

**IT'21**

ŽABLJAK

**XXV**

*međunarodna konferencija*

**INFORMACIONE  
TEHNOLOGIJE**

*SADAŠNOST I BUDUĆNOST*

**Urednik  
Božo Krstajić**

**IT'21**

**INFORMACIONE  
TEHNOLOGIJE**  
- SADAŠNJOST I BUDUĆNOST -

**Urednik  
Božo Krstajić**

**Zbornik radova sa XXV međunarodne konferencije  
INFORMACIONE TEHNOLOGIJE - sadašnjost i budućnost  
održane na Žabljaku od 16. do 20. februara 2021. godine**

Zbornik radova  
INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost 2021

*Glavni urednik*  
Prof. dr Božo Krstajić  
Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore

*Izdavač*  
IT društvo  
Podgorica, Crna Gora  
[www.it.ac.me](http://www.it.ac.me)

*Tehnička obrada*  
Doc. dr Žarko Zečević  
Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore

Tiraž  
100  
Podgorica 2021.

*Sva prava zadržavaju izdavač i autori*

## **Organizator**

IT društvo, Crna Gora

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore

## **Skup podržali**

The Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE

Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, Univerzitet Donja Gorica

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Čikom d.o.o. informatički inženjering

## Programski odbor

Dr Miroslav Bojović, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB  
Dr Miloš Brajović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Chun-Yen Chang, National Taiwan Normal University, Taipei, TWN  
Dr Boris Dumnić, Fakultet tehničkih nauka, UNS, Novi Sad, SRB  
Dr Slobodan Đukanović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Slavko Gajin, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB  
Dr Gordana Gardašević, Elektrotehnički fakultet, UBL, Banja Luka, BIH  
Dr Sašo Gelev, Elektrotehnički fakultet, UGD, Radoviš, MKD  
Dr Dragan Janković, Elektronski fakultet, UN, Niš, SRB  
Dr Novak Jauković, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Ana Jovanović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Vujica Lazović, Ekonomski fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Budimir Lutovac, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Nenad Mijatović, Alstom Signaling LLC, Melbourne, FL, USA  
Dr Zoran Milivojević, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Niš, SRB  
Dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Aleksandar Nešković, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB  
Dr Nataša Nešković, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB  
Dr Gabriel Neagu, National Institute for Research & Development in Informatics, Bucharest, ROU  
Dr Milica Pejanović-Đurišić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Dejan Popović, akademik, ITN SANU, Beograd, SRB  
Dr Tomo Popović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE  
Dr Vesna Popović-Bugarin, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Milutin Radonjić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Igor Radusinović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Vesna Rubežić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Dušan Savić, Fakultet organizacionih nauka, UB, Beograd, SRB  
Dr Biljana Stamatović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE  
Dr Ramo Šendelj, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE  
Dr Goran Šuković, Prirodno-matematički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Nikša Tadić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Milo Tomašević, Elektrotehnički fakultet, UB, Beograd, SRB  
Dr Slavica Tomović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Zdravko Uskoković, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Zoran Veljović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE  
Dr Siniša Vlajić, Fakultet organizacionih nauka, UB, Beograd, SRB  
Dr Žarko Zečević, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

## **Organizacioni odbor**

Dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE - Predsjedavajući konferencije

Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE - Finansijski rukovodilac konferencije

Dr Žarko Zečević, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Dr Milutin Radonjić, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Dr Zoran Veljović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet, UCG, Podgorica, MNE

Dr Tomo Popović, Fakultet za informacione sisteme i tehnologije, UDG, Podgorica, MNE

Vladan Tabaš, dipl.ing., Čikom, Podgorica, MNE

Slavoljub Popadić, dipl.ing., Rudnik uglja Pljevlja, MNE

# P R E D G O V O R

Dragi učesnici i čitaoci,

Durmitor i Žabljak nikad, u poslednjih 25 godina, nije bio bogatiji snijegom, a siromašniji ljudima, dobrim raspoloženjem, žamorom i pozitivnom atmosferom. U skoro ratnim uslovima ljudi, pa i članovi ICT zajednice, su bili zaokupljeni mislima i aktivnostima koje su uzrokovane globalnom pandemijom COVID-19 virusa. No, uprkos svemu i uz podsticanje i podršku svih poklonika naše konferencije, naučno-stručni skup “INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost” je održao kontinuitet zahvaljujući tehnologijama koje promovise. Pokazalo se da je naša, odavno uvedena, praksa uključivanja videokonferencijskog sistema u proces realizacije konferencije omogućila nesmetano odvijanje ovogodišnje konferencije. Naravno, ostali smo uskraćeni za prepoznatljiva i nezaboravna druženja učesnika, ali ćemo to nadoknaditi u godinama pred nama. Nadamo se da će ovaj period ostati za nama i biti samo ružno sjećanje i podatak za istoriju, a da ćemo se mi uskoro sresti i družiti na narednim konferencijama.

Pred vama je zbornik prezentovanih radova na XXV naučno-stručnoj konferenciji „INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost 2021“, pisanih na našem jeziku i sažetaka radova koji su pisani na engleskom jeziku. Kompletni radovi na engleskom jeziku su dostupni u IEEE Xplore bazi. Programski odbor je tokom procesa anonimne međunarodne recenzije radova odabrao 42 autorska rada, od kojih su pred vama 10 kompletnih i 32 sažetka. Programski odbor se zahvaljuje autorima koji kvalitetom svojih radova doprinose kvalitetu i ugledu same konferencije prezentujući originalna postignuća svojih istraživanja. Procenat radova koji su prihvaćeni za prezentovanje je bio 67%.

Ovo je konferencija sa najmanjim brojem učesnika do sada, ali smo cilj postigli – „ostali smo u sedlu“. Sve detalje o ovom, prošlim i narednim skupovima možete naći na zvaničnoj web stranici konferencije [www.it.ac.me](http://www.it.ac.me).

Prof. dr Božo Krstajić

# SADRŽAJ

<b>AUTORSKI RADOVI.....</b>	<b>1</b>
Nevena Stamatović, Biljana Stamatović Sigurnost podataka i trendovi u oblasti njihove zaštite .....	2
Miodrag Zarubica, Vladimir Gazivoda, Ljiljana Adžić, Luka Filipović, Božo Krstajić Implementacija IPv6 u Akademsnoj mreži Univerziteta Crne Gore .....	6
Miodrag Zarubica, Luka Filipović, Jelena Terzić, Lidija Milosavljević, Vladimir Gazivoda Digitalizacija i unapređenje <i>Distance Learning platforme</i> na Univerzitetu Crne Gore tokom COVID-19 pandemije.....	10
J. Končar, S. Vučenović, R. Marić Proširena stvarnost i 3D modeliranje u elektronskoj trgovini .....	14
Jovana Forcan i Miodrag Forcan Primjena teorije grafova u oblasti elektrotehnike .....	18
Gojko Ratković, Nikša Tadić, Milena Erceg Konvertor <i>RC</i> vremenske konstante integratorskih kola u digitalni ekvivalent .....	26
Nemanja Vukotić Primjena IEC 61850 standrda u upravljanju transformatorskom stanicom .....	34
Nataša Savić, Zoran Milivojević Korekcija kontrasta slike primenom MLAGC algoritma .....	38
<b>APSTRAKTI AUTORSKIH RADOVA OBJAVLJENIH U IEEEEXPLORE-u .....</b>	<b>42</b>
Bojana Bakić, Miloš Milić, Ilija Antović, Dušan Savić, Tatjana Stojanović 10 years since Stuxnet: What have we learned from this mysterious computer software worm?.....	43
Luka Laković, Ivana Ognjanović, Ramo Šendelj, Olivera Injac Semantically Enhanced Cyber Security Model for Industry 4.0: Methodological Framework .....	44
Andrej Mihailovic, Nexhat Kapidani, Enis Kočan, Žarko Lukšić, David Merino Delgado, Spyros Antonopoulos, Marios Moutzouris A Framework for Incorporating a National Maritime Surveillance System into the European Common Information Sharing Environment .....	45
Mirjana Janjušević, Luka Lazović, Ana Jovanović and Vesna Rubežić Analysis of Ionospheric Effects on the Propagation of Chaotic Signals .....	46



Stevan Cakic, Aida Ismailisufi, Tomo Popovic, Srdjan Krco, Nenad Gligoric, Srdjan Kupresanin, Vesna Maras Digital Transformation and Transparency in Wine Supply Chain Using OCR and DLT .....	47
Luka Račić, Tomo Popović, Senior Member, Stevan Čakić, Stevan Šandi Pneumonia Detection Using Deep Learning Based on Convolutional Neural Network .....	48
Armin Alibasic, Tomo Popovic Applying natural language processing to analyze customer satisfaction.....	49
Luka Vujošević, Slobodan Đukanović Deep learning-based classification of environmental sounds .....	50
Hasan Yetis, Mehmet Karakose Collaborative Truck-Drone Routing Optimization Using Quantum-Inspired Genetic Algorithms .....	51
Hasan Yetis, Mehmet Karakose Investigation of Noise Effects for Different Quantum Computing Architectures in IBM-Q at NISQ Level .....	52
Pankhuri Jain, Anoop Kumar Tiwari, Tanmoy Som Enhanced Prediction of Animal Toxins using Intuitionistic Fuzzy Rough Feature Selection Technique followed by SMOTE.....	53
Milica Popadić, Enis Kočan, Member LiFi Networks: Concept, Standardization Activities and Perspectives .....	54
Ibrahim Mohamed Diaaeldin, Shady H. E. Abdel Aleem, Ahmed El-Rafei, Almoataz Y. Abdelaziz, Martin Čalasan Optimal Soft Open Points Operation and Distributed Generations Penetration in a Reconfigured Egyptian Distribution Network.....	55
Mostafa H. Mostafa, Samia Gharib Ali, Martin Čalasan, Almoataz Y. Abdelaziz, Shady H. E. Abdel Aleem Scenario-Based Approach for Efficient Energy Management in Microgrids Considering Parameters Uncertainty.....	56
Ahmed H. Gamaly, Ahmed M. Ibrahim, Shady H. E. Abdel Aleem, and Martin Čalasan, Member Optimal Design of Anti-Resonance Third-Order Harmonic Filters for Power Systems Operating in Non-Sinusoidal Conditions.....	57
U. Rakonjac, P. Jandrić, S. Vujnović, A. Marjanović, G. Kvašček, and Ž. Đurović One Realization of an Industrial Device for Machine State Estimation.....	58
Mihailo Micev, Martin Čalasan, Milovan Radulović Optimal design of real PID plus second-order derivative controller for AVR system.....	59
Mirjana Beko, Špiro Ivošević and Tatijana Dlabac Application of Sensors in the Corrosion Monitoring of the Ship's Structural Parts .....	60

Miodrag Forcan, Aleksandar Simović, Aleksandar Lemez, Zlatan Stojković, Marko Bošković, Dragan Manjak Modeling of Low Voltage Transformer based on Laboratory Testing Results .....	61
Pavel Chelyshkov, Pavel Brazhnikov Control of the quality of the building's information model at different stages of the life cycle .....	62
Jessie Richie N. de los Santos, Jessibel R. Suyom, Manilyn B. Comora, Giovanni N. de los Santos, Michelle G. de los Santos, Relyn C. Aruy Imbentaryo App: An Intelligent Inventory and Decision Support System.....	63
G. Seannery, A. Gui Mobile Payment Continuance Usage Intention in Indonesia.....	64
J. I. Poerjoto, A. Gui, and K. Deniswara Identifying Factors Affecting the Continuance Usage Intention of Digital Payment Services among Millennials in Jakarta.....	65
Milutin Radonjić, Member, IEEE, and Božo Krstajić, Member An Approach to Data Transfer in System for Sound Acquisition in Industrial Environment.....	66
Srećko Stamenković, Nenad Jovanović Improving Participation and Learning of Compiler Theory Using Educational Simulators .....	67
Zoran N. Milivojević, Marina Z. Milivojević, Zoran S. Veličković Accuracy of the MTseng <sub>v</sub> algorithm for on-line biometric signature classification .....	68
Zoran S. Veličković, Marko Z. Veličković, Zoran N. Milivojević Application of a Reliable Web API's in the Fight Against COVID-19 Infodemia .....	69
Luka Martinović, Žarko Zečević, Božo Krstajić Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with General Linear Dynamics .....	70
Veljko Vukadinović, Luka Martinović, Žarko Zečević, Božo Krstajić Comparative analysis of Kalman-type filters for effective wind speed estimation .....	71
Ivana Čavor Decision Tree Model for Email Classification .....	72
Miloš Brajović, Isidora Stanković, Miloš Daković, Danilo P. Mandić, Ljubiša Stanković On the Number of Channels in Multicomponent Nonstationary Noisy Signal Decomposition.....	73
Isidora Stanković, Miloš Brajović, Ljubiša Stanković, Miloš Daković Comparison of Two Image Denoising Approaches Based on Compressive Sensing Principles .....	74

# **AUTORSKI RADOVI**

# Sigurnost podataka i trendovi u oblasti njihove zaštite

mr Nevena Stamatović, prof. dr Biljana Stamatović

**Sadržaj**— Svaka organizacija teži u svom poslovanju da zaštiti svoje resurse od zloupotrebe. Jedni od najznačajnijih su svakako informacioni resursi, među njima i podaci. Brojni su rizici koji utiču na ove resurse, stoga je posebnu pažnju neophodno posvetiti njihovoj sigurnosti i zaštiti. U prvom redu očuvanju njihove povjerljivosti, integriteta i dostupnosti ( C-Confidentiality, I - Integrity i A - Availability). U radu su predstavljeni praktični koraci koji mogu dovesti do poboljšanja nivoa sigurnosti podataka koji figuriraju u organizaciji, sa posebnim osvrtom na zaštitu ličnih podataka, odnosno analizom usvojene regulative Evropske unije Opšte uredbe o zaštiti podataka o ličnosti (General Data Protection Regulation - GDPR).

## I. UVOD

Informacije su svuda oko nas, zastupljene u različitim oblicima papirnom, elektronskom, samim tim utiču na reputaciju i na vrijednost organizacije. Bezbjednost informacija je izuzetno razvijena oblast, veoma dinamična, zahtijeva veliku posvećenost onih koji se svakodnevno bave razvojem sigurnosti, kao i ogromno razumijevanje i podršku onih koji upravljaju organizacijama. Da bi se uspostavio efektivan i efikasan sistem upravljanja sigurnošću neophodno je da brojni faktori budu sinhronizovani, da se sistem kontinuirano razvija i da se stalno usklađuje sa novim standardima i regulativama. Za uspostavljanje funkcionalnog sistema zaštite neophodno je izdvojiti veća finansijska sredstva koja je potrebno uložiti u tehnološku zaštitu. Takođe posebnu pažnju treba posvetiti ljudskim resursima jer je poznato da su oni najslabija karika u lancu sigurnosti, stalno treba voditi računa o njihovoj edukaciji i usavršavanju iz ove oblasti kakao bi bili u mogućnosti da se uspješno odupru rizicima i odbrane od postojećih prijetnji. Iako zahtijeva brojna ulaganja kako u tehnologiju tako i u ljudstvo benefiti koje pruža ovakav jedan sistem su od ključnog značaja za organizaciju. U prvom redu govorimo o očuvanju vrijednosti i poslovanja organizacije, reputacije, konkurentnosti na tržištu, razvijanju povjerenja kod klijenata da su njihovi podaci sigurni i zaštićeni i da se njihova obrada vrši u skladu sa priznatim standardima i u skladu sa zakonom i odredbama koje propisuju regulative iz oblasti zaštite podataka, privatnosti i zaštite ličnih podataka. Poslovanja različitih organizacija zasnovana su na informacionim sistemima, i postoji tendencija da sve

funkcioniše elektronski i automatizovano. Takva organizacija poslovnih procesa nosi sa sobom određene rizike, što dodatno olakšava hakerima da sa malicioznim aktivnostima dođu do podataka u cilju ostvarenja lične koristi. Stoga je neophodno da organizacija uspostavi više slojeva zaštite kako bi ih osujetila u njihovim namjerama, ali i zaštitila sebe od poslovnih gubitaka usljed neimplementiranja i neusklađenosti sa regulativama. Kazne usljed nepoštovanja mogu biti enormne i iziskivati značajna materijalna sredstva kao u slučaju nepoštovanja usvojene regulative Evropske unije *Opšte uredbe o zaštiti podataka o ličnosti (General Data Protection Regulation – GDPR)*, što u ovom slučaju iznosi do 20 miliona eura, ili 4% godišnjeg prometa [1]. Organizacija koja posvećeno radi na uspostavljanju sigurnog poslovanja, svakako daje primjer i drugima u okruženju koji treba da ga slijede, i na taj način mijenja kulturu u svom okruženju.

## II. STANDARDI IZ OBLASTI BEZBJEDNOSTI

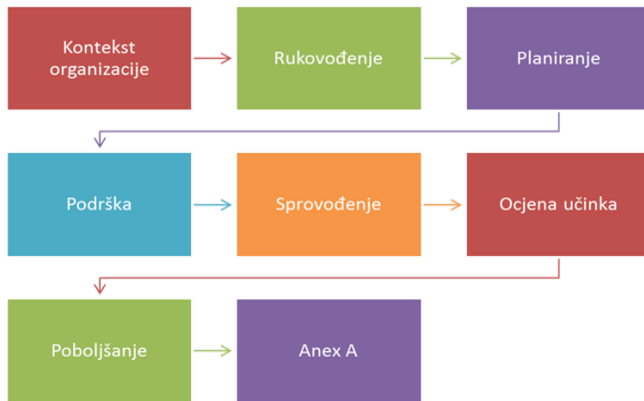
Neki od najznačajnijih međunarodno priznatih standarda iz oblasti sigurnosti su standardi sistema menadžmenta bezbjednosti informacija ISO/IEC 27001:2013 i ISO/IEC 27002, zatim COBIT5 - Okvir za upravljanje i rukovođenje IT organizacijom i standard upravljanja kontinuitetom poslovanja ISO 22301:2019. Svi navedeni standardi su međusobno usklađeni i međusobno se dopunjavaju. Implementacija ovih standarda zahtijeva kako finansijske tako i ljudske resurse, međutim taj napor na drugu stranu stvara dodatnu vrijednost u organizaciji, bilo kroz povjerenje klijenata da su njihovi podaci zaštićeni, kao i pružanje pravne zaštite jer većina ovih standarda zadovoljava uslove regulativa iz oblasti sigurnosti i privatnosti. Između ostalog u velikoj mjeri primjena ovih standarda zadovolja zahtjeve i najnovije regulative Evropske Unije GDPR i predstavljaju dobru osnovu za njenu implementaciju. Implementacija standarda takođe obezbjeđuje i prednost u odnosu na konkurentske kompanije, što je jedan važan aspekt svakako. Obezbuđuje i značajnu finansijsku uštedu dugoročno, bez obzira na primarnu investiciju, uspostavljanje ovih standarda u organizaciji će omogućiti organizaciji da stvori otporan i elastičan sistem koji će je zaštititi od brojnih napada spolja i iznutra koji bi mogli imati za posljedicu velike finansijske gubitke. I ono što sigurno obezbjeđuju to je dobra organizacija, zasnovana na proceduralnom pristupu i stalnoj analizi poslovnih procesa

---

mr Nevena Stamatović: Centralna banka Crne Gore, Podgorica, Univerzitet Donja Gorica, FIST, e-mail: [nevena.vukcevic@udg.edu.me](mailto:nevena.vukcevic@udg.edu.me)  
prof. dr Biljana Stamatović, Univerzitet Donja Gorica, FIST, e-mail: [biljana.stamatovic@udg.edu.me](mailto:biljana.stamatovic@udg.edu.me)

gdje svako u organizaciji ima svoju ulogu i odgovornost u kompletnom procesu.

Ono što standardi iz oblasti bezbjednosti pružaju organizaciji jeste pristup kontinuiranog napretka, kroz opšte prihvaćeni PDCA (Plan-Do-Check-Act) tj. Planiraj-Uradi-Provjeri-Djeluj model koji se koristi kao osnov u Menadžmentu sistema bezbjednosti informacija (ISMS-Information Security Management System). Da bi se implementirao ISO/IEC 27001:2013 standard neophodno je da organizacija implementira niz procesa koji su prikazani u nastavku, [2] Slika 1.



Slika 1. Grafički prikaz obaveznih koraka prilikom implementacije ISO/IEC 27001:2013

### III. GDPR REGULATIVA I PRAVA KOJA ŠTITI

Jedna od ključnih sfera, kada govorimo o zaštiti podataka, svakako jeste zaštita podataka o ličnosti. Posebnu aktuelizaciju ova tema je doživjela 25. maja 2018. godine kada je stupila na snagu regulativa Evropske unije Opšta uredba o zaštiti podataka o ličnosti GDPR. Ova uredba usvojena je od strane Evropskog Parlamenta 2016-te godine s tim da je njeno stupanje na snagu planirano za maj 2018.-te godine, kako bi zemlje članice Evropske unije imale vremena da usklade nacionalna zakonodavstva sa ovom uredbom. Ova uredba samo je nastavak ranije regulative Evropske unije o zaštiti podataka (EU Data Protection Directive 95/46/EC).

Ključna stvar kada je primjena GDPR-a u pitanju jeste da je ona obavezujuća za sve zemlje članice Evropske unije, ali da se takođe primjenjuje i u zemljama koje nisu članice, a u kojima se obrađuju podaci građana Evropske unije. Danas to praktično predstavlja cijeli svijet. Organizacije u svakom trenutku moraju znati gdje su i na koji način se obrađuju lični podaci i u koju svrhu se smiju koristiti. Ono što propisuje ova regulativa osim zaštite podataka, jesu i brojne druge obaveze koje obrađivači moraju da ispunjavaju poput: obaveze postojanja funkcije Data Protection Officer - DPO (koja predstavlja osobu ili tim u kompaniji u zavisnosti od njene veličine koja je samo zadužena za zaštitu ličnih podataka, takođe ova funkcija može biti autorsovana – može je obavljati neki drugi privredni subjekat koji se bavi ovim pitanjem), zatim prijavu nadzornom tijelu u roku od

72h ukoliko se desi bezbjednosni incident vezan za lične podatke, zatim obezbijediti klijentima ostvarivanje prava na zaborav. Korisnik može tražiti da se svi njegovi podaci izbrišu, a organizacija mora omogućiti realizaciju ovog procesa na taj način da korisnik dobije povratnu informaciju o ispunjenju njegovog zahtjeva. Imajući u vidu da je ovo oblast koja se graniči kako sa pravom tako i sa bezbjednošću informacija, kao izbor za osobu koja će vršiti funkciju DPO najbolje se opredijeliti za nekog ko je po profesiji pravnik sa veoma dobrom osnovom iz oblasti sigurnosti podataka, ili obratno. Ono što je neophodno da bi organizacija mogla da obrađuje lične podatke, jeste da obezbijedi saglasnost klijenata.

Usvajanje jedinstvene regulative na nivou Evropske unije, omogućilo je brojnim kompanijama čiji se posao odvija u više zemalja članica, da kad jednom usklade svoje poslovanje sa uredbom prenesu to i na ostale članice poslovanja i na taj način uniformno upravljaju ličnim podacima. Ono što je takođe važno istaći jeste da većina kompanija koje su usklađene sa ISO/IEC 27000 serijom standarda o bezbjednosti informacija imaju dobru polaznu osnovu i u velikoj mjeri pokrivaju usklađenost sa GDPR uredbom u dijelu sigurnosti i kontrole podataka. Ova činjenica svakako će imati pozitivne konotacije kod regulatornih tijela koja kontrolišu poslovanje organizacija.

Opšta uredba o zaštiti podataka o ličnosti GDPR, kao što se vidi i iz naziva regulative, prvenstveno se odnosi na zaštitu ličnih podataka. Svi drugi podaci koji se ne smatraju ličnim nisu predmet ove uredbe. Ličnim podacima (personally identifiable information PII – podaci koji mogu dovesti do identifikacije ličnosti), smatraju se oni podaci koji sa vjerodostojnošću mogu dovesti do otkrivanja identiteta neke osobe. Brojna nacionalna zakonodavstva država članica Evropske unije kao i ostale zemlje imaju Zakon o zaštiti ličnih podataka ili slične zakone koji se bave ovim pitanjem, međutim skup podataka koji se na osnovu GDPR smatraju ličnim je proširen i precizno definisan.

U tu grupu spadaju: ime i prezime osobe, matični broj, lokacijski podaci, bankovni podaci (broj računa, podaci sa kreditne kartice), biometrijski podaci (otisak prsta, sken rožnjače), zdravstveni podaci, genetski podaci, vjerska i filozofska ubjedenja, etnička pripadnost, ekonomsko stanje, članstvo u sindikatu, seksualna orijentacija, IP adrese, e-mejl adresa, kolačići u internet pretraživaču, [3]. Kompanije koje obrađuju podatke predstavljaju obrađivače podataka. One kompanije koje prikupljaju podatke od korisnika su voditelji obrade, a instrukcije za obradu podataka daju izvršiteljima obrade. Vrlo često je u pitanju ista organizacija, međutim može biti i drugačije, na primjer u slučaju autorsovanja ovih procesa, recimo pružaoci usluga u kladu su primjer spoljašnjih obrađivača podataka.

GDPR donosi brojne nove obaveze organizacijama koje obrađuju podatke građana Evropske unije, svakako organizacije su dužne uskladiti i organizovati svoje poslovanje kako bi bile u mogućnosti da ispoštuju zahtjeve ove uredbe. Osnovni princip uredbe je takozvani "data protection by design and by default" [4], tj. zaštita podataka

po pravilu, koja takođe mora biti ugrađena i u proces obrade podataka.

GDPR-om su definisani određeni zahtjevi koji moraju biti ispoštovani. Ti zahtjevi podrazumijevaju sljedeće:

- podaci se smiju obrađivati samo na valjanoj zakonskoj osnovi, na pošten i prema osobi čiji se podaci obrađuju transparentan način
- obavezno je navođenje svih svrha obrade u koje se podaci prikupljaju
- prikupljati se samo smiju oni podaci koji su relevantni i potrebni za ispunjavanje svrhe za koju se obrađuju
- podaci trebaju biti tačni i ažurni
- podatke ne smijete čuvati duže od vremena koje je potrebno za ispunjavanje svrhe u koju su prikupljeni
- dužni ste lične podatke zaštititi od nezakonite i nedozvoljene obrade, slučajnog gubitka ili uništenja
- morate biti u stanju dokazati usklađenost s gore navedenim principima

Ono što je jako važno istaći jeste da GDPR temelji jedan od najvažnijih principa, a to je transparentnost prema osobama čiji se podaci prikupljaju. On se ogleda u sljedećem:

- U izjavi o privatnosti neophodno je taksativno navesti sva prava koja osobama pripadaju
- Izjavu o privatnosti smjestiti na vidljivo mjesto na web stranici
- Izjavu napisati jednostavnim i lako razumljivim jezikom
- prevesti izjavu na sve jezike na kojima posluje organizacija
- upoznati osobe čiji se podaci obrađuju s Izjavom o korišćenju "kolačića" (Website Cookies - „kolačići” tekstualni fajlovi u kojima se bilježe podaci o aktivnosti korisnika na web sajtu).

Pravni osnov za obradu ličnih podataka je opravdan i dozvoljen u slučaju da se podaci obrađuju u svrhu:

- osoba je dala pristanak da se njeni podaci obrađuju
- obrada je neophodna radi izvršenja ugovora između dvije strane
- obrada je neophodna za poštovanje zakonske odredbe
- obrada je neophodna da bi se štitili vitalni interesi osobe čiji se podaci obrađuju ili neke druge osobe
- obrada je neophodna u cilju zaštite javnog interesa ili vršenja službenih ovlaštenja
- obrada je neophodna u svrhu legitimnih interesa koju vrši nadzorno tijelo, sve dok se osnovna prava i slobode ne narušavaju, [5].

#### IV. FAZE U IMPLEMENTACIJI

Implementacija GDPR regulative je proces koji zahtijeva brojne resurse, među njima ljudske, materijalne, organizacijske i tehničke. U nastavku će biti prikazane faze kroz koje je neophodno proći prilikom implementacije ove regulative u organizaciji. Da bi jedna organizacija implementirala GDPR neophodno je da zadovolji određeni niz procesa koje možemo nazvati faze u implementaciji, [6]. Te faze možemo podijeliti u sljedeće grupe:

*-Upravljanje životnim ciklusom ličnih podataka (uspostavljanje okvira za upravljanje ličnim podacima, upravljanje Procesnim registrom, Politika privatnosti, pravila za saglasnost i Izjava o saglasnosti, definisanje pravila za Zahtjeve osoba čiji se podaci obrađuju, pravila upravljanja žalbama korisnika)*

*-Identifikacija i klasifikacija ličnih podataka (Upravljanje životnim ciklusom podataka, sprovođenje procesa identifikacije ličnih podataka, sprovođenje klasifikacije podataka, Registar ličnih podataka, pravo na zaborav i upravljanje zahtjevima za brisanjem podataka)*

*-Upravljanje rizikom po bezbjednost ličnih podataka (Sprovođenje procjene rizika, sprovođenje analize uticaja na zaštitu podataka (Data Protection Impact Assessment - DPIA), upravljanje tretmanom rizika, i reevaluacija rizika i ocjena efektivnosti kontrola.*

*-Upravljanje sigurnošću ličnih podataka*

*-Organzacija DPO funkcije (upravljanje DPO funkcijom, upravljanje budžetom i resursima, saradnja sa unutrašnjim linijama u organizaciji, upravljanje procesom izvještavanja, kreiranje odgovarajućeg programa, edukacija, trening).*

Upravljanje životnim ciklusom ličnih podataka između ostalog podrazumijeva implementaciju Politike privatnosti i pravila za saglasnost kao i Izjave o saglasnosti. Saglasnost za obradu ličnih podataka, mora biti definisana nizom pravila, koji su usvojeni na nivou organizacije, jasno iskomunicirani i praćeni nizom formalnih i administrativnih procedura. Identifikacija i klasifikacija ličnih podataka, predstavlja jedan od ključnih elemenata usklađenosti sa GDPR uredbom, odnosi se na cjelokupan proces obrade ličnih podataka, tj. životnog ciklusa podataka počev od njihovog prikupljanja tj. identifikacije, klasifikacije, smještanja u Registar ličnih podataka pa sve do ispunjenja Zahtjeva za njihovim brisanjem.

Nakon Klasifikacije podataka, definišu se pravila za uključenje u Procesni registar Slika 3. [7], kao i Registar ličnih podataka Slika 4. [8], njihova međusobna veza kao i kontrole za obradu podataka. U Registru ličnih podataka je definisano šta se sve obrađuje kao i razlog obrade podataka.

Stavka	Primjer/Objašnjenje
<b>Primarni ključ</b>	Koristite numerički ili alfanumerički ključ; može biti naziv seta ličnih podataka
<b>Proces</b>	Veza sa standardnim procesom ili identifikatorom
<b>Vlasnik procesa</b>	U skladu sa strukturom organizacije definisati vlasnika procesa
<b>Aktivnosti/koraci u okviru procesa</b>	
<b>Lični podaci koji se koriste (specificirati resurse)</b>	Uključite sve reference na resurse ličnih podataka koje ovaj proces ili aktivnosti u okviru ovog procesa koriste
<b>Svrha korišćenja resursa</b>	Objasnite svrhu korišćenja ovih resursa za realizaciju procesa, zbog čega su informacije neophodne
<b>Rezultati procesa</b>	Opišite očekivane rezultate procesa (npr. utvrđen identitet i prosljeđen dijelu za plaćanja)
<b>Ulazni procesi ili aktivnosti</b>	Odakle ovaj proces ili aktivnost dobija informaciju, koji lični podaci su poslali iz gornjeg procesa
<b>Izlazni procesi i aktivnosti</b>	U koje izlazne procese se distribuiraju resursi ličnih podataka
<b>Vlasništvo nad procesom</b>	Specificirati nadležnost u okviru koje se odvija proces;
<b>Treće strane</b>	Navesti sve treće strane koje imaju dodira sa ovim procesom ili aktivnostima koje su dio njega

Slika 2. Primjer Procesnog registra

Resurs	Opis
Primarni ključ	Koristite numerički ili alfanumerički ključ; može biti ime za određenu sekvencu podataka
Tip informacione vrijednosti	
Vlasnik informacione vrijednosti	
Obrađivač informacione vrijednosti ukoliko je delegiran od strane vlasnika	
Izvor informacije	
Posebne kategorije ukoliko postoje	
Nivo zaštite	
Format podatka	Elektronski, papirni, permanentni, prelazni, slika
Svrha prikupljanja i obrade	Unesite svrhu definisanu GDPR uredbom
Tip skladištenja podataka	Fizički, hard disk, traka, SAN-NAS, cloud i drugi
Instanca storidž sistema	Specificirajte dio storidža na kojem se nalaze podaci, jasan identifikator lokacije
Vlasništvo nad procesom	Definišite sve djelove u kojima se obrađuju lični podaci uključujući i bekap lokacije
Spisak svih lokacija na kojima se podaci nalaze	Napravite listu svih lokacija na kojima se podaci nalaze uključujući bekap lokacije
Period čuvanja	Maksimalni svrsishodni period čuvanja. Uključite i moguće periode produžetka čuvanja na pr. u svrhu obračuna poreza i sl.
Prava i uzrok pristupa	Obezbjedite informacije o pravima pristupa podacima
Eksporti podataka, dalja obrada	Navedite bilo koju vrstu eksporta podataka, ili dalje obrade, slanje kopije putem emejla i slično, navodeći specifičnu svrhu
Dijeljenje sa treći stranama ukoliko su zastupljene u procesu	Navedite sve treće strane kojima podaci mogu biti prosljeđeni, uključujući svrhu slanja i tamo gdje je moguće navesti referencu sa Ugovorom o obradi podataka sa trećim stranama ukoliko ga ima
Način dijeljenja podataka sa trećim stranama ukoliko ih ima	Navedite način na koji se ovaj proces realizuje, putem emejla elektronski, kriptovano u okviru baze podataka, remote pristupom
Dodatna obrada podataka	Navedite uslove pod kojima treće strane mogu obrađivati podatke, uključujući adekvatnost, dodatne mjere za svaki pojedinačni slučaj

Slika 3. Primjer Registra ličnih podataka

Dio ovog procesa predstavlja i brisanje podataka, bilo da se radi o planiranom brisanju nakon ispunjenja svrhe za koji su podaci uzeti u proces obrade, bilo na zahtjev vlasnika ličnih podataka. Obrada ličnih podataka svakako podrazumijeva brojne rizike kojima je proces izložen, stoga je neophodno upravljati rizicima po bezbjednost ličnih podataka na adekvatan način. Jedan od koraka u sprovođenju uredbe svakako jeste i realizacija faze u kojoj se sprovodi Analiza uticaja na zaštitu podataka, koja podrazumijeva definisanje uticaja materijalizacije za svaki prepoznati rizik. Obrada ličnih podataka zahtijeva primjenu adekvatnih i efektivnih sigurnosnih mjera koje moraju biti sprovedene nad ličnim podacima koji se obrađuju. Neke od tih mjera podrazumijevaju:

- sprovođenje procesa pseudonimizacije i anonimizacije podataka (anonimizacija i pseudonimizacija predstavljaju metode zaštite podataka koje onemogućavaju direktnu identifikaciju ličnih podataka)
- sprovođenje procesa enkripcije
- obezbjedenje stalnog očuvanja povjerljivosti, integriteta, dostupnosti podataka kao i otpornost procesa obrade i usluga
- omogućavanje procesa povratka i dostupnost podataka u slučaju fizičkog ili tehničkog incidenta
- obezbjedenje postupaka za redovno testiranje i ocjenu efektivnosti postojećih tehničkih i organizacionih mjera koje omogućavaju sigurnost obrade.

