

# NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu imenovalo nas je za članove Komisije za pregled i ocenu magistarskog rada kandidata **Irene Marković** pod naslovom „**Empirijska analiza i modelovanje *multipath* fedinga WCDMA propagacionog kanala**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

## IZVEŠTAJ

### 1. Biografski podaci

Irena Marković, rođena je u Kraljevu, 30. maja 1979. godine. Osnovnu školu je završila u Kraljevu, a 1994. godine upisala je prirodno-matematički smer gimnazije u Kraljevu. Maturirala je 1998. godine kao jedan od najboljih đaka svoje generacije. Studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu započela je školske 1998/99 godine. Zvanje diplomiranog inženjera elektrotehnike stiče 13. jula 2004. godine. Diplomirala je na smeru za Telekomunikacije sa prosečnom ocenom 9.19, izradom diplomskog rada na temu iz oblasti bežičnih širokopojasnih lokalnih mreža. Poslediplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Telekomunikacije, upisala je u novembru 2004. godine.

Septembra 2004. započela je stručnu saradnju sa Katedrom za Telekomunikacije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, gde je angažovana kao saradnica u nastavi i laboratorijskim vežbama iz predmeta: Telekomunikaciona elektronika, Radiotehnika i Radio sistemi. Jula 2005. god. zaposlena je u svojstvu asistentkinje pripravnice na Katedri za Telekomunikacije u kom se i sada nalazi. Značajno projektantsko iskustvo stiče kroz angažman na stručnim projektima iz oblasti komutacije saobraćaja u okviru javnih mobilnih sistema, što je rezultiralo sticanjem licence za odgovornog projektanta za projektovanje telekomunikacionih mreža i sistema Inženjerske komore Srbije, aprila 2012. godine.

Iz posebnog zanimanja za oblasti konsaltinga i strategijskog upravljanja u domenu telekomunikacija 2010. godine stiče MBA (*Master of Business and Administration*) diplomu u okviru *Cotrugli Business School* hrvatske poslovne škole, a 2012. godine završava poslediplomske studije na međunarodnom magistarskom kursu “Menadžment i poslovna ekonomija”, koji organizuju HEC visoka škola iz Pariza i Ekonomski fakultet u Beogradu.

Iz oblasti magistarske teze do sada je objavila 2 naučna rada na domaćim konferencijama TELFOR 2007 i 2011, kao i 1 naučni rad izložen na međunarodnoj konferenciji ISWCS (*Sixth IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*) 2009 pod nazivom “*Empirical Analysis of UMTS Propagation Channel (2127.6 MHz) for case of Stationary Receiver.*“

### 2. Predmet magistarskog rada

Modelovanje *multipath* radio-kanala istorijski predstavlja jedan od najzahtevnijih zadataka u dizajnu mobilnih radio sistema, i tipično se obavlja uz pomoć statističkih metoda, ali i na bazi merenja specijalno realizovanih za određeni komunikacioni sistem ili određeni deo frekvencijskog spektra. U postojećoj literaturi može se naći veliki broj predloženih modela *multipath* propagacionog kanala, kao i priloženih rezultata i statistika mernih kampanja. Savremeni trendovi razvoja mobilnih telekomunikacionih sistema podrazumevaju: sve veći broj servisa koji postavlja imperativ za znatnim povećanjem protoka, sveprisutnost mobilnih terminala (a time i šarolikost okruženja koja treba okarakterisati novim modelima kanala), inteligentne antenske sisteme i kao najatraktivnije, MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*) sisteme koji nastoje da prevaziđu ograničenja teorijskog kapaciteta kanala uz pomoć *multipath* efekta. Važan nedostatak postojećih modela često jeste odsustvo ili nedovoljno razmatranje dinamičkog

ponašanja kanala i detaljnije razmatranje karakteristika, trajanja i korelisanosti pojedinačnih *multipath* komponenti u realnim okruženjima. Savremene metode merenja i modelovanja treba da omoguće formiranje *multipath* propagacionog modela u kome bi se prevazišli nedostaci postojećih modela, a u maksimalnoj mogućoj meri sačuvala njihove dobre osobine.

