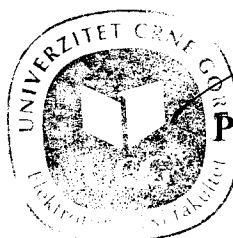


Broj: 02/1-84/1
Datum: 23.01.2018.

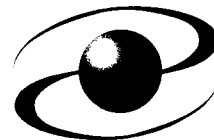
UNIVERZITET CRNE GORE
- Centru za doktorske studije -
- Senatu -

O V D J E

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta sa sjednice od 23.01.2018. godine i **obrazac D3**, sa pratećom dokumentacijom, za kandidata mr **Uglješu Uroševića**, na dalji postupak.



DEKAN
[Signature]
Prof. dr Zoran Veljović



Broj: 02/1-84
Datum: 23.01.2018

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 55 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na sjednici od 23.01.2018. godine, donijelo je

ODLUKU

I

Prihvata se Izvještaj Komisije za ocjenu doktorske disertacije „Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama“, kandidata mr Uglješe Uroševića.

II

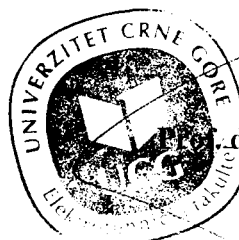
Predlaže se Senatu Univerziteta Crne da prihvati disertaciju „Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama“, kandidata mr Uglješe Uroševića i imenuje Komisiju za odbranu doktorske disertacije, u sastavu:

1. Dr Milica Pejanović-Đurišić, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, predsjednik
2. Dr Zoran Veljović, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, mentor
3. Dr Aleksandar Nešković, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, član
4. Dr Tomaž Javornik, vanredni profesor Instituta Jožef Stefan u Ljubljani, član
5. Dr Enis Kočan, docent Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, član

-VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-

Dostavljeno:

- Centru za doktorske studije,
- Senatu,
- u dosije,
- a/a.



DEKAN,

Prof. dr Zoran Veljović

OCJENA DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU		
Titula, ime i prezime	MSc Uglješa Urošević	
Fakultet	Elektrotehnički fakultet Podgorica	
Studijski program	Elektrotehnika	
Broj indeksa	4/2011	
MENTOR/MENTORI		
Mentor	Prof. dr Zoran Veljović	Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Crna Gora
KOMISIJA ZA OCJENU DOKTORSKE DISERTACIJE		
Prof. dr Milica Pejanović-Đurišić	Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Crna Gora	
Prof. dr Aleksandar Nešković	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Srbija	
Prof. dr Zoran Veljović	Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Crna Gora	
Datumi značajni za ocjenu doktorske disertacije		
Doktorska disertacija i Izvještaj Komisije dostavljen Biblioteci UCG	24.11.2017. godine	
Javnost informisana (dnevne novine „Dan“) da su Doktorska disertacija i Izvještaj Komisije dati na uvid javnosti	25.11.2017. godine	
Sjednica Senata na kojoj je izvršeno imenovanje Komisije za ocjenu doktorske disertacije	16.10.2017. godine	
Uvid javnosti		
U predviđenom roku za uvid javnosti bilo je primjedbi?	Nije bilo.	
OCJENA DOKTORSKE DISERTACIJE		
1. Pregled disertacije Doktorska disertacija pod nazivom: „<i>Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama</i>“, kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži 176 stranica A4 formata. Sastoji se od rezimea, predgovora, izvoda iz teze, uvoda, 5 poglavlja, zaključka, spiska literature sa 79 citiranih bibliografskih jedinica, biografije autora i izjave o autorstvu. U poglavljljima postoje ukupno 63 slike i 3 tabele. U disertaciji su analizirani kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO		

(*Multiple Input Multiple Output*) tehnikama. MIMO tehnike, relejni sistemi i kooperativni prenos, kao bazične tehnike na kojima se zasnivaju savremeni bežični komunikacioni sistemi, su detaljno razmotrene u prvom dijelu disertacije. Prostorno-vremenske blok tehnike (STBC - *Space-Time Block Code*) su posebno detaljno analizirane kao najpogodnije za praktičnu realizaciju među tehnikama sa višestrukim antenama na predaji i prijemu. Analizirane su prednosti i nedostaci svake razmotrene tehnike pojedinačno i opisane su metode njihovog kombinovanja kojima se mogu umanjiti nedostaci svake od njih. Precizno je uočeno i analizirano šta se može dodatno unaprijediti u ovakvim sistemima, gdje više mrežnih čvorišta (relejni stanica) učestvuje u kooperaciji, odnosno distribuiranoj realizaciji MIMO kanala. U drugom dijelu disertacije su predložena nova, originalna rješenja, kojima se poboljšavaju performanse već postojećih distribuiranih MIMO sistema u pogledu ostvarene vjerovatnoće greške prenosa na mjestu prijema, odnosno informacionog kapaciteta. Na osnovu rezultata originalno razvijenih simulacionih modela izvršeno je poređenje postojećih i predloženih rješenja.

U **Uvodu** disertacije su dati trendovi i pravci razvoja savremenih bežičnih komunikacionih sistema, kao i ograničenja koja predstavljaju značajan izazov prilikom njihovog dizajniranja i implementacije. Navedene su neke od osnovnih tehnika, kao što su sistemi sa višestrukim antenama na predaji i prijemu (MIMO), relejni i kooperativni sistemi, kojima se poboljšavaju performanse bežičnih sistema u cilju dostizanja odgovarajućeg nivoa kvaliteta servisa definisanog za bežične mreže naredne generacije. Istaknute su prednosti i nedostaci istovremene primjene postojećih tehnika, odnosno kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim prostorno-vremenskim blok kodovima (OSTBC - *Orthogonal Space-Time Block Code*). Pored toga, jasno su definisani ciljevi disertacije.

U **prvom poglavlju** („MIMO tehnike“) opisane su MIMO tehnike, sa naglaskom na prostornom diversity-ju, odnosno STBC tehnikama, jer su od posebnog interesa u pogledu praktične primjene. Date su relacije kojima se definiše transmisioni postupak, odnosno uticaj STBC metoda na primljeni i dekodirani signal. Pokazano je kako pojedine STBC varijante za prioritet imaju što manju vjerovatnoću greške na mjestu prijema, slučaj potpuno ortogonalnih OSTBC, ili što veći informacioni kapacitet, slučaj kvazi ortogonalnih QOSTBC (*Quasi OSTBC*). Analizirane su prednosti i nedostaci potpuno ortogonalnih i kvazi ortogonalnih

prostorno-vremenskih blok tehnika.

U **drugom poglavlju („Relejni sistemi“)** je dat osnovni koncept funkcionisanja relejnih sistema. Razmotrene su ključne topologije bežičnih komunikacionih sistema sa relejnim stanicama, kao i načini obrade signala na njima. Utvrđeni su nedostaci relejnih sistema, ali i mogućnosti za poboljšanje performansi primjenom MIMO tehnika ili nekog vida kooperativnog prenosa.

Svrha kooperativne transmisije, odnosno unapređenje performansi i prevazilaženje određenih identifikovanih problema kod sistema bez kooperacije, analizirana je u **trećem poglavlju („Kooperativni sistemi“)**. Razmotreni su slučajevi od najjednostavnije kooperacije jedne bazne i jedne relejne stanice, pa do najkompleksnijih situacija kod kojih u kooperaciji učestvuje više baznih stanica.

U **četvrtom poglavlju („Kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim STBC tehnikama“)** se od opisanih varijanti kooperativnog prenosa analiziraju kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO tehnikama, jer unose najmanje kompleksnosti u sistem u poređenju sa ostalim načinima kooperacije. U ovom poglavlju se razmatra distribuirana realizacija STBC tehnika u kooperativnim relejnim sistemima, koje su za razliku od ostalih MIMO tehnika kojima se realizuje prostorni diversity, pogodne za praktičnu implementaciju jer zahtijevaju poznavanje koeficijenata mobilnog radio kanala samo na prijemnoj strani. Pokazano je kako se uz manji broj antena po mrežnom čvorištu, u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, postiže isti red prostornog diversity-ja. Distribuiranom realizacijom kreira se virtuelni MIMO kanal, koji oponaša klasični MIMO kanal, uz redukciju broja antena po svakom čvorištu. Iz sprovedene matematičke analize jasno se identifikuje koji segment treba unaprijediti, odnosno korigovati kod distribuiranih potpuno ortogonalnih, a koji kod kvazi ortogonalnih STBC.

U **petom poglavlju („Nova rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC“)** su predložena nova rješenja za poboljšanje performansi postojećih kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC. Prvo su predložene četiri nove transmisione šeme za povećanje brzine prenosa kod potpuno ortogonalnih STBC, namijenjenih klasičnim MIMO sistemima za predajnike sa četiri antene, uz mogućnost generalizacije na veći broj predajnih antena. Pri tome se zadržava isti nivo

vjerovatnoće greške na mjestu prijema. Zatim, predložena su dva nova rješenja kojima se uz zadržavanje BER (*Bit Error Rate*) performansi povećava informacijski kapacitet ortogonalnih STBC kodova, namijenjenih klasičnim MIMO sistemima sa isključivo četiri predajne antene. Pored toga, predloženo je novo rješenje za poboljšanje BER performansi kvazi ortogonalnih STBC namijenjenih klasičnim MIMO sistemima sa četiri predajne antene, uz mogućnost primjene na sisteme sa većim brojem predajnih antena. Na kraju su predložena dva nova rješenja kojima se kreira virtuelni MIMO kanal između bazne stanice i mobilne jedinice, duplo većeg reda nego kod prethodno predloženih šema. Za svako predloženo rješenje su detaljno diskutovani simulacioni rezultati, uz poređenje performansi sa postojećim sistemima.

U **Zaključku** je naglašen doprinos disertacije i date su smjernice za moguća dalja istraživanja.

2. Vrednovanje disertacije

2.1. Problem

Sistemi prve i druge generacije celularnih mobilnih radio-komunikacionih sistema su prvenstveno bili namijenjeni prenosu signala govora. Mobilni radio-komunikacioni sistemi treće generacije su omogućili integraciju prenosa govornog signala i signala podataka, dok su sistemi četvrte generacije bazirani na *all IP (Internet Protocol)* mrežama. Ovaj koncept doprinosi značajno većoj spektralnoj efikasnosti, pružanju širokopoljnih multimedijalnih servisa, tj. prenosu signala veoma velikim brzinama, bez obzira na nivo mobilnosti korisnika. Sistemi pete generacije treba da omoguće 1000 puta veći kapacitet, 10 puta veću spektralnu i energetska efikasnost, 25 puta veću propusnost ćelije, gušću heterogenu mrežu, u poređenju sa mrežama četvrte generacije, zatim brzinu prenosa podataka od 10 Gb/s za malu i 1 Gb/s za veliku mobilnost korisnika. Ovako postavljene zahtjeve za kvalitet ostvarene veze nije lako postići, pošto se prenos signala mobilnim radio kanalom odvija u specifičnom okruženju, koje podrazumijeva prisustvo velikog broja različitih prepreka, dok mehanizam prostiranja zavisi od talasne dužine prostirućeg signala i okruženja u kome se komunikacija odvija, što predstavlja poseban izazov za istraživače u ovoj oblasti.

Imajući u vidu stalnu potrebu za sve većim brzinama prenosa podataka, za manjim

kašnjenjima prilikom prenosa, za energetske i spektralno efikasnijim mrežama, razvijaju se razni načini za poboljšanje ovako degradiranih performansi. Rješenja se zasnivaju na korišćenju dodatnih frekvencijskih, vremenskih ili energetskih resursa, zatim na algoritmima ekvilizacije mobilnog radio kanala, kodovima za detekciju i korekciju greške i sl. Ipak, zbog limitiranosti u pogledu raspoloživog frekvencijskog spektra, dostupnih vremenskih slotova i energetskih resursa, zatim uslijed regulatornih ograničenja vezanih za dozvoljene vrijednosti nivoa električnog polja, performanse se mogu samo do određene mjere poboljšati. U poslednjih desetak godina do izražaja dolaze tehnike koje podrazumijevaju korišćenje prostornih resursa. Novi resursi u prostornom domenu, tj. upotreba više antena na predajnoj i prijemnoj strani, odnosno upotreba MIMO tehnika, omogućavaju uz iste vremensko-frekvencijske resurse značajno unapređenje kvaliteta ostvarene veze. MIMO tehnike se generalno mogu klasifikovati u dvije kategorije: na one koje su dizajnirane u svrhu smanjivanja greške prilikom prenosa podataka i na one koje su namijenjene za povećanje brzine prenosa podataka. Prvima se ostvaruje prostorni diversity, dok se drugima realizuje prostorno multipleksiranje. Sa stanovišta praktične primjene, zbog manje kompleksnosti od posebnog su značaja prostorno-vremenske blok tehnike (STBC), kod kojih nije potrebno poznavanje kanala na predajnoj strani. Za ostvarivanje većeg dometa i pružanja odgovarajućeg kvaliteta servisa korisnicima na ivicama ćelija ove tehnike se mogu implementirati kako na baznim, tako i na relejnim stanicama. Osim poboljšanja pokrivanja, relejne stanice mogu uticati i na povećanje informacionog kapaciteta, energetske i spektralne efikasnosti, kao i na smanjivanje vjerovatnoće greške na mjestu prijema. Relejne stanice, pored toga što mogu da posreduju u razmjeni podataka između baznih i mobilnih stanica, mogu i da učestvuju u kooperativnom vidu prenosa, pri čemu se na mjestu prijema kombinuju signali od više mrežnih čvorišta.

Svrha kooperativne transmisije je unapređenje i prevazilaženje određenih problema u komunikacionim sistemima, što je s druge strane praćeno uvođenjem dodatne kompleksnosti. Pri tome, moguće su realizacije virtuelnog ili distribuiranog MIMO sistema, koji se ponaša kao klasični MIMO, preko više mrežnih čvorišta. Osim dodavanja novih mrežnih čvorišta, kooperativna transmisija se može realizovati i između već postojećih čvorišta. Sa stanovišta praktične realizacije posebno su od interesa kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO tehnikama, jer unose najmanje kompleksnosti u sistem u poređenju sa ostalim

načinima kooperacije. U kooperativnim relejnim sistemima sa distribuiranim MIMO tehnikama pojedinačne prednosti MIMO tehnika, relejnih sistema i kooperativnih sistema se integrišu i dodatno se poboljšavaju performanse. Kao što je već rečeno, od MIMO tehnika od posebnog značaja je distribuirana realizacija STBC tehnika, zbog najmanje kompleksnosti. Uz manji broj antena po mrežnom čvorištu, u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, postiže se isti red prostornog diversity-ja. Broj prijemnih antena može biti proizvoljan i ne utiče na algoritam prenosa.