U većini slučajeva GDPR propisuje da sve organizacije koje se bave obradom ličnih podataka moraju imati zaposlenu osobu koja se bavi usklađenošću organizacije sa uredbom GDPR, takozvani Službenik za zaštitu podataka.

Incidenti vezani za zaštitu podataka predstavljaju jako važan aspekt GDPR regulative. U skladu sa GDPR-om ukoliko se desi incident organizacija je u obavezi da obavijesti kako nadzorno tijelo tako i osobe čiji su podaci ugroženi potencijalnom kompromitacijom. Službenik za zaštitu podataka dužan je da u najkraćem roku 72h od kada je organizacija posatala svjesna incidenta obavijesti nadzorno tijelo, bez odlaganja, [9]. Ukoliko se desi bilo kakvo odlaganje ono mora biti obrazloženo. Što se tiče obavještenja osobama čiji su podaci kompromitovani ono može biti produženo u slučaju da kompromitacija ne ugrožava njegova prava, na primjer da su podaci bili kriptovani. Ovaj proces upravljanja incidentima mora biti dio već uspostavljanog Procesu za upravljanje incidentima u okviru organizacije, kao i odgovori na incident koji moraju biti dio postojećih Planova kontinuiteta poslovanja i otpornosti.

## V. ZAKLJUČAK

Primjenjujući principe i kontrole navedene i obrađene u radu izvodi se zaključak da je moguće uspostaviti uspješan, efektivan i efikasan sistem upravljanja sigurnošću u organizaciji. Da bi ovakav sistem bilo moguće uspostaviti od ključnog značaja je podrška i uključenost najvišeg rukovodstva u organizaciji. S obzirom da je ova oblast veoma dinamična i u uslovima novih okolnosti u svijetu veoma promjenljiva neophodno je stalno pratiti trendove u oblasti sigurnosti i unaprjeđivati postojeći sistem. Uvijek treba voditi računa o usklađenosti sa zahtjevima propisanih regulativa kako bi organizacija u kontinuitetu očuvala svoju reputaciju i poslovanje. Neophodno je da svi sistemi u okviru organizacije funkcionišu sinhrono, razmjenjujući međusobne zahtjeve, a imajući u vidu da su podaci prožeti kroz sve poslovne procese i aktivnosti u organizaciji, proizilazi i potreba da je neophodno voditi računa o njihovoj sigurnosti.

## LITERATURA

- [1] <https://www.cert.hr/stupila-na-snagu-opca-uredba-o-zastiti-osobnih-podataka-gdpr/>
- [2] International Standard ISO/IEC 27001:2013
- [3] General Data Protection Regulation, član 83., stav 6., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=EN>
- [4] <https://gdpr.eu/checklist/>
- [5] General Data Protection Regulation, član 6, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=EN>
- [6] Implementing the General Data Protection Regulation, ISACA publication
- [7] Implementing the General Data Protection Regulation, Anex 4 Sample Processing register, ISACA publication
- [8] Implementing the General Data Protection Regulation, Anex 3 Sample Personal data register, ISACA
- [9] Implementing the General Data Protection Regulation, DPP6.3 Perform Incident and Crisis Management, ISACA publication

# Implementacija IPv6 u Akademskoj mreži Univerziteta Crne Gore

Miodrag Zarubica, Vladimir Gazivoda, Ljiljana Adžić, Luka Filipović, Božo Krstajić

**Sadržaj**—U radu je prezentovana implementacija IPv6 protokola u Akademskoj mreži Univerziteta Crne Gore, kako u IT Centru, tako i u mreži jedne od članica. Postupci primjene, planom preporučenog modela migracije iz IPv4 u IPv6 i *Dual Stack* tehnologije i njihove prednosti su diskutovane i obrazložene. Takođe je prikazan koncept segmentacije novog adresnog IPv6 opsega i migracija javnih servisa na novi IP protokol.

**Ključne riječi** : IPv6, *Dual Stack*, IPv4, tranzicija

## I. UVOD

Razvojem interneta kao globalne računarske mreže, širenjem granica dostupnosti i pojavom sve većeg broja aplikacija i servisa, broj korisnika interneta se svakim danom povećava. Uz porast broja korisnika, raste i potreba za sve većim brojem javnih IP adresa, čiji se broj bliži ukupnom broju dostupnih adresa. Zbog toga se moralo potražiti rješenje za novim protokolom koji sadrži veći opseg IP adresa koje će moći da zadovolje potrebe novog interneta. Razvijen je novi protokol IPv6 koji za adresiranje uređaja koristi adresu od 128 bita.

Velike *web* kompanije Google, Yahoo i Facebook u cilju testiranja počele su 2011. godine da koriste adrese IPv6 protokola, dok se 2012. godina smatra godinom početka zvaničnog korišćenja IPv6 protokola [1]. Iako neophodan, implementacija IPv6 protokola do početka 2021. godini nije premašila 1/3 internet hostova [2].

Prateći svjetske trendove razvoja, Centar informacionog sistema (CIS) Univerziteta Crne Gore (UCG), kao administrator Akademске mreže u svoj plan aktivnosti je uvrstio i implementaciju IPv6 protokola. Napravljen je plan implementacije i urađena je segmentacija dobijenog adresnog opsega s procjenom daljeg razvoja Akademске mreže.

U radu je opisana praktična realizacija implementacije IPv6 protokola u centru Akademске mreže UCG i povezivanje s Elektrotehničkim fakultetom UCG.

Miodrag Zarubica, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [miodrag@ucg.ac.me](mailto:miodrag@ucg.ac.me));

Vladimir Gazivoda, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [vladg@ucg.ac.me](mailto:vladg@ucg.ac.me));

Ljiljana Adžić, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [ljilja@ucg.ac.me](mailto:ljilja@ucg.ac.me));

Dr Luka Filipović, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [lukaf@ucg.ac.me](mailto:lukaf@ucg.ac.me));

Prof. dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [bozok@ucg.ac.me](mailto:bozok@ucg.ac.me)).

## II. PREDNOSTI IPv6 PROTOKOLA

Međunarodna organizacija ISO (International Standardization Organization) definisala je opšti model komunikacionih sistema kao OSI (Open System Interconnection) model. OSI predstavlja slojeviti model kojim se specificira način komunikacije između mreža, korišćenjem različitih protokola datih za sedam nivoa pojedinačno (fizički nivo, nivo veze, mrežni nivo, transportni nivo, nivo sesije, nivo prezentacije i nivo aplikacije) [3].

Savremene komunikacione mreže zasnovane na internetu koriste *Internet Proctokol Suite* referentni model, koji je kombinacija protokola za različite vrste i potrebe. Dva glavna protokola u ovom modelu su TCP (*Transmission Control Proctokol*) i IP (*Internet Proctokol*) [4]. TCP/IP protokol je standardizovan i u širokoj je upotrebi od verzije 4, a prva standardizovana verzija nazvana je IPv4 [3], [4].

Razvojem i širenjem internet mreže i sve većom ekspanzijom i trendom razvoja za koji je očekivati da će se nastaviti, uočeni su nedostaci u IPv4 protokolu. Kako bi se otklonili nedostaci i omogućila dalja ekspanziju internet mreže, razvijen je novi protokol IPv6 [3].

IPv6 protokol je ključni uslov za dalji nastavak razvoja interneta, proširenjem adresnog opsega koji je od IPv4 dostigao maksimum i pokazao se ograničenim s aspekta realizacije koncepta nove generacije interneta. IPv6 povećava adresni prostor sa 32 na 128 bita, čime su stvoreni uslovi za podršku očekivanom rastu broja objekata koji čine osnovu *Internet of Things* (IoT) koncepta [3], [5].

Povećanjem adresnog prostora omogućilo se unapređenje nekih IPv4 funkcija, kao i dodavanje potpuno novih funkcija u IPv6 specifikaciji. Značajno je unaprijeđena funkcija autokonfiguracije [3].

Za razliku od IPv4, IPv6 nudi automatsku konfiguraciju uz vrlo jednostavne mehanizme konfiguracije (*plug-and-play*). Naime, zahvaljujući tome što se isporučuje kompletan IP prefiks, a ne samo adresa, uređaj ima mogućnost automatske konfiguracije sopstvene IPv6 adrese i za to mu nije potrebna asistencija servera. Pri tome, ako je prisutan IPv6 ruter, svaki uređaj koji podržava IPv6 može generisati ne samo lokalnu adresu već i globalno rutabilnu adresu, i na taj način dobiti pristup globalnom internetu. Uz opisanu mogućnost autokonfiguracije, kod IPv6 zadržana je i opcija DHCPv6, odnosno autokonfiguracije slične IPv4 DHCP [3].

Brzina rutiranja IP paketa je povećana kod IPv6 mreža, što s aspekta aktuelnih aplikacija i servisa, kao i realizacije IoT koncepta [5], predstavlja značajnu prednost [3].



U poređenju sa IPv4, IPv6 ima mnogo jednostavniju strukturu zaglavlja paketa koje je dizajnirano na način da minimizira vrijeme i postupke potrebne za njegovu obradu. To je postignuto pomjeranjem polja opcija i eventualno ostalih polja u ekstenziju zaglavlja, tako da se samo zaglavlje IPv6 paketa efikasnije obrađuje na ruterima. S obzirom na to da u takvim uslovima ne postoji potreba da ruter provjerava kontrolnu sumu, njegov softver ili hardver postaje jednostavniji uz omogućavanje brze obrade paketa, čime se smanjuje ukupno kašnjenje obrade, a time se postiže i poboljšanje performansi cijele mreže [3], [4].

Postoji i čitav niz drugih razloga koji predstavljaju značajne izazove u mrežama zasnovanim na IPv4 protokolu i koji se prevazilaze upravo implementacijom IPv6 [3].

Uvođenjem obavezne podrške za sigurnost na mrežnom nivou (IPSec), IPv6 je nominalno u značajnoj prednosti u odnosu na IPv4 kod koga ne postoji mogućnost validacije adrese izvorišta, s obzirom na to da ruteri preusmjeravaju pakete isključivo na osnovu određene adrese. Obezbeđujući *end-to-end* zaštitu preko IPSec protokola, IPv6 aplikacijama može pružiti garancije o autentičnosti i povjerljivosti razmijenjenih podataka, čime se eliminiše potreba da same aplikacije implementiraju te funkcionalnosti. Takođe, korišćenjem istih mehanizama zaštite za sve aplikacije, implementacija i administriranje funkcija zaštite postaje mnogo jednostavnije, ali umanjuje fleksibilnost s aspekta same aplikacije [3].

Značajan izazov u mrežama s tradicionalnom arhitekturom je mobilnost korisnika, odnosno intenzivno i kontinuirano povećanje penetracije mobilnog interneta [3].

Kod IPv6, podrška za mobilnost se ostvaruje implementacijom *Mobile IPv6* (MIPv6) protokola, koji ima ugrađenu funkciju optimizacije prenosnog puta. Dodatne funkcije, kao što su otkrivanje susjednih uređaja (*Neighbor Discovery*) i autokonfiguracija adrese, omogućavaju mobilnim uređajima (čvorovima) da funkcionišu na bilo kojoj lokaciji bez potrebe za uključivanjem posebnog rutera. Zahvaljujući *Mobile IPv6* protokolu osigurava se povezivanje sa transportnim slojem, čime se čvorovima omogućava da ostanu dostupni bez obzira na lokaciju u IPv6 mreži. Na taj način, održavaju se postojeće veze preko kojih mobilni čvor komunicira, bez obzira na promjene njegove lokacije i adresa [3].

Kvalitet servisa (QoS) i upravljanja saobraćajem takođe imaju svoja ograničenja u tradicionalnoj internet arhitekturi, posebno kada je u pitanju garantovanje kvaliteta servisa na prioritetnoj osnovi i u realnom vremenu [3].

Kod IPv6 protokola uslovi za osiguravanje traženog nivoa QoS su značajno poboljšani uvođenjem u zaglavlje novog polja „Oznake toka“ (FL), kojim se definiše način na koji se paketi identifikuju i tretiraju od strane rutera. Time se obezbeđuje efikasniji prenos podataka sa jednog kraja na drugi, bez mogućnosti da posredni uređaji dovedu do njihove eventualne modifikacije, odnosno narušavanja nivoa QoS [3].

Dodatno, korišćenjem protokola tipa *IntServ* (*Integrated Services*) i *DiffServ* (*Differentiated Services*), IPv6

omogućava zahtijevani, povećani QoS, koji je neophodan za novije aplikacije, kao što su IP telefonija, video/audio, interaktivne igre ili e-trgovina. Takođe, za razliku od IPv4 koji podržava *best effort* servis, IPv6 osigurava QoS u vidu skupa servisnih zahtjeva, kojima se garantuje poboljšani nivo performansi mreže za prenos. Pri tome, za mrežni saobraćaj kvalitet se definiše parametrima tipa: gubitak podataka, kašnjenje ili propusni opseg. U cilju implementiranja oznake za QoS, kod IPv6 se koristi polje „Tipa saobraćaja“ (8 bita) u IPv6 zaglavlju, kao i navedeno 20-bitno polje „Oznake toka“ [3].

### III. TRANSLACIONI MEHANIZMI IPv4/IPv6

Internet kakav danas poznajemo čine prirodne (*native*) IPv4, IPv6 i IPv4/IPv6 dvostruke mreže. IPv4 i IPv6 nijesu međusobno kompatibilni protokoli. U slučaju kada su na mrežnoj putanji prisutna oba protokola, a neophodno je obezbijediti da korisnici interneta ostvaruju vezu bez ikakvih ograničenja, jasno je da su potrebni tranzicioni mehanizmi. Osmišljeni su mnogi mehanizmi koji omogućavaju neometan prelazak s IPv4 na IPv6 mreže i omogućavaju komunikaciju uređaja u okruženju oba protokola. Prethodno su IPv6 mreže implementirane kao nezavisni segmenti mreže, dok se sada zahvaljujući tranzicionim mehanizmima povezuju i funkcionišu zajedno sa IPv4 mrežama [3], [6].

Više vrsta tranzicija podijeljene su u tri velike grupe:

- dvostruka konfiguracija (dual stack);
- tunelovanje (tunneling);
- translacija (translation) [3], [6].

#### A. Dvostruka konfiguracija (*Dual stack*)

Riječ je o mehanizmu koji omogućava komunikaciju uređaja u okruženju oba protokola koji rade paralelno i dozvoljava da mrežni čvorovi komuniciraju uz pomoć IPv4 ili uz pomoć IPv6 protokola. Dvostruka konfiguracija omogućava transport i IPv4 i IPv6 paketa. Odluka o tome koji protokol će se koristiti se donosi na osnovu polja verzije i tipa određene IP adrese. Iako je najrasprostranjeniji tranzicioni mehanizam, on omogućava samo komunikaciju sličnih mrežnih čvorova (IPv4 sa IPv4 i IPv6 sa IPv6 čvorovima) [3], [6].

#### B. IPv4 – IPv6 Tunelovanje

Ovaj tranzicioni mehanizam omogućava premošćavanje (*bridging*) nekompatibilne mreže.

U praksi postoji više varijanti tunelovanja, koje se uopšteno dijele u dvije kategorije:

- centralizovana – predefinisana, koju administrator ručno konfiguriše;

- automatska – koja se konfiguriše automatski (*on the fly*), na osnovu informacija koje sadrži IPv6 paket (npr. izvorišna i odredišna IP adresa). Postoje sljedeće automatske tehnike tunelovanja: 6to4, Teredo, ISATAP, Tunnel brokers, 6over4, *Dual Stack Transition Mechanism* (DSTM) [3], [6].

Ovaj mehanizam omogućava da se IPv6 paket pošalje preko IPv4 mreže. Enkapsulacija karakteristična za ovaj tranzicioni mehanizam se primjenjuje na ruteru ili hostu

izvorišta. Enkapsulacija dodaje IPv4 odredišnu adresu, IPv4 izvorišnu adresu, a u polje protokol u IPv4 zaglavlju, upisuje se 41 – vrijednost polja koja ukazuje da se radi o enkapsuliranom IPv6 paketu. Na izlaznom hostu izvršava se dekapulacija kako bi se uklonilo IPv4 zaglavlje, nakon čega se paket rutira ka odredišnoj IPv6 adresi [3], [6].

### C. Translacija IPv4/IPv6

Ovaj tranzicioni mehanizam koristi translaciju IPv4 u IPv6 na određenom nivou protokola, obično na mrežnom, transportnom ili aplikacionom nivou. Nasuprot mehanizmu tunelovanja, translacija pretvara pakete iz IPv4 protokola u IPv6 i obrnuto. U upotrebi je više metoda translacije, a najpoznatije su: SIIT, Bump in the API, Bump in the Stack, NAT-PT i druge [3], [6].

## IV. IMPLEMENTACIJA IPV6 U AKADEMSKOJ MREŽI UCG

### A. Implementacija IPv6 u IT centru Akademske mreže

Pravljenjem detaljnog plana za implementaciju IPv6 u Akademske mreže izabrana je metoda Dvostruke konfiguracije (*Dual stack*). Ova translaciona metoda je najrasprostranjenije rješenje prema iskustvima mrežnih operatera koji su već implementirali IPv6 u svojim mrežama.

Gledano sa strane Akademske mreže, ova metoda predstavlja rješenje koje izaziva najmanje promjena i modifikacija u mreži i samu translaciju i implementaciju koju korisnici u akademskoj mreži neće osjetiti.

Takođe, analizom opreme koja trenutno funkcioniše u Akademske mreže utvrdili smo da većina uređaja ima podršku za IPv6, tako da je sa finansijskog aspekta Univerzitetu Crne Gore u ovom trenutku najviše isplativ ovaj metod.

### B. Segmentiranje IPv6 adresnog prostora (planiranje adresnog opsega)

Postoji više metodologija planiranja adresnog opsega i s obzirom na segment koji je dodijeljen Akademske mreže (2A02:4280::/32), odabrali smo sljedeću kategorizaciju adresnog opsega:

$$2A02:4280:ITTJ:JJ::/56,$$

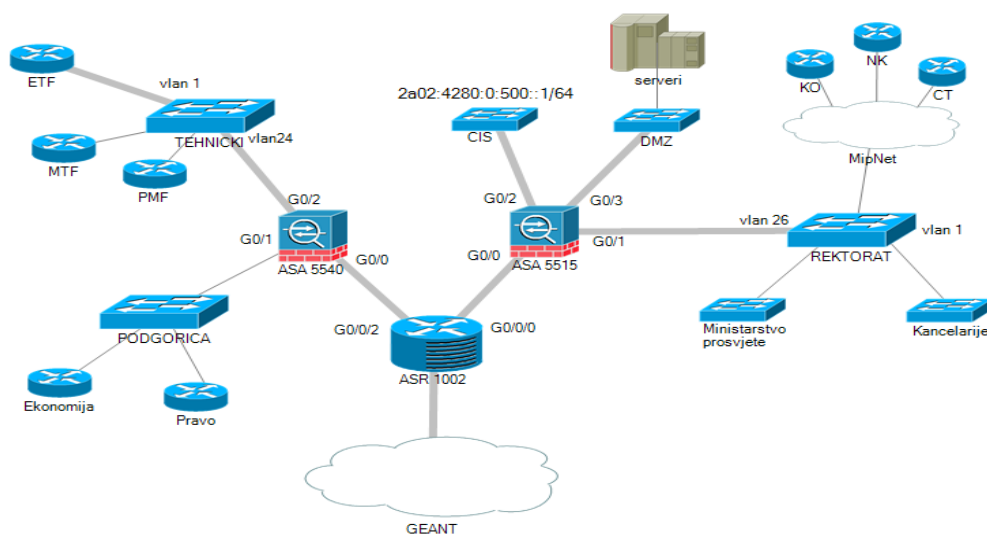
gdje „I“ predstavlja instituciju, „T“ predstavlja tip i „J“ predstavlja jedinicu.

Ovakvim odabirom kategorizacije dobijamo dovoljno fleksibilnosti za pokrivanje postojeće mreže, a takođe se ostavlja prostor za dalje širenje mreže na institucije koje trenutno nijesu dio Akademske mreže.

S obzirom na to da Akademska mreža ima uspostavljenu IPv4 adresnu šemu i svi uređaji u IT centru i granični uređaji po univerzitetskim jedinicama imaju podršku za IPv6. Zbog toga *Dual stack* predstavlja optimalno rješenje za migraciju na IPv6 zbog neznatnih izmjena u konfiguracijama uređaja i korisničkih računara.

*Dual stack* omogućava paralelno postavljanje IPv6 adresa na postojećim interfejsima. Tako je i WAN ruter konfigurisan da svi interfejsi imaju paralelne IPv6 adrese, i uspostavljen je BGPv6 prema WAN provajderu (GEANT) [7], kao i prema lokalnom *Internet Exchange Point-u* (MIXP) [8].

S obzirom na arhitekturu akademске mreže, koja je po prirodi višestruka zvijezda, postavljene su statičke rute na svim uređajima u IT centru. S unutrašnje strane, tamo gdje je bilo neophodno da se dinamički dodjeljuju adrese, omogućen je ND protokol, kojim granični uređaj propagira svoj IPv6 mrežni prefiks, a uređaji sami generišu dio adrese za svoje interfejse. Kod serverskog segmenta se nije pristupilo omogućavanju ND protokola, jer je neophodno postaviti statičke IPv6 adrese i iste propagirati DNS-om.



Slika 1. Trenutna arhitektura Akademske mreže UCG

Na Slici 1 prikazana je trenutna arhitektura Akademске mreže s uređajima koji su konfigurisani IPv6 adresama [9], [10], [11].

Uvođenje IPv6 u potpunosti je kompatibilno s postojećom konfiguracijom VLAN interfejsa i trunk interfejsa, što je bilo veoma pogodno za uspostavljanje IPv6 adresa na serverskom segmentu.

Realizovana je translacija IPv6 na kritičnim servisima koji se najviše koriste: DNS, MAIL, WEB.

Što se tiče samih servera, postavljanjem IPv6 adrese na istom interfejsu dobijamo IPv6 konektivnost, ali je trebalo konfiguracije servisa prilagoditi i podesiti takođe da funkcionišu preko IPv6 adresa. Ovdje ćemo samo pomenuti da smo za DNS, osim izmjene konfiguracije, takođe dodavali u odgovarajućim zone datotekama i AAAA direktive koje razrješavaju domensko ime u IPv6 adresu [12], [13]. Time smo omogućili da postojeći DNS razrješava osim IPv4, i IPv6 adrese, kao i da je dostupan preko IPv6 protokola [12].

Za potrebe MIXP-a [8] je kreirana nova virtuelna mašina s instancom BIRD servisa (ruting servis), koji je iskonfigurisan za rad s isključivo IPv6 adresama. U ovom paralelnom radu, ovaj *root* server oglašava se isključivo IPv6 adresama, dok postojeći *root* server funkcioniše s IPv4 adresama. Kako smo i prije pomenuli, IPv6 ne zavisi od postojeće konfiguracije VLAN-ova i *trunk* interfejsa, tako da je i ovdje implementacija protekla bez izmjene postojeće konfiguracije uređaja.



Probe	ASN (IPv4)	ASN (IPv6)	Time (UTC)	RTT	Hops	Success
14139	3320	3320	2021-01-12 11:15	49.432	8	✓
24336	12322	12322	2021-01-12 11:14	57.858	13	✓
28654	3215	3215	2021-01-12 11:14	43.796	16	✓
29674	12322	12322	2021-01-12 11:14	66.491	12	✓
32419	12322	12322	2021-01-12 11:14	78.693	10	✓
34752	3320	3320	2021-01-12 11:14	56.087	8	✓
54751	3215	3215	2021-01-12 11:14	48.125	16	✓

Slika 2. Vidljivost IPv6 adrese sajta [www.ucg.ac.me](http://www.ucg.ac.me) – RIPE Atlas test [14]

Na Slici 2 prikazan je test RIPE Atlas *traceroute* sajta [www.ucg.ac.me](http://www.ucg.ac.me) (IPv6 adresa `2a02:4280::200:89:188:43:93`), koji pokazuje da ima aktivnih IPv6 adresa iz Crne Gore i da je mreža Univerziteta Crne Gore vidljiva na internetu preko IPv6 protokola [14].

### C. Implementacija IPv6 na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore

Nakon IT centra, postepeno smo započeli plansku implementaciju IPv6 protokola na univerzitetske jedinice. Prvo je pristupljeno implementaciji novog protokola na Elektrotehničkom fakultetu kao jednoj od većih jedinica Univerziteta Crne Gore, koja po svojoj strukturi ima, takođe, funkcionalno odvojene segmente i koja se nalazi u kampusu UCG-a. Implementacija IPv6 na Elektrotehničkom fakultetu predstavlja reprezentativni primjer koji može poslužiti kao model za implementaciju na drugim jedinicama Univerziteta

za konfigurisanje njihovih uređaja i planiranje IPv6 infrastrukture.

Elektrotehničkom fakultetu je dodijeljena adresa mreže `2a02:4280:10:100::/56`. S obzirom da ovakva mreža ima 256 podmreža, ovim se omogućava velika fleksibilnost u konfiguraciji unutrašnje topologije.

Sama unutrašnja topologija je podijeljena u tri dijela: kancelarije, laboratorije/učionice i službe (studentska i računovodstvo). Prema ovome je segmentirana mreža na tri dijela i svakom dijelu dodijeljena jedna podmreža s prefiksom /64.

Prilikom implementacije IPv6 na Elektrotehničkom fakultetu, konstatovano je da je korišćen značajan broj javnih IPv4 adresa, kao i da je korišćen veliki broj privatnih IPv4 adresa u razne svrhe. To je činilo mrežu veoma komplikovanom za administriranje, a posebno upravljanje saobraćajem i sigurnosnim polisama. Implementacijom IPv6 protokola prevazilazi se ovaj problem i omogućava da svaki računar dobije jedinstvenu javnu IP adresu.

## V. ZAKLJUČAK

U radu su prezentovani rezultati prve planske implementacije IPv6 protokola u Crnoj Gori, u Akademskoj mreži UCG. Prikazan je tipični primjer migracije WAN mreže na IPv6 pomoću *dual-stack* tehnologije, a po poznatom scenariju „spolja ka unutra“ [3]. Dat je prikaz tranzicije IT centra UCG-a, koji je povezan na internet (termin „spolja“), i primjer koncepta migracije unutrašnje jedinice i njene računarske mreže (termin „unutra“).

Primjeri implementacije prikazani u ovom radu mogu, zajedno s Planom [3], poslužiti kao polazna osnova drugim ISP-ovim u CG koji žele da počnu implementaciju IPv6 protokola u svojim mrežama. Samom implementacijom IPv6 protokola, Akademsko mreža i sam UCG dobijaju značajan resurs za dalji razvoj i istraživanje.

## LITERATURA

- [1] PC press, dostupno na: <https://pcpress.rs/ipv6/>
- [2] <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>
- [3] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, „Studija Plan migracije na IPv6 u Crnoj Gori“, 2019, dostupna na: [www.ekip.me/izvjestaji/ipv6.php](http://www.ekip.me/izvjestaji/ipv6.php)
- [4] RFC 791 – Internet Protocol, DARPA Internet Program, Protocol Specification. Dostupno na: <https://tools.ietf.org/html/rfc791>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_of\\_things](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things)
- [6] A. Nikolić, „Implementacija IPv6 u MPLS u mreži u ISP okruženju“. Dostupno na: <https://raf.edu.rs>
- [7] GEANT – <https://www.geant.org/About>
- [8] MIXP – <http://www.mixp.me/>
- [9] RFC 2373 – IP Version 6 Addressing Architecture. Dostupno na: <https://tools.ietf.org/html/rfc2373>
- [10] RFC 3041 – Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration in IPv6. Dostupno na: <https://tools.ietf.org/html/rfc3041>
- [11] NAT64 Technology: Connecting IPv6 and IPv4 Networks, CISCO. Dostupno na: [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/enterprise-ipv6-solution/white\\_paper\\_c11-676278.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/enterprise-ipv6-solution/white_paper_c11-676278.html)
- [12] D. Gordon, I. Haddad, "Building a Linux IPv6 DNS Server". Open Systems Lab – Ericsson Research Corporate Unit. Dostupno na: [http://www.cu.ipv6tf.org/pdf/dns\\_v6.pdf](http://www.cu.ipv6tf.org/pdf/dns_v6.pdf)
- [13] [http://www.postfix.org/IPV6\\_README.html](http://www.postfix.org/IPV6_README.html)
- [14] <https://atlas.ripe.net/measurements/28629350>

# Digitalizacija i unapređenje *Distance Learning* platforme na Univerzitetu Crne Gore tokom COVID-19 pandemije

Miodrag Zarubica, Luka Filipović, Jelena Terzić, Lidija Milosavljević, Vladimir Gazivoda

**Sadržaj**—U radu su predstavljena unapređenja informacionog sistema Univerziteta Crne Gore u segmentu *Distance Learning*-a (DL) tokom COVID-19 pandemije. Napravljen je uporedni prikaz starog i novog sistema DL. Prikazana je integracija svih djelova DL, s opisom digitalnih servisa, njihovih tehničkih karakteristika i način implementacije. Predstavljena je uporedna statistika korišćenja DL platforme prije i tokom perioda pandemije.

**Ključne riječi:** *Moodle*, *BigBlueButton*, LDAP, SMS servis

## I. UVOD

Usljed pandemije COVID-19 [1] i ograničenog prisustva studenata i nastavnika u prostorijama Univerziteta [2], digitalne tehnologije su preuzele primat i postale sredstvo za život i rad.

Prilagođavajući se situaciji, Univerzitet Crne Gore (UCG) je standardno izvođenje nastave zamijenio digitalnim načinom, koristeći platforme za učenje na daljinu.

U ovom radu su opisane tehnologije i način na koji je Centar informacionog sistema (CIS) UCG izvršio implementaciju nove *Distance Learning* (DL) platforme u postojećem informacionom sistemu (IS). Prikazana je tehnička implementacija DL platforme i servisi koji su uključeni: *Moodle*, *BigBlueButton* i „Aktiviraj nalog“.

Urađena je uporedna analiza integracije i funkcionalnosti stare DL platforme s novom platformom u IS UCG. Prezentovani su podaci s *Google Analytics* za domen *ucg.ac.me* i broj pristupa sistemu s grafičkim prikazom.

Miodrag Zarubica, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [miodrag@ucg.ac.me](mailto:miodrag@ucg.ac.me));

Dr Luka Filipović, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [lukaf@ucg.ac.me](mailto:lukaf@ucg.ac.me));

Jelena Terzić, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [jelena@ucg.ac.me](mailto:jelena@ucg.ac.me));

Lidija Milosavljević, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [lidija@ucg.ac.me](mailto:lidija@ucg.ac.me));

Vladimir Gazivoda, Centar informacionog sistema, Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put br. 2, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [vladg@ucg.ac.me](mailto:vladg@ucg.ac.me)).

## II. STANJE PRIJE PANDEMIJE

UCG je prije pandemije koristio DL platformu *Moodle* verzija 2.5 [3]. Ova platforma nije u velikoj mjeri korišćena i nije bila integrisana u IS, već je radila kao samostalan servis. Kompletna administracija platforme se radila ručno, bez automatske sinhronizacije s IS. Administrirali su je inženjeri CIS-a na zahtjev s pojedinih jedinica UCG. Otvoreni kursevi, studenti i predavači dobijali su pristupne podatke (kredencijale) od administratora, tako da su u nekim slučajevima postojali i dupli kredencijali za različite kurseve.

TABELA I  
PODACI O KORIŠĆENJU STARE DL PLATFORME

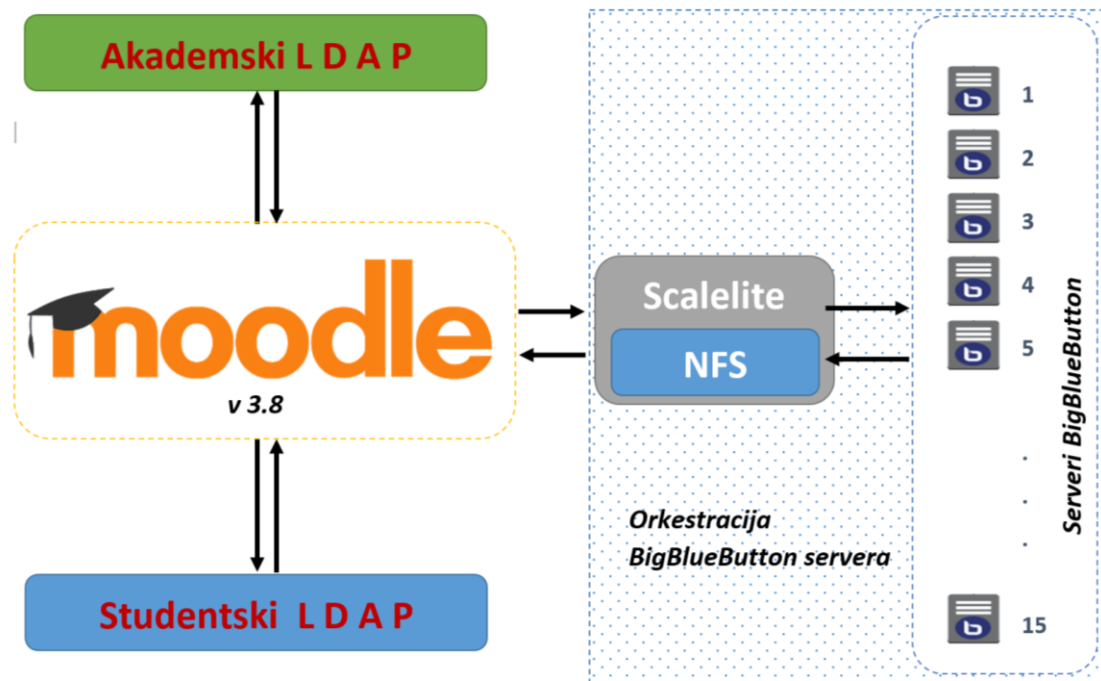
Verzija <i>Moodle</i> platform	Broj organizacionih jedinica UCG koji su koristili DL platformu CIS-a	Broj kurseva	Broj studenata
<i>Moodle 2.5</i>	5	58	7.302

U Tabeli 1, prikazani su podaci o korišćenju stare platforme DL koja je koristila *Moodle 2.5* verziju i koja je bila aktivna od 2006. do 2020. godine [3]. Koristilo je pet organizacionih jedinica za 58 kurseva, a ukupan broj registrovanih korisnika na platformi je bio 7.302. Pored navedene platforme CIS-a, postojale su i DL platforme na Ekonomskom, Pomorskom i Filološkom fakultetu, koje su takođe funkcionisale kao samostalni servisi.

Studijske 2019/20. godine zaokružena je centralizacija IS UCG instalacijom studentskog LDAP i studentskog *e-mail* servera, čime je stvorena mogućnost da svim servisima koje razvija ili je razvio CIS UCG, studenti i zaposleni mogu pristupiti svojim akademskim kredencijalima [4].

## III. UNAPREĐENJE I RAZVOJ NOVIH SERVISIA

Nakon odluke uprave UCG da se obustavi fizičko izvođenje nastave u salama, bilo je potrebno tehnički unaprijediti DL platformu i integrisati je u IS kako bi se omogućilo izvođenje nastave elektronskim putem (onlajn). S obzirom na zastarjelost DL platforme *Moodle* verzije 2.5 i činjenice da se nalazila i na staroj serverskoj infrastrukturi, njeno inoviranje u unaprijeđenu verziju i prenos na novu serversku infrastrukturu oduzelo bi veliko vrijeme, tako da je odlučeno da se instalira nova platforma.



