation boundaries between data points according to predefined labels or classes.

The Principal Component Analysis (PCA) is a manipulation or reduction method that reduces the amount of observed data while minimizing the amount of lost information. The analysis is conducted in such a way that the initial variables are transformed into a new set of variables called principal components through an orthogonal transformation. The principal components are then ranked, resulting in the initial variables retaining most of the information.

Selection of the most appropriate statistical model depends on the specific characteristics of the traffic and network requirements. While statistical models can provide valuable insights, it is always important to combine them with detailed knowledge of the network infrastructure and the traffic patterns for the best results. Some of the more important models for this paper include the Markov model, Bayesian model, and Monte Carlo model.

Linear regression is a common technique used in statistical analysis to find and estimate the relationship between two or more sets of variables, regardless of their distribution. Variables for the regression analysis must contain the same number of observations, but they can be of any size or content. [6]

4 Analysis of Traffic Prediction Methods/Techniques

There is a substantial amount of research available that investigates the traffic prediction in communication networks using machine learning methods, which is described further in the paper.

4.1 Traffic Prediction using NN

Studies [7] and [8] propose the usage of the Long Short-Term Memory (LSTM) method for optical network traffic prediction. In study [7], LSTM is used to solve resource allocation in SDONs, and the blocking probability was predicted. Study [8] aims to achieve approximately 1 ms delay and energy efficiency in Optical Network Units (ONUs) by predicting the bandwidth. Simulation results show a 28.9% reduction in one-way packet delay, and a 73.7% reduction in energy consumption per bit for data transmission under 1 ms latency condition. Studies [9] and [10] propose the usage of a Backpropagation Neural Network (BPNN) for the prediction of various traffic parameters in EONs. In study [9], a BPNN is used to predict future connections in an EON to improve performance by increasing the bandwidth and reducing the blocking probability. The study has shown satisfactory results. Study [10] proposes a Power-

Aware Lightpath Management (PALM) algorithm to reduce energy consumption during the setup and reestablishment of optical paths in EONs. A traffic prediction module integrates BPNN with Particle Swarm Optimization (PSO) to determine the initial input values. Simulation results show a 31-36% improvement in energy reduction at an 80% utilization threshold compared to the Energy-Efficient Multicast (EEM) algorithm over a month. Studies [11] and [12] have proposed a Generative Adversarial Network (GAN) with Graph Convolution Network (GCN) for traffic prediction surges over short and long periods. GCN captures the network's topological state, and GAN predicts the future traffic spikes. Using real traffic data from Telus Fiber Network, the GCN-GAN model was more effective in predicting traffic surges compared to the LSTM model, showing lower mean squared error values and less traffic overestimation. In study [13], traffic prediction in a real optical network in western China is examined. The study uses a Graph Convolutional Network with Gated Recurrent Unit (GCN-GRU), where GCN learns node interdependencies and GRU collects traffic samples over a certain period. Evaluated with real datasets from the optical network backbone, the study achieved a prediction accuracy of 98%. In study [14], various RNN variants are evaluated for predicting the network traffic on the GEANT optical network backbone. LSTM performed best, but GRU and Identity Recurrent Neural Network (IRNN) were comparable in performance and had lower computational costs than LSTM. All RNN methods showed satisfactory traffic prediction accuracy. Studies [15] and [16] proposed optical network QoS prediction using different Artificial Neural Networks (ANNs) methods. Multiple tests were performed, and large sets of synthetic data were used. The results showed high prediction accuracy, with one test achieving a standard deviation error of 0.3 dB. Study [17] introduces an eye diagram analyzer to assess the Q factor and link length based on image processing, using various Convolutional Neural Networks (CNNs). CNN models tested on several modulation formats showed satisfactory prediction accuracy, with the best results achieving the mean square error of 0.00188 and 0.00036.

4.2 Traffic Prediction using SVM

Studies [18] and [19] use the SVM method to predict the transmission quality in optical networks. In [18], an off-network testing used data from the Deutsche Telekom optical network, and a quality estimator classified light paths based on a user-defined Q-factor threshold. The approach achieved 99.95% accuracy in the light path classification and significantly reduced the calculation time. Study [19] proposes a multi-functional optical spectral analysis technique based on four machine learning algorithms, including SVM. SVM achieved optimal accuracy of 100% and the shortest testing time, under 0.34 seconds. For practical application, the simultaneous variation of wavelength, OSNR, and bandwidth was also studied. SVM still maintained over 99.1% accuracy with a calculation time of 0.776 seconds. Study [20] proposes a failure prediction scheme in Software-Defined Optical Networks (SDONs) using LSTM and SVM methods. LSTM predicts optical network parameters, and SVM forecasts the network failures. The study shows a prediction accuracy of up to 90.63%. Study [21] proposes an SVM-based model for predicting and classifying optical network congestion levels. The SVM simulation used bandwidth data, simulating dynamic traffic on two optical network backbones. The

simulation results showed a classification accuracy of 97.8%, demonstrating the model's effectiveness for network management, resource allocation, and quality of service improvement.

4.3 Traffic Prediction using PCA

In study [22], an ANN was used to evaluate the performance in wavelength-routed optical networks (WRON) and to provide a way to estimate the blocking probability in WRONs, considering physical impairments. Independent variables related to the physical layer and the topological properties of WRON were determined through PCA, conducted to generalize and identify variables that would facilitate model training and allow its use in different networks. The results showed that the neural network is an efficient way to estimate the blocking probability in cases where inadequate network training and execution time are required. In study [23], a complex fully connected neural network model based on complex PCA analysis is experimentally demonstrated on a coherent optical communication network system, 375 km long. The purpose of the research was to predict the Kerr nonlinear effect. PCA is used in combination with the neural network to further reduce the computational complexity and evaluation time. Results showed that PCA achieved a 40% reduction in calculation time and a 70% reduction in spatial complexity.

4.4 Traffic Prediction using Statistical Models

Studies [24] and [25] propose a Markov model for optical network traffic prediction. In [24] a simulation was conducted to test the blocking probability prediction for cloud service providers. The traffic prediction approach, although providing a higher-cost solution, resulted in a low percentage of blocking requests and more efficient use of network resources. In [25], a load balancing technique to improve QoS for lightpath establishment (LBIQLE) is proposed. The purpose of the research was to improve QoS by predicting the optical network traffic volume. The LBIQLE method shows a higher network utilization rate and a reduction in blocking probability and delay. Studies [26], [27], [28] and [29] propose the use of a Bayesian model for the prediction of various optical network traffic parameters. Study [26] proposes a node failure prediction mechanism for optical networks that does not disrupt network operation. The results of this study have shown that this mechanism demonstrates high accuracy in predicting node failures. Studies [27] and [28] proposed a prediction of the availability of optical network links. The data was collected over a specific period, and the model was tested through a series of simulation experiments. The results showed a 52% and 75% reduction of link availability prediction error. In [29], a model for optical network QoT estimation using OSNR measurement data is proposed. The test results showed that the Bayesian model improved the accuracy of QoT estimation by up to 1.78 dB. In study [30], the algorithms for wavelength sharing optimization are proposed to maximize the traffic throughput during peak traffic periods in elastic optical networks. The results showed that the wavelength sharing optimization can increase the overall traffic throughput in the network, assuming that the network traffic can be split. The proposed optimization technique is a viable solution for short-term peak traffic lasting from a few hours to

several days. In study [31], an algorithm based on the Monte Carlo method is used to predict the traffic volume in elastic optical networks, and the results are compared with the predictions using neural networks. The results showed that the Monte Carlo model adapts better to traffic changes over a shorter period of time compared to neural networks.

4.5 Traffic Prediction using Linear Regression

In study [32], a machine learning regression model is proposed to obtain the best combination of fiber loads that minimize the network fragmentation. An algorithm aware of vertical and horizontal fragmentation has been developed, demonstrating that the proposed metric and allocated fiber loads reduce network fragmentation. The proposed solution enables a reduction in bandwidth blocking probability in the short term. Study [33] describes how linear regression can be used to assess the QoT of optical networks and in routing and resource distribution. It was concluded that linear regression is simple to execute, analyze, and standardize; however, it cannot accurately resolve nonlinear difficulties. Study [34] presents the concept of an optical network with an integrated linear regression method that tracks the network performance. BER data are collected, and the OSNR for future service requests are estimated using linear regression. The results showed satisfactory accuracy in estimating OSNR. Studies [35] and [36] describe the traffic volume prediction in optical networks, using several machine learning methods, including linear regression. In study [35], data sets for simulation are generated and they reflect the actual traffic from an internet exchange point in Seattle, while in study [36], the model was tested with synthetic traffic datasets tailored to simulate natural traffic behavior. Both studies showed satisfactory prediction results. It was also proven that a combined linear regression model provides more accurate results than individual regression models.

5 Classification of Analyzed Methods

Table 1 presents a classification of machine learning methods for traffic prediction in optical networks based on all previously described studies.

Table 1 – Classification of machine learning methods for optical network traffic prediction

Method	Type of method	Traffic parameter	Time classification	References
NN	LSTM	Blocking probability	Long-term	[7]
	BPNN	Blocking probability	Short-term	[9]
	GCN-GAN	Traffic volume	Long-term	[11], [12]
	GCN-GRU	Traffic volume	Short-term	[13]
	RNN	Traffic volume	Short-term	[14]
	ANN	QoT	Short-term	[15]
	CNN	Q factor	Short-term	[17]
SVM	SVM	QoT	Long-term	[18], [19]
	Hybrid model	Failure prediction	Short-term	[20]

PCA	PCA	Blocking probability	Short-term	[22]
Statistical models	Markov model	Blocking probability	Short-term	[24]
	Bayes model	Node failure prediction	Long-term	[26]
		Availability of optical	Long-term	[27], [28]
		QoT	Short-term	[29]
	Statistical	Traffic volume	Short-term	[30]
Monte Carlo	Traffic volume	Short-term	[31]	
Linear regression	Linear regression	Network fragmentation	Long-term	[32]
		QoT	Short-term	[33]
		OSNR	Long-term	[34]
		Traffic volume	Short-term	[35], [36]

In Table 1, traffic prediction methods are classified as "Short-term" and "Long-term". Short-term methods involve predictions over minutes, hours, or days, while long-term methods cover weeks, months, or years. Time-independent techniques are classified as long-term since they can be applied regardless of time.

6 Conclusion

Machine learning and artificial intelligence technologies are being introduced to better manage the high traffic volume situations and ensure quality of service in optical networks. The analysis determined that the neural network techniques are the most used tools for predicting traffic parameters, and they have the largest body of research (which is systemized in the work in Table 1). RNN are more effective for accurately predicting future network states due to their feedback mechanisms, which allow them to function as memory. They are followed by statistical models, while support vector methods and principal component analysis are somewhat less prevalent. Traffic volume and blocking probability have been the most common metrics for prediction in optical communication networks, and each of the mentioned techniques can be used for both short-term and long-term traffic prediction. Linear regression methods and SVM are more suitable for short-term predictions due to their quick data processing, while neural networks, PCA, and statistical models are better suited for long-term predictions as they can model more complex prediction patterns. The analyzed solutions (methods) should be easily maintainable, and their capabilities should be continuously updated with minimal human involvement, and without increasing complexity. Future research could explore the combination of multiple machine learning methods for optical network traffic prediction, aiming to enhance prediction accuracy and reduce computation time. Additionally, testing various types of modular neural networks presents another promising opportunity for further study.

Literature

- [1] M.M Rad, K. Fouli, H.A. Fathallah, L.A. Rusch, M. Maier, "Passive optical network monitoring: Challenges and requirements", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, pp. 45–52, February 2011. DOI:10.1109/MCOM.2011.5706313

- [2] S. Miladić-Tešić, G. Marković, V. Radojčić, “Traffic grooming technique for elastic optical networks: A survey”, *Optik*, Vol. 176, 2019, pp. 464-475, DOI: 10.1016/j.ijleo.2018.09.068.
- [3] Z. Dong, F.N. Khan, S. Qi, K. Zhong, C. Lu, A. Lau, “Optical Performance Monitoring: A Review of Current and Future Technologies”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, pp. 525-543, January 2016. DOI:10.1109/JLT.2015.2480798
- [4] D. C. Kilper, R. Bach, D. J. Blumenthal, D. Einstein, T. Landolsi, L. Ostar, M. Preiss, A. E. Willner, “Optical Performance Monitoring”, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 22, pp. 294-304, January 2004. DOI: 10.1109/JLT.2003.822154
- [5] W. S. Noble, “What is a support vector machine?”, *Nat. Biotechnol.*, Vol. 24, pp. 1565–1567, December 2006. DOI: 10.1038/nbt1206-1565
- [6] A. Chen, J. Law, M. Aibin, “A Survey on Traffic Prediction Techniques Using Artificial Intelligence for Communication Networks”, *Telecom*, Vol. 2, pp. 518-535, December 2021. DOI: 10.3390/telecom2040029
- [7] M. Aibin, “Deep Learning for Cloud Resources Allocation: Long-Short Term Memory in EONs”, in *Proceedings of the International Conference on Transparent Optical Networks*. July 2019.
- [8] P. Li, Y. Lv, M. Bi, “Bandwidth Prediction Based Resource Allocation Scheme for Low-Latency and Energy-Efficient PONs with Heterogeneous ONU Propagation Delays”, *IEEE Photonics Journal*, Vol. 16, pp. 1-15, February 2024. DOI: 10.1109/JPHOT.2024.3356573
- [9] W. B. Jia, Z. Q. Xu, Z. Ding, K. Wang, “An efficient routing and spectrum assignment algorithm using prediction for elastic optical networks”, *2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence*, 2016. pp. 89-93.
- [10] Y. Xiong, J. Shi, Y. Lv, G. N. Rouskas, “Power-aware lightpath management for SDN-based elastic optical networks” *International Conference on Computer Communications and Networks*, 2017. pp. 1-9.
- [11] M. Aibin, N. Chung, T. Gordon, L. Lyford, C. Vinchoff, “On Short-and Long-Term Traffic Prediction in Optical Networks Using Machine Learning”, *International Conference on Optical Network Design and Modelling*, July 2021.
- [12] C. Vinchoff, N. Chung, T. Gordon, L. Lyford, M. Aibin, “Traffic Prediction in Optical Networks Using Graph Convolutional Generative Adversarial Networks”, In *Proceedings of the International Conference on Transparent Optical Networks*, 2020. pp. 1-4.
- [13] Y. Gui, D. Wang, L. Guan, M. Zhang, “Optical Network Traffic Prediction Based on Graph Convolutional Neural Networks”, *Opto-Electronics and Communications Conference*, 2020. pp. 1-3.
- [14] R. Vinayakumar, K. P. Soman, P. Prabaharan, “Applying Deep Learning Approaches for Network Traffic Prediction”, *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*, 2017. pp. 2353-2358.
- [15] A. M. R. Brusin, A. Nespola, M. R. Zefrech, S. Piciaccia, P. Poggiolini, F. Forghieri, A. Carena, “ML-Based Spectral Power Profiles Prediction in Presence of ISRS for Ultra-Wideband Transmission”, *Journal of lightwave technology*, vol. 42, pp. 37-47, January 2024. DOI: 10.1109/JLT.2023.3301897
- [16] Y. He, K. Chandramouli, Z. Zhai, S. Chen, L. Dou, C. Xie, C. Lu, A. Lau, “QoT Estimation for Large-scale Mixed-rate Disaggregated Metro DCI Networks by

- Artificial Neural Networks” *2024 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition*, 2024. pp. 1-3.
- [17] S. A. Al-Shamayleh, A. Raza, Z. Ali, S. Malik, S. Iqbal, B. Raza, M. Iqbal, A. Etiah, “Performance Evaluation of Optical Transmission Based on Link Estimation by Using Deep Learning Techniques”, *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 64126-64139, May 2024.
- [18] J. Mata, I. De Miguel, R. J. Durán, J. C. Aguado, N. Merayo, L. Ruiz, P. Fernández, R. M. Lorenzo, E. J. Abril, “A SVM approach for lightpath QoT estimation in optical transport networks. *2017 IEEE International Conference on Big Data*, 2017. pp. 4795-4797.
- [19] D. Wang, M. Zhang, Z. Zhang, J. Li, H. Gao, F. Zhang, X. Chen, “Machine Learning-Based Multifunctional Optical Spectrum Analysis Technique”, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 19726-19737, April 2019. DOI: 10.1007/s11432-022-3557-9
- [20] P. Liu, W. Ji, Q. Liu, F. Liu, X. Xue, Y. Zhu, “Failure Prediction Based on LSTM and SVM under SDON Architecture”, *2021 7th International Conference on Computer and Communications*, 2021. pp. 398-402.
- [21] Q. Sun, H. Lan, X. Yang, “Prediction of Optical Network Congestion Based on SVM”, *2019 IEEE 7th International Conference on Computer Science and Network Technology*, 2019. pp. 13-16.
- [22] D.R. De Araújo, C.J. Bastos-Filho, J.F. Martins-Filho, “Methodology to obtain a fast and accurate estimator for blocking probability of optical networks”, *Journal of Optical Communications and Networking*, Vol. 7, pp. 380–391, May 2015. DOI: 10.1364/JOCN.7.000380
- [23] X. Huang, Y. Wang, C. Li, R. Gao, Q. Zhang, L. Han, X. Xin, “Complex principal component analysis-based complex-valued fully connected NN equalizer for optical fibre communications”, *Optics Express*, vol. 31, pp. 42310-42326, December 2023. DOI: 10.1364/OE.502294
- [24] M. Aibin, K. Walkowiak, S. Haeri, L. Trajkovic, “Traffic Prediction for Inter-Data Center Cross-Stratum Optimization Problems”, *2018 International Conference on Computing, Networking and Communications*, 2018. pp. 393-398.
- [25] K. Chitra, M. R. Senkumar, “Hidden Markov model based lightpath establishment technique for improving QoS in optical WDM networks”, *Second International Conference on Current Trends in Engineering and Technology*, 2014. pp. 53-62.
- [26] D. Das, M. F. Imteyaz, J. Bapat, D. Das, “A Data Augmented Bayesian Network for Node Failure Prediction in Optical Networks” *2021 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication*, 2021. pp. 83-88.
- [27] F. Christou, “Availability Estimation of Optical Network Links Using Multilevel Bayesian Modeling” *2023 International Conference on Optical Network Design and Modeling*, 2023. pp. 1-6.
- [28] F. Christou, “Availability estimation of optical network links using a Bayesian model”, *Journal of Optical Communications and Networking*, Vol. 16, pp. 1-15, February 2024. DOI:10.1364/JOCN.510726
- [29] R. Ayassi, A. Triki, B. Guyader, F. Frank, T. Marcot, E. Rouzic, M. Laye, R. Minerva, N. Crespi, “Field Trial to Assess Bayesian Optimization for Improving QoT Estimation” *European Conference on Optical Communications*, 2023. pp. 389-392.

- [30] Z. Zhong, N. Hua, M. Tornatore, J. Li, Y. Li, X. Zheng, B. Mukherjee, "Provisioning Short-Term Traffic Fluctuations in Elastic Optical Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 27, pp. 1460-1473, August 2019. DOI:10.1109/TNET.2019.2925631
- [31] M. Aibin, "Traffic prediction based on machine learning for elastic optical networks" *Optical Switching and Networking*, Vol. 30, pp. 33-39, June 2018. DOI: 10.1016/j.osn.2018.06.001
- [32] P. Lechowicz, "Regression-based fragmentation metric and fragmentation-aware algorithm in spectrally-spatially flexible optical networks", *Computer Communications*, Vol. 175, pp. 156–176, July 2021. DOI: 10.1016/j.comcom.2021.05.012
- [33] S. Rai, A. K. Garg, "Analysis of RWA in WDM optical networks using machine learning for traffic prediction and pattern extraction" *Journal of Optics*, vol. 52, pp. 900-907, June 2021. DOI:10.1007/s12596-021-00735-6
- [34] S. Oda, M. Miyabe, S. Yoshida, T. Katagiri, Y. Aoki, T. Hoshida, J. C. Rasmussen, M. Birk, K. Tse, "A learning living network with open ROADMS", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 35, pp. 1350–1356, January 2017. DOI: 10.1109/JLT.2017.2660540
- [35] D. Szostak, A. Włodarczyk, K. Walkowiak, "Machine Learning Classification and Regression Approaches for Optical Network Traffic Prediction", *Electronics*, Vol. 10, pp. 1578, June 2021. DOI: 10.3390/electronics10131578
- [36] B. Ulanowicz, D. Dopart, A. Knapinska, P. Lechowicz, K. Walkowiak, "Combining Random Forest and Linear Regression to Improve Network Traffic Prediction" *2023 23rd International Conference on Transparent Optical Networks*, 2023. pp. 1-4.

Sažetak: *Optička mreža je mreža za prenos podataka koja koristi tehnologiju optičkih vlakana za prenos podataka. Ovaj rad daje pregled ključnih parametara saobraćaja unutar optičkih mreža, od kojih su neki zajednički za sve komunikacione mreže, dok su drugi specifični za optičke mreže. U radu su detaljno opisane tehnike praćenja i prikupljanja podataka o saobraćaju koje omogućavaju dublje razumevanje performansi mreže i optimizacije resursa. Istraživanje se fokusira na primenu metoda mašinskog učenja za predviđanje varijabilnosti ključnih parametara saobraćaja, sa ciljem da se poboljša efikasnost i prilagodljivost optičkih mreža. Cilj rada je da se kroz relevantna dostupna istraživanja sprovede pregledna analiza praktične primene odabranih metoda/tehnika predviđanja saobraćaja u optičkim mrežama.*

Ključne reči: *Optička mreža, parametri saobraćaja, prikupljanje podataka, mašinsko učenje, predviđanje saobraćaja*

PREGLED METODA PREDVIĐANJA SAOBRAĆAJA U OPTIČKOJ MREŽI

Ivan Grgurević, Dragan Peraković, Marko Periša, Antonio Brdar

SVOJSTVA MULTIMEDIJALNOG SAOBRAĆAJA IoT APLIKACIJA

Andreja Samčović¹, Aleksandar Luković¹, Bojan Bakmaz¹, Ana Gavrovska²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs,
a.lukovic@sf.bg.ac.rs, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.rs

Rezime: *Poznato je da multimedijalni saobraćaj pokazuje osobine "sličnosti samom sebi" (self-similarity) pri posmatranju u različitim vremenskim intervalima i da se njegova svojstva mogu kvantitativno izražavati H (Hurst-ovim) parametrom. U ovom radu analizirana su svojstva multimedijalnog IoT (Internet of Things) saobraćaja, preko H parametra, na raznim nivoima i za različite scenarije promene rezolucije slike i primenjenih efekata. Izvršena je komparacija dobijenih rezultata sa aktuelnim rezultatima iz literature.*

Ključne reči: *Arduino, ESP32 kamera, Hurst-ov parametar, IoT, multimedijalni saobraćaj, "sličnost samom sebi"*

1. Uvod

Pojam "Internet stvari" (*Internet of Things*, IoT) promovisan je još 1999. godine od strane Auto-ID laboratorije na MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) [1]. Njegovoj pojavi prethodili su uređaji sa mogućnošću povezivanja na Internet, među kojima je prvi bio električni toster, 1990. godine i prva prenosiva kamera sa 64-bitnom arhitekturom procesora, sa radom u "skoro" realnom-vremenu, 1997. godine. Konstantnim nastajanjem novih IoT uređaja iz godine u godinu, povećavao se broj povezanih uređaja, a samim time i njihova heterogenost. Nakon definisanja pojma IoT, usledila je široka primena uređaja sa radio-frekvencijskom identifikacijom (RFID, *Radio-frequency Identification*), a pojava Internet protokola verzije 4 (IPv4), a zatim i najnovije verzije 6 (IPv6), omogućila je efikasnije adresiranje i povezivanje na globalnu mrežu.

Nastali su novi mediji prenosa, a takođe se povećavala raznovrsnost podataka, što je otvorilo mogućnosti za povezivanje multimedijalnih i IoT tehnologija. Različiti povezani uređaji, poput mikrokontrolera, mikroracunara, senzora, aktuatora, kamera, pametnih telefona, televizora, merača energije, nosivih (*wearable*) uređaja, kao i vozila, međusobno razmenjuju podatke i posredstvom neke mreže, kao što je Internet, učestvuju u generisanju mrežnog, tj. telekomunikacionog saobraćaja, koji je po svojoj prirodi multiservisni i agregirani [2]. Saobraćaj u IoT sistemima izražava svojstvo "sličnosti

samom sebi" (*self-similarity*), bitno za dalja izučavanja osobnosti mreže, projektovanja mrežnih resursa, definisanja kapaciteta, detekcije anomalija, kao i efikasnije upravljanje mrežom. Sličnost saobraćaja samom sebi može se kvantitativno izraziti preko *Hurst*-ovog (*H*) parametra (eksponenta) [3].

Nakon uvoda, u prvom delu rada predstavljene su moguće realizacije IoT sistema kroz aplikacije, kao i specifičnosti multimedijalnih IoT sistema. Sagledane su osobine saobraćaja u IoT okruženju, i ukazano je na fenomen "sličnosti samom sebi" (*self-similarity*). U drugom delu rada iznete su postavke IoT sistema na kome su vršena merenja saobraćaja, prikazani su rezultati merenja uz odgovarajuću analizu, kao i komparacija sa istraživanjima iz aktuelne literature. Izvedeni su relevantni zaključci i ukazano je na pravce daljih istraživanja.

2. IoT sistemi i aplikacije

IoT predstavlja skup više povezanih hardverskih komponenti i softverskih sistema, digitalnih platformi, sa međusobnom razmenom podataka i sa okolinom, posredstvom mreže, koji date podatke prikupljaju, pretvaraju u digitalni oblik, prenose i skladište na lokalnim memorijskim jedinicama, bazama podataka i/ili na udaljenim, *cloud* serverima [4]. Podaci potiču iz različitih izvora, kao što su: senzori za nadgledanje kvaliteta životne sredine, IoT kamere, ultrazvučni senzori razdaljine, aktuatori, RFID uređaji, audio senzori, autonomna vozila, uređaji za prikupljanje i merenje energije i dr. [5, 6]. Reprezentativni primeri realizacije IoT sistema su:

1. Sistem za prikupljanje energije – Različiti oblici energije (mehanička, toplotna, ambijentalna, radio-frekvencijska, solarna, energija vetra), mogu se prikupljati i konvertovati u električnu energiju. Cilj ovih sistema može biti zamena standardnih baterija i održavanje energije bez baterijskog skladištenja;
2. Sistem za merenje potrošnje energije – Sistemi za merenje nivoa potrošene energije, korisnog dejstva, angažovane snage, sa korisničkim interfejsom i pratećim IoT komponentama;
3. Sistem za bežični prenos energije – Uz pomoć mikrokontrolera, provodnika, tranzistora i kondenzatora, može se indukovati elektromagnetno polje i tako preneti energija bežičnim putem u cilju napajanja uređaja, kao što su mobilni telefoni i drugi IoT uređaji;
4. Sistem za nadgledanje kvaliteta životne sredine – Hardverske komponente i prateći softveri za uvid u stanje okoline i životne sredine;
5. Sistem za kontrolu pristupa objektima – Međusobno povezani RFID čitači i senzori za detekciju razdaljine i prisutnosti;
6. Sistem za prenos podataka preko LoRa (*Long Range Radio*) interfejsa - Korišćenjem LoRa modula moguće je preneti manje količine podataka, malom snagom i malom potrošnjom energije na velika rastojanja.

3. Multimedijalni IoT sistemi

Multimedija predstavlja skup dva ili više nezavisna medija i sastoji se od tekstualnih podataka, slike, videa, audio signala i animacije [7]. U zavisnosti od vrste

podataka koji se razmenjuju, kod IoT sistema koriste se pojmovi skalarni i multimedijalni IoT [8].

Skalarni IoT čine tekstualni podaci, najčešće dobijeni sa senzora. Skalarni podaci nisu zahtevni u pogledu memorijskih resursa i reda veličine su kB. Ovi podaci ne utiču značajno na potrošnju energetske resursa i uglavnom nemaju stroge zahteve za kašnjenjem.

Multimedijalni IoT (MIoT) čine podaci u vidu slike, zvuka, videa i animacije. Multimedijalni podaci imaju stroge zahteve u pogledu kašnjenja, generišu velike količine podataka, što povlači za sobom veće memorijske i transmisionne kapacitete, zahtevnije procesorske jedinice za obradu signala i duže vreme obrade. U tabeli 1 dat je prikaz nekih izvora i vrsta podataka kod IoT sistema.

Tabela 1. Primeri izvora i vrste podataka kod IoT sistema

Izvor podataka	Opis i vrsta podataka
senzori za nadgledanje parametara kvaliteta životne sredine (kvalitet vazduha, prisustvo štetnih čestica, vlažnost, temperatura, kvalitet vode)	alfanumerički podaci manjeg obima
kamere	podaci većeg obima uključuju sliku, zvuk i video
ultrazvučni senzori razdaljine	alfanumerički podaci o odnosu posmatranog objekta i samog uređaja za detekciju
aktuatori	alfanumerički podaci o radu elektromotora, koračnih (<i>step</i>) motora, releja
RFID uređaji	mogu da sadrže vrednosti jedinstvenog ključa za pristup – pretežno alfanumerički
autonomna vozila	heterogeni podaci, uključujući tekst, sliku, video i zvuk
uređaji za prikupljanje i merenje energije	pretežno alfanumerički podaci manjeg obima, osim ukoliko sistem nije opremljen dodatnim uređajima poput kamera (multimedijalni podaci)

4. Osobine saobraćaja IoT aplikacija

Kao što je pomenuto, međusobno povezani IoT uređaji generišu mrežni saobraćaj. Ukoliko se mreža sastoji od različitih uređaja, razmenjuju se podaci iz više izvora, a sama heterogenost podataka ukazuje na prisustvo više medija, poput alfanumeričkih podataka, slike, videa, audio sadržaja, animacije, što saobraćaj čini multiservisnim i agregiranim. Saobraćaj se može posmatrati na nekoliko nivoa [9]:

- nivo paketa – Parametar koji se posmatra na vremenskoj osi je vreme prenosa paketa, tj. transmisiono vreme, pri čemu se pod pojmom "paketa"

podrazumeva niz bitova korisničkih podataka i bitova signalizacionih informacija, obrađenih pravilima mrežnog sloja.

- nivo tokova – Pod pojmom "tok" podrazumeva se jednosmerni sled paketa, koji prolaze kroz neki entitet mreže, a bitan parametar ovog nivoa je trajanje toka.
- nivo *burst*-ova – *Burst* se definiše kao nalet ("prasak") paketa, a bitan parametar koji se posmatra je komunikaciono vreme. Naleti paketa nastaju grupisanjem više paketa.
- nivo sesije – Sesija se sastoji od više sukcesivnih i paralelno emitovanih tokova za period aktivnosti korisnika. Parametar od značaja nivoa sesije je vreme korisničkog servisa.
- nivo aplikacije – Aplikacioni, kao najviši sloj mrežnog modela, predstavlja samu aplikaciju, a parametar koji se posmatra na ovom sloju je vreme toka ili konekcije.

Uopštena podela saobraćaja na nivou tokova je na striming i elastični saobraćaj. Striming saobraćaj je karakterističan za vremenski osetljive aplikacije, poput prenosa glasa Internet protokolom (VoIP, *Voice over Internet Protocol*), video konferencija, video igara, audio i video striminga, kao i kod servisa gde se zahteva prenos u realnom vremenu. Bitni parametri kvaliteta servisa (QoS, *Quality of Service*) su kašnjenje, varijacija kašnjenja (džiter), kao i gubitak paketa. Elastični saobraćaj je zastupljen kod *web* aplikacija sa HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) i FTP (*File Transfer Protocol*), a takođe i kod *e-mail* servisa.

Sličnost saobraćaja samom sebi (*self-similarity*) može se numerički izraziti *Hurst*-ovim (H) parametrom, a manifestuje se preko: *Hurst*-ovog efekta, sporog opadanja varijanse, zavisnosti u dužem vremenskom opsegu, nedegenerativne autokorelacije, zadržavanja svojih promena nezavisno od vremenske skale. Za empirijsku vremensku seriju X_t ($t = 1, \dots, n$), sa srednjom vrednošću uzorka $X(n)$ i varijansom $S^2(n)$, može se definisati *R/S* statistika (*Rescaled Adjusted Range*), data sa $R(n)/S(n)$, pri čemu važi

$$R(n) = \max \left\{ \sum_{i=1}^k (X_i - X(n)), 1 \leq k \leq n \right\} - \min \left\{ \sum_{i=1}^k (X_i - X(n)), 1 \leq k \leq n \right\}. \quad (1)$$

Vrednosti H parametra za pozitivnu korelaciju su u opsegu od 0,5 do 1. Kod realnih procesa vrednost H parametra je oko 0,73, dok vrednost 0,5 odgovara čisto slučajnom procesu, a vrednost 1 egzaktno *self-similar* procesu. H parametar Internet saobraćaja je u opsegu od 0,7 do 0,8, a kod Ethernet saobraćaja između 0,8 i 0,95, usled povećane heterogenosti servisa.

Uzrok *self-similar* fenomena kod mrežnog saobraćaja je najčešće video saobraćaj sa promenljivom bitskom brzinom (VBR, *Variable Bit Rate*). Mrežni saobraćaj sa *self-similar* fenomenom može imati štetan uticaj na performanse mreža, poput povećanog kašnjenja i gubitka paketa [9]. Skalarni IoT saobraćaj se obično razlikuje od MIoT saobraćaja, jer sadrži manje pakete i podržava uskopojasne aplikacije, NB-IoT (*Narrow-Band Internet of Things*). NB-IoT podržava prenos manjih paketa u propusnom opsegu od 200 MHz uz manju potrošnju energije i optimizacione tehnike za energetska efikasnost, kao i uštedu energije (PSM, *Power Saving Mode*) i eDRX (*Extended Discontinuous Reception*). Kod MIoT saobraćaja zastupljen je prenos videa i podataka osetljivih na kašnjenje, a samim tim je i izraženiji *Hurst*-ov efekat. Sagledavanjem

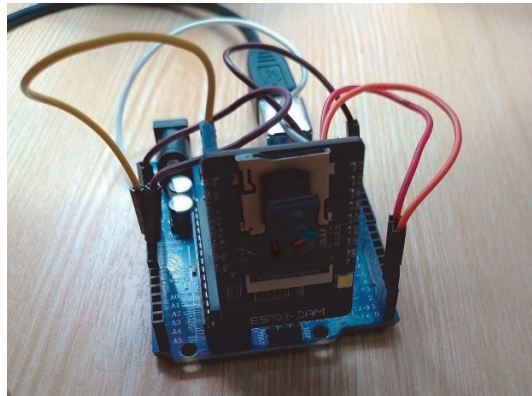
promena H parametra mogu se detektovati anomalije u (IoT) mreži i na taj način smanjiti štetan uticaj na mrežne performanse [10-12]. Pod "anomalijom" IoT saobraćaja podrazumevaju se promene koje nisu karakteristične za uobičajeni intenzitet saobraćaja, a mogu nastati pri velikim gubicima paketa, povećanju intenziteta saobraćaja, napadima, slanju velikog broja zahteva, itd. Karakteristični napadi u IoT okruženju, kao i adekvatni mehanizmi za njihovu detekciju, analizirani su u [13].

U cilju unapređenja mrežnih performansi bitno je adekvatno modelovanje saobraćaja. Saobraćajni modeli se mogu zasnivati na stohastičkim procesima, a metode za njihovo određivanje se tada vrše podešavanjem i usklađivanjem (*fitting*) statističkih parametara, kao što su varijansa, autokorelacija, H parametar [14]. Stohastički proces se sastoji i opisuje preko slučajnih promenljivih. Njima se pridružuju vrednosti realnih procesa, a zatim merenjem, ponavljanjem eksperimenata nastaje model koji opisuje prirodni ili veštački saobraćajni proces. Ključni elementi modelovanja saobraćaja su teorija, merenja i razvoj modela. Primeri modela saobraćaja koji su zasnovani na stohastičkim procesima su: model sa prilagođavanjem parametara, Poasonov proces, Poasonov proces sa markovskom modulacijom (MMPP, *Markov Modulated Poisson Process*) pogodan za *burst* – saobraćaj sa naletima paketa, autoregresivni Gausov proces, eksponencijalni autoregresivni proces, itd.

Za realniji model Internet saobraćaja koristi se Poasonov Pareto *burst* proces (PPBP, *Poisson Pareto Burst Process*), sa zavisnošću u dugom opsegu (LRD, *Long Range Dependent*), kod koga se naleti paketa predstavljaju preko procesa Poasona.

5. Postavke IoT sistema na kome je vršeno merenje saobraćaja

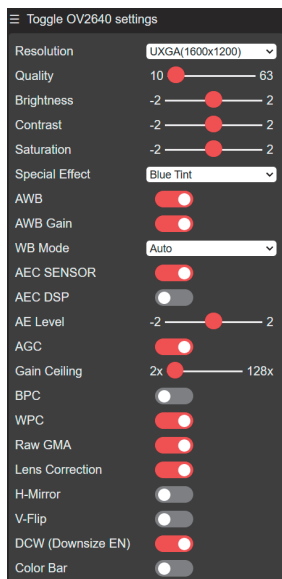
U cilju prikaza performansi IoT mreže, posmatrač se IoT rešenje sa ESP32 OV2640 kamerom, povezanom Arduino Uno R3 razvojnom pločom sa ATmega328P mikrokontrolerom, što se može videti na slici 1.



Slika 1. ESP32 kamera i Arudino Uno R3 razvojna ploča

Nakon hardverskog povezivanja kamere sa mikrokontrolerom potrebno je očitati odgovarajući programski kôd i na taj način omogućiti rad kamere. Imajući u vidu da je u pitanju kamera sa *web* interfejsom, bitni podaci su naziv mreže, (SSID, *Service Set Identifier*) i lozinka za pristup mreži. Prilikom unosa naziva željene mreže i lozinke

generiše se IP adresa kamere, koja ujedno predstavlja adresu za pristup GUI (*Graphical User Interface*) kamere i njenim opcijama. Kamera je povezana na bežičnu lokalnu mrežu, a unosom IP adrese i broja porta pokreće se korisnički interfejs sa opcijama, kao na slici 2.



Slika 2. Opcije iz GUI ESP32 kamere

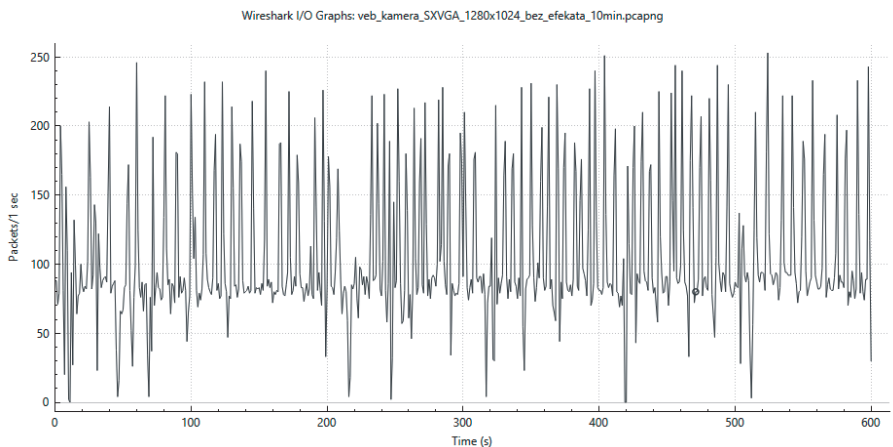
Kao što se može primetiti, korisniku su na raspolaganju opcije za odabir rezolucije slike kamere, kvaliteta, osvetljenja, kontrasta, zasićenja, specijalnih efekata, kao i napredne opcije za poboljšanje vizuelnog prikaza slike. Na slici 3 dat je prikaz slike sa IoT ESP32 kamere bez primene specijalnih efekata i sa primenom efekta plave nijanse.



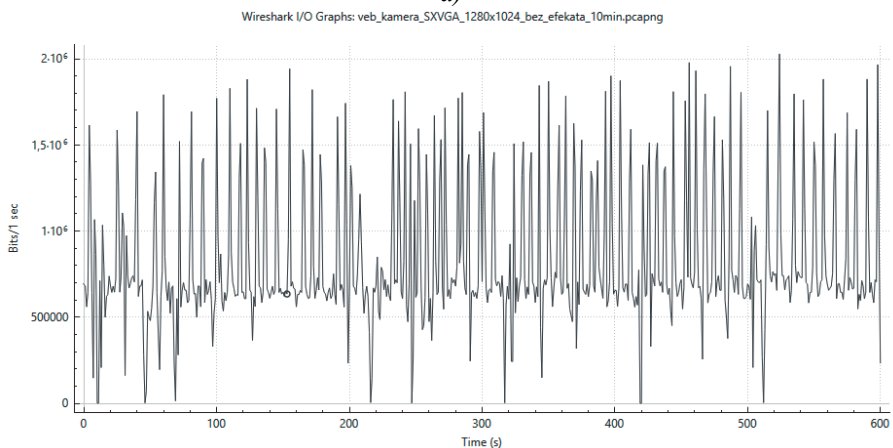
Slika 3. Prikaz slike sa IoT ESP32 kamere
a) bez primene specijalnih efekata, b) sa primenom efekta plave nijanse.

6. Rezultati merenja IoT saobraćaja

Merenje je sprovedeno primenom softverskog alata *Wireshark*, koji omogućuje snimanje i analizu saobraćaja. Saobraćaj sa IoT kamere je posmatran u devet merenja od po deset minuta. Za svaki tip rezolucije slike XGA 1024×768, SXVGA 1280×1024 i UXVGA 1600×1200, respektivno, izvršeno je merenje saobraćaja: (a) bez primene efekta (b) sa efektom inverznih boja i (c) sa efektom plave nijanse. Za svako merenje formirana je vremenska serija sa 600 elementa, na osnovu izmerenog intenziteta saobraćaja. Na slici 4, prikazani su primeri dobijenih zapisa (*trace*) intenziteta saobraćaja izraženog u a) paketima/s i b) bitima/s. Može se primetiti da nema značajnog odstupanja, što ukazuje na ujednačenu veličinu paketa. To je zapaženo i u okviru statističkih podataka dobijenih *Wireshark* alatom, gde je na osnovu raspodele dužine paketa uočeno da je skoro 65% paketa dužine 1490 B, što je ujedno i maksimalna veličina paketa.



a)



b)

Slika 4. Intenzitet saobraćaja snimljenog sa IoT kamere izražen u a) paketima/s i b) bitima/s

Za određivanje H parametra razvijen je sopstveni alat u *JavaScript* okruženju, baziran na R/S statistici, sa izračunavanjem opsega preko relacije (1). Korišćena je činjenica da R/S statistika, odnosno $E[R(n)/S(n)]$, raste sa eksponentom H , tako da se pri logaritamskim skalama, linearnom regresijom, dobija estimacija sa gradijentom H . Dobijene vrednosti, kao i srednje vrednosti H parametra, za saobraćaj posmatran u paketima/s, prikazane su u tabeli 2, dok su za saobraćaj posmatran u bitima/s, rezultati prikazani u tabeli 3.

Tabela 2. H parametar za saobraćaj posmatran u paketima/s

Rezolucija/Efekat	Bez efekata	Efekat inverznih boja	Efekat plave nijanse	\bar{H}
XGA 1024×768	0,81	0,78	0,79	0,79
SXVGA 1280×1024	0,72	0,84	0,72	0,76
UXVGA 1600×1200	0,66	0,76	0,79	0,74
\bar{H}	0,73	0,79	0,77	0,76

Tabela 3. H parametar za saobraćaj posmatran u bitima/s

Rezolucija/Efekat	Bez efekata	Efekat inverznih boja	Efekat plave nijanse	\bar{H}
XGA 1024×768	0,68	0,77	0,73	0,73
SXVGA 1280×1024	0,80	0,72	0,80	0,77
UXVGA 1600×1200	0,87	0,77	0,77	0,80
\bar{H}	0,78	0,75	0,77	0,77

Na osnovu rezultata dobijenih pri promeni rezolucije slike ESP32 kamere i primene video efekata može se zaključiti da nije zabeleženo znatno odstupanje od srednje vrednosti H parametra, koja iznosi 0,765, a bliska je karakterističnoj vrednosti za realne procese. Imajući u vidu da povećanje rezolucije slike sa sobom povlači povećanje intenziteta saobraćaja, primećeno je i povećanje vrednosti H parametra u slučaju merenja na nivou bita, što može dovesti do zaključka da ovaj pristup verodostojnije oslikava promene svojstva saobraćaja. Primena efekata značajnije je uticala na promenu posmatranog parametra (do 13%), što može biti iskorišćeno za detekciju grešaka u prenosu ili napada, jer su efekti korišćeni kao simulacija ovih anomalija.

7. Zaključna razmatranja

Kontinuirano praćenje i analiza saobraćaja su od izuzetne važnosti za održavanje visokog nivoa pouzdanosti i bezbednosti mrežnog okruženja. U ovom radu sagledane su mogućnosti praćenja svojstva multimedijalnog saobraćaja u IoT okruženju preko H parametra. Namera je da se ovaj parametar koristi za poređenje saobraćaja u periodima regularnog funkcionisanja mreže i saobraćaja kada se u mreži dešavaju anomalije uzrokovane otkazima nekog elementa sistema, ili kompromitovanjem bezbednosti. Dobijeni rezultati merenja i sprovedena analiza pokazuju opravdanost ove namere i usaglašeni su sa vrednostima iz aktuelne literature.

Buduća razmatranja mogla bi se odnositi na posmatranje scenarija saobraćaja manjeg i većeg intenziteta, kao i mešanje različitih tipova saobraćaja uz povećanje broja i heterogenosti IoT uređaja, kao i poređenje rezultata korišćenja IoT kamera u različitim mrežnim okruženjima. Takođe, predviđena je i primena drugih metoda za određivanje H parametra. Cilj bi bio ostvaren kreiranjem mehanizma za detekciju problema i napada u IoT okruženju primenom nekog od algoritama mašinskog učenja.

Literatura

- [1] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, Oct. 2010, pp. 2787-2805, DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [2] B. Bakmaz, Z. Bojković, M. Bakmaz, "Osnovna svojstva BPP saobraćaja mobilnih mreža", *Zbornik radova PosTel 2021*, Beograd, Dec. 2021, str. 169-178.
- [3] M. Bakmaz, B. Bakmaz, "Mogućnosti autoregresionih modela telekomunikacionog saobraćaja", *Zbornik radova PosTel 2006*, Beograd, Dec. 2006, str. 255-262.
- [4] P. T. Anh Mai, J. K. Nurminen, M. Di Francesco, "Cloud databases for Internet-of-Things data", *Proc. IEEE International Conference on Internet of Things (iThings)*, Sep. 2014, pp. 117-124, DOI: 10.1109/iThings.2014.26.
- [5] Д. В. Анатольевич, Д. Д. Витальевич, "Интернет Вещей: концепция, приложения и задачи", *Ежеквартальный рецензируемый, реферируемый научный журнал «Вестник АГУ»*, vol. 1, no. 216, 2018, str. 129-135.
- [6] N. Amangeldiyev, P. Siegfried, "Concepts, applications and challenges of the Internet of Things", *IT Journal Research and Development (ITJRD)*, vol. 7, no. 2, Mar. 2023, pp. 1-12, DOI: 10.25299/itjrd.2022.9110.
- [7] A. Samčović, *Multimedijalne komunikacije*, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2015.
- [8] Y. B. Zikria, M. K. Afzal, S. W. Kim, "Internet of Multimedia Things (IoMT): Opportunities, challenges and solutions", *Sensors 2020*, vol. 20, Apr. 2020, DOI: 10.3390/s20082334.
- [9] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, 2008.
- [10] P. Dymora, M. Mazurek, "Anomaly detection in IoT communication network based on spectral analysis and Hurst exponent", *Applied Sciences*, vol. 9, no. 24, Dec. 2019, DOI: 10.3390/app9245319.
- [11] P. Dymora, M. Mazurek, "Influence of model and traffic pattern on determining the self-similarity in IP networks", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, DOI: 10.3390/app11010190.
- [12] Q Li, et al., "Traffic self-similarity analysis and application of industrial internet", *Wireless Networks*, vol. 30, July 2024, pp. 3571-3585, DOI: 10.1007/s11276-020-02420-1.
- [13] S. Hajjheidari, et al., "Intrusion detection systems in the Internet of Things: A comprehensive investigation", *Computer Networks*, vol. 160, Sep. 2019, pp. 165-191, DOI: 10.1016/j.comnet.2019.05.014.
- [14] M. Zukerman, *Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models*, EE Department City University of Hong Kong, 2000-2024.