STBC tehnike se mogu podijeliti na potpuno ortogonalne (OSTBC) i kvazi ortogonalne (QOSTBC). Kod potpuno ortogonalnih STBC namijenjenih za MIMO sisteme sa više od dvije antene postoji potpuna ortogonalnost između informacionih simbola ali uz cijenu manjeg informacionog kapaciteta u poređenju sa kvazi ortogonalnim STBC namijenjenih za MIMO sisteme sa istim brojem predajnih antena. Ipak, zbog potpune ortogonalnosti između informacionih simbola, OSTBC nude bolje BER karakteristike u poređenju sa QOSTBC, kod kojih se zbog većeg protoka narušava ortogonalnost, a samim tim su lošije BER performanse. Očigledno je da kod potpuno ortogonalnih STBC tehnika postoji potreba za novim načinima za povećanje protoka simbola, uz zadržavanje BER performansi. Kad su u pitanju kvazi ortogonalne STBC tehnike, unapredjenje se odnosi na potrebu ostvarivanja što manje intersimbolske interferencije, odnosno manje vjerovatnoće greške, uz zadržavanje njihove glavne prednosti u pogledu protoka.

Za razliku od klasičnih MIMO sistema, u razmatranim kooperativnim relejnim sistemima postoje dodatna mrežna čvorišta koja učestvuju u kooperaciji, pa je moguće unaprijediti transmisionu šemu u cilju poboljšanja performansi. Dakle, osim mogućnosti za implementaciju većeg broja antena, odnosno kreiranja virtuelnog MIMO kanala većeg reda u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, distribuirana realizacija pruža dodatne opcije. Virtuelni MIMO kanal većeg reda svakako pruža bolje performanse u odnosu na MIMO kanal manjeg reda između jednog predajnika i prijemnika, dok kooperativni prenos uz određene modifikacije transmisionih šema omogućava poboljšanje performansi čak i za isti red virtuelnog i klasičnog MIMO kanala.

2.2. Ciljevi i hipoteze disertacije

Osnovni cilj disertacije je bio da se izvrši sveobuhvatna analiza kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC tehnikama, da se na osnovu analize utvrdi šta je moguće od performansi popraviti, da se predlože nove originalne metode kojima je to moguće uraditi, a zatim, na kraju, da se izvrši poređenje performansi postojećih i predloženih rješenja.

Postavljeni ciljevi, definisani još u fazi prijave doktorske disertacije, bili su:

- Analiza novih rješenja za poboljšanje performansi i efikasniju alokaciju resursa kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama;
- Omogućavanje implementacije OSTBC kodova koji imaju veći kodni odnos u poređenju sa tehnikama analiziranim do odbrane polaznih istraživanja. Pošto se na relejnim stanicama ne obavlja STBC dekodiranje radi što manje kompleksnosti, OSTBC sa $3/4$ kodnim odnosom, zbog svoje specifične strukture se ne mogu primijeniti u virtuelnim MIMO sistemima na isti način kao i OSTBC kodovi sa $1/2$ kodnim odnosom. Zbog toga je potrebno definisanje nove transmisionne strategije u cilju ostvarivanja istih BER performansi kao u slučaju OSTBC sa $1/2$ kodnim odnosom, uz povećanje kodnog odnosa za 50%;
- Razmatranje nove tehnike obrade signala na relejnim stanicama koje bi omogućile da se virtuelnim QOSTBC kodovima postigne zadovoljavajući BER. Imajući u vidu da se na izlazu iz QOSTBC dekodera javlja intersimbolska interferencija kao posljedica neortogonalnosti ovih kodova, trebalo je razmatriti nova rješenja u cilju smanjivanja intersimbolske interferencije uz zadržavanje istog protoka.
- Predlaganje novih kooperativnih rješenja koja podrazumjevaju korišćenje većeg broja antena na baznoj stanici i relejnim stanicama, ali i veći broj relejnih stanica, tj. implementacija OSTBC i QOSTBC sa većim redom diversity-ja.
- Analiza uticaja neidealne estimacije kanala na performanse razmatranih kooperativnih sistema.
- Razvijanje novih originalnih simulacionih modela i/ili nadogradnja već postojećih simulacionih modela.

2.3. Rezultati disertacije i njihovo tumačenje sa zaključcima

Uz sistematičan pristup i uz upotrebu adekvatnog matematičkog modela transmisijonog postupka, izvršene su brojne simulacije u Matlab okruženju kako bi se utvrdile BER performanse za svaku novu predloženu šemu.

Prvo su analizirana četiri predložena originalna rješenja kojima se povećava informacijski kapacitet sistema sa distribuiranim potpuno ortogonalnim STBC tehnikama, uz zadržavanje približno istog nivoa vjerovatnoće greške. Rješenja se baziraju na pretpostavci da je moguće povećati informacijski kapacitet, ukoliko su na linkovima između bazne i relejnih stanica bolji uslovi na mobilnom radio kanalu, nego na linkovima između relejnih stanica i mobilne jedinice, ne degradirajući pri tome značajnije BER performanse. Prvom predloženom šemom je na prvom hopu omogućen dva puta veći informacijski kapacitet u poređenju sa distribuiranim OSTBC, drugom šemom 8/5 puta veći informacijski kapacitet, trećom 4/3 puta i četvrtom 8/7 puta veći informacijski kapacitet. Za određene uslove na mobilnom radio kanalu na prvom hopu, veća redundantnost ne dovodi do adekvatnog poboljšanja BER performansi. U tom slučaju očigledno je da vremenski resursi nisu iskorišćeni optimalno, i da se šema u pogledu neophodnih vremenskih slotova može relaksirati, ne povećavajući značajnije vjerovatnoću greške. U zavisnosti od stanja na mobilnom radio kanalu, jedno od predloženih rješenja može omogućiti kompromis u pogledu zahtjeva za većom brzinom prenosa i manjom vjerovatnoćom greške. Osim toga, četiri predložene šeme pružaju četiri nivoa redundantnosti, tako da se u odnosu na stanje mobilnog radio kanala može odabrati jedna, koja ima zadovoljavajuću vjerovatnoću greške uz minimalan broj iskorišćenih vremenskih slotova. Simulacioni rezultati pokazuju da ukoliko je na prvom hopu između bazne i relejne stanice Rice-ov fading sa parametrom $K=6\text{dB}$, tada su za $\text{BER}=10^{-4}$ razlike u zahtijevanim SNR vrijednostima između postojećeg virtuelnog OSTBC i predloženih šema redom 2.8 dB, 2.1 dB, 1.3 dB i 0.8 dB. Ukoliko je $K=10\text{dB}$, tada su ove SNR razlike redom 0.25 dB, 0.15 dB, 0.12 dB i 0.05 dB. U odnosu na stanje u mobilnom radio kanalu se traži kompromis tako da se ostvari što veći informacijski kapacitet, a da se minimalno naruše BER performanse. U odnosu na stanje mobilnog radio kanala moguće je primjenjivati adaptivne šeme, odnosno birati jednu od predloženih tehnika obrade, koja u datom trenutku predstavlja najbolji izbor.

Nakon analize četiri predložene šeme, izvršena je analiza još dva originalna rješenja kojima je moguće distribuirano realizovati potpuno ortogonalni STBC koji je namijenjen za MIMO sisteme sa isključivo četiri predajne antene, a koji ima 3/4 kodni odnos. Drugo predloženo rješenje se opet bazira na pretpostavci da je moguće povećati informacijski kapacitet ukoliko su na linkovima između bazne i relejnih stanica bolji uslovi na mobilnom radio kanalu nego na linkovima između relejnih stanica i mobilne jedinice. Slobodni vremenski slotovi, dobijeni na prvom hopu kod druge predložene šeme, se mogu upotrijebiti za komunikaciju između bazne stanice i drugih mobilnih jedinica, za unapređenje kvaliteta estimacije kanala i sl. Rezultati simulacija pokazuju da prvo predloženo rješenje u svim uslovima na mobilnom radio kanalu ima identične performanse kao virtuelni OSTBC sa 1/2 kodnim odnosom, dok drugo predloženo rješenje već za slučaj kad je između bazne i relejne stanice Rice-ov fading sa $K \geq 5$ dB pokazuje zanemarljivo odstupanje BER vrijednosti.

Nadalje, predložena je originalna transmisiona šema, kojom se smanjuje intersimbolska interferencija virtuelnog kvazi ortogonalnog STBC, uz istovremeno zadržavanje informacionog kapaciteta. Kako predloženo smanjivanje intersimbolske interferencije, odnosno smanjivanje neortogonalnosti informacionih simbola, primjenom predložene šeme utiče na vjerovatnoću greške ustanovljeno je simulacijom. Npr. zahtijevana vrijednost SNR-a za predloženu šemu za QPSK modulaciju i $BER=10^{-5}$ u poređenju sa distribuiranim QOSTBC je manja za 1.8 dB. U slučaju 16QAM modulacije i $BER=10^{-4}$, SNR razlika je 1.3 dB. Zahtijevana vrijednost SNR-a predložene šeme za 64QAM modulaciju i $BER=10^{-3}$, je manja za 0.9 dB u od distribuiranog QOSTBC.

Na kraju su data i analizirana dva nova metoda kojima se ostvaruje virtuelni MIMO kanal dva puta većeg reda u odnosu na prethodno predložena rješenja. Što se tiče kompleksnosti predloženih rješenja, prvi model je zahtjevniji u pogledu relejnih stanica, jer je potrebno više antena po relejnoj stanici. Kod drugog modela, kompleksnost se povećava, odnosno koncentriše na baznoj stanici, što ima prednost u pogledu jednostavnijih relejnih stanica. U zavisnosti od potrebnih BER karakteristika i mogućeg povećanja kompleksnosti sistema daje se prednost jednom od rješenja.

Osim pretpostavke idealne estimacije koeficijenata mobilnog radio kanala, simulacije su sprovedene i pod pretpostavkom realnih uslova odnosno neidealne estimacije, za različite

nivoa greške estimacije.

Postavljeni cilj ove doktorske teze, da kroz originalno predložena rješenja dokaže mogućnost adekvatnog poboljšanja performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC tehnikama je u potpunosti ostvaren. Simulacioni rezultati za vjerovatnoću greške po bitu na mjestu prijema, koji su dati nakon svakog predloženog rješenja u potpunosti potvrđuju prethodnu konstataciju.

3. Konačna ocjena disertacije

Doktorska disertacija kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži niz originalnih i značajnih rezultata, a ujedno predstavlja skladnu cjelinu, korektno jezički i stilski oblikovanu i tehnički obrađenu u skladu sa savremenim zahtjevima izrade publikacije u oblasti naučno-istraživačkog rada.

U izradi doktorske disertacije kandidat je pokazao izuzetan stepen poznavanja naučne osnove problematike. Takođe, kandidat je jasno i precizno postavio ciljeve i primijenio adekvatne metode istraživanja polazeći od postojećih rješenja i referentne literature. Sve dobijene rezultate je veoma detaljno i kritički analizirao.

Sagledavanjem mnogobrojnih i veoma vrijednih rezultata datih u disertaciji jasno je da su očekivanja i postavljeni, veoma zahtjevni, ciljevi iz *Prijave doktorske teze* u potpunosti ispunjeni. Imajući u vidu broj predloženih metoda i rješenja, te sveobuhvatnost izvršenih analiza, postavljeni ciljevi su u mnogome i premašeni.

Predložena rješenja sa distribuiranim STBC tehnikama u kooperativnim relejnim sistemima imaju značajne prednosti u odnosu na do sada poznate pristupe, a svako od njih posjeduje pogodnosti koje ga preporučuju za praktičnu primjenu. Prezentovani rezultati i sprovedena sveobuhvatna analiza idu u prilog toj konstataciji. Time se otvara prostor za dalja istraživanja u pravcu:

- razmatranja distribuiranih STBC tehnika koje su namijenjene za masivne MIMO sisteme, odnosno sisteme sa velikim brojem implementiranih antena, imajući u vidu da se prenos u budućim generacijama bežičnih komunikacionih sistema planira obavljati signalima u mikrotalasnim frekvencijskim opsezima;

- prilagođavanja novih predloženih rješenja P2P (*Peer to Peer*) komunikacijama, kao što su D2D (*Device to Device*), V2V (*Vehicle to vehicle*) i td.;
- poboljšavanja distribuiranih MIMO tehnika koje su namijenjene za prostorno multipleksiranje, kao i kombinovanje sa predloženim rješenjima za ostvarivanje prostornog diversity-ja;
- razmatranja prostorno-frekvencijsko-vremenskih tehnika uz primjenu kognitivnog radija.

Originalni naučni doprinos

U disertaciji su detaljno analizirani kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim STBC tehnikama. Izuzetan, i svakako originalan naučni doprinos, ostvaren je predstavljanjem novih metoda za poboljšanje performansi već postojećih sistema. Značaj tih metoda i rješenja ogleda se i u jednostavnosti njihove primjene. U pogledu ostvarenog originalnog naučnog doprinosa disertacije, Komisija izdvaja sljedeće:

- Četiri nove, originalne transmisione šeme, za povećanje brzine prenosa kod potpuno ortogonalnih STBC namijenjenih klasičnim MIMO sistemima za predajnike sa četiri antene, bez degradacije performansi u pogledu vjerovatnoće greške na mjestu prijema, uz mogućnost generalizacije na veći broj predajnih antena. Predloženim šemama se, u zavisnosti od stanja u mobilnom radio kanalu, adaptivnim pristupom može pronaći kompromis između potrebnog protoka i nivoa vjerovatnoće greške na mjestu prijema;
- Dvije originalne transmisione šeme, kojima se uz zadržavanje BER performansi povećava informacioni kapacitet ortogonalnih STBC, i koje od postojećih tehnika namijenjenih isključivo za četiri predajne antene u klasičnim MIMO sistemima imaju najveći protok. Uz ova dva nova transmisiona postupka je moguće naći kompromis između želje za što većim kodnim odnosom i što manjom vjerovatnoćom greške;
- Novi pristup za poboljšanje BER performansi kvazi ortogonalnih STBC namijenjenih za klasične MIMO sisteme sa četiri predajne antene, uz mogućnost povećavanja broja predajnih antena. Prezentovanim metodom se zadržava prednost kvazi OSTBC, odnosno protok, ali se smanjuje vjerovatnoća greške na mjestu prijema;
- Kreiranje virtuelnog MIMO kanala između bazne stanice i mobilne jedinice primjenom dvije originalno razvijene transmisione šeme, koji je duplo većeg reda u poređenju sa prethodno predloženim šemama u disertaciji;

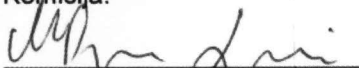
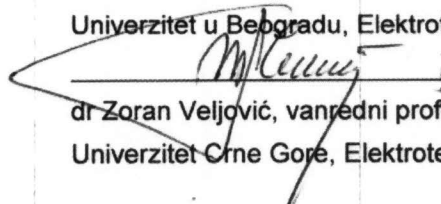
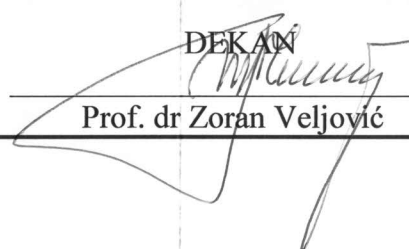
- Poređenje novih originalnih i postojećih sistema je, kako u idealnim uslovima, tako i u realnim uslovima sa neidealnom estimacijom mobilnog radio kanala;
- Definisani su pravci budućih istraživanja na osnovu analize svih predloženih transmisionih tehnika u disertaciji,

Dio ostvarenih rezultata, koji predstavljaju originalni naučni doprinos disertacije, publikovan je u časopisima sa SCI liste (šest radova, sa ukupnim impact faktorom 5.9). Pored toga, kandidat je objavio veliki broj radova sa rezultatima iz teze u drugim relevantnim časopisima i na međunarodnim konferencijama.

