

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73  
18000 Ниш · Србија  
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399  
E-mail: [efinfo@elfak.ni.ac.rs](mailto:efinfo@elfak.ni.ac.rs); <http://www.elfak.ni.ac.rs>  
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 14 · P.O. Box 73  
18000 Niš - Serbia  
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399  
E-mail: [efinfo@elfak.ni.ac.rs](mailto:efinfo@elfak.ni.ac.rs)  
<http://www.elfak.ni.ac.rs>

ДЕКАН  
28.04.2015.

ОБАВЕШТЕЊЕ  
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. Бранимира Јакшића под насловом «Разматрање карактеристика мобилног пријемника у ћелијском систему у присуству општих облика сметњи» и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације налазе се у Библиотеци Електронског факултета у Нишу и могу се погледати до **13.05.2015.** године.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Факултета у напред наведеном року.

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан  
Проф. др Драган Јанковић



## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

**PREDMET:** Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Branimira Jakšića.

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektronskog fakulteta u Nišu održanoj 02.04.2015. godine, odlukom broj 07/03-017/15-003, imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Branimira Jakšića, pod naslovom:

### "Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji"

u sastavu:

1. Prof. dr Mihajlo Stefanović, Elektronski fakultet u Nišu
2. Prof. dr Zoran Perić, Elektronski fakultet u Nišu
3. Prof. dr Dejan Milić, Elektronski fakultet u Nišu
4. Prof. dr Petar Spalević, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici
5. Doc. dr Stefan Panić, Prirodno-matematički fakultet u Kosovskoj Mitrovici

ELEKTRONSKI FAKULTET U NIŠU	
Примљено	28.04.2015.
Број	07/03-017/15-004

Nakon pregleda dostavljene doktorske disertacije, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu sledeći

## IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija dipl. inž. Branimira Jakšića pod naslovom "Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji" izložena je na 156 stranice formata A4. Disertacija sadrži 53 slike i dve tabele. Disertacija je organizovana u osam logički povezanih poglavlja: 1 – Uvod; 2 – Ćelijski mobilni sistemi i prostiranje signala u radio kanalima; 3 – Makrodiverziti sistem sa dva i tri mikrodiverziti SC kombinera u prisustvu  $k$ - $\mu$  brzog fedinga i sporog Gama fedinga; 4 – Makrodiverziti sistem sa tri MRC kombinera u prisustvu  $k$ - $\mu$  brzog fedinga i sporog Gama fedinga; 5 – Momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva i tri EGC kombinera u prisustvu  $k$ - $\mu$  brzog fedinga i sporog Gama fedinga; 6 – Karakteristike SC prijemnika u prisustvu korisnog signala i interferencije; 7 – Srednji broj osnih preseka



makrodiverziti sistema sa tri SC kombinera u prisustvu  $\alpha$ - $\mu$  brzog fedinga i sporog Gama fedinga; 8 – Zaključak. Na početku disertacije pored naslovne strane na srpskom i engleskom jeziku i sadržaja, dat je i sažetak na srpskom i engleskom jeziku, kao i spisak slika i pregled skraćenica. Na kraju disertacije dati su spisak korišćene literature (109 bibliografskih jedinica koje obuhvataju najznačajnije knjige i naučne radove iz oblasti koje obrađuje doktorska disertacija) i biografija kandidata.

U doktorskoj disertaciji razmatrane su karakteristike mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu. Akcenat je stavljen na razmatranju do sada teorijski neobrađenih slucajeva, kao i prezentovanju originalnih rezultata istraživačkog rada autora. Razmatran je uticaj brzog fedinga, sporog fedinga i međukanalne interferencije na performanse mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu. Analizirane su statističke karakteristike makrodiverziti sistema sa jednim makrodiverziti i tri mikrodiverziti kombinera. Na mikro nivou upotrebljeni su SC (selection combining), MRC (maximum ratio combining) i EGC (equal gain combiner), a na makro nivou SC kombineri. Analizirane su sledeće statističke karakteristike: gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, srednji broj osnih preseka, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability). Dobijeni su izrazi za statističke karakteristike prvog i drugog reda za posmatrani signal mobilnog prijemnika. Na osnovu izračunatih izraza predstavljeni su grafici promena statističkih karakteristika u zavisnosti od parametara bitnih za prijem signala. Na osnovu grafika analiziran je uticaj navedenih parametara na kvalitet prenosa signala u ćelijskim mobilnim sistemima. Dobijeni rezultati mogu su upotrebliti sa aspekta projektovanja telekomunikacionih mobilnih sistema u realnom okruženju.

U uvodnom poglavlju je istaknut značaj i cilj istraživanja, dat je pregled dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti i predstavljena je organizacija disertacije po poglavljima.

