

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73
18000 Ниш · Србија
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399
E-mail: einfo@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: einfo@elfak.ni.ac.rs
http://www.elfak.ni.ac.rs

ДЕКАН
10.07.2012.

ОБАВЕШТЕЊЕ
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата *дипл. инж. Бојане Николић* под насловом «Утицај несавршене екстракције референтног носиоца на перформансе диверзити пријемника дигитално фазно модулисаних сигнала у каналу са федингом» и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације налазе се у Библиотеци Електронског факултета у Нишу и могу се погледати до **26.07.2012. године**.

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

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан



Проф. др Драган Антић

Примљено	09.07.12.
Број	
07/03-026/12-002	

NASTAVNO-NAUČNO VEĆE ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije pod naslovom "Uticaj nesavršene ekstrakcije referentnog nosioca na performanse diverziti prijemnika digitalno fazno modulisanih signala u kanalu sa fedingom" kandidata dipl. inž. Bojane Z. Nikolić

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektronskog fakulteta u Nišu, održanoj 28.06.2012. godine, odlukom broj: 07/03-026/12-002, imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije pod naslovom "Uticaj nesavršene ekstrakcije referentnog nosioca na performanse diverziti prijemnika digitalno fazno modulisanih signala u kanalu sa fedingom" kandidata dipl. inž. Bojane Z. Nikolić, asistenta Elektronskog fakulteta u Nišu, u sastavu:

1. Dr Goran T. Đorđević, vanredni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu;
2. Dr Mihajlo Č. Stefanović, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu;
3. Dr Slavoljub R. Aleksić, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu;
3. Dr Zoran H. Perić, redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu;
5. Dr Ivo M. Kostić, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici.

Posle pregleda navedene doktorske disertacije, članovi Komisije podnose Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu sledeći

IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija dipl. inž. Bojane Z. Nikolić pod naslovom "Uticaj nesavršene ekstrakcije referentnog nosioca na performanse diverziti prijemnika digitalno fazno modulisanih signala u kanalu sa fedingom", izložena je na 206 strana formata A4. Pisana je latinicom, korišćenjem proreda 1.5. Pored spiska korišćenih skraćenica, sadržaja, uvoda, zaključka, spiska korišćene literature, sažetka i biografije kandidata, disertacija sadrži šest poglavlja: 1) Teorijska osnova; 2) Performanse jednokanalnih sistema pri neidealnoj ekstrakciji referentnog nosioca; 3) Performanse diverziti sistema koji koriste SC i SSC kombinovanje pri neidealnoj ekstrakciji referentnog nosioca; 4) Performanse diverziti sistema koji koriste EGC i MRC kombinovanje pri neidealnom kofaziranju; 5) Uticaj interference na performanse diverziti sistema; 6) Modifikacija EGC diverziti prijemnika QPSK signala u cilju poboljšanja performansi u prisustvu frekvencijskog ofseta nosioca.

Osnovni cilj ove doktorske disertacije bio je da se razviju novi analitički, simulacioni i eksperimentalni metodi za procenu uticaja neidealne ekstrakcije referentnog nosioca na verovatnoću greške pri detekciji digitalno fazno modulisanih (PSK – *Phase-Shift Keying*) signala u bežičnim telekomunikacionim sistemima. Sem neidealne ekstrakcije referentnog nosioca, razmatrani su uticaji dubine *multipath* fedinga i inteziteta efekta senke, nebalansiranosti i prostorne korelacije anvelopa fedinga u granama višeantenskog prijemnika, kanalne interferencije, kao i frekvencijskog pomeraja nosioca. Dobijeni su numerički rezultati koji nisu bili dostupni u literaturi, a koji mogu biti od koristi pri projektovanju i eksploataciji bežičnih telekomunikacionih sistema.

