

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

Примљено 09.06.2017.
0F/03-023/1F-003

**PREDMET:** Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Srđana Z. Milosavljevića.

Na IX sednici Nastavno-naučnog veća Elektronskog fakulteta u Nišu održanoj 25.05.2017. godine, imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata dipl. inž. Srđana Z. Milosavljevića, pod naslovom:

**„Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu  $\eta\text{-}\mu$  fedinga“**

u sastavu:

1. dr Dejan Milić, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu (uža naučna oblast: telekomunikacije)
2. dr Zoran Perić, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu (uža naučna oblast: telekomunikacije)
3. dr Zorica Nikolić, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu (uža naučna oblast: telekomunikacije)
4. dr Mile Petrović, redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici (uža naučna oblast: telekomunikacije)
5. dr Petar Spalević, redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici (uža naučna oblast: telekomunikacije)

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

**I Z V E Š T A J**

Doktorska disertacija pod naslovom „**Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu  $\eta\text{-}\mu$  fedinga**“, kandidata dipl. inž. Srđana Z. Milosavljevića, prezentovana je na 173 stranice formata A4. Disertacija sadrži 46 slika i jednu tabelu. Organizovana je u osam logički povezanih poglavlja: 1 – Uvod; 2 - Modelovanje anvelope signala u feding kanalima; 3 - Statističke karakteristike  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive; 4 - Analiza performansi diverziteta prijema signala u  $\eta\text{-}\mu$  feding okruženju primenom transformacije  $\eta\text{-}\mu$  slučajnih promenljivih; 5 - Statistika drugog reda  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive; 6 - Primena diverziteta tehnike za smanjenje uticaja  $\eta\text{-}\mu$  fedinga; 7 - Primena makrodiverziteta sistema za poboljšanje performansi signala u  $\eta\text{-}\mu$  feding okruženju; 8 – Zaključak. Pored naslovne strane na srpskom i engleskom jeziku i sadržaja, dat je i sažetak na srpskom i engleskom jeziku i spisak slika. Na samom kraju disertacije predstavljen je spisak korišćene literature koji sadrži 102 bibliografske jedinice koje obuhvataju najznačajnije knjige i naučne radove iz oblasti koje obrađuje doktorska disertacija, kao i biografija kandidata.

U ovoj disertaciji analizirane su metode za poboljšanje performansi bežičnog telekomunikacionog sistema pri prenosu signala u bežičnom medijumu atmosfere u prisustvu  $\eta\text{-}\mu$  fedinga. Modelovanje uticaja fedinga je izvršeno pomoću  $\eta\text{-}\mu$  raspodele, jer ovaj generalni model raspodele unutar sebe, kao specijalne slučajeve uključuje veliki broj modela raspodela slučajnih procesa, pa dato razmatranje ima veliki nivo generalnosti i primenjivosti.

U prvom uvodnom delu doktorske disertacije istaknut je značaj obrađene teme i predstavljena je organizacija disertacije.

Anvelopa signala u kanalu predstavlja slučajni proces. Postoje različiti matematički modeli za modelovanje tog slučajnog procesa. U drugom delu disertacije predstavljeni su najčešće korišćeni modeli, naznačeno je u kojim slučajevima se koriste pomenuti modeli i istaknute su prednosti i nedostaci pojedinih modela za određene propagacione scenarije.

Značajan doprinos disertacije predstavljuju izrazi izvedeni u trećem i četvrtom delu disertacije. Razmatrane su razne transformacije dve i tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Na osnovu dobijenih izraza izvršena je analiza performansi telekomunikacionog sistema u  $\eta\text{-}\mu$  feding okruženju. Najpre su analizirane performanse prenosa signala u kanalu sa  $\eta\text{-}\mu$  fedingom bez primene diverziteta tehnike. Procene performansi signala izvršene su na osnovu standardnih mera performansi signala kao što su verovatnoća otkaza (OP), srednja verovatnoća greške po bitu (ABER) za posmatrani modulacioni format prenosa i kapacitet signala. Grafički su predstavljeni dobijeni rezultati. Na osnovu dobijenih grafika za srednju verovatnoću greške po bitu za različite modulacione formate u odnosu na vrednosti parametara sistema vidljivo je da se bolje performanse sistema dobijaju u oblasti većih vrednosti parametra  $\mu$  i manjim vrednostima parametra  $\eta$ , zato što je u takvim slučajevima signal izložen manjem uticaju fedinga.