U drugom poglavlju izložene su osnovne karakteristike mobilnih ćelijskih sistema i karakteristike prenosa signala kroz radio kanale. Takođe, dat je pregled osnovnih smetnji koje se javljaju u ćelijskim mobilnim sistemima, kao i modeli kojima se opisuju korisni signali, modeli fedinga i interferencije u mobilnim sistemima. Osnovne smetnje u bežičnim telekomunikacionim sistemima su Gausov šum, spori feding, brzi feding i razni tipovi interferencija. Date su osnovne osobine Gausovog šuma, kao i karakteristike Rejljevog, Rajsovog, Nakagami- $m$ , Veibulovog, Nakagami- $q$ ,  $\alpha$ - $\mu$ , Gama,  $k$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  i  $\eta$ - $\mu$  modela fedinga, kao i međukanalne interferencije.

U trećem poglavlju razmtra se makrodiverziti sistem sa selektivnim makrodiverziti, SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti SC prijemnika. Na ulazima je prisutan brzi  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Određen je srednji broj osnih preseka i kumulativna verovatnoća  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive, kao i srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika i na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva mikrodiverziti SC prijemnika. Izračunata je gustina verovatnoće signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika, kao i gustina verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri mikrodiverziti SC prijemnika. Dobijeni rezultati su grafički predstavljeni: srednji broj



osnih preseka  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, kumulativna verovatnoća signala  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ , srednji broj osnih preseka na izlazu iz mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ , srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti sistema sa dva SC mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, dubine osenčenosti kanala  $c$  i broja klastera  $\mu$  kroz koji se prostire signal. Na kraju su dati grafici gustine verovatnoće signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri SC mikrodiverziti prijemnika za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora, dubine osenčenosti kanala  $c$  i broja klastera  $\mu$ .

U četvrtom poglavlju razmatra se makrodiverziti sistem sa makrodiverziti selektivnim prijemnikom SC i tri mikrodiverziti MRC prijemnika. Na ulazima u mikrodiverziti MRC prijemnike prisutan je nezavisni  $k$ - $\mu$  feding i spori Gama feding. Za signal na izlazu iz makrodiverziti sistema izračunati su: gustina verovatnoća, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu (ABER - Average Bit Error Probability). Na osnovu dobijenih izraza iscertani su i analizirani grafici promene gustine verovatnoće signala za različite vrednosti broja klastera  $\mu$ ; kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz makrodiverziti sistema za različite vrednosti Rajsovog  $k$  faktora i broja klastera  $\mu$ ; momenti signala na izlazu iz makrodiverziti sistema u zavisnosti od broja klastera i snage signala; kao i srednja verovatnoća greške po bitu signala za koherentnu digitalnu faznu modulaciju (CPSK), koherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (CFSK), difrencijalnu digitalnu faznu modulaciju (DPSK) i nekoherentnu digitalnu frekvencijsku modulaciju (NFSK).

Peto poglavlje se odnosi na makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SC prijemnikom i dva i tri mikrodiverziti EGC prijemnika. Mikrodiverziti EGC prijemnici imaju po dva ulaza. Na ulazima je prisutan nezavisni  $k$ - $\mu$  feding.  $k$ - $\mu$  feding je identično raspodeljen na ulazima sistema. Na ulazima u sve tri bazne stanice prisutan je korelisan Gama feding. Određeni su momenti na izlazu iz makrodiverziti sistema. Na osnovu prikazanih grafika je analiziran uticaj koeficijenta korelacije  $\rho$ , Rajsovog  $k$  faktora, broja klastera  $\mu$  i dubine osenčenosti kanala na momente prvog, drugog i trećeg reda i kvalitet prijema signala.

U šestom poglavlju razmatraju se statističke karakteristike signala na izlazu iz mikrodiverziti SC prijemnika sa dva ulaza u prisustvu korisnog signala i interferencije. Razmatran je slučaj kada je na ulazima prisutna interferencija opisana  $k$ - $\mu$  raspodelom, a korisni signal Veibulovom,  $\alpha$ - $\mu$ ,  $\alpha$ - $k$ - $\mu$  i  $\alpha$ - $\eta$ - $\mu$  raspodelom, respektivno. Za sve slučajeve je određena gustina verovatnoće i kumulativna verovatnoća signala na izlazu iz SC prijemnika. Na osnovu grafika je analiziran uticaj nelinearnosti sredine i broja klastera kroz koji se prostire signal na kvalitet prenosa. Takođe, razmatran je i slučaj kada je  $k$ - $\mu$  raspodelom opisan i korisni signal i interferencija. Analitički i grafički su predstavljeni srednji broj osnih preseka za proizvod i količnik dve  $k$ - $\mu$  slučajne promenljive.