Slika 1. Šematski prikaz *Distance Learning* platforme Univerziteta Crne Gore

#### A. Moodle

Na Slici 1 je prikazana šema nove platforme DL bazirana na verziji *Moodle* 3.8, koja je podignuta na novoj serverskoj infrastrukturi [3]. Zbog pandemije se očekivao veliki broj korisnika, postavljenih materijala i istovremeni pristup platformi, tako da su opredijeljeni značajni serverski resursi za namijenjenu virtuelnu mašinu: 24vCPU, 192 GB RAM-a, 650 GB HD, s mogućnošću dinamičke nadogradnje.

Za operativni sistem izabran je *Ubuntu* 18.04, s obzirom na to da je najnovija verzija *Moodle* 3.8 u tom trenutku bila podržana od strane ovog operativnog sistema i sistemskih biblioteka, na verziji *Ubuntu* 20.04 su postojale biblioteke novije verzije s kojima *Moodle* 3.8 nije mogao da radi.

Nakon instalacije i inicijalne konfiguracije baze i administratorskog naloga, pripremljen je izgled pristupne stranice s neophodnim podacima za korisnike. Potom je definisana integracija načina pristupa korisnika DL platformi i povezivanje s dvije baze korisničkih naloga (dva LDAP servera), koje se koriste i za ostale servise IS.

*Moodle*, kao modularna platforma, za provjeru korisničkih naloga koristi LDAP *plug-in* ili dodatak. S obzirom na to da su u pitanju dva različita LDAP servera, implementirana su dva dodatka (LDAP server i LDAP server *Sync Plus*) [4]. U ovim dodacima na početku su podešeni osnovni autorizacioni kredencijali za pristup servisima, kao i detalji za autorizaciju korisnika.

Provjeravanje kredencijala u sistemu ide skalabilno, tako da se prvo pretražuje baza za zaposlene na Univerzitetu Crne Gore, a zatim studentska baza. *Moodle* je organizovan tako

da svaki autorizovani korisnik mora imati lokalno kreiran profil, pa je tako svaki autorizovani korisnik morao da unese adekvatne detalje prilikom prvog logovanja na DL platformu [3].

Postojeći moduli uključeni u *Moodle* za organizaciju kurseva su u potpunosti zadovoljavali potrebe nastavnog osoblja. U koordinaciji s administratorima univerzitetskih jedinica, kreirani su predmeti po godinama i semestrima i dodijeljena adekvatna prava odgovarajućim korisnicima. S obzirom na to da nije postojala jedinstvena identifikacija studentskih naloga s predmetima koje pohađaju, instaliran je *plug-in bulk user enrolment*, koji upisuje listu naloga na određeni predmet. CIS je administratorima jedinica omogućio limitirani pristup centralnoj bazi pomoću *Oracle Publisher* servisa, na osnovu kojeg su mogli da dobiju listu studenata koji slušaju određene predmete i iste upišu na odgovarajuće predmete na DL platformi, čime se postiglo da se poklapaju liste upisanih studenata na predmetu iz baze studentske službe s bazom studenata na platformi DL. Podaci o korišćenju nove DL platforme prezentovani su u Tabeli 2.

TABELA II  
PODACI O KORIŠĆENJU NOVE DL PLATFORME

Verzija Moodle platform	Broj organizacionih jedinica UCG koji su koristili DL platformu CIS-a	Broj kurseva	Broj studenata
Moodle 3.8	19	2.615	13.232

U Tabeli 2 mogu se uočiti značajno uvećani numerički podaci u odnosu na iste iz Tabele 1. Sve organizacione

jedinice, njih 19, koriste DL platformu. Na platformi je otvoreno 2.615 kurseva (predmeta) i trenutno je 13.232 aktivnih korisnika koji pristupaju platformi.

### B. Video-konferencijski sistem BigBlueButton

Zbog zahtjeva da nastavno osoblje može da održava video-predavanja i da platforma posjeduje mogućnost za video-konferencijske interakcije s korisnicima, CIS je tražio rješenje koje bi bilo integrisano s DL platformom. Od velikog broja modula koje je moguće aktivirati na DL platformi, od kojih neke omogućavaju integraciju s komercijalnim eksternim servisima, CIS se odlučio za *open source* varijantu BigBlueButton [5], [6].

Big Blue Button je HTML5 *open source* softversko rješenje koje daje većinu mogućnosti, kao i komercijalna rješenja. Ističu se uloge govornika i menadžera video-konferencije, dijeljenje ekrana/aplikacije, snimanje konferencije, dozvola učesnicima konferencije da preuzmu dijeljenje ekrana/aplikacije i slično. Na osnovu navedenih karakteristika odabran je BigBlueButton za video-konferencijsko rješenje koje je integrisano u DL platformu. Na Slici 1 prikazana je veza video-konferencijskog sistema BigBlueButton s Moodle platformom. Moodle modul može povezati eksterni BigBlueButton server i predstaviti ga kao jedan od servisa koji se mogu aktivirati na predmetima (kursevima), tako da menadžeri predmeta mogu dodati BigBlueButton aktivnost uporedo s ostalim aktivnostima predmeta (kursa) [5].

Projekcijom mogućeg korišćenja video-konferencija u CIS-u, očekivan je veliki broj paralelnih video-konferencija, tako da bi jedan BigBlueButton server (postavljen na virtuelnoj mašini sljedeće konfiguracije: 8vCPU, 32 GB RAM-a, 300 GB HD, operativni sistem je *linux Ubuntu 16.04 LT*) bio nedovoljan da na adekvatan način opsluži potrebe Univerziteta Crne Gore. Da bi se zadovoljile potrebe, kreiran je sistem od 15 BigBlueButton servera s navedenom konfiguracijom sa Slike 1 [5]. Ovaj broj virtuelnih servera se može povećavati i smanjivati, u zavisnosti od zahtjeva.

Video-konferencijska predavanja (sesije) se povezuju dinamički na servere u zavisnosti od opterećenja pojedinačnih BigBlueButton servera [5]. Za praćenje i raspodjelu opterećenja instaliran je *Scalelite open source load balancer* na virtuelnoj mašini sljedeće konfiguracije: 16vCPU, 32 GB RAM-a, 1,2 TB HD, operativni sistem je *linux Ubuntu 20.04 LTS* (Slika 1) [7].

Scalelite omogućava upravljanje s više BigBlueButton servera, dok se korisniku predstavlja kao jedinstvena mašina i instalira se kao *docker* kontejner. Sve sesije video-konferencija se u ovom slučaju ne mogu snimati na BigBlueButton serverima, već je neophodno konfigurisati dijeljeni prostor, kojem imaju pristup i *Scalelite load balancer* i svi BigBlueButton serveri koji su u arhitekturi [7].

Za potrebe DL postavljena je odvojena particija u okviru *Scalelite load balancer*-a i omogućen Network File System (NFS), kako bi ostali BigBlueButton serveri mogli dodati

(mountovati) tu particiju kao sopstveni disk [7].

Nakon instalacije *Scalelite load balancer*-a i generisanja jedinstvenog koda za pristup, konfigurisane su BigBlueButton instance. Osim standardne konfiguracije, neophodno je pridružiti NFS disk sa *Scalelite load balancer*-a i modifikovati konfiguraciju BigBlueButton-a, tako da sve svoje snimke (spool, temp, published) smješta na NFS disk. U slučaju kada je NFS disk nedostupan, BigBlueButton snimljene zapise smješta na lokalni disk, pri čemu je moguće nakon intervencije sve te snimke sinhronizovati s NFS diskom. S obzirom na to da se *Scalelite* predstavlja platformi kao jedan server za BigBlueButton, svi video snimci koji nijesu postavljeni na NFS disku ne mogu se vidjeti iz DL platforme [7].

Nakon svih konfiguracionih podešavanja koja su urađena, neophodno je da se u *Scalelite*-u dodaju svi BigBlueButton serveri, a upravljanje *Scalelite*-om je moguće samo iz komandne linije i za te namjene *Scalelite* je omogućio set komandi koje služe za dodavanje, uklanjanje i pregled BigBlueButton-a. Potrebne komande su:

```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake
servers:add[url,secret,loadMultiplier]
```

```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake servers:remove[id]
```

```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake servers:disable[id]
```

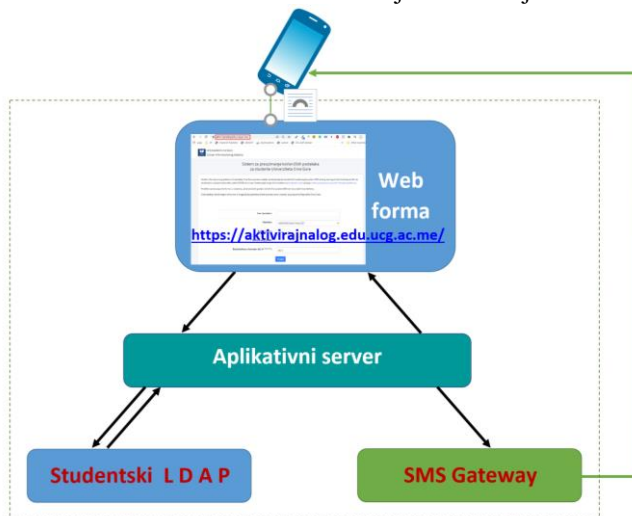
```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake servers:enable[id]
```

```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake servers:panic[id]
```

```
docker exec -i scalelite-api bundle exec rake status [8].
```

### C. „Aktiviraj nalog“ servis za SMS slanje kredencijala

U toku pandemije COVID-19, CIS je razvio servis za SMS slanje kredencijala „Aktiviraj nalog“ na *web* adresi: <https://aktivirajنالog.edu.ucg.ac.me> kako bi studentima olakšao preuzimanje kredencijala, koji se inače preuzimaju u studentskim službama fakulteta na kojima studiraju.



Slika 2. Šematski prikaz servisa „Aktiviraj nalog“

Na Slici 2 prikazana je šema servisa „Aktiviraj nalog“. Servis funkcioniše tako što korisnici pristupe *web* formi na adresi <https://aktivirajnalog.edu.ucg.ac.me/>, otvori im se sajt u kojem je potrebno da popune svoje podatke (ime, prezime, JMB, fakultet, broj indeksa i kontakt telefon).

Nakon pritiska na dugme „Pošalji“ sistem zahtjev prosljeđuje s aplikativnog servera na studentski LDAP (prikazan na Slici 2), koji nakon pretrage vraća aplikativnom serveru tražene kredencijale. Potom aplikativni server prosljeđuje zahtjev SMS *gateway*-u, koji podatke šalje na unešeni broj telefona. Nakon slanja podataka sistem vraća poruku da su kredencijali poslani na unijeti broj telefona (Slika 2).

Sistem je za prvih 10 dana poslao 5.361 SMS poruku, a ukupno 16.946 SMS poruka s kredencijalima. Dobile kredencijale, pored DL platforme, studenti mogu koristiti za sve studentske servise.

#### IV. ANALIZA PRISTUPA DOMENU UCG.AC.ME

Analiza pristupa domenu *ucg.ac.me* se vrši pomoću alata *Google Analytics* duži niz godina. Tokom COVID-19 pandemije, utvrđeno je da je došlo do povećanja broja ulaza i vremena koje su korisnici proveli na univerzitetskom sajtu. Urađena je analiza podataka dobijenih za period od 1. 1. 2020. do 31. 12. 2020, s podacima iz perioda od 1. 1. 2019. do 31. 12. 2019. godine. Rezultat analize prikazan je na Grafiku 1 [8].



Grafik 1. *Google Analytics* portala *ucg.ac.me*

Na Grafiku 1 su prikazani podaci o pristupu domenu *ucg.ac.me* tokom 2020. godine (obilježeni punom linijom) i podaci iz 2019. godine (obilježeni isprekidanom linijom). Trend posjeta 2020. godine prati trend iz 2019. godine. Na grafiku se uočava rast posjeta od početka pandemije u martu 2020, kao i smanjenje tokom ljetnjih odmora, zatim ponovni rast tokom zimskog semestra i na kraju pad posjeta krajem decembra, tako da se jasno vidi kako posjete prate period

održavanja nastave na UCG. Iz dobijenih podataka uočava se da je broj zabilježenih posjeta domenu *ucg.ac.me* bio 901.498 tokom 2020. godine, što predstavlja 245.995 posjeta više u odnosu na isti period 2019. godine. Izražavajući procentualno, vidljivo je uvećanje posjeta UCG portalu za 37.5% u 2020. godini.

#### V. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati i unapređenja platforme DL na UCG u toku pandemije COVID-19. Prikazan je informacioni sistem u dijelu studentskih servisa za DL i pratećih servisa, kojima je omogućeno normalno izvođenje nastave, kao što su: *Moodle*, *BigBlueButton* i „Aktiviraj nalog“. Data je šema povezanosti svih segmenata u informacionom sistemu s opisom funkcionalnosti servisa pojedinačno.

Primjeri razvoja i implementacije prikazani u ovom radu mogu dati smjernice i poslužiti kao polazna osnova za dalji razvoj IS. Svi segmenti predstavljene DL platforme mogu se dalje analizirati i unapređivati, a trenutno stanje predstavljeno u ovom radu može se iskoristiti za osavremenjavanje sistema koji će i ubuduće naći svoju punu afirmaciju u akademskoj zajednici.

Statistički pokazatelji korišćenja stare i nove DL platforme ukazali su na njenu funkcionalnost i unapređenje, implementirano od strane CIS UCG, koji će nastaviti sa daljim razvojem i održavanjem kompletnog IS na UCG i nesmetano odvijanja nastavnog procesa.

#### LITERATURA

- [1] COVID-19, dostupno na: <https://www.who.int/>
- [2] <https://www.ucg.ac.me/objava/blog/10/objava/65505-univerzitet-crne-gore-upucuje-nastavno-osoblje-na-moguće-nacine-odrzavanja-nastave-onlajn>
- [3] Moodle: Onlajn Learning with the World's Most Popular LMS, dostupno na <https://Moodle.com/>
- [4] RFC450 – Lightweight Directory Access Protocol (LDAP), dostupno na: <https://tools.ietf.org/html/rfc4510>
- [5] BigBlueButton – Open Source Web Conferencing, dostupno na: <https://bigbluebutton.org>
- [6] <https://www.ucg.ac.me/objava/blog/1029/objava/84114-novi-alat-za-video-konferencije-na-platforni-za-daljinsko-ucenje>
- [7] Scalelite, dostupno na: <https://github.com/blindsidenetworks/scalelite>
- [8] Google Analytics, dostupno na <https://analytics.google.com>

# Proširena stvarnost i 3D modeliranje u elektronskoj trgovini

J. Končar, S. Vučenović i R. Marić

**Sadržaj** — Učiniti digitalni svet opipljivijim postaće sve neophodnije za elektronske prodavce, jer trendovi vođeni pandemijom izazvaće dugoročne promene u ponašanju kupaca. Kao odgovor na to, i zbog potrebe da ostanu povezani tokom perioda pandemije, svi sada provode više vremena na mreži nego ikad ranije. Kako se svet kreće ka mreži, elektronska trgovina proširene stvarnosti (Augmentet Reality AR) i 3D elektronska trgovina omogućavaju potencijalnim kupcima interakciju sa proizvodima bez napuštanja kuće.

## I. UVOD

Kupci se sve više okreću elektronskoj trgovini u kupovini proizvoda na mreži. Iako je pandemija katalizator primene elektronske trgovine, ipak se povećanje korišćenja može smatrati delom kontinuiranog trenda. Elektronska trgovina polako uzima procenat prodaje iz maloprodajnih objekata. Ukupan udeo virtualne kupovine na globalnom tržištu udvostručio se između 2015. i 2019. godine, a izvestilo je da je elektronska prodaja na malo po prvi put pretekla prodaju u fizičkim prodajnim objektima. Nove tehnologije su omogućile da skeniranje i proizvodi po narudžbi zamene slova i brojeve koji se nalaze na etiketama odeće, a proizvodi se više ne nalaze listanjem slika ili pregledanjem polica i rafova. Umesto toga, kupci biraju svoje proizvode, par cipela, novi stočić za kafu, kačket, i prilagođavaju ih svojim sopstvenim zahtevima. Ova odeća ili predmeti se probaju ili postavljaju u virtualni snimak kupčeve sobe, sve bez napuštanja kuće. Danas je to moguće korišćenjem 3D modeliranja i proširene stvarnosti (AR) - tehnologijama koje računarski generisane slike stavljaju u stvarni svet.

## II. ZNAČAJ POBOLJŠANOG DOŽIVLJAJA ON-LINE KUPOVINE U POST-PANDEMIJSKOM PERIODU

Važna pouka 2020. godine je da svako preduzeće, organizacija, institucija mora biti digitalna ukoliko želi da funkcioniše. Fizički prekid poslovanja preduzeća zahtevao je usvajanje novih tehnologija kako bi se održao kontinuitet poslovanja. Jedna od važnih tehnologija je digitalno i vizuelno unapređena elektronska trgovina. Godina 2020. će

\* J. Končar, Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, Segedinski put 9-11, 24000 Subotica, R. Srbija (e-mail: jelena.koncar@ef.uns.ac.rs).

S. Vučenović (autor za kontakte), Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, Segedinski put 9-11, 24000 Subotica, R. Srbija (e-mail: sonja.vucenovic@ef.uns.ac.rs).

R. Marić, Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, Segedinski put 9-11, 24000 Subotica, R. Srbija (e-mail: radenko.marić@ef.uns.ac.rs).

biti godina koja je promenila način kupovine, rada i učenja koji su postali digitalni. Značaj digitalne sfere se pokazao dokazujući da se ubrzava usvajanje digitalne tehnologije i raste primena elektronske trgovine. Vizuelna elektronska trgovina, kao elektronska trgovina novih dimezija, podrazumeva primenu kombinacije proširene stvarnosti (AR) i 3D prikazivanja, dodatno će poboljšati korisničko iskustvo, ubrzavajući upotrebu i prednosti elektronske trgovine.

Udeo elektronske trgovine u ukupnom maloprodajnom prometu u SAD je jedva malo rastao od prvog tromesečja 2018. godine do istog perioda 2020. godine (od 9.6% do 11.8%), dok je u prvom i drugom tromesečju 2020. godine rastao do 16.1% [1]. Prema izveštaju globalnog indeksa kupaca Salesforce, u prvom tromesečju 2020. zabeležen je rast prihoda od elektronske trgovine od 20%, naspram 12% u prvom tromesečju 2019. godine [2]. Tokom većeg dela prvog tromesečja 2020. godine, aktivnost digitalne trgovine usklađivala se sa trendovima iz 2019. godine. Ali kako je rasla svest o pandemiji i socijalnom distanciranju, zabeležena je veća aktivnost elektronske trgovine. Jedno tehnološko područje koje danas oblikuje elektronsku trgovinu i jedno od najzanimljivijih područja inovacija je vizuelizacija proizvoda - upotreba 3D i proširene stvarnosti AR za elektronsku trgovinu.

Iste tehnologije koje su stvorene za filmsku industriju mogu se koristiti u elektronskoj trgovini kako bi pomogle elektronskim prodavcima da prodaju više proizvoda. Bolje slike proizvoda dokazan su način povećanja konverzije jer ljudi obrađuju slike 60 puta brže od reči. Ipak, mnogi Internet prodavci nisu u potpunosti iskoristili postojeće tehnologije vizuelizacije proizvoda. Današnja preduzeća imaju priliku da preko tehnologije nadmaše vizuelna očekivanja kupaca.

COVID-19 je masovno ubrzao način na koji su elektronski prodavci i njihovi potencijalni kupci počeli da vide vrednost tehnologije vizuelizacije. Kada su maloprodajni objekti zatvoreni, jedina dostupna opcija bila je elektronska trgovina. Ali ukoliko nema na raspolaganju slike proizvoda, oni se ne mogu prodati. Takođe, ako konkurent kupcima nudi mogućnost prilagođavanja i 3D proizvode u prostoru sa proširenom stvarnošću, verovatno će prodati više. U ovom segmentu se postavlja pitanje mogu li proširena stvarnost i 3D realnost pružiti vizuelni kvalitet i vernost proizvoda? Istraživanja u vezi sa uticajem vizuelne trgovine pokazuju [3]:

- Uticaj slike: 83% kupaca ukazuje na slike proizvoda kao na najuticajniji faktor u odluci o kupovini.
- Vrednost porudžbine: povećava se za 20%.



- Povećano angažovanje kupaca i poverenje: 3D slike povećavaju angažman kupaca za 66% u odnosu na tradicionalne 2D slike.
- Povećana konverzija: Stvarne kupovine mogu porasti za 40% kada brend doda 3D slike, zahvaljujući povećanom poverenju i povećanoj sigurnosti kupaca u ono što vide.
- Smanjen povraćaj: 3D slike mogu smanjiti povraćaj kupovina na mreži za 35%, opet zahvaljujući količini informacija koje ove slike pružaju.

Efekat krize COVID-19 na elektronsku trgovinu nije ujednačen u svim kategorijama proizvoda ili prodavcima. Na primer, u Sjedinjenim Državama primećen je porast tražnje za predmetima koji se odnose na ličnu zaštitu (npr. rukavice za jednokratnu upotrebu), kućnim aktivnostima, namirnicama ili ICT opremom, dok je tražnja opala za predmetima koji se odnose na putovanja, sportsku ili svečanu odeću (npr. kofere, venčanice, torbe za teretanu itd.), nedavno istraživanje pokazalo je da 49% prodavaca nameštaja planira da ponudi kupovinu proširene stvarnosti, direktno zbog poremećaja izazvanih COVID-19 [4]. Kompanije koje prodaju složene proizvode moraju da smisle način na koji angažuju svoje kupce, i to rade sa 3D i AR. Elektronski prodavci imaju priliku jednom i odmah da prihvate novi način na koji će potencijalni kupci kupovati. Čak i nakon završetka pandemije, očekivanja kupaca od boljih vizuelnih iskustava biće veća, pa je neophodno da elektronski prodavci budu sigurni da ispunjavaju ove zahteve. Ne samo da će ulaganja u bolja vizuelna iskustva na mreži biti veća, već će uticati i na to kako ih kupci doživljavaju.

Potencijalni kupci traže načine da stupe u kontakt sa proizvodima iz udobnosti svojih domova i tragaće za trgovcima koji mogu pružiti to iskustvo. Od početka marta 2020. godine, primećeno je da se angažman sa 3D proizvodima povećava, a očekuje se da će primena rasti kad se ljudi naviknu na tehnologiju. Pomoću AR alata kupci mogu tačno da vide šta su lično prilagodili u kontekstu sopstvenog prostora. Nakon dodavanja mogućnosti AR kupovine kupci su postali 65% verovatniji da će obaviti kupovinu nakon pregleda proizvoda u AR [3]. Individualni i poslovni kupci će verovatno značajno povećati upotrebu elektronske trgovine.

### III. SUŠTINA I NAČIN FUNKCIONISANJA AR I 3D MODELIRANJA U ELEKTRONSKOJ TRGOVINI

Proširena stvarnost (AR) je tehnologija koja uvodi 3D modele u stvarno okruženje. Zahvaljujući AR-u možemo videti kako će nameštaj izgledati u kupčevom stanu pre nego što izvrši stvarnu kupovinu. AR sada radi na pametnim telefonima, što znači da je broj kupaca koji mogu da ga koriste ogroman i neprestano raste.

Strategije pozicioniranja proizvoda savršeno funkcionišu za elektronske prodavce sa ogromnom publikom poput Amazona, Alibabe itd. Međutim, snimanje novih fotografija proizvoda kako bi nadmašili konkurente je zahtevno, slike obično postanu viralne za samo nekoliko dana, a ako su snimljene najbolje slike proizvoda, brzo se mogu pronaći

svuda na Webu. Slikanje novih fotografija može biti skupo, posebno ako treba da se napravi preko 100 fotografija svakog meseca. 3D modeliranje proizvoda može postati pravi prodajni alat. 3D modeliranje proizvoda (prikazivanje) je stvaranje fotorealističnog digitalnog prototipa proizvoda koji se može menjati ili ponovo koristiti u budućnosti kako novi modeli proizvoda izlaze. Postoje najmanje 3 prednosti 3D model proizvoda [5]:

- Eliminise potrebu za angažovanjem profesionalnog fotografa ili studija koji će slikati proizvode. Trodimenzionalni model proizvoda koji se može rotirati i fotografisati iz bilo kog ugla.
- Pomaže u stvaranju interaktivne prodavnice elektronske trgovine zasnovane na inovacijama u kojoj korisnici zaista mogu videti i osetiti proizvod što pozitivno utiče na stopu konverzije.
- Poboljšava vizuelnu komunikaciju za konceptualizovani dizajn proizvoda ili drugim rečima, pomaže da se predstavi proizvod na vizuelno privlačan način, čak i ako proizvod još nije na tržištu.

Prema VentureBeat, 82% posetilaca stranice proizvoda aktivira 3D prikaz, a 95% više voli interaktivnu 3D predstavu od reprodukcije video zapisa [6]. Zapravo, 3D model štedi mnogo više vremena za korisnike i poboljšava njihovu interakciju sa proizvodima na elektronskoj prodavnici.

Bez obzira da li je proizvod novi na tržištu ili postojeći, 3D modeliranje proizvoda može pomoći da se efikasnije prenese poruka. 3D model proizvoda zapravo rešava stvarne probleme. Pomoću prilagođenih 3D modela proizvoda može se [5]:

- Uzbuditi potencijalni kupci i prodaja i pre nego što je proizvod fizički stvoren.
- Izvršiti testiranje dizajna proizvoda bez dodatnih ulaganja vremena i novca kao kod fizičkih proizvoda.
- Povećati vreme korisnika na elektronskoj prodavnici pružajući korisnicima više mogućnosti za interakciju sa proizvodima. Što više vremena korisnici provedu na elektronskoj prodavnici, može im se pokazati više ponude, uključujući varijacije proizvoda, trendovske proizvode, akcije, bonuse itd., čineći tako korisnike spremnijim za kupovinu.

Vizuelni elementi su ključna komponenta putovanja kupca i svi naponi na poboljšanju vizuelnih prikaza sigurno će se isplatiti značajnim povraćajem ulaganja. Istraživanje pokazuje da korisnici nisu zadovoljni kvalitetom slika prikazanih u mnogim prodavnicama i neprestano traže slike i snimke višeg kvaliteta iz određenih uglova. Sa procvatom elektronske trgovine i brojem Internet kupaca koji neprestano rastu, nove i etablirane prodavnice mogu da ostvare konkurentsku prednost primenom 3D modeliranja u svoje kataloge.

Trenutno prolazimo kroz fazu usvajanja ove tehnologije. U početku su postojale samo 2D slike. Međutim, nijedna od ovih metoda nije u ravni sa 3D modeliranjem. 3D modeliranje omogućava da se stvori fotorealistična digitalna kopija proizvoda. U poređenju sa slikama od 360 stepeni, 3D model omogućava preduzećima elektronske trgovine da

prikazuju holistički prikaz koji se može uvećati i pogledati iz bilo kog ugla.

3D skeniranje se vrši pomoću posebne opreme ili pomoću DSLR kamera. Glavna prednost je što je izuzetno realan. Glavni nedostatak je taj što se ne može praviti razlika između određenih delova 3D modela radi prilagođavanja, jer su svi oni nedeljivi delovi celokupne slike. Još jedan nedostatak je veća gustina slike. Opremanje takvih 3D modela na mrežu rezultiraće izuzetno velikim vremenom učitavanja što će umanjiti korisničko iskustvo. Rešenje bi bilo smanjenje veličine slike. Međutim, u mnogim slučajevima to čini sliku u celini neupotrebljivom.

Izrada 3D modela je izuzetno kreativan i dugotrajan proces koji zahteva iskustvo, strpljenje i disciplinu. Sa takvim modelima moguće je prilagoditi određene delove proizvoda. U poređenju sa modeliranjem zasnovanim na slici, biće moguće koristiti podatke kako bi se eliminisale sve deformacije i nedoslednosti. 3D umetnik će verovatno koristiti neke alate zasnovane na SaaS-u, poput ONU-ovog konvertora. ONU omogućava da se besplatno isproba usluga pre nego što se stvarno angažuju 3D talenti.

3D modeliranje za elektronsku trgovinu ima ono što je potrebno da bi se istisnule konvencionalne fotografije kao što ih poznajemo. Prirodno, neće nestati da se koriste 2D slike, ali ima sasvim smisla objaviti stranice proizvoda sa 3D vizuelizacijama kada fotografije još nisu tamo. Na ovaj način moći će da se skрати put između ideja i stvarne potrošnje kupaca, brže prikupljajući vredne uvide iz njihovih povratnih informacija.

Čak i male prodavnice mogu da se nadmeću sa gigantima pružajući izuzetno korisničko iskustvo. 3D modeliranje za elektronsku trgovinu i ugrađene napomene sa važnim informacijama mogu prodavnicu izdvojiti od većih prodajnih mesta elektronske trgovine. Potencijalni kupci koji traže načine da zaista izbegnu posetu fizičkim prodavnicama, mogu da iskoriste ovaj osećaj i pružene im alate za optimalan pregled proizvoda i izbegavanje potrebe za kupovinom van mreže.

Elektronska trgovina i Web u celini, postepeno prelazi u epohu sa proširene i virtuelne stvarnosti (AR/VR). Samo što su ove vizualizacije mnogo moćnije od bilo kog video zapisa ili 2D slika. Modeliranje za elektronsku trgovinu 3D može se pripremiti za uspešnu transformaciju u okruženju u nastajanju, jer ga je moguće pretvoriti za upotrebu u kombinaciji sa AR/VR tehnologijama. To će doneti novi zamah aktivnostima i privući korisnike da, realnošću i sposobnošću, u potpunosti prepoznaju čak i detaljne karakteristike proizvoda.

#### IV. PRAKTIČNA PRIMENA AR I 3D MODELIRANJA U ELEKTRONSKOJ TRGOVINI

Živimo u vremenu kada se očekivanja kupaca brzo menjaju. Kupac koji uživa u iskustvu on-line kupovine u elektronskoj prodavnici automatski počinje da očekuje isti nivo usluge sa svakog virtuelnog prodajnog mesta. Tehnologije 3D pokreću revoluciju u iskustvu on-line kupovine. Zbog nedostatka fizičkog prisustva proizvoda u elektronskoj trgovini sve više dobijaju na značaju

tehnologije kao što su proširena realnost (AR), virtuelna realnost ili stvarnost (VR), 3D-modeliranje i mobilne kupovine zasnovane na aplikacijama [7].

Uprkos pružanju praktičnog iskustva pregledanja i šireg asortimana nego što se obično može naći u prodavnicama „cigla i malter“, elektronska trgovina ima ograničenja. Pre svega, ne može zadovoljiti želju kupca da fizički ispitaju proizvod pre kupovine. Zahvaljujući 3D modeliranju proizvoda, prodavac može kupcima pružiti grafički prikaz 3D proizvoda koji je takođe interaktivan. Pomoću 3D prikaza kupci mogu da biraju koji deo proizvoda žele da vide, uvećaju ili umanje, rotiraju predmet, da ga vidite u pokretu, itd. Sve ove funkcije su lako dostupne zahvaljujući 3D modeliranju. Neki trgovci nude demo video snimke koji prikazuju proizvode na delu kao način za poboljšanje iskustva on-line kupovine. Međutim, kupci više reaguju na interaktivnu 3D predstavu proizvoda od reprodukcije video zapisa.

Jedan od prvih sektora koji je iskoristio novonastalu tehnologiju bila je industrija nameštaja. Vodeći trgovac poput IKEA rano je investirao u 3D i AR, omogućavajući kupcima da fizički vizualizuju svoje proizvode u svojim prostorima [8]. Kupci mogu da iskoriste dva AR iskustva. Prvo, pogled u sobi 3D, omogućava korisnicima da u svoju sobu postave komad nameštaja tačne veličine, da ga izvrću i pomeraju u prostoru, pa čak i da ga šetaju u stvarnom vremenu. Drugo, planer soba 3D ide dalje, omogućavajući kupcima da vizualizuju komad nameštaja u svom domu čak i kada su u pokretu.

Nivoi angažovanosti i interaktivnost nisu jedini pokazatelji na koje 3D modeliranje proizvoda može pozitivno uticati, jer takođe pojačava pokazatelje koje direktno utiču na prodaju, a glavni je stopa konverzije. TSUM, jedna od najvećih robnih kuća luksuzne robe u istočnoj Evropi, digitalizovala je više od 50.000 proizvoda u 3D obliku, dokazujući da je moguće vizualizovati veliki broj jedinica [9]. TSUM je vršio testiranje proizvoda, tako što je uporedio popularnost svake stranice proizvoda sa 3D slikom proizvoda i bez nje, na taj način zabeležen je veći povraćaj ulaganja za proizvode koji su 3D digitalizovani, uključujući 2-5 puta veće angažovanje i vreme zadržavanja na stranici proizvoda.

Posedovanje pravih alata je ključno, jer se većina rešenja za 3D modeliranje suočava sa glavnim slabostima, zahtevaju mnogo skupu opremu i oduzimaju previše vremena, što ih čini neprikladnim za velike kataloge proizvode. Zahvaljujući nedavnom napretku, stvaranje 3D prikaza sada je jednostavan postupak, najpre se vrši snimanje izabranog objekta digitalnom kamerom, učitavanje rezultata u platformu za obradu da bi se dobio 3D prikaz i kad bude spreman, ugradi se u bilo da je to Web lokacija, mobilni uređaj ili 3D/AR/VR aplikaciju. Osim što su jednostavne za upotrebu, nove SaaS tehnologije za 3D snimanje takođe su veoma brze. U stvari, oni su brži od prethodne 3D tehnologije i nije im potrebna posebna oprema.

Još jedan niz poteškoća sa kojima se trgovci često suočavaju kada digitalizuju proizvode povezan je sa nemogućnošću 3D modeliranja i 3D skeniranja da obrade neke određene predmete. Ipak, zahvaljujući 3D slikanju,

karakteristike proizvoda koje su se ne tako davno smatrale nedostupnima - crni, sjajni predmeti, poput svile, kože i nakita, kao i bilo šta prozirno, neobičnog oblika ili teksture - sada ne predstavljaju prepreku. Elektronski prodavci većih predmeta okrenuli su se alatima za 3D vizualizaciju kako bi kupcima pomogli da bolje razumeju fizičke dimenzije, oblik i materijale proizvoda. Na primer, prodavac torbi i kofera Samsonite napravio je svoje mrežne prikaze što realnijim pomoću 3D slika proizvoda [10].

Važno je da kupci imaju mogućnost detaljnog pregleda robe, a 3D vizuelizacija omogućava da se premosti jaz između on-line kupovine i prodavnica „cigla i malter“. Manji, osetljiviji proizvodi takođe se mogu uspešno 3D digitalizovati. Odličan primer su American Greetings. Pored visokokvalitetnih fotografija, posetiocima elektronske prodavnice sada se nude i 3D slike. S obzirom na to da je ponovna realizacija iskustva u prodavnici gotovo nemoguća sa trenutnim dostupnim alatima za vizuelizaciju, 3D slike proizvoda rešile su glavni problem za American Greetings [11]. Sjaj, folija, utiskivanje i drugi prilozi prilično su česti kod čestitki i može biti teško oceniti ove karakteristike kod tradicionalne 2D fotografije.

Pojedini brendovi nakita pobrinuli su se da i oni ne budu tehnološki zaostali. Guérin Joaillerie, premium brend nakita u Evropi [12G], okrenuo se 3D vizualizaciji kako bi uhvatio osobine koje nakit otežavaju drugim rešenjima, uključujući sjaj dragulja i sjaj metala, prozirnost, odsjaj svetlosti i neobičan dizajn. Kupovina nakita je vrlo poseban proces i mnogi kupci ne mogu da prevaziđu svoje oklevanje da izvrše kupovinu putem Interneta.