Odnos anvelope korisnog signala i interferencije kada je interferencija dominantna smetnja u odnosu na Gausov šum je važan parametar bežičnog telekomunikacionog sistema. Iz tog razloga je analizirana slučajna promenljiva koja je jednaka količniku dve  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive i određena je gustina verovatnoće ovako dobijene slučajne promenljive. Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji mogu se primeniti za određivanje verovatnoće greške, verovatnoće otkaza i kapaciteta kanala bežičnog telekomunikacionog sistema koji radi preko  $\eta\text{-}\mu$  feding kanala u prisustvu međukanalne interferencije korumpirane  $\eta\text{-}\mu$  fedingom.

Na osnovu rezultata transformacija slučajnih promenljivih iz trećeg i četvrtog poglavљa grafički su predstavljene gustine verovatnoće maksimuma dve i maksimuma tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Ovi slučajevi odgovaraju prijemu signala uz upotrebu diverziteta tehnike selektivnog kombinovanja (SC – Selection Combining) signala sa dve i tri grane. U tom slučaju SC prijemnik odabira i na izlaz vodi onu prijemnu granu koja ima najveću vrednost signala. Pored maksimuma razmatran je zbir dve i zbir tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Za ove slučajne promenljive izvedeni su izrazi za gustinu verovatnoće. Navedeni slučajevi odgovaraju prijemu signala uz upotrebu EGC diverziteta tehnike kombinovanja (EGC – Equal Gain Combining) signala sa dve, odnosno tri grane, jer EGC prijemnik sabira prijemni signal sa svih grana i vodi ga na izlaz. Na osnovu izraza za gustinu verovatnoće maksimuma dve, maksimuma tri i zbiru dve i zbiru tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive izvršena je analiza ABER pri SC i EGC kombinovanju na prijemu za različite modulacione formate.

Takođe, razmatrane su i slučajne promenljive koje su jednake zbiru kvadrata dve  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive i zbiru kvadrata tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive i za njih je određena gustina verovatnoće. Dobijeni rezultati se mogu upotrebiti u analizi performansi bežičnog telekomunikacionog sistema koji koristi diverzitet tehniku sa MRC kombinerom (Maximal Ratio Combining) za smanjenje uticaja fedinga na performanse sistema. Predstavljene su i slučajne promenljive koje su jednake proizvodu dve i proizvodu tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Dobijena gustina verovatnoće proizvoda tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive može se upotrebiti u analizi performansi prijemnika na koji uticaj imaju tri brza fedinga pri čemu je ekvivalenta

amplituda jednaka proizvodu tri  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Svaka od ove tri slučajne promenljive modelira po jedana  $\eta\text{-}\mu$  brzi feding.

U petom delu disertacije izvršena je analiza statističkih karakteristika drugog reda  $\eta\text{-}\mu$  slučajnog procesa i slučajnih procesa koji predstavljaju različite varijante  $\eta\text{-}\mu$  slučajnog procesa. U statističke karakteristike drugog reda spadaju srednji broj osnih preseka, srednje vreme trajanja otkaza i združena gustina verovatnoće envelope signala i prvog izvoda envelope signala. Srednji broj osnih preseka signala jednak je srednjoj vrednosti prvog izvoda slučajnog procesa po vremenu kojim se opisuje envelope signala. Poznavanje srednjeg broja osnih preseka može da se upotrebi za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza sistema. Srednje vreme trajanja otkaza je bitna karakteristika drugog reda i određuje se kao količnik verovatnoće otkaza i srednjeg broja osnih preseka. Združenu gustinu verovatnoće envelope signala i prvog izvoda signala određujemo transformacijom slučajnih promenljivih. U ovoj glavi razmatrana je združena gustina verovatnoće  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive i prvog izvoda ove promenljive. Određen je i srednji broj osnih preseka  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive. Transformacijom  $\eta\text{-}\mu$  slučajne promenljive formirane su nove slučajne promenljive i za iste je određen srednji broj osnih preseka. Predstavljeni su izrazi za srednji broj osnih preseka slučajnih promenljivih višeg reda. Dobijeni izrazi mogu poslužiti za određivanje srednjeg vremena trajanja otkaza telekomunikacionih sistema u prisustvu  $\eta\text{-}\mu$  fedinga i predstavljaju odličnu osnovu za dalju analizu performansi bežičnog prenosa u  $\eta\text{-}\mu$  feding okruženju. Poznavanje ovih veličina pruža dodatnu informaciju koja kada se kombinuje sa drugim statističkim podacima omogućava projektantima da naprave racionalna rešenja sistema.