Mišljenje i prijedlog komisije

Na osnovu svega izloženog, Komisija konstatuje da disertacija ispunjava sve zakonske, formalne i suštinske uslove, kao i sve kriterijume koji se primjenjuju prilikom vrednovanja doktorske disertacije. Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži originalni naučni doprinos koji se prije svega ogleda u razvoju novih rješenja za unapređenje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama.

Imajući u vidu kvalitet i obim ostvarenih rezultata, Komisija sa zadovoljstvom predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da doktorsku disertaciju pod nazivom: „*Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama*“, kandidata mr Uglješe Uroševića, prihvate i odobre njenu javnu usmenu odbranu.

KOMISIJA ZA OCJENU DOKTORSKE DISERTACIJE	
Prof. dr Milica Pejanović-Đurišić Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Crna Gora	Komisija:  dr Milica Pejanović-Đurišić, redovni profesor Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet
Prof. dr Aleksandar Nešković Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Srbija	 dr Aleksandar Nešković, redovni profesor Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Prof. dr Zoran Veljović Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Crna Gora	 dr Zoran Veljović, vanredni profesor Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet
Datum i ovjera (pečat i potpis odgovorne osobe)	
U Podgorici, 23.01.2018. godine	
	 DEKAN Prof. dr Zoran Veljović

Crna Gora
UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Datum: 24. 11. 2017			
Broj:	2331		

VIJEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

I

SENATU UNIVERZITETA CRNE GORE

Predmet: Ocjena doktorske disertacije kandidata mr Uglješe Uroševića

Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 16.10.2017. godine, prihvatio je predlog Vijeća Elektrotehničkog fakulteta br. 02/1-1512 od 12.07.2017. godine i Odlukom broj 03-2229/2 od 16.10.2017. god. imenovao nas je za članove Komisije za ocjenu doktorske disertacije pod nazivom: „*Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama*“, kandidata Uglješe Uroševića, magistra tehničkih nauka. Nakon detaljnog proučavanja priložene doktorske disertacije, podnosimo sljedeći:

IZVJEŠTAJ

1. PREGLED DISERTACIJE

Doktorska disertacija pod nazivom: „*Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama*“, kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži 176 stranica A4 formata. Sastoji se od rezimea, predgovora, izvoda iz teze, uvoda, 5 poglavlja, zaključka, spiska literature sa 79 citiranih bibliografskih jedinica, biografije autora i izjave o autorstvu. U poglavljima postoje ukupno 63 slike i 3 tabele.

U disertaciji su analizirani kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) tehnikama. MIMO tehnike, relejni sistemi i kooperativni prenos, kao bazične tehnike na kojima se zasnivaju savremeni bežični komunikacioni sistemi, su detaljno razmotrene u prvom dijelu disertacije. Prostorno-vremenske blok tehnike (STBC - *Space-Time Block Code*) su posebno detaljno analizirane kao

najpogodnije za praktičnu realizaciju među tehnikama sa višestrukim antenama na predaji i prijemu. Analizirane su prednosti i nedostaci svake razmotrene tehnike pojedinačno i opisane su metode njihovog kombinovanja kojima se mogu umanjiti nedostaci svake od njih. Precizno je uočeno i analizirano šta se može dodatno unaprijediti u ovakvim sistemima, gdje više mrežnih čvorišta (relejnih stanica) učestvuje u kooperaciji, odnosno distribuiranoj realizaciji MIMO kanala. U drugom dijelu disertacije su predložena nova, originalna rješenja, kojima se poboljšavaju performanse već postojećih distribuiranih MIMO sistema u pogledu ostvarene vjerovatnoće greške prenosa na mjestu prijema, odnosno informacionog kapaciteta. Na osnovu rezultata originalno razvijenih simulacionih modela izvršeno je poređenje postojećih i predloženih rješenja.

U **Uvodu** disertacije su dati trendovi i pravci razvoja savremenih bežičnih komunikacionih sistema, kao i ograničenja koja predstavljaju značajan izazov prilikom njihovog dizajniranja i implementacije. Navedene su neke od osnovnih tehnika, kao što su sistemi sa višestrukim antenama na predaji i prijemu (MIMO), relejni i kooperativni sistemi, kojima se poboljšavaju performanse bežičnih sistema u cilju dostizanja odgovarajućeg nivoa kvaliteta servisa definisanog za bežične mreže naredne generacije. Istaknute su prednosti i nedostaci istovremene primjene postojećih tehnika, odnosno kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim prostorno-vremenskim blok kodovima (OSTBC - *Orthogonal Space-Time Block Code*). Pored toga, jasno su definisani ciljevi disertacije.

U **prvom poglavlju** („MIMO tehnike“) opisane su MIMO tehnike, sa naglaskom na prostornom diversity-ju, odnosno STBC tehnikama, jer su od posebnog interesa u pogledu praktične primjene. Date su relacije kojima se definiše transmisioni postupak, odnosno uticaj STBC metoda na primljeni i dekodirani signal. Pokazano je kako pojedine STBC varijante za prioritet imaju što manju vjerovatnoću greške na mjestu prijema, slučaj potpuno ortogonalnih OSTBC, ili što veći informacioni kapacitet, slučaj kvazi ortogonalnih QOSTBC (*Quasi OSTBC*). Analizirane su prednosti i nedostaci potpuno ortogonalnih i kvazi ortogonalnih prostorno-vremenskih blok tehnika.

U **drugom poglavlju („Relejni sistemi“)** je dat osnovni koncept funkcionisanja relejnih sistema. Razmotrene su ključne topologije bežičnih komunikacionih sistema sa relejnim stanicama, kao i načini obrade signala na njima. Utvrđeni su nedostaci relejnih sistema, ali i mogućnosti za poboljšanje performansi primjenom MIMO tehnika ili nekog vida kooperativnog prenosa.

Svrha kooperativne transmisije, odnosno unapređenje performansi i prevazilaženje određenih identifikovanih problema kod sistema bez kooperacije, analizirana je u **trećem poglavlju („Kooperativni sistemi“)**. Razmotreni su slučajevi od najjednostavnije kooperacije jedne bazne i jedne relejne stanice, pa do najkompleksnijih situacija kod kojih u kooperaciji učestvuje više baznih stanica.

U **četvrtom poglavlju („Kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim STBC tehnikama“)** se od opisanih varijanti kooperativnog prenosa analiziraju kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO tehnikama, jer unose najmanje kompleksnosti u sistem u poređenju sa ostalim načinima kooperacije. U ovom poglavlju se razmatra distribuirana realizacija STBC tehnika u kooperativnim relejnim sistemima, koje su za razliku od ostalih MIMO tehnika kojima se realizuje prostorni diversity, pogodne za praktičnu implementaciju jer zahtijevaju poznavanje koeficijenata mobilnog radio kanala samo na prijemnoj strani. Pokazano je kako se uz manji broj antena po mrežnom čvorištu, u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, postiže isti red prostornog diversity-ja. Distribuiranom realizacijom kreira se virtuelni MIMO kanal, koji oponaša klasični MIMO kanal, uz redukciju broja antena po svakom čvorištu. Iz sprovedene matematičke analize jasno se identifikuje koji segment treba unaprijediti, odnosno korigovati kod distribuiranih potpuno ortogonalnih, a koji kod kvazi ortogonalnih STBC.

U **petom poglavlju („Nova rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC“)** su predložena nova rješenja za poboljšanje performansi postojećih kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC. Prvo su predložene četiri nove transmisione šeme za povećanje brzine prenosa kod potpuno ortogonalnih STBC, namijenjenih klasičnim MIMO sistemima za predajnike sa četiri antene, uz mogućnost generalizacije na veći broj predajnih antena. Pri tome se zadržava isti nivo vjerovatnoće greške na mjestu prijema.

Zatim, predložena su dva nova rješenja kojima se uz zadržavanje BER (*Bit Error Rate*) performansi povećava informacijski kapacitet ortogonalnih STBC kodova, namijenjenih klasičnim MIMO sistemima sa isključivo četiri predajne antene. Pored toga, predloženo je novo rješenje za poboljšanje BER performansi kvazi ortogonalnih STBC namijenjenih klasičnim MIMO sistemima sa četiri predajne antene, uz mogućnost primjene na sisteme sa većim brojem predajnih antena. Na kraju su predložena dva nova rješenja kojima se kreira virtuelni MIMO kanal između bazne stanice i mobilne jedinice, duplo većeg reda nego kod prethodno predloženih šema. Za svako predloženo rješenje su detaljno diskutovani simulacioni rezultati, uz poređenje performansi sa postojećim sistemima.

U **Zaključku** je naglašen doprinos disertacije i date su smjernice za moguća dalja istraživanja.

2. VREDNOVANJE DISERTACIJE

2.1. Problem

Sistemi prve i druge generacije celularnih mobilnih radio-komunikacionih sistema su prvenstveno bili namijenjeni prenosu signala govora. Mobilni radio-komunikacioni sistemi treće generacije su omogućili integraciju prenosa govornog signala i signala podataka, dok su sistemi četvrte generacije bazirani na *all IP (Internet Protocol)* mrežama. Ovaj koncept doprinosi značajno većoj spektralnoj efikasnosti, pružanju širokopojsnih multimedijalnih servisa, tj. prenosu signala veoma velikim brzinama, bez obzira na nivo mobilnosti korisnika. Sistemi pete generacije treba da omoguće 1000 puta veći kapacitet, 10 puta veću spektralnu i energetska efikasnost, 25 puta veću propusnost ćelije, gušću heterogenu mrežu, u poređenju sa mrežama četvrte generacije, zatim brzinu prenosa podataka od 10 Gb/s za malu i 1 Gb/s za veliku mobilnost korisnika. Ovako postavljene zahtjeve za kvalitet ostvarene veze nije lako postići, pošto se prenos signala mobilnim radio kanalom odvija u specifičnom okruženju, koje podrazumijeva prisustvo velikog broja različitih prepreka, dok mehanizam

prostiranja zavisi od talasne dužine prostirućeg signala i okruženja u kome se komunikacija odvija, što predstavlja poseban izazov za istraživače u ovoj oblasti.

Imajući u vidu stalnu potrebu za sve većim brzinama prenosa podataka, za manjim kašnjenjima prilikom prenosa, za energetske i spektralno efikasnijim mrežama, razvijaju se razni načini za poboljšanje ovako degradiranih performansi. Rješenja se zasnivaju na korišćenju dodatnih frekvencijskih, vremenskih ili energetskih resursa, zatim na algoritmima ekvilizacije mobilnog radio kanala, kodovima za detekciju i korekciju greške i sl. Ipak, zbog limitiranosti u pogledu raspoloživog frekvencijskog spektra, dostupnih vremenskih slotova i energetskih resursa, zatim uslijed regulatornih ograničenja vezanih za dozvoljene vrijednosti nivoa električnog polja, performanse se mogu samo do određene mjere poboljšati. U poslednjih desetak godina do izražaja dolaze tehnike koje podrazumijevaju korišćenje prostornih resursa. Novi resursi u prostornom domenu, tj. upotreba više antena na predajnoj i prijemnoj strani, odnosno upotreba MIMO tehnika, omogućavaju uz iste vremensko-frekvencijske resurse značajno unapređenje kvaliteta ostvarene veze. MIMO tehnike se generalno mogu klasifikovati u dvije kategorije: na one koje su dizajnirane u svrhu smanjivanja greške prilikom prenosa podataka i na one koje su namijenjene za povećanje brzine prenosa podataka. Prvima se ostvaruje prostorni diversity, dok se drugima realizuje prostorno multipleksiranje. Sa stanovišta praktične primjene, zbog manje kompleksnosti od posebnog su značaja prostorno-vremenske blok tehnike (STBC), kod kojih nije potrebno poznavanje kanala na predajnoj strani. Za ostvarivanje većeg dometa i pružanja odgovarajućeg kvaliteta servisa korisnicima na ivicama ćelija ove tehnike se mogu implementirati kako na baznim, tako i na relejnim stanicama. Osim poboljšanja pokrivanja, relejne stanice mogu uticati i na povećanje informacionog kapaciteta, energetske i spektralne efikasnosti, kao i na smanjivanje vjerovatnoće greške na mjestu prijema. Relejne stanice, pored toga što mogu da posreduju u razmjeni podataka između baznih i mobilnih stanica, mogu i da učestvuju u kooperativnom vidu prenosa, pri čemu se na mjestu prijema kombinuju signali od više mrežnih čvorišta.

Svrha kooperativne transmisije je unapređenje i prevazilaženje određenih problema u komunikacionim sistemima, što je s druge strane praćeno uvođenjem

dodatne kompleksnosti. Pri tome, moguće su realizacije virtuelnog ili distribuiranog MIMO sistema, koji se ponaša kao klasični MIMO, preko više mrežnih čvorišta. Osim dodavanja novih mrežnih čvorišta, kooperativna transmisija se može realizovati i između već postojećih čvorišta. Sa stanovišta praktične realizacije posebno su od interesa kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim MIMO tehnikama, jer unose najmanje kompleksnosti u sistem u poređenju sa ostalim načinima kooperacije. U kooperativnim relejnim sistemima sa distribuiranim MIMO tehnikama pojedinačne prednosti MIMO tehnika, relejnih sistema i kooperativnih sistema se integrišu i dodatno se poboljšavaju performanse. Kao što je već rečeno, od MIMO tehnika od posebnog značaja je distribuirana realizacija STBC tehnika, zbog najmanje kompleksnosti. Uz manji broj antena po mrežnom čvorištu, u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, postiže se isti red prostornog diversity-ja. Broj prijemnih antena može biti proizvoljan i ne utiče na algoritam prenosa.

