

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; <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
<http://www.elfak.ni.ac.rs>

ДЕКАН
12.01.2017.

ОБАВЕШТЕЊЕ
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата дипл. инж. **Часлава Стефановића** под насловом «Статистичке карактеристике првог и другог реда сигнала у бежичном телекомуникационом систему са селекционим комбиновањем» и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације налазе се у Библиотеци Електронског факултета у Нишу и могу се погледати до **27.01.2017. године**.

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

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан

32 Проф. др Драган Јанковић



Примљено	12.01.2017
Број	
07/03-004/17	

NASTAVNO-NAUČNO VEĆE ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Časlava Stefanovića, pod naslovom: Statističke karakteristike prvog i drugog reda signala u bežičnom telekomunikacionom sistemu sa selekcionim kombinovanjem.

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektronskog fakulteta u Nišu održanoj 15.12.2016. godine, na predlog Veća Katedre za telekomunikacije, odlukom broj 07/03-029/16-004, imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Časlava Stefanovića, pod naslovom: Statističke karakteristike prvog i drugog reda signala u bežičnom telekomunikacionom sistemu sa selekcionim kombinovanjem, u sastavu:

1. Dr Goran T. Đorđević, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet;
2. Akademik dr Gradimir V. Milovanović, redovni profesor, redovni član SANU;
3. Dr Zorica Nikolić, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet;
4. Dr Zoran Perić, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet;
5. Dr Stefan Panić, vanredni profesor, Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, Prirodno-matematički fakultet.

Nakon pregleda navedene doktorske disertacije i materijala koji je kandidat podneo, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu sledeći

IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija dipl. inž. Časlava Stefanovića pod naslovom: Statističke karakteristike prvog i drugog reda signala u bežičnom telekomunikacionom sistemu sa selekcionim kombinovanjem, izložena je na (XI + 139) stranica formata A4. Pisana je latinicom. Na početku disertacije, nalazi se naslovna strana i sažetak disertacije na srpskom i engleskom jeziku, spisak slika i sadržaj. Disertacija sadrži sedam poglavlja: 1) Uvod; 2) Feding u bežičnim telekomunikacionim sistemima; 3) Performanse prijemnika sa petljom za automatsku kontrolu učestanosti; 4) Relejni sistemi; 5) Analiza performansi SSC diverziti prijemnika u prisustvu kanalne interferencije u η - μ feding kanalu; 6) Makrodiverziti sistem sa makrodiverziti SSC prijemnikom i dva mikrodiverziti SC prijemnika; 7) Zaključak. Zatim je dat spisak korišćene literature, koji sadrži 118 bibliografskih jedinica. Na kraju su priloženi biografija kandidata i potrebne izjave autora disertacije.

U doktorskoj disertaciji razmatrane su statističke karakteristike prvog i drugog reda signala u bežičnim telekomunikacionim sistemima. Analizirane su sledeće statističke karakteristike prvog reda: funkcija gustine verovatnoće, funkcija raspodele verovatnoće, karakteristična funkcija i momenti obvojnice signala na prijemu; verovatnoća prekida veze i verovatnoća greške za različite modulacione formate. Od karakteristika drugog reda, razmatrani su: srednje vreme trajanja fedinga (AFD - *Average Fade Duration*) i učestanost sa kojom obvojnica signala preseca određeni nivo, tj. učestanost preseka nivoa (LCR - *Level Crossing Rate*). Matematička analiza je urađena za više modela propagacionog okruženja, i to za slučajeve kada je u kanalu prisutan samo višepropagacioni feding, kao i onda kada je sem ovog višepropagacionog fedinga, prisutan i efekat senke. Ispitivan je i uticaj primene višeantenskog prijemnika na napred spomenute veličine, a u jednom delu disertacije razmatrana je i upotreba releja u cilju poboljšanja performansi. Kao dominantna smetnja, uzezeta je u obzir kanalna interferencija. Naglašeni su slučajevi kada se opšte raspodele obvojnice signala za određene vrednosti parametara svode na specijalne slučajeve, i tako dobijeni rezultati su upoređeni sa prethodno objavljenim rezultatima u stručnoj literaturi.

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

U drugom poglavlju doktorske disertacije dat je opis funkcija gustine verovatnoće anvelope signala koji se prostiru kroz bežične kanale u prisustvu brzog i sporog fedinga, kao i u slučaju kada je u kanalu prisutan kompozitni feding. Zatim je objašnjena kanalna interferencija i njen uticaj na performanse sistema. Objasnjene su sledeći modeli brzog fedinga: Rejljev, Rajsov, Nakagami- m , Nakagami- q , Vejbulov, α - μ , k - μ , η - μ , α - k - μ i η - k - μ . Zatim su objašnjeni lognormalni i Gama spori feding. Na kraju ovog poglavlja predstavljeni su modeli feding kanala kada su istorvremeno prisutni i brzi i spori feding. Ova propagaciona okruženja opisana su tzv. K_G raspodelom.