U prvom poglavlju izložen je teorijski osnov neophodan za praćenje materije izložene u disertaciji. U prvom odeljku je dat opis modulacionih tehnika koje se koriste u bežičnim sistemima. U drugom odeljku je dat pregled modela fedinga, i to: Rayleigh-ev, Rice-ov, Nakagami-m, Hoyt-ov, Weibull-ov, α - μ i η - μ . Objasnjene su efekte senke i model kompozitnog

fedinga. Pažnja je posvećena višeantenskim prijemnicima koji se koriste u cilju smanjenja uticaja fedinga i dat je opis najčešće korišćenih tehnika kombinovanja, kao što su: selekciono kombinovanje (*Selection Combining* - SC), prekidačko kombinovanje (*Switch-and-Stay Combining* - SSC), metod kombinovanja kod koga se vrši izjednačavanje faza signala u svim granama i naknadno sabiranje signala iz svih grana (*Equal Gain Combining* - EGC) i metod kombinovanja kod koga se vrši izjednačavanje faza, veće vrednovanje grana gde je srednja snaga signala veća i naknadno sabiranje signala iz svih grana (*Maximum Ratio Combining* - MRC). Jedan odeljak u ovom poglavlju je posvećen ekstrakciji referentnog nosioca, koji je neophodan pri koherentnoj detekciji signala, gde su objašnjeni razlozi neidealne ekstrakcije i uvedeni matematički modeli koji opisuju razliku između faza primljenog i ekstrahovanog signala. Ova fazna greška je slučajni proces čije trenutne vrednosti imaju Tihonovljevu funkciju gustine verovatnoće. Definisane su osnovne mere performansi sistema, kao što su: odnos trenutnih snaga signala i šuma, verovatnoća prekida veze i verovatnoća greške.

Drugo poglavlje je posvećeno proceni uticaja neidealne ekstrakcije referentnog nosioca na performanse jednokanalnih sistema koji su izloženi uticaju fedinga. Obuhvaćeni su slučajevi kada se ekstrakcija referentnog nosioca vrši iz pilot signala i iz primljenog modulisanog signala. Kada je reč o ekstrakciji referentnog nosioca iz pilot signala, analiza je urađena za slučaj kada je u kanalu prisutan Hoyt-ov feding. Izveden je analitički izraz za verovatnoću greške po simbolu kada se prenose MPSK (M je broj faznih nivoa) signali. Ovi analitički izrazi su dati u obliku beskonačnog reda, koji vrlo brzo konvergira. Uspostvaljena je veza između odnosa srednjih snaga signala i šuma u kanalu, dubine fedinga, reda modulacione tehnike i standardne devijacije fazne greške. Zatim su izvedeni izrazi za određivanje verovatnoće greške pri detekciji BPSK (*Binary PSK*) i QPSK (*Quaternary PSK*) signala u kanalima sa Hoyt-ovim i kompozitnim generalizovanim K (K_G) fedingom. U slučaju kompozitnog fedinga izvedeni izrazi omogućavaju da se odredi neophodna vrednost odnosa srednjih snaga signala i šuma iz uzlova da se dostigne specificirana vrednost verovatnoće greške po bitu za zadate vrednosti standardne devijacije fazne greške, dubine višepropagacionog fedinga i inteziteta efekta senke. Rezultati pokazuju da neidealna ekstrakcija referentnog nosioca prouzrokuje pojavu neotklonjive verovatnoće greške koja zavisi od reda modulacije. Drugi odeljak ovog poglavlja je posvećen određivanju verovatnoće greške po bitu pri detekciji BPSK i QPSK signala kada se ekstrakcija referentnog nosioca vrši iz primljenog modulisanog signala. Analiza je urađena za slučaj Rice-ovog, η - μ i kompozitnog K_G fedinga. Izvedeni analitički izrazi povezuju, sa jedne strane, vrednost verovatnoće greške, i, sa druge strane, uslove u kanalu, brzinu prenosa informacija i širinu filtra fazne petlje. Utvrđen je uticaj proizvoda širine propusnog opsega filtra fazne petlje i trajanja bita na verovatnoću greške za različite vrednosti odnosa srednjih snaga signala i šuma, kao i dubine fedinga. Prikazane su vrednosti odnosa srednjih snaga signala i šuma u kanalu potrebne za postizanje unapred zadate verovatnoće greške, za određenu vrednost proizvoda širine propusnog opsega filtra fazne petlje i trajanja jednog bita i za različite dubine fedinga. Ovo je značajno prilikom projektovanja telekomunikacionih sistema, jer se na osnovu uslova u propagacionom okruženju i karakteristika kola za ekstrakciju referentnog nosioca u prijemniku, može odrediti minimalna neophodna vrednost odnosa srednjih snaga signala i šuma na ulazu prijemnika. U trećem odeljku ovog poglavlja izvršena je analiza uticaja neidealne ekstrakcije referentnog nosioca na verovatnoću greške pri detekciji BPSK i QPSK signala kada odnos snaga signala i šuma u kolu fazne petlje linearno zavisi od odnosa snaga signala i šuma u kanalu. Za slučaj η - μ fedinga izvedeni su novi analitički izrazi za određivanje verovatnoće greške po bitu pri detekciji BPSK i QPSK signala. Rezultati su dati u obliku jednostrukih suma koje vrlo brzo konvergiraju.