STBC tehnike se mogu podijeliti na potpuno ortogonalne (OSTBC) i kvazi ortogonalne (QOSTBC). Kod potpuno ortogonalnih STBC namijenjenih za MIMO sisteme sa više od dvije antene postoji potpuna ortogonalnost između informacionih simbola ali uz cijenu manjeg informacionog kapaciteta u poređenju sa kvazi ortogonalnim STBC namijenjenih za MIMO sisteme sa istim brojem predajnih antena. Ipak, zbog potpune ortogonalnosti između informacionih simbola, OSTBC nude bolje BER karakteristike u poređenju sa QOSTBC, kod kojih se zbog većeg protoka narušava ortogonalnost, a samim tim su lošije BER performanse. Očigledno je da kod potpuno ortogonalnih STBC tehnika postoji potreba za novim načinima za povećanje protoka simbola, uz zadržavanje BER performansi. Kad su u pitanju kvazi ortogonalne STBC tehnike, unapredjenje se odnosi na potrebu ostvarivanja što manje intersimbolske interferencije, odnosno manje vjerovatnoće greške, uz zadržavanje njihove glavne prednosti u pogledu protoka.

Za razliku od klasičnih MIMO sistema, u razmatranim kooperativnim relejnim sistemima postoje dodatna mrežna čvorišta koja učestvuju u kooperaciji, pa je moguće unaprijediti trasnmisione šeme u cilju poboljšanja performansi. Dakle, osim mogućnosti za implementaciju većeg broja antena, odnosno kreiranja virtuelnog MIMO kanala

većeg reda u poređenju sa klasičnim MIMO sistemima, distribuirana realizacija pruža dodatne opcije. Virtuelni MIMO kanal većeg reda svakako pruža bolje performanse u odnosu na MIMO kanal manjeg reda između jednog predajnika i prijemnika, dok kooperativni prenos uz određene modifikacije transmisionih šema omogućava poboljšanje performansi čak i za isti red virtuelnog i klasičnog MIMO kanala.

2.2. Ciljevi i hipoteze disertacije

Osnovni cilj disertacije je bio da se izvrši sveobuhvatna analiza kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC tehnikama, da se na osnovu analize utvrdi šta je moguće od performansi popraviti, da se predlože nove originalne metode kojima je to moguće uraditi, a zatim, na kraju, da se izvrši poređenje performansi postojećih i predloženih rješenja.

Postavljeni ciljevi, definisani još u fazi prijave doktorske disertacije, bili su:

- Analiza novih rješenja za poboljšanje performansi i efikasniju alokaciju resursa kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama;
- Omogućavanje implementacije OSTBC kodova koji imaju veći kodni odnos u poređenju sa tehnikama analiziranim do odbrane polaznih istraživanja. Pošto se na relejnim stanicama ne obavlja STBC dekodiranje radi što manje kompleksnosti, OSTBC sa $3/4$ kodnim odnosom, zbog svoje specifične strukture se ne mogu primijeniti u virtuelnim MIMO sistemima na isti način kao i OSTBC kodovi sa $1/2$ kodnim odnosom. Zbog toga je potrebno definisanje nove transmisione strategije u cilju ostvarivanja istih BER performansi kao u slučaju OSTBC sa $1/2$ kodnim odnosom, uz povećanje kodnog odnosa za 50%;
- Razmatranje nove tehnike obrade signala na relejnim stanicama koje bi omogućile da se virtuelnim QOSTBC kodovima postigne zadovoljavajući BER. Imajući u vidu da se na izlazu iz QOSTBC dekodera javlja intersimbolska interferencija kao posljedica neortogonalnosti ovih kodova, trebalo je razmatriti nova rješenja u cilju smanjivanja intersimbolske interferencije uz zadržavanje istog protoka.

- Predlaganje novih kooperativnih rješenja koja podrazumjevaju korišćenje većeg broja antena na baznoj stanici i relejnim stanicama, ali i veći broj relejnih stanica, tj. implementacija OSTBC i QOSTBC sa većim redom diversity-ja.
- Analiza uticaja neidealne estimacije kanala na performanse razmatranih kooperativnih sistema.
- Razvijanje novih originalnih simulacionih modela i/ili nadogradnja već postojećih simulacionih modela.

2.3. Rezultati disertacije i njihovo tumačenje sa zaključcima

Uz sistematičan pristup i uz upotrebu adekvatnog matematičkog modela transmisionog postupka, izvršene su brojne simulacije u Matlab okruženju kako bi se utvrdile BER performanse za svaku novu predloženu šemu.

Prvo su analizirana četiri predložena originalna rješenja kojima se povećava informacioni kapacitet sistema sa distribuiranim potpuno ortogonalnim STBC tehnikama, uz zadržavanje približno istog nivoa vjerovatnoće greške. Rješenja se baziraju na pretpostavci da je moguće povećati informacioni kapacitet, ukoliko su na linkovima između bazne i relejnih stanica bolji uslovi na mobilnom radio kanalu, nego na linkovima između relejnih stanica i mobilne jedinice, ne degradirajući pri tome značajnije BER performanse. Prvom predloženom šemom je na prvom hopu omogućen dva puta veći informacioni kapacitet u poređenju sa distribuiranim OSTBC, drugom šemom 8/5 puta veći informacioni kapacitet, trećom 4/3 puta i četvrtom 8/7 puta veći informacioni kapacitet. Za određene uslove na mobilnom radio kanalu na prvom hopu, veća redundantnost ne dovodi do adekvatnog poboljšanja BER performansi. U tom slučaju očigledno je da vremenski resursi nisu iskorišćeni optimalno, i da se šema u pogledu neophodnih vremenskih slotova može relaksirati, ne povećavajući značajnije vjerovatnoću greške. U zavisnosti od stanja na mobilnom radio kanalu, jedno od predloženih rješenja može omogućiti kompromis u pogledu zahtjeva za većom brzinom prenosa i manjom vjerovatnoćom greške. Osim toga, četiri predložene šeme pružaju četiri nivoa redundantosti, tako da se u odnosu na stanje mobilnog radio kanala može

odabrati jedna, koja ima zadovoljavajuću vjerovatnoću greške uz minimalan broj iskorišćenih vremenskih slotova. Simulacioni rezultati pokazuju da ukoliko je na prvom hopu između bazne i relejne stanice Rice-ov fading sa parametrom $K=6\text{dB}$, tada su za $\text{BER}=10^{-4}$ razlike u zahtijevanim SNR vrijednostima između postojećeg virtuelnog OSTBC i predloženih šema redom 2.8 dB, 2.1 dB, 1.3 dB i 0.8 dB. Ukoliko je $K=10\text{dB}$, tada su ove SNR razlike redom 0.25 dB, 0.15 dB, 0.12 dB i 0.05 dB. U odnosu na stanje u mobilnom radio kanalu se traži kompromis tako da se ostvari što veći informacioni kapacitet, a da se minimalno naruše BER performanse. U odnosu na stanje mobilnog radio kanala moguće je primjenjivati adaptivne šeme, odnosno birati jednu od predloženih tehnika obrade, koja u datom trenutku predstavlja najbolji izbor.

Nakon analize četiri predložene šeme, izvršena je analiza još dva originalna rješenja kojima je moguće distribuirano realizovati potpuno ortogonalni STBC koji je namijenjen za MIMO sisteme sa isključivo četiri predajne antene, a koji ima 3/4 kodni odnos. Drugo predloženo rješenje se opet bazira na pretpostavci da je moguće povećati informacioni kapacitet ukoliko su na linkovima između bazne i relejnih stanica bolji uslovi na mobilnom radio kanalu nego na linkovima između relejnih stanica i mobilne jedinice. Slobodni vremenski slotovi, dobijeni na prvom hopu kod druge predložene šeme, se mogu upotrijebiti za komunikaciju između bazne stanice i drugih mobilnih jedinica, za unapređenje kvaliteta estimacije kanala i sl. Rezultati simulacija pokazuju da prvo predloženo rješenje u svim uslovima na mobilnom radio kanalu ima identične performanse kao virtuelni OSTBC sa 1/2 kodnim odnosom, dok drugo predloženo rješenje već za slučaj kad je između bazne i relejne stanice Rice-ov fading sa $K \geq 5\text{dB}$ pokazuje zanemarljivo odstupanje BER vrijednosti.

Nadalje, predložena je originalna transmisiona šema, kojom se smanjuje intersimbolska interferencija virtuelnog kvazi ortogonalnog STBC, uz istovremeno zadržavanje informacionog kapaciteta. Kako predloženo smanjivanje intersimbolske interferencije, odnosno smanjivanje neortogonalnosti informacionih simbola, primjenom predložene šeme utiče na vjerovatnoću greške ustanovljeno je simulacijom. Npr. zahtijevana vrijednost SNR-a za predloženu šemu za QPSK modulaciju i $\text{BER}=10^{-5}$ u poređenju sa distribuiranim QOSTBC je manja za 1.8dB. U slučaju 16QAM modulacije i

$BER=10^{-4}$, SNR razlika je 1.3dB. Zahtijevana vrijednost SNR-a predložene šeme za 64QAM modulaciju i $BER=10^{-3}$, je manja za 0.9dB u od distribuiranog QOSTBC.

Na kraju su data i analizirana dva nova metoda kojima se ostvaruje virtuelni MIMO kanal dva puta većeg reda u odnosu na prethodno predložena rješenja. Što se tiče kompleksnosti predloženih rješenja, prvi model je zahtjevniji u pogledu relejnih stanica, jer je potrebno više antena po relejnoj stanici. Kod drugog modela, kompleksnost se povećava, odnosno koncentriše na baznoj stanici, što ima prednost u pogledu jednostavnijih relejnih stanica. U zavisnosti od potrebnih BER karakteristika i mogućeg povećanja kompleksnosti sistema daje se prednost jednom od rješenja.

Osim pretpostavke idealne estimacije koeficijenata mobilnog radio kanala, simulacije su sprovedene i pod pretpostavkom realnih uslova odnosno neidealne estimacije, za različite nivoe greške estimacije.

Postavljeni cilj ove doktorske teze, da kroz originalno predložena rješenja dokaže mogućnost adekvatnog poboljšanja performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim STBC tehnikama je u potpunosti ostvaren. Simulacioni rezultati za vjerovatnoću greške po bitu na mjestu prijema, koji su dati nakon svakog predloženog rješenja u potpunosti potvrđuju prethodnu konstataciju.

3. KONAČNA OCJENA DISERTACIJE

Doktorska disertacija kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži niz originalnih i značajnih rezultata, a ujedno predstavlja skladnu cjelinu, korektno jezički i stilski oblikovanu i tehnički obrađenu u skladu sa savremenim zahtjevima izrade publikacije u oblasti naučno-istraživačkog rada.

U izradi doktorske disertacije kandidat je pokazao izuzetan stepen poznavanja naučne osnove problematike. Takođe, kandidat je jasno i precizno postavio ciljeve i primijenio adekvatne metode istraživanja polazeći od postojećih rješenja i referentne literature. Sve dobijene rezultate je veoma detaljno i kritički analizirao.

Sagledavanjem mnogobrojnih i veoma vrijednih rezultata datih u disertaciji jasno je da su očekivanja i postavljeni, veoma zahtjevni, ciljevi iz *Prijave doktorske teze* u potpunosti ispunjeni. Imajući u vidu broj predloženih metoda i rješenja, te sveobuhvatnost izvršenih analiza, postavljeni ciljevi su u mnogome i premašeni.

Predložena rješenja sa distribuiranim STBC tehnikama u kooperativnim relejnim sistemima imaju značajne prednosti u odnosu na do sada poznate pristupe, a svako od njih posjeduje pogodnosti koje ga preporučuju za praktičnu primjenu. Prezentovani rezultati i sprovedena sveobuhvatna analiza idu u prilog toj konstataciji. Time se otvara prostor za dalja istraživanja u pravcu:

- razmatranja distribuiranih STBC tehnika koje su namijenjene za masivne MIMO sisteme, odnosno sisteme sa velikim brojem implementiranih antena, imajući u vidu da se prenos u budućim generacijama bežičnih komunikacionih sistema planira obavljati signalima u mikrotalasnim frekvencijskim opsezima;
- prilagođavanja novih predloženih rješenja P2P (*Peer to Peer*) komunikacijama, kao što su D2D (*Device to Device*), V2V (*Vehicle to vehicle*) i td.;
- poboljšavanja distribuiranih MIMO tehnika koje su namijenjene za prostorno multipleksiranje, kao i kombinovanje sa predloženim rješenjima za ostvarivanje prostornog diversity-ja;
- razmatranja prostorno-frekvencijsko-vremenskih tehnika uz primjenu kognitivnog radija.

4. ORIGINALNI NAUČNI DOPRINOS

U disertaciji su detaljno analizirani kooperativni relejni sistemi sa distribuiranim STBC tehnikama. Izuzetan, i svakako originalan naučni doprinos, ostvaren je predstavljanjem novih metoda za poboljšanje performansi već postojećih sistema. Značaj tih metoda i rješenja ogleda se i u jednostavnosti njihove primjene. U pogledu ostvarenog originalnog naučnog doprinosa disertacije, Komisija izdvaja sljedeće:

- Četiri nove, originalne transmisione šeme, za povećanje brzine prenosa kod potpuno ortogonalnih STBC namijenjenih klasičnim MIMO sistemima za predajnike sa četiri antene, bez degradacije performansi u pogledu vjerovatnoće greške na mjestu prijema, uz mogućnost generalizacije na veći broj predajnih antena. Predloženim šemama se, u zavisnosti od stanja u mobilnom radio kanalu, adaptivnim pristupom može pronaći kompromis između potrebnog protoka i nivoa vjerovatnoće greške na mjestu prijema;
- Dvije originalne transmisione šeme, kojima se uz zadržavanje BER performansi povećava informacijski kapacitet ortogonalnih STBC, i koje od postojećih tehnika namijenjenih isključivo za četiri predajne antene u klasičnim MIMO sistemima imaju najveći protok. Uz ova dva nova transmisiona postupka je moguće naći kompromis između želje za što većim kodnim odnosom i što manjom vjerovatnoćom greške;
- Novi pristup za poboljšanje BER performansi kvazi ortogonalnih STBC namijenjenih za klasične MIMO sisteme sa četiri predajne antene, uz mogućnost povećavanja broja predajnih antena. Prezentovanim metodom se zadržava prednost kvazi OSTBC, odnosno protok, ali se smanjuje vjerovatnoća greške na mjestu prijema;
- Kreiranje virtuelnog MIMO kanala između bazne stanice i mobilne jedinice primjenom dvije originalno razvijene transmisione šeme, koji je duplo većeg reda u poređenju sa prethodno predloženim šemama u disertaciji;
- Poređenje novih originalnih i postojećih sistema je, kako u idealnim uslovima, tako i u realnim uslovima sa neidealnom estimacijom mobilnog radio kanala;
- Definisani su pravci budućih istraživanja na osnovu analize svih predloženih transmisionih tehnika u disertaciji,

Dio ostvarenih rezultata, koji predstavljaju originalni naučni doprinos disertacije, publikovan je u časopisima sa SCI liste (šest radova, sa ukupnim impact faktorom 5.9). Pored toga, kandidat je objavio veliki broj radova sa rezultatima iz teze u drugim relevantnim časopisima i na međunarodnim konferencijama.

