

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija za drugi stepen studija Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu imenovala nas je za članove Komisije za pregled i ocenu master rada kandidata **Ivane Marković** pod naslovom „**Analiza realno ostvarivih protoka u LTE mrežama**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Ivana Marković je rođena 1. juna 1990. godine u Čačku. Završila je Gimnaziju u Čačku. 2009. godine upisala je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirala je u septembru 2013. godine na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, smer Radio komunikacije, odbranom diplomskog rada „*Proračun kvaliteta usmerenih radio veza na relaciji ripiter-bazna stanica u UMTS mrežama*“. Tokom osnovnih studija postigla je prosečnu ocenu 9.49. Diplomске-akademske master studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Sistemsko inženjerstvo i Radio komunikacije, upisala je 2013. godine.

2. Predmet master rada

Uvođenjem nove generacije bežičnih mobilnih sistema poznate kao *Long Term Evolution* - (LTE) značajno viši protoci postaju ostvarivi zahvaljujući primeni novih tehnologija poput *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) i *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Teoretski ostvarivi maksimalni protoci koje LTE obećava su 1Gb/s na *downlink*-u i do 500Mb/s na *uplink*-u. Međutim, protoci ostvarivi u praksi razlikuju se od definisanih teoretskih vrednosti i zavisi su od mnogo faktora kao što su propagacioni uslovi, interferencija, brzina korisnika i mnogi drugi. Između faktora koji utiču na ostvarive protoke postoji određeni stepen korelacije i protok koji je dostupan krajnjem korisniku je rezultat njihovog združenog delovanja. Lista relevantnih parametara je obimna što predikciju realno ostvarivih protoka u jednoj mreži čini znatno složenom.

Parametri koji direktno utiču na protok su širina propusnog opsega, *Modulation and Coding Scheme* (MCS), kao i propagacioni uslovi u kojima se korisnik nalazi. Teoretski proračuni ostvarivih protoka ne uzimaju u obzir uslove propagacije i *signalling overhead* i ostvarivi su u laboratorijama. U praksi je važno posebnu pažnju posvetiti obezbeđivanju adekvatnih propagacionih uslova u cilju maksimizacije ostvarivih protoka u mreži. Naime, MIMO tehnologija omogućava visoke protoke, ali samo u adekvatnim propagacionim uslovima. Pokazatelji kvaliteta signala i propagacionih uslova u kojima se korisnik nalazi u LTE sistemu su: *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR), *Reference Signal Receive Power* (RSRP), *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *Reference Signal Received Quality* (RSRQ). Ovi parametri međusobno su zavisi i utiču kako na tip modulacije koji će biti primenjen, tako i na odluku da li će ili ne biti primenjena MIMO tehnologija. Promena pomenutih parametara zavisi kako od propagacionih uslova tako i od rastojanja između korisnika i *eNodeB*-a.

Analiza zavisnosti protoka od različitih propagacionih parametara od krucijalnog je značaja kako u fazi planiranja mreže, tako i u fazama optimizacije. Dodatno, neophodno je poznavati i međusobnu zavisnost relevantnih faktora koji određuju maksimalno ostvariv protok, a sve u cilju zadovoljavanja zahteva korisnika.

U ovom radu analizirane su mogućnosti maksimalno realno ostvarivih protoka u LTE mrežama u zavisnosti od različitih propagacionih uslova u kojima se korisnik nalazi. Relevantna radio metrika prikupljena je iz merenja sprovedenih u već implementiranim LTE mrežama. Na osnovu analize podataka prikupljenih merenjima doneti su zaključci o statističkim raspodelama različitih radio parametara, kao i stepenu korelacije koji postoji među njima. Takođe, u radu je detaljno analiziran uticaj pomenutih parametara na ostvariv protok. Na osnovu sprovedenih statističkih analiza predložen je model za estimaciju realno ostvarivog protoka u LTE mrežama sa ciljem premošćavanja jaza između teorije i prakse, kao i lakšeg projektovanja novih LTE mreža i optimizacije postojećih. Model dizajniran na ovaj način testiran je korišćenjem nezavisnih podataka prikupljenih tokom merenja sprovedenih u okviru drugih mreža u cilju njegove verifikacije.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Ivane Marković „**Analiza realno ostvarivih protoka u LTE mrežama**“, obuhvata 66 strana štampanog teksta sa 71 slikom i 19 tabela. Rad je organizovan tako da sadrži, uvod, šest poglavlja, zaključak i spisak literature.

4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnom poglavlju dat je sažetak rada sa komentarima originalnosti, značaja i primenjenih metodologija, zajedno sa kraćim pregledom ostalih poglavlja rada. Ostatak rada je napisan na engleskom jeziku.

Drugo poglavlje pruža pregled osnovnih karakteristika LTE-a kao uvod u detaljniju analizu u narednim poglavljima. Cilj ovog poglavlja je da istakne motivaciju i ciljeve LTE-a. Osim toga, arhitektura LTE-a prikazana je zajedno sa protokol *stack*-ovima u različitim mrežnim elementima.

U trećem poglavlju dat je opis glavnih osobina fizičkog sloja koje su relevantne za analizu LTE protoka.

Četvrto poglavlje sadrži definicije i objašnjenja različitih parametara koji su od posebnog značaja za dalju analizu kao što su SINR, RSRP, RSRQ, itd.

U petom poglavlju ukratko su opisana sprovedena merenja, kao i softverski alati korišćeni za prikupljanje, eksportovanje, analizu i obradu mernih podataka.

U šestom poglavlju predstavljeni su rezultati analize prikupljenih podataka, kao i zaključci koji su od interesa za proces dizajniranja semi-empirijskog modela ostvarivih protoka u LTE mrežama.

Nakon toga, u sedmom poglavlju predstavljen je sam model i izvršena je njegova verifikacija na nezavisnom, tj. skupu podataka koji nije korišćen za njegovo kreiranje.

U osmom poglavlju je dat zaključak i dodatno je analiziran doprinos ove master teze kao i predlozi za dalji rad.

5. Zaključak i predlog

Master rad Ivane Marković prikazuje rezultate analize ostvarivih protoka u LTE mrežama. Na osnovu sprovedenih statističkih analiza predložen je model za estimaciju realno ostvarivog protoka sa ciljem premošćavanja jaza između teorije i prakse, kao i lakšeg projektovanja novih LTE mreža i optimizacije postojećih. Model dizajniran na ovaj način testiran je korišćenjem nezavisnih podataka prikupljenih tokom merenja sprovedenih u okviru drugih mreža u cilju njegove verifikacije.

Glavni doprinosi master rada su sledeći:

- Detaljna analiza realno ostvarivih LTE protoka u različitim propagacionim uslovima u kojima se korisnik može naći zasnovana na podacima prikupljenim merenjima u mrežama različitih operatora.
- Predložen je semi-empirijski model za proračun realno ostvarivih protoka u LTE mrežama na osnovu statističkih zavisnosti i numeričkih analiza sprovedenih u prvom delu rada.
- Predloženi model testiran je i verifikovan na nezavisnom skupu mernih podataka.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Ivane Marković, pod naslovom „**Analiza realno ostvarivih protoka u LTE mrežama**“, prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 29.06.2015.

Članovi komisije:

Prof. dr Nataša Nešković

Prof. dr Aleksandar Nešković