Abstract: *It is well known that multimedia traffic shows self-similarity when observed at different time scales and its properties can be quantitatively expressed by Hurst (H) exponent. In this paper, performances of multimedia IoT (Internet of Things) traffic on various levels are analyzed, considering different scenarios for picture resolutions and applied effects. A comparison of obtained and current results from the open literature is provided.*

Keywords: *Arduino, ESP32 camera, Hurst exponent, IoT, multimedia traffic, self-similarity*

PROPERTIES OF MULTIMEDIA TRAFFIC IN IoT APPLICATIONS

Andreja Samčović, Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Ana Gavrovska

IMPLEMENTACIJA MODELA ZA RUTIRANJE I ALOKACIJU PROPUSNOG OPSEGA KOD ELASTIČNIH OPTIČKIH MREŽA

Goran Marković¹, Ivana Stefanović², Snežana Mladenović¹

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
g.markovic@sf.bg.ac.rs, snezanam@sf.bg.ac.rs

²Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Visoka škola
elektrotehnike i računarstva, ivanas@gs.viser.edu.rs

Rezime: *Radi što efikasnijeg korišćenja raspoloživih mrežnih resursa i prevazilaženja problema poput fiksne širine kanala i maksimalne brzine prenosa, u optičkim telekomunikacijama, uvodi se koncept elastičnih optičkih mreža. Problem rutiranja i alokacije propusnog opsega predstavlja ključni izazov prilikom implementacije elastičnih optičkih mreža. U okviru ovog rada razmatrani su različiti algoritmi koji se najčešće primenjuju prilikom alokacije propusnog opsega, u statičkom režimu rada, pri različitom saobraćajnom opterećenju. Implementirana su tri modela koji obuhvataju različite pristupe dodele frekvencijskih slotova. Kreirani modeli, pored poređenja performansi, omogućavaju i detaljnu analizu saobraćaja, uključujući pregled korišćenih alternativnih ruta i opterećenje linkova u mreži. Na primeru jedne mreže detaljno je objašnjen postupak određivanja optimalnog broja alternativnih ruta u slučaju rutiranja po višestrukim putanjama. Određivanje optimalnog broja ruta za svaku konekciju u mreži omogućava znatno smanjenje vremena potrebnog za alokaciju propusnog opsega, pri čemu ne dolazi do degradacije ostalih performansi modela.*

Ključne reči: *elastične optičke mreže, rutiranje, alokacija propusnog opsega, optimizacija*

1. Uvod

Optički komunikacioni sistemi koji su trenutno u upotrebi baziraju se na primeni talasnog multipleksiranja, WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Primenjuju se CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) i DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) tehnologije koje podrazumevaju različiti razmak između kanala, a samim tim i broj kanala. Kod CWDM sistema razmak između kanala iznosi 20 nm i dostupno je 18 optičkih kanala [1]. Za razliku od CWDM sistema, DWDM sistemi podrazumevaju znatno užu razmak između kanala, tipično 0.8 i 0.4 nm, čime se broj kanala povećava na 40, odnosno 80 [2]. Najveći nedostatak WDM sistema je fiksna širina kanala. Fiksna širina kanala ne omogućava dovoljno efikasnu upotrebu dostupnog spektralnog opsega, a takođe ograničava maksimalne brzine prenosa koje se mogu postići. Potencijalno rešenje za razvoj optičkih mreža naredne generacije su elastične

optičke mreže, EON (*Elastic Optical Networks*) [3]. Prelazak na EON nudi niz prednosti u odnosu na tradicionalne WDM sisteme, uključujući povećanje spektralne efikasnosti, fleksibilnosti i skalabilnosti i smanjenje operativnih troškova. U okviru EON uvodi se koncept frekvencijskih slotova, širine 25 GHz, 12.5 GHz i 6.25 GHz, a podržana je agregacija slotova u kanal čiji propusni opseg odgovara saobraćajnim zahtevima. Smanjenje širine kanala dovodi do efikasnije upotrebe raspoloživog spektra, dok se problem ograničenja propusnog opsega fiksnog kanala prevazilazi agregacijom susednih frekvencijskih slotova.

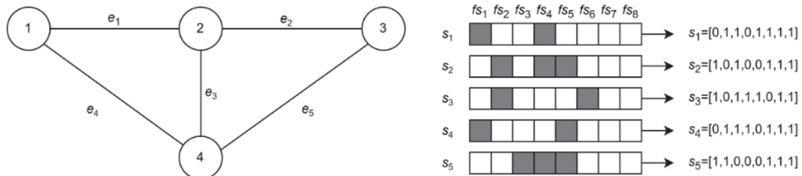
Ključni izazov prilikom implementacije EON je problem rutiranja i alokacije propusnog opsega, RSA (*Routing and Spectrum Allocation*) problem. U okviru ovog rada razmatrani su različiti aspekti RSA problema. Dat je pregled i izvršeno je poređenje različitih metoda rutiranja, kao i algoritama za alokaciju propusnog opsega. Detaljno je analiziran saobraćaj i objašnjen je postupak određivanja optimalnog broja alternativnih ruta za model sa najboljim performansama. Na kraju rada sumirani su najznačajniji rezultati i dat je pregled potencijalnih modifikacija pristupa za rešavanje RSA problema.

2. Problem rutiranja i alokacije propusnog opsega

Prvi deo RSA problema se odnosi na rutiranje, odnosno izbor odgovarajuće putanje za prenos podataka od izvornog do odredišnog čvora. Prema [4] kod EON najčešće se koristi fiksno i alternativno rutiranje. U slučaju fiksnog rutiranja, za svaki par čvorova EON, definiše se tačno jedna ruta za uspostavljanje konekcije, dok se u slučaju alternativnog rutiranja obično definiše nekoliko potencijalnih ruta koje se mogu koristiti za prenos podataka. Princip fiksnog rutiranja je jednostavnije rešenje, jer se prilikom dodele propusnog opsega razmatra isključivo jedna putanja. Sa druge strane fiksno rutiranje je manje pouzdano i fleksibilno u odnosu na alternativno rutiranje. Pored fiksnog i alternativnog rutiranja koriste se i druge metode poput iscrpljujućeg i adaptivnog rutiranja. Metode fiksnog, alternativnog, iscrpljujućeg i adaptivnog rutiranja poređene su u [5] sa aspekta verovatnoće blokiranja zahteva i prosečnog utrošenog vremena. Prema [5] najbolji rezultati sa najnižom verovatnoćom blokiranja zahteva dobijeni su u slučaju adaptivnog rutiranja, ali sa najvišim prosečnim utrošenim vremenom izvršenja. Uprkos najnižoj verovatnoći blokiranja zahteva, autori u [5] izdvajaju alternativno rutiranje kao kompromis između kompleksnosti i verovatnoće blokiranja zahteva. Primena alternativnog rutiranja kod EON i RSA problema podržana je strane velikog broja istraživanja [4-6].

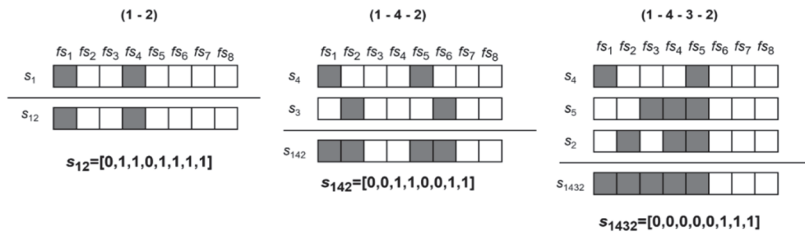
Drugi deo RSA problema odnosi se na alokaciju propusnog opsega, odnosno dodeljivanje frekvencijskih slotova. U okviru EON uvodi se koncept frekvencijskih slotova, koji se mogu posmatrati kao podkanali tipične širine 12.5 GHz. Elastičnost mreže omogućena je agregacijom podkanala, odnosno spajanjem susednih frekvencijskih slotova u kanal odgovarajuće širine u skladu sa zahtevanim protokom. U okviru DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) mreža svakom saobraćajnom zahtevu dodeljuje se kanal fiksne širine, koja tipično iznosi 50 GHz ili 100 GHz. Ovakav način alokacije propusnog opsega nije dovoljno efikasan i ne omogućava racionalnu upotrebu mrežnih resursa, jer je kapacitet kanala često veći od zahtevanog [3]. Takođe, fiksna širina kanala ograničava maksimalni bitski protok koji se može ostvariti po kanalu. Agregacijom podkanala, u okviru EON, postiže se znatno efikasnije korišćenje dostupnog propusnog opsega u skladu sa saobraćajnim zahtevima. Takođe, tako se prevazilazi

ograničenje u pogledu maksimalne brzine prenosa podataka. Dodela propusnog opsega je izazovna zbog dinamične promene zahteva i zauzeća frekvencijskih slotova. Prilikom zauzeća frekvencijskih slotova i kreiranja kanala u skladu sa zahtevima neophodno je ispuniti ograničenje susedstva i kontinuiteta frekvencijskih slotova [7]. Dakle, prilikom uspostavljanja konekcije između izvornog i odredišnog čvora neophodno je korišćenje istih frekvencijskih slotova duž cele rute, na svim linkovima, pri čemu slotovi moraju biti susedni kako bi mogla da se izvrši agregacija slotova. Na Slici 1 dat je primer jedne manje elastične optičke mreže sa četiri čvora $N=\{1, 2, 3, 4\}$ i pet grana $E=\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, na kojoj će biti ilustrovan postupak agregacije slotova u skladu sa ograničenjem susedstva i kontinuiteta frekvencijskih slotova. Takođe, na Slici 1, prikazano je zauzeće frekvencijskih slotova za svaki link u vidu nizova s_i .



Slika 1. Ilustracija elastične optičke mreže i zauzeća frekvencijskih slotova

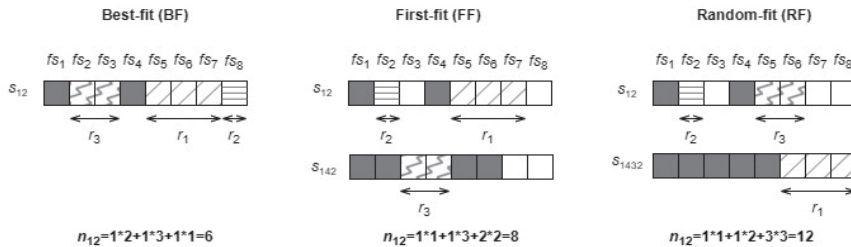
Neka je potrebno uspostaviti konekciju između čvorova 1 i 2. Konekcija između čvorova 1 i 2 može se ostvariti na 3 načina, korišćenjem direktne putanje između čvorova 1 - 2, kao i putanjama 1 - 4 - 2 i 1 - 4 - 3 - 2, koje uključuju veći broj linkova za uspostavu konekcije. Proces određivanja potencijalnih dostupnih frekvencijskih slotova za svaku rutu ilustrovan je na Slici 2. U slučaju kada uspostava konekcije obuhvata više od jednog linka, određivanje potencijalnih dostupnih frekvencijskih slotova vrši se logičkim množenjem odgovarajućih elemenata nizova s_i .



Slika 2. Ilustracija procesa određivanja potencijalnih dostupnih frekvencijskih slotova

Nakon pronalaska potencijalnih slotova za agregaciju se koriste različiti pristupi poput FF (*First Fit*), LF (*Last Fit*), RF (*Random Fit*), BF (*Best Fit*), RSAF (*Reusable Spectrum Allocation First*), koji su detaljno objašnjeni u [4]. U okviru ovog rada razmatrani su FF, RF i BF algoritmi. U slučaju FF metode zauzima se prva grupa frekvencijskih slotova koja zadovoljava zahteve u pogledu broja slotova za uspostavljanje konekcije. U slučaju RF metode zauzima se slučajno odabrana grupa slotova u skladu sa zahtevanim propusnim opsegom. Za razliku od FF i RF metode, BF metoda je zahtevnija, jer se nakon pronalaska slobodnih slotova vrši sortiranje grupa slotova, prema broju slotova, u opadajućem poretku. Zatim se pretražuje da li postoji grupa slotova čiji je propusni opseg identičan zahtevanom. Ukoliko ne postoji takva grupa slotova, zauzima se prva veća grupa susednih slotova. Na Slici 3 ilustrovan je postupak zauzeća slotova

primenom BF, FF i RF metoda u skladu sa zahtevima $r_1=\{1, 2, 3\}$, $r_2=\{1, 2, 1\}$ i $r_3=\{1, 2, 2\}$. Zahtevi su zadati u obliku torke $r_i=\{o_i, d_i, n_i\}$, gde o_i odgovara izvornom čvoru, d_i odredišnom čvoru, a n_i odgovara broju zahtevanih slotova. Takođe, na Slici 3, naznačen je i broj korišćenih slotova, koji se za svaki zahtev dobija množenjem broja korišćenih slotova i linkova. Sa Slike 3 se može uočiti značajna razlika u broju korišćenih slotova za uspostavljanje konekcije. Najbolje rešenje dobijeno je primenom BF algoritma, dok je u slučaju RF algoritma korišćeno čak duplo više slotova za ispunjenje istih saobraćajnih zahteva.



Slika 3. Ilustracija zauzeća frekvencijskih slotova primenom BF, FF i RF metoda

3. Razvoj i implementacija modela za rutiranje i alokaciju propusnog opsega

Prilikom rešavanja problema rutiranja i alokacije propusnog opsega koriste se različiti pristupi. Problemi se mogu razmatrati pojedinačno, nezavisno jedan od drugog, ili objedinjeno. Takođe, RSA problem se tipično razmatra u dva različita režima rada, statički (*offline*) i dinamički (*online*). Statički i dinamički režim rada se razlikuju po tome da li su saobraćajni zahtevi poznati unapred, kao i po trajanju zahteva, odnosno vremena zauzeća kanala. U slučaju *offline* režima, koji je tipičan režim prilikom planiranja EON, zahtevi su poznati unapred i smatra se da je trajanje zahteva beskonačno, odnosno nakon zauzeća kanala, kanal je trajno zauzet [8]. U okviru ovog rada prilikom implementacije modela za alokaciju propusnog opsega korišćeno je fiksno i alternativno rutiranje u kombinaciji sa BF, FF i RF metodama alokacije propusnog opsega. Odnosno, problem rutiranja i problem alokacije propusnog opsega razmatrani su objedinjeno, u statičkom režimu rada.

Razvoj i implementacija modela za rutiranje i alokaciju propusnog opsega EON primenom BF, FF i RF algoritama izvršena je u programskom jeziku *Python* u *Google Colab* okruženju. Razvoj modela obuhvata sledeće korake:

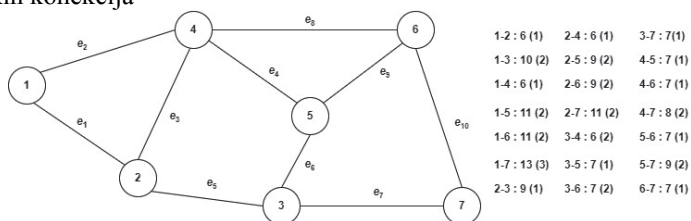
- Generisanje EON definisanjem matrice incidencije od strane korisnika.
- Za svaki par čvorova u mreži pronalaženje mogućih putanja za uspostavljanje optičke konekcije i sortiranje putanja u rastućem poretku na osnovu broja linkova koji se koriste za uspostavljanje konekcije.
- Odabir alternativnih ruta koje će biti razmatrane za uspostavljanje konekcije.
- Generisanje 64 frekvencijskih slotova za svaki link u okviru definisane EON.
- Generisanje slučajnog početnog zauzeća frekvencijskih slotova, tako da je u svakom linku zauzeto 25% frekvencijskih slotova.
- Generisanje zahteva za alokaciju propusnog opsega koje je moguće izvršiti na dva načina. Prvi način obuhvata slučajno generisanje zahteva pri čemu korisnik definiše broj zahteva, ukupan broj frekvencijskih slotova za sve zahteve, kao i

minimalni i maksimalni broj frekvencijskih slotova za pojedinačne zahteve. Takođe, moguće je definisanje zahteva od strane korisnika uvozom .csv dokumenta pri čemu se za svaki zahtev definiše izvorni i odredišni čvor i broj frekvencijskih slotova.

- Implementacija BF, FF i RF algoritama za alokaciju propusnog opsega.
- Određivanje broja ispunjenih zahteva i ukupnog broja frekvencijskih slotova koji je korišćen za ispunjenje zahteva.
- Određivanje broja neispunjenih zahteva i verovatnoće blokiranja zahteva.
- Određivanje vremena potrebnog za alokaciju propusnog opsega.
- Upis dobijenih rezultata u .csv dokument.

4. Rezultati i analiza rezultata

Nakon implementacije modela za alokaciju propusnog opsega izvršeno je testiranje na jednoj manjoj EON dimenzija 7x10, koja je prikazana na Slici 4. Za posmatranu mrežu broj mogućih različitih optičkih konekcija je 21, pri čemu broj alternativnih ruta koje se mogu koristiti za uspostavljanje konekcije iznosi 173. Odnosno, za svaki par čvorova u mreži konekcija se može uspostaviti putem maksimalnih 6 do 13 ruta. Na Slici 4, je za svaku konekciju naznačen maksimalni broj alternativnih ruta, kao i minimalni broj linkva sa uspostavljanje konekcije. Predviđeni broj frekvencijskih slotova za svaki optički link je 64 slota, širine 12.5 GHz. Dakle, ukupan propusni opseg mreže iznosi 0.8 THz, pri čemu je 25% frekvencijskih slotova u svakoj grani zauzeto, odnosno dodeljen je opseg od 0.2 THz, dok je preostalih 0.6 THz dostupno za uspostavljanje novih optičkih konekcija



Slika 4. EON topologija korišćena za testiranje modela

Za potrebe testiranja modela generisano je 80 saobraćajnih zahteva, pri čemu broj zahtevanih frekvencijskih slotova iznosi 160, odnosno 0.2 THz. Dakle, ukupni zahtevani propusni opseg iznosi 0.4 THz, što predstavlja 50% propusnog opsega mreže. Prilikom generisanja saobraćajnih zahteva uvedene su sledeće pretpostavke:

- Opterećenja pojedinačnih linkova se međusobno razlikuju.
- 75% generisanih saobraćajnih zahteva je jednako raspoređeno između linkova 1-4, 1-7, 2-4, 3-5, 4-6, i 6-7. Za svaki navedeni link generisano je po 10 zahteva, a ukupan broj zahtevanih frekvencijih slotova po linku je 20.
- 25% generisanih saobraćajnih zahteva dodeljeno je preostalim linkovima u mreži. Za svaki link generisano je do 2 zahteva, tako da se ukupan broj zahtevanih slotova po linku nalazi u opsegu od 1 do 5.
- Zahtevani broj slotova pojedinačnih zahteva nalazi se u opsegu od 1 do 3.

Radi testiranja modela kreirana su 3 saobraćajna toka, generisanjem novog početnog stanja zauzeća frekvencijskih slotova. Kod svih saobraćajnih tokova korišćeni

su isti zahtevi, ali je redosled zahteva izmenjen. Kako se kod svih implementiranih algoritama za alokaciju propusnog opsega saobraćajni zahtevi obrađuju redosledom kojim su pristigni, redosled saobraćajnih zahteva utiče na postupak dodele frekvencijskih slotova. Uzimajući u obzir ukupno opterećenje mreže, testiranje je izvršeno korišćenjem jedne alternativne rute, odnosno primenom fiksnog rutiranja. Rezultati testiranja prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Analiza rezultata BF, FF i RF modela pri zahtevanom propusnom opsegu od 0.4 THz za EON sa Slike 4, korišćenjem fiksnog rutiranja.

Saobraćajni tok	Saobraćajni tok 1			Saobraćajni tok 2			Saobraćajni tok 3		
	BF	FF	RF	BF	FF	RF	BF	FF	RF
Vreme izvršenja [s]	0.52	0.42	0.41	0.45	0.42	0.46	0.46	0.43	0.52
Broj ispunjenih zahteva	80	80	80	79	80	77	80	80	79
Dodeljeni broj slotova	222	222	222	216	222	201	222	222	216
Broj neispunjenih zahteva	0	0	0	1	0	3	0	0	1
Zahtevani broj slotova neispunjenih zahteva	0	0	0	2	0	7	0	0	2

Iz Tabele 1 se može videti da su u slučaju zahtevanog opsega od 0.4 THz, korišćenjem fiksnog rutiranja, najbolji rezultati dobijeni primenom FF algoritma. Primenom FF algoritma postiže se ispunjenje svih saobraćajnih zahteva, pri čemu je dodeljeni broj slotova za ispunjenje zahteva optimalan i iznosi 222 slota. U slučaju BF algoritma optimalno rešenje nije pronađeno za saobraćajni tok 2, gde dolazi do odbijanja jednog zahteva, dok je u slučaju RF algoritma optimalno rešenje dobijeno jedino za saobraćajni tok 1. Kako je postupak dodele frekvencijskih slotova kod RF metode slučajan, za razliku od BF i FF metode, moguće je dobiti i drugačije rezultate u odnosu na rezultate koji su prikazani u Tabelu 1. Alokacija propusnog opsega primenom RF metode za saobraćajni tok 1 je izvršena 10 puta, pri čemu je optimalno rešenje dobijeno 4 puta. Usled malog broja saobraćajnih zahteva nije zabeležena značajna razlika u prosečnom utrošenom vremenu za ispunjenje saobraćajnih zahteva.

Radi daljeg testiranja i poređenja kreiranih modela, ukupan zahtevani propusni opseg je povećan na 0.6 THz, dupliranjem generisanih saobraćajnih zahteva. Odnosno, generisano je 160 saobraćajnih zahteva pri čemu ukupan zahtevani propusni opseg iznosi 0.4 THz, dok je 0.2 THz propusnog opsega već dodeljeno. Pri zahtevanom propusnom opsegu od 0.6 THz korišćen je maksimalni broj alternativnih ruta za sve konekcije u mreži. Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Analiza rezultata pri zahtevanom propusnom opsegu od 0.6 THz za EON sa Slike 4, korišćenjem maksimalnog broja alternativnih ruta.

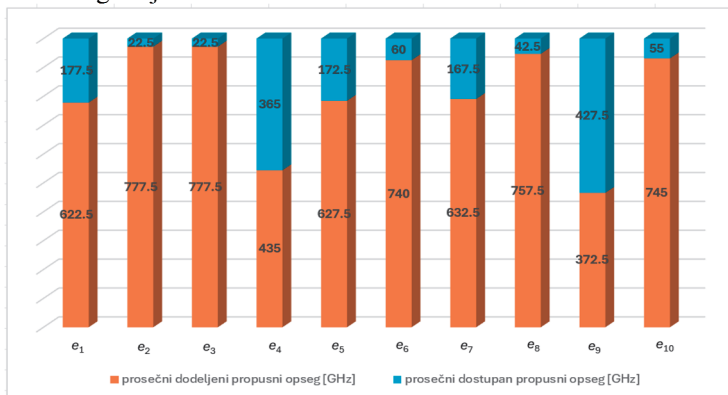
Saobraćajni tok	Saobraćajni tok 1			Saobraćajni tok 2			Saobraćajni tok 3		
	BF	FF	RF	BF	FF	RF	BF	FF	RF
Vreme izvršenja [s]	1.45	1.31	1.37	1.46	1.19	1.05	1.53	1.20	1.13
Broj ispunjenih zahteva	149	147	148	151	146	145	152	148	146
Dodeljeni broj slotova	404	399	383	392	402	389	403	397	386
Broj neispunjenih zahteva	11	13	23	9	14	22	8	12	25
Zahtevani broj slotova neispunjenih zahteva	26	34	57	24	35	54	17	31	59

U slučaju povećanog saobraćajnog obima, kao i povećanja broja alternativnih ruta može se uočiti značajna razlika dobijenih rezultata u odnosu na opterećenje od 0.4 THz. Najveća verovatnoća blokiranja zahteva dobijena je primenom RF algoritma, kao i u slučaju nižeg mrežnog opterećenja. Takođe, može se uočiti neefikasnost prilikom dodele frekvencijskih slotova, posebno kod saobraćajnog toka 2 i 3. U slučaju saobraćajnog toka 2, iskorišćen je skoro isti propusni opseg za ispunjenje saobraćajnih zahteva, u slučaju BF i RF metode, pri čemu su primenom RF metode odbijeni zahtevi od skoro 400 GHz više u poređenju sa BF metodom. Najveća razlika, može se uočiti između BF i FF metode. U slučaju nižeg saobraćajnog opterećenja, primenom fiksnog rutiranja, najbolji rezultati dobijeni su primenom FF algoritma. Suprotno tome, sa povećanjem saobraćajnog opterećenja i primenom alternativnog rutiranja znatno bolji rezultati dobijeni su primenom BF algoritma. Po saobraćajnom toku, primenom BF metode, prosečno se zadovolje zahtevi čiji je zahtevani propusni opseg 137.5 GHz viši u odnosu na FF metodu, a da se pri tome koristi 42.5 GHz manje prilikom alokacije propusnog opsega. Dobijeni rezultati potvrđuju tvrdnju iz [4], da u slučaju višestrukih alternativnih ruta BF algoritam ima bolje performanse u odnosu na FF, dok su u slučaju jedne alternativne rute performanse BF i FF algoritma slične. Prosečno vreme potrebno za alokaciju propusnog opsega u slučaju BF algoritma je više u poređenju sa FF algoritmom i iznosi 1.48 s, dok u slučaju FF algoritma iznosi 1.23 s.

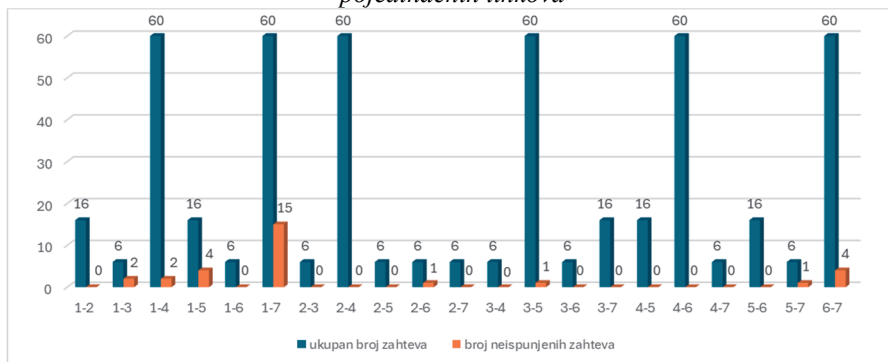
Kako su najbolji rezultati dobijeni primenom BF algoritma izvršena je detaljna analiza dobijenih rezultata za sve saobraćajne tokove radi određivanja optimalnog broja alternativnih ruta. Kreirani model za svaki ispunjeni saobraćajni zahtev beleži putanju i indekse dodeljenih slotova koji se koriste za uspostavljanje optičke konekcije. Takođe, nakon svakog ispunjenog zahteva vrše se izmene nizova s_i , odnosno matrice S , što omogućava uvid u aktuelno opterećenje mreže. Na Slici 5 dat je prikaz prosečnog dodeljenog propusnog opsega, kao i preostalog propusnog opsega za sve linkove u mreži, dok je na Slici 6 dat prikaz ukupnog broja zahteva i broja neispunjenih zahteva pojedinačnih linkova.

Sa Slike 5 se može uočiti, da su nakon obrade svih saobraćajnih zahteva, linkovi e_4 i e_9 najmanje opterećeni u mreži. Ukupno je dostupno skoro 800 GHz u okviru linkova e_4 i e_9 , koji se mogu iskoristiti za uspostavljanje konekcija 4-5 i 5-6, a mogu se koristiti i za uspostavljanje alternativne rute 4-6, uzimajući u obzir zauzeće linka e_8 . Kao što se može videti sa Slike 6, u slučaju konekcija 4-5 i 5-6 ne dolazi do odbijanja zahteva, kao ni u slučaju konekcije 4-6 koja predstavlja jednu od konekcija sa najvećim brojem saobraćajnih zahteva u mreži. U okviru linkova e_1 , e_5 i e_7 dostupno je oko 170 GHz za uspostavljanje novih konekcija, dok su preostali linkovi u mreži skoro maksimalno opterećeni. Najveći broj zahteva blokiran je u slučaju konekcije 1-7. Link 1-7 je jedan od najopterećenijih linkova u mreži, ali je broj neispunjenih zahteva znatno viši u poređenju sa ostalim linkovima koji imaju isti broj zahteva, kao i isti zahtevani propusni opseg. Kao što se može videti sa Slike 4, za uspostavljanje konekcije 1-7 potrebno je minimalno 3 linka, dok je za uspostavljanje svih ostalih konekcija u mreži potrebno minimum 1 ili 2 linka. Obzirom na minimalni broj linkova za uspostavljanje konekcije i zahtevani propusni opseg, broj neispunjenih saobraćajnih zahteva je očekivan. Potrebno je napomenuti da je nakon analize pojedinih saobraćajnih tokova uočeno da se u slučaju konekcije 1-7 retko koristi druga alternativna ruta 1-4-6-7, koja takođe obuhvata 3 linka, e_2 , e_8 i e_{10} , kao i primarna ruta 1-2-3-7. Skoro svi slotovi linkova e_2 , e_8 i e_{10} su zauzeti, tako da se u slučaju konekcije 1-7 češće koriste alternativne rute 1-4-5-6-7 i 1-2-3-5-6-7,

koje podrazumevaju korišćenje većeg broja linkova za uspostavljanje konekcije, a samim tim i upotrebu većeg broja slotova.



Slika 5. Pregled prosečnog dodeljenog i preostalog dostupnog propusnog opsega pojedinačnih linkova



Slika 6. Pregled ukupnog broja zahteva i broja neispunjenih zahteva pojedinačnih linkova za sve saobraćajne tokove

Nakon analize svih saobraćajnih tokova određen je optimalan broj alternativnih ruta za svaki par čvorova u mreži u cilju smanjenja vremena potrebnog za alokaciju propusnog opsega. Pregled optimalnog broja alternativnih ruta dat je u Tabeli 3. Bez obzira na visok broj alternativnih ruta, prilikom dodele frekvencijskih slotova za većinu konekcija optimalno je koristiti 1 ili 2 rute. Iz Tabele 3 se može videti da je optimalno koristiti samo jednu alternativnu rutu za čak 11 konekcija u mreži. Čak i u slučaju konekcija 2-4, 3-5 i 6-7, kojima je upućen najveći broj zahteva, optimalno je koristiti 1 alternativnu rutu. Povećanje broja alternativnih ruta ne dovodi uvek do smanjenja broja neispunjenih zahteva niti boljeg iskorišćenja dostupnog propusnog opsega. Optimalan broj alternativnih ruta zavisi od dimenzija mreže, saobraćajnog opterećenja i ukupnog dostupnog propusnog opsega mreže. Iz Tabele 3 se može videti da je u slučaju konekcija 1-3, 1-5, 1-7 i 2-6 predviđeno korišćenje većeg broja alternativnih ruta. Prilikom određivanja alternativnih ruta vrši se sortiranje ruta u rastućem poretku na osnovu broja linkova potrebnih za uspostavljanje konekcije. Kod pojedinih alternativnih ruta postoji više opcija za uspostavljanje konekcije između izvornog i odredišnog čvora sa istim

brojem linkova. U tim slučajevima nije definisan redosled sortiranja ruta po nekom drugom kriterijumu. Npr. u slučaju konekcije 1-3 za uspostavljanje druge i treće alternativne rute, 1-4-2-3 i 1-4-5-3, koriste se tri linka. Analizom rezultata uočeno je da se druga alternativna ruta 1-4-2-3 nikada ne koristi, dok se kod pojedinih zahteva koristi treća alternativna ruta 1-4-5-3. Dakle, u slučaju konekcije 1-3, kao i konekcije 1-5, zapravo se koriste dve alternativne rute, ali je zbog načina sortiranja alternativnih ruta neophodno predvideti korišćenje tri rute. Takođe, zbog sortiranja alternativnih ruta, i u slučaju konekcija 1-7 i 2-6, gde je predviđeno korišćenje 6, odnosno 4 alternativne rute, zapravo se koristi manji broj ruta, 4 odnosno 3 rute.

Tabela 3. Pregled optimalnog broja alternativnih ruta za EON sa Slike 4.

Ruta	Optimalni broj alternativnih ruta	Ruta	Optimalni broj alternativnih ruta	Ruta	Optimalni broj alternativnih ruta
1 – 2	1	2 – 4	1	3 – 7	1
1 – 3	3	2 – 5	1	4 – 5	1
1 – 4	2	2 – 6	4	4 – 6	2
1 – 5	3	2 – 7	1	4 – 7	2
1 – 6	2	3 – 4	2	5 – 6	1
1 – 7	6	3 – 5	1	5 – 7	2
2 – 3	1	3 – 6	1	6 – 7	1

Nakon određivanja optimalnog broja ruta ponovo je testiran BF model za sve saobraćajne tokove pri opterećenju od 0.6 THz. Korišćenjem dobijenog broja optimalnih ruti prosečno vreme izvršenja smanjuje se sa 1.48 s na 0.94 s, što je niže i u poređenju sa FF i RF metodom. Pri tome, smanjenje broja alternativnih ruta ne utiče na druge performanse BF algoritma. Ukoliko bi se kao u drugim istraživanjima koristio isti broj alternativnih ruta za sve konekcije u mreži, npr. 5 alternativnih ruta, prosečno vreme potrebno za dodelu propusnog opsega iznosilo bi 1.21 s, što je za 0.27 s više u poređenju sa pristupom kada je korišćen optimalni broj alternativnih ruta. Takođe, u slučaju korišćenja 5 alternativnih ruta dolazi do povećanja broja blokiranih zahteva.

5. Zaključak

U okviru rada implementirani su FF, BF i RF modeli za rešavanje problema alokacije propusnog opsega u okviru EON. Izvršeno je poređenje performansi modela u statičkom režimu rada pri različitim saobraćajnim opterećenjima korišćenjem fiksnog i alternativnog rutiranja. Primenom fiksnog rutiranja, pri manjem saobraćajnom opterećenju, najbolji rezultati dobijeni su primenom FF modela, pri čemu BF model ima malo lošije performanse. Sa druge strane, u slučaju povećanog saobraćajnog obima i višestrukih alternativnih ruta BF model ima znatno bolje performanse u odnosu na FF model. Kreirani modeli pored poređenja performansi omogućavaju i detaljnu analizu saobraćaja, kao i određivanje optimalnog broja alternativnih ruta što dovodi do značajnog smanjenja vremena potrebnog za dodelu propusnog opsega u slučaju BF metode.

Prilikom analize rezultata uočeno je nekoliko potencijalnih opcija za modifikaciju BF modela koje obuhvataju sortiranje saobraćajnih zahteva prema zahtevanom propusnom opsegu. Predikcija saobraćaja, kombinacija alternativnog i iscrpljujućeg rutiranja, takođe može rezultovati efikasnijom upotrebom raspoloživih mrežnih resursa.

Literatura

- [1] ITU-T Recommendation G.694.1: "Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid", ITU-T Geneva, 2004.
- [2] ITU-T Recommendation G.694.1: "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid", ITU-T Geneva, 2012.
- [3] G. Marković, S. Miladić-Tešić, "Tehnika agregacije saobraćaja i dimenzionisanje resursa elastičnih optičkih mreža", *XXXVII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju-PosTel*, Beograd, decembar 2019.
- [4] L. Ruiz et al., "Routing, modulation and spectrum assignment algorithm using multi-path routing and best-fit", *IEEE Access*, 9, 111633-111650, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3101998.
- [5] J. Zhang, F. Qian and J. Yang, "Online routing and spectrum allocation in elastic optical networks based on dueling Deep Q-network", *Computers & Industrial Engineering*, 173, 108663, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108663>.
- [6] F. S. Abkenar, A. G. Rahbar and A. Ebrahimzadeh, A., "Best fit (BF): A new spectrum allocation mechanism in elastic optical networks (EONs) ", *8th International Symposium on Telecommunications (IST)*, IEEE, pp. 24-29. 2016. DOI: 10.1109/ISTEL.2016.7881775.
- [7] S. Miladić, G. Marković, "Elastične optičke mreže", *XXXIII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju-PosTel*, 241-251, Beograd, decembar 2015.
- [8] G. Z. Marković, "Routing and spectrum allocation in elastic optical networks using bee colony optimization", *Photonic Network Communications*, 34(3), 356-374, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11107-017-0706-z>.

Abstract: *In order to make the most efficient use of available network resources and overcome problems such as fixed channel width and maximum transmission speed in optical telecommunications, the concept of elastic optical networks is introduced. One of the main obstacles to the implementation of elastic optical networks is the routing and spectrum allocation problem. This paper covered several commonly used techniques for spectrum allocation in static mode under various traffic levels. We have implemented three models using several frequency slot allocation techniques. In addition to performance comparisons, the developed models also allow comprehensive traffic analysis, providing an overview of used alternate routes and network link load. We explain in detail the method for determining the optimal number of alternate routes in multipath routing, using a given network topology example. Determining the optimal number of routes for each connection in the network allows for a significant reduction in the time required for spectrum allocation without compromising the other model's performance.*

Keywords: *elastic optical networks, routing, spectrum allocation, optimization*

IMPLEMENTATION OF MODELS FOR ROUTING AND SPECTRUM ALLOCATION IN ELASTIC OPTICAL NETWORKS

Goran Marković, Ivana Stefanović and Snežana Mladenović

DETEKCIJA JEDVA UOČLJIVIH RAZLIKA NA SLIKAMA SA KOMPRESIJOM U INFRACRVENOM DELU ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA

Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović
Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija
nivzvkh@hotmail.com, bondzulici@yahoo.com, bobanpav@yahoo.com

Rezime: *Određivanje stepena kompresije na slikama, definisanjem praga do koga se ista može vršiti bez vizuelnih gubitaka je aktuelan problem istraživanja. U tom cilju kreirana je baza slika primenom JPEG i BPG tipova kompresije. Karakteristično za bazu je da se sastoji od slika iz infracrvenog dela spektra. Baza je formirana od 35 originalnih slika i sadrži rezultate subjektivnih testova, sprovedenih na nivou kompletne slike, kojima je određena granica do koje se slika može komprimovati, a da korisnik ne uočava degradacije na slici usled primenjene kompresije sa gubicima. U radu je opisan način formiranja baze, način sprovođenja subjektivnih testova i predstavljeni su prikupljeni rezultati. Izvršena je analiza efikasnosti korišćenih koda za kompresiju slike. Pokazano je da se veći stepen kompresije, za isti kvalitet slike, postiže primenom BPG kompresije kroz vrednosti reprezentacije slike u broju bita po pikselu. Vrednosti bita po pikselu su dalje korišćeni u predikciji praga jedva uočljivih razlika na predstavljenoj bazi.*

Ključne reči: *jedva uočljive razlike (JND), kompresija slike, JPEG, BPG, kompresija sa gubicima, infracrvene slike*

1. Uvod

Slike iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra (eng. *Infrared*, IR) su široko rasprostranjene u raznim primenama. Koriste se u industriji, medicini, protivpožarnim sistemima, video nadzoru, vojsci i dr. U početku su infracrvene slike bile korišćene skoro pa isključivo u vojnim primenama, dok je danas njihova masovna upotreba značajno šira [1]. U vojnim primenama, infracrvene slike se najčešće koriste u detekciji objekata i njihovom prepoznavanju i praćenju [2]. Razlog zbog kog se slike iz infracrvenog opsega koriste je taj što slike iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra često ne pružaju dovoljno informacija za detekciju i praćenje objekata, naročito u uslovima ograničene vidljivosti i noću. Efikasne tehnike maskiranja dodatno otežavaju detekciju. Infracrvena slika se formira prikupljanjem zračenja sa objekata na sceni koja se posmatra i njihovom konverzijom u vidljivu sliku. Opseg talasnih dužina koji pripada infracrvenom spektru je od 0.75-1000 μm , ali se najčešće koristi dugotalasni IR opseg (eng. *Long-Wavelength Infrared*, LWIR) od 7.5 do 14 μm [3].

Pored precizne detekcije u vojnim primenama je od izuzetnog značaja i pravovremeno dostavljanje informacija radi daljeg delovanja. Brz prenos informacija kroz telekomunikacione kanale malog kapaciteta koji neretko mogu biti i ometani je od presudnog značaja radi donošenja ispravne odluke. Kompresijom podataka pre njihovog prenosa se može značajno uticati na zauzeće resursa kanala i smanjenje emisije radio zračenja tokom prenosa u dodatnom cilju smanjenja mogućeg otkrivanja svog položaja.

Kompresija se uopšteno govoreći deli na kompresiju sa gubicima (eng. *lossy*) i kompresiju bez gubitaka (eng. *lossless*) [4]. Kada su u pitanju vizuelni signali, uvodi se i treći tip kompresije, a to je kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija (eng. *visually lossless*) [5]. Kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija odnosi se na to da se kompresija vrši do te mere da korisnik ne uočava degradacije. Ova granična tačka predstavlja i razgraničenje prilikom tranzicije od kompresije bez vizuelnih gubitaka do kompresije sa vizuelnim gubicima. Slika određena na ovakav način, gde se mogu uočiti tek vidljive razlike (eng. *Just Noticeable Difference*, JND) u odnosu na originalnu, nekomprimovanu sliku, naziva se prva JND tačka (JND#1) [6].

Cilj rada je proširiti mogućnosti istraživanja detekcije jedva uočljivih razlika kod slika sa kompresijom i na infracrveni deo elektromagnetnog spektra. Predstavljanjem nove baze slika koja u sebi sadrži rezultate subjektivno određenih prvih JND tačaka za JPEG [7] i BPG [8] kompresije kroz njihove parametre kvaliteta, to je i postignuto.

U drugom odeljku opisana je kreirana baza slika. U trećem odeljku opisan je način sprovođenja subjektivnih testova u detekciji prve JND tačke. Analiza efikasnosti dve korišćene tehnike kompresije je data u četvrtom odeljku. U petom odeljku pokazano je kako se korišćenjem jednostavnih obeležja slike može odrediti prva JND tačka. Na kraju su dati najvažniji zaključci.

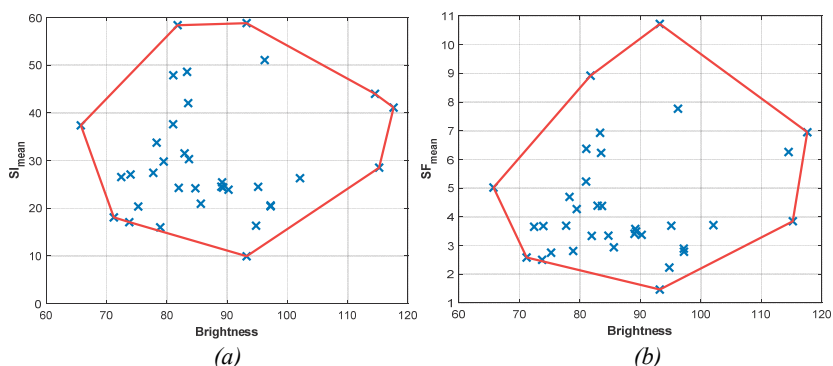
2. Opis kreirane baze slika

Za potrebe formiranja baze slika korišćeno je 35 slika iz LWIR dela elektromagnetnog spektra. Tri slike su izdvojene iz baze slika pod nazivom *eXtended Multispectral Dataset for Camouflage Detection* (MUDCAD-X) [9]. Navedena baza je kreirana u cilju detekcije skrivenih objekata u multispektralnom okruženju. Akvizicija je izvršena u vidljivom i u nekoliko IR podopsega. Slike su prikupljane tokom različitih godišnjih doba pomoću video senzora montiranog na dronu. Sve slike su dimenzija 512x512 piksela. Iz baze slika *Multi-scenario Multi-Modality* (M³FD) [10] izdvojeno je 25 slika takođe iz LWIR opsega. Ova baza, pored slika iz LWIR opsega, sadrži i slike iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra. Cilj kreiranja ove baze slika je sjedinjavanje slika u multispektralnom okruženju. Baza sadrži 4200 parova slika različitih rezolucija. Autori su iz svoje arhive dodali još sedam slika iz LWIR opsega, visoke rezolucije, radi kompletiranja baze. Sve slike su snimane u realnom, spoljašnjem okruženju.

Nakon izbora slika, da bi se izvršila kompresija slike korišćenjem JPEG i BPG koda, izvršena su određena prilagođavanja. Najpre je izvršeno odsecanje slika na dimenzije koje su umnožak 32. Razlog je što BPG koder vrši izračunavanje diskretne kosinusne (eng. *Discrete Cosine Transform*, DCT) i diskretne sinusne transformacije (eng. *Discrete Sine Transform*, DST) na nepreklapajućim blokovima dimenzija 32x32 piksela. JPEG koder izračunava DCT na nepreklapajućim blokovima dimenzija 8x8 piksela što takođe zadovoljava uslov da slika bude dimenzija umnožak 32. Razlog ovakvog postupanja je izbegavanje pojave ivičnih efekata usled nekompletnih blokova.

Nakon predobrade, izvršena je kompresija. Za svaku od originalnih slika dobijeno je 100 slika sa JPEG kompresijom i 52 slike sa BPG kompresijom. Shodno tome, podskup slika sa JPEG kompresijom sadrži ukupno 3500 slika, dok podskup slika sa BPG kompresijom sadrži 1820 slika. Važno je napomenuti da JPEG i BPG imaju obrnutu skalu nivoa kompresije. Tako su JPEG slike definisane faktorom kvaliteta (eng. *Quality Factor*, QF) od 1 do 100, gde su sa 1 označene slike sa najvišim, a sa 100 slike sa najnižim stepenom kompresije. Kod BPG koda čiji kvantizacioni parametar (eng. *Quantization Parameter*, QP) [11] iznosi 0 predstavljene su slike sa najnižim stepenom kompresije, a ukoliko iznosi 51 onda su u pitanju slike sa najvišim stepenom kompresije.

Na slici 1 su prikazane srednje vrednosti prostorne informacije (eng. *Spatial Information*, SI) [12] i prostorne frekvencije (eng. *Spatial Frequency*, SF) [13] u odnosu na srednju vrednost osvetljaja (eng. *brightness*) originalnih slika. Može se reći da je nešto manji broj slika sa višim vrednostima SI, SF i osvetljaja. Takođe, uočava se gušća koncentracija slika sa nižim SI i SF vrednostima i vrednostima osvetljaja oko sredine dinamičkog opsega. Distribucija tačaka pokazuje dobar izbor slika sa različitom složnošću za dalju kompresiju.



Slika 1. Raspodela srednje vrednosti: (a) prostorne informacije (SI_{mean}) i (b) prostorne frekvencije (SF_{mean}) u odnosu na srednju vrednost osvetljaja (*brightness*) slike

Ime bazi slika je dato u skladu sa predmetom istraživanja i opsega iz kog su korišćene slike: *Just Noticeable Difference – Infrared* (JND-IR). Predstavljena baza slika, pored izučavanja jedva vidljivih razlika i kompresije sa gubicima, može se koristiti i kod detekcije objekata u realnom okruženju. Zbog slika iz tri različite baze, prikupljenih različitim sensorima, i slika koje su različitim rezolucija, baza može biti izazovna istraživačima u pronalaženju algoritama koji će uspešno obavljati svoju funkciju u navedenim oblastima.