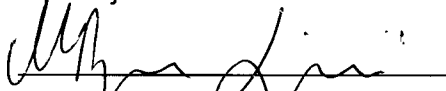
5. MIŠLJENJE I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu svega izloženog, Komisija konstatuje da disertacija ispunjava sve zakonske, formalne i suštinske uslove, kao i sve kriterijume koji se primjenjuju prilikom vrednovanja doktorske disertacije. Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata mr Uglješe Uroševića sadrži originalni naučni doprinos koji se prije svega ogleda u razvoju novih rješenja za unapređenje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama.

Imajući u vidu kvalitet i obim ostvarenih rezultata, Komisija sa zadovoljstvom predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da doktorsku disertaciju pod nazivom: „Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama“, kandidata mr Uglješe Uroševića, prihvate i odobre njenu javnu usmenu odbranu.

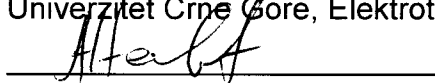
Podgorica, 24.11.2017. god.

Komisija:



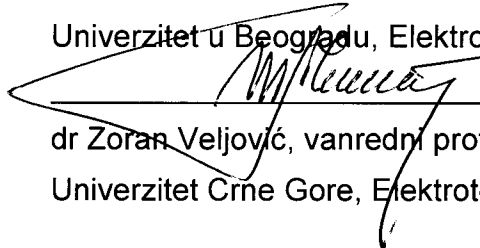
dr Milica Pejanović-Đurišić, redovni profesor

Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet



dr Aleksandar Nešković, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet



dr Zoran Veljović, vanredni profesor

Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet

Prof.dr Milica Pejanović: BIOGRAFIJA

Milica Pejanović-Djurišić je redovni profesor na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore u Podgorici. Nakon diplomiranja na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, magistrirala je i 1987. god doktorirala na smjeru Telekomunikacije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Za rezultate postignute tokom studija nagrađivana je od strane Univerziteta Crne Gore, a dobitnik je i nagrade „19.decembar“, kao i nagrade CANU iz Fonda „Petar Vukčević“. Govori engleski, francuski i italijanski jezik.

Od oktobra 1982. godine je angažovana na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore, najprije u zvanju asistenta na predmetima iz grupe telekomunikacija i elektronike. Potom je u junu 1988. godine izabrana u akademsko zvanje docenta, a aprila 1994. godine u zvanje vanrednog profesora. Redovni profesor na disciplinama iz oblasti Telekomunikacija je postala u decembru 1998. godine. Usavršavala se i boravila kao gostujući profesor na univerzitetima u UK, Danskoj, SAD, Italiji, Švajcarskoj... Prof. dr Pejanović-Djurišić je u svom naučno-istraživačkom radu orijentisana na oblast mobilnih radio komunikacija, 5G sistema, kooperativnih relejnih sistema, rješenja za bežični IoT, kao i generalno tehnika i rješenja za unaprijedjivanje performansi bežičnih komunikacionih sistema gdje je postigla zapažene rezultate koji su publikovani u preko 200 naučnih radova u međunarodnim časopisima i na međunarodnim konferencijama, kao i u više od 90 naučnih i stručnih radova u domaćim časopisima i na konferencijama. Autor je tri knjige, više naučnih studija i stručnih projekata. Održala je i veliki broj predavanja i seminara po pozivu na inostranim univerzitetima i relevantnim međunarodnim konferencijama, a bila je i mentor u izradi značajnog broja magistarskih i doktorskih disertacija u oblasti telekomunikacija. Koordinirala je brojne naučne i stručne projekte kako na nacionalnom, tako i na međunarodnom nivou, uključujući i EU FP6 i FP7 programe.

Prof. Pejanović-Djurišić je je angažovana i na projektima ITU (International Telecommunication Union), organizacije UN u Ženevi, u oblasti mobilnih radio sistema novih generacija i implementacije Internet tehnologija. Značajno iskustvo je stekla radeći i kao konsultant industrijskih kompanija iz oblasti mobilnih komunikacija, kao evaluator međunarodnih projekata i kao član globalnih profesionalnih asocijacija (IEEE, IEICE, Društva za telekomunikacije Srbije i Crne Gore) i inicijativa u oblasti info-komunikacionih tehnologija. Član je i Programskog komiteta TELFOR-a, TELSISa, brojnih međunarodnih konferencija iz oblasti telekomunikacija (GWS, WPMC, EUROCON, WTS...) i predsjednik Stručnog Odbora INFOFESTa. Obavljala je i dužnost predsjednika Upravnog odbora Telekomu Crne Gore (1999.- 2002.), kao i predsjednika Odbora direktora prvog crnogorskog Internet provajdera.

Nastavne aktivnosti Prof.Pejanović-Djurišić na Elektrotehničkom fakultetu odvijaju se u okviru sledećih disciplina:

- Osnove telekomunikacija (osnovne akademske studije)
- Osnove digitalnih telekomunikacija (osnovne akademske studije)
- Mobilne radiokomunikacije (MSc studije, program Telekomunikacije)
- Principi modernih telekomunikacija (MSc studije, program Telekomunikacije)

- Personalni telekomunikacioni sistemi (doktorske studije)
- Protokoli i tehnologije za bežične komunikacione sisteme (doktorske studije).

Knjige:

1. M.Pejanovic-Djurisic, E.Kocan, R.Prasad: "OFDM based relay systems for future wireless networks", River Publishers, Denmark, 2012, (ISBN: 9788792329271), <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2408132>.

Časopisi sa SCI liste:

1. E. Kocan, M. Pejanovic-Djurisic, PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DUAL-HOP OFDM DECODE-AND-FORWARD RELAY SYSTEM, Wireless Personal Communications (ISSN: 0929-6212), Vol. 93, no. 3, pp 769–778, April 2017, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-014-2227-8>.

2. E. Kocan, M. Pejanovic-Djurisic, A NOVEL SOLUTION FOR OFDM BASED RELAY SYSTEMS, Wireless Personal Communications (ISSN: 0929-6212), vol 87, no. 3, pp. 679-691, April 2016, <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-015-2630-9>.

3. E. Kocan, M. Pejanovic-Djurisic, TOWARDS FUTURE LOW EXPOSURE MOBILE CELLULAR NETWORKS, Wireless Personal Communications, (ISSN: 0929-6212), October 2016, <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-016-3847-y>.

4. M. Pesko, M. Smolnikar, M. Vucnik, T. Javornik, M.Pejanovic-Djurisic, M. Mohorcic, SMARTPHONE WITH AUGMENTED GATEWAY FUNCTIONALITY AS OPPORTUNISTIC WSN GATEWAY DEVICE, Wireless Personal Communications, Vol. 78, no. 3, pp 1811–1826, October 2014, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-014-1908-7>.

5. U. Urosevic, Z. Veljovic, M. Pejanovic–Djurisic, "A NEW SOLUTION FOR SIMPLE COOPERATIVE RELAYING", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 75, Issue 2, pp. 1235-1250, Springer, March 2014, <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11277-013-1420-5>.

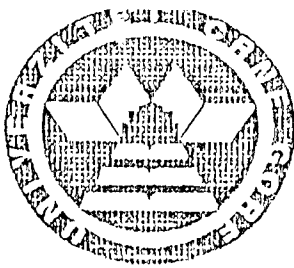
6. U. Urosevic, Z. Veljovic, M. Pejanovic–Djurisic, MIMO SOLUTION FOR PERFORMANCE IMPROVEMENTS OF OFDM-CDMA SYSTEM WITH PILOT TONE, Wireless Networks, Springer (ISSN: 1022-0038 Print Version, ISSN: 1572-8196 Electronic Version), Vol. 19, Issue 8, pp. 2021-2028, Springer, November 2013, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11276-013-0586-9>.

7. M. Ilic-Delibasic, M. Pejanovic-Djurisic, MRC DUAL-DIVERSITY SYSTEM OVER CORRELATED AND NON-IDENTICAL RICEAN FADING CHANNELS, IEEE

Communication Letters, Vol. 17, no. 12, pp. 2280 - 2283, December 2013,
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6656080/>

8. M. Ilic-Delibasic, M. Pejanovic – Djuricic, R. Prasad, A NOVEL METHOD FOR PERFORMANCE ANALYSIS OF OFDM POLARIZATION DIVERSITY SYSTEM IN RICEAN FADING ENVIRONMENT, Wireless Personal Communications, Vol. 63, no. 3, pp 751–764, April 2012, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-010-0168-4>.

9. E. Kocan, M. Pejanovic – Djuricic, D. S. Michalopoulos, G. K. Karagiannidis, PERFORMANCE EVALUATION OF OFDM AMPLIFY-AND-FORWARD RELAY SYSTEM WITH SUBCARRIER PERMUTATION, IEICE Trans. on Communications, Vol.E93-B, No.05, pp. 1216-1223, May. 2010, https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E93.B/5/E93.B_5_1216/_article.



UNIVERZITET CRNE GORE

81001 PODGORICA Cetinjski put bb, P. Fah 99, Jugoslavija
Tel: (38 81) 14-484 Fax: (38 81) 11-301

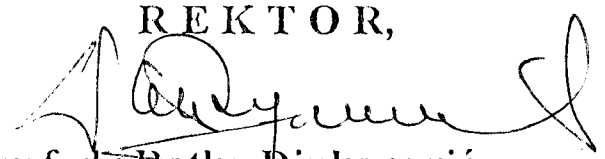
Broj: 01-13/2
Podgorica, 25.12.1998.

Na osnovu člana 97. Zakona o Univerzitetu ("Sl. list RCG" br. 37/92) i člana 94. Statuta Univerziteta Crne Gore, Naučno-nastavno vijeće Univerziteta Crne Gore na sjednici održanoj 24.12.1998. donijelo je

ODLUKU o izboru u zvanje

Dr MILICA PEJANOVIĆ-DJURIŠIĆ bira se u zvanje
redovnog profesora Univerziteta Crne
Gore za predmet e Telekomunikacije I, Telekomunikacije II i
Mobilne radiotelekomunikacije
za rad na neodredjeno vrijeme sa punim radnim vremenom na
Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici.

PRAVNA POUKA: *Protiv ove Odluke lica koja smatraju da su im povrijeđena prava imaju pravo žalbe Naučno-nastavnom vijeću Univerziteta Crne Gore u roku od 15. dana.*

REKTOR,

Prof. dr Ratko Djukanović

Zoran Veljović je rođen u Priboju 04.12.1968. godine, gdje je završio osnovnu i srednju školu sa odličnim uspjehom.

Nakon odsluženja vojnog roka, 1988. godine, upisao je Elektrotehnički fakultet u Podgorici, gdje je i diplomirao 26.09.1992. godine na temu "Složeni diversity sistemi za mobilni radio-kanal" sa ocjenom 10 (deset). Prosječna ocjena tokom studija bila je 9,58. Tokom studija više puta je nagrađivan, i to:

Nagradom "19 decembar" od strane Skupštine opštine Titograd, 19.12.1991. god., kao najbolji student Elektrotehničkog fakulteta u školskoj 1990/91. godini.

Nagradom od strane Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, 31.01.1992. god., povodom 30 godina studija elektrotehnike u Crnoj Gori.

Nagradom od strane Univerziteta Crne Gore, kao najbolji student završne godine Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici.

PLAKETOM UNIVERZITETA CRNE GORE, kao najbolji student Univerziteta Crne Gore u svojoj generaciji.

Poslijediplomske studije upisao je 04.11.1992. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, koje je završio 21.09.1995. godine odbranom magistarske teze pod naslovom "Trelis kodna modulacija u mobilnim radio-sistemima". Ispite na poslijediplomskim studijama je položio sa prosječnom ocjenom 10 (deset).

Doktorsku disertaciju "Nove tehnike višestrukog pristupa u mobilnim radio sistemima narednih generacija" odbranio je 29.09.2005. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici.

Od 01.10.1992. godine Zoran Veljović radi kao saradnik na Katedri za računare i telekomunikacije Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici., Odlukom Naučno-nastavnog vijeća Univerziteta Crne Gore od 11.04.1996. godine izabran je u zvanje asistenta na Katedri za telekomunikacije. U zvanje asistenta reizabran je odlukom Naučno-nastavnog vijeća Univerziteta Crne Gore 21.06.2001. godine.

Još tokom studija Zoran Veljović je angažovan kao demonstrator pri izvođenju laboratorijskih vježbi na predmetima: Teorija električnih kola, Teorijska elektromagnetika i Osnovi telekomunikacija.

Od 01.10.1992., kao saradnik na Katedri za računare i telekomunikacije, izvodi računske i laboratorijske vježbe iz predmeta Osnovi telekomunikacija. Pored toga izvodio je računske i laboratorijske vježbe iz Digitalne obrade signala, vježbe iz Osnova računarstva II, vježbe iz Brodske elektrotehnike na Fakultetu za pomorstvo u Kotoru.

Nakon izbora u zvanje asistenta izvodio je računske i laboratorijske vježbe iz Osnova telekomunikacija I, Osnova telekomunikacija II i Mobilnih radiokomunikacija.

U periodu od maja 1997. god. do jula 2000. godine izvodio je nastavu na kursu GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) za pomorce na Fakultetu za pomorstvo u Kotoru.

Zoran Veljović je izabran u zvanje docenta na Univerzitetu Crne Gore odlukom Senata 31.03.2006. godine. Odlukom Odlukom rektora Univerziteta Crne Gore, a na predlog dekana Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici izabran je za prodekana za

nastavu 20.08.2007. godine za mandatni period 2007-2010. god., a nakon toga i za mandatni period 2010-2013. god.