U sedmom poglavlju razmatra se srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti sistema sa tri SC mikrodiverziti kombineri i jednim makrodiverziti SC kombinerom. Na ulazima u bazne stanice je prisutan brzi  $\alpha$ - $\mu$  i spori Gama feding.



Dobijeni analitički rezultati su grafički predstavljeni na osnovu kojih je analiziran uticaj broja klastera kroz koji se prostire signal, dubine osnećenosti kanala, korelisanost i nelinearnost sredine na prijem signala u ćelijskom sistemu.

U osmom poglavlju dat je pregled najvažnijih rezultata dobijenih tokom izrade doktorske disertacije.

Komisija ističe sledeće naučne doprinose:

- Analiza izneta u ovoj disertaciji ima veliki nivo generalnosti i primenljivosti, usled činjenice da je modelovanje propagacionih scenarija izvršeno pomoću  $k$ - $\mu$  modela, koji unutar sebe, kao specijalne slučajeve uključuje veliki broj poznatih modela propagacija signala (Nakagami- $m$ , Rejljev, Rajsov i dr.).
- Dobijeni su analitički i numerički rezultati za statističke karakteristike signala (gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija, momenti, srednji broj osnih preseka, kapacitet kanala i srednja verovatnoća greške po bitu) na prijemu mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu brzog  $k$ - $\mu$  i sporog Gama fedinga kada se koristi više modela diverziti prijema. Rezultati su dobijeni za slučajeve kada se na prijemu koriste dva i tri mikrodiverziti kombinera različitih modela (SC, EGC, MRC).
- Dobijeni rezultati su grafički predstavljeni za različite parametre prenosa (Rajsov  $k$  faktor, broj klastera  $\mu$ , dubina osnećenosti kanala  $c$ , koeficijent korelacije  $\rho$ ), na osnovu kojih je moguće utvrditi kako dati parametri utiču na kvalitet prijema signala kod mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu.
- Na osnovu predstavljenih rezultata promene srednje verovatnoće greške po bitu signala za različite digitalne modulacione formate (CPSK, CFSK, DPSK i NFSK) dat je prikaz uticaja parametara prenosa i odabrane modulacije na kvalitet prenosa.
- Na osnovu dobijenih rezultata za srednji broj preseka i momenata moguće je odrediti nivoe amplituda i srednjih snaga željenog signala na prijemu, i zatim na osnovu prijemnih karakteristika izvršiti optimizaciju parametara bežičnog prenosa i emisije snage signala.
- Koristeći rezultate predstavljene u disertaciji može se predvideti ponašanje različitih realizacija ćelijskih sistema za različite scenarije mobilnog prenosa i u različitim propagacionim okruženjima, što omogućava projektantima sistema mobilnih prenosa da za željene performanse sistema naprave racionalna sistematska rešenja.
- Predložene su i realizacije mobilnih telekomunikacionih sistema za koje je pokazano evidentno unapređenje performansi na prijemu, pa se otvara mogućnost njihove primene u cilju smanjivanja štetnog uticaja fedinga, interferencija i ostalih tipova smetnji pri propagaciji signala u ćelijskim mobilnim sistemima.



## ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno rečenog Komisija smatra da urađena doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Branimira Jakšića sadrži niz značajnih originalnih naučnih doprinosa u proučavanju performansi bežičnih mobilnih telekomunikacionih sistema. Pojedini rezultati prezentovani u disertaciji su publikovani u časopisima od međunarodnog značaja, od čega četiri u časopisima sa SCI liste, kao i u Zbornicima međunarodnih i domaćih naučnih konferencija.

Imajući u vidu aktuelnost problematike i postignute naučne rezultate kandidata predstavljene u doktorskoj disertaciji, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da se doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Branimira Jakšića pod nazivom

**"Razmatranje karakteristika mobilnog prijemnika u ćelijskom sistemu u prisustvu opštih oblika smetnji"**

prihvati i odobri njena usmena odbrana.

U Nišu, 27.04.2015 godine

Članovi Komisije:

1. Prof. dr Mihajlo Stefanović, Elektronski fakultet u Nišu

Mihajlo Stefanović

2. Prof. dr Zoran Perić, Elektronski fakultet u Nišu

Zoran Perić

3. Prof. dr Dejan Milić, Elektronski fakultet u Nišu

Dejan Milić

4. Prof. dr Petar Spalević, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici

Petar Spalević

5. Doc. dr Stefan Panić, Prirodno-matematički fakultet u Kosovskoj Mitrovici

Stefan Panić