3. Realizacija subjektivnih testova

Nad opisanom bazom slika iz prethodnog poglavlja sprovedeni su subjektivni testovi u cilju određivanja prve JND tačke. Subjektivna detekcija prve JND tačke realizovana je pod kontrolisanim uslovima. Testiranje je vršeno u jednom od računarskih kabineta na Vojnoj akademiji, Univerziteta odbrane u Beogradu. Svi korišćeni računari imali su monitor veličine 24 inča.

Za potrebe testiranja napravljena je aplikacija specijalno za ovu namenu u softverskom paketu MATLAB korišćenjem alata za programiranje grafičkog korisničkog interfejsa (eng. *Graphical User Interface*, GUI). Testiranje je sprovedeno kroz pet celina.

U uvodnom delu, ispitanicima je poželjena dobrodošlica, nakon čega je bilo potrebno popuniti upitnik sa nekoliko osnovnih pitanja i to: ime i prezime, da li se koriste pomagala za korekciju vida, nivo znanja o obradi slike, kompresiji slike i obradi infracrvenih slika.

U drugom delu testiranja izvršena je priprema za izradu testova. Tokom pripreme, ispitanicima je skrenuta pažnja da ne postoje tačni ili netačni odgovori i da je vreme za davanje odgovora neograničeno. Ukazan je i način manifestovanja degradacije usled korišćenog tipa kompresije. Prikazano je na koji će se način vršiti testiranje u naredne dve faze. Pre početka testiranja, izvršena je obuka ispitanika kroz tri test slike.

Treći deo testiranja predstavlja fazu gde se određuje prva JND tačka. Ispitanicima se prikazivane dve slike jedna do druge. Jedna slika je originalna/nekompimovana dok je druga komprimovana. Ispitanici su odgovarali sa DA ili NE na pitanje da li uočavaju razlike između dve prikazane slike. Nakon odgovora, komprimovana slika se menja i prikazuje se slika promenjenog stepena kompresije (QF/QP), odnosno boljeg ili lošijeg kvaliteta u zavisnosti od odgovora. Primenom binarne pretrage (eng. *binary search*) smanjuje se broj potrebnih iteracija za određivanje prve JND tačke na jednoj slici. Početna komprimovana slika ima vrednost polovine skale parametra kvaliteta (za JPEG QF=50, za BPG QP=26).

U četvrtom delu testa, ispitanicima su prikazivane istovremeno četiri iste slike, od kojih su tri bile original, dok je četvrta, slučajno raspoređena bila slika koju je sam ispitanik odredio kao prvu JND tačku u prethodnom koraku. Korišćeni test je poznat i kao prinudni izbor od četiri mogućnosti (eng. *Four Alternative Forced Choice*, 4AFC). Ovaj deo testa delimično potvrđuje pouzdanost subjektivno određene prve JND tačke. Ako ispitanik u velikom procentu, za veoma kratko vreme bira ispravno komprimovanu sliku, može postojati sumnja da slika određena kao prva JND tačka ima veći stepen kompresije nego što bi trebalo da ne bi došlo do gubitka vizuelnog kvaliteta.

U poslednjem delu, ispitanicima je izražena zahvalnost uz odgovarajuće posluženje.

Nakon završenih testiranja odstranjeni su rezultati nepouzdatih posmatrača. Da bi se odstranili nepouzdati posmatrači, najpre su izračunati srednja vrednost (μ) i standardna devijacija (σ) prvih JND tačaka za svaku od slika u vidu QP ili QF, u zavisnosti od tipa kompresije. Dalje je definisan opseg vrednosti $\mu \pm \sigma$. Selektovane su sve određene prve JND tačke čije vrednosti ne pripadaju ovom opsegu. Svi ispitanici koji su imali 18 i više slika (>50%) sa vrednostima QF/QP van definisanog opsega odstranjeni su kao nepouzdati.

Kompletna baza sa rezultatima subjektivnih testova je javno dostupna u [14].

Na slici 2 dat je jedan primer slike iz predstavljene JND-IR baze. Na slici su predstavljene originalna slika i JPEG i BPG komprimovane slike određene kao prve JND tačke. Obe komprimovane slike imaju vrednost parametra kvaliteta oko polovine svoje skale. Iako se vizuelno ne mogu uočiti degradacije u odnosu na originalnu sliku, objektivna vrednost kvaliteta je na strani BPG koda prema vršnom odnosu signal-šum (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*, PSNR). Pored navedenih slika, dodatno su prikazane još dve slike, jedna sa JPEG i jedna sa BPG kompresijom, gde su degradacije uočljivije. Na slici 2(d) gde je prikazana slika sa JPEG kompresijom uočavaju se blokovski efekti,

koji dolaze najpre do izražaja u homogenim regionima i ivičnim delovima homogenih regiona, što su u ovom slučaju oblaci. Na slici 2(e), gde je slika sa BPG kompresijom, težišno se uočava zamrljanje/zamagljivanje (eng. *blurring*) kao degradacija i u ovom primeru se uočava i u regionima bogatim detaljima, kao i u homogenim regionima. Na prikazanom primeru, uočava se i blagi blokovski efekat u homogenim regionima.



(a) original



(b) JPEG, $QF=49$, $PSNR=38.56$ dB



(c) BPG, $QP=26$, $PSNR=43.20$ dB



(d) JPEG, $QF=15$, $PSNR=33.34$ dB

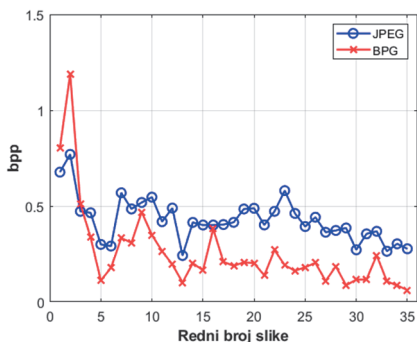


(e) BPG, $QP=45$, $PSNR=31.70$ dB

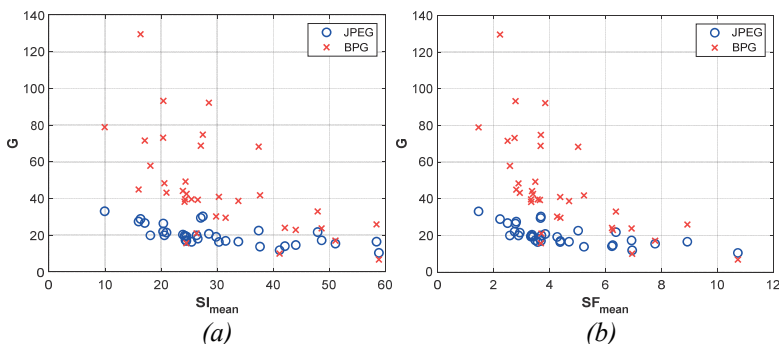
Slika 2. Primer slike iz JND-IR baze: (a) original, (b) JND#1 za JPEG koder, (c) JND#1 za BPG koder, (d) JPEG slika sa uočljivim degradacijama i (e) BPG slika sa uočljivim degradacijama

4. Poređenje tehnika kompresije

Određivanjem prve JND tačke, definisana je granica do koje se slika može komprimovati, a da prosečan korisnik ne primeti degradacije izazvane kompresijom sa gubicima. Razmatranjem vrednosti broja bita po pikselu (eng. *bit per pixel*, *bpp*) za svaku JND#1 sliku, može se sagledati efikasnost korišćenih kodera. Za slike jednakog (odličnog) subjektivnog kvaliteta dobijene su slike čije se veličine, u smislu memorijskog resursa koji zauzimaju, razlikuju. Slika 3 ilustruje ovo razmatranje. Sa slike se može uočiti da je čak kod 32 od 35 slika, više bita po pikselu potrebno za reprezentaciju slike primenom JPEG u odnosu na BPG tip kompresije. Za preostale tri slike efikasniji je JPEG koder. Slike pod rednim brojevima 1-3, za koje je JPEG kompresija efikasnija, preuzete su iz baze slika MUDCAD-X.



Slika 3. Vrednosti *bpp* za JND#1 kod JPEG i BPG kodera



Slika 4. Pojačanje dobijeno primenom kompresije bez vizuelnih gubitaka u odnosu na: (a) SI_{mean} i (b) SF_{mean}

Definisanjem pojačanja G , kao odnosa veličine nekomprimovane slike i veličine JND#1 slike, izvršeno je dalje sagledavanje efikasnosti korišćenih tipova kompresije kod infracrvenih slika. Na slici 4 prikazane su dobijene vrednosti G u odnosu na SI_{mean} i SF_{mean} . Sa prikazanih grafika se može uočiti da je BPG tip kompresije efikasniji u odnosu na JPEG. Sa slike 4 se dodatno uočava da se veći stepen kompresije postiže za niže vrednosti SI_{mean} i SF_{mean} , što je naročito izraženo za BPG tip kompresije. Kod JPEG

kompresije su ove razlike značajno manje. Maksimalni dobitak (stepen kompresije) primenom BPG je 130, dok maksimalni dobitak ostvaren primenom JPEG iznosi 35.

Srednja vrednost bpp za JPEG slike iznosi 0.4276, a za BPG slike iznosi 0.2561. Razlika od 0.17 bpp u korist BPG kompresije je još jedan pokazatelj da će slike sa istim vizuelnim kvalitetom, ako su komprimovane BPG koderom, statistički imati veći stepen kompresije u odnosu na JPEG. Primenom BPG koderom slika se prosečno komprimuje 31.24 puta, dok se primenom JPEG komprimuje prosečno 18.7 puta. Konačno, BPG koderom se prosečno postiže 1.67 puta veći stepen kompresije u odnosu na JPEG za slike iz LWIR opsega.

Slični rezultati dobijeni su analizom baze KonJND-1k [11], koja sadrži veliki broj slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra na kojima su primenjeni JPEG i BPG tipovi kompresije. Rezultati analize mogu se naći u [15].

5. Predikcija pozicije bpp prve JND tačke

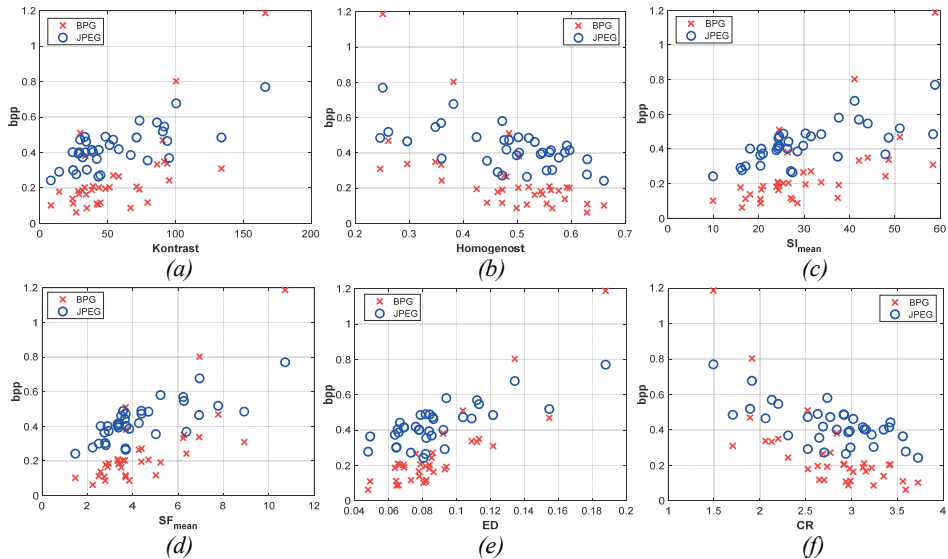
U tabeli 1 date su vrednosti stepena slaganja između bpp JND#1 subjektivno određenih i objektivno prediktovanih vrednosti bpp korišćenjem šest obeležja izvorne slike primenjenih na predstavljenoj bazi slika. Stepent slaganja određen je kroz *Pearson-ovu* linearnu korelaciju (eng. *Linear Correlation Coefficient*, LCC), *Spearman-ovu* korelaciju rangova (eng. *Rank Order Correlation Coefficient*, ROCC), srednju kvadratnu grešku (eng. *Mean Square Error*, MSE) i srednju apsolutnu grešku (eng. *Mean Absolute Error*, MAE). Vrednosti su dobijene korišćenjem logističke krive sa pet parametara u skladu sa preporukama Međunarodne telekomunikacione unije (eng. *International Telecommunication Union*, ITU) [16].

Korišćena su obeležja: kontrast slike, homogenost, srednja vrednost prostorne informacije (SI_{mean}), srednja vrednost prostorne frekvencije (SF_{mean}), gustina ivica (eng. *Edge Density*, ED) i stepen kompresije (eng. *Compression Ratio*, CR) [17].

Određivanje objektivne vrednosti bpp na osnovu jednostavnih obeležja slike bi se izvršilo na sledeći način: (1) izračuna se vrednost obeležja originalne slike, (2) odredi se logistička kriva korišćenjem bpp vrednosti dobjenih iz JND#1 subjektivnih testova i vrednosti obeležja prema [16] na predstavljenoj bazi slika, (3) dobijena kriva koristi se kao funkcija transformacije za određivanje vrednosti bpp iz obeležja bilo koje slike (i van predstavljene baze), na osnovu čega se dalje mogu odrediti QP/QF, odnosno stepen kompresije slike bez gubitaka vizuelnih informacija.

Tabela 1. Stepent slaganja između subjektivnih i objektivnih vrednosti bpp za JND#1

Obeležje	Kontrast	Homogenost	SI_{mean}	SF_{mean}	ED	CR	
JPEG	LCC	0.7201	0.6269	0.7052	0.7602	0.7582	0.7233
	ROCC	0.6014	0.5543	0.6768	0.6997	0.6529	0.5776
	MSE	0.0784	0.0880	0.0801	0.0734	0.0737	0.0780
	MAE	0.0656	0.0718	0.0634	0.0613	0.0603	0.0641
BPG	LCC	0.6902	0.6890	0.6408	0.8249	0.9104	0.8734
	ROCC	0.5776	0.6297	0.6429	0.7359	0.7193	0.7084
	MSE	0.1553	0.1556	0.1648	0.1213	0.0888	0.1045
	MAE	0.1062	0.0942	0.1031	0.0736	0.0661	0.0712



Slika 5. Dijagrami rasipanja za bpp vrednosti JND#1 u odnosu na: (a) kontrast, (b) homogenost, (c) SI_{mean} , (d) SF_{mean} , (e) ED i (f) CR

Rezultati za šest testiranih obeležja u određivanju vrednosti bpp za JND#1 su prikazani u tabeli 1. Obeležja kontrast i SI_{mean} su za sva četiri parametra pokazala bolje rezultate na JPEG slikama. Preostala četiri obeležja su interesantno pokazala bolje rezultate na BPG slikama ali za LCC i ROCC parametre, dok su za MSE i MAE bolji rezultati dobijeni kod slika sa JPEG kompresijom. Najbolje performanse su pokazala ED i CR obeležja za BPG tip kompresije, gde je linearna korelacija sa subjektivnim rezultatima za ED preko 91%. Kod JPEG slika, najviši stepen linearne korelacije pokazalo je obeležje SF_{mean} sa 76% slaganja sa subjektivnim rezultatima.

Na slici 5 su prikazani dijagrami rasipanja za bpp vrednosti JND#1 u odnosu na šest korišćenih obeležja. Sa dijagrama se može uočiti da je disperzija slična za JPEG i BPG tip kompresije, što je usaglašeno sa numeričkim rezultatima iz table 1.

6. Zaključak

U radu je predstavljena baza slika iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Baza je kreirana u cilju detekcije jedva uočljivih razlika na slikama sa kompresijom. Za potrebe formiranja baze korišćeni su JPEG i BPG tipovi kompresije. Baza slika u sebi sadrži vrednosti parametra kvaliteta (QF/QP) koji određuju sliku koja je definisana kao slika sa jedva uočljivim razlikama. Ove vrednosti određene su subjektivnom metodom na nivou kompletne slike. Za potrebe prikupljanja subjektivnih rezultata kreirana je posebna aplikacija.

Predstavljena baza slika formirana je od slika iz tri različite baze. Slike su različitih rezolucija, različite složenosti i predstavljaju scene iz realnog, spoljnog okruženja. Prethodno navedeno čini bazu izuzetno izazovnu za kreiranje novih algoritama za određivanje prve JND tačke. Takođe, baza se može koristiti za testiranje algoritama za detekciju objekata na infracrvenim slikama.

Komparativnom analizom efikasnosti JPEG i BPG tipova kompresije na infracrvenim slikama pokazano je da se primenom BPG tipa kompresije postiže prosečno 1.67 puta veći stepen kompresije u odnosu na JPEG. Analiza je izvršena za slike koje su određene kao prve JND tačke (slike bez vizuelnih gubitaka) subjektivnim testovima.

Dodatno je pokazano da se pomoću jednostavnih obeležja izračunatih iz originalne slike može odrediti vrednost bpp za prvu JND tačku. Bolja predikcija JND#1 postignuta je kod slika sa BPG kompresijom, gde je stepen slaganja sa subjektivnim vrednostima bpp za JND#1 oko 91%.

U daljem radu planirano je proširenje baze i na slike iste scene iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra, kao i efikasnije određivanje prve JND tačke primenom objektivnih metoda.

Literatura

- [1] R. Gade and T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: A survey." *Machine Vision and Applications*, vol. 25, pp. 245-262, 2014, doi: [10.1007/s00138-013-0570-5](https://doi.org/10.1007/s00138-013-0570-5)
- [2] G. Chen and W. Wang, "Target recognition in infrared circumferential scanning system via deep convolutional neural networks." *Sensors*, vol. 20, no. 7, 1922, 2020, doi: [10.3390/s20071922](https://doi.org/10.3390/s20071922)
- [3] D. Perić, B. Livada, M. Perić, and S. Vujić, "Thermal imager range: Predictions, expectations and reality." *Sensors*, vol. 19, no. 15, p. 3313, 2019, doi: [10.3390/s19153313](https://doi.org/10.3390/s19153313)
- [4] A. J. Hussain, A. Al-Fayadh and N. Radi, "Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms." *Neurocomputing* 300, pp. 44-69, 2018, doi: [10.1016/j.neucom.2018.02.094](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094)
- [5] L. Kryvenko, O. Krylova, V. Lukin and S. Kryvenko, "Intelligent visually lossless compression of dental images." *Advanced Optical Technologies*, vol. 13, 1306142, 2024, doi: [10.3389/aot.2024.1306142](https://doi.org/10.3389/aot.2024.1306142)
- [6] B. Bondžulić, B. Pavlović, N. Stojanović and V. Petrović, "Picture-wise just noticeable difference model for JPEG image quality assessment." *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 70, no. 1, pp. 62-86, 2022, doi: [10.5937/vojtehg70-34739](https://doi.org/10.5937/vojtehg70-34739)
- [7] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard." *Communications of the ACM*, vol. 34, no. 4, pp. 30-44, 1991, doi: [10.1109/30.125072](https://doi.org/10.1109/30.125072)
- [8] <https://bellard.org/bpg/> (05.10.2024.)
- [9] T. Hupel and P. Stütz, "Measuring and predicting sensor performance for camouflage detection in multispectral imagery." *Sensors*, vol. 23, no. 19, 8025, 2023, doi: [10.3390/s23198025](https://doi.org/10.3390/s23198025)
- [10] J. Liu, X. Fan, Z. Huang, G. Wu, R. Liu, W. Zhong, and Z. Luo, "Target-aware dual adversarial learning and a multi-scenario multi-modality benchmark to fuse infrared and visible for object detection." In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 5802-5811, New Orleans, LA, USA, June 18-24, 2022, doi: [10.1109/CVPR52688.2022.00571](https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.00571)
- [11] H. Lin, G. Chen, M. Jenadeleh, V. Hosu, U. D. Reips, R. Hamzaoui and D. Saupe, "Large-scale crowdsourced subjective assessment of picturewise just noticeable

- difference.” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 32, no. 9, pp. 5859-5873, 2022, doi: [10.1109/TCSVT.2022.3163860](https://doi.org/10.1109/TCSVT.2022.3163860)
- [12] J. Korhonen, U. Reiter and A. Ukhanova, “Frame rate versus spatial quality: Which video characteristics do matter?.” In *IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, pp. 1-6, Kuching, Malaysia, November 17-20, 2013, doi: [10.1109/VCIP.2013.6706381](https://doi.org/10.1109/VCIP.2013.6706381)
- [13] W. Tan, H. X. Zhou, Y. Yu, J. Du, H. Qin, Z. Ma and R. Zheng, “Multi-focus image fusion using spatial frequency and discrete wavelet transform.” In *Proceedings of Applied Optics and Photonics China 2017: Optical Sensing and Imaging Technology and Applications*, SPIE vol. 10462, pp. 1215-1225, Beijing, China, October 24, 2017, doi: [10.1117/12.2285561](https://doi.org/10.1117/12.2285561)
- [14] N. Stojanović and B. Bondžulić, “JND-IR image dataset.” Mendeley Data, V1, 2024, available at: <https://data.mendeley.com/datasets/x79wx5fz6b/1>
- [15] B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Lukin and S. Kryvenko, “JPEG and BPG visually lossless image compression via KonJND-1k database.” *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 72, no. 3, pp. 1214-1241, 2024, doi: [10.5937/vojtehg72-50300](https://doi.org/10.5937/vojtehg72-50300)
- [16] ITU Tutorial, Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television, ITU-T Telecommunication Standardization Bureau, 2004.
- [17] B. Pavlović, B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Petrović and D. Bujaković, “Prediction of the first just noticeable difference point based on simple image features.” In *IEEE Proceedings of the Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, pp. 125-130, Novi Sad, Serbia, May 29-31, 2023, doi: [10.1109/ZINC58345.2023.10173865](https://doi.org/10.1109/ZINC58345.2023.10173865)

Abstract: *Determining the compression level in images, by defining the threshold up to which compression can be performed without visual loss, is a current research problem. To achieve this goal, an image dataset was created using JPEG and BPG compression types. This dataset is characterized by the fact that it consists of images from the infrared part of the spectrum. The dataset is formed from 35 original images and contains the results of subjective tests, conducted at the level of the complete image, which determine the limit to which the image can be compressed, without the user noticing the degradation of the image due to the applied lossy compression. The paper describes the method of forming the dataset, the method of conducting subjective tests, and presents the collected results. An analysis and comparison of the efficiency of the used coders for image compression were performed. It is shown that a higher compression level, for the same image quality, is achieved by applying BPG compression through the average number of bits per pixel. The bit per pixel was further used to predict the threshold of just noticeable differences in infrared images on the presented dataset.*

Keywords: *Just Noticeable Difference (JND), image compression, JPEG, BPG, lossy compression, infrared imaging*

**DETECTION OF JUST NOTICEABLE DIFFERENCES
IN COMPRESSED IMAGES IN THE INFRARED
PART OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM**
 Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović

SISTEMI ZA PREPORUČIVANJE U PAMETNIM GRADOVIMA

Vesna Radonjić Đogatović¹, Milica Danilović²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, v.radonjic@sf.bg.ac.rs

²HUAWEI Technologies, milica.danilovic@huawei.com

Rezime: U eri digitalizovanih informacija i širokog spektra različitih servisa, fenomen preopterećenosti podacima doveo je do pojave i razvoja sistema za preporučivanje, koji se zasnivaju na analitici podataka, veštačkoj inteligenciji i personalizaciji korisničkog iskustva. Primena ovih sistema predstavlja napredak u razvoju personalizovanih pristupa koji poboljšavaju efikasnost obezbeđivanja servisa, kao i zadovoljstvo i angažovanost korisnika. U okviru pametnih gradova, sistemi za preporučivanje, kroz implementaciju pristupa za filtriranje informacija, mogu se koristiti za unapređenje odnosa između raznolikih zainteresovanih strana i asistiranje u zadacima donošenja odluka u pametnom gradu putem različitih tehnoloških platformi.

Ključne reči: filtriranje, korisnici, predmeti interesovanja, preporuke, servisi.

1. Uvod

Aplikacije u pametnom gradu funkcionišu kroz digitalnu infrastrukturu koja treba da omogući povezivanje različitih sistema i uređaja, pružajući širok spektar servisa [1]. U takvom okruženju upotreba podataka ima strateški značaj i veoma važnu ulogu u procesima optimizacije gradskih servisa i poboljšanju angažovanja pojedinaca. Upravljanje podacima u pametnim gradovima predstavlja ključni aspekt njihovog uspešnog funkcionisanja i razvoja. Sistemi za preporučivanje, koji koriste sofisticirane algoritme veštačke inteligencije, pojavili su se kao vitalni alati u kontekstu upravljanja podacima.

Sistemi za preporučivanje služe za filtriranje informacija i osmišljeni su da olakšaju donošenje odluka u domenima i aplikacijama gde postoji mnogo opcija među kojima se vrši izbor. Za razliku od pretraživača gde korisnik mora da specificira svoje potrebe i interese u obliku upita, sistemi za preporučivanje su proaktivni u predlaganju preporuka potencijalne relevantnosti za korisnika, u skladu sa ličnim podacima i preferencijama prethodno zabeleženim u profilu.

Tipični zadaci sistema za preporučivanje su:

- prikupljanje informacija o korisnicima,
- učenje iz prikupljenih informacija i predikcija preferencija korisnika za nepoznate predmete interesovanja i

- primena funkcije ili izgradnja modela koji bira i rangira preporuke koje su verovatno najpoželjnije za korisnike [2].

Uzimajući u obzir brzu ekspanziju pametnih gradova, integracija sistema za preporučivanje u svakom segmentu pametnog grada postaje sve značajnija za pružanje personalizovanih servisa i poboljšanje procesa donošenja odluka.

U ovom radu su predstavljene osnovne karakteristike sistema za preporučivanje, glavni pristupi i tehnike koje se primenjuju u ovim sistemima. Razmatrane su potencijalne primene sistema za preporučivanje u pametnim gradovima, kao i indikatori efikasnosti sistema i izazovi sa kojima se ovi sistemi suočavaju.

2. Karakteristike i klasifikacija sistema za preporučivanje

Sistemi za preporučivanje uključuju dva osnovna entiteta: korisnike i predmete interesovanja, pri čemu svaki korisnik daje ocenu (ili vrednost preferencije) nekom predmetu interesovanja (npr. servisu ili proizvodu). Ocene korisnika se generalno prikupljaju koristeći implicitne ili eksplicitne metode. Implicitne metode podrazumevaju indirektno prikupljanje informacija o korisničkim preferencijama kroz interakciju korisnika sa sistemom i/ili okruženjem. Iako omogućavaju prikupljanje velike količine informacija o korisnicima, implicitne metode imaju tendenciju prikupljanja češće pominjanih informacija koje se povezuju sa pozitivnim preferencijama. Poseban tip implicitnih povratnih informacija u sistemima za preporučivanje sastoji se od podataka generisanih pretraživanjem ličnih mišljenja i sadržaja slobodno dostupnih na društvenim medijima kao što su profili na društvenim mrežama, tekstualne recenzije, blogovi i forumi [3].

S druge strane, eksplicitne povratne informacije odnose se na direktne izjave korisnika o preferencijama za poznate predmete interesovanja. Njih daju korisnici odabirom vrednosti na nekoj konačnoj skali ili u označenim intervalnim vrednostima. Numeričke ocene se koriste za rangiranje preporuka prema različitim stepenima (ne)svidanja, dok su binarne ocene pojednostavljen oblik eksplicitnih preferencija kojima korisnici samo izražavaju svoja pozitivna ili negativna mišljenja o predmetima interesovanja. Ocene odražavaju naklonost korisnika prema određenom predmetu interesovanja. U ovom slučaju, negativne preferencije se zanemaruju. Eksplicitne povratne informacije omogućavaju preciznu kontrolu nad onim što sistem zna o preferencijama korisnika, ali zahtevaju vreme i trud korisnika. Takođe, kada se eksplicitne interakcije uključe u realne aplikacije, postoji rizik od pristrasnosti u distribucijama ocena, a samim tim i u predikcijama relevantnosti preporuke, jer korisnici mogu biti skloni ocenjivanju samo onoga što im se sviđa [4].

Većina sistema za preporučivanje prikuplja ocene korisnika kroz obe metode, eksplicitne i implicitne. Te povratne informacije ili ocene koje pruža korisnik raspoređuju se u matricu korisnik-preporuka, koja se naziva matrica korisnosti. Treba napomenuti da su značajne samo visoke ocene korisnika jer se samo takve stavke predlažu korisnicima. Efikasnost sistema za preporučivanje u velikoj meri zavisi od vrste algoritma koji se koristi i prirode izvora podataka, koji mogu biti kontekstualni, tekstualni, vizuelni, itd [5]. S druge strane, pored eksplicitnih i implicitnih preferencija korisnika, postoje i druge karakteristike koje se mogu koristiti za modeliranje korisnika, kao što su demografski podaci, osobine ličnosti, emocionalna stanja ili odnosi poverenja.

Prilikom kreiranja sistema za preporučivanje, predmeti interesovanja takođe moraju biti profilisani na odgovarajući način. I u ovom slučaju postoje različite tehnike, bilo eksplicitne ili implicitne, za opisivanje potencijalnih preporuka. Profili se mogu graditi pomoću ključnih reči, opisa, atributa, svojstava i latentnih karakteristika, tj. karakteristika koje su izračunate iz posmatranih karakteristika korišćenjem pogodne matematičke metode, kao što je faktorizacije matrica.

Sistemi za preporučivanje mogu se klasifikovati prema različitim kriterijumima, u zavisnosti od zadatka na koji su usmereni. Najčešće se razmatraju tri glavne kategorije sistema zasnovane na načinu na koji se preporuke generišu [5]:

- sistemi zasnovani na sadržaju (*Content Based Filtering*, CBF), koji predlažu preporuke slične onima koje su se korisnicima dopale u prošlosti,
- sistemi kolaborativnog filtriranja (*Collaborative Filtering*, CF) koji korisnicima predlažu preporuke koje su preferirali ljudi sličnih interesovanja i
- hibridni sistemi.

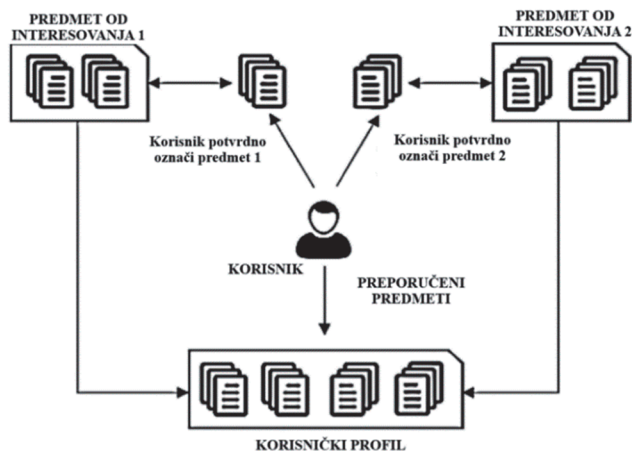
Generalno, prvi pristup koristi sličnosti preporuka zasnovanih na tekstualnim reprezentacijama, dok drugi koristi obrasce ocenjivanja. Takođe, za svaku od prethodno navedenih kategorija, sistemi za preporučivanje mogu se klasifikovati prema algoritamskom pristupu koji koriste. U tom smislu, postoje dva glavna tipa [4]:

- sistemi zasnovani na heuristikama, koji procenjuju relevantnost preporuka pomoću matematičkih modela i
- sistemi zasnovani na modelima, koji predviđaju relevantnost preporuka pomoću tehnika mašinskog učenja.

2.1. Sistemi zasnovani na sadržaju

Sistemi zasnovani na sadržaju koriste tekstualne opise i/ili dodatne informacije o sadržaju, kao što su ključne reči, metapodaci, semantičke anotacije i društvene oznake za predstavljanje korisnika i predmeta interesovanja, te izdvajaju preporuke čiji su profili sličniji zahtevima ciljnog korisnika. Modeliranje profila preporuka, tako da budu dostupni za automatsku analizu, jedno je od glavnih pitanja u ovom tipu sistema. U ovom kontekstu, treba napomenuti da se opisi predmeta interesovanja mogu dobiti iz sadržaja objavljenih na elektronskim medijima (npr. recenzije na komercijalnim sajtovima, objave na društvenim mrežama i blogovi) koji moraju biti obrađeni na odgovarajući način. Modeli zasnovani na pristupu CBF mogu uključivati Bajesove modele, koji su namenjeni klasifikaciji predmeta interesovanja kao relevantnih ili nerelevantnih [4].

U sistemima za preporučivanje zasnovanim na sadržaju, svi podaci o predmetima interesovanja prikupljaju se i grupišu u različite profile, na osnovu svojih opisa i/ili karakteristika. Kada korisnik pozitivno oceni neku stavku, drugi predmeti interesovanja prisutni u tom profilu se agregiraju kako bi se izgradio profil korisnika. Ovaj profil korisnika kombinuje sve profile predmeta njegovih interesovanja, koje je pozitivno ocenio. Stavke prisutne u ovom profilu korisnika zatim se preporučuju korisniku (Slika 1) [5].



Slika 1. Proces preporučivanja predmeta korisniku u sistemima zasnovanim na sadržaju

Kako se preferencije korisnika vremenom menjaju, ovaj pristup ima sposobnost da se brzo dinamički prilagodi tim promenama. S obzirom da je profil korisnika specifičan samo za tog korisnika, ovaj algoritam ne zahteva detalje profila drugih korisnika, jer oni nemaju uticaj na proces preporučivanja. To osigurava bezbednost i privatnost korisničkih podataka. Ako nove stavke imaju dovoljno opisa, tehnika zasnovana na sadržaju može preporučiti stavku čak i u slučaju da ne postoje ocene drugih korisnika. Njihova najčešća primena je za personalizovane sisteme preporuka za vesti, publikacije, veb stranice, itd. Nedostatak ovog pristupa je to što zahteva temeljno poznavanje karakteristika stavki za tačnu preporuku. Ove informacije možda neće uvek biti dostupne za sve predmete interesovanja. Takođe, ovaj pristup ima ograničenu sposobnost da proširi korisničke postojeće izbore ili interesovanja.

2.2 Sistemi kolaborativnog filtriranja

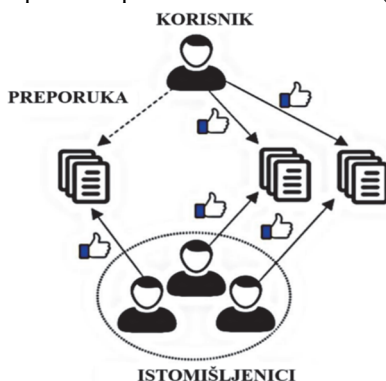
Sistemi kolaborativnog filtriranja oslanjaju se na ocene koje su korisnici već dodelili postojećim predmetima interesovanja. Ovi sistemi predlažu ciljnim korisnicima preporuke koje su preferirali ljudi sa sličnim interesovanjima. Najpopularniji primer CF je algoritam k -najbližih suseda (k -Nearest Neighbors, kNN), heuristički zasnovan pristup koji koristi matematičke modele za predikciju ocena oslanjajući se na ocene k korisnika čiji su profili ocena najbliži ocenama ciljnog korisnika (pristup zasnovan na korisnicima) ili na k predmeta interesovanja čiji su profili ocena najbliži traženom predmetu interesovanja (pristup zasnovan na predmetu interesovanja). Efikasnost kolaborativnog algoritma zavisi od toga koliko tačno algoritam može pronaći susedstvo ciljnog korisnika.

Generalno, sistemi zasnovani na kolaborativnom filtriranju ne daju dobre rezultate u slučaju nedovoljne količine informacija i suočavaju se sa potencijalnim problemom ugrožavanja privatnosti, jer postoji potreba za deljenjem podataka o korisnicima. Međutim, ovi pristupi ne zahtevaju nikakvo znanje o karakteristikama stavki za generisanje preporuka. Takođe, kolaborativno filtriranje može pomoći u proširenju postojećih interesovanja korisnika otkrivanjem novih predmeta interesovanja.

Kolaborativni pristupi obuhvataju dva tipa sistema: pristupe zasnovane na memoriji i pristupe zasnovane na modelima. Pristupi zasnovani na memoriji predlažu nove preporuke uzimajući u obzir preferencije njihovog susedstva. Oni koriste matricu korisnosti direktno za predikciju. U ovom pristupu, prvi korak je izgradnja modela. Model je jednak funkciji koja uzima matricu korisnosti kao ulaz. Preporuke se prave na osnovu funkcije koja za ulaz uzima model i profil korisnika. Ovde je moguće davati preporuke samo korisnicima čiji profil pripada matrici korisnosti. Stoga, kako bi se kreirale preporuke za novog korisnika, profil korisnika mora biti dodat u matricu korisnosti, a matrica sličnosti treba ponovo da se izračuna, što ovu tehniku čini računski zahtevnom [4].

Pristupi zasnovani na memoriji svrstavaju se u dva tipa: filtriranje zasnovano na korisnicima i filtriranje zasnovano na predmetu interesovanja.

U pristupu zasnovanom na korisnicima, ocena novog predmeta interesovanja za korisnika se računa pronalaženjem drugih korisnika iz njegovog susedstva koji su prethodno ocenili istu stavku. Ako novi predmet interesovanja dobije pozitivne ocene od korisnika iz susedstva, on se predlaže posmatranom korisniku (Slika 2).



Slika 2. Kolaborativno filtriranje zasnovano na korisnicima [5]

U pristupu zasnovanom na predmetu interesovanja, gradi se susedstvo koje se sastoji od svih sličnih predmeta koje je korisnik prethodno ocenio. Zatim se ocena korisnika za drugi, novi predmet interesovanja određuje izračunavanjem ponderisanog proseka svih ocena prisutnih u sličnom susedstvu, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Kolaborativno filtriranje zasnovano na predmetu interesovanja [4]

Sistemi zasnovani na modelima koriste različite algoritme za pretraživanje podataka i mašinsko učenje kako bi razvili model za predikciju ocene korisnika za neocenjenu stavku. Kada se preporuke računaju ne oslanjaju se na celokupni skup podataka, već izvode karakteristike iz skupa podataka kako bi se izgradio model. Ove tehnike takođe zahtevaju dva koraka za predikciju. Prvi korak je izgradnja modela, a drugi korak je predikcija ocena korišćenjem funkcije koja za ulaz uzima model definisan u prvom koraku i profil korisnika. Tehnike zasnovane na modelima ne zahtevaju dodavanje profila novog korisnika u matricu korisnosti pre nego što se izvrše predikcije. Preporuke je moguće davati čak i korisnicima koji nisu prisutni u modelu. Sistemi zasnovani na modelima su efikasniji za grupne preporuke jer mogu brzo preporučiti grupu stavki koristeći unapred obučeni model. Tačnost ove tehnike u velikoj meri zavisi od efikasnosti osnovnog algoritma za učenje koji se koristi za kreiranje modela.

2.3 Hibridni sistemi

Pored prethodno navedenih tehnika, postoje i hibridni sistemi koji predstavljaju kombinaciju dve ili više tehnika koje se koriste zajedno da bi se prevazišla ograničenja pojedinačnih sistema za preporučivanje.

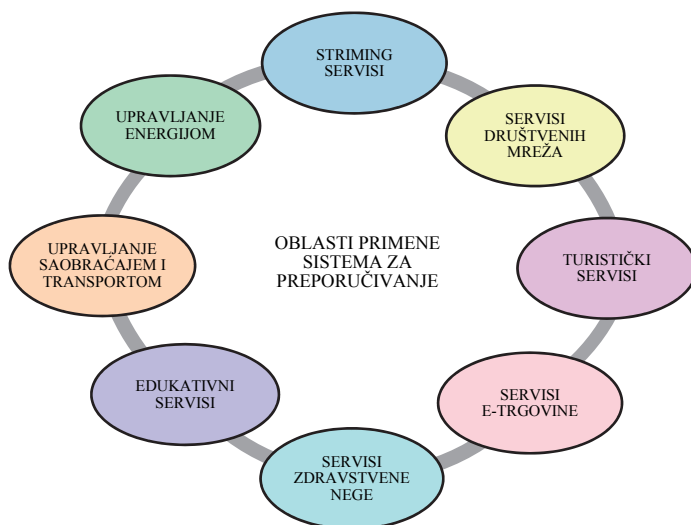
Pojedini tipovi sistema za preporučivanje usmereni su na rešavanje specifičnih problema korišćenjem sledećih metoda:

- metode preporučivanja koje razmatraju kontekst korisnika (npr. lokaciju, vreme, klimu, itd.) kako bi obogatile personalizovane preporuke,
- metode preporučivanja zasnovane na društvenim mrežama, koje analiziraju društvene mreže korisnika i njihove veze kako bi predložile preporuke koje preferiraju prijatelji ili drugi pouzdani korisnici,
- metode preporučivanja zasnovane na znanju, koje poseduju funkcionalnu bazu znanja sa specifikacijama kako određeni predmet interesovanja zadovoljava potrebe određenog korisnika i
- metode preporučivanja zasnovane na demografskim podacima, koje se oslanjaju na demografske podatke kao pokazatelje veza među korisnicima.

U cilju izbegavanja specifičnih ograničenja ili nedostataka pojedinačnih pristupa, hibridni sistemi za preporučivanje kombinuju dve ili više metoda različitih tipova. Uključivanje različitih tehnika može se izvesti na više načina. Hibridni algoritam može inkorporirati rezultate postignute odvojenim tehnikama, može koristiti filtriranje zasnovano na sadržaju u kolaborativnoj metodi ili koristiti tehniku kolaborativnog filtriranja u metodi zasnovanoj na sadržaju. Ova hibridna inkorporacija različitih tehnika obično utiče na poboljšanje performansi i povećanu tačnosti u mnogim aplikacijama za preporuke. Neki od pristupa hibridizaciji su meta-nivo, augmentacija karakteristika, kombinacija karakteristika, mešovita hibridizacija, kaskadna hibridizacija, promena hibridizacije i ponderisana hibridizacija.

3. Oblasti primene sistema za preporučivanje u pametnim gradovima

Pametni gradovi osim što nastoje da prevaziđu tradicionalne izazove urbanizacije, teže da u potpunosti iskoriste nove tehnologije kako bi unapredili kvalitet života svojih stanovnika [1]. Funkcionisanje pametnog grada treba da bude prilagođeno specifičnim ciljevima i funkcijama i u tom kontekstu je značajna primena sistema za preporučivanje [6]. Aplikacije u pametnom gradu funkcionišu kroz digitalnu infrastrukturu koja može povezati različite sisteme i uređaje, pružajući širok spektar servisa, prikazanih na slici 4.



Slika 4. Najrasprostranjenije oblasti primene sistema za preporučivanje u pametnim gradovima

U procesu implementacije novih tehnologija u pametnim gradovima, značajan uticaj imaju mobilne aplikacije, pri čemu se posebno ističu one povezane sa saobraćajem i transportom. Aplikacije koje se koriste širom sveta, poput *Uber-a*, *Lyft-a* ili *Citymapper-a*, omogućavaju korisnicima da pronađu putanje javnog prevoza, rezervišu zajedničke vožnje, iznajme bicikle ili električne skutere. Generalno, ove platforme obično koriste tehnologije kao što su Internet stvari (*Internet of things*, IoT), *Big data* analiza, veštačka inteligenciju i senzori za prikupljanje, obradu i analizu podataka u realnom vremenu koji se odnose na različite aspekte grada. Na ovaj način teži se redukovanju saobraćajnih gužvi i promovise se održiva mobilnost u gradovima. Postoje sistemi koji preporučuju da li bi određeno vozilo trebalo da promeni putanju ili ne, sa ciljem da se minimizira mogućnost gužve u celoj urbanoj oblasti. Takođe, razvijeni su sistemi za preporučivanje koji analiziraju podatke o toku saobraćaja, usmeravajući korisnike ka željenoj lokaciji i pomažući u upravljanju resursima kao što su vreme ili gorivo. Određeni sistemi za preporučivanje nude preporuke za parkirna mesta. Još jedna inteligentna primena upravljanja saobraćajem kroz ove sisteme odnosi se na bezbednost u vožnji, gde sistem upozorava vozače i preporučuje odgovarajuće brzine za vozila koja se približavaju

opasnim ili rizičnim situacijama i zonama, kao što su one sa slabom vidljivošću ili nepovoljnim vremenskim uslovima [6].

U pogledu upravljanja energijom, razvijene su aplikacije koje pomažu građanima da kontrolišu i optimizuju potrošnju energije u kućnom i poslovnom okruženju. Ove aplikacije omogućavaju praćenje podataka u realnom vremenu i nude sugestije za redukovanje potrošnje energije, što pospešuje energetska održivost i ekonomske uštede.

Striming servisa povezan sa medijskim sadržajem razvijen je zajedno sa sistemom za preporučivanje, jer je neophodno pomoći korisnicima pri izboru iz ogromne količine sadržaja i pružiti sadržaj koji je prilagođen svakom korisniku. Podaci o korisničkim preferencijama se prikupljaju fokusirajući se na istoriju korišćenja medijskog sadržaja i nakon mapiranja korisničkih preferencija sa celokupnim sadržajem kojim raspolaže striming servis, preporuke se generišu u redosledu sadržaja koji najviše odgovara korisnikovim preferencijama. Za striming servise najčešće se koriste CBF modeli preporuka, koji uzimaju u obzir korisničke podatke i podatke o audio/video sadržaju, kao i hibridni modeli preporuka koji uzimaju u obzir podatke o ocenama drugih korisnika sličnih posmatranom korisniku.

Velika popularnost društvenih mreža doprinela je pojavi ogromnih količina podataka povezanih sa korisnicima. Putem objava na društvenim mrežama moguće je prikupiti informacije o sadržaju koje korisnici registruju, kao i o evaluaciji korisnika. Ovi podaci uključuju različite vrste povratnih informacija, kao što su sviđanja i komentari. Prikupljeni podaci se ne koriste samo za preporuke unutar društvenih mreža, već i u sistemima preporuka za druge aktivnosti. Drugim rečima, različiti podaci prikupljeni na ovaj način su usko povezani sa razvojem sistema za preporučivanje. S obzirom da su korisnici društvenih mreža povezani i sa korisnicima koji ne pripadaju njihovim kontaktima, podaci drugih korisnika koji su slični posmatranom korisniku takođe se mogu koristiti za analizu kako bi se generisale preporuke. Zbog toga je pogodno koristiti CF modele i hibridne modele za preporučivanje koji se zasnivaju na interakciji korisnika i generisanom multimedijalnom sadržaju na više različitih servisa društvenih mreža. Kroz pretraživanje teksta, analiziraju se podaci o korisničkim preferencijama, tekstualni komentari koji mogu da se odnose na emocije korisnika, podaci o ponašanju kao što su prethodna prijavljivanja korisnika i podaci o evaluaciji korisnika za različite sadržaje. Kao rezultat analize, slične stavke se grupišu kako bi se pružile odgovarajuće preporuke svakom pojedinačnom korisniku. Korisničke preferencije se takođe mogu analizirati korišćenjem geografske lokacije korisnika i celokupnog tekstualnog sadržaja sa društvenih mreža primenom tehnike pretraživanja teksta [6].

Zahvaljujući tome što društvene mreže čuvaju podatke o prijavljivanjima korisnika i lokaciji objava koje je korisnik postavio, turistički servisi mogu ih koristiti kao skup podataka za preporučivanje turističkih atrakcija i putanja. Sistem za preporučivanje može da analizira podatke sa društvenih mreža i pruži odgovarajuće informacije o putovanju prilagođene interesovanjima svakog korisnika. Primer turističkog servisa zasnovanog na sistemu preporuka je PTIS (*Personalized Tourism Information Service*). Ovaj servis koristi hibridni model za preporučivanje turističkih destinacija prilagođenih korisnicima na osnovu analize podataka o prijavljivanju *Facebook* kontakata posmatranog korisnika. Model kontinuirano ažurira profil korisnika koristeći podatke koji mogu identifikovati preferencije generisane tokom korišćenja servisa, kao što su istorija prijavljivanja i podaci o evaluaciji. Sa povećanjem broja

korisnika PTIS-a moguće je poboljšati performanse i preciznost sistema za preporučivanje kroz masivne i raznovrsne podatke. Pored toga, može se izvršiti prostorno grupisanje na osnovu podataka o lokaciji objava postavljenih na društvenim mrežama, kako bi se identifikovale važne turističke destinacije. Zatim se vrši rangiranje prikupljenih podataka i korisnicima se preporučuju putanje uzimajući u obzir popularnost turističkih destinacija i podatke o dužini puta kroz mašinsko učenje. Situacione podatke kao što su vreme, lokacija i vremenski podaci iz turističkih destinacija moguće je izdvojiti korišćenjem tehnike pretraživanje teksta i izvršiti analizu delova teksta i semantičko grupisanje podataka o recenzijama kako bi se utvrdile korisničke preferencije.