Treće poglavlje je posvećeno određivanju performansi diverziteti sistema sa selekcionim i prekidačkim kombinovanjem pri neidealnoj ekstrakciji referentnog nosioca. Selekciono i prekidačko kombinovanje su najjednostavnija za praktičnu realizaciju i u dosadašnjoj literaturi su razmatrani, kako u kombinaciji sa nekoherentnim, tako i sa koherentnim modulacionim tehnikama. Analiziran je slučaj kada se ekstrakcija referentnog nosioca vrši iz pilot signala, a kanal je izložen uticaju α - μ i K_G fedinga, kao i slučaj kada se ekstrakcija referentnog nosioca

vrši iz primljenog modulisanog signala, a kanal je izložen uticaju α - μ , Hoyt-ovog i K_G fedinga. Određen je uticaj standardne devijacije fazne greške ili proizvoda propusnog opsega filtra petlje i trajanja jednog bita u kombinaciji sa dubinom fedinga i snagom signala na vrednosti verovatnoće greške. Pažnja je posvećena određivanju uticaja broja prijemnih antena SC prijemnika i izboru vrednosti praga SSC prijemnika na verovatnoću greške u kombinaciji sa napred pomenutim uticajima. Rezultati ilustruju da vrednost praga prekidačkog prijemnika može značajno da utiče na vrednost verovatnoće greške, čak i za više od jednog reda veličine. Položaj optimalnog praga zavisi kako od stanja u kanalu, tako i od vrednosti standardne devijacije fazne greške odnosno od proizvoda širine propusnog opsega filtra fazne petlje i trajanja jednog bita. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da povećanje proizvoda širine propusnog opsega filtra fazne petlje i trajanja jednog bita deset puta, može da prouzrokuje pogoršanje performansi za više od jednog decibela odnosa srednjih snaga signala i šuma u kanalu.

U četvrtom poglavlju analizirane su performanse diverziti prijemnika sa MR i EG kombinovanjem, pri čemu su grane prijemnika nebalansirane, postoji korelacija između primljenih signala u različitim granama prijemnika i kofaziranje nije idealno. Bez obzira na to što izjednačavanje faza u različitim granama prijemnika ne može biti idealno, u radovima koji su u vezi sa EGC i MRC prijemnicima obično se uvodi pretpostavka o savršenom kofaziranju u cilju pojednostavljenja matematičke analize. Jedino je u nekoliko postojećih radova, u kojima je posmatran prenos signala kroz kanale sa Rayleigh-evim i Nakagami- m *multipath* fedingom, uzet u obzir uticaj neidealnog kofaziranja. U praksi propagacioni putevi svih grana nisu identični, a i elektronske komponente u različitim granama prijemnika nisu savršene, tako da odnosi srednjih snaga signala i šuma u različitim granama prijemnika nisu isti, tj. postoji debalansiranost grana prijemnika. Takođe, zbog malih dimenzija mobilnog terminala moguće je da postoji korelacija između anvelopa fedinga u različitim granama prijemnika. S obzirom na ovo, postojao je praktični interes da se razmotre uticaji nebalansiranosti grana prijemnika i korelacije između grana, u kombinaciji sa nesavršenom ekstrakcijom referentnog nosioca, na performanse sistema pri prenosu digitalno fazno modulisanih signala. Analizirani su MRC i EGC prijemnici BPSK i QPSK signala koji se prostiru kroz kanal sa Weibull-ovim fedingom. Rezultati su dobijeni primenom numeričke integracije i potvrđeni Monte Carlo simulacijama. Ustanovljeno je da parametar nebalansiranosti u značajnoj meri utiče na vrednosti verovatnoće greške pri malim i srednjim vrednostima odnosa srednjih snaga signala i šuma. U oblasti velikih vrednosti odnosa srednjih snaga signala i šuma uticaj debalansiranosti je minoran pri čemu je vrednost verovatnoće greške pre svega određena standardnom devijacijom fazne greške.