U ovom radu predloženo je novo rešenje modelovanja *multipath* fedinga WCDMA širokopojasnog kanala Markovljevim modelom sa 9 stanja koji uključuje mogućnost događaja "rađanja" i/ili "umiranja" dve ili više *multipath* komponenti. Empirijska analiza i modelovanje sprovedeni su na realnom UMTS (*The Universal Mobile Telecommunications System*) sistemu u urbanoj *outdoor* gradskoj sredini. Izmereni statistički parametri širokopojasnog kanala upoređeni su sa postojećim rezultatima u literaturi. Predloženi model uspešno prevazilazi neke od nedostataka postojećih metoda, pri čemu je u osnovi zadržan koncept implementacije modela na nivou impulsnog odziva kanala. Dodatni značaj razmatrane teze je u po prvi put uvedenoj primeni modelovanja dinamike *multipath* fedinga za slučaj stacionarnog prijemnika.

### 3. Osnovni podaci o magistarskom radu

Magistarski rad kandidata Irene Marković „**Empirijska analiza i modelovanje *multipath* fedinga WCDMA propagacionog kanala**“, obuhvata 168 strana štampanog teksta sa 100 slika i 44 tabele. Listu referenci čini ukupno 46 bibliografskih jedinica. Rad je organizovan tako da sadrži uvod, pet glava, zaključak, prilog i spisak literature.

### 4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnoj glavi ukratko je sistematizovan predmet istraživanja, a objašnjeni su struktura teze i sadržaj ostalih glava.

U drugoj glavi predstavljene su osnovne karakteristike *multipath* propagacije, njenih uzroka i posledica, a dat je i pregled relevantnih statističkih parametara za predstavljanje *multipath* fenomena. Posebno je istaknut proces rađanja i umiranja *multipath* komponenti.

Treća glava najpre razmatra u opštim crtama propagacione modele radio kanala javnih mobilnih sistema: podele, osnovne karakteristike, pristupe, prednosti i nedostatke i sl. Zatim se pažnja usmerava na detaljnu teorijsku analizu postojećih modela i simulacija *multipath* radio kanala, kao i rezultata dosadašnjih mernih kampanja. Obrađene su najvažnije metode modelovanja *multipath* fedinga sa akcentom na impulsnom odzivu *multipath* kanala, kao i na vremenskoj disperziji radio kanala. U skladu sa ciljem rada, posebna pažnja posvećena je savremenim principima modelovanja dinamike rađanja i umiranja *multipath* komponenti u okviru impulsnih odziva radio kanala. Konačno, istaknuti su modeli koji će predstavljati komparativnu bazu empirijske analize razmatrane teze i njenih konačnih rezultata i zaključaka.

Kako je u osnovi teze analiza modelovanja *multipath* propagacionog WCDMA kanala realne UMTS mreže, četvrto poglavlje obuhvata opis procesiranja *multipath* komponenti u okviru prijemnika WCDMA sistema, za slučaj kada je referentni signal čije se vremensko kašnjenje meri tzv. pilot signal, kojeg konstantno emituju svi nodovi B.

Merni sistem je predstavljen u petoj glavi, zajedno sa mernom kampanjom, mernim scenarijima i opisom načina obrade podataka. U prvom delu detaljno su opisane karakteristike korišćenog mernog sistema uz isticanje performansi primenjenog RAKE prijemnika. Dat je kratak pregled vrsta merenja realizovanih u ovom istraživanju, uz opis metodologije praćenja mernih rezultata u okviru softverskog okruženja. Istaknut je pregled mernih scenarija i njihove podele zavisno od propagacionih uslova i stanja

prijemnika, uključujući i kratak opis svake od mernih lokacija. Prilikom mernih aktivnosti, akcentat je stavljen na analizu diskretnih impulsnih odziva *multipath* komponenti WCDMA kanala.