Servisi e-trgovine prikupljaju podatke vezane za različite korisnike radi poslovne ekspanzije i aktivno koriste te podatke za sisteme preporuka. Predikcija korisničkih preferencija vrši se analizom pomoćnih informacija o korisnicima (npr. pol i starosna grupa), kao i na osnovu interakcija korisnika sa pretraživačima i aplikacijama (aktivnosti kursora). Preporučivanje artikala vrši se najčešće na osnovu predikcije korisničkih preferencija ali mogu se koristiti i informacije o interesovanjima drugih korisnika sa sličnim preferencijama. Sa aspekta sistema za preporučivanje, najznačajnija karakteristika servisa e-trgovine je da potrošači obično pokazuju obrazac potrošnje koji dopunjuje predmete koje su prethodno preferirali ili su već kupili. Iz tog razloga, za servise e-trgovine uglavnom se koriste model preporuka zasnovan na CF-u i hibridni model.

Sistemi za preporučivanje primenjeni na servise zdravstvene zaštite u pametnim gradovima imaju zadatak da kroz analizu informacija o pacijentu i karakteristikama bolesti, sprovedu dijagnostiku i preporučuju odgovarajući tretman. U tu svrhu se često koriste CBF modeli. Vodeći se idejom da se promovisanjem zdravijih navika ljudi mogu smanjiti troškovi zdravstvenog sistema u pametnom gradu, pozitivni efekti se očekuju od primene sistema sa preporukama putanja za fizičke aktivnosti koje najviše odgovaraju mogućnostima korisnika. Takođe, postoje sistemi koji utiču na poboljšanje životnih uslova predviđanjem najverovatnijih bolesti kod korisnika i preporukom koje mere treba preduzeti i koje postojeće nosive tehnologije mogu pomoći u njihovom praćenju. Osim toga, razvijene su softverske platforme bazirane na sistemima preporuka radi predloga personalizovanih dijeta za pacijente sa određenim indikacijama.

Značaj primene sistema za preporučivanje u oblasti edukativnih servisa ogleda se u obezbeđivanju obrazovnih resursa u skladu sa stilom učenja i nivoom znanja učenika, čime se kreiraju personalizovani obrazovni sadržaji. Drugi aspekt primene sistema za preporučivanje u ovoj oblasti je pružanje akademskih informacija koje su pogodne za različite korisnike, uključujući naučne zajednice, istraživačke institucije i praksu. Tipičan primer edukativnog servisa sa primenom sistema za preporučivanje je digitalna biblioteka, koja korisnicima omogućava brzo i jednostavno pretraživanje i korišćenje različitih digitalnih materijala širom sveta. Za edukativne servise pretežno se koristi CBF model preporuka zasnovan na analizi informacija o profilu učenika i obrazovnim objektima. Veoma dobre rezultate pokazala je kombinacija CBF modela preporuka sa tehnologijom neuronskih mreža. Takođe se preporučuje primena hibridnog sistema za preporuke predavanja studentima. Ovaj sistem se zasniva na kombinaciji CF modela koji obuhvata informacije o studentima, uključujući njihove ocene i rezultate za kurseve koje su pohađali i CBF model koji uzima u obzir informacije o predavanjima, uključujući profesore i sadržaj predavanja.

4. Procena efikasnosti i izazovi implementacije sistema za preporučivanje

Postoje različiti indikatori koji se mogu koristiti za procenu efikasnosti i performansi sistema za preporučivanje, odnosno kvantifikovanje tačnosti, relevantnosti i korisnosti preporuka koje pruža sistem. Najčešće se koriste sledeći indikatori [3]:

- Prikupljanje podataka. Ovaj indikator procenjuje da li je moguće prikupiti potrebne informacije za generisanje preporuka. To uključuje ispitivanje dostupnih izvora podataka, kao što su dnevne evidencije transakcija i korisničke preferencije.
- Algoritmi i modeli. Važno je razmotriti da li algoritmi mogu obraditi velike količine podataka i generisati tačne preporuke za korisnike.
- Tehnološka infrastruktura. Ovaj indikator procenjuje da li je potrebna tehnološka infrastruktura dostupna za implementaciju i pokretanje sistema za preporučivanje. To može uključivati servere, baze podataka i računarske resurse, kao što su konektivnost, merenje kvaliteta i raspoloživosti komunikacionih mreža, kao što su pristup širokopojasnom Internetu i pokrivenost mobilnom mrežom.
- Podaci o platformama. Ovaj indikator procenjuje mogućnosti tehnoloških platformi koje su zadužene za skladištenje, obradu i analizu velikih količina podataka u pametnom gradu, kao i sposobnost deljenja podataka sa različitim relevantnim zainteresovanim stranama.
- Troškovi. Neophodan je indikator troškova povezanih sa razvojem, implementacijom i održavanjem sistema za preporučivanje. To može uključivati troškove nabavke ili razvoja softvera, kao i troškove skladištenja i obrade podataka.
- Prednosti za poslovanje. Ovaj indikator procenjuje potencijalnu poslovnu vrednost koja se očekuje od primene sistema za preporučivanje. Razmatraju se efekti na prodaju, iskustvo korisnika i generisanje dodatnih prihoda putem personalizovanih preporuka.
- Evaluacija performansi. Testiranje i evaluacija u realnom vremenu sprovodi se kako bi se procenila tačnost i efikasnost sistema za preporučivanje. To može uključivati poređenje generisanih preporuka sa realnim preferencijama i ponašanjem korisnika.

Najveći i najčešći izazov sa kojim se suočavaju sistemi za preporučivanje je problem „hladnog starta”. Pod time se podrazumeva situacija u kojoj sistem za preporučivanje ne može da izvede zaključke iz postojećih podataka, najčešće zbog toga što ih nema dovoljno i ne može da pruži efikasne preporuke za nove korisnike koji nisu ocenili nijedan ili su ocenili vrlo malo stavki. Ovaj problem se obično javlja kada novi korisnik uđe u sistem ili kada se u bazu podataka dodaju nove stavke. Neka od potencijalnih rešenja ovog problema su [4]:

- zatražiti od novih korisnika da eksplicitno navedu svoje preferencije za predmete od interesovanja,
- zatražiti od novog korisnika da oceni neke predmete od interesovanja na početku i
- prikupiti demografske informacije ili meta-podatke od korisnika i predložiti preporuke u skladu sa tim.

Pored ovog izazova, postoji niz ostalih koje je neophodno prevazići i rešiti na odgovarajući način, kako bi se sistemi za preporučivanje pozicionirali na tržištu kao adekvatno i pouzdano rešenje [5]. Ti izazovi su:

- Problem lažnih napada. Ovaj problem nastaje kada zlonamerni korisnik prikrije svoj identitet i uđe u sistem kako bi dao lažne ocene za pojedine stavke. Takva situacija se javlja kada zlonamerni korisnik želi da poveća ili smanji popularnost neke stavke. Lažni napadi značajno smanjuju pouzdanost sistema. Jedno rešenje ovog problema je brzo detektovanje napadača i uklanjanje lažnih ocena i lažnih korisničkih profila iz sistema.
- Problem sličnih preporuka. Ovaj problem se javlja kada slične ili povezane stavke imaju različite unose ili nazive, ili kada je isti predmet predstavljen sa dva ili više imena u sistemu. Mnogi sistemi za preporučivanje ne uspevaju da uoče ove razlike, čime se smanjuje tačnost preporuka. Ovaj problem se može ublažiti primenom metoda, kao što su demografsko filtriranje, singularna vrednosna dekompozicija i druge.
- Problem kašnjenja. Ovaj izazov specifičan je za pristupe kolaborativnog filtriranja i javlja se kada se u bazu podataka često ubacuju nove stavke. Karakteriše ga nemogućnost sistema da ponudi nove preporuke. To se dešava zato što nove stavke moraju biti pregledane pre nego što mogu biti preporučene u okruženju kolaborativnog filtriranja. Korišćenje filtriranja zasnovanog na sadržaju može rešiti ovaj problem, ali takođe može uvesti preveliku specijalizaciju i degradirati performanse sistema. Da bi se povećala efikasnost, proračuni se mogu obavljati u oflajn okruženju, a mogu se koristiti i tehnike zasnovane na klasterovanju.
- Problem retkosti. Retkost podataka je uobičajen problem u analizi velikog obima podataka, koji nastaje kada određene očekivane vrednosti nedostaju u skupu podataka. U slučaju sistema za preporučivanje, ova situacija se javlja kada aktivni korisnici ocene vrlo malo stavki. Time se smanjuje tačnost preporuka. Da bi se ovaj problem ublažio, mogu se koristiti različite tehnike kao što su demografsko filtriranje, singularna vrednosna dekompozicija i korišćenje kolaborativnih tehnika zasnovanih na modelu.
- Problem „sivih ovaca”. Ovaj izazov je specifičan za osnovne pristupe kolaborativnog filtriranja gde povratne informacije jednog korisnika ne odgovaraju nijednoj korisničkoj grupi. U ovoj situaciji, sistem ne uspeva da precizno predvidi relevantne predmete od interesovanja za tog korisnika. Ovaj problem se može rešiti korišćenjem pristupa zasnovanih na sadržaju, gde se predikcije vrše na osnovu korisničkog profila i karakteristika stavki.
- Problem skalabilnosti. Sistemi za preporučivanje, posebno oni koji koriste tehnike kolaborativnog filtriranja, zahtevaju velike količine podataka za obuku, što uzrokuje probleme sa skalabilnošću. Problem skalabilnosti nastaje kada se količina podataka korišćenih kao ulaz u sistem za preporučivanje brzo povećava. U eri *Big data*, sve više predmeta od interesovanja i korisnika se brzo dodaje u sistem, što čini ovaj problem sve učestalijim. Uobičajeni pristupi za rešavanje problema skalabilnosti su redukcija dimenzionalnosti i korišćenje tehnika zasnovanih na klasterovanju kako bi se pronašli korisnici u malim klasterima umesto u celoj bazi podataka.

5. Zaključak

Značaj sistema za preporučivanje u pametnim gradovima je višestruk. Filtriranjem i sortiranjem masivnih tokova podataka korisnicima se mogu ponuditi prilagođene preporuke. Na ovaj način se značajno ubrzava i olakšava pronalazak relevantnih informacija čime se omogućava efikasnije korišćenje gradskih servisa. Pored toga što primena sistema za preporučivanje poboljšava korisničko iskustvo, ona takođe podržava efikasno upravljanje gradskim resursima.

U ovom radu razmatrane su mogućnosti primene sistema za preporučivanje u različitim oblastima pametnog grada. Za najrazvijenije i najviše korišćene servise u pametnom gradu istaknute su prednosti primene pojedinih modela filtriranja. Takođe su obrazloženi indikatori efikasnosti sistema za preporučivanje i izazovi sa kojima se ovi sistemi suočavaju. Buduća istraživanja treba fokusirati na prevazilaženje pomenutih izazova.

Literatura

- [1] Y. Fang, Z. Shan, W. Wang, "Modeling and Key Technologies of a Data-Driven Smart City System", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 91244-91258, 2021 doi: 10.1109/ACCESS.2021.3091716
- [2] B. Diène et al. "Data management techniques for Internet of Things", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 138, 2020, doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106564
- [3] G. Andrade-Ruiz et al. "Emerging Perspectives on the Application of Recommender Systems in Smart Cities", *Electronics*, 13(7), 2024. doi:10.3390/electronics13071249
- [4] L. Quijano-Sánchez et al. "Recommender systems for smart cities", *Information Systems*, vol. 92, Sep. 2020. doi.org/10.1016/j.is.2020.101545
- [5] D. Roy, M. Dutta, "A systematic review and research perspective on recommender systems", *Journal of Big Data*, 9(1), 2022. doi.org/10.1186/s40537-022-00592-5
- [6] H. Ko, S. Lee, Y. Park, A. Choi, "A survey of recommendation systems: recommendation models, techniques and application fields", *Electronics*, 11(1), pp. 141, 2022. doi.org/10.3390/electronics11010141

Abstract: *In the era of digitized information and a wide range of different services, the phenomenon of data overload has led to the development of recommendation systems, which are based on data analytics, artificial intelligence and personalization of users' experiences. Application of these systems represents progress in development of personalized approaches that improve efficiency of service provision, as well as user satisfaction and engagement. Within smart cities, recommendation systems, through the implementation of information filtering approaches, can be used to improve relationships between diverse stakeholders and assist in smart city decision-making tasks through various technology platforms.*

Keywords: *filtering, users, items, recommendations, services*

RECOMMENDATION SYSTEMS IN SMART CITIES

Vesna Radonjić Đogatović, Milica Danilović

PRIMENA FAZI LOGIKE ZA VERTIKALNI HENDOVER U HETEROGENIM BEŽIČNIM MREŽAMA

Milica Šelmić, Aleksandra Ivanović, Miloš Nikolić, Predrag Grozdanović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
m.selmic@sf.bg.ac.rs, aleksandrastojanovic1410@gmail.com,
m.nikolic@sf.bg.ac.rs, p.grozdanovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je predstavljena primena fazi logike za donošenje odluka o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Kreiran je fazi logički sistem sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, preferencije korisnika i kašnjenje signala. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za hendover. Na osnovu vrednosti ulaznih promenljivih fazi logički sistem donosi odluku da li je hendover potreban ili ne. Testiranje predloženog modela je izvršeno u Matlab okruženju.*

Ključne reči: *vertikalni hendover, fazi logika, heterogene bežične mreže*

1. Uvod

Svakodnevno se u različitim oblastima poput ekonomije, saobraćaja, medicine i inženjeringa suočavamo s problemom donošenja odluka. Tradicionalni pristupi zasnovani na binarnoj logici, gde se odluke donose na osnovu toga da li neki element pripada ili ne pripada skupu, često nisu adekvatni za složene situacije koje su okarakterisane neizvesnošću, nepreciznošću i neodređenošću. U ovakvim slučajevima, Teorija fazi skupova pruža sofisticirane metode za efikasno rešavanje problema. Teoriju fazi skupova je razvio američki profesor Lotfi Zadeh.

Koncept fazi (eng. *fuzzy*), uveden u Zadehovom radu "*Fuzzy Sets*" iz 1965.godine, omogućava modelovanje vrednosti koje ne moraju striktno pripadati ili ne pripadati određenom skupu. Umesto toga, elementi mogu pripadati skupu sa određenim stepenom, tj. u određenoj meri. Fazi skup se najčešće definiše pomoću funkcije pripadnosti koja svakom elementu dodeljuje stepen pripadnosti fazi skupu u intervalu $[0,1]$. Što je stepen pripadnosti veći, to je veća verovatnoća da taj element pripada skupu. Ovaj pristup omogućava veću fleksibilnost i preciznost u donošenju odluka, jer odražava stvarnu prirodu mnogih kompleksnih situacija u kojima se ne može jednostavno odrediti pripadnost ili nepripadnost.

Teorija fazi skupova i fazi logika su evoluirale u snažne alate sa širokim spektrom primene, posebno u oblastima saobraćaja, inženjeringa, upravljanja i kontrole sistema, optimizacije, i prognoze finansijskih trendova. U savremenom kontekstu, tehnologije poput veštačke inteligencije i mašinskog učenja dodatno su unapredile fazi sisteme,

omogućavajući preciznije i efikasnije donošenje odluka u dinamičnim i kompleksnim okruženjima.

U ovom radu je predstavljena primena fazi logike u procesu odlučivanja o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Vertikalni hendover označava proces prenosa veze sa jedne bazne stanice (ili pristupne tačke) na drugu u okviru različitih mreža. Kreiran je fazi logički sistem sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za hendover. Izvršeno je testiranje modela u Matlab-u kroz tri različita scenarija.

Rad je koncipiran na sledeći način. U drugom poglavlju, nakon uvodnih razmatranja, objašnjen je koncept fazi logike, predstavljeni su osnovni pojmovi poput fazi skupova, fazi brojeva, lingvističkih promenljivih, kao i struktura fazi logičkog sistema. U trećem poglavlju je, primenom fazi logike, kreiran model za donošenje odluke o vertikalnom hendoveru, sa tri ulazne i jednom izlaznom promenljivom, uz odgovarajući skup fazi pravila. U četvrtom poglavlju je prikazan numerički primer, dok su zaključak, analiza rezultata istraživanja, kao i preporuke za buduća istraživanja u ovoj oblasti, dati u poslednjem, petom poglavlju.

2. Fazi logika

Kod klasičnih skupova, funkcija pripadnosti može imati samo dve vrednosti: nula ili jedan, što omogućava jasnu razliku između pripadnosti i nepripadnosti skupu. Međutim, u svakodnevnim situacijama često se suočavamo s lingvističkim izrazima koji se teško mogu precizno kategorizovati. Na primer, kada se govori o kvalitetu veze u mobilnim mrežama, izrazi kao što su "srednje kvalitetan signal" ili "odličan signal" ne mogu se lako svrstati u binarni sistem. Slično, u slučaju kašnjenja u mreži, možemo koristiti izraze kao što su "malo kašnjenje", "umereno kašnjenje" ili "veliko kašnjenje", koji predstavljaju stepen uticaja na korisničko iskustvo. Fazi skupovi omogućavaju modelovanje ovih lingvističkih izraza tako što prikazuju različite stepene pripadnosti i realizacije događaja [1]. Teorija fazi skupova pruža moćan matematički alat za modeliranje problema sa približno poznatim parametrima i subjektivnim ljudskim percepcijama, omogućavajući tako fleksibilniji i precizniji pristup rešavanju kompleksnih situacija [2].

2.1. Osnovni pojmovi fazi logike i elementi fazi logičkog sistema

Da bi se razumela suština i primena fazi logike, neophodno je upoznati se sa ključnim pojmovima i osnovnim komponentama fazi logičkog sistema.

- **Funkcija pripadnosti** - funkcija pripadnosti određuje stepen kojim neki element pripada fazi skupu i može uzeti bilo koju vrednost iz zatvorenog intervala $[0,1]$. Što je vrednost veća to je i veća pripadnost fazi skupu.
- **Fazi brojevi** - u slučaju kada se procenjuje recimo brzina prenosa podataka ili cena neke usluge, moguće je procenu izraziti pomoću fazi skupova. Npr. brzina prenosa je "oko 100 Mb/s" ili cena usluge iznosi "otprilike 50 evra". Primećuje se prisustvo brojeva u prethodnim iskazima koji su konstatovani

na osnovu našeg iskustva ili intuicije. Brojevi izraženi na ovakav način, kroz fazi skupove, predstavljaju fazi brojeve.

- **Lingvističke promenljive** - prilikom donošenja odluke nekada je bolje koristiti lingvističke umesto numeričkih promenljivih. Lingvističke promenljive za vrednost uzimaju reči ili rečenice, za razliku od numeričkih promenljivih čija vrednost su brojevi.

Osnovni elementi svakog fazi logičkog sistema su (Slika 1)[1]:

- Pravila;
- Fazifikator;
- Mašina zaključivanja;
- Defazifikator.



Slika 1. Osnovni elementi fazi logičkog sistema

Ulazne vrednosti mogu biti numeričke vrednosti ili lingvističke promenljive. Fazifikator vrši preslikavanje numeričkih vrednosti u fazi skupove, dok u slučaju kada su ulazne vrednosti lingvističke promenljive onda su one izražene fazi brojevima. Fazi pravila se koriste da izvrše kategorizaciju lingvističkih ulaznih i izlaznih promenljivih. Skup fazi pravila čini fazi upravljački algoritam (algoritam aproksimativnog rezonovanja). Fazi rezonovanje predstavlja zaključivanje na osnovu pretpostavki kada su lingvistički izrazi okarakterisani fazi skupovima. Neophodno je "proći" kroz sva definisana pravila sadržana u algoritmu aproksimativnog rezonovanja, nakon čega se svakoj od mogućih vrednosti izlazne promenljive pridružuje odgovarajući stepen pripadnosti.

Defazifikacija predstavlja izbor jedne vrednosti izlazne promenljive i ujedno i poslednji korak u algoritmu aproksimativnog rezonovanja. Donosioci odluke najčešće biraju finalnu vrednost na osnovu sledećih kriterijuma: "najmanja vrednost sa najvećim stepenom pripadnosti", "centar gravitacije", "najveća vrednost sa najvećim stepenom pripadnosti" itd.

Proces formiranja fazi logičkog sistema se sastoji iz [3]:

- Izboru ulaznih i izlaznih promenljivih;
- Formiranja funkcije pripadnosti;
- Formiranja pravila;
- Algoritma aproksimativnog rezonovanja;
- Modifikovanja baze fazi pravila i oblika funkcija pripadnosti kroz veći broj iteracija.

3. Razvoj modela za vertikalni hendover u heterogenim bežičnim mrežama

S razvojem bežičnih mreža i njihovim prelaskom iz 4G u 5G i dalje ka 6G, kompleksnost u upravljanju mrežnim resursima i korisničkim iskustvom drastično je povećana. Heterogene bežične mreže danas uključuju različite tehnologije i standarde, kao što su Wi-Fi, LTE, 5G, i nadolazeće 6G mreže, koje pružaju različite nivoe usluga i performansi. Hendover (eng. *handover*, *handoff*) kod bežičnih mreža predstavlja proceduralni vremenski proces u kojem se aktivni poziv ili sesija prenosi sa trenutne mreže na novu dostupnu mrežu [3]. U zavisnosti od toga da li nova tačka povezivanja pripada istom ili drugom tipu mreže, razlikujemo horizontalni i vertikalni hendover. Ukoliko nova tačka povezivanja pripada istom tipu mreže, reč je o horizontalnom hendoveru (prisutan u homogenim bežičnim mrežama - npr. bazne stanice u okviru 4G mreže). Vertikalni hendover predstavlja proces prenosa konekcije na tačku povezivanja koja pripada drugom tipu mreže (npr. prenos aktivnog poziva sa pristupne tačke u okviru Wi-Fi mreže na baznu stanicu u okviru WiMAX mreže). Za razliku od horizontalnog hendovera, koji se javlja radi održavanja konekcije, vertikalni hendover se najčešće inicira radi poboljšanja korisničkog iskustva, efikasnosti mreže, bezbednosti i privatnosti, kao i za pružanje podrške za mobilnost i različite usluge i aplikacije [4].

Proces vertikalnog hendovera se odvija kroz tri osnovne faze: iniciranje hendovera, odlučivanje o hendoveru i izvršenje hendovera [5]. U prvoj fazi se prikupljaju podaci za identifikovanje potreba za hendoverom i mogu se podeliti u četiri grupe: mrežno orijentisane metrike (brzina prenosa podataka, snaga signala na prijemu, odnos signal - šum itd.), servisno orijentisane metrike (nivo kvaliteta servisa, nivo sigurnosti itd.), korisnički orijentisane metrike (preferencije korisnika, opaženi kvalitet servisa itd.) i terminalno orijentisane metrike (brzina kretanja, lokacijske informacije itd.) [6]. Zatim sledi faza odlučivanja o hendoveru, u kojoj mobilni terminal, na osnovu parametara prikupljenih u fazi iniciranja hendovera, donosi odluku da li ostaje povezan na trenutnu mrežu ili će doći do prelaska na drugu mrežu. Da bi se obezbedila visoka efikasnost hendovera, potrebno je razviti napredne metode donošenja odluka koje mogu obraditi kompleksne ulaze i parametre. Pravilno upravljanje ovim parametrima može značajno poboljšati kvalitet usluge i korisničko iskustvo u složenim bežičnim okruženjima. U fazi odlučivanja o hendoveru primenjuju se različite tehnike kao što su fazi logika, neuronske mreže, teorija igara, genetski algoritmi, mašinsko učenje itd. U nastavku rada je predstavljen model za odabir mreže u proceduri vertikalnog hendovera u heterogenim bežičnim mrežama primenom fazi logike.

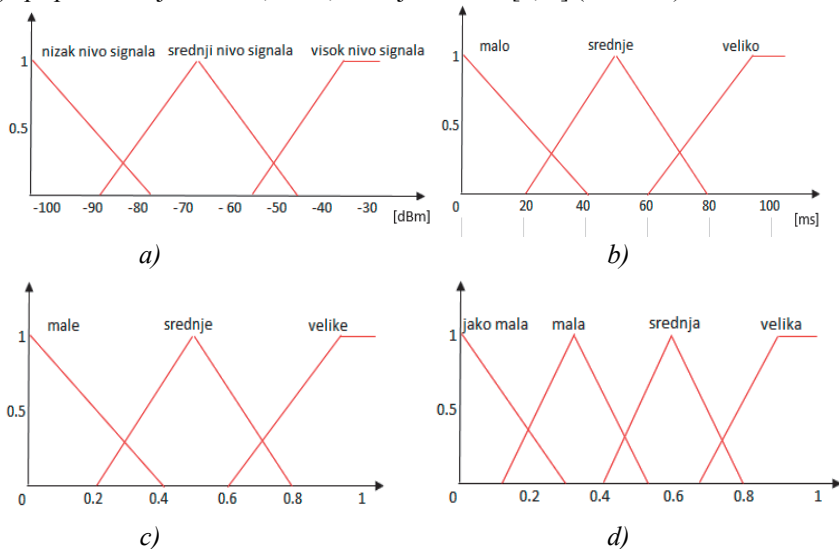
Prvi korak u procesu formiranja fazi logičkog sistema predstavlja izbor ulaznih i izlaznih promenljivih. U ovom radu su izabrane tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika. Izlazna promenljiva predstavlja preferenciju za vertikalni hendover. Posmatra se scenario u kojem je korisnik povezan na WiFi mrežu, a dostupna mreža na koju se može povezati, ukoliko dođe do hendovera, je 4G. Snaga signala na prijemu je parametar koji se najčešće koristi za iniciranje hendovera i direktno zavisi od udaljenosti mobilnog terminala i pristupne tačke/bazne stanice. Kašnjenje signala predstavlja veoma bitan parametar jer utiče na kvalitet servisa i korisničko iskustvo. Preferencije korisnika se odnose na kriterijume kao što su cena usluge, stabilnost i pouzdanost veze, privatnost i bezbednost, pristupačnost i dostupnost,

trajanje baterije itd. U kontekstu prelaska sa WiFi mreže na 4G, što je slučaj prikazan u ovom radu, korisnik može preferirati prelazak iz više razloga. To može biti zbog kvaliteta servisa (posebno ako koristi aplikacije koje zahtevaju visok nivo kvaliteta servisa, poput video poziva, video igara itd.), očuvanja baterije mobilnog uređaja (u određenim situacijama baterija se brže troši kada je uređaj povezan na WiFi), ili zaštite privatnosti podataka (s obzirom da su javne WiFi mreže manje bezbedne u poređenju sa 4G mrežom), kao i drugih faktora.

Nakon izbora promenljivih, potrebno je odrediti funkcije pripadnosti za svaki fazi skup posebno. To je urađeno na sledeći način:

1. Fazi skup *Snaga signala na prijemu* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: nizak, srednji i visok nivo signala [-100, -30], izraženo u dBm (Slika 2a).
2. Fazi skup *Kašnjenje signala* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: malo, srednje i veliko kašnjenje [0, 100], izraženo u ms (Slika 2b).
3. Fazi skup *Preferencije korisnika za 4G* prikazan je pomoću tri funkcije pripadnosti: male, srednje i velike preferencije [0, 1] (Slika 2c).

Izlazna fazi promenljiva *Preferencija za handover* je prikazana pomoću četiri funkcije pripadnosti: jako mala, mala, srednja i velika [0, 1] (Slika 2d).



Slika 2. Ulazne i izlazna promenljiva: a) Fazi skup Snaga signala na prijemu b) Fazi skup Kašnjenje signala c) Fazi skup Preferencije korisnika d) Fazi skup Preferencija za handover

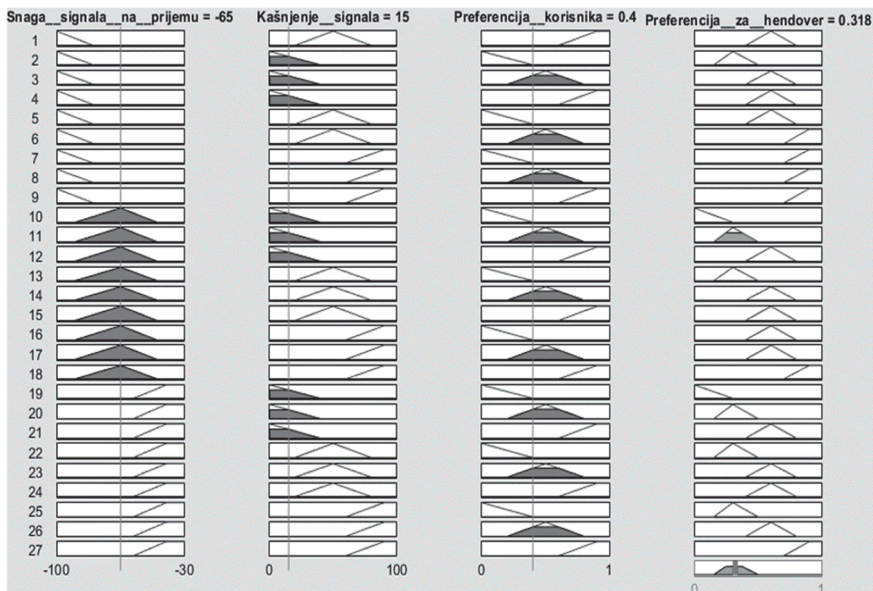
Nakon definisanja svih fazi skupova i odgovarajućih funkcija pripadnosti, sledi generisanje baze pravila. Potrebno je definisati $3^3 = 27$ fazi pravila (Tabela 1).

Tabela 1. Fazi pravila

Br.	Pravila
1	Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika male => preferencije za hendover su jako male.
2	Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika srednje => preferencije za hendover su male.
3	Ako je visok nivo signala i kašnjenje signala malo, i preferencije korisnika velike => preferencije za hendover su srednje.
...	...
26	Ako je nizak nivo signala i kašnjenje signala veliko, i preferencije korisnika srednje => preferencije za hendover su velike.
27	Ako je nizak nivo signala i kašnjenje signala veliko, i preferencije korisnika velike => preferencije za hendover su velike.

4. Numerički primer

Po završetku definisanja svih pravila, fazi logički sistem se može sagledati u celosti, kao što je prikazano na Slici 3. Odluke o vertikalnom hendoveru se donose na osnovu različitih vrednosti ulaznih parametara. Sa desne strane prozora su prikazane funkcije pripadnosti izlazne promenljive (Preferencija za hendover). Agregacijom svih vrednosti funkcija pripadnosti izlazne promenljive formira se konačna grafička prezentacija na dnu prozora, koja predstavlja fazifikovan rezultat. Defazifikacija je prikazana na dnu slike u desnom uglu, koja označava konkretan rezultat kao izlaz iz ovog fazi logičkog sistema, a koja je dobijena primenom metode centra gravitacije.



Slika 3. Prikaz fazi logičkog sistema

Tabela 2. Vrednosti izlazne promenljive za tri različita scenarija

Scenario br.	Snaga signala na prijemu (dBm)	Kašnjenje signala (ms)	Preferencije korisnika za 4G	Preferencija za hendover
1.	-65	15	0.4	0.391
2.	-40	60	0.8	0.602
3.	-30	10	0.1	0.104

Tabela 2 prikazuje tri različita scenarija. U zavisnosti od vrednosti snage signala na prijemu, kašnjenja signala i preferencija korisnika, jasno se može videti koja odluka o vertikalnom hendoveru će biti doneta od strane fazi logičkog sistema u svakom od scenarija. U prvom scenariju je preferencija za hendover srednja s obzirom na malo kašnjenje, srednje preferencije korisnika i snagu signala, za razliku od trećeg scenarija gde je preferencija za hendover jako mala, jer je kašnjenje malo, preferencije korisnika za prelazak na 4G su male a prijemni signal je jak, te nema potrebe za prelaskom na drugu mrežu.

5. Zaključak

U ovom radu je uspešno predstavljena primena fazi logike za donošenje odluka o vertikalnom hendoveru u heterogenim bežičnim mrežama. Razvijeni fazi logički sistem, sa tri ulazne promenljive: snaga signala na prijemu, kašnjenje signala i preferencije korisnika, pokazao je sposobnost da fleksibilno odgovori na dinamične promene u mreži. Na ovaj način je omogućeno efikasno upavljanje procesom hendovera, čime se poboljšava kvalitet i korisničko iskustvo u heterogenim bežičnim mrežama.

Da bi se dodatno unapredile performanse vertikalnog hendovera, fazi logika se može kombinovati sa tehnikama, kao što su mašinsko učenje i veštačke neuronske mreže. Takođe, ispitivanje uticaja dodatnih parametara kao što su gustina saobraćaja i energetska efikasnost, može biti važan aspekt u optimizaciji budućih algoritama za hendover u sve kompleksnijim mrežnim okruženjima.

Literatura

- [1] D. Teodorović i M. Šelmić, *Računarska inteligencija u saobraćaju*, Beograd, Srbija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, str.13, 2019.
- [2] T. Coqueiro, J. Jailto, T. Carvalho and R. Frances, "Fuzzy Logic System for Vertical Handover and Maximizing Battery Lifetime in Heterogeneous Wireless Multimedia Networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2019, pp.1-13, January 2019. DOI:10.1155/2019/1213724.
- [3] J. Divakaran, C. Arvin and K. Srihari, "Fuzzy Logic Based Handover Authentication in 5G Telecommunication", *Computer Systems Science and Engineering*, vol.46, no.1, pp.1141-1152, August 2022. DOI:10.32604/csse.2023.028050

- [4] B. Mithuan i R. Patil, "Fuzzy Based Network Controlled Vertical Handover Mechanism for Heterogeneous Wireless Network", *Materials Today: Proceedings*, vol.80, part 3, pp. 2385-2389, April 2023.
- [5] A. Prithviraj, A. Maheswari, D. Balamurugan, V. Ravi, M. Krichen i R. Alroobaea, "Multi-Criteria Fuzzy-Based Decision Making Algorithm to Optimize the VHO Performance in Hetnets", *Tech Science Press*, vol. 70, no.1, pp. 324-325, April 2021. DOI: 10.32604/cmc.2022.015299
- [6] B. Bakmaz, M. Bakmaz i Z. Bojković, "Izbor mreže u proceduri heterogenog hendovera", *16. Telekomunikacioni forum TELFOR 2008*, str.25-27, 2008.

Abstract: *This paper examines the application of fuzzy logic in the decision-making process for vertical handover in heterogeneous wireless networks. A fuzzy logic system has been developed, incorporating three input variables: received signal strength, user preferences and signal delay. The output variable represents the handover preferences. Based on the values of the input variables, the fuzzy logic system generates a decision regarding the handover. The proposed model has been tested in the Matlab environment.*

Keywords: *vertical handover, fuzzy logic, heterogeneous wireless networks*

APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR VERTICAL HENDOVER IN HETEROGENIUS WIRELESS NETWORKS

Milica Selmić, Aleksandra Ivanović, Milos Nikolić, Predrag Grozdanović

PRIMENA UČENJA POTKREPLJIVANJEM U PROTOKOLIMA RUTIRANJA ZA FANET MREŽE

Marija Malnar, Pavle Bugarčić
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet
m.malnar@sf.bg.ac.rs, p.bugarcic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Tehnološki razvoj i sve šira upotreba bespilotnih letelica doveli su do povećane potrebe za obezbeđivanjem pouzdane komunikacije između njih. Bežične ad hoc mreže za letelice (*Flying Ad hoc Networks*, FANETs) predstavljaju odličnu soluciju za ostvarivanje ovog cilja. Najznačajnije karakteristike ovih mreža su česte promene u mrežnoj topologiji, velika brzina kretanja i mala gustina mrežnih čvorova. Protokoli rutiranja za FANET mreže treba da se prilagode njihovim karakteristikama, kako ne bi došlo do degradiranja ukupnih mrežnih performansi. Tradicionalni protokoli rutiranja ne uspevaju da isprate dinamičku prirodu FANET mreža, pa je neophodno uključiti nove tehnike koje bolje odgovaraju ovom izazovu. Uključivanje učenja potkrepljivanjem (*Reinforcement Learning*, RL) u protokole rutiranja može značajno unaprediti performanse FANET mreža, zbog mogućnosti stalnog praćenja i prilagođavanja promenama u mrežnom okruženju. U ovom radu biće predstavljeni najznačajniji protokoli rutiranja na bazi RL za FANET mreže, kao i njihova detaljna klasifikacija i komparativna analiza.

Ključne reči: FANET mreže, učenje potkrepljivanjem, protokoli rutiranja

1. Uvod

Poslednjih godina primetan je sve brži razvoj bespilotnih letelica koje se koriste u sve širem opsegu aplikacija i usluga. Povezivanje ovih letelica u organizovane grupe koje međusobno komuniciraju bežičnim putem moguće je formiranjem bežičnih ad hoc mreža za letelice (*Flying Ad hoc Networks*, FANETs). Ove mreže predstavljaju podskup mobilnih ad hoc mreža (*Mobile Ad hoc Networks*, MANETs), sa kojima dele osnovne karakteristike kao što su mobilnost čvorova, bežični komunikacioni medijum, decentralizovana kontrola i komunikacija preko višestrukih hopova. Karakteristike po kojima se FANET mreže izdvajaju su velika brzina kretanja mrežnih čvorova, česte promene u mrežnoj topologiji i mala gustina mreže. Uzevši u obzir sve ove karakteristike, dizajn efikasnog protokola rutiranja za FANET mreže predstavlja veoma značajan istraživački izazov. Protokoli rutiranja su zadušeni za izbor optimalne putanje za slanje podataka i veoma je važno da se prilagode stalnim promenama u mrežnoj topologiji, ali i da uzmu u obzir druga ograničenja koja su specifična za FANET mreže,

kao što su računarska snaga, energija i kašnjenje. Važno je napomenuti da se bespilotne letelice kreću u trodimenzionalnom prostoru, što takođe predstavlja veliki izazov pri kreiranju odgovarajućeg protokola rutiranja za FANET mreže.

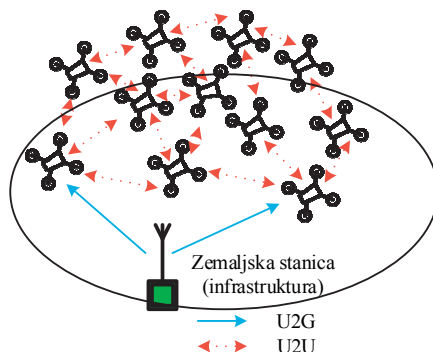
U prethodnim godinama mnogi istraživači pokušali su da poboljšaju performanse FANET mreža razvojem novih protokola rutiranja [1]. Uprkos velikim naporima, veoma je teško dizajnirati protokol koji garantuje efikasnu komunikaciju u ovim mrežama. Za rešavanje izazova sa kojima se susreću FANET mogu se koristiti tehnike mašinskog učenja, a najpogodniji tip učenja za ove mreže je učenje potkrepljivanjem (*Reinforcement Learning*, RL) [2]. Ovaj tip učenja podrazumeva stalnu interakciju agenta učenja sa okruženjem, tako da je moguće ispratiti i prilagoditi se čestim promenama u mrežnoj topologiji. Agent učenja na osnovu prikupljenih podataka iz okruženja treba da izabere najbolju akciju za postizanje definisanog cilja, kao što je kreiranje putanje sa maksimalnim procentom isporučenih paketa, minimalnim kašnjenjem, itd. S obzirom da protokoli rutiranja bazirani na RL pokazuju veliki potencijal za unapređenje performansi FANET mreža, neophodno je proučiti i izvršiti detaljan pregled ovih protokola kako bi se trasirao put za dalji razvoj ove oblasti. Upravo sa tim ciljem, u ovom radu je izvršen pregled najznačajnijih protokola rutiranja na bazi RL za FANET mreže, njihova klasifikacija i komparativna analiza.

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su objašnjene osnovne karakteristike FANET mreža. U trećem poglavlju je izvršena klasifikacija protokola rutiranja baziranih na RL za FANET mreže na osnovu tipa učenja, agenta učenja i mrežne topologije, a ujedno su ukratko opisani predstavnici pojedinih klasa. Zatim je u četvrtom poglavlju data komparativna analiza ovih protokola na osnovu posmatranih mrežnih parametara koji su optimizovani, korišćenog mrežnog simulatora za evaluaciju mrežnih performansi i primenjenog modela mobilnosti mrežnih čvorova u simulacijama. Na kraju su u petom poglavlju sumirana zaključna razmatranja i predloženi pravci budućeg istraživanja.

2. FANET mreže

Nedavni napredak u bežičnim tehnologijama doveo je do novih mogućnosti povezivanja bespilotnih letelica (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAVs), a jedan od najpopularnijih primera su FANET mreže. U suštini, FANET mreža se sastoji od grupe bespilotnih letelica koje međusobno saraduju i komuniciraju bez ikakve infrastrukture kako bi izvršile određeni zadatak bez ljudske intervencije. U ovim mrežama sve letelice mogu međusobno komunicirati (*UAV to UAV*, U2U), a samo manji broj njih može uspostaviti komunikaciju sa zemaljskom stanicom (*UAV to Ground station*, U2G). Na slici 1 je prikazan jednostavan primer FANET mreže, koja se sastoji iz više bespilotnih letelica i zemaljske stanice. Iako ove mreže karakteriše jednostavna implementacija i odsustvo složene mrežne infrastrukture, one se ipak susreću sa brojnim izazovima. Najveći izazov je održavanje povezanosti mrežnih čvorova, s obzirom da bespilotne letelice imaju veliku brzinu i malu gustinu pa su mogući česti prekidi mrežnih linkova putem kojih komuniciraju. Ovo dovodi do degradiranja brojnih mrežnih performansi, prvenstveno povećanja gubitaka paketa i kašnjenja paketa [3]. Još jedan bitan izazov u ovim mrežama je potrošnja energije, jer male bespilotne letelice korsište baterije niskog kapaciteta za snabdevanje potrebnom energijom za obradu podataka u realnom vremenu, komunikaciju i let. Ostali izazovi sa kojima se susreću FANET mreže su ograničeni

skladišni i procesorski kapaciteti bespilotnih letelica, velika kašnjenja paketa kao posledica komunikacije posredstvom više hopova, kompleksno upravljanje smetnjama zbog ograničenog propusnog opsega i dinamičke topologije, itd.



Slika 1. Primer FANET mreže

Zbog svega navedenog, veoma je kompleksno kreirati protokol rutiranja koji bi na efikasan način odgovorio svim izazovima koje nosi komunikacija unutar FANET mreža. Posebno značajan izazov u dizajniranju protokola rutiranja predstavlja činjenica da se bespilotne letelice kreću u trodimenzionalnom prostoru. Pored toga, ovi protokoli treba efikasno da koriste mrežne i energetske resurse i uzimaju u obzir mehanizme za sprečavanje petlji u rutiranju. U smislu efikasnosti, proces rutiranja treba da ima niske troškove rutiranja, visoku pouzdanost, niske gubitke paketa i prihvatljivo kašnjenje. Kako bi savladali sve ove izazove, brojni autori su razvili protokole rutiranja koji pomoću učenja potkrepljivanjem uzimaju u obzir bitne parametre FANET mreža pri izboru optimalne putanje i prilagođavaju proces rutiranja specifičnim zahtevima ovih mreža sa ciljem unapređenja ukupnih mrežnih performansi.

3. Klasifikacija protokola rutiranja na bazi RL za FANET mreže

U ovom poglavlju je izvršena klasifikacija aktuelnih protokola rutiranja za FANET mreže baziranih na RL, kao što je predstavljeno u tabeli 1. Protokoli su prvenstveno klasifikovani na osnovu tipa RL koji se koristi. Najčešće korišćeni tip je Q-učenje (*Q-Learning*, QL), dok neki autori koriste nešto složeniju tehniku dubokog učenja potkrepljivanjem (*Deep Reinforcement Learning*, DRL). Algoritmi bazirani na QL su jednostavniji, imaju manje procesorske zahteve i lakši su za implementaciju. Ovi algoritmi su pogodni za manje FANET mreže, gde je brzina učenja algoritma prihvatljiva zbog manjeg skupa mogućih stanja okruženja i akcija koje agent učenja može da preduzme. Međutim, kod većih FANET mreža brzina konvergencije QL algoritama nije na zadovoljavajućem nivou, pa se preporučuje primena nešto složenijih algoritama baziranih na DRL.

Protokole je zatim moguće klasifikovati prema organizaciji agenata učenja na algoritme kod kojih jedan agent (*Single Agent*, SA) samostalno uči i algoritme kod kojih grupa agenata (*Multi Agent*, MA) pokušava da nauči optimalno ponašanje kroz interakciju sa okruženjem. Algoritmi sa SA pristupom su lakši za implementaciju, jer je

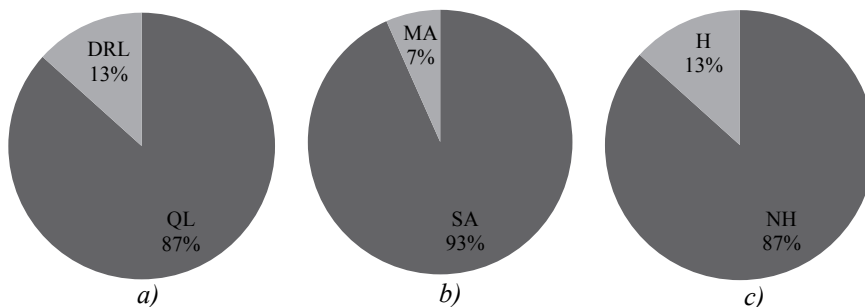
njihova računarska složenost manja od MA algoritama. Međutim, performanse SA algoritama nisu pogodne za velike mreže jer agentu treba dosta vremena da pronađe optimalnu putanju, što znači da je brzina konvergencije mala. Važan izazov kod MA algoritama je kako koordinisati i ostvariti optimalnu saradnju među agentima. Protokoli bazirani na MA algoritmima su otporniji na greške, što znači da ako jedan ili više agenata iz nekog razloga ne uspeju da nađu optimalnu putanju, ostali agenti nastavljaju sa optimizacijom rutiranja kako bi sprečili degradiranje ukupnih mrežnih performansi. Takođe, MA algoritmi imaju veću sposobnost učenja pa su pogodniji za veće mreže.

Poslednja klasifikacija protokola izvršena je na osnovu mrežne topologije, na nehijerarhijske (NH) i hijerarhijske (H) protokole. Kod nehijerarhijskih protokola svi čvorovi u mreži su ravnopravni i na osnovu algoritma rutiranja donose odluku o putanji kojom će proslediti pakete. Problem kod ovih protokola je mala skalabilnost i veliki overhed. Kod hijerarhijskih protokola mrežni čvorovi su podeljeni u nekoliko hijerarhijskih nivoa. Čvorovi na jednom nivou mogu se povezati jedni sa drugima, a takođe su povezani sa roditeljskim čvorom na višem nivou preko koga mogu da komuniciraju sa čvorovima na višim nivoima. Ovaj pristup odlikuje veća skalabilnost, efikasnija potrošnja mrežnih resursa i smanjenje overheda rutiranja. Glavni izazov kod ovih protokola je adekvatan izbor roditeljskih čvorova.