Odlukom Senata Univerziteta Crne Gore 29.11.2012. godine izabran je u zvanje vanrednog profesora.

Odlukom Upravnog odbora Univerziteta Crne Gore izabran je za Dekana Elektrotehničkog fakulteta u mandatnom periodu 2013-2016, a zatim i za mandatni period od 2016-2019. god.

Zoran Veljović je kao autor ili koautor objavio osam radova u eminentnim naučnim časopisima, 59 radova na međunarodnim konferencijama, osam radova u domaćim i regionalnim časopisima i 46 radova na regionalnim konferencijama. Rukovodilac je tri naučno-istraživačka projekta. Autor je ili koautor 16 stručnih projekata, od kojih su tri u okviru EU FP7 programa. Učestvovao je u recenziji brojnih stručnih projekata za potrebe telekomunikacionih operatora u Crnoj Gori.

Zoran Veljović je oženjen i otac dvoje djece.

Časopisi sa SCI liste:

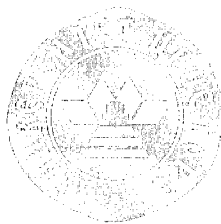
1. U. Urosevic, Z. Veljovic, "New Solutions for Distributed Realization of 8x1 MISO channel with QOSTBC", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 97, Issue 2, pp. 1799-1812, Springer, November 2017, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-017-4649-6>.
2. Z. Veljovic, U. Urosevic, "New Solutions for Cooperative Relaying Implementation of OSTBC with 3/4 Code Rate", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 92, Issue 1, pp. 51-61, Springer, January, 2017, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-016-3838-z>.
3. U. Urosevic, Z. Veljovic, "Improving BER performance of virtual QQSTBC", Wireless Networks, ISSN: 1022-0038 (Print Version), ISSN: 1572-8196 (Electronic Version), Vol. 22, Issue 8, pp. 2649-2657, Springer, November 2016, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11276-015-1128-4>.
4. Z. Veljovic, U. Urosevic, "Increasing Code Rate of the Cooperative Relaying with Virtual OSTBC", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 83, Issue 1, pp. 399-410, Springer, July, 2015, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-015-2399-x>.
5. U. Urosevic, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "A NEW SOLUTION FOR SIMPLE COOPERATIVE RELAYING", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 75, Issue 2, pp. 1235-1250, Springer, March 2014, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-013-1420-5>.
6. U. Urosevic, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, MIMO SOLUTION FOR PERFORMANCE IMPROVEMENTS OF OFDM-CDMA SYSTEM WITH PILOT TONE, Wireless Networks, Springer (ISSN: 1022-0038 Print Version, ISSN: 1572-8196 Electronic Version), Vol. 19, Issue 8, pp. 2021-2028, Springer, November 2013, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11276-013-0586-9>.
7. I. Radusinovic, M. Radonjic, A. Simurina, I. Maljevic Z. Veljovic, "New Analytical Model for the CQ Switch Throughput Calculation under the Bursty Traffic", AEU International Journal of Electronics and Communications, (ISSN: 1434-841) vol. 66, issue 12, pp. 1038-1041, december, 2012, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S143484111200129X>.
8. Z. Veljovic, M. Pejanovic, I. Radusinovic: "Performance analysis of a new OFDM-CDMA system with pilot tone for multimedia communications", IEICE transactions on communications, vol. E88-B, N08, pp. 3480-3483, August 2005, (ISSN 0916-8516), <http://journals.fcla.edu/ietcom-b/article/view/18303>.

Časopisi van SCI liste:

1. U. Urosevic, Z. Veljovic, D. Simunic, "A New Approach for Increasing Energy Efficiency of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Journal of Green Engineering, Vol. 3, no. 2, 181-192, River Publishers, 2013, (ISSN: 1904-4720), http://www.riverpublishers.com/journal_article.php?j=JGE/3/2/5.

Međunarodne IEEE konferencije:

1. U. Urosevic, Z. Veljovic, "New schemes for increasing code rate of the OFDM based virtual OSTBC", Proceedings of IEEE Eurocon 2015 Conference, Salamanca, Spain, September 2015, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7313664/>.



Број: 08-2199
Датум, 29.11.2012 г.

Ref: _____
Date, _____

Na osnovu člana 75 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Sl.list RCG, br. 60/03 i Sl.list CG, br. 45/10 i 47/11) i člana 18 stav 1 tačka 3 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 29.11.2012. godine, donio je

**ODLUKU
O IZBORU U ZVANJE**

Dr ZORAN VELJOVIĆ bira se u akademsko zvanje **vanredni profesor** za predmete: Digitalni telekomunikacioni sistemi, Optičke komunikacije i Satelitske komunikacije, na **Elektrotehničkom fakultetu**, na period od pet godina.

REKTOR

Miranović Predrag
Prof.dr Predrag Miranović

02/11 460
10.12. 2



Prof. Aleksandar Nešković was born in Belgrade, Serbia, 1968. He earned his MS and PhD degrees at University of Belgrade, Serbia, in 1997, and 2002, respectively. In August 1994, he joined the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia, where he is currently a Full Professor. His research is focused on the radio network design (radio-access and core network), investigation and modeling of mobile radio channel, development of methods for mobile users positioning, assessment of non-ionising radiation etc. He has published a number of scientific, journal and conference papers. Aleksandar is the author of the books "Radio communications" (in serbian), "IP multimedia subsystem" (in serbian, coauthor) and a chapter in the book "Radio Communications" (in english, coauthor). During the last 23 years, he has been fully involved in several hundreds of projects including design of public (GSM, UMTS, CDMA2000, LTE) and private (TETRA) mobile radio systems as well as in designing of FM radio and TV broadcasting systems. These projects have been mainly conducted by major national telecommunication and power supply companies. Aleksandar Neskovic is the holder of the "Prof. Dr. Ilija Stojanovic" award for the best scientific paper in the field of telecommunications in 2012. Aleksandar is the Head of Radiocommunications Laboratory. He is also the IEEE ComSoc Chapter Chair of Serbia & Montenegro Section and TPC Chair of TELFOR conference.



Prof. dr ALEKSANDAR NEŠKOVIĆ rođen je 1968. god. u Beogradu. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu diplomirao je 1993., magistrirao 1997., a doktorirao 2002. Od avgusta 1994. radi na ETF-u u Beogradu gde je trenutno u zvanju redovnog profesora. Osnovne oblasti interesovanja obuhvataju projektovanje radio sistema (radio mreža i jezgro mreže), analiza i modelovanje radio kanala, razvoj metoda za pozicioniranje mobilnih korisnika, ispitivanje nejonizujućih zračenja itd. Objavio je veliki broj naučnih radova na konferencijama i u eminentnim međunarodnim naučnim časopisima. Aleksandar je autor knjige "Radio komunikacije" (na srpskom), "IP Multimedia Subsystem" (na srpskom) i poglavlja u knjizi "Radio Communications" (na engleskom). Tokom poslednje 23 god., intenzivno je učestvovao u izradi više stotina projekata za potrebe realizacije javnih (GSM, UMTS, CDMA2000, LTE) i privatih mobilnih radio sistema, kao i radio FM i TV difuznih sistema. Aleksandar Nešković je dobitnik nagrade "Prof. Dr Ilija Stojanović" za najbolji naučni rad iz oblasti telekomunikacija u 2012.god. Kao koautor osvojio je prvu nagradu na takmičenju "VIP android izazov" 2010. Rukovodilac je Laboratorije za radio komunikacije ETF. Trenutno je predsednik *ComSoc Chapter*-a IEEE Sekcije Srbije i Crne Gore. Od 2012. Predsednik je Programskog odbora TELFORA konferencije.

- [1] A. Nešković, N. Nešković, Đ. Paunović, "Macrocell Electric Field Strength Prediction Model Based Upon Artificial Neural Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 6, pp. 1170-1177, Aug. 2002, ISSN: 0733-8716, Impact Factor: 2.316 (2002).
- [2] A. Nešković, N. Nešković, Đ. Paunović, "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.3, No.3, pp.2-12, July 2000, Doi:10.1109/COMST.2000.5340727.

- [3] M. Borenović, A. Nešković, N. Nešković, "Vehicle Positioning Using GSM and Cascade-Connected ANN Structures", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 34-46, Mar. 2013, ISSN: 1524-9050, Doi: 10.1109/TITS.2012.2207116, Impact Factor: 3.064.
- [4] M. Borenović, A. Nešković, Đ. Budimir, "Space Partitioning Strategies for Indoor WLAN Positioning with Cascade-connected ANN Structures", *International Journal of Neural Systems*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-15, Jan. 2011, ISSN: 0129-0657, Doi: 10.1142/S0129065711002614, Impact Factor: 5.054.
- [5] N. Tomašević, A. Nešković, N. Nešković, "Artificial Neural Network Based Approach to EEG Signal Simulation", *International Journal of Neural Systems*, Vol. 22, No. 3, pp. 391-398, Jun 2012, ISSN: 0129-0657, Doi: 10.1142/S0129065712500086, Impact Factor: 6.056.
- [6] Nikola Tomasević, A. Neskovic, N. Neskovic, "Correlated EEG Signals Simulation Based on Artificial Neural Networks", *International Journal of Neural Systems*, World Scientific, Nov. 2016., ISSN: 0129-0657, Doi:10.1142/S0129065717500083, Impact Factor (2015): 6.085.
- [7] Mladen Koprivica, Majda Petric, N. Neskovic, A. Neskovic, "Statistical Analysis of Electromagnetic Radiation Measurements in the Vicinity of Indoor Microcell GSM/UMTS Base Stations in Serbia, STATIONS IN SERBIA", *Bioelectromagnetics*, Vol. 37, No. 1, pp. 69-76, Wiley Periodicals, January, 2016., Impact Factor (2015): 1.583.
- [8] M. Koprivica, V. Slavkovic, N. Neskovic, A. Neskovic, "Statistical Analysis of Electromagnetic Radiation Measurements in the Vicinity of GSM/UMTS Base Stations Installed on Buildings in Serbia", *RADIATION PROTECTION DOSIMETRY*, Advance access published online 30 July 2015, Vol. 168, No. 4, pp. 489-502, March, 2016, ISSN: 0144-8420, Doi: 10.1093/rpd/ncv372, Impact Factor (2014): 0.913.
- [9] Branka Stojanović, A. Nešković, Oge Marques, „A Novel Neural Network Based Approach to Latent Overlapped Fingerprints Separation", *Multimedia Tools and Applications*, Springer US, pp. 1-25, Jun 2016., ISSN: 1380-7501, Doi: 10.1007/s11042-016-3696-4, Impact Factor (2015): 1.331
- [10] M. Čabarkapa, N. Nešković, A. Nešković, Dj. Budimir, "Adaptive Nonlinearity Compensation Technique for 4G Wireless Transmitters", *Electronics Letters*, Vol. 48, No. 20, pp. 1308-1309, Sep. 2012, ISSN: 0013-5194, Doi: 10.1049/el.2012.2829, Impact Factor: 1.068.



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Број

1378/6
1 DEC 2015

20

год.

БЕОГРАД

Адреса: Студентски трг 1, 11000 Београд, Република Србија
Тел.: 011 3207400; Факс: 011 2638818; Е-mail: officebu@rect.bg.ac.rs

СЕНАТ УНИВЕРЗИТЕТА
У БЕОГРАДУ

Београд, 26.11.2015. године
06-01 Број: 61202-4254/3-15
ЛД

На основу чл. 65. ст. 2. Закона о високом образовању ("Службени гласник РС", број 76/05, 100/07-аутентично тумачење, 97/08, 44/10 и 93/12, 89/13 и 99/14), чл. 42. ст. 1. тач. 23. и чл. 43. ст. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду", број 186/15-пречишћени текст), чл. 25. ст. 1. и ст. 2. тач. 1. Правилника о начину и поступку стицања звања и заснивања радног односа наставника Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду", број 142/08, 150/09 и 160/11) и Критеријума за стицање звања наставника на Универзитету у Београду ("Гласник Универзитета у Београду", број 183/15-пречишћени текст), а на предлог Изборног већа Електротехничког факултета, број: 1378/5 од 15.9.2015. године и мишљења Већа научних области техничких наука, број: 61202-4254/2-15 од 19.10.2015. године, Сенат Универзитета, на седници одржаној 25.11.2015. године, донео је

ОДЛУКУ

БИРА СЕ др Александар Нешковић у звање редовног професора на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, за ужу научну област Телекомуникације.

О б р а з л о ж е њ е

Електротехнички факултет је дана 15.7.2015. године на сајту Националне службе за запошљавање, објавио конкурс за избор у звање редовног професора, за ужу научну област Телекомуникације, због истека изборног периода.

Извештај Комисије за припрему извештаја о пријављеним кандидатима стављен је на увид јавности дана 31.8.2015. године преко сајта Факултета.

На основу предлога Комисије за припрему извештаја о пријављеним кандидатима, Изборно веће Електротехничког факултета, на седници одржаној дана 15.9.2015. године, донело је одлуку о утврђивању предлога да се кандидат др Александар Нешковић изабере у звање редовног професора.

Електротехнички факултет је дана 1.10.2015. године доставио Универзитету комплетан захтев за избор у звање на прописаним обрасцима.

Универзитет је комплетну документацију коју је доставио Факултет ставио на web страницу Универзитета дана 12.10.2015. године.

Веће научних области техничких наука, на седници одржаној дана 19.10.2015. године дао је мишљење да се др Александар Нешковић може изабрати у звање редовног професора.

Сенат Универзитета, на седници одржаној дана 25.11.2015. године разматрао је захтев Електротехничког факултета и утврдио да кандидат испуњава услове прописане чл. 64. и 65. Закона о високом образовању, чланом 125. Статута Универзитета у Београду, као и услове прописане Критеријумима за стицање звања наставника на Универзитету у Београду, па је донета одлука као у изреци.

ПРЕДСЕДНИК СЕНАТА:

Р е к т о р

Академик Владимир Бумбацирскић

Доставити:

- Факултету (2)
- архиви Универзитета
- сектору 06



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73, П.Ф. 35-54, 11120 Београд, Србија

Тел: +381 11 3248464, Факс: +381 11 3248681

1239
05 JUN 2017

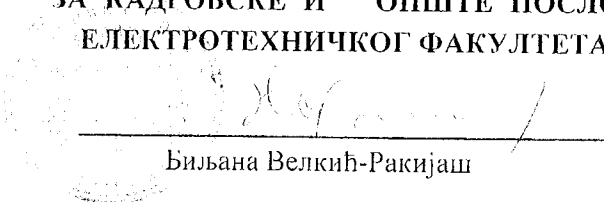
На основу службене документације, а на захтев проф. др Александра Нешковића, издаје се следећа

ПОТВРДА

Др Александар Нешковић, редовни професор, запослен је на Електротехничком факултету у Београду на неодређено време, од 15.08.1994. године, и даље.