U šestom delu disertacije analizirani su bežični telekomunikacioni sistemi čiji prijemnici koriste diverziti tehniku kako bi se smanjio uticaj  $\eta\text{-}\mu$  fedinga na performanse sistema. Korišćena diverziti tehnika je prostorna. Korisni signali se primaju na antenama, envelope ovih signala se kombinuju i odlučivanje se vrši na osnovu signala na izlazu iz kombinera. Analiza performansi sistema određena je za slučaj MRC i SC kombinovanja. MRC kombiner daje najbolje rezultate ali je komplikovan za realizaciju iz razloga što je potrebno signale na ulazima dovesti u fazu i izvršiti procenu parametara sistema. Kvadrat signala na izlazu iz MRC kombinera jednak je zbiru kvadrata signala na njegovim ulazima. Kod SC kombinera signal na izlazu jednak je onom signalu sa njegovih ulaza koji je najveći. Glavna prednost ovakvih prijemnika je smanjena kompleksnost u odnosu na druge poznate diverziti tehnike. Izračunate su karakteristike signala na izlazu iz MRC i SC kombinera na čijim se ulazima pojavljuje  $\eta\text{-}\mu$  feding. Posmatrani su SC diverziti kombinieri koji imaju dva i MRC kombinieri koji imaju više ulaza. Da bi se analizirale karakteristike ovih sistema potrebno je odrediti gustinu verovatnoće signala, kumulativnu verovatnoću, verovatnoću otkaza bežičnog sistema, kapacitet kanala, srednju verovatnoća greške po bitu i  $n$ -ti moment signala na izlazu iz kombinera. Kada znamo  $n$ -ti moment možemo izračunati srednju vrednost signala, srednju kvadratnu vrednost signala i varijansu signala na izlazu iz kombinera. Takođe, razmatrana je i združena gustina verovatnoće signala na izlazu iz kombinera i njegovog prvog izvoda i srednji broj osnih preseka signala na izlazu iz kombinera na osnovu koga se može odrediti srednje vreme trajanja otkaza sistema.

Na osnovu predstavljenih grafičkih rezultata za slučaj upotrebe SC diverziti tehnike kombinovanja na prijemu i poređenjem sa slučajevima prijema bez upotrebe diverziti tehnika pokazano je poboljšanje standardnih mera performansi bežičnih telekomunikacionih sistema. Sa grafikona je vidljivo da se pri istom dometu veze dobijaju bolje performanse sistema izražene kroz manju verovatnoću otkaza i manju srednju verovatnoću greške po bitu pri prenosu signala različitim modulacionim formatima. Srednja verovatnoća greške po bitu analizirana je za neke koherentne i nekoherentne modulacione formate. Na osnovu prezentovanih rezultata zaključujemo da se primenom diverziti tehnika pri bežičnom prenosu ostvaruje očigledno smanjenje uticaja  $\eta\text{-}\mu$  fedinga na performanse sistema. U ovom delu je

razmatran i bežični telekomunikacioni prijemnik u prisustvu korisnog signala, interferencije i  $\eta$ - $\mu$  brzog fedinga. Odredene su statističke karakteristike odnosa anvelope korisnog signala i interferencije.

U sedmoj glavi razmatran je makrodiverziti sistem koji se koristi da se smanji uticaj nezavisnog  $\eta$ - $\mu$  fedinga i sporog korelisanog Gama fedinga na performanse sistema. Makrodiverziti sistem sadrži dva mikrodiverziti kombinera. Mikrodiverziti kombineri su MRC, a makrodiverziti kombiner je selektivan - SC. Na ulazima u mikrodiverziti kombiner prisutan je brzi  $\eta$ - $\mu$  feding, a na ulazima makrodiverziti sistema prisutan je nezavisani Gama feding. Mikrodiverziti kombineri se koriste da se smanji uticaj  $\eta$ - $\mu$  fedinga na performanse sistema, a makrodiverziti sistem se koristi da se smanji uticaj sporog Gama fedinga na performanse sistema. Za ovako modelovan makrodiverziti sistem određena je gustina verovatnoće, kumulativna verovatnoća, karakteristična funkcija i momenti signala na izlazu iz makrodiverziti kombinera. Na osnovu  $n$ -tog momenta određena je srednja vrednost signala, srednja kvadratna vrednost signala i varijansa signala na izlazu iz kombinera. Signal na izlazu iz makrodiverziti kombinera jednak je signalu na izlazu iz prvog mikrodiverziti kombinera ako je snaga signala na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner veća od snage signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Signal na izlazu iz makrodiverziti kombinera jednak je signalu sa izlaza drugog mikrodiverziti kombinera ako je korisni signal na ulazima u prvi mikrodiverziti kombiner manji od korisnog signala na ulazima u drugi mikrodiverziti kombiner. Analizirani su i verovatnoća otkaza, verovatnoća greške i kapacitet kanala makrodiverziti sistema. Određen je i srednji broj osnih preseka na izlazu iz makrodiverziti kombinera.