Kako se poslovno odlučivanje sve više usmerava na podatke, potražnja za merljivim pokazateljima je veća nego ikad. Stopa konverzije, promet na elektronskoj prodavnici i nivo angažovanja kupaca važni su vodiči. Alati za analitičku inteligenciju moći će da prate način na koji potencijalni kupci komuniciraju sa slikama proizvoda ugrađenim u elektronsku prodavnicu, bilo da su to 2D ili 3D slike. Pored vremena zadržavanja, alat će naglasiti tačke od interesa kupca i najbolje uglove za pozicioniranje minijatura proizvoda, kao i predvideti verovatnoću kupovine na osnovu obrazaca u ponašanju kupaca.

## V. ZAKLJUČAK

Proširena stvarnost i 3D modeliranje su nadolazeće tehnologije koje imaju implikacije na transformisanje elektronsku trgovinu i poboljšanje interakcije sa kupcima. Kompanije koje su već usvojile ove tehnologije dokazuju nam da je proširena stvarnost i 3D efikasan pristup povećanju konkurentne prednosti i na kraju prihoda od poboljšanje angažovanja kupaca i iskustva kupovine. Tehnologija proširene stvarnosti je obavezna stvar u poslovanju elektronske trgovine, jer nudi puno koristi od zadovoljstva i iskustva kupaca, povećane prodaje, ponovljenog poslovanja što će kasnije dovesti do boljih stopa konverzije i prihoda. U svetu elektronske trgovine od vitalnog je značaja pronaći inovativne načine interakcije sa kupcima, a proširena stvarnost daje tu inovativnu prednost. 3D i AR elektronska

trgovina otvaraju nove mogućnosti za otkrivanje i istraživanje proizvoda, osnažujući kupce da donose informisanije odluke o kupovini ma gde se nalazili.

## LITERATURA

- [1] OECD, „E-commerce in the times of COVID-19“. OECD, 7 October 2020.
- [2] H. Zhou, “Fashion E-Commerce in the 3D Digital Era: A 3D Interactive Web User Interface for Online Products”, Degree Project Information And Communication Technology, Stockholm, 2018.
- [3] Salesforce, “A Year of Change: 10 Salesforce Research Stats to Sum up 2020”, December, 2020, preuzeto sa: <https://www.salesforce.com/news/stories/a-year-of-change-10-salesforce-research-stats-to-sum-up-2020/>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [4] Department of Commerce, “Quarterly Retail E-Commerce Sales 3rd Quarter 2020”, Department of Commerce, Washington, November 19, 2020.
- [5] M. Elradi, P. Atan, P. Abdullah, M. Hasan Selamat, „A 3D e-Commerce Applications Development Model: A Systematic Literature Review“, *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, Vol.9, No. 2-4., 2017, pp. 27-33.
- [6] VentureBeat. Why 3D technology is must-have for ecommerce, October, 2018, preuzeto sa: <https://venturebeat.com/2018/10/09/why-3d-technology-is-a-must-have-for-ecommerce/>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [7] J., Končar., S. Vučenović, Z. Petrović Katai, “Digitalizacija maloprodaje na globalnom tržištu”. *Zbornik radova sa XXIII međunarodne naučno - stručne konferencije INFORMACIONE TEHNOLOGIJE - sadašnjost i budućnost*, Žabljak, 19. do 24. februara 2018. godine, str. 76-78.
- [8] Ikea, „IKEA PLACE demo AR app”, preuzeto sa: <https://newsroom.inter.ikea.com/gallery/video/ikea-place-demo-ar-app/a/c7e1289a-ca7e-4cba-8f65-f84b57e4fb8d>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [9] TSUM, preuzeto sa: <https://www.tsum.ru/english/departaments.php>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [10] Samsonite, preuzeto sa: <https://www.samsonite.ca/luggage/>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [11] American Greetings, preuzeto sa: <https://www.americangreetings.com/detail/printables/anniversary/today-tomorrow-and-always-printable/pn/prod3460568>, datum dostupnosti: decembar 2020.
- [12] GaleriesLaFayette, preuzeto sa: <https://www.rqz-galerieslafayette.com/marques/guerin-joaillerie.html>, datum dostupnosti: decembar 2020.

# Primjena teorije grafova u oblasti elektrotehnike - odabrani primjeri

Jovana Forcan i Miodrag Forcan

**Sadržaj**— Teorija grafova ima široku primjenu u oblasti elektrotehnike, a ključni razlog je pogodnost modelovanja elektrotehničkih elemenata i procesa usmjerenim grafovima. Cilj ovog preglednog članka je da se kroz odabrane primjere ukaže na opšti značaj teorije grafova u različitim oblastima elektrotehnike. U članku su analizirani odabrani primjeri iz oblasti analize električnih kola, elektroenergetike i teorije automatskog upravljanja. Kroz odabrane primjere dat je koristan pregled primjene teorije grafova u različitim oblastima elektrotehnike.

## I. UVOD

Mnogi moderni inženjerski problemi su pogodni za rješavanje transformacijom u domen teorije grafova, nakon čega se vrši povratna transformacija dobijenog rješenja u izvorni domen [1]. Jedna od karakterističnih inženjerskih oblasti sa izraženom primjenom teorije grafova je elektrotehnika. Pored već dobro istražene primjene u oblastima računarskih nauka [2] i teorije električnih kola [3,4], posebno su zanimljive primjene u oblastima elektroenergetike [5,6] i teorije automatskog upravljanja [4].

Teorija grafova je prisutna u pozadini baznih metoda za rješavanje problema električnih kola i bila je korištena u pionirskim naučnim člancima velikih naučnika poput G. Kirhova [7] i Dž.K. Maksvela [8]. Grafovi tokova signala u oblasti teorije automatskog upravljanja su zasnovani na matematičkim definicijama iz oblasti teorije grafova [4]. Mnogi moderni optimizacioni problemi iz oblasti elektroenergetike, poput rekonfiguracije električnih mreža, rješavaju se algoritmima zasnovanim na teoriji grafova [9].

U prvom poglavlju članka analizirana je primjena teorije grafova za definiciju i rješavanje problema električnih kola. Kroz drugo poglavlje opisan je karakterističan primjer optimizacionog problema rekonfiguracije električne mreže i njegovo rješavanje primjenom algoritma na bazi teorije grafova. Treće poglavlje razmatra grafove tokova signala, njihove definicije i osobine izvedene iz teorije grafova i njihov značaj u teoriji automatskog upravljanja. U zaključku su objašnjeni značaj i namjena samog naučnog članka.

Jovana Forcan, Filozofski fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Alekse Šantića 1, 71 420 Pale, Bosna i Hercegovina (e-mail: [jovana.forcan@ffuis.edu.ba](mailto:jovana.forcan@ffuis.edu.ba)).

Miodrag Forcan, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Vuka Karadžića 30, 71 123 Lukavica, Bosna i Hercegovina (e-mail: [miodrag.forcan@etf.ues.rs.ba](mailto:miodrag.forcan@etf.ues.rs.ba)).

## II. ANALIZA ELEKTRIČNIH KOLA

Pojam grafa se može koristiti kao matematički model nekog fizičkog sistema. Električna mreža ili kolo predstavlja jedan od osnovnih fizičkih sistema u oblasti elektrotehnike i moguće ga je matematički modelovati usmjerenim grafom. Svaki element električnog kola se može predstaviti kao grana usmjerenog grafa okarakterisana sa dvije funkcije:  $v(t)$  napon između krajnjih čvorova grane i  $i(t)$  struja uspostavljena kroz granu, što je prikazano na Sl.1. [4].



Slika 1. Električni element i njegova predstava pomoću grane usmjerenog grafa (+ kao referentni kraj napona se po konvenciji nalazi kod „repa“ strelice koja označava referentni smjer struje) [4].

Neka je dat usmjeren graf  $G$  sa  $n$  čvorova,  $b$  grana i  $c$  komponenti. Neka su  $r = n - c$  i  $m = b - n + c$  rang i nularnost usmjerenog grafa, redom. Prije definisanja električnog kola u teoriji grafova potrebno je dati definicije matrice incidencije i kontura (kola) usmjerenog grafa.

**Definicija 1:** *Matrica incidencije* u oznaci  $A_a$  usmjerenog grafa  $G$  je matrica reda  $n \times b$  takva da za  $A_a = [a_{ij}]$  vrijedi

$a_{ij} = 1$  ako je grana  $e_j$  incidentna sa čvorom  $i$  i usmjerena je od čvora  $i$ ,

$a_{ij} = -1$  ako je grana  $e_j$  incidentna sa čvorom  $i$  i usmjerena je prema čvoru  $i$ ,

$a_{ij} = 0$  ako grana  $e_j$  nije incidentna sa čvorom  $i$ .

$A_a$  se još naziva i matrica koeficijenata jednačina Kirhofovog strujnog zakona. U elektrotehnici najčešće nisu od interesa petlje grafa, pa u ovoj analizi neće biti ni razmatrane. Usmjeren graf  $G$  bez petlji je u potpunosti okarakterisan svojom matricom incidencije.

**Definicija 2:** *Matrica kontura* (kola) u oznaci  $B_a$  usmjerenog grafa  $G$  je matrica reda  $p \times b$ , gdje je  $p$  broj ciklusa (kola ili kontura) grafa  $G$  takva da za  $B_a = [b_{ij}]$  vrijedi

$b_{ij} = 1$  ako je grana  $e_j$  u ciklusu  $i$  i orijentacija grane i ciklusa je ista,

$b_{ij} = -1$  ako je grana  $e_j$  u ciklusu  $i$ , a orijentacija grane i ciklusa je suprotna,

$b_{ij} = 0$  ako grana  $e_j$  nije u ciklusu  $i$ .

$B_a$  se još naziva i matrica koeficijenata jednačina Kirhofovog naponskog zakona.

### A. Osnovne osobine matrice incidencije i kontura usmjerenog grafa

Sabiranjem vrijednosti odgovarajućih elemenata u svim redovima matrice  $A_a$  dobija se red sa elementima čije su sve vrijednosti jednake nuli. Dakle, nisu svi redovi linearno nezavisni. Ako sa  $A$  označimo submatricu matrice  $A_a$ , koja se dobija brisanjem jednog proizvoljnog reda matrice  $A_a$ , ona predstavlja *baznu matricu incidencije* povezanog usmjerenog grafa. Čvor koji odgovara izbrisanom redu matrice  $A_a$  ima veliku važnost u teoriji električnih kola i naziva se referentni čvor usmjerenog grafa, jer odgovara tački referentnog potencijala električnog kola. Prethodna analiza je sumirana u teoremi, koja je prvi put korištena u teoriji električnih kola od strane Kirhova [7].

**Teorema 1** [3]: Rang matrice incidencije usmjerenog grafa  $G$  je jednak rangu grafa  $G$ .

Broj linearno nezavisnih jednačina po Kirhofovom strujnom zakonu je jednak  $r = n - c$ . Pošto su u teoriji električnih kola od interesa povezani usmjereni grafovi, onda vrijedi  $r = n - 1$ .

**Teorema 2** [3]: Ako su kolone matrice  $A_a$  i  $B_a$  usmjerenog grafa napisane u odnosu na isti redosljed grana, onda važi:

$$A_a B_a^T = 0 \text{ i } B_a A_a^T = 0,$$

gdje su  $A_a^T$  i  $B_a^T$  transponovane matrice matrice  $A_a$  i  $B_a$ , redom.

Prethodna teorema ima veliki značaj u određivanju ranga matrice  $B_a$ .

**Teorema 3** [3]: Rang matrice kontura (kola)  $B_a$  usmjerenog grafa  $G$  je jednak nularnosti grafa  $G$ .

Kako je rang matrice  $B_a$  jednak  $m = b - n + c$ , u matrici postoje linearno zavisni redovi. Ako sa  $B$  označimo submatricu matrice  $B_a$ , koja je reda  $m \times b$ , onda se matrica  $B$  naziva *bazna matrica kontura* (kola) grafa  $G$ , jer sadrži sve informacije sadržane u matrici  $B_a$ .

### B. Definicija električnog kola pomoću teorije grafova

Zbog jednostavnosti u sljedećoj definiciji je smatrano da su svi elementi električnog kola vremenski konstantni i linearni. Takođe, u definiciji su korištene Laplasove transformacije svih promjenjivih zavisnih od vremena, pa su u proračunu prisutni samo sistemi linearnih algebarskih jednačina.

Električno kolo se pomoću teorije grafova može definisati na sljedeći način [3]:

**Definicija 3:** Električno kolo je usmjeren graf  $G$  sa dvije funkcije  $v(s)$  i  $i(s)$  kompleksne promijenljive  $s$  pridružene svakoj grani grafa  $G$ , koje zadovoljavaju sljedeća tri zakona:

#### 1. Kirhofov strujni zakon

$$A_a I(s) = 0, \quad (1)$$

gdje je  $I(s)$   $b$ -vektor koji označava struje u granama i naziva se *strujni vektor grana* grafa  $G$ .

#### 2. Kirhofov naponski zakon

$$B_a V(s) = 0, \quad (2)$$

gdje je  $V(s)$   $b$ -vektor koji označava napone grana i naziva se *naponski vektor grana* grafa  $G$ .

### 3. Generalizovani Omov zakon (jednačine koje definišu elemente električnog kola)

$$V(s) = E(s) + Z(s)I(s), \quad (3)$$

$$I(s) = J(s) + Y(s)V(s), \quad (4)$$

gdje su  $Z(s)$  i  $Y(s)$  date matrice reda  $b$  koje se nazivaju *matrica impedansi grana* i *matrica admitansi grana*, redom;  $E(s)$  i  $J(s)$  su dati  $b$ -vektori koji označavaju električne izvore i nazivaju se *vektor naponskog izvora grane* i *vektor strujnog izvora grane*, redom.

### C. Sistem jednačina za rješavanje problema električnog kola

Za dato električno kolo problem je izračunati vektore  $I(s)$  i  $V(s)$  tako da su istovremeno ispunjene sve tri jednačine iz prethodne definicije. Za rješavanje ovog problema potrebno je riješiti sistem linearnih algebarskih jednačina. U praksi je ovaj način rješavanja nefunkcionalan i komplikovan, jer se najčešće radi o velikom broju jednačina u sistemu. Utvrđeno je da nisu sve jednačine po Kirhofovom strujnom i naponskom zakonu linearno nezavisne, pa bi prvi korak pojednostavljenog rješavanja bio izbacivanje što više redundantnih jednačina iz sistema. Budući da su poznate osobine matrice incidencije i kontura usmjerenog grafa, slijedi zaključak da postoji samo  $r = n - c$  linearno nezavisnih Kirhofovih strujnih jednačina i  $m = b - n + c$  linearno nezavisnih Kirhofovih naponskih jednačina.

Po Kirhofovom strujnom zakonu postoji ukupno  $n$  jednačina, ali  $n - 1$  linearno nezavisnih, sa ukupno  $b$  nepoznatih. Po Kirhofovom naponskom zakonu postoji ukupno  $p$  jednačina, ali  $m$  linearno nezavisnih jednačina, sa ukupno  $b$  nepoznatih. I po Omovom zakonu postoji ukupno  $b$  jednačina. Dakle, ukupan broj jednačina je  $b = m + r$  (linearno nezavisne jednačine po dva Kirhofova zakona) i još dodatno  $b$  jednačina po Omovom zakonu. A ukupan broj nepoznatih je  $2b$ . Sistem jednačina saglasan ako postoji bar jedno rješenje. Ako su jednačine sistema i linearno nezavisne onda postoji jedinstveno rješenje.

Prava vrijednost rješavanja električnih kola primjenom Kirhofovih zakona je sadržana u osobini generalnosti. Jednačine vrijede bez obzira na to da li su mreže linearne ili nelinearne, vremenski promjenljive ili nepromjenljive. Osnovna prednost generalnosti sistema jednačina za definisanje problema električnog kola je sadržana u mogućnosti računarske implementacije.

### III. REKONFIGURACIJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

U konceptu „Pametna mreža“ kontrolisana podjela elektroenergetskog sistema (EES) na međusobno razdvojene dijelove (ostrva) ima poseban značaj. Na ovaj način je moguće spriječiti potpune raspade EES-a u slučaju velikih havarija (ispad važnog elementa u sistemu), jer je u svakom posebnom ostrvu moguće postići propisane uslove rada (frekvencija i naponske prilike).

U teoriji grafova često se analizira problem podjele grafa, dok je u elektroenergetici od značaja problem podjele

težinskog usmjerenog grafa. Za opis problema su značajne sljedeće definicije:

**Definicija 4:** *Težinski graf* je graf kod koga je svakoj grani dodijeljena vrijednost (težina).

**Definicija 5** [3]: *Skup reza* grafa  $G$  je podgraf koji se sastoji od minimalnog broja grana čije uklanjanje smanjuje rang grafa za jedan.

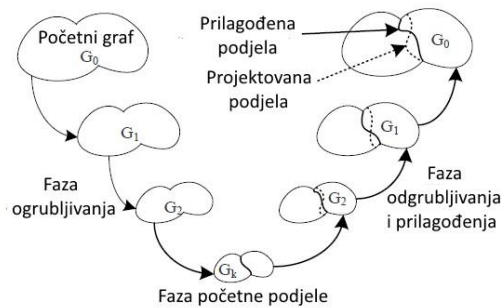
Ukoliko se presjeku grane koje pripadaju skupu reza jedna komponenta grafa  $G$  će biti podijeljena na dva dijela. Ukoliko sa  $C = (S, T)$  označimo *rez* grafa, kojim se ostvaruje podjela skupa ukupnog broja čvorova na dva podskupa  $S$  i  $T$ , skup reza se može predstaviti kao skup grana čiji jedan incidentni čvor pripada  $S$ , dok drugi pripada  $T$ .

U slučaju težinskog grafa, pojam težine skupa reza se definiše kao suma pojedinačnih težina grana koje su presječene rezom.

Podjela grafa sa uslovom minimalne težine skupa reza predstavlja NP-kompletni problem koji ima široku primjenu u oblasti inženjerstva.

#### A. Šema podjele grafa pomoću više nivoa

Šema podjele grafa pomoću više nivoa [9] predstavlja tehniku kojom se značajno smanjuje vrijeme izvršavanja algoritma i pomoću koje se dobijaju kvalitetna rješenja [6]. Osnovna karakteristika ove tehnike je prvobitno smanjenje dimenzije grafa kroz nekoliko nivoa brisanjem čvorova i grana. Zatim se redukovani graf dijeli, a kao završni korak primjenjuje se procedura prilagođenja rješenja kroz nekoliko nivoa sve do formiranja početnog grafa. Osnovna ideja prethodne tehnike za težinski graf  $G_0$  je prikazana na Sl.2 [6].



Slika 2. Tehnika podjele grafa pomoću više nivoa [6].

Osnovne faze rješavanja problema podjele grafa  $G_0$  pomoću šeme prikazane na Sl.2 su:

(1) *Faza ogrubljanja*: početni graf  $G_0$  se transformiše u niz manjih grafova  $G_1, G_2, \dots, G_k$ , sa ukupnim brojevima čvorova  $n_0 > n_1 > n_2 > \dots > n_k$ , redom. Čvorovi se u svakom koraku grupišu u odvojene skupove i od njih postaje samo jedan čvor.

(2) *Faza podjele*: proračunava se podjela  $P_k$  ogrubljenog grafa  $G_k$  tako što se vrši minimizacija skupa reza uz zadovoljenje zadatih ograničenja. Pošto je dimenzija ogrubljenog grafa mala za dobijanje podjele  $P_k$  se mogu koristiti različiti algoritmi, npr. rekursivna bisekcija [9].

(3) *Faza odgrubljanja i prilagođenja*: podjela  $P_k$  se

projektuje nazad na početni graf  $G_0$  kroz prelazne grafove  $G_{k-1}, G_{k-2}, \dots, G_1$ . U svakom koraku faze odgrubljanja podjela  $P_k$  se dalje prilagođava u cilju optimizacije rješenja.

#### B. Algoritam podjele EES-a na ostrva

Baziran na tehnici podjele grafa na više nivoa, razvijen je efikasan algoritam za podjelu elektroenergetskog sistema na ostrva [10]. EES se modeluje pomoću težinskog grafa, gdje su težine grana apsolutne vrijednosti aktivnih i reaktivnih tokova snaga (MW i MVar). Dakle, svaka grana ima dvije težinske vrijednosti, pa se definiše i dvostruka funkcija cilja. Optimalan broj ostrva EES-a  $k$  predstavlja slučaj sa minimalnim ispadom potrošnje.

Za podjelu težinskog grafa na više dijelova (ostrva EES-a) koristi se algoritam rekursivne bisekcije, koji je implementiran pomoću programskog paketa pMETIS [9]. Ovaj programski paket je sposoban da podijeli graf sa 15606 čvorova i 45878 grana na 256 dijelova sa minimalnom težinom skupa reza za 3.13 s na personalnom računaru [9].

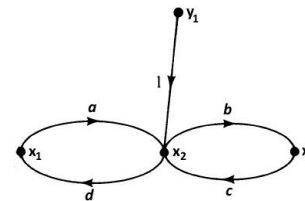
Primjenom predloženog algoritma iz oblasti teorije grafova moguće je proračunati optimalnu podjelu velikog EES-a na ostrva za vrijeme od samo nekoliko sekundi, što predstavlja odličan rezultat i otvara mogućnost primjene tehnike u realnom vremenu.

## IV. GRAF TOKA SIGNALA

Za rješavanje sistema linearnih algebarskih jednačina često su pogodne matrične metode, ali je moguće koristiti i teoriju grafova, čiji pristup rješavanja je obično brži. Najvažnija prednost primjene teorije grafova je vidljivost uzročno-posljedičnih veza između promjenjivih [4].

*Graf toka signala* je naziv za grafičko predstavljanje sistema linearnih jednačina datog u obliku:  $C \cdot x = y$  koje pruža mogućnost određivanja odnosa između promjenjivih u zadatom sistemu. Radi se o usmjerenom grafu u kojem čvorovi predstavljaju promjenjive, a grane u grafu veze između parova čvorova, na primjer, usmjerena grana od čvora  $x_i$  ka čvoru  $x_j$  označava da promjenjiva  $x_j$  zavisi od varijable  $x_i$ , ali ne i obrnuto. Koefficienti u jednačinama predstavljaju težine grana takve da je promjenjiva  $x_k$  jednaka zbiru proizvoda  $w_{ik}x_i$  gdje je  $w_{ik}$  težina grane usmjerene od čvora  $x_i$  ka čvoru  $x_k$ . Ulazni stepen čvora u grafu je nula ako i samo ako taj čvor predstavlja nezavisnu varijablu.

Na Sl.3. prikazan je jednostavan primjer *grafa toka signala*.

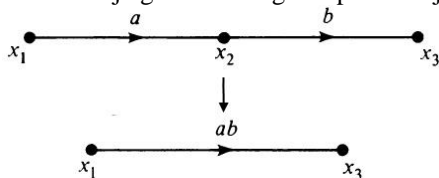


Slika 3. Jednostavan primjer grafa toka signala.

Naredni sistem linearnih algebarskih jednačina se može napisati na osnovu grafa toka signala sa Sl.3:

$$\begin{aligned}x_1 &= d \cdot x_2, \\x_2 &= a \cdot x_1 + c \cdot x_3 + y_1, \\x_3 &= b \cdot x_2.\end{aligned}\quad (5)$$

Iako se često grafovi tokova signala formiraju nakon pregleda sistema algebarskih jednačina, u inženjerstvu se često oni crtaju prije zapisa sistema jednačina, jer je vizuelno moguće redukovati broj elemenata u grafu u slučaju kada je potrebno pronaći zavisnost jedne promjenjive, na primjer  $x_j$ , u funkciji od jedne nezavisne promjenjive, na primjer  $y_k$ . Metoda redukcije grafa tačno odgovara algebarskoj metodi eliminacije svih drugih promjenjivih sistematskom zamjenom. Jednostavan primjer elementarne redukcije grafa toka signala prikazan je na Sl.4.



Slika 4. Elementaran primjer redukcije grafa toka signala.

#### A. Mejsonovo pravilo

Iako redukcija grafa toka signala vizuelnim pregledom predstavlja korisnu metodu, ipak je sa aspekta metodologije korisno imati i metodu koja se ne oslanja na vizuelni pregled, kao alternativu.

Neka je  $p$  usmjeren put od čvora  $a$  do čvora  $b$  u grafu toka signala. Tada se proizvod težina svih grana puta  $p$  naziva pojačanje puta. Proizvod težina svih grana u usmjerenom ciklusu  $C$  naziva se pojačanje ciklusa. Za dati graf  $G$  toka signala definišemo:

$t_1$  – zbir pojačanja svih usmjerenih ciklusa,

$t_k$  – zbir proizvoda pojačanja po  $k$  usmjerenih ciklusa koji nemaju zajedničkih čvorova.

**Teorema 4** [4]: Neka graf toka signala  $G$  predstavlja sistem jednačina  $Cx=y$ . Tada je determinanta  $\Delta$  matrice  $C$  data sa

$$\Delta = 1 - t_1 + t_2 - t_3 + \dots + (-1)^q t_q, \quad (6)$$

gdje je  $q$  maksimalan broj usmjerenih ciklusa koji nemaju zajedničkih čvorova.

**Teorema 5** [4]: Neka graf toka signala  $G$  predstavlja sistem jednačina  $Cx=y$ . Tada je  $ij$  kofaktor  $C_{ij}$  matrice  $C$  data sa

$$C_{ij} = \sum P_k \Delta_k, \quad (7)$$

gdje je  $P_k$  pojačanje  $k$ -tog usmjerenog puta od čvora  $i$  do čvora  $j$ , a  $\Delta_k$  vrijednost determinante  $\Delta$  definisane sa (6) za dio usmjerenog grafa koji nema zajedničkih čvorova sa  $k$ -tim usmjerenim putem, a u zbiru se uzimaju svi usmjereni putevi od čvora  $i$  do čvora  $j$ .

Kombinovanjem prethodnih teorema dobija se Mejsonova formula, koja daje odziv  $x_j$  usljed pobude  $y_i$  (zavisnost

promjenjive  $x_j$  od promjenjive  $y_i$ ):

$$\left. \frac{x_j}{y_i} \right|_{y_k=0, k \neq i} = \frac{C_{ij}}{\Delta}, \quad (8)$$

gdje se  $C_{ij}$  i  $\Delta$  izračunavaju pomoću (7) i (6), redom.

Mejsonova formula se veoma često koristi u teoriji automatskog upravljanja, analizi električnih kola i analizi električnih mašina [4]. Za proračune upotrebom računara danas su najzastupljenije matricne metode rješavanja, ali u njima se ne vidi direktno fizikalna priroda sistema.

## V. ZAKLJUČAK

Prilikom izučavanja problema u primjenjenim oblastima elektrotehnike često se polazi od već utvrđenih metoda ne ispitivajući njihove matematičke osnove. Dobra strana pomenutog pristupa je velika ušteda vremena i jednostavna provjera dobijenog rješenja. Međutim, sa aspekta naučnog istraživanja, pravi doprinosi mogu često biti sakriveni u unapređenju samih matematičkih osnova metoda, zbog čega dublja analiza može biti od velike koristi. Kroz odabrane primjere iz ovog naučnog članka moguće je uočiti značaj poznavanja teorije grafova za dublje razumijevanje primjenjenih problema u oblasti elektrotehnike, što predstavlja osnovni korak ka razvoju efikasnijih metoda njihovog rješavanja. Prikazana analiza u ovom preglednom članku može poslužiti kao dobar početak prema dubljioj naučnoj analizi nekog od predstavljenih problema.

## LITERATURA

- [1] O. Shai, "Transforming engineering problems through graph representations", *Advanced Engineering Informatics*, ELSEVIER, 17, 2003, pp.77-93.
- [2] F. Riaz, K. M. Ali, "Applications of Graph Theory in Computer Science", *Computational Intelligence Third International Conference on Communication Systems and Networks (CICSyN) 2011*, pp. 142-145, 26-28 July 2011.
- [3] Wai-Kai Chen, *Graph Theory and Its Engineering Applications*, World Scientific, 1997, pp. 36-140.
- [4] N. Deo, *Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science*, Courier Dover Publications, 2017, pp. 356-384.
- [5] N. Sayeekumar et al., "Graph theory and its applications in power systems - a review", *2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, Kumaracoil, 2015, pp. 154-157.
- [6] L. Juan, "Reconfiguration of power networks based on graph-theoretic algorithms" (2010). *Graduate Theses and Dissertations*. 11671. pp. 19-24.
- [7] G. Kirchhoff, "On the Solution of the Equations Obtained from the Investigation of the Linear Distribution of Galvanic Currents", in *IRE Transactions on Circuit Theory*, vol. 5, no. 1, pp. 4-7, Mar 1958.
- [8] J.C. Maxwell, *Electricity and Magnetism* (Clarendon Press, Oxford), 1892, ch. 6 and appendix.
- [9] G. Karypis and V. Kumar, "A Fast and High Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs", *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol. 20, no. 1, pp. 359-392, 1998.
- [10] J. Li and C.C. Liu, "Power System Reconfiguration Based on Multilevel Graph Partitioning," *Proceedings of 2009 PowerTech*, Bucharest, Romania, June 2009.

# Sigurnost i zaštita pametnih sistema

Marijana Jovanović

**Sadržaj**—Eksplozivni razvoj IoT tehnologije u poslednjih nekoliko godina prouzrokovao je veliku ranjivost IoT sistema na razne sajber prijetnje i napade. Sa ciljem razumijevanja, preventivne i rješavanja ovog problema, u ovom radu ćemo dati pregled arhitekture IoT uređaja, analizirati različita pitanja bezbjednosti i privatnosti IoT sistema, uključujući izazove bezbjednosti, modele prijetnji i napada sa perspektive pametnih sistema. Zatim, biće predstavljene razne prakse za bezbjedno upravljanje IoT sistemima.

## I. UVOD

Ljudi se oduvijek trude da sebi učine život praktičnijim, komfornijim i lagodnijim. Relativno nova oblast tehnologije koja pruža tu mogućnost jeste IoT (eng. *Internet of Things*). Ljudi koriste pametne uređaje kao što su pametni sat, pametni TV, pametni kućni aparati. Svi ovi uređaji se svrstavaju u takozvane pametne uređaje – IoT uređaje. Termin IoT uređaji se odnosi na razne elektronske uređaje i predmete koji mogu da se povežu i komuniciraju preko interneta [1]. Upravljanje uređajima na daljinu, njihovo umrežavanje i nadgledanje istih putem interneta jeste osnova na kojoj se temelji IoT tehnologija. IoT predstavlja mrežni sistem u žičnoj ili bežičnoj mreži, koji se sastoji od softverskih i hardverskih entiteta velike oblasti primjene kao što su upravljanje proizvodnjom, energetska upravljanje, elektronska trgovina, logistički menadžment, zdravstveni sistem, vazduhoplovno istraživanje, automatizacija zgrada i kuća, upravljanje infrastrukturom. Proštije rečeno, IoT predstavlja infrastrukturu današnjeg informacionog društva [2].

U poslednje vrijeme IoT koncept se značajno primjenjuje i na stambene kuće, sve sa ciljem postizanja veće efikasnosti, sigurnosti i udobnosti svakodnevnog života. IoT mreža pametne kuće jedna je od vitalnih primjena IoT-a. [3].

Međutim, kao rezultat naglog razvoja IoT tehnologije i sve većeg broja međusobno povezanih uređaja, sajber napadi predstavljaju sve veću prijetnju. Stoga, utvrđivanje privatnosti i sigurnosti sistema pametne kuće predstavlja ozbiljan izazov koji je potrebno riješiti [3]. Zarad sigurnosti i privatnosti IoT uređaja, treba zadovoljiti tri esencijalna uslova - trijadu uslova: povjerljivost (prevenciju neautorizovanog otkrivanja informacija), integritet (sigurnost podataka od neautorizovanih modifikacija) i dostupnost (dostupnost informacija autorizovanim korisnicima). Ova trijada se naziva CIA trijada (eng. *confidentiality-integrity-availability*) [1].

Marijana Jovanović, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: [jmarijana95@hotmail.com](mailto:jmarijana95@hotmail.com)).

## II. IOT ARHITEKTURA I PRIJETNJE PO NJENIM SLOJEVIMA

IoT uređaji predstavljaju uređaje povezane na internet koji mogu da komuniciraju sa drugim uređajima i međusobno razmjenjuju podatke. Stoga, jako je bitno da postoji arhitektura po kojoj će ovi uređaji moći ispravno da rade. Takođe, jako je bitno sagledati sve sajber prijetnje koje vrebaju svaku oblast ove arhitekture radi preuzimanja akcija povodom njihove prevencije.

Postoje dvije vrste IoT arhitekture: troslojna i četvoroslojna. Slojevi kod troslojne arhitekture su:

### A. Senzorski sloj

Senzorski sloj predstavlja najniži sloj arhitekture, koji se sastoji od mreže različitih vrsta senzora koji prikupljaju podatke i informacije iz okoline i prenose ih u mrežni sloj [1]. Senzorski sloj se sastoji od raznih vrsta čvorova ili senzora kao što su RFID, etikete sa bar kodom, aktuatori i pametni uređaji za detekciju [2].

Napadač može da koristi senzore za ubacivanje zlonamjernog koda i iskoristi ih za dobijanje osjetljivih podataka koje međusobno razmjenjuju IoT uređaji. Napadači mogu da vrše takozvane napade bočnih kanala koji analiziraju elektromagnetnu emisiju kako bi izvršili napade na razne mehanizme enkripcije. Takođe, napadač može izazvati buku signala prilikom njihovog prenosa, može da upravlja dobijenim podacima, da izvršava napad, da uhvati samo čvorište komunikacije uređaja, itd. [1].

### B. Mrežni sloj

Ovaj sloj predstavlja skup raznih komunikacionih tehnologija čija je funkcija žičnim ili bežičnim putem usmjeravanje i prenos informacija na IoT čvorišta komunikacije i na razne uređaje. Na ovom sloju razne platforme poput računara, *cloud*-a, internet gejtvjeja, uređaja za usmjeravanje koriste tehnologije poput 3G/4G, LTE, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee itd. za prenos podataka putem interneta [1].

Mrežni sloj je veoma osjetljiv na vrstu napada koja se naziva MITM napad (eng. *Man-in-the-middle*), napad Sybil u kojem napadač krađe korisne informacije i narušava integritet i na taj način se jedan čvor komunikacije može prikazati (duplirati) na više lokacija unutar IoT mreže. Sledeći napad na koji je osjetljiv mrežni sloj jeste DDoS napad (eng. *Distributed denial of service*). To je napad uskraćivanja usluge, gdje napadač hvata čvor mreže koja ima dodijelenu IP adresu i upućuje zahtjeve serveru. Nakon hvatanja čvora, server biva preopterećen i preplavljen zahtjevima. Tada korisnik više nije u mogućnosti da mu pristupi [1].



### C. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj predstavlja najviši sloj IoT arhitekture. Ovaj sloj pruža „*user friendly*“ okruženje za korisnika gdje on može pristupiti podacima prikupljenim od strane raznih senzora [1]. Ovaj sloj obuhvata IoT aplikacije i koristi razne protokole kao što je protokol ograničene aplikacije (CoAP), protokol za prenos telemetrijskog reda poruka (MQTT), napredni protokol čekanja poruka (AMQP) i proširiv protokol za razmjenu poruka i protokol prisustva (XMPP) [2]. On predstavlja najopipljiviji sloj za korisnika, jer predstavlja interfejs sistema kojem korisnik pristupa.

Preko ovog sloja, zlonamjerni podaci ulaze u pametne uređaje krajnjeg korisnika. Napadač ulazi u uređaj poput malvera (eng. *malware*), trojanskih konja (eng. *Trojan horses*) i špijunskog softvera (eng. *spyware*) i na taj način dobija puni pristup sistemu [1].