Потврда се издаје на лични захтев Именованог, а служи као доказ ради учешћа у Комисији на Електротехничком факултету у Подгорици.

ШЕФ ОДСЕКА
ЗА КАДРОВСКЕ И ОПШТЕ ПОСЛОВЕ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА


Биљана Велкић-Ракијаш

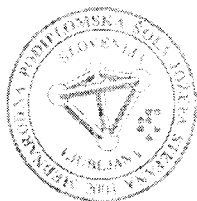
TOMAŽ JAVORNIK is Research Counsellor at Jožef Stefan Institute and head of Communication Technology Laboratory in the Department of Communication Systems. He received B.Sc., M.Sc., and Ph.D. degrees in electrical engineering from the University of Ljubljana, Slovenia, in 1987, 1990, and 1993, respectively. Since 1987 he is employed at Jožef Stefan Institute. He worked part time also for INTEKOM, INTEKOM, Integrated technology and communications Ltd., Ljubljana, Slovenia (2004 – 2009) and Jožef Stefan International Postgraduate School (JSIPS), Ljubljana, Slovenia (2008 -). In 1993 and 1994 he was at University of Westminster, London, UK, under project Tempus. He was management committee member of several COST projects, worked in several FP6, FP7, and H2020 projects. He also leaded numerous projects for Slovene industry and government bodies. His research interests are in wireless communication systems, especially modulation and coding and including turbo-codes and turbo-processing techniques, and MIMO, cooperative systems and physical layer network coding, wireless ad hoc and sensor networks, modelling the propagation of radio and optical signals, development of new methods/techniques/procedures for the efficient use of radio/optical spectrum, satellite and stratospheric communication systems, modelling and simulation of telecommunication systems and localization techniques in particular cooperative localization. He has co-authored many conference and journal articles, holds two international patents, and serves as TPC member or reviewer for several IEEE conferences and journals. He is also an associate professor in the Jozef Stefan International Postgraduate School, where he lectures several courses including Multiple Input and Multiple Output Wireless Systems, Ad Hoc and Sensor Networks, Advanced Concepts in Telecommunication Systems, Multiple-Antenna Systems and - Telecommunication Systems. He also supervised couple MSc. and PhD. students. He serves as TPC member or reviewer for several IEEE conferences and journals.

List of recent selected publication:

1. GRACE, David, MOHORČIČ, Mihael, KEDHAR, Debbie, CHEN, Guanhua, LIKITTHANASATE, Pairoj, NOVAK, Roman, JAVORNIK, Tomaž. Broadband communications via high-altitude platforms. Chichester: Wiley, 2010. XXII, 372 str., ilustr. ISBN 978-0-47069-445-9. ISBN 978-0-470-97183-3. ISBN 978-0-470-97184-0. [COBISS.SI-ID 23992615]
2. HROVAT, Andrej, KANDUS, Gorazd, JAVORNIK, Tomaž. A survey of radio propagation modeling for tunnels. IEEE Communications surveys and tutorials, ISSN 1553-877X, 2014, vol. 16, no. 2, str. 658-669, doi: 10.1109/SURV.2013.091213.00175. [COBISS.SI-ID 27108391],
3. GOMEZ, Karina, JAVORNIK, Tomaž, et al. Aerial base stations with opportunistic links for next generation emergency communications. IEEE communications magazine, ISSN 0163-6804. [Print ed.], 2016, vol. 54, no. 4, str. 31-39, doi: 10.1109/MCOM.2016.7452263. [COBISS.SI-ID 29534247], [JCR: 5.125. IQ - engineering, electrical & electronic ; 8/257 ;
4. VILHAR, Andrej, HROVAT, Andrej, OZIMEK, Igor, JAVORNIK, Tomaž. Analysis of strategies for progressive 5G emergency network deployment. Transactions on emerging telecommunications technologies, ISSN 2161-3915, [in press] 2016, 11 str., doi: 10.1002/ett.3059. [COBISS.SI-ID 29794855], [JCR: 1.295. YE - telecommunications ; 34/82 ; četrtina: 2 ; x=1.444 ; IFmin: 1.099 ; IFmax: 1.751] SNIP]
5. NADEEM, Farukh, LEITGEB, Erich, KANDUS, Gorazd, JAVORNIK, Tomaž. Comparing the cloud effects on hybrid network using optical wireless and GHz links. IET communications, ISSN 1751-8628. [Print ed.], 2012, vol. 6, no. 5, str. 492-498.
6. VILHAR, Andrej, HROVAT, Andrej, OZIMEK, Igor, JAVORNIK, Tomaž. Shooting and bouncing ray approach for 4G radio network planning. International journal of communication, ISSN 1932-8036, 2012, vol. 6, no. 4, str. 166-174.
<http://www.naun.org/multimedia/NAUN/communications/16-589.pdf>.
7. VOLKOV, Alexey, ŽGANEC GROS, Jerneja, ŽGANEC, Mario, JAVORNIK, Tomaž, ŠVIGELJ, Aleš. Modulated acquisition of spatial distortion maps. Sensors, ISSN 1424-8220, 2013, vol. 13, no. 8, str. 11069-11084, doi: 10.3390/s130811069. [COBISS.SI-ID 26952231],
8. BENEDIČIČ, Luka, JAVORNIK, Tomaž. Automatic clutter-loss optimization : a case study in LTE networks. IEICE transactions on communications, ISSN 0916-8516, 2014, vol. E97.B, no. 8, str. 1547-1555, doi: 10.1587/transcom.E97.B.1547.
9. LIGATA, Amir, GAČANIN, Haris, JAVORNIK, Tomaž. On performance of MIMO-OFDM/TDM using MMSE-FDE with nonlinear HPA in a multipath fading channel. IEICE transactions on communications, ISSN 0916-8516, 2014, vol. E97.B, no. 9, str.1947-1957, doi: 10.1587/transcom.E97.B.1947.
10. PESKO, Marko, JAVORNIK, Tomaž, KOŠIR, Andrej, ŠTULAR, Mitja, MOHORČIČ, Mihael. Radio environment maps : the the survey of construction methods. Transactions on internet and

information systems, ISSN 1976-7277, 2014, vol. 8, no. 11, str. 3789-3809, doi: 10.3837/tiis.2014.11.008. [COBISS.SI-ID 28203559],

11. PESKO, Marko, SMOLNIKAR, Miha, VUČNIK, Matevž, JAVORNIK, Tomaž, PEJANOVIĆ-DJURIŠIĆ, Milica, MOHORČIČ, Mihael. Smartphone with augmented gateway functionality as opportunistic WSN gateway device. *Wireless personal communications*, ISSN 0929-6212, 2014, vol. 78, no. 3, str. 1811-1826, doi: 10.1007/s11277-014-1908-7.
12. PESKO, Marko, JAVORNIK, Tomaž, VIDMAR, Luka, KOŠIR, Andrej, ŠTULAR, Mitja, MOHORČIČ, Mihael. The indirect self-tuning method for constructing radio environment map using omnidirectional or directional transmitter antenna. *EURASIP Journal on wireless communications and networking*, ISSN 1687-1499, 2015, vol. 2015, str. 50-1-50-12, doi: 10.1186/s13638-015-0297-2.
13. JAVORNIK, Tomaž, ŠVIGELJ, Aleš, HROVAT, Andrej, MOHORČIČ, Mihael, ALIČ, Kemal. Distributed REM-assisted radio resource management in LTE-A networks. *Wireless personal communications*, ISSN 0929-6212,
14. FORTUNA, Carolina, BEKAN, Adnan, JAVORNIK, Tomaž, CERAR, Gregor, MOHORČIČ, Mihael. Software interfaces for control, optimization and update of 5G machine type communication networks. *Computer networks : the international journal of computer and telecommunications networking*, ISSN 1389-1286. [Print ed.], [in press] 2017, 31 p., doi: 10.1016/j.comnet.2017.06.015. [COBISS.SI-ID 30593831].
15. BURR, A. G., CLAVIER, Laurent, DIMIC, G., JAVORNIK, Tomaž, TEICH, Werner, MOSTAFA, M. Evolved physical layer. V: CARDONA, Narcis (ur.). *Cooperative radio communications for green smart environments*, (River publishers series in communications, vol. 47). Gistrup: River Publishers. 2016, p. 305



MEDNARODNA
PODIPLOMSKA ŠOLA
JOŽEFA STEFANA

JOŽEF STEFAN
INTERNATIONAL
POSTGRADUATE SCHOOL

Številka sklepa: 20170711/1

Na osnovi Zakona o visokem šolstvu in mnenja strokovne komisije je senat Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana na svoji seji dne 11. 7. 2017 sprejel

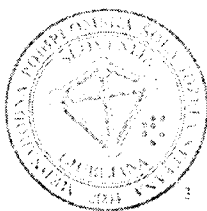
SKLEP

Doc. dr. Tomaž JAVORNIK, roj. 26. 9. 1962

se izvoli v naziv

izredni profesor za predmetno področje »telekomunikacije«.

Ta izvolitev velja od 11. 7. 2017 do 11. 7. 2022.



Dekan MPŠ:

Milena Horvat
prof. dr. Milena Horvat

Ljubljana, 13. 7. 2017

Doc. dr Kočan Enis - BIOGRAFIJA

Enis Kočan je rođen u Beranama, gdje je završio Osnovnu školu i Gimnaziju. Nosilac je diploma Luča za odlične uspjehe u osnovnoj i srednjoj školi, a proglašen je za najboljeg đaka generacije beranske Gimnazije. Elektrotehnički fakultet u Podgorici je završio 2003. godine. U toku studija bio je korisnik stipendije za talentovane studente opštine Berane. Po završetku studija se zaposlio kao saradnik na Elektrotehničkom fakultetu (ETF) u Podgorici. Magistrirao je 2005. i doktorirao 2011. godine, takođe na ETF-u u Podgorici, u oblasti mobilnih radiokomunikacija. Dio doktorskih istraživanja je sproveo na Aristotel Univerzitetu u Solunu. U julu 2014. godine izabran je u zvanje docenta i izvodi nastavu na predmetima Radiotehnika i Radiokomunikacije na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, kao i nastavu na predmetu Pomorske telekomunikacije na Pomorskom fakultetu u Kotoru. Pored toga, izvodi nastavu na većem broju predmeta na magistrarskim i doktorskim studijama na oba fakulteta, kao i nastavu na Studijama primijenjenog računarstva na Elektrotehničkom fakultetu.

Autor je 65 naučnih radova objavljenih u referentnim međunarodnim časopisima, na međunarodnim i regionalnim konferencijama, kao i domaćim časopisima. Enis je autor rada koji je nagrađen sa "Best Paper Award" na međunarodnoj konferenciji WPMC 2013, u Atlantic City-u, SAD. Pored toga, koautor je stručne knjige objavljene na engleskom jeziku, od strane međunarodnog izdavača River Publishers. Recezent je u više od 10 međunarodnih naučnih časopisa sa SCI(E) liste, uključujući i najprestižnije časopise iz oblasti elektrotehnike, telekomunikacija, obrade signala i računarskih nauka, kao što su 5 časopisa izdavača IEEE, zatim časopisi izdavača Elsevier, Wiley, Springer, itd. Oblasti naučno-istraživačkog interesovanja uključuju: mobilne radiokomunikacione sisteme, rješenja za 5G mreže, IoT komunikaciona rješenja, kooperativne komunikacione sisteme, rješenja za smanjenje nivoa zračenje bežičnih komunikacionih sistema, pomorske telekomunikacije, itd.

Učestvovao je u izradi velikog broja stručnih projekata, studija i elaborata za potrebe privrede, Vlade Crne Gore, kao i Agencije za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost. Enis je učestvovao, odnosno i dalje učestvuje, u realizaciji većeg broja međunarodnih projekata (4 FP7 projekta, 3 COST akcije, SCOPES, UNESCO projekat, itd.), u projektu prvog Centra izvrsnosti u Crnoj Gori (BIO-ICT), zatim u projektima bilateralne naučne saradnje, kao i dva nacionalna naučno-istraživačka projekta. U toku rada na međunarodnim projektima, kao istraživač je boravio na većem broju univerziteta širom Evrope (EPFL u Lozani, Tehnički Univerzitet u Beču, Univerzitet u Aalborgu, Univerzitet u Gentu, itd.).

Zamjenik je rukovodioca Laboratorije akreditovane za mjerenje elektromagnetnih emisija. U periodu jun 2015. god. – jul 2017. god. bio je član Savjeta za naučnoistraživačku djelatnost Crne Gore, i predstavnik Crne Gore u H2020 Programskom komitetu za ERC-FET-MSCA. Član je IEEE udruženja, Centra mladih naučnika CANU-a i predstavnik Crne Gore za Otvorenu nauku u Savjetu za regionalnu saradnju (RCC).

Bibliografija

Knjige

1. M. Pejanovic-Djurisic, **E. Kocan**, R. Prasad: *"OFDM based relay systems for future wireless communications"*, River Publishers, Denmark, 2012, (ISBN: 9788792329271) http://www.riverpublishers.com/book_details.php?book_id=117

Međunarodni časopisi sa SCI(E) liste:

1. **E. Kocan**, B. Domazetovic, M. Pejanovic-Djurisic, *Range Extension in IEEE 802.11ah Systems Through Relaying*, Wireless Personal Communications (ISSN: 0929-6212), vol. 97, no 2, pp. 1889-1910, November 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-017-4334-9>
2. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, *Towards Future Low Exposure Mobile Cellular Networks*, Wireless Personal Communications (ISSN: 0929-6212), vol. 92, no. 1, pp. 221-235, January 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-016-3847-y>
3. Y. Huang, N. Varseir, S. Niksic, **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, et al., *Comparison of average global exposure of population induced by a macro 3G network in different geographical areas in France and Serbia*, Bioelectromagnetics (ISSN: 0197-8462), vol. 37, no.6, pp. 382-390, Sept. 2016. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.21990/abstract>
4. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, *A Novel Solution for OFDM Based Relay Systems*, Wireless Personal Communications (ISSN: 0929-6212), vol. 87, no. 3, pp. 679-691, April 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-015-2630-9>
5. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, *Performance Improvement of Dual-Hop OFDM Decode-and-Forward Relay System*, Wireless Personal Communications, vol. 93, no. 3, pp. 769-778, April 2017. (ISSN: 0929-6212). <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-014-2227-8>
6. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, D. S. Michalopoulos, G. K. Karagiannidis, *Performance evaluation of OFDM Amplify-and-Forward Relay System with Subcarrier Permutation*, IEICE Trans. on Communications, Vol.E93-B, No.05, pp. 1216-1223, May 2010. (ISSN: 0916-8516) https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E93.B/5/E93.B_5_1216/article

Međunarodne konferencije (SCOPUS baza)

1. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, *Transmit antenna selection in OFDM relay system as a solution for energy efficiency improvement*, IEEE WiMOB 2017 conference, Rome, Italy, October 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8115853/>
2. J. Mrkic, **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, *Index Modulation Techniques in OFDM Relay Systems for 5G Wireless Networks*, in Proc. of 40th IEEE conf. TSP 2017, pp. 208-211, Barcelona, July 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8075970/>
3. **E. Kocan**, M. Pejanovic-Djurisic, G. K. Karagiannidis, *On the Optimal Solution for BER Performance Improvement in Dual-Hop OFDM Relay Systems*, in Proc. of IEEE WCNC'14 workshops, pp. 276 - 281, Istanbul, Turkey, April 2014. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6934899/>



Број: 08-1104
Датум, 26. 06. 2014 г.