Tabela 1. Klasifikacija protokola rutiranja na osnovu tipa učenja, organizacije agenta učenja i mrežne topologije

Protokoli	Tip učenja		Agent učenja		Mrežna topologija	
	QL	DRL	SA	MA	NH	H
[4-14]	✓		✓		✓	
[15]	✓		✓			✓
[16]	✓			✓	✓	
[17]		✓	✓		✓	
[18]		✓	✓			✓

Na slici 2 je prikazana procentualna zastupljenost pojedinih tipova učenja, agenata učenja i mrežne topologije. Može se primetiti da najveći broj protokola koristi QL algoritam sa SA pristupom, uz nehijerarhijsku mrežnu topologiju. Po dva protokola koriste DRL algoritam i hijerarhijsku mrežnu topologiju, dok samo jedan protokol ima MA pristup učenju u procesu rutiranja.



Slika 2. Procentualna zastupljenost: a) tipa učenja, b) organizacije agenata učenja, c) tipa mrežne topologije

Primer protokola koji koristi QL sa SA pristupom i nehijerarhijskom mrežnom topologijom je *Q-learning-based topology-aware routing method* (QTAR) [4]. Ovaj protokol pokušava da otkrije najbolju putanju između izvora i odredišta na osnovu informacija od suseda koje uključuju poziciju, kašnjenje, brzinu i energiju suseda. QTAR pomaže u balansiranju mrežnog opterećenja jer se nivo energije čvorova uzima u obzir u procesu učenja. Takođe, ovaj protokol sprečava pojavljivanje petlji tako što prikuplja informacije i od suseda udaljenih dva hopa. Jedan od ključnih ciljeva je smanjenje dužine putanje (broja hopova). U procesu učenja svaki paket ima ulogu agenta, a susedni čvorovi predstavljaju skup mogućih stanja. Da bi se smanjila veličina skupa potencijalnih stanja, QTAR uzima u obzir samo čvorove koji su bliži odredištu u odnosu na tekući čvor. Ovo poboljšava brzinu konvergencije protokola. Izbor sledećeg hopa se smatra mogućom akcijom koju agent učenja može da preduzme. Nagrada za preduzetu akciju zavisi od energije, kašnjenja i brzine suseda.

Autori su u [15] razvili *intelligent clustering routing approach* (ICRA), koji koristi QL sa SA pristupom i hijerarhijskom topologijom. ICRA ima za cilj povećanje stabilnosti mrežne topologije i povećanje životnog veka mreže balansiranjem potrošnje energije. Čvorovi u mreži periodično razmenjuju kontrolne pakete koji sadrže informacije o lokaciji, brzini, pravcu kretanja i vremenu života. Ove informacije se koriste u procesu klasterovanja, koje služi za balansiranje potrošnje energije u mreži. ICRA algoritam se sastoji iz tri faze: klasterovanje, prilagođavanje strategije klasterovanja i rutiranje. U procesu klasterovanja, svaki čvor izračunava parametar korisnosti na osnovu četiri faktora korisnosti: preostale energije, pozicije u mreži, sličnosti brzine čvora i njegovih suseda i vremena zadržavanja linka. Čvorovi zatim razmenjuju parametre korisnosti kako bi odabrali čvor sa najvećom korisnošću za glavni čvor klastera (*Cluster Head*, CH). Ovi čvorovi su odgovorni za formiranje putanja između različitih klastera. Parametri korisnosti podležu procesu prilagođavanja strategiji klasterovanja zasnovanoj na QL. Ovaj proces učenja sledi centralizovanu strategiju i sprovodi ga zemaljska stanica (*Ground Station*, GS). U ovom procesu, GS igra ulogu agenta, a prostor akcija uključuje izbor četiri težinska koeficijenta koja odgovaraju faktorima korisnosti. Funkcija nagrade se izračunava na osnovu stabilnosti strukture klastera i stope promena energija čvorova. U procesu rutiranja, kada čvor koji nije odredišni primi paket od drugog čvora najpre proverava lokaciju odredišta. Ako je u pitanju njegov sused, direktno prosleđuje paket ka njemu. Ukoliko nije, šalje paket ka najbližem CH čvoru kako bi ga prosledio dalje ka odredištu.

U [16] je predložen *Q-learning geographic routing method* (QLGR), koji koristi QL sa MA pristupom i nehijerarhijskom topologijom. Ovaj protokol pomaže u smanjenju gubitka paketa i overheda u mreži. Informacije koje čvorovi dele u procesu učenja uključuju sekvencijalni broj i dužinu poruke, maksimalnu i zauzetu dužinu reda za čekanje kod slanja paketa. Svaki čvor predstavlja agenta učenja, a izbor susednog čvora za sledeći hop predstavlja moguću akciju koju agent može da preduzme. Nakon preduzimanja akcije, agent dobija lokalnu i globalnu nagradu od okruženja. Lokalne nagrade se računaju na osnovu kapaciteta opterećenja i kvaliteta veze. Ova nagrada ocenjuje kvalitet samo sledećeg čvora na putanji. Prenos podataka do odredišta garantuje se globalnom nagradom. Kada čvor bira sledeći hop za slanje podataka, uzima u obzir udaljenost tog čvora do odredišta i njegovu Q-vrednost.

Autori u [17] predložili su *traffic-aware Q-network geographic routing scheme based on greedy perimeter stateless routing* (TQNGPSR), koji koristi DRL sa SA

pristupom i nehijerarhijskom topologijom. Ovaj protokol uvodi strategiju balansiranja saobraćaja koja koristi informacije o zagušenju susednih čvorova za procenu kvaliteta veze. Na osnovu ovoga bira se najbolja putanja do odredišnog čvora kako bi se smanjila kašnjenja i gubici paketa. Svaki čvor izračunava nivo zagušenja na osnovu dužine reda za čekanje koju je dobio od svojih suseda, što je proporcionalno čekanju u redu za slanje paketa. U procesu rutiranja, Q-vrednosti se prvo računaju bez obzira na informacije o zagušenju, a zatim se ažuriraju na osnovu informacija o redu za čekanje. Ako je red za čekanje gotovo pun, čvor dobija visoku kaznu i samim tim se smanjuje njegova Q-vrednost kako bi se smanjila verovatnoća izbora ovog čvora za sledeći hop na putanji ka odredištu.

U [18] je predložen *deep Q-network-based vertical routing* (DQN-VR) za 5G FANET mreže, koji koristi DRL sa SA pristupom i hijerarhijskom topologijom. Ova metoda kombinuje distribuirane i centralizovane metode rutiranja. Podrazumeva se da 5G tehnologija podržava FANET mreže kako bi poboljšala skalabilnost i stabilnost mreže, kao i ravnotežu opterećenja u mreži. DQN-VR se sastoji od dve glavne faze: vertikalnog klasterovanja i vertikalnog rutiranja. U prvoj fazi, distribuirani kontroleri su odgovorni za implementaciju procesa vertikalnog klasterovanja kako bi formirali klustere na svakom nivou mreže, poboljšali stabilnost klastera i skalabilnost mreže, kao i smanjili kašnjenje između krajnjih tačaka. Svrha procesa klasterovanja je grupisanje čvorova na osnovu njihove prirode i ponašanja unutar klastera. U drugoj fazi centralni kontroler izvršava vertikalno rutiranje koristeći DRL kako bi odredio različite putanje na različitim nivoima mreže i stvorio puteve unutar nivoa i između njih. U ovom procesu, centralni kontroler igra ulogu agenta, a mreža se smatra okruženjem. Skup stanja predstavlja dvodimenzionalni niz koji uključuje informacije o kretanju i preostalu energiju čvorova. Skup akcija predstavlja izbor sledećeg čvora prema odredištu. Nagrada se računa na osnovu stepena uspešno isporučenih paketa i nivoa zagušenja u čvorovima.

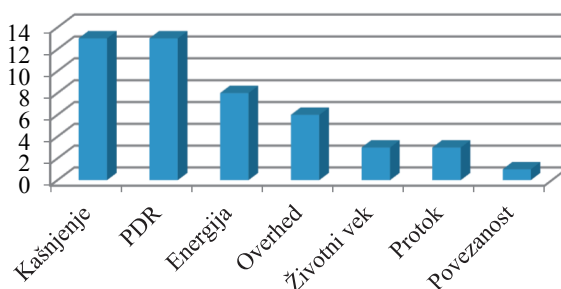
4. Komparativna analiza protokola rutiranja na bazi RL za FANET mreže

U ovom poglavlju je izvršena komparativna analiza protokola rutiranja baziranih na RL za FANET mreže na osnovu nekoliko kriterijuma, kao što je prikazano u tabeli 2. Prvi kriterijum su posmatrani parametri u procesu optimizacije procesa rutiranja, drugi kriterijum su simulacioni alati koji su korišćeni za testiranje i evaluaciju performansi ovih protokola, a treći kriterijum su modeli mobilnosti koji su primenjeni na mrežne čvorove u okviru simulacione analize.

Na slici 3 je prikazan odnos pojavljivanja pojedinih parametara u protokolima rutiranja. Može se primetiti da su najčešće posmatrani parametri kašnjenje paketa s kraja na kraj mreže [4-7], [9-17] i procenat uspešno isporučenih paketa (*Packet Delivery Ratio*, PDR) [4-11], [13-17]. Samim tim može se zaključiti da je cilj optimizacije većine protokola povećanje procenta isporučenih paketa i smanjenje kašnjenja paketa u mreži. U nekoliko protokola posmatran je veoma važan i kritičan parametar za FANET mreže, a to je potrošnja energije [4-5], [8], [12], [14-16], [18]. Sledeći parametar po zastupljenosti u protokolima je overhed rutiranja [4], [6], [8], [14], [17], gde je cilj protokola što manji overhed kako ne bi došlo do preopterećenja i zagušenja u mreži. Po tri protokola kao posmatrani parametar uzimaju životni vek mreže [4], [15], [18] i ostvareni aplikacioni protok [13], [16-17], dok je u jednom protokolu posmatrani parametar povezanost čvorova u mreži [18].

Tabela 2. Komparativna analiza protokola rutiranja na osnovu posmatranih mrežnih parametara, korišćenih simulacionih alata i modela mobilnosti

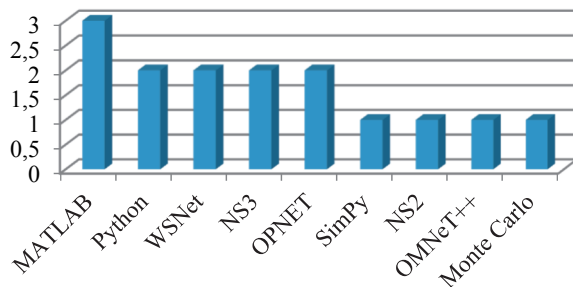
Protokol	Posmatrani parametri	Simulacioni alat	Model mobilnosti
[4]	potrošnja energije, kašnjenje, životni vek mreže, PDR, overhed	MATLAB	3D Gauss–Markov
[5]	potrošnja energije, kašnjenje, PDR	WSNet	Random Waypoint
[6]	kašnjenje, PDR, overhed	NS3	Gauss–Markov
[7]	kašnjenje, PDR	OPNET	Random Waypoint
[8]	potrošnja energije, PDR, overhed	nije naveden	nije naveden
[9]	kašnjenje, PDR	WSNet	Random Waypoint
[10]	kašnjenje, PDR	MATLAB, NS2	Random Waypoint
[11]	kašnjenje, PDR	OMNeT++	Random Waypoint
[12]	potrošnja energije, kašnjenje	nije naveden	nije naveden
[13]	kašnjenje, PDR, protok	nije naveden	Gauss–Markov
[14]	potrošnja energije, kašnjenje, PDR, overhed	Monte Carlo	3D Random Waypoint
[15]	potrošnja energije, kašnjenje, životni vek mreže, PDR	OPNET	Gauss–Markov
[16]	potrošnja energije, kašnjenje, PDR, protok	NS3	Gauss–Markov
[17]	kašnjenje, PDR, protok, overhed	Python, SimPy	Aircraft model
[18]	potrošnja energije, životni vek mreže, povezanost	MATLAB, Python	nije naveden



Slika 3. Posmatrani parametri u protokolima rutiranja

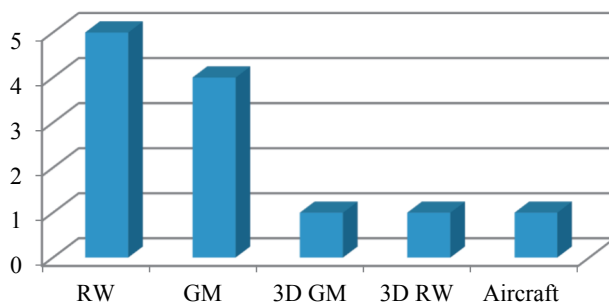
Na slici 4 je prikazana zastupljenost pojedinih simulacionih alata koji su korišćeni za testiranje predloženih protokola. Može se primetiti da najviše istraživača koristi MATLAB simulacioni alat [4], [10], [18], slede Python [17-18], WSNet [5], [9],

NS3 [6], [16] i OPNET [7], [15] sa po dve primene, dok se SimPy [17], NS2 [10], OMNET++ [11] i Monte Carlo [14] simulatori koriste za testiranje po jednog protokola rutiranja.



Slika 4. Simulacioni alati za testiranje protokola rutiranja

Konačno, na slici 5 je prikazana zastupljenost primene pojedinih modela mobilnosti u simulacionoj analizi. Najveći broj protokola je testiran uz primenu *Random Waypoint* (RW) [5], [7], [9-11] i *Gauss-Markov* (GM) [6], [13], [15-16] modela mobilnosti. Po jedan protokol testiran je uz primenu 3D GM [4], 3D RW [14] i *Aircraft* [17] modela mobilnosti. Iznenaduje činjenica da se i dalje 2D modeli koriste dosta češće od 3D modela.



Slika 5. Modeli mobilnosti u simulacionoj analizi

4. Zaključak

U ovom radu je predstavljen sistematičan pregled protokola rutiranja za FANET mreže, baziranih na RL. Najpre su opisane osnovne karakteristike i izazovi sa kojima se susreću FANET mreže, kako bi bilo jasnije koje zahteve moraju da zadovolje protokoli rutiranja za ove mreže. Zatim je izvršena klasifikacija protokola rutiranja za FANET mreže po nekoliko kriterijuma, nakon čega je detaljnije opisan po jedan predstavnik svake klase. Može se zaključiti da je u protokolima i dalje dominantan tip učenja QL i da se uglavnom koriste SA pristup učenju i nehijerarhijska mrežna topologija. Na kraju je izvršena komparativna analiza protokola prema posmatranim parametrima u procesu optimizacije rutiranja, korišćenim simulacionim alatima i modelima mobilnosti. Ovde je

primetno da se najčešće teži optimizaciji kašenjenja i stepena isporučenih paketa, u svim istraživanjima je za evaluacija predloženih protokola korišćena simulaciona analiza, dok su najčešće korišćeni modeli mobilnosti i dalje RW i GM. U okviru budućih istraživanja moguće je izučiti dalje mogućnosti primene RL u protokolima rutiranja za dinamičke bežične *ad hoc* mreže. Takođe, ovaj pregled dosadašnjih istraživanja može da bude dobra osnova za razvoj novog protokola rutiranja koji bi pomogao u daljem unapređenju mrežnih performansi FANET mreža.

Literatura

- [1] O.S. Oubbati, A. Lakas, F. Zhou, M. Gunes, and M.B.Yagoubi, "A survey on position-based routing protocols for flying ad hoc networks (FANETs)", *Vehicular Communications*, vol. 10, pp. 29-56, October 2017. DOI: 10.1016/j.vehcom.2017.10.003
- [2] R. Sutton, A. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction, second edition*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 2018.
- [3] F. Noor, M. A. Khan, A. Al-Zahrani, I. Ullah, K. A. Al-Dhlan, "A review on communications perspective of flying ad hoc networks: Key enabling wireless technologies, applications, challenges and open research topics", *Drones*, vol. 4, no. 5, pp. 65-78, September 2020. DOI: 10.3390/drones4040065
- [4] M. Y. Arafat and S. Moh, "A Q-learning-based topology-aware routing protocol for flying ad hoc networks", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 3. pp. 1985-2000, February 2022. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3089759
- [5] J. Liu, Q. Wang, C. He, K. Jaffrès-Runser, Y. Xu, Z. Li, and Y. J. Xu, "QMR: Q-learning based multi-objective optimization routing protocol for flying ad hoc networks", *Computer Communications*, vol. 150, pp. 304-316, January 2020. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.11.011
- [6] W. S. Jung, J. Yim, and Y. B. Ko, "QGeo: Q-learning-based geographic ad hoc routing protocol for unmanned robotic networks", *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 10, pp. 2258-2261, October 2017. DOI: 10.1109/LCOMM.2017.2656879
- [7] J. W. Lim and Y. B. Ko. "Q-learning based stepwise routing protocol for multi-uav networks", in *Proc. 2021 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, pp. 307-309, April 2021. DOI: 10.1109/ICAIIIC51459.2021.9415265
- [8] A. Rovira-Sugranes, F. Afghah, J. Qu, and A. Razi, "Fully-echoed q-routing with simulated annealing inference for flying adhoc networks", *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 2223-2234, July 2021. DOI: 10.1109/TNSE.2021.3085514
- [9] L. A. L. da Costa, R. Kunst, and E. P. de Freitas, "Q-FANET: Improved Q-learning based routing protocol for FANETs", *Computer Networks*, vol. 198, pp. 108379-108389, October 2021. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.108379
- [10] Z. Zheng, A. K. Sangaiah, and T. Wang, "Adaptive communication protocols in flying ad hoc network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 1, pp. 136-142, January 2018. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700323
- [11] B. Sliwa, C. Schuler, M. Patchou, and C. Wietfeld, "PARRoT: Predictive ad hoc routing fueled by reinforcement learning and trajectory knowledge", in *Proc. 2021*

- IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, pp. 1-7, April 2021. DOI: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448959
- [12] Q. Yang, S. J. Jang, and S. J. Yoo, “Q-learning-based fuzzy logic for multi-objective routing algorithm in flying ad hoc networks”, *Wireless Personal Communications*, vol. 113, pp. 115-138, January 2020. DOI: 10.1007/s11277-020-07181-w
- [13] M. Zhang, C. Dong, S. Feng, X. Guan, H. Chen, and Q. Wu, “Adaptive 3D routing protocol for flying ad hoc networks based on prediction-driven Q-learning”, *China Communications*, vol. 19, no. 5, pp. 302-317, May 2022. DOI: 10.23919/JCC.2022.05.005
- [14] Y. Cui, Q. Zhang, Z. Feng, Z. Wei, C. Shi, and H. Yang, “Topology-Aware Resilient Routing Protocol for FANETs: An Adaptive Q-Learning Approach”, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 19, pp. 18632-18649, October 2022. DOI: 10.1109/JIOT.2022.3162849
- [15] J. Guo, H. Gao, Z. Liu, F. Huang, J. Zhang, X. Li, and J. Ma, “ICRA: An Intelligent Clustering Routing Approach for UAV Ad Hoc Networks”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 2, pp. 2447-2460, February 2023. DOI: 10.1109/TITS.2022.3145857
- [16] X. Qiu, Y. Xie, Y. Wang, L. Ye, and Y. Yang, “QLGR: A Q-learning-based geographic FANET routing algorithm based on multi-agent reinforcement learning”, *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, vol. 15, no. 11, November 2021. DOI: 10.3837/tiis.2021.11.020
- [17] Y. N. Chen, N. Q. Lyu, G. H. Song, B. W. Yang, and X. H. Jiang, “A traffic-aware Q-network enhanced routing protocol based on GPSR for unmanned aerial vehicle ad hoc networks”, *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, vol. 21, pp. 1308-1320, September 2020. DOI: 10.1631/FITEE.1900401
- [18] M. F. Khan, K. L. A. Yau, M. H. Ling, M. A. Imran, and Y. W. Chong, “An Intelligent Cluster-Based Routing Scheme in 5G Flying Ad Hoc Networks”, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, pp. 3665-3699, April 2022. DOI: 10.3390/app12073665

Abstract: *Technological development and wider use of unmanned aerial vehicles increase the need to ensure reliable communication. Flying ad hoc networks (FANETs) represent an excellent solution for achieving this goal. The most significant characteristics of these networks are frequent network topology changes, and the high speed and low density of network nodes. Routing protocols for FANETs should be adapted to their characteristics, to improve the overall network performance. Traditional routing protocols fail to keep up with the dynamic nature of FANETs, so it is necessary to incorporate new techniques that better meet this challenge. The inclusion of reinforcement learning (RL) in routing protocols can significantly improve the performance of FANETs, due to its ability to continuously monitor and adapt to changes in the network environment. This paper will present the most important RL-based routing protocols for FANETs, as well as their detailed classification and comparative analysis.*

Keywords: *FANET, reinforcement learning, routing protocols*

APPLICATION OF REINFORCEMENT LEARNING IN ROUTING PROTOCOLS FOR FANETS

Marija Malnar, Pavle Bugarčić

PRIMENA SIONNA SOFTVERA ZA SIMULACIJE FIZIČKOG SLOJA 5G/6G MREŽA

Nenad Jevtić¹, Milica Đorđević²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, n.jevtic@sf.bg.ac.rs

²Rohde & Schwarz - Evaluacija mobilnih mreža, djordjevicmilica@gmail.com

Rezime: Razvoj i napredak bežičnih komunikacionih sistema zahtevaju upotrebu simulacionog softvera koji omogućava precizno modelovanje i analizu fizičkog sloja 5G (Fifth Generation) mreža. Napredne funkcionalnosti u okviru Sionna softvera pružaju robusnu platformu za simulaciju složenih dinamika veze i procenu performansi sistema. Istraživanja sprovedena u ovom radu se fokusiraju na simulaciju 5G NR (New Radio) LDPC (Low-Density Parity-Check) kodova zajedno sa MIMO (Multiple Input Multiple Output) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tehnikama, otkrivajući značajna poboljšanja u performansama sistema i efikasnosti kanala. Uključivanje tehnika mašinskog učenja (ML - Machine Learning) igra ključnu ulogu u optimizaciji obrade signala i efikasnosti dekodovanja, naročito u kontekstu mreža sledeće generacije. Simulirano neuronsko demapiranje i neuronske tehnike prijema naglašavaju važnost inovativnih strategija za prevazilaženje izazova koje postavljaju nove tehnologije, uključujući one koje se očekuju u 6G (Sixth Generation) mrežama.

Ključne reči: Sionna, 5G/6G, LDPC, MIMO, OFDM, ML

1. Uvod

U istraživanjima u oblasti telekomunikacija, neophodan je fleksibilan i modularan softver za simulaciju na nivou linka kako bi se novi protokoli i algoritmi efikasno testirali, a dobijeni rezultati uporedili sa već postojećim rešenjima. Sionna softver se ističe kao jedno od rešenja koje zadovoljava ove zahteve, pružajući širok spektar mogućnosti za modelovanje komunikacionih sistema. Pre njegovog razvoja, na raspolaganju su bili *open-source* softveri ograničenih mogućnosti koji nisu mogli u potpunosti zadovoljiti sve kriterijume potrebne za simulacija složenih mreža [1]. Sionna obezbeđuje obimnu biblioteku funkcija koja omogućava detaljno modelovanje pojedinačnih veza unutar bežičnih komunikacionih sistema, kao i interakcije između različitih čvorova i mreža [2].

U ovom radu se istražuje primena Sionna softvera za simulaciju veoma značajnih aspekata fizičkog sloja 5G (Fifth Generation) i 6G (Sixth Generation) mreža, uključujući analizu LDPC kodova (Low-Density Parity-Check) i MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tehnike. Pored

toga, istražuje se integracija metoda mašinskog učenja i vrši evaluacija primene neuronskih mreža u mobilnim sistemima. Kroz simulaciju tehnika neuronskog demapiranja se naglašava sposobnost sistema da iterativno optimizuje konstelacioni dijagram, poboljšavajući detekciju simbola i minimizujući greške u kanalima sa šumom. Takođe, predstavljena je struktura neuronskog prijemnika, pri čemu je sprovedena evaluacija sa tradicionalnim modelima.

Rad je organizovan na sledeći način. Detaljan opis Sionna softvera predstavljen je u drugom poglavlju. Treće poglavlje prikazuje simulacione analize odabranih tehnika u komunikacionim sistemima, dok je četvrto poglavlje fokusirano na istraživanje i evaluaciju neuronskih tehnika u mobilnim sistemima. Zaključna razmatranja koja proizilaze iz istraživanja i sprovedenih simulacija su data u petom poglavlju.

2. Pregled funkcionalnosti Sionna softvera

Sionna softver nudi fleksibilne mogućnosti modelovanja i analize za bežične komunikacione sisteme. Biblioteka sadrži niz modularnih komponenti koje služe kao osnovni gradivni blokovi za kreiranje modela naprednih komunikacionih sistema prilagođenih specifičnim potrebama. Integracija Python-a, Keras API-ja (*Application Programming Interface*) i TensorFlow-a, obezbeđuje efikasnu platformu za razvoj, obučavanje i evaluaciju ML (*Machine Learning*) i DL (*Deep Learning*) modela učenja. Kroz sveobuhvatan API, Sionna smanjuje složenost sistema, omogućava brzo modelovanje "od kraja do kraja" i nudi prilagodljive opcije za različite istraživačke oblasti.

Sionna obezbeđuje i modele za simulaciju bežičnih kanala koji uzimaju u obzir feding, gubitak snage signala i interferenciju, omogućavajući korisnicima da simuliraju realne bežične okoline. Obuhvaćeni su osnovni modeli feding kanala uključujući *Rayleigh* i *Rician* modele, dok se uticaj gubitka snage signala može modelovati kao gubitak u slobodnom prostoru ili korišćenjem *Two-ray ground* modela. Efekti modela *shadowing*-a se mogu simulirati, omogućavajući razumevanje složenih interakcija između bežičnih signala i njihove okoline. Osim osnovnih, postoji i veći broj modela kanala u skladu sa tehničkim izveštajima 3GPP (3rd *Generation Partnership Project*), pogodnih za modelovanje 5G sistema. Modularna arhitektura omogućava integraciju različitih komponenti, poput različitih tipova antena i konfiguracija, što je ključno za implementaciju MIMO i OFDM tehnika. U oblasti obrade signala, Sionna nudi robustan skup alata za simulaciju, podržavajući širok spektar šema modulacije, kao što su QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) i QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), kao i FEC (*Forward Error Correction*) tehnike, uključujući konvolucione kodove, turbo kodove i LDPC kodove. Performanse tehnika ekvalizacije, kao što su linearna i ekvalizacija sa povratnim odlučivanjem, mogu se detaljno ispitati kako bi se optimizovali bežični komunikacioni sistemi. Evaluacija ključnih performansi, uključujući propusni opseg, latenciju i verovatnoću greške, omogućava sveobuhvatnu analizu efikasnosti sistema.

Jedna od ključnih prednosti Sionna biblioteke je njena skalabilnost i visoke performanse, koje se postižu putem paralelne obrade signala i ubrzanja procesiranja korišćenjem GPU (*Graphics Processing Unit*), omogućavajući simulaciju velikih bežičnih komunikacionih sistema sa izuzetnom brzinom i preciznošću. Pored toga, mogućnosti distribuirane simulacije omogućavaju modelovanje složenih sistema koji obuhvataju više čvorova i mreža. Modularna arhitektura podržava prilagodljivost za širok

spektar bežičnih komunikacionih sistema i scenarija, uključujući 5G mrežu, milimetarske talase (*mmWave*), VANET (*Vehicular Ad-hoc Network*) mreže, IoT (*Internet of Things*) i satelitske komunikacione sisteme. Sposobnost biblioteke da integriše nove tehnologije i podrži složene simulacije čini je idealnim softverom za istraživanje novih inovacija u 6G tehnologiji.

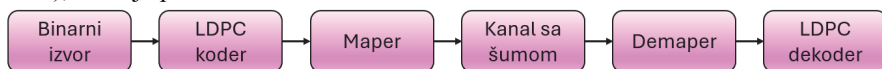
3. Simulaciona analiza primene LDPC i MIMO OFDM u komunikacionim sistemima

U prenosu digitalnih podataka, cilj je osigurati da svi podaci koji su poslani kroz komunikacioni kanal budu primljeni bez grešaka. Merenjem broja netačnih bitova omogućava se evaluacija performansi sistema i identifikacija gde je potrebno unapređenje. Ova merenja mogu biti izražena kroz metrike kao što su BER (*Bit Error Rate*) ili BLER (*Block Error Rate*), koje pružaju kvantitativne informacije o tačnosti prenosa podataka i pouzdanosti digitalne komunikacije.

U ovom poglavlju predstavljene su rezultati simulacija sa fokusom na 5G NR LDPC kodove i MIMO OFDM tehniku. Korišćenje LDPC kodova značajno poboljšava mogućnosti korekcije grešaka, omogućavajući sistemu da se efikasno suprotstavi efektima šuma i interferencije u prenosu podataka [3]. Kroz integraciju MIMO sistema i OFDM tehnike, značajno se unapređuje način rešavanja izazova vezanih za iskorišćenje propusnog opsega i prevenciju *multi-path* fadinga, što rezultira obezbeđivanju većeg integriteta podataka [4]. Kôd i rezultati izvršenih simulacija dostupni su na Google Colab-u [5].

3.1. Simulaciona analiza LDPC kodova

Sionna softver sadrži unapred definisane funkcionalnosti namenjene simulaciji složenih aspekata 5G mreža, uključujući i modele za zaštitno kodovanje (LDPC koder i dekoder), kako je prikazano na slici 1.

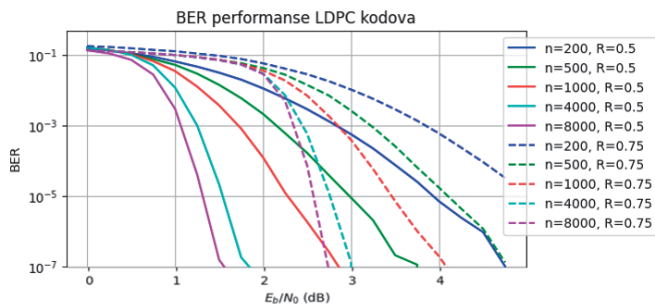


Slika 1. Komunikacioni sistem sa zaštitnim kodovanjem

Nakon generisanja nasumičnog niza bitova pomoću binarnog izvora, vrši se zaštitno kodovanje nad ulaznim bitovima. Kanalski (zaštitni) kodovi se dodaju u komunikacioni sistem kako bi primopredajnik bio robusniji, odnosno kako bi mogao da otklanja greške u prenosu. Rezultat je kodovana poruka koja se dalje prevodi u niz simbola i procesira kroz kanal sa šumom. Na izlazu kanala poruka se iz niza simbola prevodi nazad u niz bita i dekoduje, potom se na kraju vrši poređenje ulazne i izlazne sekvence bita kako bi se videli efekti primene zaštitnog kodovanja, odnosno definisale BER krive.

Simulacija je fokusirana na analizu performansi LDPC kodova, koji se koriste u 5G NR sistemima zbog svojih izuzetnih sposobnosti ispravljanja grešaka. Kao deo ovog istraživanja, sprovedena je prilagođena simulacija kako bi se procenilo kako različiti faktori utiču na performanse. Vrednost kodnog količnika i dužina kodne reči variraju, dok ostali parametri, kao što su dekoder i kanal, ostaju konstantni. Simulacija koristi seriju LDPC kodova koji se testiraju, pri čemu se dužina kodne reči postepeno povećava (200,

500, 1000, 4000, 8000). Za svaku dužinu kodne reči, broj informacionih bitova se izračunava na osnovu kodnog količnika $R = \frac{1}{2}$ i $R = \frac{3}{4}$. Simulacija prenosa podataka kroz kanal je sprovedena za svaki par koder/dekoder, a za svaku dužinu kodne reči, kodnog količnika i vrednost SNR (*Signal-to-Noise Ratio*). Na osnovu rezultata simulacije može se zaključiti kako performanse LDPC kodova zavise od kodnog količnika, kao i od dužine kodne reči.



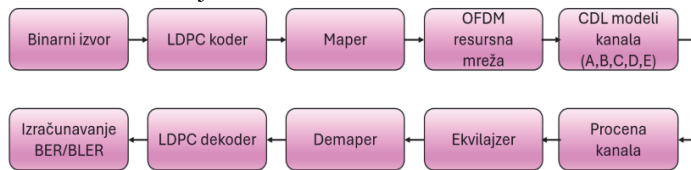
Slika 2. BER performanse LDPC kodova

Rezultati simulacije prikazani su na slici 2, pri čemu su BER krive za kodni količnik $\frac{1}{2}$ predstavljene neisprekidanim linijama, dok su za kodni količnik $\frac{3}{4}$ prikazane isprekidanim linijama. Upoređujući ove BER krive, dolazi se do zaključka da kodni količnik igra ključnu ulogu u definisanju balansa između efikasnosti prenosa podataka i otpornosti na greške. Podešavanjem na manju vrednost ($R = \frac{1}{2}$) povećava se broj bitova posvećenih korekciji grešaka, što poboljšava otpornost na šum i interferencije, što se jasno vidi na BER krivama prilikom poređenja oba kodna količnika. Međutim, time se smanjuje protok, jer se manji deo prenetih podataka koristi za korisne informacije. S druge strane, veća vrednost kodnog količnika ($R = \frac{3}{4}$), omogućava veći kapacitet za korisne podatke, ali smanjuje otpornost na greške. Takođe, dobijeni rezultati potvrđuju da duže kodne reči imaju veći kapacitet za prenos informacija i veću otpornost na greške, što dovodi do nižeg BER-a. Međutim, duže kodne reči zahtevaju više vremena za obradu, što povećava vreme dekodovanja i kašnjenje u 5G sistemima. Ovo je jasno uočeno u simulacijama, gde se vreme izvršenja simulacije povećava sa dužinom kodne reči. Stoga, pri odabiru optimalne kombinacije kodnog količnika i dužine kodne reči, neophodno je pažljivo proceniti ravnotežu između vremena obrade, otpornosti na greške i efikasnosti prenosa, u zavisnosti od specifičnih zahteva primene.

3.2. Simulaciona analiza MIMO OFDM tehnike

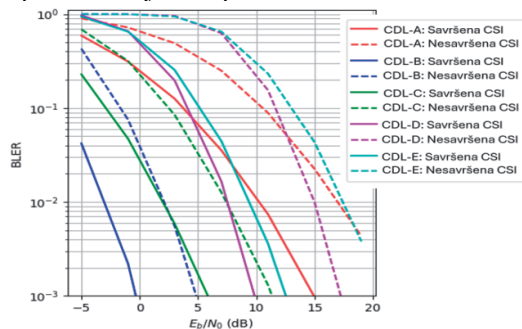
Blok dijagram modela sistema koji se simulira prikazan je na slici 3. Model predstavlja osnovnu strukturu sistema komunikacije u 5G mreži koja obuhvata više različitih modula sa ciljem da se ostvari što vernija i efikasnija simulaciona analiza. Korišćeni su slojevi za generisanje nasumičnih podataka, modulaciju, kodovanje i dekodovanje signala, OFDM resursne mreže, kao i predajnici i prijemnici sa više antena. U analizi je korišćen 3GPP TR 38.901 CDL (*Clustered Delay Line*) kanal, koji uključuje pet različitih tipova modela (A, B, C, D, E). Razvijeni su kako bi omogućili simulaciju različitih scenarija u okviru 5G mreža, od urbanih do ruralnih sredina, uključujući i izazovna okruženja sa brojnim refleksijama i rasipanjem signala. CDL-A model simulira relativno jednostavne scenarije višestrukih putanja sa malim brojem refleksija i pogodan

je za ruralna ili jednostavna urbana okruženja gde nema mnogo refleksija i disperzije signala. CDL-B model simulira složenije scenarije sa većim brojem višestrukih putanja i refleksija i pogodan je za prigradske oblasti ili okruženja sa srednjim brojem prepreka (npr. kuće, niske zgrade). CDL-C je još složeniji model koji se koristi za urbana okruženja sa velikim brojem zgrada, prepreka i objekata koji mogu reflektovati signal. CDL-D model simulira veoma složene scenarije, uključujući guste gradske sredine sa velikim brojem prepreka i refleksija i idealan je za veoma guste urbane oblasti, gde je signal izložen velikom broju višestrukih refleksija (npr. centri gradova, poslovne četvrti). CDL-E je najkompleksniji model i koristi se za simulaciju složenih scenarija, kao što su unutrašnje prostorije (*indoor*) sa mnogo refleksija i disperzija signala (npr. tržni centri, stanice, poslovni prostori). Parametri za svaki model nalaze se u tabelama specifikacije 3GPP TR 38.901 [6]. Za procenu karakteristika kanala koristi se metoda LS (*Least Squares*), uz primenu interpolacije najbližeg suseda (*Nearest-Neighbor*) radi poboljšanja tačnosti procene. Za optimalno prilagođavanje parametara sistema koristi se savršena CSI (*Channel State Information*). Takođe, LMMSE (*Linear Minimum Mean Square Error*) tehnika se koristi za ekvalizaciju MIMO sistema.



Slika 3. Blok dijagram simuliranog modela sistema

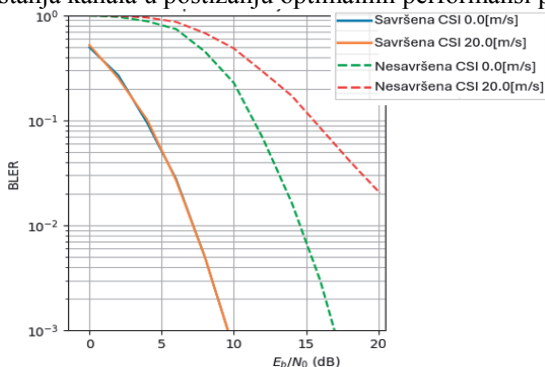
U okviru simulacije analizira se *uplink* prenos između korisničkog terminala sa 4 antene i bazne stanice sa 8 antena, korišćenjem MIMO OFDM tehnike. Sistem je konfigurisan tako da broj strimova po predajniku odgovara broju antena na korisničkom terminalu, što omogućava efikasniji prenos podataka jer broj strimova direktno prati raspoložive antene na terminalu. Rezultati simulacije su prikazani na slici 4, gde su neisprekidanim BLER krivama označeni modeli koji koriste savršeno znanje o stanju kanala, dok isprekidane BLER krive predstavljaju modele koji koriste procenu kanala i imaju nepotpuno znanje o stanju kanala. Uopoređujući ove BLER krive, dolazi se do zaključka da su performanse sistema bolje kada se koristi savršeno znanje o stanju kanala, što je i očekivan rezultat. Međutim, važno je napomenuti da savršeno znanje o stanju kanala nije realno u praktičnim primenama bežičnih komunikacionih sistema. U većini slučajeva, kanal se procenjuje na osnovu dostupnih podataka i parametara, što može rezultirati nepotpunim znanjem ili procenom kanala.



Slika 4. Simulacija MIMO OFDM tehnike

Rezultati jasno ukazuju da modeli CDL-B i CDL-C pružaju bolje performanse u urbanim makro okruženjima, čak i pri nižim vrednostima E_b/N_0 , što je evidentno u oba slučaja, sa savršenom i nesavršenom CSI. Ova stabilnost ih čini pogodnim za simulacije u scenarijima sa velikim brojem refleksija i višestrukim putanjama signala. CDL-D model, koji se koristi za kanale sa velikim brojem višestrukih putanja je osjetljiviji pri nesavršenim informacijama o kanalu. S druge strane, modeli CDL-A i CDL-E pokazuju veću osjetljivost na varijacije u kanalima, posebno u uslovima bez savršene CSI informacije. CDL-E model, iako pruža bolje rezultate sa savršenim CSI-jem, beleži značajno više BLER vrednosti pri nesavršenom znanju o stanju kanala.

Uspostavljanje kvalitetne i pouzdane radio veze u sistemima mobilnih komunikacija predstavlja veliki izazov zato što ovaj kanal nije podložan samo šumu, interferenciji i drugim smetnjama, već se karakteristike kanala menjaju tokom vremena na nepredvidiv način usled kretanja mobilnih korisnika i okolnih objekata zbog čega dolazi do stalnih promena uslova okruženja. Izvršena simulacija jasno prikazuje uticaj mobilnosti korisničkog terminala na performanse u CDL-D kanalu, pri različitim brzinama korisničkog terminala (0 m/s i 20 m/s). Rezultati prikazani na slici 5 ističu značaj poznavanja stanja kanala u postizanju optimalnih performansi prenosa.



Slika 5. Uticaj mobilnosti korisničkog terminala u CDL-D kanalu

Kada je CSI savršena, mobilnost korisničkog terminala ima relativno mali uticaj na performanse, što se jasno vidi sa slike 5 gde puna plava i narandžasta linija pokazuju veoma slične vrednosti, jer precizna informacija o kanalu omogućava efikasnu korekciju grešaka i upravljanje signalom čak i u pokretnom okruženju. Međutim, kada se vrši realna procena kanala, dolazi do značajne degradacije performansi. Zelena isprekidana linija, koja prikazuje scenario sa statičnim korisničkim terminalom, pokazuje da i bez mobilnosti, greške u proceni kanala značajno otežavaju ispravljanje grešaka u prenosu podataka. Crvena isprekidana linija prikazuje dodatno pogoršanje performansi zbog mobilnosti, zato što kretanje dodatno otežava procenu kanala i stabilnost signala. Mobilnost unosi veće varijacije u kanal, čineći ovaj scenario izuzetno zahtevnim za održavanje kvalitetnog prenosa podataka i zahtevajući znatno veće E_b/N_0 vrednosti za postizanje željenog BLER nivoa.

4. Istraživanje i evaluacija neuronskih tehnika u mobilnim sistemima

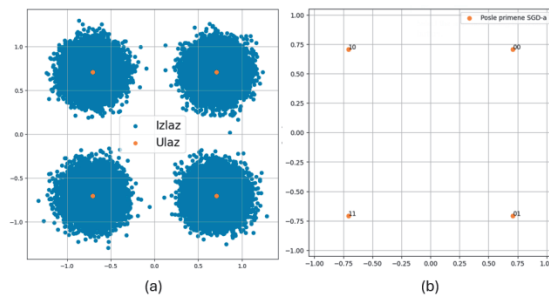
Bežične i mobilne aplikacije doživele su značajan rast, što direktno utiče na povećanje zahteva u okviru mobilnih sistema pete generacije i budućih generacija, poput

6G sistema. S obzirom na sve veću potrebu za efikasnom obradom i dekodovanjem signala, neophodno je pronaći rešenja koja mogu odgovoriti na nove zahteve i omogućiti stabilan prenos podataka. Kako bi se ovi izazovi prevazišli, ML metode se sve više integrišu u komunikacione sisteme, omogućavajući adaptivnija i efikasnija rešenja [7].

U ovom poglavlju predstavljeni su rezultati istraživanja i evaluacije neuronskih tehnika u mobilnim sistemima kroz eksperimente sa neuronskim demapiranjem, koji ukazuju na značajna poboljšanja u optimizaciji prijemnika. Takođe, kroz simulacije i treniranje neuronskog prijemnika sa velikim brojem iteracija, omogućava se postizanje performansi koje su približno jednake savršenom poznavanju stanja kanala, što predstavlja veliki potencijal za buduće 6G mreže.

4.1. Simulaciona analiza neuronskog demapiranja

Simulacija prikazuje prenos simbola kroz kanal sa AWGN šumom, modulisanih pomoću QAM modulacije, ilustrujući kako šum utiče na kvalitet i pouzdanost prenosa signala. Tehnika optimizacije konstelacionog dijagrama pomoću SGD algoritma (*Stochastic Gradient Descent*) omogućava precizniju rekonstrukciju simbola i poboljšanje performansi sistema. Na slici 6a, plave tačke predstavljaju primljene simbole, koji su raspršeni i pokazuju značajna odstupanja od idealnih pozicija konstelacije (narandžaste tačke) usled prisustva šuma u kanalu, čime se dodatno naglašava izazov održavanja preciznosti simbola u takvim uslovima. Nasuprot tome, slika 6b prikazuje optimizovani konstelacioni dijagram nakon primene SGD algoritma. Svaka narandžasta tačka predstavlja simbol u 4-QAM konstelaciji i nosi odgovarajuću sekvencu bitova, što ukazuje na značajno poboljšanje procesa prevođenja niza simbola nazad u niz bitova. Sistem prilagođava tačke konstelacije i podešava granice odlučivanja kako bi smanjio BER, što rezultira značajnim poboljšanjem preciznosti klasifikacije primljenih simbola. Neuronski demaper optimizuje proces dekodovanja tako što iterativno poboljšava tačke konstelacije, što ukazuje na potencijal mašinskog učenja za unapređenje komunikacionih sistema.



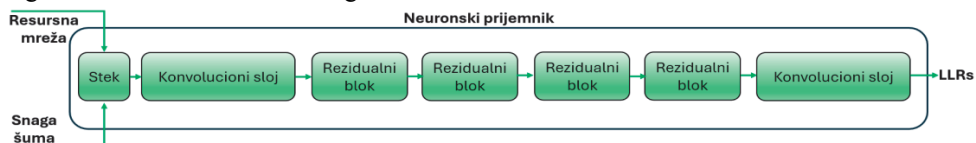
Slika 6. Konstelacioni dijagram na predaji i prijemu bez SGD (a) i sa SGD (b)

4.2. Simulaciona analiza neuronskog prijemnika

Tradicionalni prijemnici koriste matematičke metode za obradu signala i dekodovanje, što se pokazalo efikasnim u prethodnim generacijama mobilnih mreža. Međutim, kako složenost i kompleksnost mobilnih mreža raste, javlja se sve veća potreba za adaptivnijim tehnikama koje mogu da odgovore na dinamične i brzo promenljive uslove kanala. U ovakvim okruženjima, tradicionalni prijemnici sve češće pokazuju svoja

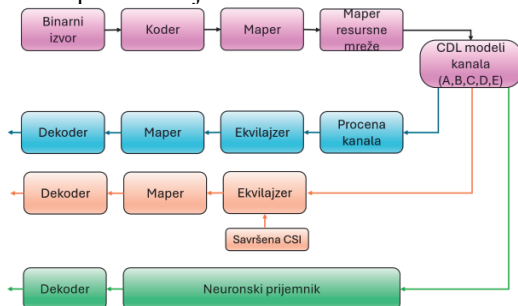
ograničenja, jer kompleksni uslovi, poput višestrukih refleksija, šuma i brzih varijacija kanala, zahtevaju naprednije metode koje efikasno održavaju stabilnost i visok nivo performansi sistema. Ovi faktori su od suštinskog značaja za postizanje pouzdanog prenosa podataka, a rešenja se sve više pronalaze u savremenim tehnikama koje koriste veštačku inteligenciju i neuronske mreže. Neuronski prijemnici, bazirani na DL (*Deep Learning*) metodama, pojavljuju se kao obećavajuće rešenje u modernim bežičnim komunikacionim sistemima jer nude sposobnost prilagođavanja na dinamične kanale i složene šeme modulacije, čime se omogućava efikasniji prenos podataka i smanjenje grešaka. Koristeći duboke neuronske mreže, tačnije konvolucione slojeve, prijemnici mogu automatski da uče i prilagođavaju procese dekodovanja signala na osnovu podataka primljenih sa kanala.

Neuronski prijemnik, čija je šema prikazana na slici 7, funkcioniše tako što obrađuje ulazne podatke kroz niz slojeva kako bi pružio precizne informacije o simbolima koji su poslani preko kanala. Ulaz u neuronski prijemnik čine resursna mreža i podaci o snazi šuma. Stek služi za pripremu i organizovanje strukture podataka koju prijemnik dalje obrađuje, što često podrazumeva raspoređivanje podataka na način koji omogućava efikasniju obradu u sledećim slojevima modela. Konvolucioni slojevi su ključni deo dubokih neuronskih mreža, vrše filtriranje primljenih podataka kako bi izvukli relevantne karakteristike iz simbola. Rezidualni blokovi omogućavaju zadržavanje važnih informacija kroz višeslojne mreže i pomažu u prevazilaženju problema nestajućih gradijenata tokom treniranja. Na ovaj način, neuronski prijemnik se efikasnije prilagođava promenama u ulaznim podacima i prisustvu šuma. LLR (*Log-Likelihood Ratios*) vrednosti na izlazu prijemnika predstavljaju logaritamski odnos verovatnoća za dekodovanje bita, pri čemu veća vrednost LLR-a ukazuje na veću sigurnost u tačnost dekodovanog bita.