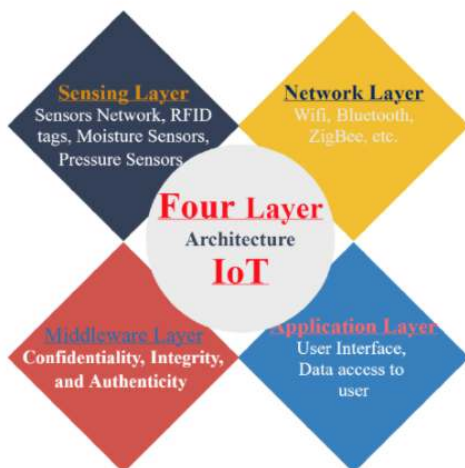
Iz bezbjednosnih razloga je uveden još jedan sloj u IoT arhitekturu koji se naziva sloj posredničkog softvera.

### D. Sloj posredničkog softvera

Ovo je softverski sloj koji se nalazi između mrežnog sloja i aplikacijskog sloja i predstavlja njihovu sponu. Ovaj sloj je u osnovi fokusiran na razmjenu podataka. [1].

Ovdje napadač namjerno modifikuje i izdvaja podatke ili informacije unutar mreže. Osnovni napad ovog sloja je napad na Paas (eng. *Platform-as-a-service*). Napadi od strane trećeg lica su prouzrokovani nezavisnim komponentama kao što je  *mashup*, koji povećava sigurnost podataka i mreže na Paas. U SQL napadu, napadač unosi zlonamjerni SQL kod u program. U *cloud malware* napadu napadač dobija kontrolu da ubaci zlonamjerni kod ili virtuelnu mašinu u *cloud* i na taj način napadač djeluje kao neka validna usluga [1].

Na slici 1 je dat prikaz svih slojeva četvoroslojne IoT arhitekture.



Slika 1. Četvoroslojna IoT arhitektura [1]

Dakle, svaki sloj IoT arhitekture je osjetljiv na razne sajber prijetnje.

Na slici 2 su prikazane opisane prijetnje po slojevima IoT arhitekture.

Sensing Layer	Network Layer	Middleware Layer	Application Layer
+ Data Manipulation	+ MITM Attack	+ PaaS Attack	+ Data Leakage
+ Side Channel Attack	+ Sybil Attack	+ SQL Injection	+ DoS Attack
+ Boot Attack	+ DDoS Attack	+ Cloud Malware Injection	+ Malicious Code Injection
+ Node Capturing			

Slika 2. Prijetnje po slojevima IoT arhitekture [1]

Potrebno je dati rješenja na koje načine je moguće zaštititi sistem u cilju dobijanja jednog bezbjednog IoT sistema.

## III. RJEŠENJA DATA KAO ODGOVOR NA IoT PRIJETNJE

Kako pametne kuće mogu da sadrže osjetljive, važne i privatne informacije, u ovom pametnom okruženju zasnovanom na IoT tehnologiji predložena su bezbjednosna rješenja i prakse.

### 1. Ažuriranje softvera

Ažuriranje i nadogradnja softvera, firmvera i *firewall-a* uređaja na najnoviju verziju su veoma bitne stavke kako bi se izbjegle neotkrivene ranjivosti [3].

### 2. Korišćenje efikasne enkripcije

Heterogene komponente u IoT uređaju treba efikasno da enkriptuju komunikaciju podataka gdje god je to moguće. Prenos šifrovanih podataka smanjio bi potencijalne rizike privatnosti i spriječio neovlašćeni pristup napadača radi ostvarivanja koristi od podataka koji se prenose između komponenti. [3].

### 3. Korišćenje privatne mreže

Sigurnosni komunikacioni kanal je jedna od najpopularnijih metoda koja se koristi za zaštitu IoT uređaja od neovlašćenog pristupa. Sigurnosni komunikacioni kanal može koristiti sigurnu virtuelnu privatnu mrežu (VPN) i ograničiti mrežni protok podataka tako da je dostupan samo ovlašćenim korisnicima [3].

### 4. Primjena najnovijih protokola

Neophodno je primijeniti najnovije (aktuelne, ažurirane) protokole u IoT uređajima kako bi se zaštitila mreža. Protokol je jedna od najvažnijih komponenti u IoT-u. Predviđa propise za uspostavljanje kontrole, komunikacije i razmjene podataka između uređaja na jedinstven način. [3].

### 5. Redovna promjena akreditiva

Pri prvom korišćenju IoT uređaja, korisnici bi trebalo da promijene fabrički podešene akreditive (korisničko ime i lozinku) u sigurnije. Pored toga, lozinku treba redovno mijenjati svaka tri mjeseca i korisnici bi trebalo da koriste različite lozinke za sve IoT uređaje u sistemu. Štaviše, toplo se preporučuje da se ne koristi e-pošta kao korisničko ime, jer je uobičajena tehnika za napadače da pokušaju da preko naloga e-pošte saznaju lozinku [3].

### 6. Izrada rezervnih kopija značajnih informacija

Neki pametni kućni uređaji sadrže značajne informacije

kojima je neophodno da pristupaju samo ovlašćene osobe. Redovno pravljenje rezervnih kopija takvih podataka najbolja je praksa da se spriječi njihovo mijenjanje ili krađa [3].

### 7. Nadgledanje mreže

Jedna od najboljih praksi za zaštitu pametnih kuća je nadgledanje veze IoT uređaja tokom prenosa poruka. Postoji mnogo alata koji pomažu u nadgledanju mreže i analiziranju poruka uređaja kao što je *Microsoft Message Analyzer*. Štaviše, softver za nadgledanje može tragati za ranjivostima, a zatim ažurirati IoT programe [3].

## IV. PRIJETNJE I TEHNIKE ZAŠTITE KONKRETNIH PAMETNIH KUĆNIH SISTEMA OD SAJBER PRIJETNJI I NAPADA

### A. HDL pametni sistem

HDL inteligentni sistem kućne automatike je sofisticirani sistem međusobne komunikacije automatizovanih uređaja. Korisniku je omogućeno da putem upravljačkog panela upravlja objektom i jednim pritiskom na taster dovede objekat u željeni režim. HDL pametni kontrolni sistem koristi svoj komunikacioni protokol i može se podijeliti na žični sistem i bežični sistem. Žični sistem se naziva „*Buspro*“, a bežični „*Buspro Wireless*“. Takođe, HDL je član proizvođača KNX međunarodne organizacije i obezbjeđuje pametne uređaje koji podržavaju KNX protokol [4]. Prednosti bežične komunikacije su što jednom kada se instaliraju bežični moduli, korisnik može da konfigurira svoj cijeli sistem i upravlja njime preko HDL aplikacije (*HDL BusPro*, desktop aplikacije i *HDL On*, Android aplikacije).

Međutim, kao dio IoT tehnologije, ovaj sistem posjeduje određene ranjivosti. Neke od glavnih sajber prijetnji na koje je osjetljiv ovaj pametni sistem jesu:

#### 1. Preuzimanje kontrole nad nalogom korisnika

Registracijom novog naloga (preko e-mail adrese i lozinke) u mobilnoj aplikaciji se automatski kreira drugi *debug* nalog za podešavanje postavki i slanje konfiguracije za lokalne uređaje na HDL server kako bi ih drugi ovlašćeni korisnici mogli preuzeti i kontrolisati pametnu kuću. Ovaj *debug* nalog ima istu lozinku koju je odredio korisnik za svoj nalog. Postupak promjene lozinke dopušta definisanje nove lozinke za *debug* nalog, dok lozinka za korisnika ostaje ista.

Napadač može da registruje e-mail adresu za *debug* korisničko ime da bi dobio uputstva za promjenu lozinke. Kada se postupak završi, napadač može da kontroliše komponente sistema u HDL automatizovanom okruženju, kao i da ih konfigurira [5]. Dakle, napadač može preuzeti *debug* nalog, što mu omogućava kontrolu nad svim pametnim uređajima i konfiguracijama unutar pametne kuće.

#### 2. SQL injection napad

Pored problema sa preuzimanjem naloga, sledeća identifikovana ranjivost HDL sistema je *SQL injection* napad na HDL server gdje se jedna od grešaka može iskoristiti za lako preuzimanje velikog broja informacija iz sistema, uključujući e-poštu, liste korisnika, lozinke itd. [6].

Napadač bi mogao izvršiti *SQL injection* napad za izdvajanje svih korisničkih e-mail adresa iz baze podataka, a zatim izvršiti resetovanje lozinke za identifikovane naloge.

Hakovanjem servera koji se koristi za konfigurisanje pametnih uređaja, napadač bi mogao da nanese ozbiljnu štetu dobijanjem osjetljivih informacija, kao i sticanjem kontrole nad pametnim uređajima, poput kamera i senzora. Dalje, na ovaj način bi napadači mogli da dodaju nove uređaje, saznaju više o IoT uređajima koje korisnik koristi, pa čak i steknu uvid u verzije firmvera i druge podatke konfiguracije [6].

Ostali mogući napadi uključuju DoS napade - napade uskraćivanja usluga (uklanjanjem ili enkriptovanjem konfiguracije), promjenu svih lozinki, kontrolisanje klima uređaja radi povećanja temperature u serverskim sobama i potencijalnog oštećenja servera i onemogućavanja sigurnosnih kamera i drugih senzora [6].

U nekoj organizaciji napadač može da koristi hakovane akreditive, promijeni konfiguraciju pametnih uređaja preuzimanjem *debug* naloga. Kada god korisnik ažurira sistemsku konfiguraciju (za svoju mobilnu aplikaciju HDL ON) dobiće novu zlonamjernu konfiguraciju koja može biti vrlo korisna napadaču koji pokušava da promijeni unutrašnju konfiguraciju ili dođe do privatnih podataka [6].

Neke tehnike zaštite sistema jesu:

- *Secure Boot*

*Secure Boot* (sigurno pokretanje sistema) predstavlja bezbjednosni standard koji se razvio da bi se osiguralo da se uređaj pokreće koristeći samo softver koji ima povjerenje proizvođača opreme ili drugog pouzdanog izvora. *Secure Boot* koristi tehnike digitalnog potpisa zasnovane na kriptografskom kodu, osiguravajući da uređaj izvršava kod koji generiše proizvođač opreme. Korišćenje ove tehnologije sigurnog pokretanja sprječava hakere da zamijene firmver zlonamjernim verzijama, čime se sprječavaju napadi [6].

- *Uzajamna autentifikacija*

Svaki put kada se pametni kućni uređaj poveže na mrežu, prije prijema ili prenosa podataka treba da bude potvrđen identitet korisnika. Ovim se osigurava da podaci potiču od legitimnog uređaja. Kriptografski algoritmi koji uključuju simetrične ili asimetrične ključeve mogu se koristiti za potvrdu identiteta. Na primjer, SHA-x algoritam (eng. *Secure Hash Algorithm*) može biti korišćen za simetrične ključeve, a ECDSA algoritam (eng. *Elliptic Curve Digital Signature Algorithm*) može biti korišćen za nesimetrične ključeve [7].

- *Sigurna komunikacija (enkripcija)*

Sigurna enkripcija ima za cilj da omogući sigurnu komunikaciju između uređaja i *cloud*-a. Enkripcija osigurava da samo oni uređaji koji posjeduju tajni ključ za dešifrovanje mogu da pristupe prenesenim podacima. [7].

- *Nadzor i analiza bezbjednosti (nadgledanje mreže)*

Ova tehnika zaštite sistema prati podatke cijelog sistema sve do krajnjih uređaja i njihove međusobne komunikacije. Ovi podaci se zatim analiziraju kako bi se otkrile moguće

bezbjednosne ranjivosti i prijetnje. Ključno je osigurati da krajnji uređaji budu zaštićeni od neovlašćenih manipulacija jer oni predstavljaju direktnu vezu sa korisnikom [7].

### B. KNX pametni sistem

Pametni sistem koji je takođe jako često izbor vlasnika pametnih kuća jeste KNX sistem. Međutim, manipulacija upravljanja sistemom predstavlja potencijalni rizik.

*KNX Secure* je razvijen da odgovori na trenutne i buduće izazove u vezi sa sajber bezbjednošću u automatizaciji pametnih kuća [8]. Takođe, implementiran je ETS (centralni instalacioni softver za KNX) i testni alati za razvoj *KNX Secure* uređaja su prošireni u skladu sa njim [9].

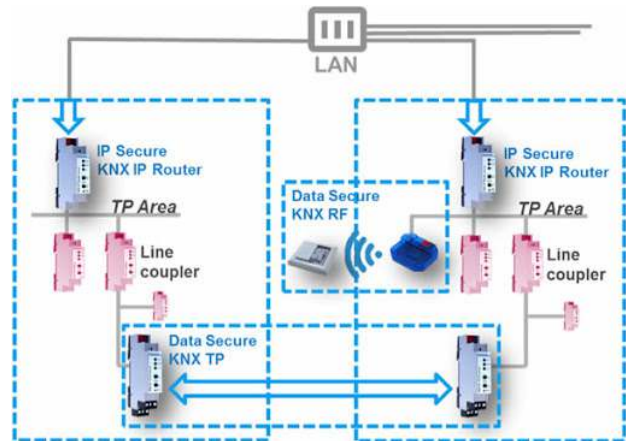
Štaviše, *KNX Secure* ispunjava najviše standarde enkripcije (prema ISO 18033-3 kao što je AES 128 CCM enkripcija) kako bi se postigao najviši nivo zaštite podataka [8]. *KNX Secure* garantuje maksimalnu zaštitu nudeći dvostruku zaštitu: eksternu zaštitu pomoću *KNX Data Secure* i internu zaštitu pomoću *KNX IP Secure* (slika 3).

*KNX Data Secure* efikasno štiti korisničke podatke od neovlašćenog pristupa i manipulacije pomoću enkripcije i autentifikacije [8]. *KNX Data Secure* ima za cilj da osigura od početka enkriptovanu komunikaciju na nivou telegrama i nudi zaštitu u okviru instalacije. U tu svrhu se svaki uređaj isporučuje sa fabrički podrazumijevanim ključem za podešavanja – FDSK (eng. *Factory Default Setup Key*), koji ETS mora znati prije programiranja. Budući da ovaj ključ može biti poznat drugima, ETS ga zamjenjuje takozvanim ključem za programiranje (eng. *tool key*), koji se generiše pojedinačno za svaki uređaj [9].

Ostali ključevi su potrebni za grupne telegramе. Za maksimalnu sigurnost se koristi zasebni ključ za svaku grupnu adresu. Enkripcija sprječava nadgledanje podataka. Istovremeno, autorizacioni kod u telegramu osigurava da samo ovlašćeni uređaji mogu učestvovati u komunikaciji [9].

Na ovaj način se vrši prevencija ponovnog napada (eng. *reply attack*). Napadači koriste telegramе za njihovo prisluškivanje i kasnije ponovno slanje. Da bi se ovo spriječilo, svaki telegram sadrži broj telegrama koji mu pošiljalac uzastopno dodjeljuje. Prijemnik može da prihvati samo telegramе koji su većeg broja od telegrama koji je posljednji put primljen [9].

Međutim, budući da nisu svi uređaji dostupni kao sigurna varijanta, važno je da se sigurna i nesigurna instalacija mogu spojiti u jednu instalaciju. Jedan mogući scenario je enkripcija samo u određenim djelovima instalacije. Enkripcija je važan zahtjev naročito u KNX RF protokolu. U isto vrijeme, telegrami bi trebalo da imaju mogućnost da se šalju na konvencionalne KNX uređaje. *Secure Proxy*, softverski modul koji se postavlja u spojnici mreže, se javlja kao rješenje ovog zahtjeva. Na slici 3 je ovaj modul primijenjen u KNX RF/TP (eng. *radio frequency/ twisted pair*) spojnici. *Secure Proxy* prevodi sigurnu komunikaciju sa radio strane u nesigurne telegramе na KNX TP i obrnuto. Međutim, *Secure Proxy* se može takođe postaviti u linijskim spojnica (TP/TP) npr. za povezivanje bezbjednih spoljnih linija na nesigurnu unutrašnju KNX mrežu [9].



Slika 3. Instalacija koja je interno zaštićena i eksterno zaštićena pomoću *KNX Data Secure* odnosno *KNX IP Secure* [9]

*KNX IP Secure* ima pristup zasnovan na pretpostavci da postoji tačka napada na IP nivou. Pretpostavlja se da KNX TP predstavlja siguran medijum, a da IP komunikacija može biti napadnuta. *KNX IP Secure* štiti KNX IP komunikaciju dok komunikacija na KNX TP ostaje nešifrovana. Glavna prednost ovog pristupa je što se postojeći KNX TP uređaji i instalacije mogu i dalje nepromijenjene koristiti, a mijenjaju se samo KNX IP uređaji, tj. KNX IP interfejsi i ruteri. KNX IP podrazumijeva protokol usmjeravanja koji se koristi za IP okosnice i predstavlja KNX IP medijum, dok protokol tuneliranja omogućava klijentu pristup TP liniji putem IP-a. KNX IP ruteri obično implementiraju oba protokola, dok KNX IP interfejsi podržavaju samo funkciju tuneliranja [9].

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je akcenat stavljen na sisteme pametnih kuća. Dalje istraživanje na ovu temu može biti prošireno na ostala područja u kojima se upotrebljavaju pametni sistemi (zdravstvo, saobraćaj, trgovina, itd.) sve do danas jako atraktivne, ali kompleksne oblasti sistema pametnih gradova.

## LITERATURA

- [1] Rushi Patel, „Cyber Security in Domain of IoT: A Review Threats and Security,” December 2020.
- [2] Shervin Erfani, Majid Ahmadi, Long Chen, „The Internet of Things for Smart Homes: An Example,” in *2017 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON)*, August 2017.
- [3] Tatal A.A Abdullah, Waleed Ali, Sharaf Malebary, Adel Ahmed, „A Review of Cyber Security Challenges, Attacks and Solutions for Internet of Things Based Smart Home,” in *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.19 No.9, September 2019, pp. 139–146.
- [4] <http://hdl-tr.com/about-us>
- [5] <https://www.bleepingcomputer.com/news/security/bugs-in-hdl-automation-expose-iot-devices-to-remote-hijacking/>
- [6] <https://www.securityweek.com/hdl-smart-devices-homes-and-buildings-exposed-hacker-attacks>
- [7] <https://www.rambus.com/iot/smart-home/>
- [8] <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/benefits/knx-secure/index.php>
- [9] <http://knxtoday.com/2019/07/13924/knx-secure-the-way-to-protect-your-installations.html>

# Konvertor $RC$ vremenske konstante integratorskih kola u digitalni ekvivalent

Gojko Ratković, Nikša Tadić i Milena Erceg

**Sadržaj**—U radu je prikazan konvertor  $RC$  vremenske konstante integratorskih kola u digitalni ekvivalent. Predloženo rješenje omogućava ne samo mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora, nego i postizanje željene vrijednosti  $RC$  vremenske konstante. Data su rješenja sa upravljanjem od strane mikrokontrolera, kao i bez njega. Prototip je napravljen u diskretnoj tehnici na štampanoj ploči. Eksperimentalna valorizacija obavljena na prototipu sa single supply naponom napajanja od 2.7 V potvrđuje matematičke modele koji opisuju rad kola.

## I. UVOD

Analogni integratori predstavljaju osnovni gradivni element u mnogim oblastima elektronike (filteri, astabilni multivibratori, analogno-digitalni konvertori, konvertori napona u frekvenciju,...) [1] - [4]. U diskretnoj tehnici realizuju se pomoću operacionih pojačavača, otpornika i kondenzatora. Obavljaju matematičku operaciju analognog integraljenja ulaznog napona ili ulazne struje u vremenskom domenu. U slučaju naponskog procesiranja rezultat integraljenja zavisi od vrijednosti  $RC$  vremenske konstante, gdje  $R$  i  $C$  predstavljaju otpornost i kapacitivnost otpornika i kondenzatora koji predstavljaju sastavni dio integratora. Zbog tolerancija ovih pasivnih elemenata vrijednost  $RC$  vremenske konstante obično nije poznata sa dovoljnim stepenom tačnosti. Problem postaje posebno izražen u primjenama koje su podložne uticajima varijabilne temperature, vlažnosti vazduha, vazdušnog pritiska, ili starenju komponenti. Ovi varijabilni parametri iz radnog okruženja integratorskih kola rezultiraju varijacijama vrijednosti  $RC$  vremenskih konstanti. Performanse elektronskih sistema čiji sastavni dio predstavljaju integratori sa varijacijama  $RC$  vremenskih konstanti imaju ograničenu oblast primjene i skromne performanse. Sa druge strane, postoje primjene analognih integratora (npr. u preciznoj mjernoj instrumentaciji) gdje je potrebno imati vrlo stabilnu  $RC$  vremensku konstantu poznate vrijednosti.

U ovom radu biće predstavljen konvertor  $RC$  vremenske konstante integratora u digitalni ekvivalent nezavisno od primjene integratorskog kola. Takođe, biće predstavljeno i

kolo koje omogućava ne samo mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora, nego i postizanje željene vrijednosti  $RC$  vremenske konstante.

## II. OPIS KOLA

### A. Osnovno kolo integratora sa naponskim procesiranjem

Integrator sa naponskim procesiranjem realizovan pomoću operacionog pojačavača prikazan je na slici 1. Napon  $V_{out}$  na izlazu integratora mijenja se prema sljedećem izrazu:

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt \quad (1)$$

gdje je  $V_{in}$  napon na ulazu integratora. Jednostavnim uvidom u matematički model (1) dolazi se do zaključka da je uticaj  $RC$  vremenske konstante na rad integratora sa naponskim procesiranjem veliki. Relacija (1) izvedena je pod pretpostavkom da je operacioni pojačavač idealan. Primjena relacije (1) podrazumjeva poznavanje početnih uslova koji se definišu u formi napona na krajevima integracionog kondenzatora  $C$  u početnom trenutku integracije.

### B. Integrator sa kolom za mjerenje $RC$ vremenske konstante

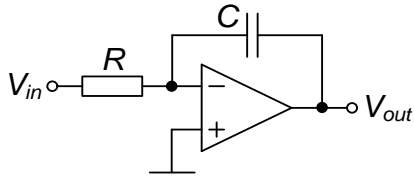
Integrator sa kolom za mjerenje  $RC$  vremenske konstante sa mikrokontrolerskim ( $\mu C$ ) upravljanjem prikazan je na slici 2. Pored osnovnog integratora sa naponskim procesiranjem realizovanog pomoću operacionog pojačavača, otpornika  $R$  i kondenzatora  $C$ , predloženo kolo sadrži i naponski komparator, otpornike  $R_1$  i  $R_2$ , izvor referentnog napona  $V_{REF}$ , i bilateralne CMOS prekidače  $S_1$  -  $S_5$ . Rad kola upravljani je od strane  $\mu C$ -a.

Takt-impulsi koji kontrolišu otvaranje i zatvaranje bilateralnih CMOS prekidača generisani su od strane  $\mu C$ . Signali  $\phi_1$  i  $\phi_2$  predstavljaju neprekidajuće takt-impulse [4]. Kada je  $\phi_1 = V_{DD}$ ,  $\phi_2 = \phi_3 = 0$ , zatvoreni su prekidači  $S_1$  i  $S_3$ , dok su prekidači  $S_2$ ,  $S_4$  i  $S_5$  otvoreni. Samim tim, mikrokontrolerski upravljani integrator od ulaza  $V_{in}$  do izlaza  $V_{out}$  svodi se na osnovno kolo integratora sa naponskim procesiranjem prikazano na slici 1 čiji je rad definisan relacijom (1). U ovom režimu rada osnovno kolo integratora može se koristiti kao gradivni element u odgovarajućem elektronskom sistemu. Kada je  $\phi_1 = \phi_3 = 0$ ,  $\phi_2 = V_{DD}$ , zatvoreni su prekidači  $S_2$  i  $S_4$ , dok su prekidači  $S_1$ ,  $S_3$  i  $S_5$  otvoreni. Mikrokontrolerski upravljani integrator sada se svodi na kolo prikazano na slici 3. Napon  $V_{out}$  na izlazu

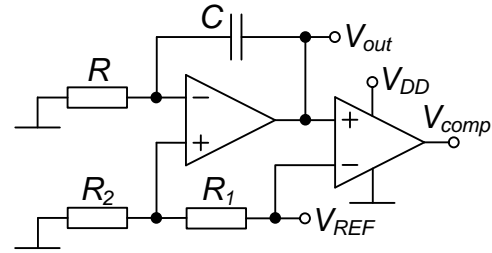
\*Gojko Ratković, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: gojko.ra77@gmail.com).

Nikša Tadić (autor za kontakte), Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: niksa\_tadic@yahoo.com).

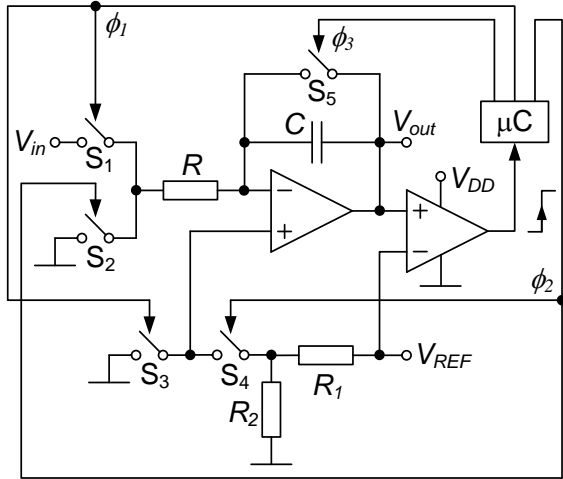
Milena Erceg, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: milena.zogovic@gmail.com).



Slika 1. Integrator sa naponskim procesiranjem realizovan korišćenjem operacionog pojačavača.



Slika 3. Kolo za mjerenje RC vremenske konstante integratora.



Slika 2. Mikrokontrolerski upravljani integrator sa kolom za mjerenje RC vremenske konstante.

integratora može se predstaviti na sljedeći način:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} + \frac{1}{RC} \int \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} dt \quad (2)$$

Podrazumjevajući da je napon na krajevima integracionog kondenzatora  $C$  u početnom trenutku integracije jednak nuli, i vodeći računa da je referentni napon  $V_{REF}$  konstantna veličina,  $V_{REF} = const.$ , relacija (2) postaje:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} \left( 1 + \frac{t}{RC} \right) \quad (3)$$

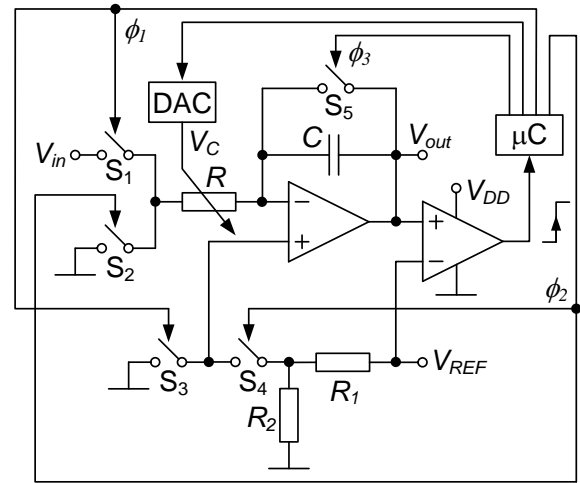
gdje je  $t$  vremenska promjenljiva. U trenutku  $t = T$  napon  $V_{out}$  (3) dostiže vrijednost referentnog napona  $V_{REF}$ :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} \left( 1 + \frac{T}{RC} \right) = V_{REF} \quad (4)$$

što izaziva promjenu napona  $V_{comp}$  na izlazu komparatora sa niskog na visok naponski nivo. Sada se na osnovu relacije (4) dobija da je vrijednost vremenske konstante  $RC$  data kao:

$$RC = \frac{R_2}{R_1} T \quad (5)$$

Uzimajući  $R_1 = R_2$  relacija (5) svodi se na  $RC = T$ . Dakle, vrijednost vremenske konstante  $RC$  jednaka je vremenu koje je potrebno da protekne od početka integracije do trenutka promjene napona  $V_{comp}$  na izlazu komparatora na slici 3. Nakon što  $\mu C$  registruje promjenu napona  $V_{comp}$  na izlazu



Slika 4. Mikrokontrolerski upravljani integrator sa kolima za mjerenje i naponom kontrolisano podešavanje RC vremenske konstante.

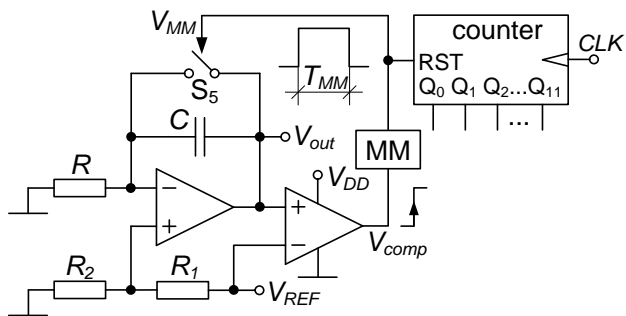
komparatora,  $\mu C$  zaustavlja proces integracije postavljanjem  $\phi_3 = V_{DD}$ . Na ovaj način dolazi do pražnjenja integracionog kondenzatora  $C$ , nakon čega se ponovo može pristupiti integraciji prema modelu opisanom relacijama (2) – (5). Dakle, kolo na slici 3 predstavlja kolo za mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratorskog kola. Mjerenje vremenskog intervala  $T = RC$  može se obaviti brojanjem takt-impulsa poznate frekvencije  $f$  kojima se taktuje brojač u sklopu  $\mu C$ -a tokom trajanja integracije modelovane relacijama (3) i (4), podrazumjevajući da je  $R_1 = R_2$ . U tom slučaju  $RC$  vremenska konstanta data je sljedećim izrazom:

$$RC = T = \frac{N}{f} \quad (6)$$

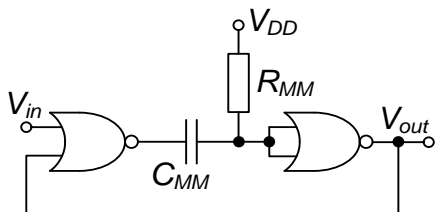
gdje  $N = Q_0 2^0 + Q_1 2^1 + Q_2 2^2 + \dots + Q_{n-1} 2^{n-1}$  predstavlja digitalni ekvivalent na izlazu brojača u trenutku promjene napona  $V_{comp}$  na izlazu komparatora, a  $n$  je rezolucija brojača. Rezolucija brojača  $n$  i frekvencija takt-impulsa  $f$  kojima se taktuje brojač moraju biti dovoljno veliki kako bi rezultat mjerenja  $RC$  vremenske konstante bio što precizniji.

*C. Integrator sa kolima za mjerenje i naponom kontrolisano podešavanje RC vremenske konstante*

Integrator sa kolom za mjerenje i naponom kontrolisano podešavanje  $RC$  vremenske konstante sa  $\mu C$  upravljanjem prikazan je na slici 4. Otpornik  $R$  u sklopu integratora realizovan je kao naponom kontrolisan otpornik čija se



Slika 5. Measurement set-up za mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora.



Slika 6. Monostabilni multivibrator korišten u measurement set-up-u prikazanom na slici 5.

otpornost mijenja promjenom kontrolnog napona  $V_C$  [5] – [7]. Kontrolni napon  $V_C$  predstavlja napon na izlazu digitalno-analognog konvertora (DAC) čije digitalne ulaze kontrolirše  $\mu C$  u skladu sa zahtjevanom vrijednošću ekvivalentne otpornosti naponom kontrolisanog otpornika  $R$  da bi se dobila željena vrijednost  $RC$  vremenske konstante. Kod ovog sistema potrebno je prvo izmjeriti aktuelnu vrijednost  $RC$  vremenske konstante za unaprijed postavljenu vrijednost kontrolnog napona  $V_C$  primjenjujući prethodno opisane postupke modelovane relacijama (2) – (6). Nakon toga  $\mu C$  utvrđuje vrijednost korekcije ekvivalentne otpornosti naponom kontrolisanog otpornika  $R$  koju je potrebno izvršiti da bi se dobila željena vrijednost  $RC$  vremenske konstante. Zatim se postupak ponavlja sve dok se mjerenjem ne postigne željena vrijednost  $RC$  vremenske konstante.

### III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Measurement set-up za mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora realizovan je u diskretnoj tehnici i prikazan je na slici 5. Nije korišćeno  $\mu C$  upravljanje, pa je kolo za mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora prikazano na slici 3 modifikovano dodavanjem monostabilnog multivibratora (MM-a) i brojača. MM korišćen u measurement set-up-u prikazan je na slici 6 [4]. Kvazistabilno stanje MM-a započinje pojavom rastuće ivice napona  $V_{in}$  na ulazu MM-a (napona  $V_{comp}$  na izlazu naponskog komparatora), a kvazistabilno stanje okarakterisano je visokim logičkim nivoom izlaznog napona  $V_{MM}$  MM-a. Trajanje kvazistabilnog stanja iznosi  $T_{MM} = R_{MM}C_{MM} \ln 2$  [4], podrazumjevajući da je logički prag okidanja CMOS NILI kola u konfiguraciji invertora jednak polovini napona napajanja  $V_{DD}$ . Integracija prema matematičkom modelu (2) – (5) obavlja se tokom stabilnog stanja MM-a, kada je napon  $V_{MM}$  na njegovom izlazu  $V_{MM} =$

TABELA I  
REZULTATI MJERENJA

$R$ [k $\Omega$ ]	$C$ [nF]	$RC$ [ $\mu$ s]	$N$	$f$ [MHz]	$RC$ [ $\mu$ s] (6)
10.005	210.9	2110.1	2077	1	2077
10.005	93.7	937.47	925	1	925
10.005	48.49	485.14	477	1	477
4.6761	210.9	986.19	949	1	949
4.6761	93.7	438.15	423	1	423
4.6761	48.49	226.74	218	1	218

0. Tokom stabilnog stanja MM-a brojač broji od 0. Kada se pojavi rastuća ivica napona na izlazu komparatora  $V_{comp}$ , MM prelazi u kvazistabilno stanje sa izlaznim naponom  $V_{MM} = V_{DD}$ , i dolazi do reseta brojača i pražnjenja integracionog kondenzatora  $C$  preko zatvorenog prekidača  $S_5$ . Reset brojača traje tokom čitavog perioda  $T_{MM}$  kvazistabilnog stanja MM-a, te brojač ne može brojati tokom ovog vremenskog intervala. Nakon isteka kvazistabilnog stanja  $T_{MM}$  započinje nova integracija.

Korišćena su CMOS NILI kola iz integrisanog kola CD4001BE, 12-bitni brojač TC4040BP, rail-to-rail operacioni pojačavači MCP6021E/P (u sklopu integratora) i OPA350PA (kao komparator), bilateralni CMOS prekidač iz integrisanog kola MAX4610. Napajanje je single supply  $V_{DD} = 2.7$  V. Referentni napon iznosi  $V_{REF} = 2$  V. Frekvencija takt-impulsa za taktovanje brojača iznosi  $f = 1$  MHz. Nominalne vrijednosti otpornosti metal-filmskih otpornika su sljedeće:  $R_1 = R_2 = R_{MM} = 10$  k $\Omega$ ,  $R \in \{4.7$  k $\Omega$ , 10 k $\Omega\}$ . Nominalne vrijednosti kapacitivnosti polipropilenskih kondenzatora su sljedeće:  $C_{MM} = 220$  nF,  $C \in \{47$  nF, 100 nF, 220 nF}. Trajanje kvazistabilnog stanja MM-a iznosi  $T_{MM} = 1.52$  ms, i njegova vrijednost je dovoljna za pražnjenje integracionog kondenzatora. Takt-impuls za taktovanje brojača generisan je pomoću generatora proizvoljnih talasnih oblika Rigol DG4102 (100 MHz, 500 MS/s). Očitavanje stanja na izlazima brojača u trenutku prelaska MM-a iz kvazistabilnog stanja u stabilno stanje obavljeno je pomoću četvoro-kanalnog osciloskopa Teledyne LeCroy WaveJet Touch 334 (350 MHz, 2 GS/s). Mjerenja otpornosi  $R$  i kapacitivnosti  $C$  integratora obavljena su pomoću digitalnog multimetra MS8218.