U trećem poglavlju razmatran je bežični mobilni telekomunikacioni sistem sa prijemnikom koji sadrži kolo za automatsku kontrolu učestanosti u prisustvu fedinga i jedne kanalne interferencije. Određene su performanse sistema za neke važne slučajeve fedinga, koji nastaju zbog prostiranja signala po više putanja, kao i fedinga, koji nastaje zbog efekta senke. Određeni su izrazi u zatvorenom obliku ili u obliku reda koji brzo konvergira za srednji broj prelaza iz jednog stanja u drugo (ASR - *Average Switching Rate*) i srednje vreme trajanja do gubitka sinhronizacije (MTTL - *mean time to loss*), i to za K_g , α - μ i k - μ feding kanal. Za specijalne vrednosti parametara modela fedinga, dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima već publikovanim u literaturi.

U četvrtom poglavlju razmatran je relejni sistem sa dve deonice, sa fiksnim pojačanjem, za slučaj kada je na pojedinim deonicama prisutan Nakagami- m , k - μ i α - μ feding. Kada se koristi relejni prenos, nekoliko terminala rade kao releji između izvora i destinacije, obezbeđujući bolje pokrivanje signalom bez povećanja snage predajnika. Anvelopa signala na ulazu u prijemnik je predstavljena kao proizvod dva slučajna procesa, pri čemu jedan slučajni proces predstavlja anvelopu signala na prvoj deonici, a drugi slučajni proces je anvelopa signala na drugoj deonici. Za ovakav model sistema određen je srednji broj osnih preseka. Nakon toga, razmatran je relejni sistem sa dve deonice u prisustvu brzog fedinga i interferencije. Ovaj slučaj svodi se na ispitivanje statističkih karakteristika količnika proizvoda dva k - μ slučajna procesa i jednog k - μ slučajnog procesa. Na kraju ovog poglavlja izveden je izraz za izračunavanje srednjeg broja osnih preseka količnika Rajsovog slučajnog procesa i proizvoda dva Rejljeva slučajna procesa. Za ovakve slučajeve razvijen je postupak za određivanje srednjeg broja osnih preseka

primenom Laplasove aproksimacione formule za rešavanje jednostrukog i dvostrukog integrala.

U petom poglavlju razmatran je bežični telekomunikacioni sistem sa prijemnikom sa prekidačkim kombinovanjem (SSC - *switch and stay combining*) u prisustvu kanalne interferencije, kada se propagaciono okruženje modeluje primenom tzv. η - μ fedinga. Pomoću funkcije gustine verovatnoće obvojnice signala određena je verovatnoća greške za različite vrste koherentne i nekoherentne detekcije, a pomoću funkcije raspodele verovatnoće obvojnice signala na prijemu određena je verovatnoća prekida veze.

U šestom poglavlju razmatran je specifičan oblik makrodiverziti sistema za istovremeno suzbijanje uticaja brzog i sporog fedinga. Za razliku od modela koji se javljaju u literaturi, koji se sastoje od selekcionog (SC - *Selection Combining*) makrodiverziti i MRC mikrodiverziti kola za kombinovanje ili selekcionog makrodiverziti i selekcionog mikrodiverziti kola za kombinovanje, predložena je nova tehnika kombinovanja koja se sastoji od prekidačkog makrodiverziti kola za kombinovanje i dva selekciona mikrodiverziti kola za kombinovanje. Ovakav model je predložen iz razloga što je jednostavniji za praktičnu realizaciju, a i poznato je da SC i SSC imaju čestu praktičnu primenu u bežičnim telekomunikacionim sistemima. Razmatrani su slučajevi kada je na ulazu u mikrodiverziti prijemnik prisutan Nakagami- m feding i k - μ feding. U ovom poglavlju doktorske disertacije određena je funkcija gustine verovatnoće, funkcija raspodele verovatnoće, karakteristična funkcija i momenti obvojnice signala na izlazu iz makrodiverziti prekidačkog kola za kombinovanje. Od statističkih karakteristika drugog reda signala, u ovom poglavlju određen je srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz makrodiverziti prekidačkog prijemnika, a dobijeni rezultati su grafički predstavljeni i analizirani u zavisnosti od različitih parametara fedinga. Srednje vreme trajanje prekida veze određeno je kao količnik verovatnoće prekida i srednjeg broja osnih preseka, koji takođe predstavlja značajnu performansu sistema.