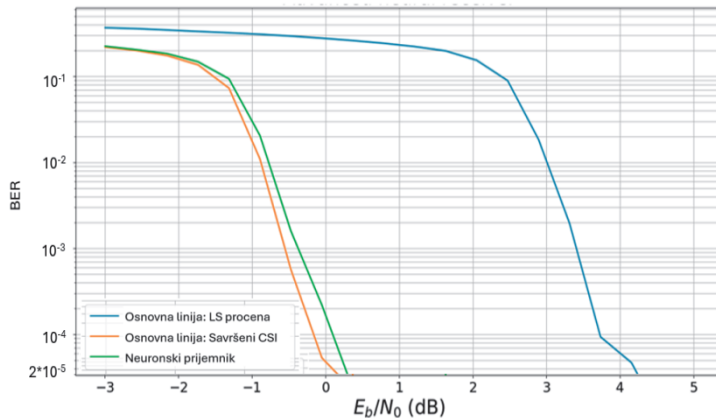
Slika 7. Šema neuronskog prijemnika

Evaluacija neuronskog prijemnika sprovedena je kroz simulacije, gde su performanse treniranog modela upoređene sa sistemima koji koriste LS procenu kanala i savršeno poznavanje stanja kanala. Struktura sva tri sistema prikazana je na slici 8, što omogućava pregled razlika u implementaciji.



Slika 8. Evaluacija neuronskog prijemnika sa tradicionalnim modelima

Rezultati simulacija, koji su prikazani na slici 9, pružaju uvid koliko se trenirani neuronski prijemnik može približiti idealnim uslovima koji se postižu uz savršenu CSI, i koliko može da nadmaši tradicionalne pristupe, posebno kada su prisutne varijacije u kanalu ili složeniji uslovi propagacije signala. U odnosu na tradicionalne sisteme koji zahtevaju detaljno modelovanje kanala, neuronski prijemnik može da se trenira na različitim scenarijima i dinamički prilagođava promenljivim uslovima na osnovu ulaznih podataka. Ovo je od suštinskog značaja u uslovima kada su prisutni različiti šumovi, interferencije i smetnje, jer neuronski prijemnik može naučiti kako da optimizuje dekodovanje signala bez potrebe za prethodnim znanjem o karakteristikama kanala. Time se obezbeđuju značajne prednosti u promenljivim okruženjima, kao što su mobilni sistemi pete i šeste generacije, gde se signali često menjaju zbog fizičkih prepreka, refleksija ili kretanja korisničkih terminala.



Slika 9. Evaluacija neuronskog prijemnika

5. Zaključak

Raznovrsnost Sionna softvera obuhvata mnogo više od primera predstavljenih u ovom istraživanju. Simulacije 5G NR LDPC kodova, MIMO OFDM-a, kao i neuronske tehnike demapiranja i prijemnika, predstavljaju samo deo potencijala u istraživanju bežičnih komunikacija. Kao *open-source* platforma, Sionna se kontinuirano unapređuje zahvaljujući doprinosima globalne zajednice, čime se obezbeđuje prilagodljivost novim tehnologijama. Skalabilnost čini ovu biblioteku idealnom platformom za širok spektar istraživačkih inicijativa, od usavršavanja postojećih tehnika do razvoja potpuno novih paradigmi u bežičnim komunikacijama. Kako rastu zahtevi za performansama i fleksibilnošću mreža, zahvaljujući mogućnostima integracije sistema zasnovanih na mašinskom učenju, Sionna pruža veliki potencijal za istraživanje i razvoj dizajna mobilnih sistema šeste generacije.

Budući rad može uključivati istraživanje složenih propagacionih okruženja, multi-hop komunikaciju ili strategije naprednog upravljanja interferencijama. Pored toga, integracija sofisticiranih modela mašinskog učenja mogla bi omogućiti prilagodljivost i donošenje odluka u realnom vremenu, otvarajući put ka inteligentnim, autonomnim mrežama.

Literatura

- [1] Sionna [Online]. Available: <https://nvlabs.github.io/sionna/index.html>
- [2] J. Hoydis, S. Cammerer, F. A. Aoudia, A. Vem, N. Binder, G. Marcus, and A. Keller, "Sionna: An open-source library for next-generation physical layer research," 2022, arXiv:2203.11854. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2203.11854>
- [3] J. H. Bae, A. Abotabl, H. P. Lin, K. B. Song, J. Lee, "An Overview of channel coding for 5G NR cellular communications", *Industrial Technology Advances*, vol.8, pp. 1-14, 2019. DOI: 10.1017/ATSIP.2019.10
- [4] . Patil, M. R. Patil, S. Itraj, U. L. Bomble, "A Review on MIMO OFDM Technology Basics and More", in *Proc of Intern. Conf. on Current Trends in Comp., Electrical, Electronics and Communication*, Mysore, India, pp.119-122, 2017.
- [5] M. Đorđević, "Primena Sionna softvera za simulacije fizičkog sloja 5G/6G mreža" [Online]. Available: <https://colab.research.google.com/drive/1BwtsrLlgaGXOvcZEVu6dZGgMqgOCK7qi#scrollTo=bEfbXDy9g3Dx>
- [6] 3GPP Specification TR 38.901, Version 17.1.0 [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3173>
- [7] Y. Shi, L. Lian, Y. Shi, Z. Wang, Y. Zhou, L. Fu, "Machine Learning for Large-Scale Optimization in 6G Wireless Networks", *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, vol. 25, pp. 2088 - 2132, 2023.

Abstract: *The evolution and progress of wireless communication systems necessitate the use of simulation software capable of accurately modeling and analyzing the physical layer of 5G (Fifth Generation) networks. Advanced functionalities within the Sionna software provide a robust platform for simulating complex link dynamics and assessing system performance. This study centers on the simulation of 5G NR (New Radio) LDPC (Low-Density Parity-Check) codes alongside MIMO (Multiple Input Multiple Output) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) techniques, revealing notable enhancements in both system performance and channel efficiency. The incorporation of ML (Machine Learning) techniques plays a critical role in optimizing signal processing and decoding efficiency, particularly in the context of next-generation networks. Simulated neural demapping and neural receiver methods underscore the importance of innovative strategies to overcome challenges posed by emerging technologies, including those anticipated in 6G (Sixth Generation) networks.*

Keywords: *Sionna, 5G/6G, LDPC, MIMO, OFDM, ML*

APPLICATION OF SIONNA SOFTWARE FOR PHYSICAL LAYER SIMULATIONS OF 5G/6G NETWORKS

Nenad Jevtić, Milica Đorđević

PRINCIPIJELNO PROJEKTNO REŠENJE GSM-R SISTEMA U TUNELIMA U SKLOPU MODERNIZACIJE DEONICE BEOGRAD CENTAR – STARA PAZOVA – (NOVI SAD)

Ana Ilić, Jelena Radović, Slaven Tica
Saobraćajni institut CIP d.o.o,
ana.ilic@sicip.co.rs, jelena.radovic@sicip.co.rs, slaven.tica@sicip.co.rs

Rezime: *Magistralna pruga (Beograd Centar) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica (Kelebija) kao pruga od velikog nacionalnog i međunarodnog značaja je bila predviđena za modernizaciju. Cilj modernizacije je bio da se ona osposobi kao savremena dvokolosečna pruga za mešoviti saobraćaj i projektovanu brzinu do 200 km/h, a u skladu sa Tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI). U sklopu modernizacije pruge uveden je ETCS-L2 kao i GSM-R sistem, te su posledično istim opremljeni i tuneli na deonici Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad). U radu će biti prikazano principijelno projektno rešenje opremanja pomenutih tunela GSM-R sistemom.*

Ključne reči: *GSM-R, tunel, redundansa, 200 km/h, radio*

1. Uvod

U sklopu modernizacije magistrane pruge (Beograd) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica (Kelebija), planirano je opremanje pruge GSM-R sistemom, između ostalog, prema Uredbama Komisije (EU) o tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI). Sistem je namenjen prvenstveno za potrebe funkcionisanja ETCS-L2, za brzine vozova do 200 km/h a zatim i kao sigurna platforma za komunikaciju službenog osoblja. Na deonici Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad) nalazila su se tri jednocevna tunela, od kojih su dva zadržana, a treći je napušten i umesto njega je projektovan novi dvocevni tunel. Dužine dva postojeća tunela koja su zadržana su okvirno 0.2 km odnosno 2 km. Novoprotjektovani tunel je dužine okvirno 1 km i on je projektovan u skladu sa TSI-SRT.

U ovom radu će biti prikazano principijelno projektno rešenje opremanja tunela GSM-R sistemom kao i nekoliko fotografija izvedenog stanja. U odnosu na prikazano principijelno rešenje, svaki tunel je imao svoje pojedinosti a dodatno, moguća su odstupanja izvedenog stanja u odnosu na projektovano rešenje. Sama deonica je puštena u rad u martu 2022. godine.

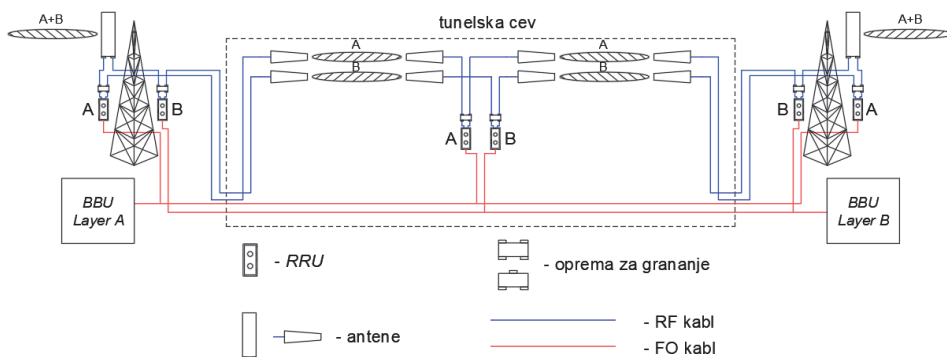
1.1. Spisak skraćenica korišćenih stranih pojmova

GSM-R – *Global System for Mobile Communications – Railway*
TSI – *Technical Specification for Interoperability*

ETCS-L2	– European Train Control System Level 2
EU	– European Union
TSI-SRT	– Safety in the Railway Tunnels TSI
BS	– Base Station
DBS	– Distributed Base Station
BBU	– BaseBand Unit
RRU	– Remote Radio Unit
EIRENE	– European Integrated Railway Enhanced Networks
EIRENE SRS	– EIRENE System Requirement Specification

2. Principijelno projektno rešenje GSM-R sistema u tunelima

Pomenuti tuneli su opremljeni GSM-R sistemom kao integralnim delom GSM-R sistema na celoj deonici, odnosno celoj pruži. U tom smislu, projektno rešenje opremanja tunela, na prvom mestu, moralo je da zadovolji osnovne zahteve koje je Infrastruktura Železnice Srbije a.d. (IŽS) kroz projektne zadatke (PZ) postavila za sistem u celini. Jedan od tih zahteva je bio da se bazne stanice (BS) duž pruge postave tako da se ostvari redundantno pokrivanje pruge. Kako bi se taj zahtev ispunio odabran je princip rasporeda baznih stanica sa stanovišta redundanse takav, da se na istoj lokaciji postave dve bazne stanice koje će deliti antenski sistem. Na ovaj način, sistem je podeljen u dva nezavisna sloja (*Layer A* i *Layer B*) tako da ispad jednog sloja, odnosno jedne bazne stanice ne utiče na drugi. Sa druge strane, izabrano je rešenje da su u redovnom režimu obe bazne stanice aktivne, te ispadom jedne, sistem nastavlja da funkcioniše, samo sa upola manje kapaciteta. Po ovom principu koji je postavljen za celu deonicu, opremljeni su i tuneli, uz naravno specifične zahteve koji se odnose na tunele. Dodatno, u toku projektovanja dvocevnog tunela, vodilo se računa da cevi budu nezavisne u tom smislu da eventualni incident ili kvar opreme u jednoj tunelskoj cevi ne prekine rad opreme u drugoj tunelskoj cevi.



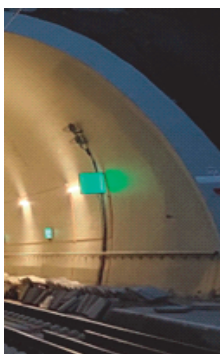
Slika 1. Blok šema pokrivanja tunela – principijelni prikaz rešenja

Za pokrivanje tunela, odnosno tunelskog kompleksa odabrano je da se koriste distribuirane bazne stanice (DBS). Za razliku od klasične bazne stanice, DBS je napravljena tako da dozvoljava da se radio jedinice bazne stanice postave na drugu lokaciju u odnosu na ostatak bazne stanice. U principu, oprema je raspoređena tako da je procesna jedinica (BBU) DBS-a jednog sloja (*Layer A*) postavljena sa jedne strane tunela

a drugog sloja (*Layer B*) sa druge strane. Radio jedinice (*RRU*) oba sloja, u paru, su postavljene tako da, sa pripadajućim antenama, pokriju tunelski kompleks. Recimo, jedno od rešenja je bilo da se postave na antenskim stubovima u blizini portala tunela i na određenom rastojanju unutar tunelske cevi, na zid tunela (slika 1).

Na ovakav način je omogućeno da tunelski kompleks kao lokacija čini jednu celinu i da se uklopi u način pokrivanja ostatka deonice. Na slici 1 je dat pojednostavljeni principijelni prikaz projektnog rešenja pokrivanja jedne cevi tunela i okoline. Rešenje svakog pojedinačnog tunela je imalo svoje pojedinosti. Na primer, izuzetak iz navedenog pravila je najkraći tunel, gde su *BBU*-ovi postavljeni sa jedne strane tunela i on ne čini samostalnu celinu već pripada jednoj od lokacija.

Za pokrivanje tunelskih cevi planirane su *yagi* antene postavljene na oko 6 m iznad trase pruge. Za pokrivanje pruge van tunelskih cevi planirane su panel antene postavljene na oko 30 m iznad trase pruge (slike 2, 3, 4).



Slika 2. Antene na ulasku u tunelsku cev

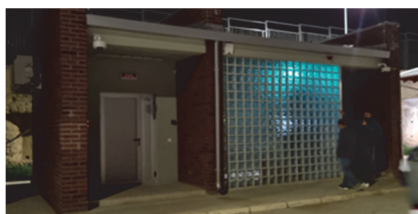


Slika 3. RRU-ovi i pripadajuće antene u tunelu



Slika 4. Antenski stub u blizini portala tunela

BBU jedinice su postavljane u zidane objekte (postojeći ili namenski pravljeni) u neposrednoj blizini tunelskih portala (slika 5).



Slika 5. Primer namenski zidanog objekta u blizini tunela

3. Proračun pokrivanja u tunelskim cevima

Da bi se obezbedilo funkcionisanje *ETCS-L2*, radio planiranjem je određen raspored baznih stanica tako da se na prvom mestu obezbedi nivo signala propisan dokumentom *EIRENE SRS 16.0.0*, odnosno za ovaj konkretan projekat: verovatnoća pokrivanja od 95% na osnovu nivoa pokrivanja od -95 dBm za *ETCS-L2*, za brzine voza do 220 km/h. Za govorni saobraćaj zahtevana je verovatnoća pokrivanja od 95% na

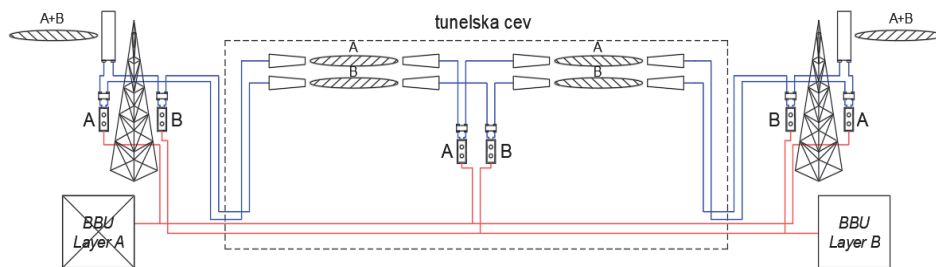
osnovu nivoa pokrivanja od -98 dBm. U pomenutom dokumentu (tačka 3.2.1 dela 3 *Network configuration, 3.2 Coverage*), nivo pokrivanja (*coverage level*) je definisan kao snaga polja na ulazu u antenu voza (na visini od 4m iznad trase pruge).

Raspored baznih stanica duž pruge (van tunelskih cevi) je određen uz pomoć alata za radio planiranje koji je koristio *Okumura – Hata* propagacioni model prilagođen za planiranje sistema koji se koristi na železnici (uzeti su u obzir propagacioni uslovi koji se mogu naći u okolini železničke pruge). Pokrivanje unutar tunela je određeno na osnovu budžeta linka, korišćenjem odgovarajuće formule koja je dobijena od renomiranog proizvođača *GSM-R* opreme. Rezultati su poslužili da bi se procenila pozicija opreme za postavljanje u tunelu a posledično i sama količina.

4. Analiza otkaza procesne jedinice *DBS*-a jednog sloja

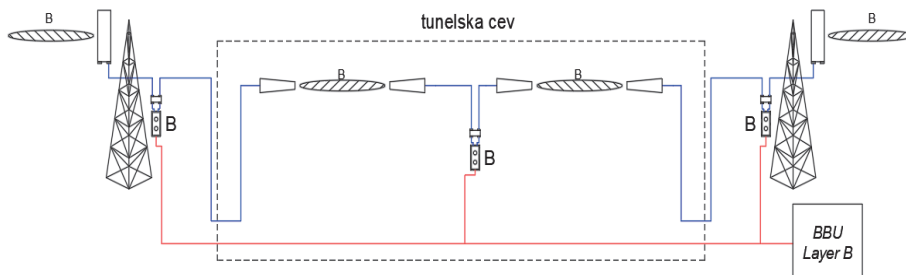
Kao što je ranije rečeno, kada je u pitanju količina i raspored opreme *GSM-R* sistema, postavljen je osnovni zahtev da se ostvari redundansa u pokrivanju cele trase pruge. Ovo se odnosi i na same tunele.

Na ovom primeru će biti prikazano šta se dešava sa sistemom u tunelu ako dodje do kvara ili prestanka napajanja *BBU* jedinice *DBS*-a sloja A (slika 6).

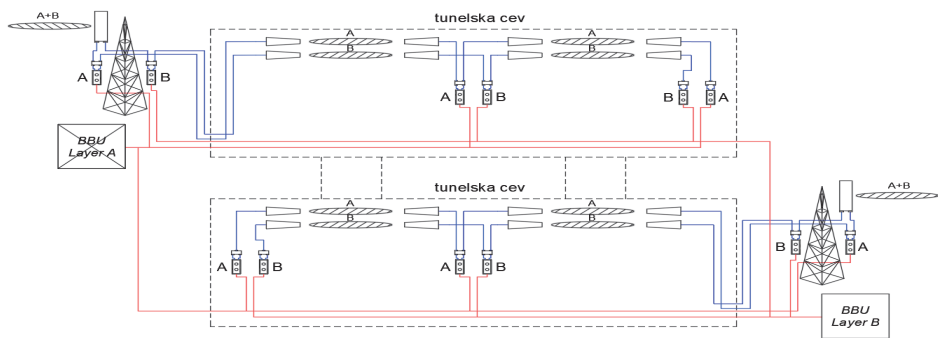


Slika 6. Primer – otkaz *BBU* jedinice jedne *DBS* – jedna cev

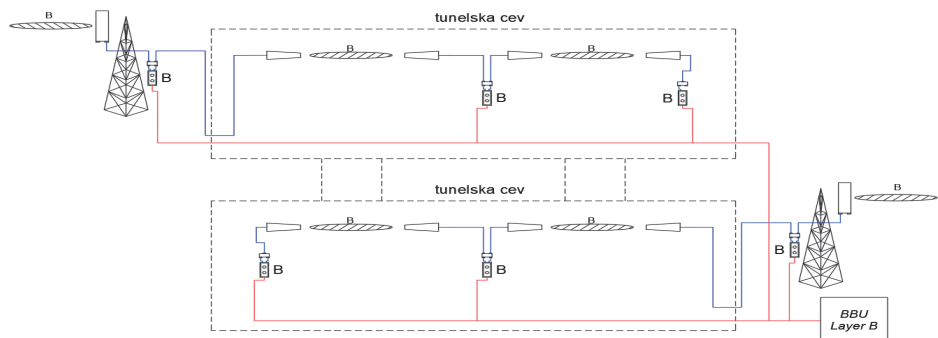
Sa slike 7 se vidi, da ukoliko dodje do prekida rada *BBU* jedinice *DBS*-a sloja A, sistem nastavlja da radi, sa upola manje kapaciteta. Na slikama 8 i 9 je dat prikaz kada je u pitanju dvocevni tunel.



Slika 7. Primer – otkaz *BBU* jedinice jedne *DBS* – jedna cev – posledica



Slika 8. Primer – otkaz BBU jedne DBS – dve cevi



Slika 9. Primer – otkaz BBU jedne DBS – dve cevi – posledica

5. Dodatni načini zaštite sistema

Kada se projektuju sistemi u tunelu, postoje i druge mere koje mogu da se preduzmu da bi se isti zaštitili što bolje. Optimalan izbor mera zavisi od dužine i izgleda tunela, zahteva spram konkretnog sistema u konkretnom tunelu i od realnih mogućnosti (na primer, mogu da postoje građevinska ograničenja ako su u pitanju postojeći tuneli i sl.).

Recimo, kablovi koji se prostiru dužinski kroz tunelske cevi (a ne moraju biti izloženi) mogu se postaviti u kanale duž trase pruge koji su požarno izdvojeni od tunelske cevi. Ukoliko je moguće, koristi se povezivanje opreme u prsten. Takođe, gde god je moguće, a ima smisla, kablovi se vode odvojenim trasama. Vodi se računa da se oprema i kablovi u tunelskim cevima postave tako da je najmanja verovatnoća da budu oštećeni ukoliko dođe do iskliznuća voza. Ukoliko je moguće, izbegava se postavljanje opreme unutar tunelskih cevi i sl.

Pored cilja da se postigne zahtevani nivo signala, u određenim slučajevima može da se omogući preklapanje radio pokrivanja susednih lokacija (antene ili antene i pripadajuće udaljene radio jedinice) u tunelskoj cevi. Ovo se radi sa ciljem da ukoliko neki incident u tunelskoj cevi (na primer iskliznuće voza, požar) ošteti jednu lokaciju ili kablove u nekom delu, ili ako dođe do kvara ili nestanka napajanja, sistem ima šanse da nastavi da radi, Ovo za posledicu ima to što se koristi veća količina opreme (gušći raspored).

Ovo je samo nekoliko primera, kao što je rečeno ranije, optimalno rešenje zavisi od zahteva spram konkretnog slučaja, zahteva i realnih mogućnosti.

6. Zaključak

Celokupan projekat modernizacije pruge je bio izuzetno kompleksan i zahtevan kako sa stanovišta projektovanja tako i sa stanovišta izvođenja radova. Uprkos svim izazovima koji su uspešno savladani (u čemu je Saobraćajni insituit CIP dao veliki doprinos) deonica Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad) je pušena u rad u martu 2022. godine. Dobile su relevantne saglasnosti u skladu sa zakonskom regulativom RS. Takođe, dobijene su i zahtevane saglasnosti inostranih učesnika u poslu.

Kompanija Rikardo iz Holandije je bila angažovana kao NoBo na ovom projektu. SI CIP je takođe učestvovao u procesu sertifikacije u delu koji se odnosio na projektovanje. Proces sertifikacije strukturnih podsistema je završen i dobijeni su sertifikati o ispunjavanju zahteva iz TSI.

Rad na ovom projektu je pokazao da optimalno rešenje sistema, pa i sistema u tunelima, u velikoj meri zavisi od zahteva koje postavlja saobraćajna tehnologija. Dodatno, rešenje sistema u tunelima, zavisi od generalnog koncepta bezbednosti tunela kao celine. Ovo važi kako sa stanovišta incidenata koji potiču od železničkog saobraćaja kao tehnološkog procesa tako i sa stanovišta zaštite od požara tunela.

Literatura

- [1] A. Ilić, Projekat za izvođenje, Modernizacija pruge Beograd – Subotica – državna granica (Kelebija), deonica pruge Beograd – Stara Pazova, 5/3.16.1-4 Opremanje pruge radio sistemima, Saobraćajni Institut CIP, 2019.
- [2] A. Ilić, Projekat za izvođenje, Rekonstrukcija i izgradnja dvokolosečne pruge (Beograd) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica; faza: Elektrotehnička infrastruktura za brzine saobraćaja vozova do 200 km/h, deonica Stara Pazova – Novi Sad, 5/3.4.1-4 Radio sistemi, Saobraćajni Institut CIP, 2021.

Abstract: *The main railway line (Belgrade Center) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – state border (Kelebia) as a line of great national and international importance was scheduled for modernization. The goal of the modernization was to make it a modern two-track railway for mixed traffic and a design speed of up to 200 km/h, in accordance with the Technical Specifications for Interoperability (TSI). As part of the modernization, ETCS-L2 and GSM-R were introduced on the line and consequently, the tunnels on the section Belgrade Center – Stara Pazova – (Novi Sad) were also equipped. The paper will present a principled design solution for GSM-R system in the aftermentioned tunnels.*

Keywords: *GSM-R, tunnel, redundance, 200 km/h, radio*

PRINCIPLED DESIGN SOLUTION OF GSM-R SYSTEM IN TUNNELS AS PART OF THE MODERNIZATION OF THE SECTION BELGRADE CENTER - STARA PAZOVA - (NOVI SAD)

Ana Ilić, Jelena Radović, Slaven Tica

ИНТЕЛИГЕНТНИ ТРАНСПОРТНИ СИСТЕМИ У ФУНКЦИЈИ БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА АУТОПУТЕВИМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Емир Смаиловић, Далибор Пешић, Борис Антић, Крсто Липовац

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,
e.smailovic@sf.bg.ac.rs, d.pesic@sf.bg.ac.rs, b.antic@sf.bg.ac.rs, k.lipovac@sf.bg.ac.rs

Резиме: *Управљање безбедношћу саобраћаја на аутопутевима намеће потребу коришћења нових, ефикасних и одрживих начина управљања саобраћајем. Интелигентни транспортни системи (ИТС) у безбедности саобраћаја представљају систем мера и технологија који обједињује информатичку и телекомуникациону технологију са циљем правовременог препознавања опасности и предузимања одговарајућих мера како би се смањиле последице могућих инцидента. ИТС системи у безбедности саобраћаја, поред спречавања настанка саобраћајних незгода и мера за смањење њихових последица, користе се и за препознавање потенцијалних опасности, што представља значајан искорак у управљању безбедношћу саобраћаја. Правовремене и квалитетне информације прослеђене учесницима саобраћаја, управљачу пута и осталим институцијама значајно утичу на превентивно деловање, у циљу смањења ризика настанка саобраћајних незгода, краћег времена путовања, већег нивоа услуге на путевима и др. У складу са савременим захтевима безбедности саобраћаја у тунелима на аутопутевима у Републици Србији примењени су бројни системи ИТС-а, као што су: контролни центри за праћење саобраћаја, системи за аутоматску детекцију инцидента, адаптивно осветљење, системи за хитно реаговање, аутоматизоване станице за случај опасности, различити телекомуникациони системи и др. У овом раду извршен је преглед система ИТС-а који се користе на аутопутевима у Републици Србији, са посебним освртом на значај тих система за безбедно одвијање саобраћаја на аутопутевима.*

Кључне речи: *безбедност саобраћаја, ИТС, аутопутеви, тунели, управљање саобраћајем, Република Србија*

1. Увод

Путеви се најчешће класификују према функцији, од локалних саобраћајница, до кључних државних путева – аутопутева. Када се посматрају сви путеви заједно, на путевима нижег реда догађа се мањи број незгода, што

представља тзв. мањи колективни ризик. Ако се посматра релативни ризик према броју возила, на путевима нижег реда већи је тзв. индивидуални ризик. Међутим, без обзира на ризик настанка незгоде, путеви највишег реда представљају кључни део мреже путева на којима се реализује највећи транспортни рад, због чега ова категорија путева има највећи економски значај.

Друштвени и економски развој доводе до континуираног повећања обима саобраћаја, што условљава потребу константног развоја ефективнијих модела управљања саобраћајем. Ограничени финансијски ресурси и повећање дужине мреже аутопутева захтева од управљача унапређене системе управљања, који се спроводе на различите начине. У Републици Србији се тренутно дешава период убрзаног развоја мреже путева највишег реда, због чега се намеће потреба ефикасног и одрживог развоја модела управљања безбедношћу саобраћаја. Примена интелигентних транспортних система (ИТС) представља оптимално решење и значајан искорак у систему управљања безбедношћу саобраћаја. Интелигентни транспортни систем представља систем мера и технологија примењених у транспорту који обједињује информатичку и телекомуникациону технологију са циљем повећања нивоа безбедности саобраћаја, ефективнијег функционисања саобраћаја са мање застоја и нижим нивоом загађења животне средине.

Bunch et al. (2011) наводе да интелигентни транспортни систем обезбеђује доказан скуп стратегија за унапређење безбедности саобраћаја, побољшању мобилност и одрживу заштиту животне средине интегришући комуникацију и информације добијене из софтверских алата у систем управљања свих видова саобраћаја.

Искуства управљања саобраћајем показују да је примена интелигентних транспортних система посебно значајна на посебним деловима путне мреже, као што су тунели, посебни објекти (надвожњаци, мостови), укрштања, рампе и одморишта.

У овом раду систематизовани су интелигентни транспортни системи који се користе на државним путевима IA реда у Републици Србији у зонама тунелских објеката. Представници Саобраћајног факултета су током 2022. и 2023. године спровели провере безбедности саобраћаја у тунелским објектима на аутопутевима у Републици Србији, током чега су прикупљени подаци о уређајима и опреми инсталираним у зонама тунелских објеката на путевима: А1, А2 и А3.

Тунели спадају у једне од најкомплекснијих делова путне мреже, због своје специфичне конструкције и сложености одвијања саобраћаја у таквим објектима. Из тих разлога, за тунеле као специфичне путне објекте, постављају се знатно већи захтеви по питању безбедности саобраћаја које је потребно испунити. Управљачи безбедношћу саобраћаја теже да тунел омогући непромењено, безбедно кретање возила од улаза до излаза, али уз појачано ограничење слободе бочног померања. Провера безбедности саобраћаја представља доказан алат којим се могу сагледати недостаци, односно уочити потенцијални утицајни фактори на безбедност саобраћаја. Овај алат се најчешће користи за унапређење безбедности пута, са циљем идентификације евентуалних недостатака и оних елемената пута који би могли повећати ризик настанка или ризик увећавања последица саобраћајне незгоде. Досадашња искуства у проверама безбедности саобраћаја указују да је однос користи и трошкова за постојеће путеве 2:1 до 84:1 (Elazar et al, 2018), а само

један „сачувани“ живот остварује корист која премашује укупне трошкове провера безбедности саобраћаја.

Тунели, као подземни објекти, захтевају посебну опрему за безбедно вођење саобраћаја, па провере безбедности саобраћаја, поред уобичајених фаза и корака, морају додатно узети у обзир и ове специфичне елементе. Из тих разлога, и методологија израде провере безбедности саобраћаја је различита у односу на отворене деонице. Наиме, услед просторних ограничења, опасност и теже последице у тунелима не настају само због настанка саобраћајних незгода, већ и због бројних других ванредних догађаја. На пример, заустављено возило у тунелу, без промене режима одвијања саобраћаја у тунелу, може узроковати теже последице, док на путевима ван насеља, заустављено возило не представља посебан проблем безбедности саобраћаја. Настанак пожара на путу ван насеља неће изазвати озбиљније последице на безбедност саобраћаја, али у тунелу може довести до изузетно озбиљних последица услед развијања високих температура и појаве отровних гасова.

Постизање високог нивоа безбедности саобраћаја у тунелу није једноставно, а велики број фактора доприноси да сваки тунел има своје специфичности (Смаиловић и др., 2021). Позиција, дужина, оријентација, профил и сл. су неки од елемената који битно утичу на безбедно одвијање саобраћаја. Пројектни елементи тунела, као што су дужина прегледности и попречни профил, не могу се битно мењати, и због тога је потребно да се интелигентним системима обезбеди посебан ниво управљања саобраћајем, који се заснива на континуираном надзору одвијања саобраћаја.

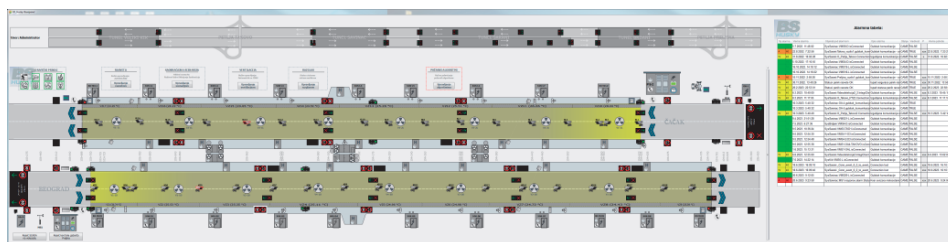
Примена додатних процедура и активности, у односу на остале делове ванградске путне мреже представља почетну идеју обезбеђивања услова за безбедно одвијање саобраћаја. Последњих година у Републици Србији постоји тренд изградње нових тунелских објеката, већих дужина, комплексних садржаја и сл., због чега управљање безбедношћу саобраћаја постаје све већи изазов.

2. Саобраћајна сигнализација и ИТС у тунелима на аутопутевима

Задатак саобраћајне сигнализације је да води учеснике у саобраћају, да их упозорава на сталну или привремену опасност, да најављује ограничења, забране и обавезе у саобраћају, да даје потребна и корисна обавештења, да обезбеђује друге услове за безбедан, удобан и неометан саобраћај. У те сврхе користе се различити ИТС системи. У зонама тунелских објеката на аутопутевима у Републици Србији користе се следећа саобраћајна сигнализација са елементима интелигентних транспортних система:

- портални саобраћајни знакови,
- прилазни знакови са изменљивим садржајем (ЛЕД знакови),
- маркери ЛЕД технологије за обележавања саобраћајних трака/ивица коловоза,
- знакови за контролу саобраћајне траке,
- тунелски саобраћајни знакови са изменљивим садржајем,
- троделне лантерне (семафори),
- аутоматске рампе,
- сигнализациони елементи за ванредне случајеве.

Посебан део ИТС којима се управља у зонама тунелских објеката на аутопуту јесу тунелски оперативни центри, односно централни систем за надзор и управљање. Тунелски оперативни центри (ТОЦ-еви) служе за надзор и управљање тунелима, и омогућавају надзор и управљање са хијерархијски вишег нивоа. ТОЦ-еви су опремљени свим потребним телекомуникационим и логичко управљачким уређајима за локално управљање припадајућим тунелима и са могућношћу прослеђивања сигнала на виши хијерархијски ниво – Централни Систем за Надзор и Управљање (ЦСНУ). У смислу аутономије рада и предвиђања сценарија ситуација, вид функционисања у сигурном режиму, преко управљачких јединица врши управљање системима и инсталацијама тунела уколико се за то укаже потреба односно ако се неки од предефинисаних сценарија рада тунела не реализује како је предвиђено или ако оператер процени да је актуелни предефинисани сценарио неодговарајући за конкретну ситуацију.



Слика 1. Графички интерфејс централног система за надзор и управљање тунела

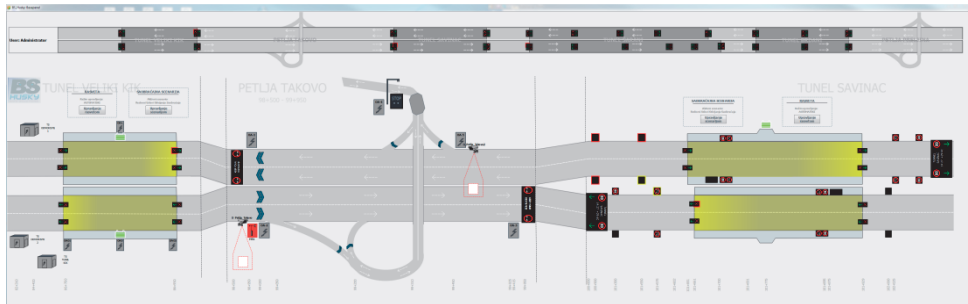
У циљу интеграције свих тунелских система обједињеног функционисања, врши се повезивање на Тунелски оперативни центар сваког од тунела, инсталирају се централни контролери који интегришу сигнале свих тунелских система на једном месту те омогућавају њихову међусобну интеракцију (ЦСНУ). Инсталирани контролери морају имати исправе о усаглашености у односу на респектабилне стандарде, и морају имати захтеване сертификате по питању функционалне сигурности и поузданости у раду.

Управљање тунелима путем ЦСНУ представља избор оптималног плана реаговања на основу прикупљених параметара од интереса. У циљу брже обраде података и доношења одлуке управљачки систем треба да буде аутоматизован. На овај начин, сви системи инсталирани на тунелима су повезани преко ЦСНУ и чине интегрисане системе у оквиру ТОЦ-ева, и то:

- систем дојаве провале и контроле приступа;
- систем СОС телефона и интерфона;
- систем дојаве пожара;
- систем контроле квалитета ваздуха и вентилације;
- систем вентилације (одимљавање) тунела;
- систем детекције саобраћаја;
- систем видео надзора са интелигентном видео анализом;
- систем за прикупљање метеоролошких података;
- систем саобраћајне сигнализације;
- систем озвучења;
- систем радио веза;

- систем осветљења;
- систем одвода запаљивих и опасних материја;
- погонске станице;
- дизел електрични агрегати;
- УПС - уређаји непрекидног напајања;
- разводни ормани електроенергетског напајања.

Сви наведени системи се интегришу у ЦСНУ и у зависности од типа инцидента укључују у план реаговања. ЦСНУ је тако осмишљен да врши стални сервисни надзор и управљање мерним, извршним и управљачким елементима свих тунелских система.



Слика 2. Графички интерфејс централног система за надзор и управљање тунела

ЦСНУ поседује графички кориснички интерфејс има за циљ обавештавање дежурног оператора, различитим приступима, и то:

- презентовање свих прикупљених података са мерних система и система за детекцију инцидента,
- презентовање статуса имплементираних система,
- приказ аларма (инцидента),
- покретање предефинисаних саобраћајних сценарија (планова реаговања),
- експортовање прикупљених података у стандардним форматима (.pdf, .xls) и предефинисаној форми за потребе даље обраде и анализе.

Оператер има могућност дефинисања посебног плана реаговања за део пута, користећи графички кориснички интерфејс, као и могућност да на сигуран начин преузме, промени и активира план реаговања у свакој ситуацији.

Аутоматски радни мод подразумева да систем централног управљања без давања команди од стране оператора извршава управљачке алгоритме. У том случају, контролно оперативни центар не управља тунелским системима, али оставља могућност праћења рада ЦСНУ и спровођење предефинисаних планова реаговања. Аутоматски радни мод се може извршавати и на локалном нивоу (локални контролер) само у случају када дође до прекида у комуникацији са централним контролером и ЦСНУ. Покретање аутоматског радног мода треба да буде омогућено једноставном командом на корисничком интерфејсу.

Полаутоматски радни мод подразумева да поједине одлуке у спровођењу предефинисаних планова реаговања доноси оператер. Овај радни мод се предвиђа,

пре свега да би се смањио утицај „лажних узбуна“. Врши се пројектовање система у зависном радном моду тако да ЦСНУ прикупља и обрађује податке са уграђених система на основу којих у случају достизања утврђених граничних вредности даје аларм кориснику у контролно оперативном центру са предлогом плана реаговања.

Сваки од тунелских система треба да има могућност аутономног радног мода. У аутономном радном моду тунелски систем, било ког тунела, ради без комуникације са Тунелским оперативним центром. Аутономни радни мод подразумева рад у случају нормалног одвијања саобраћаја, у случају инцидента, као и у случају одржавања.

Сваки од подсистема ИТС-а мора одговорити на захтев управљања са више различитих нивоа. У складу са тим, постоји више нивоа управљања:

- Ниво 1 подразумева имплементацију контролера на објекту (тунелу, мосту) или саобраћајној петљи, преко кога би се повезали уређаји за прикупљање података или извршни елементи. Контролер на овом нивоу би у нормалним условима размењивао податке са контролером из вишег нивоа, пратио и извршавао команде са вишег нивоа. У случају прекида комуникације са контролером из вишег нивоа, радио би у аутономном моду, односно пратио би параметре уређаја који врше мерења и покретао би предефинисане режиме који би били одобрени на овом нивоу.

- Ниво 2 подразумева централни надзор и управљање интегрисаним системима из локалних управљачких станица или регионалног центра преко централног контролера и графичког корисничког интерфејса (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*). Други управљачки ниво треба да омогући полуаутоматски и ручни радни мод у случају када је посада присутна на објекту.

- Ниво 3 подразумева највиши ниво управљања на нивоу републичког центра на коме би се интегрисали сви модули за управљање и преко којих би се вршио централни надзор саобраћајем на државним путевима IA реда.

3. Додатни ИТС уређаји и опрема у тунелима на аутопутевима

3.1. Кабловска инсталација и оптика

За потребе полагања кабловских веза у тунелима изводи се кабловска канализација, унутар које су смештене електроенергетске и телекомуникационе инсталације. У тунелским цевима са обе стране испод пешачких стаза изводе се кабловски канали. Комуникациона мрежа се састоји од две паралелне мрежне инфраструктуре, које формирају мрежни елементи (Ethernet switch-еви), распоређени у топологију прстена, а сама комуникација између свих елемената је базирана на TCP/IP преносу.

Прва мрежа интегрише све системе који омогућавају аутономни радни мод тунела („Управљање“). Друга мрежа интегрише само систем видео надзора („Видео надзор“). Видео саобраћај заузима знатно више ресурса (пропусног опсега) у поређењу са другим телекомуникационим сервисима те се због тога одваја у посебну мрежу, како видео сервис не би загушили остале, виталније системе битне за аутономни радни мод тунела.

3.6. Систем видео надзора

Дигитални систем видео надзора служи за аквизицију, пренос, обраду, архивирање и приказ слике са локација које су визуелно недоступне. Улога овог система је праћење редовне саобраћајне ситуације у тунелу и непосредно испред тунела, приступ СОС нишама, ситуације испред тунела у широј зони, визуализација локације под алармом, рано откривање пожара или ситуације која може изазвати пожар, надгледање врата евакуационих пролаза, надгледање самих евакуационих пролаза, праћење евакуације у мери колико је то могуће, коришћење снимљеног видео-материјала за реконструкцију догађаја.



Слика 3. Систем видео надзора тунелских објеката

Систем за аутоматску детекцију инцидената представља аутоматско откривање инцидентних ситуација и брзу дојаву информације о насталим инцидентним ситуацијама оператеру с циљем да се омогући брзо и адекватно реаговање. Видео надзор у објекту погонске станице, такође је повезан на мрежу видео надзора, чиме је омогућено управљање из тунелског оперативног центра. Ethernet switch-еви видео мреже у тунелу су смештени у орманима аутоматике у СОС нишама.

Висок ниво ефикасности управљања у тунелима се обезбеђује инсталирањем три врсте IP камера у боји, и то:

- PTZ (Pan Tilt Zoom) камере за надзор улаза у тунел,
- фиксне камере за надзор објеката испред тунела,
- фиксне камере за аутоматску детекцију инцидената.

IP камере директно генеришу дигитални облик видео сигнала који се преко активне оптике и оптичке комуникационе мреже (TCP/IP протоколом) прослеђују до видео-сервера који представља интегрални део ЦСНУ. На видео серверу је инсталиран софтвер за надзор и управљање камерама, заједно са апликацијом за архивирање. У складу са законским одредбама, видео материјал се архивира 30 дана. Видео систем је интегрисан у оквиру SCADA радне станице. У случају инцидента слика се шаље до апликације на SCADA радној станици, а слика инцидентног догађаја се приказује кориснику у листи аларма, заједно са предложеним алгоритмима за управљање извршним системима. Инциденти које систем може детектовати и дојавити су:

- детекција дима у тунелу (кроз анализу карактеристика промене слике и осветљаја пиксела),
- заустављено возило,
- прениске брзине кретања возила (колоне),
- детекција пешака,
- детекција испалог терета (објеката на коловозу),
- возило које се креће у супротном смеру,
- отворена врата (у тунелским нишама).



Слика 4. Ормани аутоматике у СОС нишама

4. Закључна разматрања

У овом раду је извршен преглед и анализа функционисања елемената ИТС који се користе на државним путевима у Републици Србији, у зони тунелских објеката. Спроведена анализа је показала неопходност ефикасног умрежавања различитих система и интегрисање у централни систем за надзор и управљање тунелским објектима. Коришћење знања из различитих научних области, као и интегрисано деловање је неопходно да би се управљало комплексним системом, као што су централни системи за надзор и управљање тунелима.

Тунели представљају локације повећане опасности, због чега су потребне посебне активности, како би се безбедно управљало широм зоном око таквог објекта. С обзиром на све већи број тунела на државним путевима првог реда у Републици Србији, потреба за знањем из различитих области телекомуникација и друмског саобраћаја су све израженија. Бројни су и прописи који уређују услове за безбедно одвијање саобраћаја у зонама тунелских објеката. Из тог разлога, потребно је на стручним скуповима разменити дилеме и представити начине функционисања специфичних подсистема, као што су то тунелски објекти на аутопутевима. У овом раду су приказани основни системи ИТС-а у тунелским објектима. С обзиром да се захтеви константно увећавају, повећава се и број система уз помоћ којих се врши надзор и управљање безбедношћу саобраћаја у зонама тунелских објеката.

Литература

- [1] Bunch, J.; Burnier, C.; Greer, E.; Hatcher, G.; Jacobi, A.; Kabir, F.; Lowrance, C.; Mercer, M.; Wochinger, K. 2011. Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, Deployment, and Lessons Learned Desk Reference: 2011 Update, U.S. Department of Transportation, (on-line) available at: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38483> (25.09.2024.).
- [2] Смаиловић, Е., Пешић, Д., Антић, Б., Липовац, К. (2021) Провера безбедности саобраћаја на путевима са посебним освртом на тунеле. XVI Међународна конференција – Безбедност саобраћаја у локалној заједници, ISBN 978-86.
- [3] Elazar, N., Toole, T., Bogumil, K. (2018), Asset Management Strategy for Road-related Assets (Safety Infrastructure), Technical Report AP-T309-18, Austroads Ltd., Sydney NSW 2000 Australia, ISBN 978-1-925451-18-4.
- [4] Методологија за спровођење провере безбедности саобраћаја у тунелима. Јавно предузеће Путеви Србије, 2022. година.
- [5] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Сопот на државном путу IA реда број A4. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [6] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Сарлах на државном путу IA реда број A4. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [7] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Брђани на државном путу IA реда број A2. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.
- [8] Провера безбедности саобраћаја у утицајној зони тунела Манајле на државном путу IA реда број A1. Јавно предузеће Путеви Србије, 2023. година.