U tabeli I prikazani su rezultati mjerenja. Za svaku od dvije vrijednosti otpornosti  $R$  uzete su tri vrijednosti kapacitivnosti  $C$ . Odnos maksimalne i minimalne vrijednosti  $RC$  vremenske konstante iznosi  $(RC)_{max}/(RC)_{min} \approx 9.5$ . Otpornosti  $R$  i kapacitivnosti  $C$  izmjerene digitalnim multimetrom prikazane su u prve dvije kolone, a njihov proizvod  $RC$  nalazi se u trećoj koloni. Stanja brojača  $N$  u trenutku završetka integracije data su u četvrtoj koloni. Rezultati mjerenja  $RC$  vremenske konstante integratora primjenom modela (6) prikazani su u posljednjoj koloni. Rezultati mjerenja predloženom metodom manji su od 1.33 % do 1.68 % u odnosu na rezultate mjerenja digitalnim multimetrom kada je  $R = 10.005$  k $\Omega$ . Sa druge strane, rezultati mjerenja predloženom metodom manji su od 3.46 % do 3.85 % u odnosu na rezultate mjerenja digitalnim multimetrom kada je  $R = 4.6761$  k $\Omega$ . Na žalost, nije moguće izvoditi zaključke na bazi ove komparativne analize jer

rezultati mjerenja kapacitivnosti  $C$  digitalnim multimetrom MS8218 ne mogu se smatrati pouzdanim.

#### IV. ZAKLJUČAK

Primjenom predloženog konvertora  $RC$  vremenske konstante integratorskih kola u digitalni ekvivalent moguće je realizovati stabilnu  $RC$  vremensku konstantu željene vrijednosti čak i u uslovima varijabilne temperature, vlažnosti vazduha, vazdušnog pritiska, i starenja komponenti. Na ovaj način mogu se unaprijediti performanse mnogih elektronskih sistema koji zahtijevaju stabilnu i poznatu  $RC$  vremensku konstantu. Eksperimentalni rezultati ostvareni na prototipu napravljenom u diskretnoj tehnici na štampanoj ploči potvrđuju predviđanja matematičkih modela. Predloženo kolo za mjerenje  $RC$  vremenske konstante integratora predstavlja sastavni dio jednog konvertora napona u frekvenciju čiji je razvoj u toku.

#### LITERATURA

- [1] P. R. Gray, P. J. Hurst, S. H. Lewis, and R. G. Meyer, *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, 4th ed. New York, NY, USA: Wiley, 2001.
- [2] D. Johns and K. Martin, *Analog Integrated Circuit Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [3] B. Razavi, *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [4] R. J. Baker, H. W. Li, and D. E. Boyce, *CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation*. New York, NY, USA: Wiley-IEEE Press, 1998.
- [5] N. Tadić and D. Gobović, "A voltage-controlled resistor in CMOS technology using bisection of the voltage range," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 50, pp. 1704–1710, December 2001.
- [6] N. Tadić and M. Zogović, "A low-voltage CMOS voltage-controlled resistor with wide resistance dynamic range", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Microelectronics MIEL 2010*, Niš, Serbia, pp. 341-344, 16-19 May, 2010.
- [7] N. Tadić, M. Zogović, W. Gaberl, and H. Zimmermann, "A 78.4 dB photo-sensitivity dynamic range, 285 TΩHz transimpedance bandwidth product BiCMOS optical sensor for optical storage systems," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 46, no. 5, pp. 1170–1182, May 2011.

# Monostabilni multivibrator sa start-up kolom za sisteme sa periodičnim ponavljanjem vremenskih intervala

Milan Rešetar, Nikša Tadić i Milena Erceg

**Sadržaj**—U radu je predstavljen monostabilni multivibrator sa start-up kolom koje omogućava aktiviranje kvazi-stabilnog stanja monostabilnog multivibratora odmah nakon uključenja napona napajanja, kao i njegov normalan rad nakon stabilizacije napona napajanja. Start-up kolo predstavlja kombinaciju jednostavnog diferencijatora i logičkog ILI kola. Prototip je napravljen u diskretnoj tehnici na štampanoj ploči. Eksperimentalna valorizacija obavljena na prototipu sa single supply naponom napajanja od 2.7 V u potpunosti potvrđuje matematičke modele koji opisuju rad kola.

## I. UVOD

Sistemi sa periodičnim ponavljanjem vremenskih intervala široko su zastupljeni u različitim oblastima elektronike, posebno u kolima za konverziju analognih električnih veličina (napon, struja, otpornost, kapacitivnost) ili analognih neelektričnih veličina (masa, sila, pritisak, pomjeraj, protok, nivo,...) u digitalni ekvivalent [1]. Pored ostalih elemenata, ovi sistemi u sebi sadrže kondenzatore čije se punjenje i pražnjenje obavlja otvaranjem i zatvaranjem odgovarajućih bilateralnih CMOS prekidača. Kontrolni ulazi ovih prekidača taktuju se signalima prema algoritmu definisanom u vremenskom domenu sa više periodičnih intervala.

U ovom radu biće predstavljeno rješenje problema obezbjeđivanja početnih uslova neophodnih za funkcionisanje jednog diferencijalnog kapacitivnog senzora sa strujnim procesiranjem čiji se rad bazira na periodičnom ponavljanju vremenskih intervala. Ovo rješenje podrazumjeva realizaciju tzv. start-up kola koje omogućava aktiviranje kvazi-stabilnog stanja monostabilnog multivibratora (MM) odmah nakon uključenja napona napajanja, gdje MM predstavlja sastavni dio pomenutog senzora, kao i normalan rad MM-a nakon stabilizacije napona napajanja.

## II. DEFINISANJE PROBLEMA

Primjer periodičnog ponavljanja vremenskih intervala karakterističan za jedan diferencijalni kapacitivni senzor sa strujnim procesiranjem prikazan je na slici 1. Sekvenca

počinje pražnjenjem dva kondenzatora koji formiraju diferencijalni kapacitivni senzor. Ovo pražnjenje kondenzatora realizuje se povezivanjem krajeva odgovarajućeg kondenzatora preko zatvorenog bilateralnog CMOS prekidača. Pražnjenje kondenzatora obavlja se po eksponencijalnom zakonu sa vremenskom konstantom jednakom proizvodu otpornosti zatvorenog bilateralnog CMOS prekidača i kapacitivnosti kondenzatora koji se prazni. Stoga, potrebno je obezbjeđiti dovoljno dugo vrijeme  $T_1$  da bi se kondenzatori ispraznili. Nakon isteka vremenskog intervala  $T_1$  nastupa sekvenca definisana vremenskim intervalom  $T_2$  koji ima tačno utvrđeno trajanje. Tokom trajanja vremenskog intervala  $T_2$  obavljaju se odgovarajuće operacije u samom kolu diferencijalnog kapacitivnog senzora. Nakon isteka vremenskog intervala  $T_2$  nastupa sekvenca definisana vremenskim intervalom  $T_3$ . Za razliku od fiksnih vremenskih intervala  $T_1$  i  $T_2$ , trajanje vremenskog intervala  $T_3$  je varijabilno. Vremenski interval  $T_3$  završava se pojavom promjene napona na izlazu analognog naponskog komparatora koji predstavlja sastavni dio diferencijalnog kapacitivnog senzora. Ovaj trenutak promjene izlaznog napona komparatora simbolički je prikazan strelicom na slici 1. Nakon završetka vremenskog intervala  $T_3$  ponovo započinje vremenski interval  $T_1$ . Ukupna perioda ponavljanja iznosi  $T = T_1 + T_2 + T_3$ .

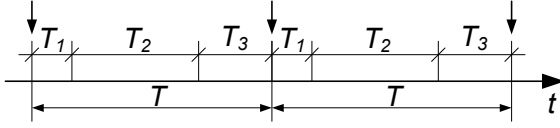
U diferencijalnom kapacitivnom senzoru sa strujnim procesiranjem sa periodičnim ponavljanjem vremenskih intervala unaprijed definisani vremenski intervali  $T_1$  i  $T_2$  određeni su trajanjem kvazi-stabilnih stanja dva MM-a. Kvazi-stabilno stanje  $T_1$  prvog MM-a započinje pojavom promjene napona na izlazu analognog naponskog komparatora. Kvazi-stabilno stanje  $T_2$  drugog MM-a započinje završetkom vremenskog intervala  $T_1$  (prelaskom prvog MM-a iz kvazistabilnog stanja u stabilno stanje). Nakon završetka vremenskog intervala  $T_2$  (prelaskom drugog MM-a iz kvazi-stabilnog stanja u stabilno stanje), započinje vremenski interval  $T_3$  čije trajanje zavisi od međusobnog odnosa kapacitivnosti kondenzatora koji formiraju diferencijalni kapacitivni senzor. Vremenski interval  $T_3$  završava se u trenutku promjene napona na izlazu analognog naponskog komparatora, čime započinje vremenski interval  $T_1$ , odnosno, dolazi do ponavljanja sekvence. Ova promjena

\*Milan Rešetar, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: peso.rakov@gmail.com).

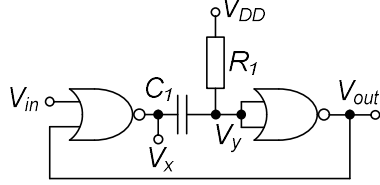
Nikša Tadić (autor za kontakte), Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: niksa.tadic@yahoo.com).

Milena Erceg, Elektrotehnički fakultet u Podgorici, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: milena.zogovic@gmail.com).





Slika 1. Primjer periodičnog ponavljanja vremenskih intervala.



Slika 2. Monostabilni multivibrator za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  sa okidanjem na rastuću ivicu ulaznog napona  $V_{in}$  i kvazi-stabilnim stanjem okarakterisanim visokim logičkim nivoom izlaznog napona  $V_{out}$  [2].

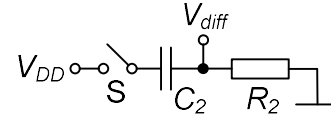
napona na izlazu naponskog komparatora na kraju vremenskog intervala  $T_3$  dešava se bezuslovno, zahvaljujući dizajnu samog diferencijalnog kapacitivnog senzora.

Promjena stanja na izlazu naponskog komparatora (strelica na slici 1) inicira periodično ponavljanje vremenskih intervala trajanja  $T_1$ ,  $T_2$  i  $T_3$ . Dakle, da bi sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti početnu promjenu stanja na izlazu naponskog komparatora neposredno nakon uključanja napona napajanja čitavog kola. Sa druge strane, u trenutku uključanja napona napajanja neizvjesno je kako će se ponašati napon na izlazu naponskog komparatora. Preciznije, u trenutku uključanja napona napajanja neizvjesno je da li će se na izlazu naponskog komparatora pojaviti rastuća (opadajuća) ivica naponskog signala koja bi bila u stanju da inicira kvazi-stabilno stanje prvog MM-a, odnosno generisanje vremenskog intervala  $T_1$ . Da bi se savladao ovaj problem, u cilju omogućavanja sigurnog rada diferencijalnog kapacitivnog senzora neophodno je obezbediti pojavu impulsa na ulazu prvog MM-a neposredno nakon uključanja napona napajanja kako bi se započelo generisanje vremenskog intervala  $T_1$  prelaskom prvog MM-a iz stabilnog u kvazi-stabilno stanje. Navedeni problem rješava start-up kolo koje ne samo što generiše impuls za početak kvazi-stabilnog stanja trajanja  $T_1$  prvog MM-a neposredno nakon uključanja napona napajanja, već i omogućava normalan rad kola nakon isteka prve periode  $T = T_1 + T_2 + T_3$ .

### III. OPIS START-UP KOLA

#### A. Monostabilni multivibrator

Na slici 2 prikazan je MM koji se koristi za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  [2]. Sastoji se od dva CMOS NILI kola, otpornika  $R_1$  i kondenzatora  $C_1$ . Drugo CMOS NILI kolo ima kratko spojene ulazne priključke, te obavlja funkciju invertora. Okidanje MM-a obavlja se na rastućoj ivici ulaznog napona  $V_{in}$ , a kvazi-stabilno stanje okarakterisano je visokim logičkim nivoom izlaznog napona  $V_{out}$ . Tokom trajanja kvazi-stabilnog stanja  $T_1$  naponi  $V_x$ ,  $V_y$  i  $V_{out}$  dati su sljedećim izrazima:



Slika 3. Diferencijator sa otpornikom  $R_2$  i kondenzatorom  $C_2$  koji generiše napon  $V_{diff}$  u formi impulsa nakon zatvaranja prekidača S.

$$V_x = 0$$

(1)

$$V_y = V_{DD} (1 - e^{-t/R_1 C_1}) < V_p$$

(2)

$$V_{out} = V_{DD}$$

(3)

gdje je  $V_p$  logički prag okidanja CMOS NILI kola u konfiguraciji invertora. Polazeći od pretpostavke da je logički prag okidanja  $V_p$  jednak polovini napona napajanja  $V_p = V_{DD}/2$ , trajanje kvazi-stabilnog stanja  $T_1$  iznosi:

$$T_1 = R_1 C_1 \ln 2$$

(4)

Nakon isteka vremenskog intervala  $T_1$  (4), MM prelazi iz kvazi-stabilnog stanja u stabilno stanje, što se može matematički modelovati na sljedeći način:

$$V_x = V_{DD}$$

(5)

$$V_y = V_{DD} \left( 1 + \frac{1}{2} e^{-t/R_1 C_1} \right)$$

(6)

$$V_{out} = 0$$

(7)

Relacije (5)-(7) izvedene su pod pretpostavkom da je trajanje pobudnog impulsa  $V_{in}$  kraće od trajanja kvazi-stabilnog stanja  $T_1$ . Takođe, relacija (6) izvedena je uz zanemarivanje prisustva zaštitnih dioda na ulazu CMOS NILI kola.

#### B. Diferencijator

Impuls koji se generiše neposredno nakon uključanja napona napajanja  $V_{DD}$  može se realizovati pomoću jednostavnog diferencijatora prikazanog na slici 3. Napon  $V_{diff}$  na izlazu diferencijatora nakon zatvaranja prekidača S dat je sljedećim izrazom:

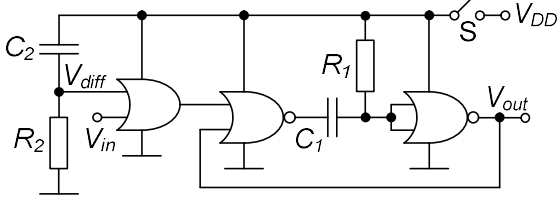
$$V_{diff} = V_{DD} e^{-t/R_2 C_2}$$

(8)

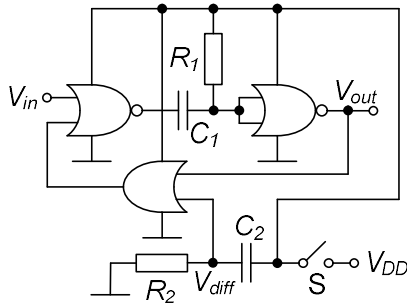
gdje je  $R_2$  otpornost a  $C_2$  kapacitivnost diferencijatora. Dakle, neposredno nakon zatvaranja prekidača S generiše se impuls amplitude  $V_{DD}$  koji opada po eksponencijalnom zakonu sa vremenskom konstantom  $R_2 C_2$ . Ovako generisan impuls moguće je iskoristiti za startovanje kvazi-stabilnog stanja MM-a. U tom cilju potrebno je obezbediti dovoljno dugo trajanje ovog impulsa na nivou logičke jedinice optimalnim izborom vremenske konstante  $R_2 C_2$ .

### C. Monostabilni multivibrator sa start-up kolom

Start-up kolo mora omogućiti ne samo generisanje impulsa za početak kvazi-stabilnog stanja trajanja  $T_1$  prvog MM-a neposredno nakon uključenja napona napajanja, već i obezbjediti normalan rad kola nakon isteka prve periode



Slika 4. Monostabilni multivibrator za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u direktnoj ulaznoj grani.

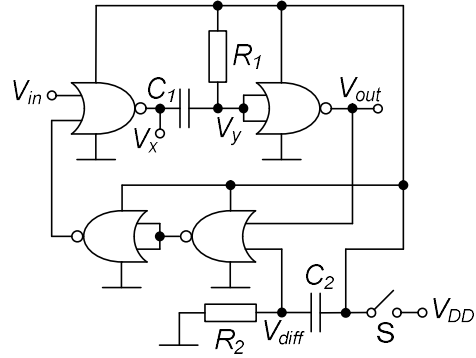


Slika 5. Monostabilni multivibrator za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u povratnoj grani.

$T = T_1 + T_2 + T_3$ . Ovo start-up kolo na bazi kombinovanja MM-a prikazanog na slici 2 i diferencijatora prikazanog na slici 3 moguće je realizovati na dva načina. Prvi način je MM sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u direktnoj ulaznoj grani, slika 4. Drugi način je MM sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u povratnoj grani, slika 5. CMOS ILI kolo unosi kašnjenje u propagaciji signala od ulaza do izlaza ovog kombinacionog kola. Ovo kašnjenje zavisi obrnuto proporcionalno od napona napajanja  $V_{DD}$ . U logičkim kolima sa dva ulaza iz serije CD40xx ovo kašnjenje tipično iznosi  $\sim 100$  ns [3] za napone napajanja  $V_{DD} = 3$  V. To znači da će CMOS ILI kolo u direktnoj ulaznoj grani MM-a sa start-up kolom prikazanim na slici 4 unijeti kašnjenje  $\sim 100$  ns u odnosu na pojavu rastuće ivice signala  $V_{in}$ . Sa druge strane, CMOS ILI kolo u povratnoj grani MM-a sa start-up kolom prikazanim na slici 5 povećava trajanje kvazi-stabilnog stanja  $T_1$  za  $\sim 100$  ns. Kako je u diferencijalnom kapacitivnom senzoru sa strujnim procesiranjem važno da kvazi-stabilno stanje trajanja  $T_1$  MM-a započne odmah nakon pojave promjene napona na izlazu naponskog komparatora (ulaz  $V_{in}$  na slikama 4 i 5), izabrana je varijanta MM-a sa start-up kolom prikazana na slici 5. Kako je trajanje kvazistabilnog stanja  $T_1 \approx 33$   $\mu$ s, produženje trajanja intervala  $T_1$  za  $\sim 100$  ns nema nikakvog značaja.

Konačna verzija monostabilnog multivibratora za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u povratnoj grani prikazana je na slici 6. U cilju jeftinije realizacije,

CMOS ILI kolo u povratnoj grani realizovano je pomoću dva CMOS NILI kola. Naime, za realizaciju samog MM-a iskorišćena su dva dvo-ulazna CMOS NILI kola iz integrisanog kola koje



Slika 6. Konačna verzija monostabilnog multivibratora za generisanje vremenskog intervala  $T_1$  sa start-up kolom u formi diferencijatora  $R_2C_2$  i CMOS ILI kola u povratnoj grani.

sadrži četiri dvo-ulazna CMOS NILI kola. Preostala dva CMOS NILI kola iskorišćena su za realizaciju CMOS ILI kola u povratnoj grani kola prikazanog na slici 5.

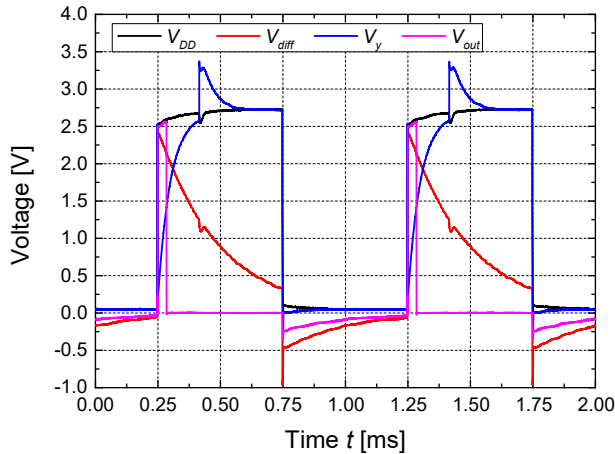
### IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Prototip MM-a sa start-up kolom u formi diferencijatora i CMOS ILI kola u povratnoj grani prikazan na slici 6 realizovan je u diskretnoj tehnici na štampanoj ploči. Korišćena su CMOS NILI kola iz integrisanog kola CD4001BE. Napajanje je single supply  $V_{DD} = 2.7$  V. Nominalne otpornosti metal-filmskih otpornika su sljedeće:  $R_1 = R_2 = 10$  k $\Omega$ . Nominalne kapacitivnosti polipropilenskih kondenzatora su sljedeće:  $C_1 = 4.7$  nF,  $C_2 = 22$  nF. Prema relaciji (4) trajanje kvazistabilnog stanja MM-a iznosi  $T_1 = 32.6$   $\mu$ s. Vremenska konstanta diferencijatora iznosi  $R_2C_2 = 220$   $\mu$ s. Generisanje impulsa obavljeno je pomoću generatora proizvoljnih talasnih oblika Rigol DG4102 (100 MHz, 500 MS/s). Odzivi u vremenskom domenu izmjereni su pomoću četvorokanalnog osciloskopa Teledyne LeCroy WaveJet Touch 334 (350 MHz, 2 GS/s).

Eksperiment koji potvrđuje da MM sa start-up kolom na slici 6 omogućava generisanje impulsa za početak kvazi-stabilnog stanja trajanja  $T_1$  prvog MM-a neposredno nakon uključenja napona napajanja realizovan je dovođenjem pravougaonih impulsa amplitude  $V_{DD}$  i frekvencije 1 kHz na priključak za napajanje pri zatvorenom prekidaču S, pri čemu je ulazni napon  $V_{in} = 0$ . Vremenski odziv MM-a prikazan je na slici 7. Napon na izlazu diferencijatora  $V_{diff}$  mijenja se prema relaciji (8) tokom intervala u kojem je ulazni napon  $V_{DD} \approx 2.7$  V. Trajanje  $T_1$  kvazi-stabilnog stanja MM-a poklapa se sa modelom iskazanim relacijom (4). Napon  $V_y$  mijenja se prema relaciji (2), ali je njegovo trajanje duže od  $T_1$ . Naime, dokle god je napon  $V_{diff} > V_p$  važiće:  $V_x = 0$ . Samim tim, napon  $V_y$  će se mijenjati prema relaciji (2) sve dok je napon  $V_{diff} > V_p$ . Trenutak kada napon na izlazu diferencijatora  $V_{diff}$  padne na vrijednost  $V_{diff} = V_p$  može se uočiti na vremenskom odzivu kao malo ulegnuće na eksponencijalnoj karakteristici napona  $V_{diff}$ . U tom trenutku napon  $V_y$  počinje da se mijenja prema relaciji

(6).

Eksperiment koji potvrđuje da MM sa start-up kolom na

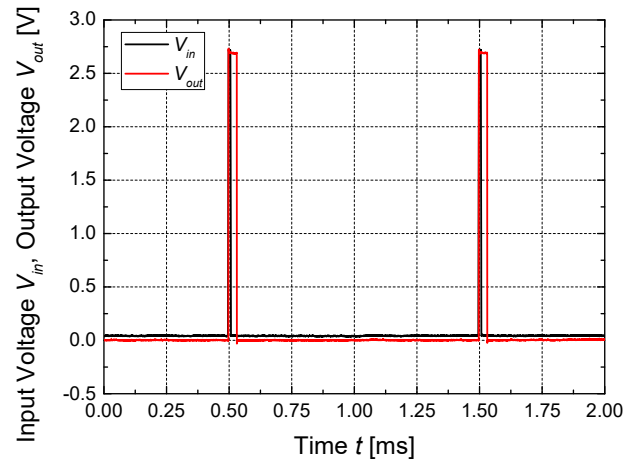


Slika 7. Vremenski odziv monostabilnog multivibratora za generisanje vremenskog intervala  $T_I$  sa start-up kolom pri impulsnom naponu napajanja  $V_{DD}$  i ulaznim naponom  $V_{in} = 0$ .

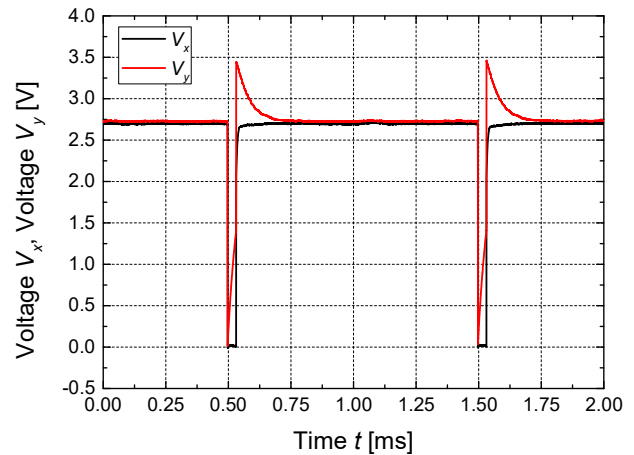
slici 6 omogućava normalan rad kola nakon isteka prve periode realizovan je dovođenjem niza impulsa kratkog trajanja, amplitude  $V_{DD}$  i frekvencije 1 kHz na ulaz  $V_{in}$  MM-a. Pri tome, napon napajanja  $V_{DD}$  je konstantan, i iznosi  $V_{DD} = 2.7$  V, uz zatvoren prekidač S. Vremenski odziv MM-a prikazan je na slici 8. Radi bolje preglednosti, vremenski odzivi ulaznog napona  $V_{in}$  i izlaznog napona  $V_{out}$  prikazani su na slici 8a), dok su vremenski odzivi napona  $V_x$  i  $V_y$  prikazani na slici 8b). Ovi vremenski odzivi su u potpunom skladu sa matematičkim modelima (1) – (7).

## V. ZAKLJUČAK

Primjenom predloženog monostabilnog multivibratora sa start-up kolom rješava se problem započinjanja rada sistema sa periodičnim ponavljanjem vremenskih intervala neposredno nakon uključivanja napona napajanja, kao i normalno funkcionisanje sistema nakon stabilizacije napona napajanja. Eksperimentalni rezultati realizovani na prototipu napravljenom u diskretnoj tehnici na štampanoj ploči u potpunosti potvrđuju predviđanja matematičkih modela. Ovaj monostabilni multivibrator sa start-up kolom predstavlja sastavni dio interfejsne elektronike jednog diferencijalnog kapacitivnog senzora čiji je razvoj u toku.



a)



b)

Slika 8. Vremenski odziv monostabilnog multivibratora za generisanje vremenskog intervala  $T_I$  sa start-up kolom u normalnom režimu rada ( $V_{DD} = const.$ ): a) ulazni i izlazni naponi  $V_{in}$  i  $V_{out}$ , b) naponi  $V_x$  i  $V_y$ .

## LITERATURA

- [1] J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1999,
- [2] R. J. Baker, H. W. Li, and D. E. Boyce, *CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation*. New York, NY, USA: Wiley-IEEE Press, 1998.
- [3] Texas Instruments, Dallas, TX, USA. *CMOS NOR gates*. Accessed: January 17<sup>th</sup>, 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4001b.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1610890328540>

# Primjena IEC 61850 standarda u upravljanju transformatorskom stanicom

Nemanja Vukotić

**Sadržaj** — U ovom radu prikazan je standard IEC 61850 koji je razvijen kao adaptivni komunikacioni protokol sa visoko razvijenom objektno orjentisanom strukturom. Prikazana je arhitektura opreme, konfiguracijski jezik i način obavljanja komunikacije između uređaja, sa posebnim osvrtom na strukturu objektno orjentisanih modela i funkcionisanje procesa mapiranja. U radu je dat primjer upravljanja visokonaponskom opremom i komunikacije trafostanice sa kontrolnim centrom.

**Gljučne riječi** — IEC 61850, interoperabilnost, konfiguracijski jezik, logički čvor, podatak, protokol.

## I. UVOD

Elektroenergetska industrija sprovodi proces intenzivnog integrisanja inteligentnih elektronskih uređaja (IEDs) u trafostanicama. Savremeni sistemi automatizacije zahtijevaju obradu velikog broja podataka dobijenih sa IEDs-a za mjerenje, upravljanje, zaštitu i nadzor sistema. Kreiranje univerzalne platforme omogućava uređajima da međusobno neometano komuniciraju korišćenjem *local area network* (LAN) ili *wide are network* (WAN).

Proizvođači su kreirali različite komunikacione protokole, profile i softverske alate čak i za svoje IEDs uređaje za prikupljanje podataka, njihovo arhiviranje, kontrolu i izvještavanje. Shodno navedenom, interoperabilnost između uređaja različitih dobavljača u trafostanicama postaje potreba.

Rešenje problema interoperabilnosti pronađeno je u objektno orjentisanom pristupu u klijent – server i *peer-to-peer* komunikaciji između IEDs-a u trafostanici, kao i u kreiranju korisničkog interfejsa prilagođenog krajnjem korisniku za konfiguraciju uređaja za slanje i primanje podataka preko mreže. Kreiranjem međunarodnog IEC 61850 standarda za komunikaciju, razvijenog od strane *International Electrotechnical Commission Technical Committee 57*, započinje nova era u razvoju sistema u trafostanicama [1].

Rad je organizovan u nekoliko poglavlja. U poglavlju II opisan je način komunikacije uređaja u trafostanici sa fokusom na arhitekturu sistema, strukturu objektno orjentisanih modela i funkcionisanje procesa mapiranja. U poglavlju III dat je opis konfiguracijskog jezika. Upravljanje visokonaponskim prekidačem pokazano je u poglavlju IV. Komunikacija sa kontrolnim centrom

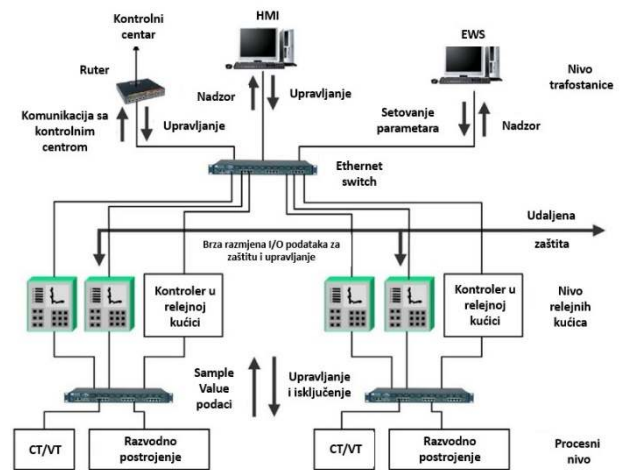
bazirana na IEC 61850 prikazana je u poglavlju V. Na kraju rada su data zaključna razmatranja.

## II. KOMUNIKACIJA UNUTAR TRAFOSTANICE

Arhitektura opreme u trafostanici, prema komunikacijskom standardu IEC 61850, podijeljena je na tri nivoa:

- procesni nivo sa primarnom opremom u razvodnom postrojenju i naponskim (NT) i strujnim transformatorima (ST),
- nivo relejnih kućica u kojima su smješteni uređaji za zaštitu i upravljanje,
- na nivou trafostanice nalaze se radne stanice koje vrše nadzor, upravljanje, podešavanje parametara i ostvaruju vezu sa kontrolnim centrom.

Komunikacija između uređaja koji su na različitim nivoima zasniva se na *Ethernet* tehnologiji koja kao prenosni medij koristi optičko vlakno. Prikaz navedene arhitekture modernog sistema automatizacije dat je na sl. 1.



Sl. 1. Sistem automatizacije u modernoj transformatorskoj stanici.

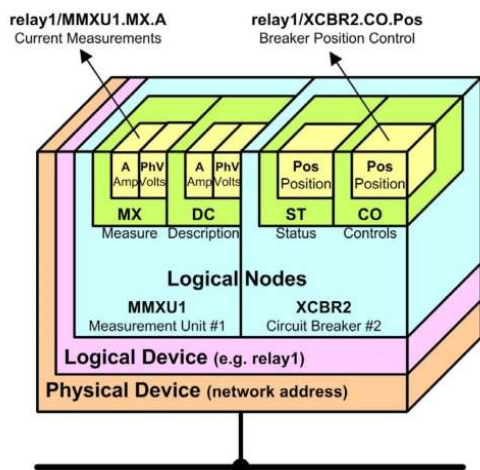
### A. Objektno orjentisani model

U skladu sa IEC 61850 standardom, funkcije zaštite, nadzora, upravljanja, akvizije podataka, ali takođe i fizičke komponente, poput prekidača i transformatora, modelovane su pomoću apstraktnih objekata koji se nazivaju logički čvorovi. Standard definiše ukupno 92 logička čvora [2]. Primjer logičkog čvora prekidača prikazan je na slici 2, a dalje u tekstu biće bliže objašnjen.

XCBR			
	Data Name	Type	Explanation
Common LN Information	Mode	INC	enable / disable
	EEHealth	INS	ok / warning / alarm
	EEName	DPL	Name plate
	OpCnt	INS	operation counter
Controls values	Pos	DPC	Position (control / status)
	BlkOpn	SPC	Block opening
	BlkCls	SPC	Block closing
	ChaMotEna	SPC	Charger motor enabled
Status information	CBOpCap	INS	op. capability (o-c...)
	POWCap	INS	point on wave capability
	MaxOpCap	INS	maximal op. capability
Extension	TrCoilFail1	SPS	Failure of trip coil 1
	TrCoilFail2	SPS	Failure of trip coil 2
	HydrLeak	SPS	Leakage of hydraulic

Sl. 2. Logički čvor prekidača [3]

Logički čvor može imati do 30 podataka koji su prikazani u prvoj koloni. Svaki od njih pripada određenoj *Common Data Class*-i (CDC): *Common Logical Node (LN) Information, Controls values,...* Podatak ima određen broj atributa u zavisnosti od toga o kom podatku se radi, druga kolona sa slike. Logički čvorovi se mogu nalaziti na bilo kom od tri nivoa koji su prikazani na slici 1. Logički čvorovi grupišu se u logičke uređaje, jedan ili više njih, koji su dio fizičkog uređaja. Hijerarhijska struktura podatka prikazana je na slici 3.



Sl. 3. Struktura podatka po IEC 61850 [4]

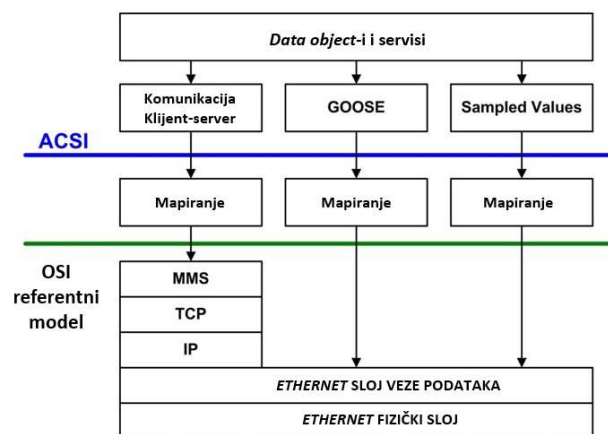
Pored logičkih čvorova IEC 61850 definiše i set servisa koji se izvršavaju nad podacima logičkih čvorova. Neki od servisa su: *control, read, write, get directory, logging, reporting, file transfer* i sl.