Ref: _____
Date, _____

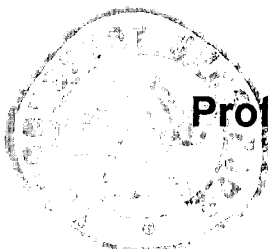
Na osnovu člana 75 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Sl.list RCG, br. 60/03 i Sl.list CG, br. 45/10 i 47/11) i člana 18 stav 1 tačka 3 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 26.juna 2014. godine, donio je

ODLUKU O IZBORU U ZVANJE

Dr ENIS KOČAN bira se u akademsko zvanje **docent** Univerziteta Crne Gore za predmete: Radiotehnika i Radiokomunikacije, na specijalističkom akademskom studijskom programu Elektronika, Telekomunikacije i Računari, na **Elektrotehničkom fakultetu** i Pomorske telekomunikacije, na osnovnom primijenjenom studijskom programu Nautika i Pomorske telekomunikacije, na osnovnom akademskom studijskom programu Pomorske nauke, na Fakultetu za pomorstvo, na period od 5 godina.

УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Број 02/1-1133
Подгорица, 03. 07. 2014 год.



REKTOR

Predrag Miranović
Prof.dr Predrag Miranović

Predlagачi mogu zajedno ili odvojeno predložiti po jednog kandidata za člana Savjeta.

Ako predlagачi podnesu više odvojenih predloga, razmatraće se samo predlog koji ima podršku najvećeg broja ovlašćenih predlagачa.

Predlog koji sadrži veći broj kandidata od utvrđenog broja neće se razmatrati.

Za pravna lica, ovlašćene predlagачe, nadležni organi upravljanja predlažu kandidata za člana Savjeta RTCG.

Lice koje je predloženo za člana Savjeta ne mora biti iz reda ovlašćenog predlagачa.

Mandat novoimenovanog člana Savjeta traje do isteka mandata člana Savjeta umjesto kojeg je imenovan.

Pozvani subjekti za podnošenje predloga za imenovanje člana Savjeta RTCG, dužni su da predlog za člana Savjeta dostave Administrativnom odboru Skupštine Crne Gore, na adresu Bulevar Svetog Petra Cetinjskog broj 10, na obrascu koji je objavljen na web sajtu Skupštine Crne Gore, sa traženom dokumentacijom (original ili ovjerena kopija), u zatvorenoj koverti, najkasnije u roku od 45 dana od dana objavljivanja ovog javnog poziva, kako bi Administrativni odbor Skupštine Crne Gore blagovremeno proveo postupak.

Ovaj javni poziv se objavljuje u „Službenom listu Crne Gore“, na web sajtu Skupštine i u „Dnevnim novinama“.

Napomena:

- Rok za podnošenje prijave na Javni poziv se računa od dana objavljivanja u štampanom mediju;
- Neblagovremenu i nepotpunu dokumentaciju Odbor neće razmatrati.

PREDSEDNIK ODBORA
Luigj Shkreli, s.r.

UNIVERZITET CRNE GORE
Elektrotehnički fakultet u Podgorici

O B A V J E Š T A V A

javnost da se doktorska disertacija „Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama“, kandidata **mr Uglješe Uroševića**, saradnika u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici i Izvještaj Komisije za ocjenu doktorske disertacije, u sastavu:

1. **Dr Milica Pejanović-Đurišić**, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore,
2. **Dr Aleksandar Nešković**, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
3. **Dr Zoran Veljović**, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore,

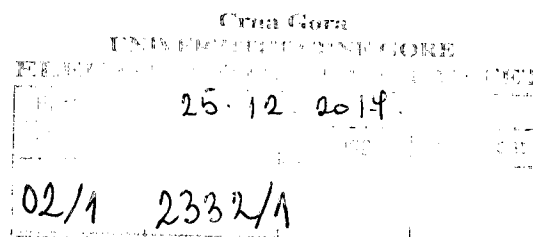
nalaze u Univerzitetskoj biblioteci radi uvida javnosti, u trajanju od 30 dana od dana objavljivanja.

„DAN“ 25. 11. 2014.



Univerzitet Crne Gore
Centralna univerzitetska biblioteka
adresa / address: Cetinjska br. 2
81000 Podgorica, Crna Gora
telefon / phone: 00382 20 414 245
fax: 00382 20 414 259
mail: cub@ac.me
web: www.ucg.ac.me
Central University Library
University of Montenegro

Broj / Ref: 01616-388/1
Datum / Date: 25.12.2017.



UNIVERZITET CRNE GORE

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

N/r dekanu

Prof. dr Zoranu Veljoviću

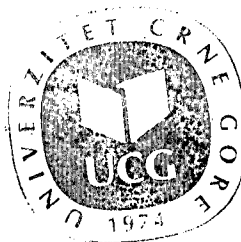
Poštovani profesore Veljoviću,

Vraćamo doktorsku disertaciju „**Rješenja za poboljšanje performansi kooperativnih relejnih sistema sa distribuiranim MIMO tehnikama**“, sa Izvještajem Komisije za ocjenu doktorske disertacije, kandidata mr Uglješe Uroševića, koja je dostavljena **Centralnoj univerzitetskoj biblioteci** dana 24. 11. 2017. godine, na uvid i ocjenu javnosti, u skladu sa članom 42 stav 3 Pravila doktorskih studija.

Na gore pomenutu doktorsku disertaciju nije bilo primjedbi javnosti u predviđenom roku od 30 dana.

Nakon odbrane navedene doktorske disertacije, potrebno je dostaviti konačan primjerak disertacije u štampanoj i elektronskoj formi. Štampana i elektronska verzija disertacije treba da sadrži: izjavu o autorstvu, izjavu o istovjetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada i izjavu o korišćenju. Sve moraju biti popunjene i potpisane od strane doktoranda.

S poštovanjem,



DIREKTOR

mr Bosiljka Cicmil

SPISAK RADOVA SA REZULTATIMA IZ DOKTORSKE DISERTACIJE

Međunarodni naučni časopisi (SCI, SCI-exp, lista):

1. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "MIMO Solution for Performance Improvements of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Wireless Networks, ISSN: 1022-0038 (Print Version), ISSN: 1572-8196 (Electronic Version), Vol. 19, Issue 8, pp. 2021-2028, Springer, November 2013.
2. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "A New Solution for Simple Cooperative Relaying", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 75, Issue 2, pp. 1235-1250, Springer, March 2014.
3. Z. Veljovic, **U. Urosevic**, "Increasing Code Rate of the Cooperative Relaying with Virtual OSTBC", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 83, Issue 1, pp. 399-410, Springer, July, 2015.
4. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "Improving BER performance of virtual QOSTBC", Wireless Networks, ISSN: 1022-0038 (Print Version), ISSN: 1572-8196 (Electronic Version), Vol. 22, Issue 8, pp. 2649-2657, Springer, November 2016.
5. **Z. Veljovic**, **U. Urosevic**, "New Solutions for Cooperative Relaying Implementation of OSTBC with 3/4 Code Rate", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 92, Issue 1, pp. 51-61, Springer, January, 2017.
6. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "New Solutions for Distributed Realization of 8x1 MISO channel with QOSTBC", Wireless Personal Communications, ISSN: 0929-6212 (Print Version), ISSN: 1572-834X (Electronic Version), Vol. 97, Issue 2, pp. 1799-1812, Springer, November 2017.

Međunarodni časopisi

1. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, D. Simunic, "A New Approach for Increasing Energy Efficiency of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Journal of Green Engineering, Vol. 3, 181-192, River Publishers, 2013.
2. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "Performance Improvements of OFDM-CDMA System", ETF Journal of electrical engineering (YU ISSN 0353-5207), Podgorica, 2014.
3. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "MIMO Model for Improving Spectrum Efficiency of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", ETF Journal of electrical engineering (YU ISSN 0353-5207), Podgorica, 2011.

Međunarodne konferencije:

1. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, E. Kocan, "BER Performace of MIMO OFDM-CDMA System in Ricean Fading Channel", Proceedings of IEEE Eurocon 2011 Conference, Lisbon, Portugal, April 2011.
2. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "MIMO OFDM-CDMA System with Pilot Tone and Space-Time Block Coding", Proceedings of 14th IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2011), Brest, France, October 2011.
3. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "MISO Model for Improving BER Performance of OFDM-CDMA System with Pilot Tone for Multimedia Communications", Proceedings of IEEE MELECON 2012 Conference, Yasmine Hammamet, Tunis, March 2012.
4. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "MISO Model for Improving Performance of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Proceedings of IEEE WTS 2012, London, UK, April 2012.
5. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "A Solution for Increasing Spectrum Efficiency of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Proceedings of IEEE WiCOM 2012 Conference, Shanghai, China, September 2012.
6. Z. Veljovic, **U. Urosevic**, M. Pejanovic-Djurisic, "A MIMO Approach for Increasing Spectrum Efficiency of OFDM-CDMA System with Pilot Tone", Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2013), Atlantic City, USA, June 2013.
7. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "A Solution for Improving Performance of OFDM Based Simple Cooperative Relaying", Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2013), Atlantic City, USA, June 2013.
8. Z. Veljovic, **U. Urosevic**, "Performance Improvement of OFDM based virtual QOSTBC", Proceedings of Global Wireless Summit - Wireless Vitae 2014 Conference, Aalborg, Denmark, May 2014.
9. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, M. Pejanovic-Djurisic, "New Simple Cooperative Relaying Schemes", Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2014), Sydney, Australia, September 2014.
10. Z. Veljovic, **U. Urosevic**, M. Pejanovic-Djurisic, "Improving BER Performance of Virtual QOSTBC", Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2014), Sydney, Australia, September 2014.
11. Z. Veljovic, **U. Urosevic**, "Performance Improvements of Virtual QOSTBC systems", Proceedings of of IEEE 22nd TELFOR Conference, Belgrade, Serbia, November 2014.
12. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "New schemes for increasing code rate of the OFDM based virtual OSTBC", Proceedings of IEEE Eurocon 2015 Conference, Salamanca, Spain, September 2015.
13. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "Distributed MIMO Techniques in Wireless Sensor Networks with Relays", Proceedings of of IEEE 23rd TELFOR Conference, Belgrade, Serbia, November 2015.
14. **U. Urosevic**, Z. Veljovic, "Distributed MIMO solutions for Peer-to-Peer Communications in Future Wireless Systems", Proceedings of of IEEE 24th TELFOR Conference, Belgrade, Serbia, November 2016.

KRATKA BIOGRAFIJA

Uglješa Dragana Urošević rođen je 1986. godine u Nikšiću. Osnovnu školu završio je u Nikšiću. Srednju školu (gimnaziju, prirodno-matematički smjer) završio je u Nikšiću 2005. godine. Tokom školovanja učestvovao je i osvajao nagrade na brojnim takmičenjima iz matematike. Dobitnik je diplome Luča u osnovnoj i srednjoj školi.

Po završetku gimnazije, upisao je Elektrotehnički fakultet na Univerzitetu Crne Gore na kojem je, na smjeru Elektronika, telekomunikacije i računari, stekao diplomu STEPEN BACHELOR (BSc) juna 2008. godine (prosječna ocjena 9.95), nakon čega je na istom fakultetu, upisao specijalističke studije na smjeru Telekomunikacije, na kojem je jula 2009. godine odbranio specijalistički rad: "Multi-carrier CDMA sistemi", i na taj način stekao diplomu STEPEN SPECIJALISTE (Step. Sci) Elektronike, telekomunikacija i računara (srednja ocjena A). Maja 2011. godine je odbranio magistarski rad: "MIMO tehnike u mobilnim radio sistemima narednih generacija", i na taj način stekao diplomu STEPEN MAGISTRA (MSC) Elektronike, telekomunikacija i računara (srednja ocjena A).

Tokom studija je bio najbolji student u studijskoj 2007/2008 godini na Elektrotehničkom fakultetu. Dobitnik je Plakete Univerziteta Crne Gore za najboljeg diplomiranog studenta u oblasti tehničkih, prirodno-matematičkih i medicinskih nauka, 2009. god. Takođe, primio je Nagradu opštine Podgorica za izuzetan uspjeh u studiranju ("Decembarska nagrada"), kao i Nagradu opštine Nikšić za izuzetan uspjeh u studiranju ("Septembarska nagrada").

Na doktorske studije, smjer Telekomunikacije, upisao se 2011 god. Položio je sve ispite na doktorskim studijama i odbranio polazna istraživanja.

Od decembra 2009. god. radi na Elektrotehničkom fakultetu kao saradnik u nastavi/istraživanju.

Tokom doktorskih studija bio je na mobilnostima na sledećim naučno-istraživačkim ustanovama:

1. EPFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) Lozana, Švajcarska, 04.06 -02.07. 2012. god, 09.06 – 07.07.2013. god., 16.06. – 30.06. 2014. god. u okviru SCOPES (Scientific co-operation between Eastern Europe and Switzerland) programa (*Fostering development of an ICT centre of excellence in Montenegro*).

2. FER (Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu) 01.09.2013. – 31.01.2014. god., (*PhD Mediterranean Office for Youth - MoY grant*).

3. Aalborg University-Center for TeleInfrastructure, Alborg, Danska, 07.05 - 21.05.2016.god. (*FP7 Foremont project -Fostering innovation based research for e-Montenegro*).

Publikovao je 6 radova u međunarodnim časopisima (sa SCI/SCI-exp liste, sa ukupnim impact faktorom 5.9), 6 radova u međunarodnim i regionalnim časopisima (izvan SCI/SCI-exp liste), 29 radova na međunarodnim i konferencijama i 5 radova na regionalnim konferencijama.