Abstract: *Traffic safety management on freeways imposes the need to use new, efficient and sustainable method of traffic management. Intelligent transport systems (ITS) in traffic safety represent a system of measures and technologies that unite information and telecommunication technology with the aim of timely recognition of dangers and taking appropriate measures to reduce the consequences of possible incidents. ITS systems in traffic safety, in addition to preventing the occurrence of traffic accidents and measures to reduce their consequences, are also used to recognize potential dangers, which represents a significant step forward in traffic safety management. Timely and quality information forwarded to road users, road managers and other institutions has a significant impact on preventive action, with the aim of reducing the risk of traffic accidents, shorter travel time, higher level of service on the roads, etc. In accordance with modern traffic safety requirements, numerous ITS systems have been implemented in tunnels on freeways in the Republic of Serbia, such as: traffic monitoring control centres, automatic system for detection incident, adaptive lighting, emergency response systems, automated emergency stations, different telecommunication systems, etc. In this paper, an overview of ITS systems used on freeways in the Republic of Serbia was performed, focusing on the importance of those systems for traffic safety on freeways.*

Keywords: *traffic safety, ITS, freeways, tunnel, traffic management, Republic of Serbia.*

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN THE FUNCTION OF TRAFFIC SAFETY ON FREEWAYS IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Emir Smailović, Dalibor Pešić, Boris Antić, Krsto Lipovac

ITS I NJIHOVA INTEGRACIJA U SLUŽBI BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA PUTEVIMA: IZAZOVI PRI PROJEKTOVANJU I INTEGRACIJI

Rade Sekulić, Miroslav Gordanić, Dejan Kukulj, Milan Grujović
KBV Datacom d.o.o,
rade.sekulic@kbv.rs, miroslav.gordanic@kbv.rs,
dejan.kukulj@kbv.rs, milan.grujovic@kbv.rs

Rezime: *Inteligentni transportni sistemi (ITS) značajno unapređuju bezbednost saobraćaja na putevima, time što omogućuju praćenje i upravljanje saobraćajem putem prikupljanja i analize podataka u realnom vremenu. ITS sistemi koriste različite tehnologije, kao što su brojači saobraćaja, AID kamere, VMS znaci, meteorološke stanice, sistem V2X, čime omogućavaju pravovremene intervencije i smanjenje rizika od nezgoda. Integracija ovih sistema zahteva detaljnu analizu i planiranje, posebno na projektima poput Moravskog koridora, koji je prvi "digitalni" autoput u Srbiji. Svi navedeni sistemi su povezani optičkom mrežom prstenaste strukture, koja obezbeđuje visok nivo pouzdanosti i sigurnosti. Upravljanje ITS sistemima odvija se kroz više nivoa – lokalni, regionalni i nacionalni – čime se postiže efikasna reakcija u slučaju incidenta ili prekida komunikacije.*

Ključne reči: *ITS integracija, bezbednost saobraćaja, upravljanje saobraćajem, AID kamere, V2X.*

1. Uvod

Inteligentni transportni sistemi (ITS) su od ključnog značaja za unapređenje bezbednosti saobraćaja kroz integraciju tehnologije koja omogućava praćenje, upravljanje i optimizaciju saobraćajne mreže. ITS omogućava prikupljanje podataka u realnom vremenu iz vozila, saobraćajne infrastrukture i senzora u okruženju, čime se obezbeđuje proaktivno upravljanje saobraćajem i brzo reagovanje na incidente. Ovakav pristup zasnovan na podacima pomaže u smanjenju rizika od nezgoda rešavanjem problema kao što su gužve, upravljanje brzinom i vidljivosti u nepovoljnim vremenskim uslovima.

ITS sistemi podrazumevaju upotrebu opreme, kao što su semafori, znaci sa promenljivim sadržajem (VMS), brojači saobraćaja, kamere za detekciju incidenata i napredni sistemi za upozorenje, koji pružaju dragocene informacije i vozačima i operaterima. Ovi sistemi mogu upozoravati vozače na opasnosti, podržavati bezbednu vožnju i pomoći u kontroli toka saobraćaja, što sveukupno smanjuje broj nezgoda i

vreme reakcije hitnih službi. Pored toga, ITS igra ključnu ulogu u podršci strategijama bezbednosti saobraćaja na putevima kroz analizu podataka i prediktivno modelovanje, što je od suštinskog značaja za identifikaciju visokorizičnih područja i razvoj ciljanih mera bezbednosti saobraćaja.

Prema izveštaju Svetske banke [1] procenjeno je da u svetu svake godine 1,25 miliona ljudi izgubi život u saobraćaju, a 20 do 50 miliona ljudi pretrpi teške telesne povrede. Pored ličnog gubitka, ovo ima i velike ekonomske posledice. Procena je da ovi troškovi iznose od 1-3% bruto domaćeg proizvoda, a u zemljama u razvoju je ovaj procenat značajno veći. Bezbedna sredina ne podrazumeva samo da putevi budu građevinski dobro projektovani sa osnovnim saobraćajnim elementima, kao što su bezbedna trajektorija, dovoljan broj saobraćajnih traka, zaštitne ograde i adekvatna saobraćajna oprema, već oni takođe uključuju primenu inteligentnih saobraćajnih sistema koji prikupljaju podatke i aktivno utiču na saobraćaj kako bi se bezbednost saobraćaja podigla na viši nivo.

U radu se daje prvo pregled uobičajeno projektovanih ITS podsistema u tunelima kao posebnim funkcionalnim celinama i ITS podsistema na otvorenim deonicama autoputeva. Zatim se daje kratak opis operativnih planova, kao dokumenta koji definiše operativne scenarije i kojim se praktično reguliše rad ITS-a. Nakon toga se daje konkretan primer projektovanja ITS-a na otvorenoj deonici Moravskog koridora sa detaljima, opisani su svi izazovi koji su se javili pri projektovanju i integraciji predloženih sistema, a na kraju rada su dati zaključci i buduće smernice.

2. ITS sistemi u tunelima i na otvorenim deonicama autoputa

Pri projektovanju ITS sistema postoje izvesne razlike u pristupu kod tunelskih deonica u odnosu na otvorene deonice autoputa. Tuneli su, s obzirom na specifičnost odvijanja saobraćaja, opremljeni sa sistemima i instalacijama koje su neophodne za visok nivo bezbednosti. Najveći broj predviđenih sistema i instalacija se tretiraju kao sistemi čija se funkcionalnost mora obezbediti, kako u normalnim okolnostima, tako i u svim vanrednim situacijama od kojih je pojava požara najvažnija.

U tunelima se projektuju sledeći ITS sistemi:

- Sistem SOS telefona i interfona,
- Sistem brojača saobraćaja,
- Sistem javnog razglasa,
- Digitalni video sistem sa AID (Automatic Incident Detection) funkcionalnošću,
- Sistem detekcije provale i kontrole pristupa,
- Sistem za prikupljanje meteoroloških podataka,
- Sistem kontrole kvaliteta vazduha i ventilacije,
- Sistem znakova sa promenljivim sadržajem (VMS),
- Mreža elektronskih komunikacija sa računarskom mrežom i telefonskim sistemom,
- Tunelski radio sistem.

Na otvorenim deonicama autoputa projektuju se sledeći ITS sistemi:

- Digitalni video sistem sa AID funkcionalnošću,
- Sistem brojača saobraćaja,

- Sistem detekcije provale i kontrole pristupa na ormanima na trasi i trafostanicama,
- Sistem za prikupljanje meteoroloških podataka,
- Mreža elektronskih komunikacija,
- Sistem za nadzor prekida na transportnoj telekomunikacionoj mreži,
- V2X sistem.

Koncept postavke ITS elemenata se razlikuje u tunelu i na otvorenoj deonici. U tunelima je oprema znatno gušće postavljena i upravljanje se vrši iz tunelskog operativnog centra (TOC), tako da je tunel sam za sebe funkcionalna celina, dok se oprema na otvorenoj deonici postavlja na većoj međusobnoj udaljenosti, a upravljanje se vrši preko lokalnih kontrolera koji kontrolišu grupe elemenata i centralno preko glavnog centra za nadzor.

3. Operativni planovi na otvorenim deonicama

Operativni planovi u saobraćaju predstavljaju strateški dokument ili skup procedura koji definišu korake potrebne za efikasno upravljanje, organizaciju i kontrolu saobraćaja, kako bi se obezbedila bezbednost, efikasnost i održivost saobraćajnog sistema. Ovi planovi predstavljaju dokument kojim se jasno definišu procedure i preduslovi za pokretanje nekog od predefinisanih scenarija za upravljanje saobraćajem. Ovo upravljanje se ostvaruje zadavanjem komandi putem SCADA-e kojima se vrše izmene na promenljivoj saobraćajnoj signalizaciji (VMS u daljem tekstu). Scenarija za upravljanje saobraćajem su podeljena u tri grupe: redovan režim rada, incidentni režim rada i režim redovnog održavanja.

4. ITS sistemi na otvorenoj deonici: Primer Moravskog koridora

Pri projektovanju ITS sistema vrlo je važno razmotriti sve moguće probleme pri integraciji pomenutih podsistema. U daljem opisu se daje konkretan primer, a to je autoput Moravski koridor koji je predstavljen kao prvi „digitalni“ autoput u R. Srbiji i koji je projektovan tako da se na njemu integrišu svi pomenuti podsistemi. Osnove za projektovanje su bili projektni zadatak investitora, Koncept razvoja inteligentnih transportnih sistema na mreži državnih puteva Republike Srbije [2], Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji [3], kao i sva relevantna zakonska regulativa, propisi i domaći i međunarodni standardi.

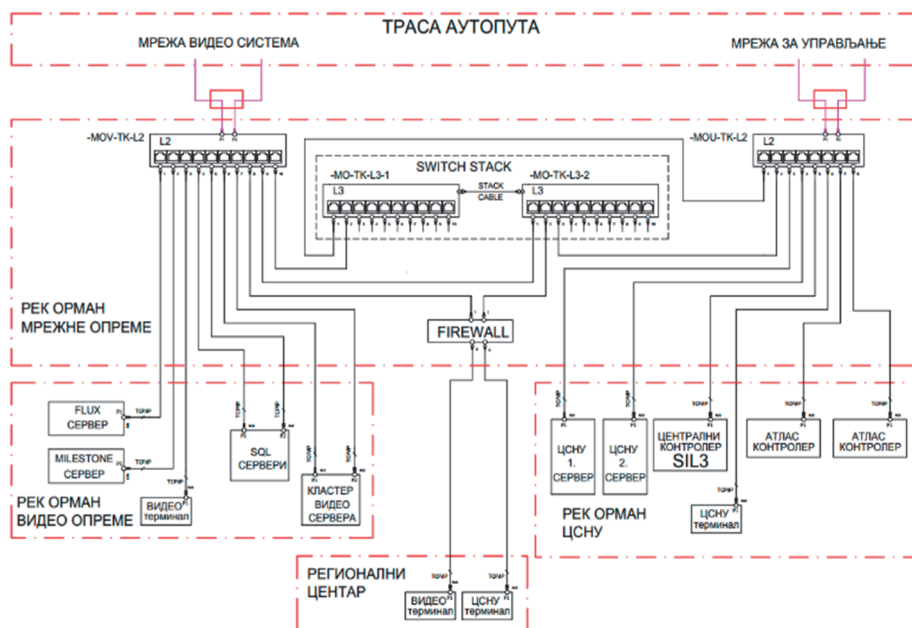
Okosnicu mreže čini telekomunikacioni optički kabl kapaciteta 144 optičkih vlakana. Glavno telekomunikaciono čvorište je objekat kontejnerskog tipa postavljen na petlji Čičevac. Pri projektovanju se ovde pojavilo i pitanje kako konfigurisati mrežu tako da se u budućem periodu čvorište može izmestiti sa ove privremene lokacije na neku buduću stalnu lokaciju. Ovo je rešeno adekvatnim planiranjem kapaciteta u glavnom optičkom kablju.

Od telekomunikacionog čvorišta do razvodnih ormana automatike/ormana telekomunikacija (mesta lokalnih koncentracija) na otvorenoj deonici, postavljen je navedeni optički kabl kapaciteta 144 optičkih vlakana 9/125 μ m. Na mestima razvodnih ormana automatike planirana je izrada nastavka i izrada privoda optičkim kablom kapaciteta 48 optičkih vlakana.

Komunikaciona mreža u fizičkom smislu je planirana u vidu optičkog prstena na nivou vlakana. Na deonicama autoputa uspostavljena su dva prstena mreže upravljanja, dva prstena video mreže i dva prstena za V2X. Tako je povećana raspoloživost mreže u slučaju nestanka napajanja ormana automatike ili otkaza aktivne telekomunikacione opreme u mreži.

Komunikaciona mreža se u topološkom smislu sastoji od tri mreže: mreže koja je namenjena za rad video nadzora, mreže koja integriše sisteme upravljanja i mreže za V2X tehnologiju. Na lokalnim mestima koncentracije planiran je jedan ethernet switch uređaj industrijskog tipa za upravljanje, a na mestima gde postoji i video nadzor planiran je još jedan ethernet switch, uređaj industrijskog tipa za mrežu video nadzora. Na mestima na trasi sa V2X opremom planiran je namenski switch za V2X tehnologiju. Komunikacija svih elemenata je bazirana na TCP/IP prenosu. Projektom je planiran propusni opseg od 1Gb/s. Fizičkim razdvajanjem mreža za upravljanje i video nadzora rasterećuje se mreža upravljanja i ostvaruje pouzdaniji prenos.

Pored toga, u cilju poboljšanja bezbednosti, projektom je planiran i izveden sistem na nadzor optike, koji detektuje bilo koji prekid na bilo kojem od optičkih vlakana.

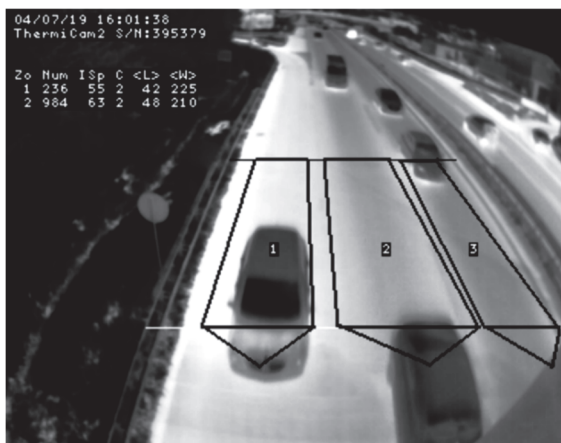


Slika 1. Opšta šema povezivanja aktivne opreme

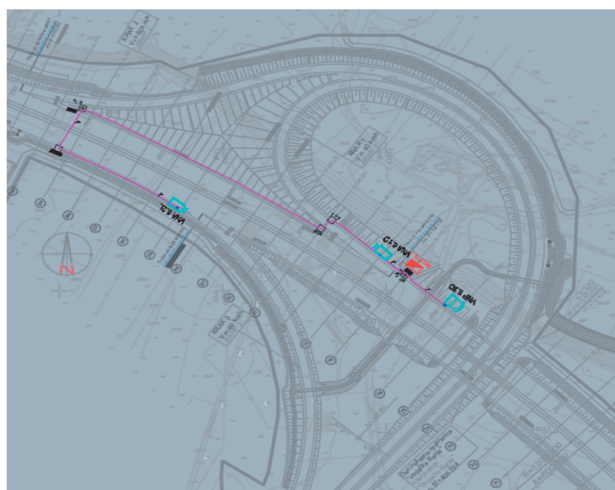
Predviđena je instalacija digitalnog video sistema opšte i posebne namene. Video sistemom opšte namene pokriveni su objekti saobraćajnih petlji, naplate putarine, transformatorskih stanica, odmarališta i sl., a video sistemima posebne namene planirano je automatsko otkrivanje incidenata (AID) na otvorenoj deonici i ANPR kamere (Automatic Number Plate Recognition) koje prepoznaju i ADR oznake na vozilima za transport opasnih materija.

Planirane su AID kamere sa dualnim (optički plus termalni) senzorom koji ima sledeće funkcionalnosti:

- Detekcija zaustavljenog vozila u nekoj od traka na deonici,
- Detekcija jednog ili više pešaka na otvorenoj deonici,
- Detekcija stranog objekta bilo koje vrste koji je nepomičan na otvorenoj deonici,
- Detekcija kretanja vozila u suprotnom smeru na deonici,
- Detekcija blokade jedne ili više traka nezavisno od oblika (prevmuto vozilo, životinja, kutija-kontejner, prikolica...)
- Video signal dostupan za pregled u realnom vremenu,
- Video signal u elektromagnetnom IC spektru dostupan za pregled u realnom vremenu.



Slika 2. Prikaz slike sa AID kamera sa dualnim (optički plus termalni) senzorom



Slika 3. Pozicioniranje AID kamera u cilju detekcije vožnje u suprotnom smeru

Pri odabiru pozicija i optičkih elemenata za AID kamere poseban fokus je stavljen na detekciju vožnje u suprotnom smeru. Kamere su pozicionirane na lokacijama ulazno/izlaznih rampi na glavnom putnom pravcu kako bi se ovaj tip incidenta identifikovao na samom početku. Na slici 3. je ilustrovano pozicioniranje kamere u cilju detekcije vožnje u suprotnom smeru.

Na predmetnom koridoru su planirane i meteorološke stanice na mostovima i nadvožnjacima. Meteorološke stanice su postavljane tako da pored standardnih parametara svaka stanica prati stanje kolovoza na nasipu neposredno pre mosta, kao i na samom mostu. Ovo je rešeno adekvatnim postavljanjem samih stanica kao i kolovoznih sonidi.

Duž celog koridora kontrolom pristupa su štićeni svi ormani telekomunikacija/automatike, centralno čvorište kao i transformatorske stanice u službi autoputa.

Moravski koridor je jedan od prvih autoputeva u regionu u kojem je omogućena infrastruktura i postavljena oprema za V2X tehnologiju. Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge, RATEL, je opredelilo poseban frekvencijski opseg za V2X tehnologiju. Prema Planu namene radio-frekvencijskih opsega [4] i Pravilniku o korišćenju frekvencija po režimu opšteg ovlašćenja [5], radio frekvencijski opsezi 5855-5875 MHz i 5875-5925 MHz se koriste za ITS sisteme.

Duž koridora su postavljene radio V2X antene koje su povezane na okosnicu telekomunikacione mreže čime su omogućuje upotreba V2X tehnologije.

4. Izazovi pri projektovanju i integraciji

U fazi projektovanja ITS-a od izuzetne važnosti je da se izbegnu svi mogući problemi koji bi eventualno nastali pri izvođenju i kasnijoj eksploataciji ITS sistema. U konkretnom primeru autoputa Moravski koridor, jedan od izazova je bilo privremeno mesto glavnog telekomunikacionog čvorišta i način povezivanja lokalnih koncentracija na glavno čvorište tako da se što jednostavnije glavno TK čvorište sa privremene lokacije može izmestiti na stalnu lokaciju. O ovome se posebno moralo voditi računa pri projektovanju, tako da su adekvatnim planom namene vlakana u glavnom optičkom kablju i odabirom odgovarajućih SFP primopredajnih modula u transportnom sistemu, mreža učinila fleksibilnom za kasnije potencijalno izmeštanje centralne lokacije. Pri planiranju transportne mreže uzeta je u obzir cela deonica dužine od približno 100km, a ostavljena je i odgovarajuća rezerva u kapacitetu optičkog kabla.

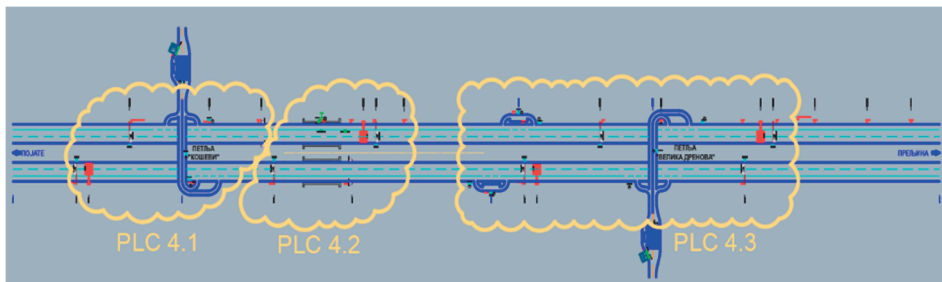
Sledeći izazov je bio kako štititi transportnu mrežu i lokalne uređaje od neovlašćenog pristupa i fizičkih prekida nastalih usled vremenskih neprilika ili delovanja trećih lica. U tom cilju planiran je sistem za nadzor nad optičkim vlaknima koji nadzire status svakog vlakna u glavnom optičkom kablju i alarmira u slučaju prekida. Uređaj za nadzor je postavljen u rek ormanu na mestu glavnog TK čvorišta. Pored toga, u TK čvorištu, na svim ormanima na trasi i transformatorskim stanicama postavljeni su magnetni kontakti kontrole pristupa koji registruju bilo kakvu manipulaciju sa vratima. Kao dodatna mera uveden je video nadzor opšte namene za nadzor transformatorskih stanica duž trase i glavnog TK čvorišta.

Pri planiranju digitalnog video sistema i analizi mesta za AID kamere, na otvorenoj deonici nije bilo moguće pokriti ceo autoput kamerama za automatsku detekciju incidenata kao što je to slučaj sa tunelima, jer bi takva postavka zahtevala

značajna finansijska sredstva. Odlučeno je da se kamere postave na mestima uliva/izliva na autoput i mestima sa povećanom mogućnošću incidenata. Posebno je bilo značajno pratiti i alarmirati u slučaju vožnje u suprotnom smeru na autoputu koja prema izveštaju NTSB [6] izaziva nezgode sa najozbiljnijim posledicama. Za lokacije su odabrana mesta neposredno pre izlazne rampe, gde se vozila često zaustavljaju, vraćaju unazad, ili vrše polukružno okretanje. Kamera na ovoj tački prati pun profil autoputa, tj. može detektovati vozila kako na isključnoj rampi, tako i na voznoj i preticajnoj traci u isto vreme.

Osnovni izazov izrade operativnih planova je definisanje zone uticaja, odnosno definisanje na kojim VMS-ovima treba prikazati odgovarajuće znakove i poruke, u odnosu na moguću pojavu i detekciju alarmnih signala sa putnih senzora (kamere, brojači saobraćaja, meteorološke stanice, itd).

Jedan od izazova u planiranju i izvođenju je bilo uvođenje nivoa upravljanja na samoj otvorenoj deonici. Deonice autoputa su podeljene u grupe poddeonica (slika 4), gde svaka grupa ima svoj lokalni kontroler. U slučaju prekida veze sa centrom ili u bilo kom drugom slučaju, svi uređaji povezani na lokalni kontroler mogu raditi nezavisno od operativnog centra. Drugi nivo upravljanja je upravljanje iz glavnog čvorišta (operativnog centra). Treći nivo bi bilo upravljanje iz regionalnog centra za upravljanje, a četvrti nivo iz Nacionalnog centra za upravljanje.



Slika 4. Grupisanje ITS elemenata u grupe sa lokalnim upravljanjem

5. Zaključak

Integracija inteligentnih transportnih sistema (ITS) na državnim putevima, a posebno na kompleksnim objektima kao što su tuneli i otvorene deonice autoputeva, predstavlja ključan korak ka unapređenju bezbednosti i efikasnosti saobraćaja. Kroz uvođenje sistema za nadzor, automatsku detekciju incidenata, kontrolu pristupa, meteorološko praćenje i V2X tehnologiju, ITS omogućava proaktivno upravljanje saobraćajem, brzu reakciju u slučaju nezgoda i pravovremeno informisanje vozača. Implementacija ovih tehnologija, kao što je slučaj sa Moravskim koridorom, podiže nivo bezbednosti i pouzdanosti transportnog sistema. Ovakvi sistemi zahtevaju pažljivo planiranje i koordinaciju na više nivoa upravljanja, uključujući lokalne i nacionalne centre, čime se osigurava nesmetano funkcionisanje i autonomija sistema u slučaju prekida veze. Kroz kontinuirani razvoj i integraciju ITS rešenja, nacionalna saobraćajna infrastruktura postaje otpornija i bezbednija, što ima direktne pozitivne efekte na smanjenje broja nezgoda i ekonomskih gubitaka prouzrokovanih saobraćajnim incidentima. Upravo na predstavljenom primeru Moravskog koridora, dati su praktični

primeri izazova pri projektovanju i izvođenju koji mogu pomoći u budućim integracijama ITS na mrežu autoputeva.

Budući radovi treba da budu usmereni na dodatno usavršavanje i integraciju sistema, kako bi se omogućila lakša koordinacija među različitim nivoima upravljanja. Takođe, istraživanja bi trebalo da obuhvate mogućnosti unapređenja tehnologije, sveobuhvatnu analizu postojećih i prikupljenih podataka iz saobraćaja, kao i razrade operativnih planova u cilju unapređenja bezbednosti saobraćaja.

Literatura

- [1] Dutta,Sheila; Bose,Dipan; Marquez,Patricio V..The high toll of traffic injuries: unacceptable and preventable (English). Washington, D.C. : World Bank Group.
- [2] „Koncept razvoja inteligentnih transportnih sistema na mreži državnih puteva Republike Srbije“, JP “Putevi Srbije, Beograd 2020.,
- [3] „Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji“, JP „Putevi Srbije“, Beograd 2020.
- [4] Plan namene radio-frekvencijskih opsega („Službeni glasnik RS“, broj 89/20)
- [5] Pravilniku o korišćenju frekvencija po režimu opšteg ovlašćenja („Službeni glasnik RS“, broj 28/13)
- [6] National Transportation Safety Board. 2012. Wrong-Way Driving. Highway Special Investigation Report NTSB/SIR-12/01. Washington, DC

Abstract: *Intelligent Transport Systems (ITS) significantly enhance road safety by enabling traffic monitoring and management through real-time data collection and analysis. ITS utilizes various technologies, such as traffic counters, AID cameras, VMS signs, weather stations, and V2X equipment, allowing for timely interventions and reduced accident risk. Integrating these systems requires detailed planning, especially for projects like the Moravian Corridor, Serbia's first "digital" highway. All listed systems are interconnected via an optical ring network, providing high reliability and security. ITS management operates across multiple levels—local, regional, and national—enabling efficient responses to incidents or communication disruptions.*

Keywords: *ITS integration, traffic safety, traffic management, AID cameras, V2X*

ITS AND THEIR INTEGRATION IN SERVICE OF TRAFFIC SAFETY ON ROADS: CHALLENGES IN DESIGN AND INTEGRATION

Rade Sekulić, Miroslav Gordanić, Dejan Kukulj, Milan Grujović

VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U UPRAVLJANJU PUTNOM INFRASTRUKTUROM

Dušan Mladenović¹, Miroslav Petrović²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Srpsko društvo za ITS,
d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

²Devellop d.o.o, Beograd, Srpsko društvo za ITS, miroslav.petrovic@devellop.com

Rezime: *Održavanje puteva je, u ustaljenoj tehnologiji i metodologiji, zasnovano na upotrebi dokumentacije u papirnom obliku poput projekta izvedenog stanja, uz informacije prikupljene na terenu koje odražavaju izmene nastale u međuvremenu. Proces prikupljanja i transformacije podataka u digitalnu formu prikladnu za dalje analize i donošenje odluka je dugotrajan i skup, zbog značajne manuelne komponente. Tokom vremena, pojavom novih tehnologija, unapređen je način kako se neophodne informacije prikupljaju, zamenjujući čoveka u tom procesu i donoseći tako sa sobom određena poboljšanja. Veštačka inteligencija (AI) je najnoviji tehnološki trend, pa joj je, prirodno, mesto i u inteligentnim transportnim sistemima (ITS). Međutim, ako se prisetime definicije da je AI mogućnost računara da obavlja zadatke koji se uobičajeno pripisuju ljudima, postaje jasno da je veštačka inteligencija prisutnija duže nego što nam je bila prva pomisao. U radu prezentujemo nekoliko primena AI tehnologija u upravljanju putnom infrastrukturom koje se već koriste ili se očekuje njihova skorašnja primena.*

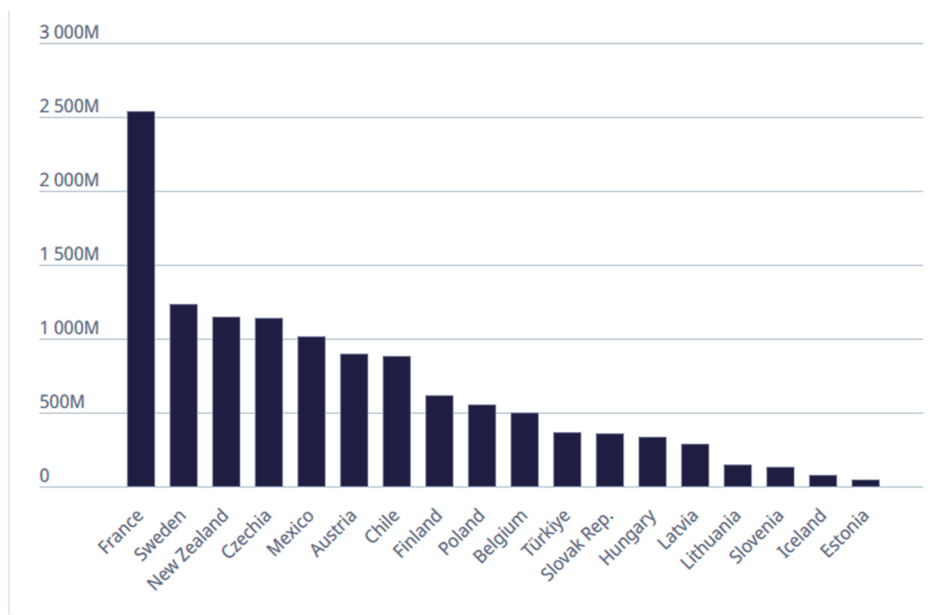
Ključne reči: *veštačka inteligencija (AI), inteligentni transportni sistemi (ITS), softver za upravljanje putnom infrastrukturom (RAMS), Tjuringov test*

1. Uvod

Poslednjih godina, mogućnosti primene veštačke inteligencije (AI) u upravljanju putnom infrastrukturom, kao i u ostalim oblastima, značajno utiču na ustaljenu praksu i poslovne procese. Neke funkcionalnosti su već primenjene u praksi, a neke se ozbiljno razmatraju, kako u konceptualnoj, tako i u pilot fazi.

Posedovanje relevantnih sveobuhvatnih, preglednih, lako dostupnih i, pre svega, validnih i preciznih podataka koji olakšavaju i unapređuju proces održavanja putne infrastrukture je izuzetno važno iz mnogo razloga. Najvažniji je, svakako, održavanje odnosno unapređivanje sveobuhvatnog nivoa bezbednosti drumskog saobraćaja za sve učesnike u saobraćaju, kako sa korisničke, tako i sa upravljačke strane. Pored toga, troškovni parametar je nešto što mora da se uzme u obzir. Cena održavanja infrastrukture putne mreže na nacionalnom nivou predstavlja značajnu budžetsku stavku u svim

zemljama (slika 1). Već ove dve stavke pokazuju i dokazuju globalno priznatu kritičnu ulogu koju održavanje putne infrastrukture ima u nacionalnim ekonomijama.



Slika 1. Godišnji budžet na nacionalnom nivou za održavanje puteva (2021) [1]

Stoga je digitalizacija u upravljanju putnom infrastrukturom upotrebom modernih softverskih rešenja - tzv. RAMS (*Road Asset Management Software*) opravdana sa stanovišta unapređenja efikasnosti, smanjenja troškova i podizanja nivoa kvaliteta i pouzdanosti, i svako novo tehnološko rešenje koje može da nađe primenu u nekom od poslovnih procesa koji sačinjavaju ove aktivnosti je više nego dobrodošlo. A glavni poslovni procesi relevantni za ovu oblast mogu da se grupišu u sledeće celine: prikupljanje, obrada i analiza podataka, te aktivnosti vezane za održavanje inventara i ažuriranje podataka.

Mogućnosti koje veštačka inteligencija sa sobom donosi, svakako nalaze primenu i u ovoj oblasti, otvarajući prostor za optimizaciju ne samo poslovnih procesa i smanjenje troškova, već i poboljšanje nivoa kvaliteta i bezbednosti putne mreže i drumskog saobraćaja uopšte, doprinevši tako efikasnom i održivom procesu upravljanja održavanjem putne infrastrukture.

2. Veštačka inteligencija

Formalno, međunarodna organizacija za standarde sistema veštačke inteligencije (“*AI systems*”) definiše kao „sisteme koji su osmišljeni tako da, na osnovu zadatih ciljeva definisanih od strane ljudskih bića, generišu izlaze koji predstavljaju sadržaj, prognozu, preporuku ili odluku“. Zarad ostvarenja tako zadatih ciljeva, prihvatljivo je da se koriste različite tehnike i pristupi kako bi se modelovali podaci, znanje, procesi, itd. Pri tome, primenjeni nivoi automatizacije razlikuju se od sistema do sistema. [2]

Ovakvo kompleksna definicija nastala je iz potrebe da obuhvati širok dijapazon sistema koji, na osnovu nekakve automatizacije, obavljaju zadatke koje uobičajeno obavlja ljudsko biće upotrebom kognitivnih (svesnih) intelektualnih aktivnosti, a da, sa druge strane, opstane kao primenljiva dovoljno dug vremenski period obzirom na rapidan tehnološki napredak u ovoj oblasti.

To nas, konačno, dovodi do pojednostavljenog opisa sistema na bazi veštačke inteligencije kao “onog koji korišćenjem računara obavlja intelektualne zadatke koji se uobičajeno pripisuju ljudima”. [3]

Ovo poslednje predstavlja definiciju veštačke inteligencije u internet verziji Enciklopedije Britanike u vreme nastanka ovog rada i u skladu je sa polaznim osnovama misaonih eksperimenata čoveka koji se danas smatra ocem modernog računarstva i utemeljivačem veštačke inteligencije - engleskim naučnikom Alanom Turingom: “Mogu li mašine da misle?” i testa koji je, kao nečemu prikladnijem realnom problemu, osmislio pod nazivom “Igra imitacije”, danas poznatijoj kao “Tjuringov test”. [4]

Ovaj test, u najkraćem, predstavlja eksperiment koji bi trebalo da pokaže da li se mašina može ponašati tako da se iz sadržaja samog odgovora (odnosno niza odgovora) ne može sa relevantnom sigurnošću zaključiti da li odgovore generiše ljudsko biće ili mašina.

Imajući ovakvu definiciju u vidu, svedoci smo (baš kao što je i Turing predviđao [5]) da nije prošlo mnogo vremena od kada su AI sistemi u svom blažem obliku (tzv. “slaba AI” – *weak/narrow*), dizajnirana tako da bude uspešna u specifičnim zadacima u okviru dobro definisanih parametara našla široku primenu u raznim poljima, pa i u upravljanju putnom infrastrukturom. U narednim poglavljima prezentovaćemo nekoliko karakterističnih primera koji su već u upotrebi na našim putevima.

3. Prikupljanje, obrada i analiza podataka

Prikupljanje

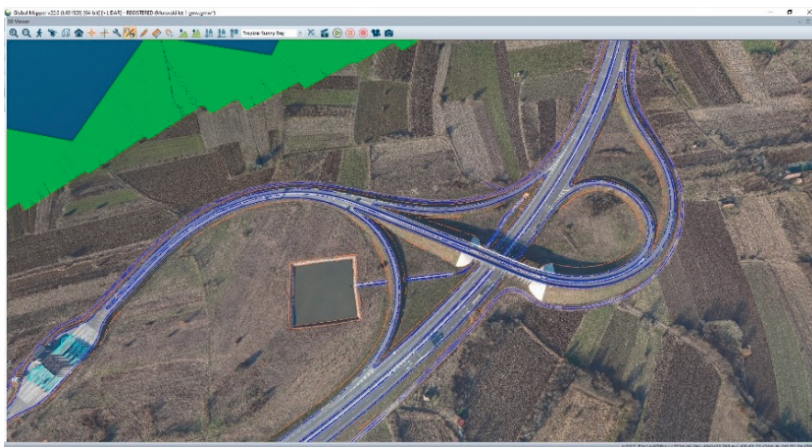
Prikupljanje detaljnih podataka sa terena o stanju puta i infrastrukture primenom savremenih tehnologija ostvaruje se korišćenjem kamera montiranih na dronove koji obezbeđuju snimke iz vazduha visoke rezolucije, dok kamere montirane na vozila prikupljaju stanje terena sa zemlje. Algoritmi na osnovu kojih rade dronovi i kamere su na bazi tzv. „slabe“ veštačke inteligencije obezbeđujući obradu velikog seta podataka za kreiranje ažurne i precizne slike o trenutnom stanju putnog inventara.

Korišćenje veštačke inteligencije omogućava kontinuirano praćenje, pružajući ažurne informacije koje su ključne za održavanje bezbednosti na putevima i integriteta infrastrukture.

Prednost ovakvog pristupa ogleda se u mogućnosti da se veliki broj informacija prikuplja automatski i dovoljno učestalo, pristupajući i udaljenim, teško pristupačnim zonama od interesa, osiguravajući da ni jedan deo putne mreže nije izostavljen.

Integracija AI u prikupljanje podataka takođe poboljšava bezbednost i efikasnost procesa. Na primer, dronovi sa AI tehnologijom mogu da se programiraju tako da prate određene putanje leta, obezbeđujući dosledno i kontinuirano prikupljanje podataka bez potrebe za ljudskom intervencijom. Prikupljanje takvih podataka starim tehnologijama često nije ni bilo moguće, a svakako u najmanju ruku visoko rizično i po pitanju izloženosti saobraćaju i po pitanju nepristupačnosti.

Primer takvog snimka iz vazduha prikazan je na Slici 2. Ovako prikupljeni i obrađeni podaci pomažu da se lako i precizno odrede dimenzije travnatih površina u putnom pojasu koje treba da se održavaju.



Slika 2. Snimak iz drona

Uređaji za snimanje koji se nalaze na automobilima igraju ključnu ulogu u proveru statusa saobraćajnih znakova, oznaka na putu i zaštitnih barijera. Ovi snimci pomažu u predviđanju rane degradacije puta, praćenju radnih zona i generisanju upozorenja za uslove koji utiču na vožnju, kao što su klizave površine. Algoritmi veštačke inteligencije analiziraju snimak u realnom vremenu, otkrivajući anomalije kao što su izbledele oznake na putu, oštećeni znakovi i potencijalne opasnosti, čime omogućavaju brzo pokretanje korektivnih aktivnosti.



Slika 3. Automatsko prepoznavanje horizontalne i vertikalne signalizacije na putu

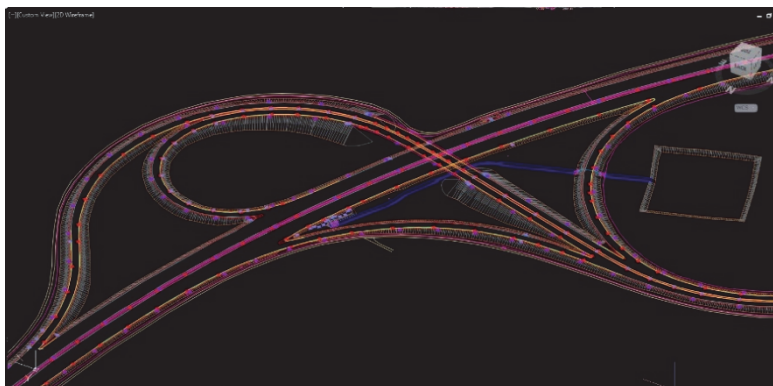
Razumno je da se predpostavi da će u narednim godinama inspekcija svakog elementa puta ostvariti AI analizom slike, kao i prikupljanjem podataka sa različitih senzora koji se mogu pratiti korišćenjem AI tehnologije. Ove tehnologije su čak i kod nas već sada u fazi testiranja na terenu (Slika 3).

Obrada

Prikupljeni podaci prolaze kroz proces automatske obrade, tokom kojeg se vrši ekstrakcija podataka od značaja – elementi putne infrastrukture kao što su saobraćajni znaci, zaštitne ograde, kanalizacioni odvodi, rasveta i sl. Proces obuhvata selekciju, lokalizaciju, kategorizaciju, klasifikaciju i atributizaciju svakog od elemenata. Ovaj proces zahteva učešće eksperta koji vrši proveru rezultata svih navedenih aktivnosti. Poluautomatski softver pomaže u početnom sortiranju i kategorizaciji podataka, značajno smanjujući vreme i trud koji su potrebni za ručnu obradu. Međutim, ljudski unos ostaje ključan, posebno za unos preciznih detalja u AutoCAD crteže i proveru svih rezultata prethodne automatske obrade. AutoCAD okruženje predstavlja uobičajeno radno okruženje za eksperte koje im omogućava da ovaj deo obrade izvedu na što efikasniji način. Ova kombinacija osigurava da su podaci tačni, precizni i detaljni, pružajući pouzdanu osnovu za kasniju analizu i donošenje odluka i mogu se svrstati u mašinsko učenje – treniranje modela.

Dok veštačka inteligencija i tehnologija ubrzavaju proces, konačnu reč u ovoj fazi imaju eksperti – inženjeri, prevashodno saobraćajne i/ili građevinske struke. Inženjeri potvrđuju podatke obrađene veštačkom inteligencijom, obezbeđujući njihovu tačnost i prilagođavajući se na osnovu svoje stručnosti i zapažanja na terenu. Uz verifikaciju prikupljenih i obrađenih podataka, oni tako proveravaju i projektnu dokumentaciju – projekat izvedenog stanja. Na taj način je kroz simbiozu ljudi i veštačke inteligencije obezbeđen najviši kvalitet i pouzdanost podataka.

Primeru radi, šahtovi, odvodne kapije, svetla i saobraćajni znaci su predstavljeni kao tačke u AutoCAD pregledu (slika 4). Ograde, mostovi, tuneli i kanali su prikazani kao linije, a poligoni predstavljaju područja za zadatke kao što je košenje trave. Ova strukturirana reprezentacija u AutoCAD-u osigurava da su podaci organizovani na način koji je istovremeno intuitivan i koristan za dalju analizu i donošenje odluka. Inženjeri takođe mogu da koriste napredne funkcije AutoCAD-a za obavljanje detaljnih analiza, kao što je izračunavanje površine određenih sekcija, procena uticaja planiranih aktivnosti održavanja i simulacija promena toka saobraćaja usled izgradnje ili popravke.



Slika 4. Prikaz obrade podataka u AutoCAD-u

Poluautomatizovana faza obrade takođe uključuje provere kvaliteta i validacije kako bi se obezbedio integritet podataka. AI algoritmi upućuju novosakupljene podatke sa postojećim zapisima, označavajući nedoslednosti koje eksperti treba da verifikuju. Obradeni podaci se zatim standardizuju i formatiraju za laku integraciju sa drugim sistemima i aplikacijama, olakšavajući dalje korišćenje podataka.

Drugi važan aspekt obrade podataka je analiza stanja kolovoznih elemenata. Donedavno su većinu podataka analizirali ljudi, a zbog slabog kvaliteta slike i lošeg osvetljenja u tunelima i ispod mostova, na primer, to je bio težak i rizičan posao koji je zahtevao dosta vremena.

Nova tehnologija veštačke inteligencije koristeći snimke prikupljene dronovima i drugim senzorima, može da uoči i napravi slike pukotina u betonu. Sistem veštačke inteligencije zatim analizira slike kako bi uočio sve potencijalne probleme i upozorio ljude da istraže izbliza. Jedan važan faktor je da se slike uvek snimaju iz istog ugla i udaljenosti, što pomaže u poređenju stanja tokom vremena. Dronovi mogu svaki put da lete unapred određenim putanjama, a kamere postavljene na vozilo imaju konzistentan ugao u snimanju puta. Međutim, sve ovo bi bilo beskorisno ako se podaci ne obrađuju od strane veštačke inteligencije, a zatim se sortiraju po važnosti koju ljudi mogu istražiti.

Analiza

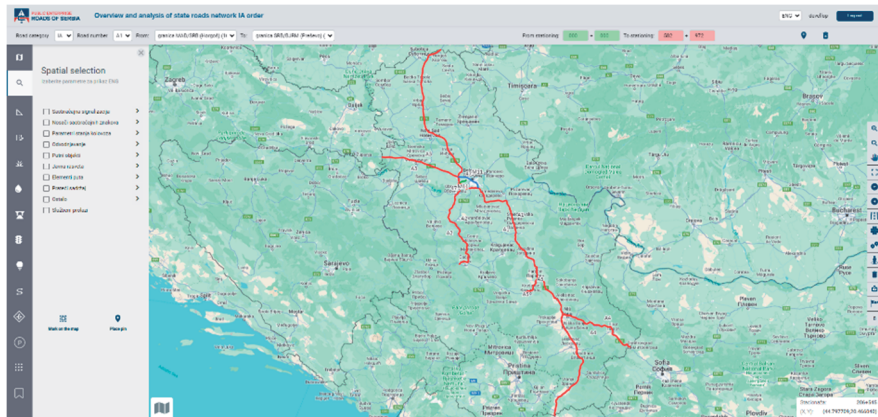
Treća faza podrazumeva automatizovano izdvajanje obrađenih podataka iz AutoCAD-a i njihov uvoz u bazu podataka. Ovaj korak koristi veštačku inteligenciju da pojednostavi prenos informacija, minimizirajući rizik od grešaka do kojih može doći ručnim unosom podataka. U ovoj fazi se identifikuju razlike u odnosu na postojeće stanje, dodaju nedostajući podaci odnosno ažuriraju postojeći. Ovaj korak osigurava praćenje promena putne infrastrukture tokom vremena. Praćenje stanja na putevima tokom vremena omogućava obradu podataka za predviđanje održavanja, što je od suštinskog značaja za proaktivno upravljanje imovinom. Algoritmi veštačke inteligencije koji se koriste u ovoj fazi mogu da otkriju obrasce i trendove u podacima, pružajući uvid u dugoročne performanse i degradaciju putnih sredstava.

Automatizovani proces ekstrakcije osigurava da se održi konzistentnost podataka i da se sve nedoslednosti odmah uklone. Korišćenjem veštačke inteligencije za ovaj zadatak minimiziramo ljudsku grešku i osiguravamo da podaci ostanu tačni i ažurni. Baza podataka služi kao centralno skladište za sve podatke, što olakšava preuzimanje i korišćenje za različite aplikacije. Struktura baze podataka je dizajnirana da podrži složene upite i analize, omogućavajući korisnicima da izvuku kvalitetne uvide i donesu odluke zasnovane na relevantnim podacima i činjenicama.

Pored skladištenja neobrađenih podataka, baza podataka takođe može da sadrži obrađene i agregirane podatke, pružajući različite nivoe detalja za različite zainteresovane strane. Na primer, zbirni izveštaji visokog nivoa mogu da se generišu za donosioce odluka, dok detaljni skupovi podataka mogu biti dostupni inženjerima i analitičarima. Baza podataka se takođe može integrisati sa drugim sistemima, kao što su geografski informacioni sistemi (GIS) i sistemi za planiranje resursa preduzeća (ERP), olakšavajući sveobuhvatno upravljanje imovinom i operativno planiranje.

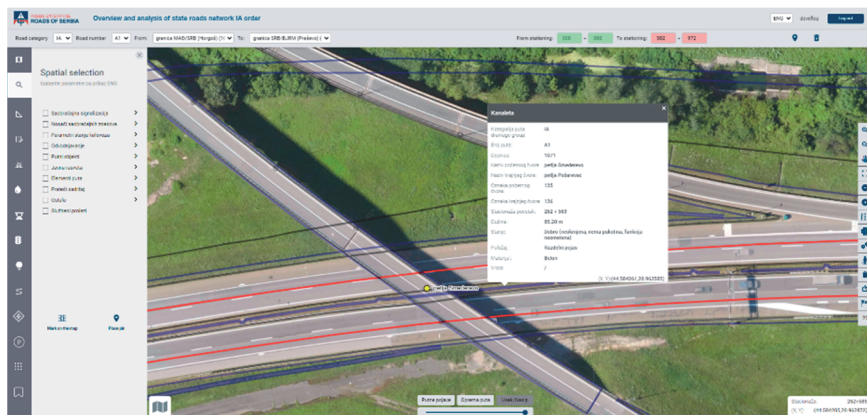
U završnoj fazi, sačuvani podaci se koriste putem *web* aplikacije i raznih izveštaja. *Web* aplikacija obezbeđuje korisnički interfejs za zainteresovane strane za pristup podacima i interakciju sa njima, nudeći funkcionalnosti kao što su vizuelizacije,

upiti i izveštavanje u realnom vremenu (slika 5). Izveštaji generisani na osnovu podataka smeštenih u bazi nude uvid u stanje na putevima, lokacije imovine i potrebe održavanja, podržavajući informisano donošenje odluka i efikasnu alokaciju resursa.