### B. Proces mapiranja

Servisi i modeli podataka definisani su u odjeljku 61850-7-2 standarda. *Abstract Communication Service Interface (ACSI)* je mrežno nezavistan interfejs koji definiše semantiku navedenih servisa i opisuje šta oni zapravo pružaju [5]. Apstraktna priroda ACSI-ja je neophodna kako bi sistem automatizacije bio kompatibilan sa komunikacionim tehnologijama. Drugim riječima, servisi i podaci, odnosno njihovi modeli, moraju biti razdvojeni od tehnologije koja je primijenjena na mrežnom nivou. Upravo u ovoj činjenici leži ključ visokog nivoa interoperabilnosti za čiji uspjeh je zaslužan opisani model. Modeli se mapiraju na realne protokole koje je moguće lako implementirati u

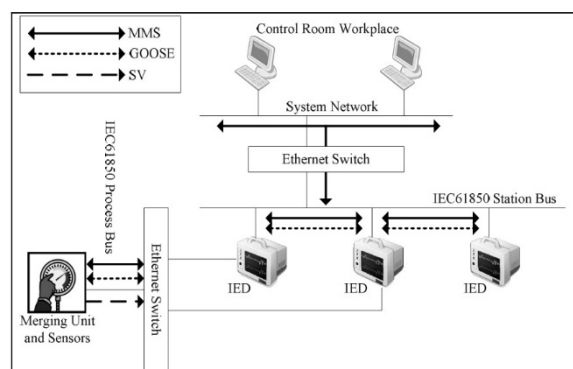
kompjuterskom okruženju u energetske industriji. IEC 61850 standard za proces mapiranja koristi *Manufacturing Message Specification (MMS)* protokol. MMS protokol ima dokazane rezultate u praktičnoj upotrebi i na jednostavan način može da podrži sve kompleksne servise definisane standardom IEC 61850.

IEC 61850 ima strukturu steka po uzoru na *Open System Interconnection (OSI)* referentni model koji definiše sedam slojeva toka podataka. U prvom i drugom sloju nalazi se *Ethernet*. U trećem sloju nalazi se *Internet Protocol (IP)*, a u četvrtom *Transmission Control Protocol (TCP)*. U petom, šestom i sedmom sloju nalazi se MMS protokol, slika 4.



Sl. 4. Proces mapiranja iz ACSI-ja na OSI referentni model

Klijent-server servisi mapiraju se na MMS aplikativni sloj. Pored njih standard definiše i *peer-to-peer* servise za prenos hitnih poruka kao što su *Generic Object Oriented System Event (GOOSE)* and *Sample Values (SV)* koji se mapiraju na *Ethernet* sloj veze podataka, slika 5.



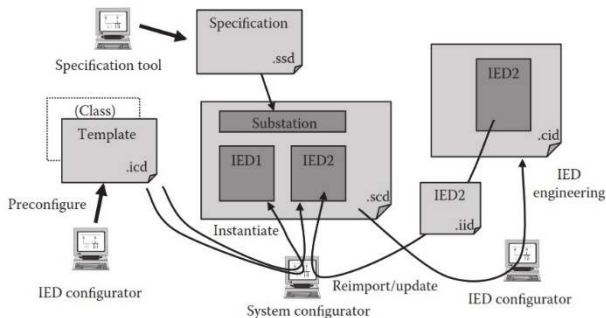
Sl. 5. Komunikacija putem MMS, GOOSE i SV servisa [6]

SV servis služi za prenos digitalnih podataka preuzetih sa modernih senzora poput naponskih i strujnih transformatora, dok GOOSE servis cikličnim putem prenosi visokoprioritetne poruke koje sadrže statusne informacije poput informacija o blokadama i isključenju. GOOSE koristi *multicast exchange*.

### C. Konfiguracijski Jezik Transformatorske Stanice

IEC 61850 koristi poseban konfiguracijski jezik koji se naziva *Substation Configuration Language (SCL)*. SCL je

jezik zasnovan na *eXtensible Markup Language* (XML) jeziku, koji se koristi za opisivanje hiperteksta kod *web* servisa. Jezik definiše set standardizovanih XML fajlova koji na jedinstven način specificiraju sistem, definišu njegovu konfiguraciju, kao i konfiguraciju pojedinačnih inteligentnih elektronskih uređaja u sistemu. Fajlovi su definisani tako da se mogu koristiti od strane softverskih alata razvijenih od strane različitih proizvođača. Na taj način olakšano se razmjenjuju parametri konfiguracije sistema. Ovo je prikazano na slici 6.

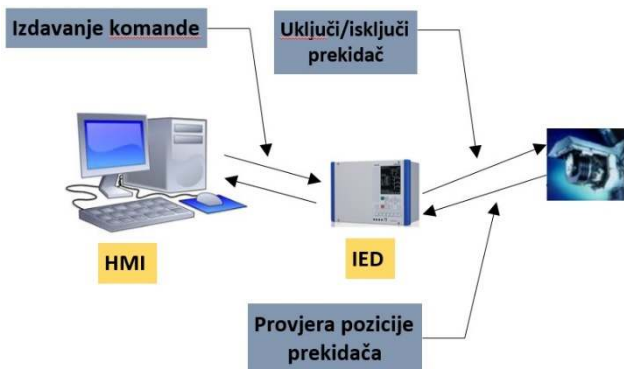


Sl. 6. Parametrizacija sistema putem SCL fajlova [7].

### III. PRIMJER UPOTREBE IEC 61850 U TRANSFORMATORSKOJ STANICI

#### A. Upravljanje visokonaponskim prekidačem pomoću „control“ servisa

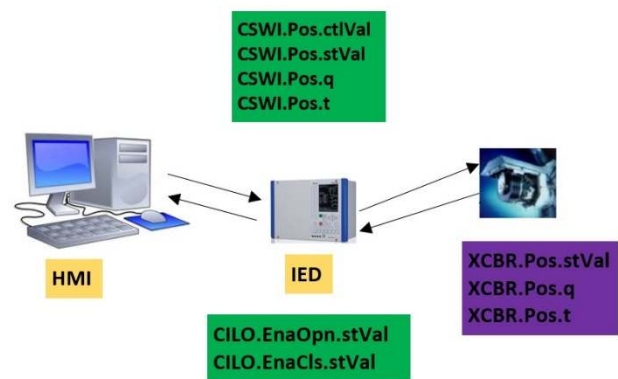
Na sledećem primjeru biće ilustrovano upravljanje prekidačem putem *Control service*-a koji je definisan standardom IEC 61850. Glavni elementi za obavljanje ove funkcije dati su na sl. 7.



Sl. 7. Primjer upravljanja visokonaponskim prekidačem.

Inteligentni elektronski uređaj (IED) koji se koristi za upravljanje prekidačem, nalazi se u polju prekidača, u relejnoj kućici. Digitalni izlazi IED-a povezani su na strujni krug uključenja/isključenja prekidača. Status otvoren/zatvoren prekidač dovodi se na digitalni ulaz IED-a. Komanda za upravljanje prekidačem na IED se šalje sa *Human Machine Interface*-a (HMI). Nakon zadate komande, a prije njenog izvršenja, IED provjerava sistem blokada i dozvola neophodnih za njeno izvršavanje.

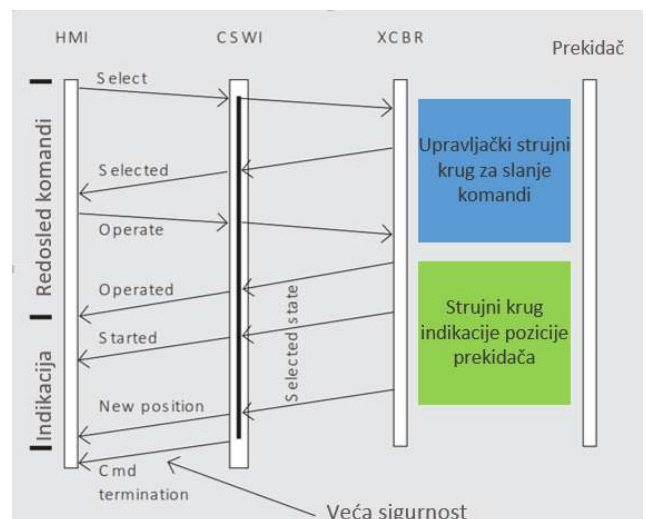
Model u skladu sa IEC 61850 za ovu aplikaciju bi izgledao kao na slici 8.



Sl. 8. Model upravljanja prekidačem.

Inteligentni elektronski uređaj predstavljen je logičkim čvorom CSWI, prekidač je predstavljen logičkim čvorom XCBR, dok logički čvor CILO obezbjeđuje informaciju o statusu blokada.

Vršenje operacije počinje slanjem komandi sa HMI-ja ka IED-u [8]. Redosled komandi i odgovora na iste po IEC 61850 putem TCP/IP konekcije prikazan je na slici 9.

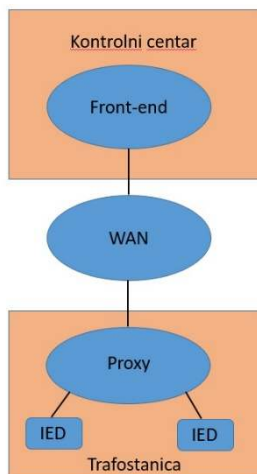


Sl. 9. Upravljački servisi

*Select* komandu (uključenje/isključenje prekidača) zadaje operator sa HMI-ja i ona se šalje IED-u. Zavisno od arhitekture sistema, potvrda o prijemu ove komande se šalje sa logičkog čvora CSWI ili sa logičkog čvora prekidača XCBR. Kada potvrda stigne, *Selected* sa slike 9, operator zadaje komandu *Operate*. Logički čvor CSWI ovu komandu prosleđuje logičkom čvoru XCBR. Izvršenje komande registruje se putem poruke *Operated*. Dodatna povratna informacija dobija se putem *Reporting* servisa (servis izvještavanja), koji je iniciran procesom pomjeranja kontakata prekidača. Potvrda o tome stiže putem *Started* poruke od IED-a, da bi potom kada kontakti dođu u krajnju poziciju bila poslata poruka *New position*. U onim slučajevima u kojima je odabran servis sa većom sigurnošću, krajnji rezultat je potvrđen putem poruke *Command Termination* koja okončava *Control service* proces [8].

#### IV. KOMUNIKACIJA SA KONTROLNIM CENTROM ZASNOVANA NA IEC 61850

Protokoli koji se koriste za ostvarivanje komunikacije između trafostanice i kontrolnog centra su IEC 60870-5-101 i IEC 60870-5-104. Ova komunikacija može biti ostvarena i upotrebom protokola koje koristi IEC 61850 standard. Konfiguracija koja omogućava slanje podataka između kontrolnog centra i trafostanice upotrebom IEC 61850 pomoću *proxy* uređaja prikazana je na slici 10.



Sl. 10. Komunikacija sa kontrolnim centrom putem *proxy* uređaja

Prenosni operatori za komunikaciju između trafostanice i kontrolnog centra najčešće koriste *Wide Area Networks* (WAN). Samo se određen dio informacija koje potiču iz trafostanice šalju kontrolnom centru. Stoga je prije slanja neophodno te informacije koncentrisati na jednom mjestu [9]. *Proxy* uređaj je vrsta inteligentnog elektronskog uređaja (IED-a) koji omogućava komunikaciju između trafostanice i *front-end* uređaja kontrolnog centra putem WAN mreže. Za razliku od *gateway*-a, *proxy* uređaji ostvaruju komunikaciju na istom protokolu. U *proxy*-ju su koncentrisani podaci od značaja kao što su pozicija rasklopne opreme, važna mjerenja, alarmi i sl. Informacije kao što su GOOSE važne su samo sa aspekta trafostanice i ne koncentrišu se u *proxy*-ju. Na ovaj način *front-end* uređaj komunicira samo sa *proxy*-jem. U suprotnom, pogotovo kod velikog broja trafostanica, *front-end* uređaj bi morao komunicirati sa velikim brojem IED-a. To bi zahtijevalo ogroman broj TCP/IP konekcija, što bi za posledicu nametalo imperativ visokih performansi *front-end* uređaja. Na ovaj način *front-end* uređaj komunicira sa samo jednim *proxy* uređajem po stanici i na taj način se optimizuje broj neophodnih TCP/IP konekcija.

#### V. ZAKLJUČAK

Uvođenje IEC 61850 komunikacijskog standarda, u velikoj mjeri učinilo je transformatorske stanice inteligentnim postrojenjima. Sistemi nadzora, upravljanja i zaštite primjenom standarda postali su kvalitetniji, pouzdaniji i optimizovaniji.

Osim u ovim postrojenjima IEC 61850 pronalazi svoj put u hidroelektranama, vjetroelektranama i distribuiranim izvorima električne energije i na taj način postepeno

istiskuje iz upotrebe tradicionalne protokole.

#### LITERATURA

- [1] *IEC 61850- Communication Networks and Systems in Substations, Part 1: Introduction and Overview, IEC Std. 2003, [Online] available at www.iec.ch.*
- [2] *IEC 61850 – Communication Networks and Systems for Power Utility Automation, Part 7-4: Basic Communication Structure – Compatible Logical Node Classes and Data Classes, Ed. 2, IEC Std. 2010.*
- [3] C. Brunner, "IEC 61850 for power system communication," *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, May 2008. T&D. IEEE/PES
- [4] R. E. Mackiewicz, "Overview of IEC 61850 and Benefits," in *Proc. IEEE PSCE Oct./Nov. 2006.*
- [5] *IEC 61850-7-2: Communication networks and systems in substations – Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI)*
- [6] J. Park, E. In, S. Ahn, C. Jang and J. Chong, "IEC 61850 Standard Based MMS Communication Stack Design Using OOP," *2012 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Fukuoka, 2012, pp. 329-332, doi: 10.1109/WAINA.2012.101.
- [7] J. D. McDonald, *Electric Power Substations Engineering*, 3rd ed., CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2012, pp. 512.
- [8] P. Leupp, C. Rytöft, "Special report IEC 61850," *The corporate technical journal ABB*, August 2010.
- [9] H. Englert and H. Dawideczak, "IEC 61850 substation to control center communication — Status and practical experiences from projects," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, Bucharest, 2009, pp. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2009.5281942.

# Korekcija kontrasta slike primenom MLAGC algoritma

Nataša Savić, Zoran Milivojević

**Sadržaj**—U prvom delu rada opisan je MLAGC algoritam za korekciju kontrasta, koji je baziran na lokalnoj  $\gamma$ -korekciji. U drugom delu rada opisan je eksperiment pomoću koga je testirano dejstvo MLAGC algoritma kod procesiranja nekih test slika. Primenom objektivnih mera (MSE, PSNR, AMBE, SSIM i RMS) određen je efekat transformacije slika MLAGC algoritmom u odnosu na originalne slike. Primenom objektivnih mera za računanje kontrasta (EME, Ed, EBCM) određen je intenzitet kontrasta originalnih i transformisanih slika. Sproveden je MOS test na osnovu koga je određena subjektivna mera kvaliteta kontrasta kod originalnih i transformisanih slika. Na kraju je komparativnom analizom rezultata određena efikasnost korekcije kontrasta MLAGC algoritmom u odnosu na neke druge algoritme iz literature.

## I. UVOD

Za potrebe digitalnog procesiranja slike (prepoznavanje likova [1], objekata u slici, detekcije teksta, ivica i kontura [2],...) potrebno je da slika bude dobrog vizuelnog kvaliteta. Slike dobrog vizuelnog kvaliteta GQ (engl. *good quality*) imaju statističke parametare reda  $\mu \approx 0.5$   $\sigma \geq 0.1$  [3]. Popravka vizuelnog kvaliteta je aktuelan problem kod digitalnog procesiranja slike. Predložen je veći broj algoritama za popravku kvaliteta korekcijom kontrasta [4] - [7]. Razvijena je grupa algoritama za povećanje kontrasta primenom  $\gamma$ -korekcije [8] - [14]. Primenom  $\gamma$ -korekcije, pomoću jedne, globalne vrednosti parametra  $\gamma$ , nije moguće istovremeno poboljšanje tamnih i svetlih regiona slike. Da bi se prevazišao ovaj problem primenjuju se metode lokalne adaptivne  $\gamma$ -korekcije, pri čemu se  $\gamma$  faktor menja u zavisnosti od srednje osvetljenosti regiona. U radu [12] opisan je algoritam lokalne adaptivne  $\gamma$ -korekcije - LAGC.

U ovom radu izvršena je modifikacija LAGC algoritma, tj predložen je MLAGC algoritam za korekciju kontrasta slike. Za razliku od LAGC algoritma, gde se korekcija vrši u zavisnosti od srednje osvetljenosti regiona, MLAGC algoritam bavi se korekcijom svakog piksela u zavisnosti od luminanse susednih piksela.

Efikasnost korekcije kontrasta slika korigovanih MLAGC algoritmom, testirana je eksperimentalnim putem. U okviru eksperimenta formirana je baza test slika. MLAGC algoritam primenjen je nad test slikama.

Nataša Savić, (autor za kontakte), Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Aleksandra Medvedeva 20, Niš, Srbija ([natasa.savic@akademijanis.edu.rs](mailto:natasa.savic@akademijanis.edu.rs))

Zoran Milivojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Aleksandra Medvedeva 20, Niš, Srbija ([zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs](mailto:zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs))

Efekat dejstva algoritma meren je pomoću: a) objektivnih mera i b) subjektivnih mera. Pomoću objektivnih mera: MSE (engl. *Mean-Square Error*), PSNR (engl. *Peak Signal-to-Noise Ratio*), AMBE (engl. *Absolute Mean Brightness Error*), SSIM (engl. *Structural SIMilarity*), i RMS (engl. *Root Mean Square*), određena je kvantitativna procena dejstava MLAGC algoritama. Za procenu kontrasta korišćene su: a) objektivne mere EME (engl. *Measure of Enhancement*), diskretna entropija Ed (engl. *Discrete entropy*) EBCM (engl. *Edge-Based Contrast Measur*) [13], i b) subjektivne mere. Subjektivne mere određene su pomoću MOS (engl. *Mean Opinion Score*) testa. Pored toga, u cilju komparativne analize, nad slikama iz test baze primenjeni su i TGC (engl. *Transform-based Gamma Corection*) [10], THE (*Traditional Histogram Equalization*) [5], AGC (engl. *Adaptive Gamma Correction*) [6] i AGCWD (engl. *Adaptive Gamma Correction with Weighting Distribution*) [8] algoritmi. Rezultati su prikazani tabelarno. Nakon toga izvršena je komparativna analiza rezultata i donešen zaključak o efikasnosti MLAGC algoritma.

Organizacija rada je sledeća: U sekciji II opisan je MLAGC algoritam. U sekciji III opisan je eksperiment i izvršena komparativna analiza rezultata. Zaključak je izložen u sekciji IV.

## II. MLAGC ALGORITAM

U radu [12] prikazan je LAGC algoritam za lokalnu  $\gamma$ -korekciju kontrasta. U cilju povećanja kvaliteta korigovanih slika kreiran je modifikovani LAGC (MLAGC) algoritam. MLAGC algoritam realizuje se u sledećim koracima:

**Ulaz:**  $I_{M \times N}$

**Izlaz:**  $G_{M \times N}$

**Korak 1:** Formiranje konvolucionog jezgra:

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

**Korak 2:** Selektovanje bloka  $(2k+1) \times (2l+1)$  sa centralnim pikselom  $(i, j)$ :

$$w_{i,j} = I(i-k : i+k, j-l : j+l), \quad (2)$$

gde je  $k = 1, l = 1, i = 1, 2, \dots, M$  i  $j = 1, 2, \dots, N$ .

**Korak 3:** Određivanje srednje luminanse  $L$  bloka  $w_{i,j}$  pomoću linearne konvolucije:



$$L = \sum_{s=1}^{2k+1} \sum_{t=1}^{2l+1} h(s,t) * w_{i,j}(s,t). \quad (3)$$

Korak 4: Određivanje  $\gamma$  faktora za korekciju piksela  $(i, j)$ :

$$\gamma(i, j) = \frac{1}{c \cdot L}, \quad (4)$$

gde je  $c$  konstanta.

Korak 5: Korekcija luminanse piksela  $(i, j)$   $\gamma$ -korekcijom:

$$G(i, j) = I(i, j)^{\gamma(i,j)} \quad (5)$$

Korak 6: Ponavljanje koraka 2 - 5 za svaki ulazni piksel.

### III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

#### A. Eksperiment

Realizovan je eksperiment u okviru koga je vršeno: a) objektivno i b) subjektivno testiranje povećanje kontrasta slike nakon primene MLAGC algoritma (Sekcija II) sa konstantom  $c = 2$ . U cilju komparativne analize nad svakom test slikom pored primene MLAGC algoritma, izvršena je i transformacija primenom a) TGC ( $\gamma = 5$ ), b) THE, c) AGC i d) AGCWD algoritma. Objektivno testiranje realizovano je primenom mera za komparativnu analizu (MSE, PSNR, AMBE, SSIM i RMS) i mera za kontrast (EME, Ed, EBCM). Subjektivna testiranja sprovedena su pomoću MOS testa. Za potrebe MOS testiranja formirana je test grupa. Članovi test grupe ocenjivali su vizuelni kvalitet slike ocenom 1 do 5 (1 - loš, 2 - slab, 3 - dobar, 4 - vrlo dobar, 5 - odličan kvalitet). Računanjem prosečne ocene svih ispitanika određena je MOS ocena. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički.

#### B. Baza

Formirana je baza test slika, koju čine standardne test slike ( $S_1 - S_9$ ):  $S_1$  - *Lena*,  $S_2$  - *Barbara*,  $S_3$  - *Baboon*,  $S_4$  - *Goldhill*,  $S_5$  - *Boy*,  $S_6$  - *Girl*,  $S_7$  - *Tulips*,  $S_8$  - *Sails*,  $S_9$  - *Pirate*.

#### C. Test grupa

Test grupa formirana je od 22 studenta treće godine Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, SP Komunikacione tehnologije, i to 17 muškog i 5 ženskog pola, godina starosti: 20 - 24 god. sa  $\mu = 21.3636$  god. i  $\sigma = 1.0022$  god..

#### D. Rezultati

Na sl. 1 prikazane su: test slika *Lena* (sl. 1.a) i slika *Lena* nakon transformacije: a) TGC (sl. 1.b), b) THE (sl. 1.c), c) AGC (sl. 1.d) d) AGCWD (sl. 1.e) i e) MLAGC (sl. 1.f) algoritmom.

U tabeli I prikazane su vrednosti objektivnih mera (MSE, PSNR, AMBE, SSIM i RMS) transformisanih slika ( $S_{ITGC}$ ,  $S_{ITHE}$ ,  $S_{IAGC}$ ,  $S_{IAGCWD}$  i  $S_{IMLAGC}$ ) u odnosu na originalnu sliku,  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 9$ . U tabeli II prikazane su vrednosti kontrasta originalne slike  $S_i$  i transformisanih slika ( $S_{ITGC}$ ,  $S_{ITHE}$ ,  $S_{IAGC}$ ,  $S_{IAGCWD}$  i  $S_{IMLAGC}$ ) za  $i = 1, 2, \dots, 9$ , izražene pomoću mera kontrasta EME, Ek, EBCM i MOS ocene. U tabeli III su prikazane srednje vrednosti objektivnih mera kvaliteta za sve

transformisane slike u odnosu na originalne slike. U tabeli IV prikazane su srednje vrednosti mera kontrasta za sve originalne i sve transformisane slike. Na sl. 2. prikazani su histogrami originalne slike *Lena* i MLAGC transformisane slike. Funkcije transformacije za: a) linearnu funkciju (ID - identičnost), kod koje nema promene nakon transformacije, b) TGC sa  $\gamma = 5$  i  $\gamma = 0.2$ , c) THE, d) AGC e) AGCWD i f) MLAGC algoritam prikazane su na sl. 3.



Slika 1. Test slika: a) Lena i slike nakon korekcije b) TGC, c) THE, d) AGC, e) AGCWD i f) MLAGC algoritmom.

TABELA I  
OBJEKTIVNE MERE KVALITETA TRANSFORMISANIH SLIKA U ODNOSU NA ORIGINALNU SLIKU

		MSE	PSNR	AMBE	SSIM	RMS
S <sub>1</sub>	S <sub>1,TGC</sub>	1.2001*10 <sup>4</sup>	7.3387	105.209	0.1608	109.5483
	S <sub>1,THE</sub>	743.8047	19.4162	4.7872	0.8193	27.2728
	S <sub>1,AGC</sub>	2.2296*10 <sup>3</sup>	14.6484	43.3719	0.8313	47.2191
	S <sub>1,AGCWD</sub>	2.2451*10 <sup>3</sup>	14.6185	42.3885	0.8242	47.3824
	S <sub>1,MLAGC</sub>	636.8654	20.0903	7.8376	0.7906	25.2362
S <sub>2</sub>	S <sub>2,TGC</sub>	1.1020*10 <sup>4</sup>	7.7077	99.028	0.1519	104.9917
	S <sub>2,THE</sub>	606.3001	20.3039	11.6254	0.8942	24.6232
	S <sub>2,AGC</sub>	2.2903*10 <sup>3</sup>	14.5319	42.8271	0.8496	47.8567
	S <sub>2,AGCWD</sub>	2.3155*10 <sup>3</sup>	14.4844	42.9962	0.8457	48.1194
	S <sub>2,MLAGC</sub>	637.5986	20.0853	9.8489	0.7773	25.2507
S <sub>3</sub>	S <sub>3,TGC</sub>	1.3437*10 <sup>4</sup>	6.8479	113.219	0.1623	115.9165
	S <sub>3,THE</sub>	1.3349*10 <sup>3</sup>	16.8764	0.8642	0.7470	36.5360
	S <sub>3,AGC</sub>	1.1224*10 <sup>3</sup>	17.6292	30.6757	0.8985	33.5028
	S <sub>3,AGCWD</sub>	1.1036*10 <sup>3</sup>	17.7026	30.2015	0.8959	33.2207
	S <sub>3,MLAGC</sub>	366.5479	22.4895	2.7741	0.9163	19.1454
S <sub>4</sub>	S <sub>4,TGC</sub>	9.8117*10 <sup>3</sup>	8.2134	94.8943	0.1069	99.0540
	S <sub>4,THE</sub>	1.1968*10 <sup>3</sup>	17.3506	17.3139	0.7681	34.5948
	S <sub>4,AGC</sub>	1.9590*10 <sup>3</sup>	15.2104	38.3508	0.7808	44.2611
	S <sub>4,AGCWD</sub>	2.0357	15.0437	38.9073	0.7720	45.1186
	S <sub>4,MLAGC</sub>	751.3616	19.3723	16.3646	0.7559	27.4110
S <sub>5</sub>	S <sub>5,TGC</sub>	9.1905*10 <sup>3</sup>	8.4974	89.0484	0.4222	95.8673
	S <sub>5,THE</sub>	76.9033	29.2714	0.4746	0.9902	8.7695
	S <sub>5,AGC</sub>	1.3337*10 <sup>3</sup>	16.8803	31.7494	0.9394	36.5195
	S <sub>5,AGCWD</sub>	1.3277*10 <sup>3</sup>	16.8998	31.5681	0.9391	36.4375
	S <sub>5,MLAGC</sub>	302.8241	23.3189	3.0681	0.9638	17.4018
S <sub>6</sub>	S <sub>6,TGC</sub>	5.0187*10 <sup>3</sup>	11.1249	63.1056	0.1654	70.8427
	S <sub>6,THE</sub>	1.1609*10 <sup>3</sup>	17.4828	20.4552	0.7524	34.0724
	S <sub>6,AGC</sub>	1.8210*10 <sup>3</sup>	15.5278	34.1678	0.6627	42.6728
	S <sub>6,AGCWD</sub>	1.9277*10 <sup>3</sup>	15.2805	35.0048	0.6566	43.9053
	S <sub>6,MLAGC</sub>	1.0094*10 <sup>3</sup>	18.0903	20.7768	0.5355	31.7705
S <sub>7</sub>	S <sub>7,TGC</sub>	8.8650*10 <sup>3</sup>	8.6540	85.5356	0.1385	94.1544
	S <sub>7,THE</sub>	883.0030	18.6712	24.8562	0.9070	29.7154
	S <sub>7,AGC</sub>	2.1039*10 <sup>3</sup>	14.9006	39.8683	0.8070	45.8682
	S <sub>7,AGCWD</sub>	2.1716*10 <sup>3</sup>	14.7629	40.4895	0.8002	46.6008

	S <sub>7,MLAGC</sub>	669.5657	19.8729	13.5498	0.6563	25.8760
S <sub>8</sub>	S <sub>8,TGC</sub>	1.0289*10 <sup>3</sup>	8.0070	98.6941	0.0999	101.4355
	S <sub>8,THE</sub>	1.8896*10 <sup>3</sup>	15.3672	19.1495	0.6498	43.4693
	S <sub>8,AGC</sub>	2.7408*10 <sup>3</sup>	13.7520	46.0855	0.7143	52.3529
	S <sub>8,AGCWD</sub>	2.9404*10 <sup>3</sup>	13.4467	47.5017	0.6947	54.2255
	S <sub>8,MLAGC</sub>	763.8852	19.3005	17.8246	0.8469	27.6385
	S <sub>9</sub>	S <sub>9,TGC</sub>	1.0860*10 <sup>3</sup>	7.7725	98.3959	0.1147
	S <sub>9,THE</sub>	1.0751*10 <sup>3</sup>	17.8165	18.0818	0.8413	32.7881
	S <sub>9,AGC</sub>	1.8499*10 <sup>3</sup>	15.4594	38.6100	0.8712	43.0099
	S <sub>9,AGCWD</sub>	1.8745*10 <sup>3</sup>	15.4020	38.8896	0.8691	43.2952
	S <sub>9,MLAGC</sub>	738.4956	19.4473	12.9476	0.7587	27.1753

TABELA II

MERE KVALITETA KONTRASTA TRANSFORMISANIH SLIKA U ODNOSU NA ORIGINALNU SLIKU

		EME	Ed	EBCM	MOS
S <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	8.9807	7.4460	0.0224	3.7045
	S <sub>1,TGC</sub>	47.1905	5.2372	0.1171	2.3636
	S <sub>1,THE</sub>	25.7021	7.3424	0.0555	3.8636
	S <sub>1,AGC</sub>	10.1866	7.1504	0.0267	3.2045
	S <sub>1,AGCWD</sub>	10.2265	7.1355	0.0268	3.0909
	S <sub>1,MLAGC</sub>	31.2659	7.6837	0.0648	4.1136
	S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	18.2140	7.5916	0.0525
S <sub>2,TGC</sub>		91.6997	5.0335	0.2292	1.7273
S <sub>2,THE</sub>		37.2283	7.4785	0.0867	3.8864
S <sub>2,AGC</sub>		19.5467	7.2741	0.0566	2.9091
S <sub>2,AGCWD</sub>		19.5877	7.2568	0.0568	3.0909
S <sub>2,MLAGC</sub>		63.8540	7.5687	0.1358	3.8182
S <sub>3</sub>		S <sub>3</sub>	18.8156	7.2418	0.0654
	S <sub>3,TGC</sub>	101.8440	5.4299	0.2938	1.8636
	S <sub>3,THE</sub>	50.6493	7.1120	0.1603	3.7727
	S <sub>3,AGC</sub>	20.0408	7.2148	0.0731	3.2955
	S <sub>3,AGCWD</sub>	20.1927	7.2235	0.0740	3.3182
	S <sub>3,MLAGC</sub>	34.6316	7.6553	0.0907	4.0455
	S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub>	14.5223	7.4378	0.0455
S <sub>4,TGC</sub>		87.1450	4.5521	0.2477	1.5000
S <sub>4,THE</sub>		33.3520	7.2457	0.0948	3.7500
S <sub>4,AGC</sub>		16.5928	7.0210	0.0536	3.1818
S <sub>4,AGCWD</sub>		16.7181	6.9985	0.0542	3.4091
S <sub>4,MLAGC</sub>		41.4251	7.7241	0.1037	3.2500
S <sub>5</sub>		S <sub>5</sub>	47.1804	6.7745	0.2346
	S <sub>5,TGC</sub>	189.4965	4.8446	0.6204	1.5682
	S <sub>5,THE</sub>	69.9283	6.3879	0.2722	2.7727
	S <sub>5,AGC</sub>	46.9199	6.4499	0.2201	2.6136
	S <sub>5,AGCWD</sub>	47.0120	6.4385	0.2211	2.6364
	S <sub>5,MLAGC</sub>	70.4381	7.9103	0.2521	2.7273
	S <sub>6</sub>	S <sub>6</sub>	12.3197	7.4049	0.0371
S <sub>6,TGC</sub>		45.3158	4.1165	0.1535	1.2619
S <sub>6,THE</sub>		18.6478	7.1346	0.0468	4.3571
S <sub>6,AGC</sub>		13.3727	7.1070	0.0409	4.1667
S <sub>6,AGCWD</sub>		13.4133	7.1443	0.0411	4.1190
S <sub>6,MLAGC</sub>		39.2841	6.3592	0.1167	2.7619
S <sub>7</sub>		S <sub>7</sub>	14.4364	7.6963	0.0353
	S <sub>7,TGC</sub>	57.5371	4.6476	0.1307	1.6522
	S <sub>7,THE</sub>	18.0576	7.5034	0.0424	3.5000
	S <sub>7,AGC</sub>	13.9153	7.5888	0.0349	3.4783
	S <sub>7,AGCWD</sub>	13.8967	7.5930	0.0349	3.3696
	S <sub>7,MLAGC</sub>	48.6041	7.0440	0.1270	3.4348
	S <sub>8</sub>	S <sub>8</sub>	14.1077	7.0794	0.0459
S <sub>8,TGC</sub>		103.9342	4.3587	0.2730	1.5476
S <sub>8,THE</sub>		45.5962	6.9218	0.1334	3.7727
S <sub>8,AGC</sub>		18.1956	7.1654	0.0640	3.4318
S <sub>8,AGCWD</sub>		18.4333	7.0713	0.0654	3.5227
S <sub>8,MLAGC</sub>		29.6550	7.6462	0.0825	4.1591
S <sub>9</sub>		S <sub>9</sub>	17.5481	7.3600	0.0526
	S <sub>9,TGC</sub>	92.1552	4.6699	0.2334	1.5909
	S <sub>9,THE</sub>	45.7247	7.2564	0.0979	4.1522
	S <sub>9,AGC</sub>	18.8834	7.0938	0.0576	3.3864
	S <sub>9,AGCWD</sub>	18.9050	7.0779	0.0577	3.4773
	S <sub>9,MLAGC</sub>	58.8741	7.4733	0.1192	3.2955

TABELA III

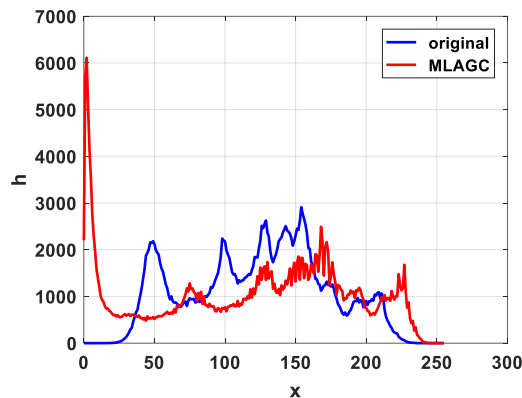
SREDNJE VREDNOSTI OBJEKTIVNIH MERA KVALITETA TRANSFORMISANIH SLIKA U ODNOSU NA ORIGINALNU SLIKU

	Srednje vrednosti objektivnih mera				
	MSE	PSNR	AMBE	SSIM	RMS
S <sub>TGC</sub>	7.9399*10 <sup>3</sup>	8.2404	94.1255	0.1692	99.5579
S <sub>THE</sub>	996.3679	19.1729	13.0676	0.8188	30.2046
S <sub>AGC</sub>	1.939*10 <sup>3</sup>	15.3933	38.4118	0.8172	43.6959
S <sub>AGCWD</sub>	1.7676*10 <sup>3</sup>	15.2935	38.6608	0.8108	44.2562
S <sub>MLAGC</sub>	652.9493	20.2297	11.6658	0.7779	25.2117

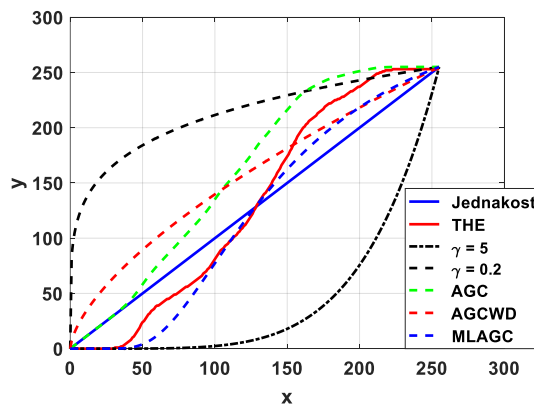
TABELA IV

SREDNJE VREDNOSTI MERA KONTRASTA TEST SLIKA I TRANSFORMISANIH SLIKA

	Srednje vrednosti mera kontrasta			
	EME	Ed	EBCM	MOS
S	18.4583	7.3369	0.0657	3.4635
S <sub>TGC</sub>	90.7020	4.7656	0.2554	1.6750
S <sub>THE</sub>	38.3207	7.1536	0.1100	3.7586
S <sub>AGC</sub>	19.7393	7.1184	0.0697	3.2964
S <sub>AGCWD</sub>	19.8206	7.1044	0.0702	3.3371
S <sub>MLAGC</sub>	46.4480	7.4516	0.1214	3.5118



Slika 2. Histogrami test slike Lena i slike nakon korekcije MLAGC algoritmom



Slika 3. Funkcije transformacije kod slike Lena za: a) ID (identičnost), b) TGC za  $\gamma = 5$  i  $\gamma = 0.5$ , c) THE, d) AGC e) AGCWD i f) MLAGC algoritam

### E. Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u tabelama I i III, tj. na osnovu objektivnih mera za kvantitativnu procenu dejstva algoritama, može se zaključiti da je vrednost:

a) MSE najmanja kod primene MLAGC algoritma ( $MSE_{MLAGC} = 652.9493$ ),

- b) PSNR najveća kod primene MLAGC algoritma ( $PSNR_{MLAGC} = 20.2297$ ),
- c) AMBE najmanja kod primene MLAGC algoritma ( $AMBE_{MLAGC} = 11.6658$ ),
- d) SSIM najveća kod primene THE algoritma ( $SSIM_{THE} = 0.8188$ ),
- e) RMS najmanja kod primene MLAGC algoritma ( $RMS_{MLAGC} = 25.2117$ ),

Na osnovu rezultata prikazanih u tabelama II i IV mere kontrasta kod slika dobijenih MLAGC algoritmom u odnosu na originalnu sliku S i TGC, THE, AGC i AGCWD transformisane slike su:

a)  $EME_{MLAGC} / EME_S = 46.448 / 18.4583 = 2.5164$ ,  
 $EME_{MLAGC} / EME_{TGC} = 46.448 / 90.702 = 0.5121$ ,  $EME_{MLAGC} / EME_{THE} = 46.448 / 38.3207 = 1.2121$   $EME_{MLAGC} / EME_{AGC} = 46.448 / 19.7393 = 2.3531$ ,  $EME_{MLAGC} / EME_{AGCWD} = 46.448 / 19.8206 = 2.3434$  puta veće,

b)  $Ed_{MLAGC} / Ed_S = 7.4516 / 7.3369 = 1.0156$ ,  $Ed_{MLAGC} / Ed_{TGC} = 7.4516 / 4.7656 = 1.5636$ ,  $Ed_{MLAGC} / Ed_{THE} = 7.4516 / 7.1536 = 1.0417$ ,  $Ed_{MLAGC} / Ed_{AGC} = 7.4516 / 7.1184 = 1.0468$ ,  $Ed_{MLAGC} / Ed_{AGCWD} = 7.4516 / 7.1044 = 1.0489$  puta veće,

c)  $EBCM_{MLAGC} / EBCM_S = 0.1214 / 0.0657 = 1.8476$ ,  
 $EBCM_{MLAGC} / EBCM_{TGC} = 0.1214 / 0.2554 = 0.4752$ ,  
 $EBCM_{MLAGC} / EBCM_{THE} = 0.1214 / 0.11 = 1.1035$ ,  
 $EBCM_{MLAGC} / EBCM_{AGC} = 0.1214 / 0.0697 = 1.741$ ,  
 $EBCM_{MLAGC} / EBCM_{AGCWD} = 0.1214 / 0.0702 = 1.7286$  puta veće.