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

Komisija ističe sledeće naučne doprinose:

- Značajan rezultat prilikom razmatranja performansi prijemnika, koji sadrži kolo za automatsku kontrolu učestanosti, predstavljaju novi izvedeni izrazi za srednji broj prelaza iz jednog stanja u drugo i srednje vreme trajanja do gubitka sinhronizacije u prisustvu K_g , α - μ i k - μ fedinga. Analiza je generalna i primenljiva u različitim uslovima propagacije, usled činjenice da su korišćeni opšti modeli propagacionog okruženja, koji unutar sebe, kao specijalne slučajeve, uključuju veliki broj standardnih modela propagacija (Nakagami- m , Rejljev, Rajsov i dr). Nesumnjiv doprinos obuhvata razmatranje istovremenog uticaja višepropagacionog fedinga i efekta senke. Analizirani su specijalni slučajevi i rezultati su upoređeni sa prethodno objavljenim rezultatima u literaturi.
- Prilikom razmatranja bežičnog relejnog telekomunikacionog sistema sa dve deonice, u prisustvu brzog fedinga i interferencije, razvijen je postupak za određivanje srednjeg broja osnih preseka primenom Laplasove aproksimacione formule za rešavanje jednostrukog i dvostrukog integrala. Dobijeni rezultati nisu bili objavljeni u dosadašnjoj literaturi, a i sam postupak rešavanja ovog problema je značajan.
- Značajan doprinos predstavlja razmatranje mera performansi prijemnika sa prekidačkim kombinovanjem u prisustvu opšteg η - μ propagacionog modela kada se u sistemu javlja i kanalna interferencija. Analizirana je primena digitalne diferencijalne fazne

modulacije i frekvencijske modulacije. Detaljno su upoređene verovatnoće greške pri detekciji signala u ovom sistemu za različite uslove propagacionog okruženja kada se primenjuju ove dve modulacije na predaji.

- U doktorskoj disertaciji razmatran je sistem u kome se primenjuje makrodiverziti prekidačko kombinovanje u kombinaciji sa dva mikrodiverziti kola sa selekcionim kombinovanjem. Prikazana analiza obuhvata dva slučaja: u jednom slučaju, sem sporog Gama fedinga, prisutan je i brzi Nakagami- m feding, a u drugom slučaju, kanal je takav da su prisutni spori Gama feding i brzi k - μ feding. Dobijeni su analitički i numerički rezultati za funkciju gustine verovatnoće, funkciju raspodele verovatnoće i momente obvojnice signala na izlazu složenog kola za kombinovanje, kao i srednji broj preseka nivoa obvojnice signala i verovatnoću prekida veze. Na osnovu dobijenih rezultata moguće je utvrditi uticaj parametara kanala i prijemnika na performanse sistema.

Doktorska disertacija je rezultat originalnog rada kandidata.

Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji značajni su sa stanovišta teorije bežičnih telekomunikacionih sistema. Takođe, mogu se uspešno primeniti i u praksi prilikom analize i projektovanja bežičnih sistema. Na osnovu razvijenog matematičkog aparata može se proračunati verovatnoća da kvalitet prenosa signala kroz određeni sistem padne ispod dozvoljenog nivoa za zadate parametre kanala i prijemnika. Takođe, moguće je izračunati srednju verovatnoću greške kada se na predaji primene različiti tipovi modulacije. Rezultati u vezi sa srednjim trajanjem fedinga i učestanosti sa kojom obvojnica signala preseca određeni nivo, sami za sebe imaju veliki značaj, ali mogu se koristiti dalje za projektovanje interlivera, čija je uloga da se razbiju paketi grešaka u kanalu sa fedingom. Takođe, ovi rezultati su polazni osnov za projektovanje zaštitnih blok kodova za primenu u ovakvim kanalima.

Na osnovu dokumentacije koju je kandidat priložio administraciji Fakulteta, u kojoj je navedeno da je kandidat objavio 43 (četrdesettri) rada, članovi Komisije konstatuju da je kandidat objavio veći broj radova iz oblasti doktorske disertacije. Radovi kandidata publikovani su u časopisima i prezentovani naučnoj javnosti na konferencijama. Kandidat je publikovao svoje radove u časopisima: *Radioengineering*, *IETE Journal of Research*, *International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields*, *International Journal of Electronics Letters*, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, *Frequenz*. Radovi kandidata prezentovani su na konferencijama *TELFOR*, *ICIST*, *TELSIKS*, *ICEST*, itd.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno navedenog članovi Komisije smatraju da urađena doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Časlava Stefanovića sadrži značajne originalne naučne doprinose u proučavanju performansi bežičnih mobilnih telekomunikacionih sistema. Imajući u vidu aktuelnost problematike i postignute naučne rezultate kandidata predstavljene u doktorskoj disertaciji, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da se doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Časlava Stefanovića pod nazivom

"Statističke karakteristike prvog i drugog reda signala u bežičnom telekomunikacionom sistemu sa selekcionim kombinovanjem"

prihvati i odobri njena usmena odbrana.

Niš, 8.1.2017. godine

Članovi Komisije:



1. Dr Goran T. Đorđević, redovni profesor
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet



2. Akademik dr Gradimir V. Milovanović, redovni profesor
Srpska akademija nauka i umetnosti



3. Dr Zorica Nikolić, redovni profesor
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet



4. Dr Zoran Perić, redovni profesor
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet



5. Dr Stefan Panić, vanredni profesor
Univerzitet u Prištini sa privremenim sedištem u
Kosovskoj Mitrovici, Prirodno-matematički fakultet