S obzirom na činjenicu da je kanalna interferencija još jedan od negativnih uticaja koji dodatno pogoršavaju performanse bežičnih telekomunikacionih sistema, u petom poglavlju je ispitan njen uticaj na performanse mikro- i makro-diverziti prijemnika. Najpre su izvedeni analitički izrazi u zatvorenom obliku za određivanje verovatnoće prekida veze u sistemu u kome su prisutni korisni signal i interferencija, i gde se koristi selekciono kombinovanje na prijemu, a u kanalu je prisutan feding koji je modelovan pomoću α - μ ili generalizovane K raspodele, pri čemu je uzeta u obzir korelacija između grana selekcionog diverziti prijemnika. Zatim je analiziran uticaj pojedinih parametara na performanse sistema. Takođe su analizirane performanse mikro-diverziti prijema, koji koristi kombinovanje pomoću produktnog detektora sa post detekcijom, i makro-diverziti prijemnika sa selekcionim kombinovanjem, pri čemu je u kanalu prisutan generalizovani K feding. Potvrđeno je da je istovremeno korišćenje mikro- i makro-diverzita opravdano, s obzirom na značajno poboljšanje performansi u odnosu na slučaj kada mikro-diverzita nema.

Pošto frekventijski pomeraj nosioca može da dovede do povećanja verovatnoće greške u mobilnim telekomunikacionim sistemima, u šestom poglavlju je predložena nova modifikacija EGC prijemnika QPSK signala, koja ima bolje performanse od klasičnog EGC prijemnika. Primenom Monte Carlo simulacija izvršena je komparativna analiza modifikovanog i osnovnog modela EGC prijemnika u prisustvu frekventijskog pomeraja nosioca u kanalu sa Gausovim šumom, kao i u kanalu sa Rice-ovim fedingom. Optimalnim izborom parametara predloženog

modifikovanog EGC prijemnika dolazi do višestrukog proširenja frekvencijskih ofseta nosioca u čijem prisustvu performanse prijema imaju vrednosti koje su vrlo bliske vrednostima za slučaj primene samo PLL (*Phase-Locked Loop*) kola, a da pri tome nema frekvencijskog ofseta. Funkcionalnost novopredloženog prijemnika i njegove performanse su verifikovani na sistemu zasnovanom na upotrebi USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) hardvera. Postignuto je zadovoljavajuće poklapanje simulacionih i eksperimentalnih rezultata. Eksperimentom je potvrđena prednost optimizacije parametara modifikovanog EGC prijemnika koji, u konkretnom primeru, dopušta više od 7 puta veći frekvencijski ofset a da pri tome performanse ostaju veoma bliske onim koje se dobijaju korišćenjem samo PLL bloka u idealnim uslovima kada nema frekvencijskog ofseta.

U Zaključku je dat pregled onoga što je urađeno u disertaciji.

Posle Zaključka, dati su spisak korišćene literature od 122 bibliografske jedinice, sažetak doktorske disertacije na srpskom i engleskom jeziku, biografija i spisak objavljenih radova kandidata. Kandidat je u svom naučnoistraživačkom radu objavio ukupno 40 radova, od kojih su 6 objavljeni u časopisima sa SCI liste, tri su objavljena u časopisima koji nisu na SCI listi, 17 su saopšteni na međunarodnim i 14 na domaćim konferencijama.

Na osnovu napred navedenog, osnovni doprinosi doktorske disertaciji se mogu formulisati na sledeći način:

1) Razvijeni su novi numerički metodi za procenu uticaja neidealne ekstrakcije referentnog nosioca na verovatnoću greške pri detekciji PSK signala koji se prostiru kroz kanale sa *multipath* fadingom, kao i kroz kanale, u kojima sem *multipath* fadinga, postoji i uticaj *shadowinga*. Proučavani su, kako jednokanalni, tako i sistemi u kojima se koristi prostorni diverziteti na prijemu.