Rezultati prikupljeni za različite scenarije merenja izloženi su u okviru poglavlja šest. U navedenom poglavlju prikazani su: merenjem zabeleženi impulsnih odzivi i njima odgovarajući statistički parametri, kao i parametri uočenih dinamičkih procesa rađanja i umiranja u koje spadaju: brzina i raspodela broja registrovanih rađanja i/ili umiranja, analiza raspodele dužine životnog veka *multipath* komponenti, uključujući i komparativnu analizu sa ranijim rezultatima. Posebno mesto u poglavlju rezultata zauzima opis novog modela za karakterizaciju dinamike rađanja i umiranja *multipath* komponenti u okviru impulsnih odziva UMTS *outdoor* propagacionog kanala, uključujući i primenu novog modela na UMTS radio kanal merne kampanje.

U poslednjoj, sedmoj glavi, izložen je zaključak. Istaknuti su osnovni doprinosi magistarske teze. Konačno, predstavljene su smernice za budući rad u ovoj oblasti.

## 5. Zaključak i predlog

Najvažniji doprinosi magistarskog rada su sledeći:

- Dat je teorijski pregled postojećih modela *multipath* fedinga propagacionog kanala, navedene su njihove prednosti i nedostaci, a zatim je izvršena komparativna analiza sa aspekta njihovog značaja u modelovanju dinamičkog ponašanja *multipath* kanala.
- Po prvi put u literaturi su utvrđeni karakteristični parametri procesa rađanja i umiranja *multipath* komponenti impulsnih odziva kanala, i to za urbanu *outdoor* sredinu UMTS sistema, razmatrajući nezavisno uslove LOS i NLOS propagacije, kao i slučajeve stacionarnog prijemnika i prijemnika u pokretu, koji su potom upoređeni sa dosadašnjim rezultatima datim u stručnoj literaturi (pretežno za *indoor* okruženja nekih drugih sistema). Potvrđeno je postojanje korelisanosti procesa rađanja i umiranja *multipath* komponenti za sve slučajeve. Posebna komparativna analiza data je za utvrđenu raspodelu trajanja *multipath* komponenti.
- U svim scenarijima merenja verifikovana je pojava višestrukih rađanja i umiranja *multipath* komponenti. Utvrđene su odgovarajuće marice verovatnoća *birth-death* stanja kojima je pokazano da se 3GPP TS 25.104 *Birth-Death* proces sa 2 stanja ne može usvojiti na slučaju UMTS urbanog propagacionog kanala sa dovoljnom tačnošću.
- Potvrđeno da je neopodno proširenje Markovljevog modela sa 4 stanja kako bi se postiglo modelovanje na nivou veće tačnosti. Dodatno su generisane odgovarajuće tranzicione matrice za postojeći dinamički model sa 4 stanja i izvršena je komparativna analiza sa ranijim rezultatima literature.
- Konačno, predložene su korekcije postojećih modela, odnosno dat je predlog novog Markovljevog modela sa 9 stanja koji bolje opisuje karakteristike UMTS propagacione sredine sa aspekta dinamike procesa rađanja i umiranja.
- Generisane su odgovarajuće usrednjene matrice *birth-death* verovatnoća koje po prvi put uvode mogućnost pojave višestrukih rađanja i umiranja (većih ili jednaki od 2) *multipath* komponenti.
- Izvršen je proračun tranzicionih matrica stanja novoformiranog modela, pri čemu je presek stanja u modelu kreiran, po prvi put u literaturi, na nivou trajanja kompletnog impulsnog odziva što olakšava koncept dizajna i simulacije sistema.

- Novi model je primenjen posebno na slučajeve LOS i NLOS propagacije, a dodatno je razdvojeno modelovanje slučaja prijemnika u pokretu i stacionarnog prijemnika. Konstatovano je da se dinamičko modelovanje može uspešno primeniti na slučajeve stacionarnog prijemnika, uprošćavanjem novoformiranog modela na model sa 8 stanja isključujući stanje sa istovremenim višestrukim rađanjem i višestrukim umiranjem (većim ili jednakim 2) *multipath* komponenti.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad **Irene Marković**, pod naslovom „**Empirijska analiza i modelovanje *multipath* fadinga WCDMA propagacionog kanala**“, prihvati kao magistarsku tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 17.05.2013.

Članovi komisije:

Prof. dr Aleksandar Nešković

Prof. dr Nataša Nešković

Prof. dr Đurađ Budimir

Prof. dr Irini Reljin