Srednje MOS ocene MLAGC transformisanih slika veće su u odnosu na srednje ocene originalnih, TGC, AGC i AGCWD transformisanih slika, a manje su u odnosu na srednje ocene THE transformisanih slika (Tbl. IV).

#### IV. ZAKLJUČAK

U radu je opisan MLAGC algoritam za  $\gamma$ -korekciju kontrasta slika. U cilju procene efikasnosti korekcije kontrasta MLAGC algoritmom sproveden je eksperiment, gde su određene objektivne i subjektivne mere kvaliteta kontrasta. Analizom objektivnih mera za komparaciju procene dejstva algoritama (MSE, PSNR, AMBE, SSIM i RMS) i objektivnih mera za kontrast (EME, Ed, EBCM), zaključuje se da je primena MLAGC algoritma dovela do povećanja kontrasta i poboljšanje vizuelnog kvaliteta slika. Na osnovu subjektivnih MOS ocena, MLAGC algoritam efikasniji je u odnosu na TGC, AGC i AGCWD algoritam,

dok je manje efikasan u odnosu na THE algoritam. Na osnovu objektivnih i subjektivnih mera može se preporučiti primena MLAGC algoritma za poboljšanje kontrasta i popravku vizuelnog kvaliteta slika.

#### LITERATURA

- [1] K.-Chih Lee, J. Ho, D. Kriegman, "Acquiring Linear Sub-spaces for Face Recognition under Variable Lighting," IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, vol. 27, no. 5, pp. 1-15, May 2005.
- [2] R. Jayakumar, B.Suresh "A review on edge detection methods and techniques" IJARCC, vol. 3, Issue 4, pp .6369- 6371, April 2014.
- [3] Z. Milivojević, N. Savić, B. Prlinčević, "Parametri slike dobrog kvaliteta pogodnih za digitalnu obradu", Međunarodno savetovanje na temu Upravljanje znanjem i informatika, pp 129-137, 8-9 Januar, Kopaonik, 2019.
- [4] S. Chen, A. Ramli, "Preserving brightness in histogram equalization based contrast enhancement techniques." Digital Signal Process. vol. 14, no. 5, pp.413-428, 2004.
- [5] Y.-S. Chiu, F.-C. Cheng, and S.-C. Huang, "Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction and cumulative intensity distribution," in Proc. IEEE Conf. Syst. Man Cybern., pp. 2946-2950, Oct. 2011.
- [6] S. Rahman, M. Rahman, M. Abdullah-Al-Wadud, G. Dastegir Al-Quaderi, M. Shoyaib, "An adaptive gamma correction for image enhancement", EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2016.
- [7] N. Savić, Z. Milivojević "Performanse adaptivnog Gama korektora za popravku kvaliteta slika sa malim kontrastom" XVIII internacionalni simpozijum Infoteh Jahorina, Mart 2019.
- [8] S. C. Huang, F. C. Cheng, and Y. S. Chiu, "Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution," IEEE Trans. Image Process., vol. 22, no. 3, pp. 1032-1041, March. 2013.
- [9] M. Mahamdioua, M. Benmohammed, "New Mean-Variance Gamma Method for Automatic Gamma Correction", IJ. Image, Graphics and Signal Processing, , vol. 3, pp. 41-54, 2017.
- [10] P. Babakhani, P. Zarei, "Automatic gamma correction based on average of brightness", Advances in Computer Science: an International Journal, Vol. 4, Issue 6, No. 18, November 2015.
- [11] N. Savić, Z. Milivojević, "Komparativna analiza algoritama za korekciju kontrasta slika u boji", XXIV Međunarodna konferencija Informacione tehnologije (IT), Žabljak, 18 – 22. februar, 2020, pp. 46-49.
- [12] A. Acharya, A V. Giri, "Contrast Improvement using Local Gamma Correction," ICACCS, pp. 110-114, June 2020.
- [13] N. Savić, Z. Milivojević, "Performanse AGCWD algoritma za korekciju kontrasta kod slika u boji," Zbornik radova 19th International Symposium Infoteh-Jahorina, 18-20 March 2020, pp. 125-130.
- [14] N. Savić, Z. Milivojević, "Komparativna analiza algoritama za povećanje kontrasta slika," Međunarodna konferencija Upravljanje znanjem i informatika, Januar 2020.

**APSTRAKTI AUTORSKIH RADOVA  
OBJAVLJENIH U IEEEEXPLORE-u**  
(<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9390088/proceeding>)

# 10 years since Stuxnet: What have we learned from this mysterious computer software worm?

Bojana Bakić, Miloš Milić, Ilija Antović, Dušan Savić, Tatjana Stojanović

The Stuxnet worm emerged in 2010 and quickly became one of the most infamous malicious attacks to date. It challenged contemporary cybersecurity experts to evaluate their current approach and adapt to ever-increasing threats and issues. Moreover, for the first time, the attack caused by a computer worm left behind physical damage, classifying it, by many, as the first cyber weapon. In this paper, we assess 10year long progress in the cybersecurity field that arose from this attack. Likewise, in line with best practices, we propose reactive and proactive measures for the mitigation of omnipresent cybersecurity risks. Although the eerie presence of hackers presents constant trouble, understanding previous attacks and conducting further research is crucial to keep up with novel menaces.

# Semantically Enhanced Cyber Security Model for Industry 4.0: Methodological Framework

Luka Laković, Ivana Ognjanović, Ramo Šendelj, Olivera Injac

This paper deals with questions of cybersecurity in the Industry 4.0, existing cybersecurity models and their enhancement. Providing with a methodology for semantically enhancing and improving cybersecurity models, the paper promotes novel, adapted methodological frameworks for cybersecurity, by promoting diversity in characteristics, and quantifying both the assessments of existing level of cybersecurity, and potential impacts of change within the field.

# A Framework for Incorporating a National Maritime Surveillance System into the European Common Information Sharing Environment

Andrej Mihailovic, IEEE Member, Nexhat Kapidani, Enis Kočan, IEEE Member, Žarko Lukšić, David Merino Delgado, Spyros Antonopoulos, Marios Moutzouris

The Common Information Sharing Environment (CISE) is an ongoing cooperative development initiative that incrementally incorporates new participants and countries through integrations of facilities for European maritime surveillance. This paper outlines some key processes and technicalities required for becoming a part of the CISE, specifically for the case of a maritime surveillance department in Montenegro - Administration for Maritime Safety and Port Management (AMSPM). The content greatly derives from an ongoing European Union (EU) collaborative project ANDROMEDA and shows the CISE components such as its data model, services and architecture compositions fitting with existing legacy systems for maritime surveillance. We also show some extracts from the Adriatic-Ionian trial, being conducted in the project, using the enhanced CISE features and involving partners from Italy, Greece and Montenegro. The examinations and general guidelines presented are particularly intended to give insights into operational capabilities for search and rescue missions, oil spills responses and general sea occurrences and conditions monitoring.

# Analysis of Ionospheric Effects on the Propagation of Chaotic Signals

Mirjana Janjušević, Luka Lazović, Ana Jovanović and Vesna Rubežić

In this paper, the analysis of the influence of the ionosphere on the propagation of chaotically modulated electromagnetic waves is performed. Differential chaotic shift keying is very useful as communication system. Chaotic modulations with discrete chaotic systems such as tent map, logistic map and PWAM map were realized. The robustness of chaotic signals to changes that occur during their passage through the turbulent ionosphere was investigated. Time delays as well as phase and frequency offset of chaotic signals were compared. Simulations and modeling of the communication system were performed in MATLAB Simulink.



# Digital Transformation and Transparency in Wine Supply Chain Using OCR and DLT

Stevan Cakic, Aida Ismailisufi, Tomo Popovic. Senior Member IEEE, Srdjan Krco, Nenad Gligoric,  
Srdjan Kupresanin, Vesna Maras

This paper describes an effort to utilize IoT, OCR, and blockchain technology to create wine track and trace system evaluated in a real-life environment. The research is focused on digital transformation in traditional wine supply chain, using computer vision to read the existing serial numbers labeled on bottles, so as to uniquely identifying individual bottles of wine and track the item life-cycle. The system provides mobile app to allow end consumers to scan each wine bottle and learn more about that particular product instance, its origin, authenticity, rating and potentially other characteristics. Status of each bottle is updated every time it has been scanned. To ensure the transparency of the recorded data and information immutability, the blockchain technology is used to record all relevant information into the ledger, e.g. all status updates for each item. The developed service enables tracking of a bottle throughout the supply chain, from a producer to a consumer, where traceability story is still not finalized. The consumed serial numbers are kept in the ledger, to avoid counterfeit scenario when one “bottle” (i.e. one serial number) is being sold multiple times. The life-cycle of bottle and its status changes are recorded, and the authenticity ensured facilitating verifiable identity of the authorized handlers and cutting edge cryptography, thus providing additional trust in the solution and transparency to all stakeholders.

# Pneumonia Detection Using Deep Learning Based on Convolutional Neural Network

Luka Račić, Tomo Popović, Senior Member, IEEE, Stevan Čakić, Stevan Šandi

Artificial intelligence has found its use in various fields during the course of its development, especially in recent years with the enormous increase in available data. Its main task is to assist making better, faster and more reliable decisions. Artificial intelligence and machine learning are increasingly finding their application in medicine. This is especially true for medical fields that utilize various types of biomedical images and where diagnostic procedures rely on collecting and processing a large number of digital images. The application of machine learning in processing of medical images helps with consistency and boosts accuracy in reporting. This paper describes the use of machine learning algorithms to process chest X-ray images in order to support the decisionmaking process in determining the correct diagnosis. Specifically, the research is focused on the use of deep learning algorithm based on convolutional neural network in order to build a processing model. This model has the task to help with a classification problem that is detecting whether a chest X-ray shows changes consistent with pneumonia or not, and classifying the X-ray images in two groups depending on the detection results.

# Applying natural language processing to analyze customer satisfaction

Armin Alibasic and Tomo Popovic, Senior Member, IEEE

The aim of this paper is to analyze customer satisfaction by applying natural language processing (NLP). We have collected over 50,000 airline reviews from TripAdvisor data in the period from 2016 until 2019. This analysis demonstrates the capability of discovering the pain points of the customers by using data science techniques related to NLP. Our study shows that in today`s world, data-driven decisions must be taken quickly in order to maintain customer satisfaction and prevent customer churn.

# Deep learning-based classification of environmental sounds

Luka Vujošević, Slobodan Đukanović, Member, IEEE

Sound classification has been a major research topic for many years. Sound classifying models and intelligent sound recognition systems are based on the analysis of human auditory characteristics. The use cases of those characteristics are countless: context awareness, surveillance systems, crime detection etc. Deep learning models, such as convolutional neural networks (CNNs), have been shown very useful for classifying image datasets. We approach the sound classification problem via image classification. To that end, we represent sound files with their image representations, namely mel spectrogram, tonal centroid, spectral contrast and chromagram, and train a CNN deep learning model on these image representations. The proposed method achieves the mean accuracy of 73%, using 10-fold cross validation. This result is, considering the nature of the dataset, and the fact that environmental sounds are much more cumbersome to classify compared with music and speech, very satisfactory. The experimental results also show that the deep learning approach outperforms in accuracy fully-connected NN (59% accuracy) by a large margin.

# Collaborative Truck-Drone Routing Optimization Using Quantum-Inspired Genetic Algorithms

Hasan Yetis, Mehmet Karakose

Today, e-commerce has become more common than ever. The time for customers to receive the product they ordered is directly dependent on the speed of the shipment companies. In addition to operating and operator costs, traditional deliveries also increase delivery times. That's why the distribution with truck-drone cooperation method emerged. In this study, it is aimed to determine the less costly route for parcel delivery with the cooperation of truck-drone. Quantum-inspired genetic algorithms are used to optimize the route. The proposed method is tested with truck-drone simulation developed with Python programming language. Simulation results are obtained and compared exclusively for truck-based distribution and distribution with truck-drone collaboration. A cost calculation is made by taking into account factors such as the total distance traveled, the waiting time of the customers, and the working time of the staff. The simulation results show that despite the increasing total traveling distance in the truckdrone collaboration, cost savings are achieved. As a result of the tests carried out, it is seen that 4-8% cost savings are achieved from 3 different scenarios created for 100 customers.

# Investigation of Noise Effects for Different Quantum Computing Architectures in IBM-Q at NISQ Level

Hasan Yetis, Mehmet Karakose

Today, all the implemented quantum computers are in Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) level. In such quantum computers, when circuit length and size increase, the results become less reliable because of the increasing effect of noise. The noise is an important factor that should be handled in NISQ level quantum computers. In this study, we investigate the noise factor on 5 qubit IBM-Q computers for basic circuits. For this purpose, existing 5 qubit IBM-Q computers with different architectures are examined. Then quantum circuit equivalents corresponding to basic logic gates such as XOR, AND, and OR are presented. Quantum circuits created for XOR, AND, and OR are run 10 times on different quantum computers of 5 qubits named Santiago, Athens, Valencia, Vigo, Ourance, and IBMQX2. Statistical information such as std., mean is obtained from the results. The consistency of the results obtained and their difference from the optimum result are discussed. As a result of the study, there is no contradiction in the results obtained with quantum volume. Studies show that even small growths in XOR, AND, and OR circuits can lead to a big deflection in results.

# Enhanced Prediction of Animal Toxins using Intuitionistic Fuzzy Rough Feature Selection Technique followed by SMOTE

Pankhuri Jain, Anoop Kumar Tiwari and Tanmoy Som

The toxins found in venomous animals are small peptides of disulphide-rich class. These toxins are widely utilized as therapeutic agents and pharmacological tools in medicine due to their high specificity for targets. Prediction of these toxin proteins is an interesting research area for the pharmacological and therapeutic researchers. Various machine learning techniques can offer an efficient and effective way to solve such problems. Three aspects namely: feature selection, class imbalance, and selection of appropriate learning algorithms, play the vital role in enhancing the prediction performance. In this paper, we present a new methodology to improve the prediction performance of animal toxin proteins that not only selects optimal feature subsets but also prevents misclassification occurring due to noise. Firstly, intuitionistic fuzzy rough set based feature selection technique is employed that fits the data well and prevents misclassification using atom search heuristic. Then, SMOTE (Synthetic minority oversampling technique) is applied as an oversampling technique to convert imbalanced datasets into optimally balanced datasets. Moreover, various learning algorithms are applied on the reduced optimally balanced dataset of the toxin. An accuracy of 89.2% is achieved by RealAdaBoost with RandomForest classifier. From the experimental results, it can be visualized that proposed methodology has significantly enhanced prediction performance and is outperforming the existing models. Keywords: Feature Selection, Imbalanced Dataset, SMOTE and Intuitionistic Fuzzy Rough Set.

# LiFi Networks: Concept, Standardization Activities and Perspectives

Milica Popadić, Enis Kočan, Member, IEEE

WiFi (Wireless Fidelity) networks are nowadays the most used technology for Internet access and besides this, they represent favorable communication solution for many Internet of things (IoT) application areas. However, the radiofrequency (RF) spectrum used by WiFi networks cannot satisfy increasing capacity demands of upcoming multimedia and IoT services. Thus, using wide available bandwidths in an optical portion of spectrum revived research attention as an interesting solution for future 6G wireless networks. A technology similar to WiFi, but operating in optical spectrum is denoted as LiFi (Light Fidelity). LiFi uses light emitting diode (LED) for data transmission, thus being energy efficient, widely available solution for high-speed data transfer, mostly considered as WiFi complementary technology. In this paper we provide overview of main concepts of LiFi networks, state of the art in standardization activities, their advantages and distinguishing application areas, as well as implementation issues. Moreover, we present main features of terahertz communications, as a competing technology to LiFi towards 6G networks.



# Optimal Soft Open Points Operation and Distributed Generations Penetration in a Reconfigured Egyptian Distribution Network

Ibrahim Mohamed Diaaeldin, Student Member, IEEE, Shady H. E. Abdel Aleem, Member, IEEE, Ahmed El-Rafei, Member, IEEE, Almoataz Y. Abdelaziz, Senior Member, IEEE, and Martin Čalasan, Member, IEEE

Soft Open Points (SOPs) and distribution network reconfiguration (DNR) are recently promoted for distribution network optimization. In this work, a multi-stage optimization including DNR, SOPs, and distributed generations (DGs) for power loss minimization, load balancing, and improving voltage security, simultaneously. Case studies are performed on a real distribution network in Cairo called a 59-node distribution network. Results show the proposed optimization approach's effectiveness in minimizing the total power loss, the load balancing index, and the fast voltage stability index by greater than 38%, 27%, and 31%, respectively.

# Scenario-Based Approach for Efficient Energy Management in Microgrids Considering Parameters Uncertainty

Mostafa H. Mostafa, Samia Gharib Ali, Martin Čalasan, Member, IEEE, Almoataz Y. Abdelaziz, Senior Member, IEEE, and Shady H. E. Abdel Aleem, Member, IEEE

At present, one of the essential steps in microgrids (MG) optimization models is to consider the uncertainty of variables such as the intermittency of renewable energy sources (RES), electrical demand alteration, and market price volatility. More recently, MGs have received increasing attention, which needs to manage the uncertainty associated with future changes and variations of network parameters. This paper presents an optimal stochastic model for scheduling grid-connected MG energy comprises dispatchable resources such as micro-turbine and fuel cell units, non-dispatchable resources such as photovoltaic and wind turbine systems and a battery storage system. The optimal daily energy scheduling is required to obtain the MG's minimum operation cost over a 24-h horizon. The general algebraic modeling system (GAMS) is used to solve the optimization problem formulated in this work. Uncertainty of RESs, electrical demand, and market price are taken into account in the optimization model. The results obtained validate the effectiveness of the solution.

# Optimal Design of Anti-Resonance Third-Order Harmonic Filters for Power Systems Operating in Non-Sinusoidal Conditions

Ahmed H. Gamily, Ahmed M. Ibrahim, Shady H. E. Abdel Aleem, Member, IEEE, and Martin Čalasan, Member, IEEE

Power quality issues, especially power system harmonic distortion, are becoming potentially serious because of the widespread use of nonlinear loads, as well as renewables and power electronic-based equipment. Currently, power system harmonics management is not an additional option in power electronic era. Even though 3rd order harmonic filters were in operation many years ago, their design remains not straightforward. Hence, they could be inspected under different design objectives. In this work, a proposed optimal design of anti-resonance 3rd order harmonic filters is presented, given that background voltage harmonic distortion of the utility and the injected current harmonic distortion of the industrial consumers (hybrid nonlinear and linear loads) present. The optimal solution is expressed based on the minimization of two objective functions – weighted driving point impedance and total cost with many nonlinear constraints of the filter and the system while considering series and parallel harmonic resonance damping metrics to quantify the filters' capability of resonance damping. Particle swarm optimization is chosen to find the optimal filter design for its success and fast convergence in solving constrained nonlinear harmonics management optimization problems. The results obtained show the excellent performance of the proposed filters.

# One Realization of an Industrial Device for Machine State Estimation

U. Rakonjac, P. Jandrić, S. Vujnović, A. Marjanović, G. Kvašček, and Ž. Đurović

Performing maintenance checks and state detection of machines with rotary actuators in industry is a challenging task which requires expensive and complicated equipment. One of the ways to perform this is using a system based on recording and analysis of sounds the machine makes during operation. This paper describes an approach which uses a simple, compact device based on a commercial microcomputer that aims to entirely replace the state detection system. It is able to record acoustic signals in close proximity to the machine, process them and use a neural network to output the state of the rotary actuator. The testing has been done on real acoustic signals recorded in the thermal power plant Kostolac in Serbia.

# Optimal design of real PID plus second-order derivative controller for AVR system

Mihailo Micev, Student Member, IEEE, Martin Čalasan, Member, IEEE, Milovan Radulović, Member, IEEE

This paper presents the optimal design of real Proportional-Integral-Derivative (PID) controller with a second-order derivative for Automatic Voltage Regulation (AVR) system. To the authors' knowledge, this type of controller has not been applied yet in the AVR systems. The parameters of the controller are determined by the Equilibrium Optimizer (EO) algorithm, which belongs to the class of metaheuristic algorithms. Besides the optimal design of the mentioned controller, a comparative analysis with the other types of frequently used controllers in AVR systems is provided. The transient response quality and the ability of different controllers to cope with different disturbances are also presented.

# Application of Sensors in the Corrosion Monitoring of the Ship's Structural Parts

Mirjana Beko, Špiro Ivošević and Tatijana Dlabac

Most naval accidents are the consequences of errors caused by different dynamic and static influences. However, the examination and monitoring of changes performed in real-time and by the rules of classification societies could prevent degradation processes. The paper examines the contemporary trends and existing sensor systems that are used for the monitoring of structural strain, loads, vibrations, deformations and degradation caused by corrosion.

# Modeling of Low Voltage Transformer based on Laboratory Testing Results

Miodrag Forcan, Aleksandar Simović, Aleksandar Lemez, Zlatan Stojković, Marko Bošković, Dragan Manjak

Computer-aided modeling of low-voltage distribution transformer plays an important role in distribution system analysis. The guidelines for transformer model construction are given in this paper. Constructed simplified low voltage single-phase transformer software model is validated using laboratory testing results of the new transformer unit prototype. Three-phase transformer model is constructed using three independent single-phase transformer models representing the prototypes of the new transformer units. The research in this paper represents a good starting point for more advanced modeling of low-voltage distribution transformer.

# Control of the quality of the building's information model at different stages of the life cycle

Pavel Chelyshkov, DSc, NRU MGSU, Moscow, Russia, Pavel Brazhnikov, NRU MGSU, Moscow,  
Russia

The article examines the issues of automated quality check of information models of buildings at different stages of the life cycle. The requirements for the information model, the types of defects, the ways to find them and the algorithms for eliminating them are analyzed. At the same time, the defects of information models are treated more broadly than spatial and temporal collisions but correlate with the parameters of the assessment of the quality of the information model. The article is addressed to an audience of information modeling specialists who develop and verify information models of buildings, as well as the development of regulations and other documents on the quality of information models. This article provides the main talking points, requirements and aspects of the analysis of information models of buildings at different stages of the life cycle and levels of model development, which formed the basis for the processing and updating of the rule sets "Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at different stages of the life cycle"[1]. This regulatory and technical document was adopted for updating on 15.01.2021 by the Russian Ministry of Construction.



# Imbentaryo App: An Intelligent Inventory and Decision Support System

Jessie Richie N. de los Santos, Jessibel R. Suyom, Manilyn B. Comora, Giovanni N. de los Santos,  
Michelle G. de los Santos, Relyn C. Aruy

Imbentaryo App an intelligent inventory system and decision support system (DSS) equipped with forecasting algorithm and Short Messaging Service (SMS) technology. The system performs business intelligent solutions through predictive data analysis from the inventory historical data needed for decision making on planning, monitoring, and management of supplies and equipment in the Supply Management Office (SMO) of Tanauan, Leyte, Philippines. The study is designed to advance the current inventory system by integrating innovative technologies and intelligent algorithms comparable to artificial intelligence. The system development utilized an agile model in building software prototypes to meet user and business requirements. The application is equipped with a secured database server and accessible on secured network architecture through web and mobile technology. The application was confirmed by SMO personnel to be an effective and efficient inventory system using ISO 25010 with a significant rating of 4.32 interpreted as Extremely Efficient.

# Mobile Payment Continuance Usage Intention in Indonesia

G. Seannery and A. Gui

Due to the increase in mobile payment user, this study explores the factors influencing continuance usage intention mobile payment in Indonesia. A total of 506 respondents are collected and analyzed using SmartPLS 3. The result revealed that additional values, perceived transaction convenience, and perceived risk are significant factor that positively affect continuance usage intention. However perceived security and trust surprisingly do not affect continuance usage intention of mobile payment in Indonesia.

# Identifying Factors Affecting the Continuance Usage Intention of Digital Payment Services among Millennials in Jakarta

J. I. Poerjoto, A. Gui, and K. Deniswara

Financial Technology (FinTech) has been growing for the past years. Digital Payment is one of FinTech services. In Indonesia, there are many digital payment services that are available and used daily by the people, especially millennials. This study examines the factors of user's trust that affect digital payment continuance intention by millennials in Jakarta. A Partial Least Square-Structural Equation Modelling was used to analyze the data collected from distributing a questionnaire via google form to 172 respondents. Results from this study show that perceived trust affects digital payment continuance intention significantly. System quality has the highest impact to perceived trust, followed by service quality and information quality. All three indicators affect positively and significantly to perceived trust, thus affecting digital payment continuance intention.

# An Approach to Data Transfer in System for Sound Acquisition in Industrial Environment

Milutin Radonjić, Member, IEEE, and Božo Krstajić, Member, IEEE

This paper discusses possible solution for data transfer between elements of the system for estimation of the state of rotating coal mills in thermal power plant, based on recorded sound. The system consists of the portable device for sound acquisition and state estimation and dedicated server for data storage, post processing and visualization. In the present phase of the system development, GPRS connection showed a good enough performance for necessary data transfer and public cloud platform proved suitability as a dedicated server.

# Improving Participation and Learning of Compiler Theory Using Educational Simulators

Srećko Stamenković and Nenad Jovanović

Due to the fact that compiler theory is pretty abstract, students' interest in learning the topics of this course decreases. In order to better prepare students for this challenge, a new approach to teaching and practicing compilers is necessary. The new approach should be complementary to existing curricula. This paper presents two educational interactive tools for visual representation of lexical and syntax analysis. It describes the way of applying simulation tools in order to improve the teaching process of the compiler construction course. These software systems evaluations were performed by checking the correctness of the implemented functionalities and examining the user experience by a quantitative student survey.

# Accuracy of the MTseng<sub>v</sub> algorithm for on-line biometric signature classification

Zoran N. Milivojević, Marina Z. Milivojević, and Zoran S. Veličković

The first part of the paper describes the Mtseng<sub>v</sub> algorithm for on-line handwritten signatures verification. MTseng<sub>v</sub> algorithm was created by modifying the Tseng algorithm, in order to increase the accuracy of signature verification. After that, an algorithm for determining the decision threshold is presented. The algorithm is based on False Positive and False Negative error analysis. The second part of the paper describes an experiment in which the performance of a MTseng algorithm was determined using True Positive, True Negative, False Positive and False Negative errors. The mentioned errors are shown tabularly. Finally, the performed comparative analysis of the results shows a higher accuracy of the MTseng<sub>v</sub> algorithm.

# Application of a Reliable Web API's in the Fight Against COVID-19 Infodemia

Zoran S. Veličković, Marko Z. Veličković, Zoran N. Milivojević

Infodemia is an overload of information about a problem, usually false and unverified. In this paper, the problem of infodemia created by declaring a COVID-19 pandemic is considered. A list of Web services has been formed that provide reliable pandemic data from relevant sources, and as such, in the fight against the COVID-19 infodemia can be used. The freemium Web API service COVID-19 data in detail with a set of GET methods by which users can request reliable data is described. In addition to global pandemic data, data on individual countries and regions from this service may be requested. The latency of the Web API service COVID-19 data was determined using the `getLatestTotals` method for reading global data. Based on the obtained results, a way of using this Web service in the fight against the COVID-19 infodemia was proposed.

# Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with General Linear Dynamics

Luka Martinović, Student Member, IEEE, Žarko Zečević, Božo Krstajić, Member, IEEE

This paper discusses possible solution for data transfer between elements of the system for estimation of the state of rotating coal mills in thermal power plant, based on recorded sound. The system consists of the portable device for sound acquisition and state estimation and dedicated server for data storage, post processing and visualization. In the present phase of the system development, GPRS connection showed a good enough performance for necessary data transfer and public cloud platform proved suitability as a dedicated server.



# Comparative analysis of Kalman-type filters for effective wind speed estimation

Veljko Vukadinović, Luka Martinović, Žarko Zečević, and and Božo Krstajić Member, IEEE

To improve wind turbine power production and reduce loads on turbine components, control system needs information on effective wind speed (EWS). Nacelle anemometer is usually subjected to disturbances/supplementary turbulences, and cannot be used on its own for EWS estimation. Here, we present three different Kalman filter based algorithms, that can be used for acquiring information of EWS: Linear Kalman filter with Newton-Raphson's method, Extended Kalman filter (EKF) and the first order divided difference (DD1) filter. The performance comparison between algorithms is carried through two numerical examples.

# Decision Tree Model for Email Classification

Ivana Čavor

In addition to the undeniable benefits, the development of the Internet has led to many undesirable security effects. Spam emails are one of the most challenging issues faced by the Internet users. Spam refers to all emails of unsolicited content that arrive in a user's email box. Spam can often lead to network congestion and blocking or even damage to the system for receiving and sending electronic messages. Thus, appropriate classification of spam email from legitimate email has become quite important. This paper presents a new approach for feature selection and Iterative Dichotomiser 3 (ID3) algorithm designed to generate the decision tree for email classification. The experimental results indicate that the proposed model achieves very high accuracy.

# On the Number of Channels in Multicomponent Nonstationary Noisy Signal Decomposition

Miloš Brajović, Member, IEEE, Isidora Stanković, Member, IEEE, Miloš Daković, Member, IEEE,  
Danilo P. Mandić, Fellow, IEEE, Ljubiša Stanković, Fellow, IEEE

If acquired using multiple sensors, non-stationary multicomponent signals can be decomposed into individual components by exploiting interdependences of signals from different channels. Earlier, we have proposed a decomposition approach being able to extract individual non-stationary signal components even in the challenging cases when their domains of support overlap in the time, frequency or joint timefrequency (TF) domains. The approach is based upon the eigenvalue analysis of the multichannel autocorrelation matrix and minimizations of concentration measures calculated using TF representations. In this paper, we investigate the influence of the number of sensors (channels) and external noise variance to the outcome of the decomposition process.

# Comparison of Two Image Denoising Approaches Based on Compressive Sensing Principles

Isidora Stanković, Member, IEEE, Miloš Brajović, Member, IEEE, Ljubiša Stanković, Fellow, IEEE,  
Miloš Daković, Member, IEEE

Starting from the realistic assumption that digital images are highly concentrated in the domain of the twodimensional discrete cosine transform (2D-DCT), we have exploited principles from the compressive sensing (CS) theory to build up a blind denoising framework for the detection and removal of outliers. Namely, we have developed two techniques, both of which use the fact that pixels are linear combinations of sparse coefficients, and that the disturbances degrade the concentration of the image. One of the techniques directly uses minimization of concentration measure of the image to detect the positions of corrupted pixels, which is followed by compressive sensing reconstruction. The second technique uses RANSAC-based automatic selection of pixels that are likely not corrupted, and are further considered as available measurements. The selection is performed based on the CS principles. In this paper, we present a short comparative analysis of these techniques based on numerical experiments.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISBN 978-9940-8707-1-3  
COBISS.CG-ID 17563140

ISBN 978-9940-8707-1-3



9 789940 870713 >