2) U slučaju kada se ekstrakcija referentnog nosioca vrši iz pilot signala proračunata je potrebna vrednost standardne devijacije faznog šuma iz uslova da prethodno zadata verovatnoća greške po bitu ne bude premašena pri datom odnosu srednjih snaga signala i šuma u kanalu i za date vrednosti dubine *multipath* fadinga i intenziteta efekta senke. Ovi rezultati omogućavaju da se izvrši optimizacija kola za procenu faze primljenog signala tako da ova proračunata vrednost standardne devijacije ne bude premašena.

3) U slučaju kada se ekstrakcija vrši iz primljenog modulisanog signala, uticaj fadinga je bio uzet u obzir, kako u kolu za detekciju, tako i u kolu za ekstrakciju referentnog nosioca. Uspostavljena je veza između verovatnoće greške, odnosa srednjih snaga signala i šuma, širine propusnog opsega fazne petlje, bitske brzine, dubine *multipath* fadinga i intenziteta efekta senke.

4) Dobijeni numerički rezultati omogućavaju da se nađe kompromis između složenosti prijemnika (reda diverziteti prijemnika) i kvaliteta prenosa signala (vrednosti verovatnoće greške) kada je prisutan efekat neidealne procene faze referentnog nosioca.

5) Rezultati dobijeni prethodno pomenutim primenjenim numeričkim metodima za procenu verovatnoće greške potvrđeni su Monte Carlo simulacijama.

6) Predložen je modifikovani EGC prijemnik koji poboljšava performanse prijema u uslovima postojanja frekvencijskog ofseta nosioca. Funkcionalnost novopredloženog prijemnika, kao i njegove karakteristike, eksperimentalno su verifikovane na sistemu zasnovanom na upotrebi USRP hardvera. Takođe je eksperimentom potvrđeno da modifikovani EGC prijemnik dopušta više od 7 puta veći frekvencijski ofset u odnosu na klasični, a da pri tome performanse ostaju veoma bliske onim koje se dobijaju u uslovima kada nema frekvencijskog ofseta.

7) Razvijeni analitički, simulacioni i eksperimentalni metodi biće od koristi prilikom projektovanja, kao i pri eksploataciji mobilnih telekomunikacionih sistema, jer omogućavaju da se za različite vrednosti parametara prenosnog kanala i parametara prijemnika, efikasno proračuna vrednost verovatnoće greške.

Zaključak

Na osnovu izvršenog uvida u doktorsku disertaciju dipl. inž. Bojane Nikolić, članovi Komisije smatraju da disertacija sadrži originalne naučne doprinose u proučavanju bežičnih telekomunikacionih sistema i poboljšanju njihovih performansi. Rezultati istraživanja su od značaja, kako sa naučnog stanovišta, tako i sa stanovišta mogućnosti praktične primene. Deo prikazanih rezultata je već publikovan u okviru šest radova objavljenih u časopisima sa SCI liste, pri čemu je kandidat prvotopisani autor pet radova, kao i u većem broju radova objavljenih u drugim časopisima i saopštenih na međunarodnim i domaćim konferencijama.

Imajući u vidu značaj obrađene problematike i ostvarene naučne rezultate, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da se doktorska disertacija dipl. inž. Bojane Z. Nikolić pod naslovom "Uticaj nesavršene ekstrakcije referentnog nosioca na performanse diverziti prijemnika digitalno fazno moduliranih signala u kanalu sa fadingom" prihvati i odobri njena usmena odbrana.

2.7.2012. godine

Članovi Komisije:

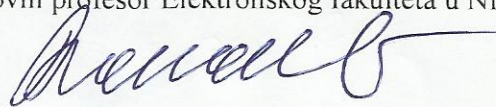
1. Dr Goran T. Đorđević,
vanredni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



2. Dr Mihajlo Č. Stefanović,
redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



3. Dr Slavoljub R. Aleksić,
redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



4. Dr Zoran H. Perić,
redovni profesor Elektronskog fakulteta u Nišu



5. Dr Ivo M. Kostić,
redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici