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije

Prateća web aplikacija je GIS (geografski informacioni sistem) tipa, dizajnirana tako da je mapa predstavlja primarni interfejs, što olakšava vizuelnu pretragu i pronalaženje elemenata u prostoru. Povećanjem nivoa zumiranja (slika 6), korisnici mogu da vide relevantne detalje sa prikupljenih i obrađenih ortofoto snimaka. Zahvaljujući mehanizmu ažuriranja, korisnici uvek imaju pristup i najnovijim pa samim tim i najažurnijim podacima. Intuitivni interfejs omogućava filtriranje i pretragu podataka na osnovu različitih kriterijuma, kao što su tip sredstva, stanje i istorija održavanja.



Slika 6. Detaljni podaci o elementima infrastrukture

Web aplikacija podržava saradnju i komunikaciju između različitih zainteresovanih strana. Korisnici mogu da dele podatke, izveštaje i uvide, olakšavajući koordinisane napore i informisano donošenje odluka. Na primer, ekipe za održavanje mogu pristupiti najnovijim podacima i uputstvima sa terena, obezbeđujući da imaju sve

informacije koje su im potrebne za efikasno obavljanje svojih zadataka. Donosioci odluka mogu da koriste aplikaciju da pregledaju metriku učinka, prate napredak i dodeljuju resurse na osnovu uvida zasnovanih na podacima.

4. Prediktivno održavanje

Kritični aspekt upravljanja imovinom puteva je održavanje, gde primena AI donosi transformativnu ulogu. Algoritmi prediktivnog održavanja analiziraju prikupljene podatke da bi predvideli potencijalne probleme pre nego što postanu kritični. Ispitujući obrasce habanja puteva i uslova okoline, AI može predvideti kada i gde će održavanje verovatno biti potrebno. Ovaj proaktivni pristup ne samo da produžava životni vek putnih sredstava, već i smanjuje troškove održavanja i minimizira poremećaje u saobraćaju.

Prediktivno održavanje se oslanja na istorijske podatke i praćenje u realnom vremenu kako bi se identifikovali potencijalni problemi pre nego što postanu kritični. Na primer, analizom obrazaca habanja puta, gustine saobraćaja i vremenskih uslova, AI može predvideti kada će za određenu sekciju puta biti neophodno održavanje. Ovo omogućava pravovremene intervencije, sprečavajući da manji problemi prerastu u velike popravke. Sposobnost preciznog predviđanja potreba za održavanjem osigurava da se resursi koriste efikasno, a aktivnosti održavanja se planiraju i izvode uz minimalno ometanje saobraćaja i učesnika u saobraćaju.



Slika 7. CAPTCHA test sa saobraćajnim znacima

Algoritmi veštačke inteligencije koji se koriste za prediktivno održavanje kontinuirano se uče i poboljšavaju tokom vremena. Kako se više podataka prikuplja i analizira, algoritmi postaju bolji u identifikovanju obrazaca i predviđanju budućih problema. Ova sposobnost prilagođavanja osigurava da sistem prediktivnog održavanja ostane efikasan i relevantan, čak i kada se uslovi na putu i faktori okoline menjaju. Sistem takođe može da pruži preporuke za optimizaciju rasporeda održavanja i određivanje prioriteta zadataka na osnovu ozbiljnosti i hitnosti uočenih odnosno anticipiranih problema.

Ovakva prediktivna analitika, zasnovana na velikoj količini podataka, stvara prostor za naprednija rešenja u primeni AI, tzv. jaki odnosno generalni (*strong/general*) AI sistemi koji su dizajnirani da se adaptiraju kroz učenje i primenu stečenog znanja. Na taj način kompletan softver za upravljanje putnom infrastrukturom – RAMS dobija potpuno novu, savremenu dimenziju.

Kad je Tjuringov test u pitanju, eklatantan primer predstavljaju grupe tzv. CAPTCHA (*Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*) testova [6], osmišljenih tako da na automatski način zaključče da li je trenutni korisnik čovek ili računar. Jedan od standardnih testova u upotrebi jeste zahtev da se selektuju slike sa saobraćajnim znacima. Očigledno je da su trenutna AI tehnološka rešenja uveliko nadmašila ovakve zadatke (slika 7).

5. Zaključak

Integracija veštačke inteligencije u upravljanje inventarom puteva poboljšava efikasnost, tačnost i prediktivne sposobnosti čitavog procesa. Od prikupljanja i obrade podataka do automatizovanog izdavanja i praktičnog korišćenja, tehnologije vođene veštačkom inteligencijom obezbeđuju da se putnim sredstvima efikasno upravlja, otvarajući put za pametnije i održivije upravljanje infrastrukturom. Sposobnost predviđanja i sprečavanja problema pre nego što postanu kritični je značajna prednost, osiguravajući da putna sredstva ostanu u optimalnom stanju i obezbeđujući sigurniju i pouzdaniju transportnu mrežu.

Primena AI u upravljanju putnim sredstvima takođe ima šire implikacije na urbano planiranje i razvoj. Pružajući tačne i blagovremene podatke, AI pomaže upravljačima puteva da donose informisane odluke o infrastrukturnim investicijama, prioritetima održavanja i raspodeli resursa. Ovakva rešenja, u celini ili delimično, primenljiva su i na upravljanje procesom održavanja drugih tipova infrastrukture. Ovo dovodi do efikasnijeg korišćenja javnih sredstava i boljih rezultata za celokupnu zajednicu. Štaviše, usvajanje AI tehnologija može podstaći inovacije i saradnju između različitih zainteresovanih strana, uključujući vladine agencije, privatnih kompanija i istraživačkih institucija.

Zahvalnica: Autori se zahvaljuju kolegama iz preduzeća „VIA inženjering“ d.o.o., „Devellop“ d.o.o. i Javnog preduzeća „Putevi Srbije“ na slikama i podacima iz aplikacija koji su iskorišćeni prilikom izrade ovog rada.

Literatura

[1] Indicators, Infrastructure maintenance, Road, 2021. Available at:

- <https://www.oecd.org/en/data/indicators/infrastructure-maintenance.html>
- [2] ISO/IEC 22989 (2022) “Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology”, Edition 1.
- [3] Encyclopædia Britannica, Inc. Corporate Site. Available at: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
- [4] Turing, A.M. (1950). “Computing machinery and intelligence”. *Mind*, 59, 433-460.
- [5] Oppy, Graham and David Dowe, "The Turing Test", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/turing-test/>
- [6] von Ahn, Luis; Blum, Manuel; Hopper, Nicholas J.; Langford, John (May 2003). "CAPTCHA: Using Hard AI Problems for Security", *Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2003: International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 2656. pp. 294–311.

Abstract: *Initially, road maintenance process has been driven by data gathered in an old-fashioned way: it has been a combination of paper-based evidence (as-built documentation) and information collected on site (actual conditions). Process of collecting and transforming data into a format appropriate for analysis and decision making actions has been long lasting and expensive, with manual component in between, which, at one side, increased probability for error and, on the other side, extended process duration and costs. Artificial intelligence (AI) is last years the hottest buzzword. However, as AI is the ability of a computer to perform task(s) commonly associated with the intellectual processes typical to humans, reality is that AI is in intelligent transport systems (ITS) for the longer time than we initially thought. In this paper we present few examples of AI applied in road asset management already in use or ready to be used.*

Keywords: *artificial intelligence (AI), intelligent transport systems (ITS), road asset management software (RAMS), Turing test*

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN ROAD ASSET MANAGEMENT**
Dušan Mladenović, Miroslav Petrović

TELEKOMUNIKACIONI SISTEMI U PREDLOGU RJEŠENJA ZA E-NAVIGACIJU NE-SOLAS PLOVILA

Enis Kočan¹, Milutin Radonjić¹, Igor Stanovčić², Božo Krstajić¹,

¹Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, {enisk, mico, bozok}@ucg.ac.me

²Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet Kotor, igors@ucg.ac.me

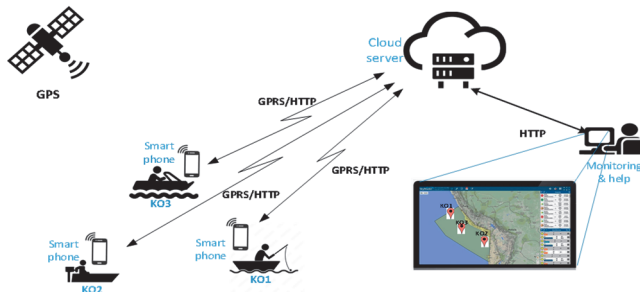
Rezime: U radu se razmatraju telekomunikacioni sistemi neophodni za funkcionisanje predloženog rješenja za e-navigaciju plovila koja ne podliježu SOLAS (Safety of Life at Sea) konvenciji (ne-SOLAS plovila). Predloženo rješenje je zasnovano na razvoju cloud platforme i aplikacije za pametne telefone, koji imaju mogućnost GNSS (Global Navigation Satellite System) pozicioniranja i slanja tih podataka putem javnih mobilnih komunikacionih mreža na server. Funkcionalnost ovog e-navigacionog sistema, kao i njegova preciznost i pouzdanost, dominantno zavisi od dostupnosti telekomunikacionih sistema i kvaliteta njihovih servisa. Razmotrena su aktuelna rješenja, mogućnosti i izazovi vezani za pozicioniranje Android zasnovanih uređaja, kao i servisni zahtjevi vezani za slanje prikupljenih GNSS podataka na server i dobijanje neophodnih povratnih podataka, sa osvrtom na teritorijalne vode Crne Gore. Takođe je dat pregled aktuelnih istraživanja i mogućih budućih pravaca za unapređenje oblasti pokrivanja javnih mobilnih komunikacionih mreža za primjenu u pomorstvu.

Ključne reči: e-navigacija, ne-solas plovila, GNSS, javne mobilne komunikacione mreže

1. Uvod

Radi povećanja bezbjednosti plovidbe, SOLAS (Safety of Life at Sea) konvencija propisuje set obavezne navigacione i komunikacione opreme za određene tipove plovila, u koja ne spadaju teretna plovila manja od 500 tona bruto, brodovi koji se ne pokreću mehaničkim porivom, rekreativne jahte koje nisu uposlene u privredne svrhe, ribarski brodovi, drveni i primitivno građeni brodovi [1]. Ovi tipovi plovila, koja ne podliježu SOLAS konvenciji se obično označavaju kao ne-SOLAS plovila (non-SOLAS). Pojedine države nacionalnom legislativom definišu obavezu korišćenja pojedinih segmenata navigacione i komunikacione opreme, u zavisnosti od veličine plovila (obično u rasponu od 7,5 m do 24 m) ili oblasti u kojoj se plovi (između 3 i 6 nautičkih milja od obale; 1 NM=1,852 km). Zbog sve većeg obima pomorskog saobraćaja, naročito u priobalnom području, jedan mogući pristup povećanju bezbjednosti je korišćenje pametnih telefona, odnosno IoT (Internet of Things) uređaja, koji imaju mogućnost GNSS (Global Navigation Satellite System) pozicioniranja i slanja tih podataka putem

satelitskih ili zemaljskih komunikacionih mreža. Upravo na ovom principu je zasnovan predloženi sistem e-navigacije za ne-SOLAS plovila [2]. Ovaj sistem podrazumijeva razvoj korisničke aplikacije (ENAV) za Android zasnovane uređaje, koja periodično šalje podatke koristeći HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) protokol putem javnih mobilnih celularnih sistema (2G/3G/4G/5G) o identitetu, poziciji plovila, brzini, kursu i preciznosti na serversku platformu. Kao što se vidi iz opisa funkcionisanja ovog dijela sistema e-navigacije ne-SOLAS plovila, jasno je da njegova efikasnost zavisi od preciznosti GNSS pozicioniranja Android (namjenskog) uređaja, a njegova funkcionalnost od mogućnosti slanja podataka putem 2G/3G/4G/5G mreža. Aplikacija razvijena na serverskoj strani prikuplja podatke od svih uređaja koji su pokrenuli korisničku aplikaciju e-navigacije (ENAV), obrađuje ih i vizualizuje na georeferenciranoj mapi, i šalje nazad korisničkoj aplikaciji podatke koji omogućavaju prikaz sopstvenog plovila i pozicija plovila u radijusu od interesa. Pri tome, radijus od interesa, kao i perioda sa kojom se šalju podaci, zavise od brzine kretanja ne-SOLAS plovila. I ovaj dio funkcionisanja razvijenog sistema e-navigacije u potpunosti zavisi od mogućnosti komunikacije sa uređajem koji je pokrenuo ENAV aplikaciju, pri čemu se podrazumijeva mogućnost da uređaj primi podatke putem javnih mobilnih komunikacionih mreža. Prikaz koncepta predloženog rješenja za e-navigaciju ne-SOALS plovila je prikazan na slici 1.



Slika 1. Prikaz koncepta predloženog rješenja e-navigacije ne-SOLAS plovila [2]

Upravo zbog značaja komunikacionih sistema za predloženi sistem navigacije ne-SOLAS plovila, u ovom radu je dat osvrt na mogućnosti i izazove u pozicioniranju Android zasnovanih uređaja. Takođe, razmotreni su izazovi u ostvarivanju komunikacije između razvijene korisničke aplikacije i serverske aplikacije, kao i neka aktuelna rješenja koja bi omogućila veću oblast pokrivanja u zoni plovidbe i/ili bolji kvalitet signala na postojećim oblastima pokrivanja javnih mobilnih komunikacionih sistema.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, u sekciji 2 je dat osvrt na aktuelna rješenja i izazove u georeferenciranju Android uređaja. Sekcija 3 daje širi pregled korišćenja javnih mobilnih komunikacionih sistema u pomorstvu, sa posebnim osvrtom na servisne zahtjeve razvijene aplikacije za e-navigaciju ne-SOLAS plovila i poznate rezultate o oblasti pokrivanja koje ostvaruju operatori mobilne telefonije u Crnoj Gori. Sekcija 4 daje zaključna razmatranja.

2. Georeferenciranje Android uređaja

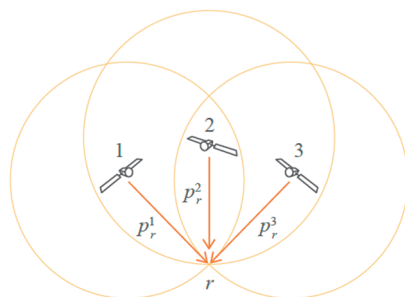
Savremeni Android zasnovani pametni telefoni i tableti, zbog svojih procesorskih mogućnosti i memorije kojom raspolazu, predstavljaju zapravo prenosive

personalne računare, koji su, pored ostalih komunikacionih mogućnosti, opremljeni i prijemnicima signala za sisteme globalne satelitske navigacije (GNSS), u koje trenutno spadaju 4 satelitska sistema na srednjim orbitama od oko 20000 km iznad Zemlje, a to su američki GPS (*Global Position System*) sistem, evropski Galileo, ruski GLONASS (*GLOBALNAYA NAVIGATIONNAYA SPUTNIKOVAYA SISTEMA*) i kineski BeiDou satelitski sistem. Ova mogućnost pozicioniranja Android uređaja daje osnovu za razvoj čitavog niza različitih servisa i aplikacija, među kojima je i navigacija. Kada se pozicija korisnika, odnosno plovila, prikaže na elektronskoj karti koja je u zvaničnoj upotrebi u pomorstvu, a koja se može instalirati na Android uređaju, onda taj uređaj postaje navigacioni uređaj. Pored mogućnosti trenutnog pozicioniranja, koristeći GNSS signale, moguće je i pratiti rutu kretanja nekog plovila.

Postoji više različitih aplikacija razvijenih za pametne telefone koje se koriste za navigaciju na ne-SOLAS plovilima, kao što su iSailor, Navionics i sl., ali predloženo rješenje u [2] je, prema do sada raspoloživoj literaturi i podacima, jedino koje daje mogućnost predikcije kolizija između plovila, odnosno oglašavanja alarma u slučajevima kada se javi mogućnost takve situacije. Za proračun eventualne pojave kolizije među plovilima od krucijalne je važnosti preciznost i pouzdanost podataka o lokaciji plovila.

GNSS prijemnik je danas podrazumijevani dio svakog Android i iOS zasnovanog pametnog telefona, pri čemu današnji pametni telefoni imaju mogućnost korišćenja više satelitskih sistema istovremeno, dok su ranije koristili samo jedan satelitski sistem za pozicioniranje (npr. Samsung Galaxy Y, koji se pojavio 2011. godine je koristio samo GPS sistem za pozicioniranje) [3]. Kako rezolucija Svjetske pomorske organizacija (IMO – *International Maritime Organization*) iz 2000. godine propisuje da kombinovanje GPS i GLONAS prijemnika zadovoljava potrebe navigacije za brodove čija maksimalna brzina ne prelazi 70 čvorova (1 čvor = 1 NM/h), što odgovara brzinama kojim se kreću ne-SOLAS plovila, to se današnji pametni telefoni, koji kombinuju i do četiri GNSS satelitske sistema za pozicioniranje, mogu komotno koristiti za potrebe navigacije ne-SOLAS plovila.

Pozicija pametnog telefona se procjenjuje korišćenjem mjerenja udaljenosti (pseudoraspona) između prijemne antene pametnog telefona i položaja najmanje četiri satelita. Da bi se odredilo geometrijsko rastojanje (pseudoraspon), svi GNSS signali su modulirani specifičnim, nekoliko milisekundi dugim, presudo-slučajnim (PRN – *Pseudo Random Noise*) kodom, koji jedinstveno identifikuje satelit. Prijemnik kontinualno upoređuje i usklađuje lokalnu kopiju PRN koda sa primljenim satelitskim signalom. Izmjereno kašnjenje primljenog PRN koda je jednako vremenu prenosa signala, pod uslovom da su taktovi (satovi) predajnika i prijemnika savršeno sinhronizovani. PRN kod uključuje i bite navigacionih podataka koji sadrže poziciju satelita koji emituje. Poznavajući poziciju jednog satelita, pozicija prijemnika leži negdje na sferi oko satelita s radijusom jednakim dometu signala. Ako su dostupna mjerenja dometa signala do tri satelita, tri sfere se sijeku u dvije tačke. Pošto se jedna tačka ne nalazi blizu Zemljine površine, druga tačka predstavlja pravi položaj prijemnika (pametnog telefona). Drugim riječima, simultano mjerenje dometa do tri satelita omogućava određivanje fiksne trodimenzionalne pozicije, kao što je prikazano na slici 2. Zbog uticaja nesinhronizacija takta (sata) prijemnika i predajnika, tri sfere se ne sijeku u zajedničkoj tački. Da bi se riješio ovaj problem, koji se smatra četvrtom nepoznatom u problemu pozicioniranja, potrebna su najmanje četiri vidljiva GNSS satelita [4].



Slika 2. Određivanje pozicije komunikacijom sa tri satelita, u slučaju idealne vremenske sinhronizacije taktova

Geolociranje zasnovano na satelitskim sistemima inherentno sa sobom nosi nekoliko izazova koji mogu izazvati greške u procjeni pozicije, među kojima se najveće greške mogu pojaviti zbog kašnjenja u jonosferi i troposferi, kao i zbog jonosferske scintilacije. Osim toga, uobičajeni izazovi koji takođe mogu povećati greške u pozicioniranju su termički šum, nekompenzirano odstupanje takta između satelita i prijemnika, *multipath* efekat, veliko slabljenje signala koje zavisi od vremenskih uslova itd. [4]. U slučaju GNSS zasnovane pomorske navigacije, prednost je postojanje linka bez prepreka između prijemnika i satelita, što povećava kvalitet primljenog signala i preciznost pozicioniranja. Rješenja za gore navedene probleme u satelitskoj geolokaciji su podijeljena u dvije kategorije: tehnike za obradu signala u realnom vremenu i tehnike naknadne obrade (post-procesiranje) signala. Tehnike obrade signala u realnom vremenu su neophodne za pozicioniranje velike preciznosti (greška pozicioniranja manja od 5 cm), što predstavlja značajan izazov u smislu potrebnih računarskih resursa i procesorske snage [4]. Ovaj nivo preciznosti nije potreban za navigaciju u pomorstvu, pa se zato koriste samo tehnike naknadne obrade signala, tamo gdje postoji potreba.

Svi Android uređaji koji koriste Android 7.0, ili novije verzije ovog operativnog sistema, pružaju mogućnost pristupa kompletnim neobrađenim (sirovim) GNSS podacima, što otvara mogućnost naknadnog procesiranja ovih podataka u cilju preciznijeg određivanja pozicije, brzine i vremena (PVT – *Position, Velocity, Time*). Po prvi put, programeri aplikacija su mogli pristupiti rezultatima mjerenja mobilnih operatora i dekodiranim navigacionim porukama sa Android zasnovanih uređaja za masovno tržište. Kroz API - `Android.location`, pruža se direktan pristup i neobrađenim GNSS mjerenjima i PVT rezultatima. Uprkos ovim prednostima i mogućnostima, korišćenje GNSS neobrađenih mjerenja nije bilo tako jednostavno kao što se na prvi pogled činilo. Godinu dana nakon što je Google objavio ovu mogućnost, samo je nekoliko aplikacija za pametne telefone koristilo Android GNSS neobrađena mjerenja. Dva su glavna razloga koja objašnjavaju ovo ograničeno prihvatanje u početnoj fazi. Prvo, stručnjacima za GNSS je u najvećem broju slučajeva bila potrebna pomoć u razumijevanju specifičnosti neobrađenih mjerenja na Androidu. Na primjer, standardni formati, kao što su RINEX ili NMEA, nijesu dostupni na Android platformi. Drugo, Java programeri koji su dobro upoznati sa Android okruženjem, obično ne razumiju detalje GNSS pozicioniranja. Kako bi iskoristila ovaj značajan iskorak vezan za dostupnost neobrađenih podataka na Android platformi i prevazišla početne poteškoće u njihovoj primjeni, Evropska GNSS agencija (GSA) je u junu 2017. godine osnovala Radnu grupu

za GNSS neobrađena mjerenja, s namjerom da podijeli znanje i ekspertizu o Android neobrađenim mjerenjima i njihovoj primjeni [5]. Neka od područja primjene koja mogu imati koristi od ove povećane preciznosti, su proširena stvarnost, oglašavanje zasnovano na lokaciji, servisi vezani za bezbjednost, mobilno zdravlje i pametni gradovi. Neobrađena mjerenja takođe omogućavaju optimizaciju multi-GNSS rješenja i odabir satelita na osnovu njihovih performansi.

Još jedno tehničko rješenje koje omogućava implementaciju tehnika postprocesiranja za poboljšanje performansi pozicioniranja na osnovu korišćenja pametnog telefona je implementacija dvofrekventnog multi-konstelacionog GNSS prijemnika. Ovo rješenje se primjenjuje od 2018. godine, kada je predstavljen prvi pametni telefon sa opisanom funkcijom (Xiaomi Mi8) [4]. Kao što je ranije objašnjeno, potrebno je najmanje 4 satelita za određivanje pozicije nekog korisničkog uređaja. Da bi se ostvarilo pouzdano pozicioniranje, posebno u prisustvu većeg nivoa šuma i/ili prepreka koje onemogućavaju direktnu liniju vidljivosti prema satelitu, potrebno je ostvariti komunikaciju sa 8 do 10 satelita. U slučaju ograničene vidljivosti neba, što je uobičajeno u urbanim područjima, to se može postići samo korišćenjem multi-konstelacionog GNSS rješenja. U uslovima otvorenog neba, kada se iz jedne konstelacije (npr. samo GPS sateliti) može ostvariti komunikacija sa 8-10 satelita, dalje povećanje njihovog broja neće dovesti do veće preciznosti. To je uglavnom zbog povećanja nivoa šuma i *multipath* efekta. Korišćenje satelita iz različitih GNSS konstelacija povećava tačnost i mogućnost određivanja pozicije nekog uređaja. ESA je dala kvantifikovane podatke [4] o tome kako kombinacija satelita iz različitih konstelacija utiče na nivo pouzdanosti određivanja lokacije i na dostupnost, odnosno mogućnost povezivanja na različite kombinacije satelitskih sistema (Tabela 1).

Tabela 1. Uticaj višestrukih konstelacija na pouzdanost georeferenciranja i dostupnost

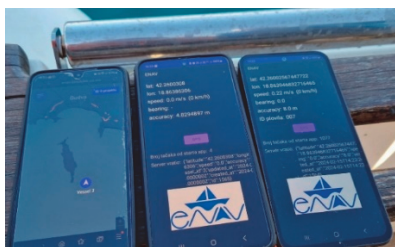
Satelitska konstelacija	Nivo pouzdanosti za horizontalno pozicioniranje u metrima		Dostupnost
	68%	95%	
GPS	13,36	25,51	97,79%
GPS + Galileo	13,36	23,78	98,04%
GPS + Galileo + GLO	11,24	21,57	98,30%
GPS + Gal. + GLO + BEI	11,17	21,44	98,30%

Dizajn pametnih telefona je fokusiran na uštedu energije, što utiče na izbor hardverskih i softverskih komponenti. U tom cilju, radi smanjenja procesa obrade GNSS podataka, vrlo često se koriste dodatni podaci koji pomažu u određivanju pozicije uređaja, kao što su podaci koji se dobijaju od javnih mobilnih komunikacionih mreža, bežičnih lokalnih mreža (WLAN – *Wireless Local Area Network*) i različitih senzora koji postoje na pametnim telefonima. Tako, na primjer, identifikator ćelije (Cell ID) koji se dobija od javne mobilne celularne mreže može poslužiti za početno određivanje pozicije uređaja u relativno kratkom vremenu, čak i u uslovima postojanja prepreka na linku prema satelitu, dok se signali koje šalje bazna stanica mogu iskoristiti i za poboljšanje tačnosti referentne frekvencije, kalibracijom lokalnog oscilatora pametnog telefona. Google-ov provajder sjedinjene lokacije [Android.gsm.position](#) koristi GNSS, mrežnu lokaciju, akcelerometar, žiroskop, barometar i magnetometar za određivanje položaja [4].

Ovo može biti od posebnog značaja za brzo ažuriranje promjene položaja i pri manjim pokretima korisnika.

Različiti istraživački timovi ispitivali su GNSS pozicioniranje pomoću mobilnih uređaja i upoređivali performanse različitih proizvoda pametnih telefona, kao i njihove performanse u smislu preciznosti i tačnosti, s drugim uobičajenim GNSS prijemnicima [6]-[8]. U [6] je pokazano da čak i stariji pametni telefoni, koji su se pojavili na tržištu 2011. i 2012. godine, mogu zadovoljiti sve politike za pozicioniranje, navigaciju i vrijeme koje je definisala Federalna vlada SAD-a u Federalnom navigacionom planu iz 2017. godine, osim one najrestriktivnije za unutrašnji plovni put, koji pretpostavlja preciznost lokacije reda 2-5m, izraženu preko dvostruke srednje kvadratne vrijednosti ($2 \text{ DRMS} - 2 \text{ times the distance of root mean square}$). Pametni telefoni koji su danas u upotrebi nude tačnost određivanja pozicije reda 3-5m [8]. Međutim, tačnost koja se može postići pri određivanju pozicije uređaja zavisi i od implementiranog GNSS čipa, tipa i položaja antene, unutrašnjeg šuma i kvaliteta prijemnika, dok neki tipovi pametnih telefona generišu nekonzistentnu pseudo-udaljenost, fazu nosioca i Doplerov pomjeraj, pa im je potreban dodatni softver da bi se postigla konzistentnost [8].

Kroz više sprovedenih eksperimentalnih testiranja u akvatorijumu Bokokotorskog i Budvanskog zaliva, upoređena je tačnost određivanja pozicije različitih Android zasnovanih pametnih telefona. Pokazalo se da pametni telefoni novijih generacija (npr. Samsung Galaxy S22, tablet Samsung Galaxy tab A9+) ostvaruju deklarisanu preciznost pozicioniranja 3-5m, u slučajevima kada su bili dobri vremenski uslovi (bez oblačnosti ili padavina). Međutim, u slučajevima lošijih vremenskih uslova, kada je prisutna niska oblačnost ili padavine, kao i kod starijih modela pametnih telefona (npr. Samsung Galaxy S21 FE), preciznost pozicioniranja u najvećem dijelu eksperimentalnog testiranja je iznosila između 5m i 11m. Slika 3 daje prikaz poređenja preciznosti određivanja pozicije sa ENAV aplikacije na pametnim telefonima Samsung Galaxy S22 (u sredini) i Samsung Galaxy S21 FE (telefon desno), dok je na telefonu koji se nalazi na lijevoj strani pokrenut prikaz koji daje razvijena serverska aplikacija za e-navigaciju ne-SOLAS plovila. Iako je veća preciznost geolociranja bitna za razvijenu aplikaciju e-navigacije, potpuno su prihvatljivi i rezultati pozicioniranja koji se ostvaruju na Galaxy S22 modelu pametnog telefona.



Slika 3. Prikaz poređenja preciznosti GNSS pozicioniranja na različitim uređajima

3. Primjena javnih mobilnih komunikacionih mreža u pomorstvu

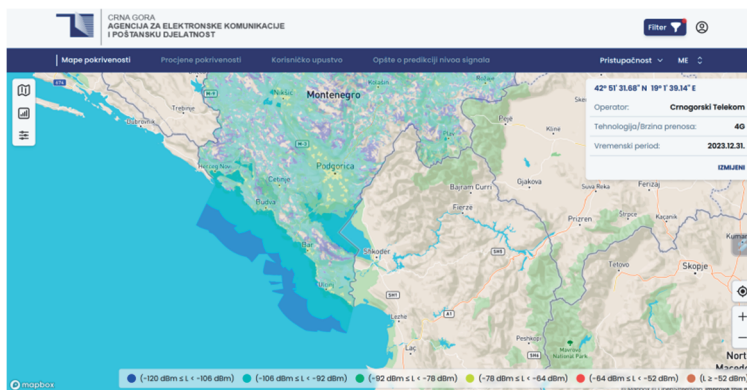
Za javne mobilne komunikacione mreže se može reći da su potpuno izmijenile način svakodnevnog ljudskog života i poslovanja, jer su za gotovo sve naseljene oblasti omogućile uspostavljanje komunikacije sa bilo kim i bilo kada, što je jedan od primarnih

ciljeva telekomunikacija. Pored toga, one danas predstavljaju dominantno rješenje za pristup Internetu za mobilne korisnike. Sa pojavom NB-IoT (*Narrowband IoT*) tehnologije u okviru 4G mreža, a posebno sa razvojem i implementacijom 5G mreža, ovi sistemi dobijaju na značaju kao platforma za razvoj različitih IoT servisa, odnosno Industrije 4.0. Zbog ograničene oblasti pokrivanja plovnih puteva, u pomorstvu se uglavnom koriste za rješenja u okviru pametnih luka, za komunikaciju pri uplovljavanju i isplavljanju brodova u luke, kao i za neka IoT rješenja u priobalnom području. Zbog pristupačnih cijena pristupa Internetu i jednostavnosti kreiranje različitih IoT rješenja oslonjenih na javne mobilne komunikacione mreže, pojedini istraživački projekti su se bavili rješenjima za povećanje dometa ovih komunikacionih sistema, radi primjene u pomorstvu [10]-[13]. Autori su u radu [10] predložili rješenje za povećanje dometa LTE mreže, sa ciljem pružanja visokih brzina prenosa podataka od 10 Mb/s u pomorskoj oblasti Južne Koreje do 100 km od obale, što je ostvareno korišćenjem baznih stanica na većim nadmorskim visinama uz obalu mora. U radu [11] autori su dali pregled aktuelnih projekata za pomorske komunikacije i predložili primjenu nove pomorske mobilne mreže (Magicnet), čija je arhitektura zasnovana na morskim plutajućim tornjevima, koji djeluju kao bazne stanice za ostvarivanje široke pokrivenosti na moru. Primjena hibridnih satelitsko-zemaljskih komunikacionih mreža za različita IoT rješenja u pomorstvu je razmatrana u [12]. Autori su u [13] dali sveobuhvatno istraživanje o primjenama pomorskih IoT tehnologija, takođe poznatih kao Internet brodova (*Internet-of-Ships - IoS*). Za predloženo rješenje e-navigacije ne-SOALS plovila, od interesa je pokrivanje signalom javnih mobilnih komunikacionih mreža priobalnog područja, gdje je najveća gustina saobraćaja ovog tipa plovila.

Ako se razmotre servisni zahtjevi predloženog rješenja e-navigacije za ne-SOLAS plovila, sama komunikacija između serverske i korisničke strane aplikacije zahtijeva veoma male brzine prenosa podataka, jer se radi o periodičnom slanju (sa najmanjom periodom od 5s) male količine podataka (reda nekoliko desetina bajta), koji sadrže informacije o identitetu, poziciji (*latitude and longitude*), brzini i pravcu kretanja plovila [2]. Najveći saobraćaj se ostvaruje između korisničke ENAV aplikacije i servera sa kojeg se preuzimaju elektronske karte, u ovom slučaju to je prema Mapbox serveru. U zavisnosti od odabranog prikaza, odnosno oblasti od interesa, potrebna brzina prenosa podataka može varirati. Na Internetu se može naći podatak da je moguće preuzeti i koristiti *offline* Mapbox elektronske karte za određene oblasti, ili čitave države, za šta je potrebno preuzeti 6000 segmenata (*tiles*) veličine oko 130 Mb. Zato ćemo smatrati da je za nesmetano funkcionisanje ENAV korisničke aplikacije potrebno ostvariti brzinu reda nekoliko Mb/s, pa ćemo se fokusirati na oblast pokrivanja 4G signalom priobalnog područja Crne Gore.

Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore (EKIP) sprovodi procjenu pokrivenosti signalom mobilnih mreža koristeći metodu predikcije polja na osnovu slabljenja signala iz najnovije verzije Preporuke ITU-R P.1812, koja se fokusira na "*A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6 GHz*" [9]. U tu svrhu, EKIP primjenjuje profesionalni softver HTZ Communications. Kao osnova za predikciju korišćena je digitalna mapa terena Crne Gore sa rezolucijom 50x50 m, uz odgovarajuće tehničke karakteristike primijenjenih baznih stanica sva tri operatora javnih mobilnih komunikacionih sistema u Crnoj Gori. Osim izbora operatora, alat za predikciju nivoa polja omogućava i izbor primijenjene tehnologije (2G/3G/4G/5G), kao i prikaz

vremenskog perioda za koji je važila data procjena (Slika 4). Procjene nivoa polja se obavljaju kvartalno. Takođe, moguće je za bilo koju tačku na mapi Crne Gore dobiti podatke o procijenjenom nivou prijemnog polja za svakog operatora javnih mobilnih komunikacionih mreža, kao i za proizvoljno izabranu tehnologiju. Ono što je od značaja za razvijeni servis e-navigacije ne-SOLAS plovila, je to što je moguće dobiti podatke i za estimirani nivo polja u oblasti teritorijalnih voda.



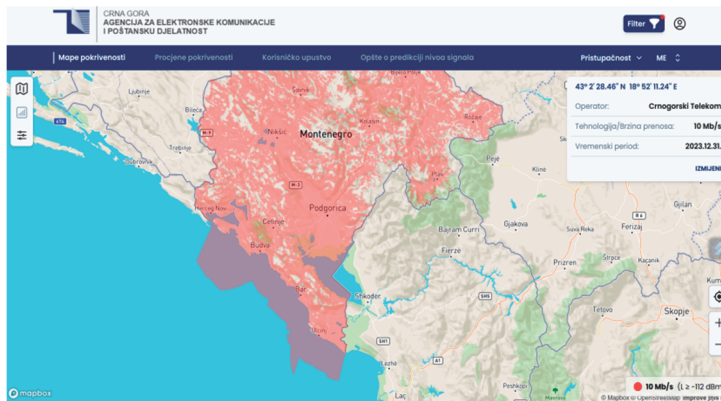
Slika 4. Pokrivenost 4G signalom Crnogorskog Telekom

Sa slike 4 se može napraviti procjena oblasti pokrivanja 4G signalom u okviru teritorijalnih voda Crne Gore. Pokazuje se da se oblast pokrivanja 4G signalom proteže između 7 i 11 NM od obale. Posebno treba istaći da su oblasti sa najvećom gustinom saobraćaja ne-SOLAS plovila, kao što su Bokokotorski i Budvanski zaliv, zatim priobalje Bara i Ulcinja, u potpunosti pokriveno 4G signalom sva tri operatora javnih mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori.

Dostupni alat EKIP-a za predikciju nivoa pokrivanja signalom mobilne telefonije na teritoriji Crne Gore, omogućava i prikaz oblasti za koje je, na osnovu nivoa signala na prijemu, jasno da mogu obezbijediti brzine prenosa veće ili jednake od 10Mb/s, nezavisno od primijenjene tehnologije (Slika 5). Sa slike 5 se vidi da je širina ove oblasti na primorju nešto manja nego što je širina oblasti pokrivanja 4G signalom, i iznosi oko 5-8 NM, ali svakako pokriva sve plovidbene zone od interesa za ne-SOLAS plovila.

4. Zaključak

Pametni telefoni, opremljeni različitim komunikacionim sistemima, uz mogućnost GNSS pozicioniranja, predstavljaju idealnu platformu za razvoj različitih IoT servisa. Koristeći navedene karakteristike savremenih pametnih telefona, predložena je IoT platforma za e-navigaciju ne-SOLAS plovila. Platforma se potpuno oslanja i zavisi od funkcionalnosti komunikacionih sistema, i to satelitskih komunikacionih sistema za GNSS pozicioniranje i javnih mobilnih komunikacionih sistema za prenos podataka između razvijene korisničke Android aplikacije (ENAV) i serverske aplikacije za prikupljanje, obradu i vizualizaciju podataka o pozicijama plovila koji su aktivirali ENAV aplikaciju, kao i za slanje povratnih informacija od servera prema korisničkoj aplikaciji.



Slika 5. *Oblasti u okviru kojih je obezbijeđen servis prenosa podataka brzinom od najmanje 10 Mb/s za korisnike Crnogorskog Telekoma*

U radu je dat prikaz načina georeferenciranja Android zasnovanih uređaja, metoda unapređenja preciznosti i pouzdanosti kroz pristup neobrađenim podacima mjerenja i prikazani su rezultati poređenja preciznosti određivanja lokacije za 2 različita modela pametnih telefona. Potvrđeno je da pametni telefoni novijih generacija ostvaruju preciznost geolociranja reda 3-5 m, i to u dobrim vremenskim uslovima, dok u slučaju nešto lošijih vremenskih uslova, ili kada se za geolociranje koriste pametni telefoni starijih generacija, preciznost lokacije je reda 5-11m. Svi dobijeni rezultati zadovoljavaju potrebe razvijenog servisa e-navigacije za ne-SOLAS plovila.

Takođe su razmatrane servisne potrebe za korišćenje ENAV aplikacije. Korišćenjem mapa koje je predstavila Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore (EKIP), pokazano je da je oblast širine 7-11NM pokrivena signalom 4G mreža, a da su oblasti sa intenzivnim saobraćajem ne-SOLAS plovila u potpunosti pokrivena 4G signalima svih mobilnih operatera, čime su ostvareni komunikacioni preduslovi za nesmetano funkcionisanje servisa e-navigacije za ne-SOLAS plovila.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je podržano od strane projekta „E-navigacija za ne-SOLAS plovila“, koji je finansirao Fond za inovacije Crne Gore, ugovor br. 644-4/23.

Literatura

- [1] SOLAS, Consolidated Edition, IMO, 2020.
- [2] I. Stanović, M. Radonjić, E. Kočan, B. Škrbić and B. Krstajić, "An Approach to the Collision Detection of Non-SOLAS Vessels Using the Concept of e-Navigation," 2024 28th International Conference on Information Technology (IT), Zabljak, Montenegro, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/IT61232.2024.10475730.
- [3] C. Specht, P.S. Dabrowski, J. Pawelski, M. Specht, T.Szot "Comparative analysis of positioning accuracy of GNSS receivers of Samsung Galaxy smartphones in marine dynamic measurements" COSPAR. Published by Elsevier Ltd, 2018.
- [4] Whitepaper on Using GNSS RAW Measurements on Android Devices, European GNSS Agency, 2017.

- [5] <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>
- [6] P. Dabove, V. Di Petra and M. Piras, “GNSS Positioning Using Mobile Devices with the Android Operating System”, ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020; 9(4):220. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040220>
- [7] F. Zangenehjad, Y. Jiang and Y. Gao, GNSS Observation Generation from Smartphone Android Location API: Performance of Existing Apps, Issues and Improvement, Sensors. 2023; 23(2):777. <https://doi.org/10.3390/s23020777>
- [8] A. Chow, D. Orendorff, M. Fu, M. Khider, S. Dane, V. Gulati. (2023). Google Smartphone Decimeter Challenge 2023. Kaggle <https://kaggle.com/competitions/smartphone-decimeter-2023>
- [9] https://www.pokrivenost.ekip.me/?period_id=4&generation_id=1&network_id=2
- [10] S.W. Jo and W. S.Shim, “LTE-maritime: High-speed maritime wireless communication based on LTE technology,” IEEE Access, vol. 7, pp. 53172–53181, 2019.
- [11] S. Guan, J. Wang, et al, “MagicNet: The maritime giant cellular network,” IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 3, pp. 117–123, 2021.
- [12] T. Wei, W. Feng, Y. Chen, C.-X. Wang, N. Ge, and J. Lu, “Hybrid satellite-terrestrial communication networks for the maritime internet of things: key technologies, opportunities, and challenges,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 11, pp. 8910–8934, 2021.
- [13] S. Aslam, M. P. Michaelides, and H. Herodotou, “Internet of ships: A survey on architectures, emerging applications, and challenges,” IEEE Internet of Things journal, vol. 7, no. 10, pp. 9714–9727, 2020.

Abstract: *The paper considers the telecommunication systems necessary for operation of the proposed solution for e-navigation of vessels that are not subject to the SOLAS (Safety of Life at Sea) convention (non-SOLAS vessels). The proposed solution is based on the development of a cloud platform and an application for smartphones, that have the ability of GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning and sending that data via public mobile communication networks to the server. The functionality of this e-navigation system, as well as its accuracy and reliability, mainly depends on the availability of telecommunication systems and the quality of their services. Current solutions, opportunities and challenges related to the positioning of Android-based devices, as well as service requirements related to sending the collected GNSS data to the server and obtaining the necessary return data, with reference to the territorial waters of Montenegro, were considered. An overview of current research and possible future directions for improving the coverage area of public mobile communication networks for maritime applications is also given.*

Keywords: *e-navigation, non-SOLAS vessels, GNSS, public mobile communication networks*

TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN PROPOSED SOLUTION FOR E-NAVIGATION OF NON-SOLAS VESSELS

Enis Kočan, Milutin Radonjić, Igor Stanovčić, Božo Krstajić

Registar ORCID brojeva autora

Prezime, Ime	ORCID broj
Antić, Boris	0000-0002-7147-9384
Blagojević, Mladenka	0000-0002-0507-6157
Bojović, Nebojša	0000-0001-5600-3807
Bondžulić, Boban	0000-0002-8850-9842
Bugarčić, Pavle	0000-0001-5956-1169
Čačić, Nataša	0000-0001-5257-1639
Čorić, Nino	0000-0002-2992-945X
Čupić, Aleksandar	0000-0002-9444-5080
Dimitrijević, Branka	0000-0002-8102-7605
Dobrodolac, Momčilo	0000-0001-8112-8329
Dumnić, Slaviša	0000-0002-6935-3969
Dupljanin, Đordije	0000-0002-2090-2138
Đogatović, Marko	0000-0003-4419-0021
Grgurević, Ivan	0000-0001-7599-8854
Grgurović, Biljana	0000-0001-5679-5437
Grozdanović, Predrag	0009-0002-3401-5799
Huskanović, Eldina	0009-0007-7441-7254
Jevtić, Nenad	0000-0002-0845-8724
Jovanović, Bojan	0000-0002-5503-7260
Knežević, Nikola	0000-0001-7282-9537
Kočan, Enis	0000-0003-2852-209X
Kosovac, Amel	0000-0002-1192-4765
Krstajić, Božo	0000-0003-1709-8895
Kostić-Ljubisavljević, Aleksandra	0000-0002-7101-3023
Lazarević, Dragan	0000-0002-5549-4859
Lipovac, Krsto	0000-0002-6207-9629
Malnar, Marija	0000-0003-1416-8253
Manović, Momir	0009-0006-2060-6968
Marković, Goran	0000-0003-1271-9277
Matijašević, Nikola	0000-0001-9157-2482
Milenković, Miloš	0000-0001-6004-1451
Milosavljević, Nataša	0000-0003-4056-089X
Milutinović, Jelena	0000-0001-9415-4825
Mikavica, Branka	0000-0003-3206-5098
Mitrović, Slobodan	0000-0002-8571-0970
Mladenović, Dušan	0000-0003-4385-9555
Mladenović, Snežana	0000-0002-3373-5391
Muharemović, Ermin	0000-0002-4944-9891
Nikolić, Miloš	0000-0001-5892-8248
Ninović, Milena	0000-0002-5873-2330
Pavlović, Boban	0000-0002-5476-7894
Peraković, Dragan	0000-0002-0476-9373
Periša, Marko	0000-0002-1775-0735
Pešić, Dalibor	0000-0001-8357-1746
Petrović, Maja	0000-0001-5723-6979
Popović, Đorđe	0009-0002-7656-6257
Radojičić, Valentina	0000-0001-9811-5663
Radonjić Đogatović, Vesna	0000-0002-2735-092X
Radonjić, Milutin	0000-0002-9670-2431
Radosavljević, Slavica	0000-0002-7285-0210
Simić, Vladimir	0000-0001-5709-3744
Smailović, Emir	0000-0001-9342-722X
Stefanović, Ivana	0000-0002-8025-8970
Stević, Zeljko	0000-0003-4452-5768
Stojanović, Mirjana	0000-0003-1073-5804
Stojanović, Nenad	0000-0001-9328-5348
Selmić, Milica	0000-0003-2507-3663
Tica, Slaven	0000-0002-1989-859X
Trifunović, Aleksandar	0000-0002-4839-8105

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.39(082)
004.72:316.774(082)
004.738.5:339(082)
656.8(497.11)(082)
004.8(082)

СИМПОЗИЈУМ о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају (42 ; 2024 ; Београд)

Zbornik radova / Četrdeset drugi Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel 2024, Beograd, 26. i 27. novembar 2024. godine ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj ; editori Valentina Radojičić ... [et al.]. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2024 (Beograd : Donat graf). - X, 269 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 300. - Str. V-VI: Predgovor / editori. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts. - Registar.

ISBN 978-86-7395-489-9

а) ПТТ саобраћај -- Зборници б) ПТТ служба -- Организација -- Србија -- Зборници в) Мултимедијалне комуникације -- Зборници г) Електронско пословање -- Зборници д) Телекомуникационе мреже -- Зборници њ) Вештачка интелигенција -- Примена -- Зборници

COBISS.SR-ID 156702985

Recenzenti radova:

Radojičić Valentina, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Bakmaz Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Bojović Nebojša, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Dimitrijević Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Đogatović Marko, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Jevtić Nenad, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Knežević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Malnar Marija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Marković Goran, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Mikavica Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Radonjić Đogatović Vesna, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Samčović Andreja, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Simić Vladimir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Stanivuković Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
Stojanović Mirjana, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Imajući u vidu redosled pojavljivanja u Zborniku, recenzenti su klasifikovali radove na sledeći način:

Originalni naučni rad: 2, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 22;
Pregledni rad: 1, 3, 4, 8, 9, 11, 15, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27.



Република Србија

Министарство науке,
технолошког развоја
и иновација



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ



Република Србија

Министарство
информисања и
телекомуникација



РЕПУБЛИКА СРБИЈА
РАТЕЛ
РЕГУЛАТОРНО ТЕЛО ЗА
ЕЛЕКТРОНСКЕ КОМУНИКАЦИЈЕ
И ПОШТАНСКЕ УСЛУГЕ



mts