Na kraju disertacije dat je zaključak u kome je predstavljen kratak pregled najbitnijih sadržaja i rezultata koji su opisani u ovoj disertaciji.

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  $\eta$ - $\mu$  raspodele, koja unutar sebe, kao specijalne slučajevе sadrži veliki broj poznatih modela propagacije signala (Rejljev, Rajsov, Nakagami- $m$  i dr.);
- Analitički izrazi za različite pokazatelje performansi sistema predstavljeni u doktorskoj disertaciji imaju nesporan značaj kako sa teorijskog tako i sa praktičnog stanovišta. Koristeći analitičke izraze koji su predstavljeni u disertaciji mogu se simulirati različiti sistemi u različitim okruženjima što projektantima omogućava da za željene performanse sistema naprave racionalna sistematska rešenja;
- Primenom diverziti tehnika smanjuje se uticaj fedinga i efekta senke na performanse mobilnih digitalnih telekomunikacionih sistema, što znači da se za istu verovatnoću greške, isti domet veze i istu snagu smetnji smanjuje snaga korisnog signala pri prenosu, odnosno za istu snagu korisnog signala, istu verovatnoću greške i isti nivo smetnji može se povećati domet veze;
- Na osnovu predstavljenih rezultata promene srednje verovatnoće greške po bitu signala za različite digitalne modulacione formate (CPSK, CFSK, BDPSK i BFSK) dat je prikaz uticaja parametara prenosa i odabrane modulacije na kvalitet prenosa;
- Dobijeni rezultati omogućavaju da se odredi vrsta modulacije koja omogućava najmanju verovatnoću greške za odgovarajuću diverziti tehniku.

Kandidat je objavio četiri rada iz oblasti bežičnih telekomunikacionih sistema u časopisima sa impakt faktorom kao i veći broj radova saopštenih na međunarodnim i nacionalnim konferencijama koji su štampani u odgovarajućim zbornicima radova.

## Z A K Lj U Č A K

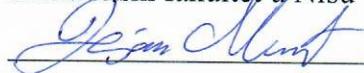
Na osnovu prethodno navedenog, Komisija smatra da urađena doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Srđana Z. Milosavljevića pod naslovom „**Performanse bežičnog telekomunikacionog sistema u prisustvu  $\eta$ - $\mu$  fedinga**“ sadrži niz originalnih naučnih doprinosu u oblasti proučavanja performansi bežičnih telekomunikacionih sistema i mogućnosti njihovog poboljšanja primenom diverziteta tehnika. Prikazani rezultati istraživanja predstavljaju značajan doprinos u analizi i postupku procene performansi ovakvih sistema u uslovima izraženih propagacionih efekta i interferencije.

Imajući u vidu aktuelnost i značaj obradene teme, kao i ostvarene naučne rezultate kandidata, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da se doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Srđana Z. Milosavljevića prihvati i da se odobri javna usmena odbrana ove disertacije.

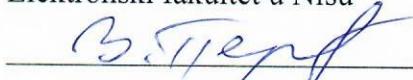
U Nišu, 05.06.2017. godine

Članovi Komisije:

1. dr Dejan Milić, redovni profesor  
Elektronski fakultet u Nišu



2. dr Zoran Perić, redovni profesor  
Elektronski fakultet u Nišu



3. dr Zorica Nikolić, redovni profesor  
Elektronski fakultet u Nišu



4. dr Mile Petrović, redovni profesor  
Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici



5. dr Petar Spalević, redovni profesor  
Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici

