

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu imenovala nas je za članove Komisije za pregled i ocenu master rada kandidata **Milutina Davidovića** pod naslovom „**Uticaj mrežnog opterećenja na *downlink* performanse LTE mreže**“. Nakon pregleda rada podnosimo sledeći

### IZVEŠTAJ

#### 1. Biografski podaci

Milutin Davidović je rođen 10.09.1991. godine u Gornjem Milanovcu. Osnovnu školu je završio u rodnom mestu, a školovanje nastavio u Beogradu. Završio je Matematičku gimnaziju sa odličnim uspehom. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je 2010. godine. Usmerio se na odsek za Telekomunikacije i informacione tehnologije, a kasnije na modul Mikrotalasna tehnika. Diplomirao je u septembru 2014. godine sa ukupnom prosečnom ocenom 9,11. Diplomski rad na temu „Jednostepeni pojačavač sa integrisanom prijemnom antenom za *Wi-Fi*“ odbranio je sa ocenom 10. Diplomске akademske - master studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je upisao u oktobru 2014. godine na odseku za Mikrotalasnu tehniku.

Uporedo sa master studijama, kandidat počinje da radi u kompaniji Ericsson kao tehnološki konsultant pripravnik (od januara 2015. do danas). Aktivnosti na ovoj poziciji su uglavnom vezane za planiranje, dimenzionisanje i optimizaciju radio mobilnih mreža. Tokom prošle godine kandidat je objavio dva naučno-istraživačka rada. Prvi rad, čiji je prvi autor, objavljen je i nagrađen za najbolji rad u sekciji za Telekomunikacije na konferenciji ETRAN. Drugi rad je bio rad po pozivu na konferenciji TELFOR i kandidat je koautor ovog rada. Oba istraživanja vezana su za analizu performansi LTE (*Long Term Evolution*) mreže.

#### 2. Predmet master rada

U svetu modernih telekomunikacija pametni telefoni i tablet računari iz dana u dan postaju sve više zastupljeni uređaji. Dakle, u pogledu orijentacije mobilnog saobraćaja došlo je do fundamentalnog prelaza sa govornog (*voice-centric*) na paketski (*data-centric*) ili još preciznije, može se čak i reći na aplikaciono orijentisan (*application-centric*) saobraćaj. Štaviše, korisnici mobilnih mreža nisu više ni samo ljudi (internet stvari – *Internet of Things*). Ova promena u mobilnom saobraćaju stvara nove izazove za operatere koji su sada suočeni sa očekivanjima korisnika za konstantnim i pouzdanim pristupom svojim aplikacijama gde god da se nalaze. Istovremeno, pored zahteva za kvalitetom korisničkog iskustva, operatori moraju voditi računa i o ceni tehnologije koju implementiraju, tj. birati ekonomična tehnička rešenja. U skladu sa tim, sledeći logičan potez 2G/3G mobilnih operatera je implementacija LTE (*Long Term Evolution*) tehnologije.

Sve zahtevniji korisnici, tj. aplikacije koje oni koriste, nameću i novi koncept mrežnog pokrivanja – aplikaciono pokrivanje (*application coverage*). Dok je u ranijim fazama mobilne telefonije govor bio dominantan, pokrivenost je bilo lako definisati. To je dakle bila zona u kojoj je korisnik mogao da ostvari servis. Međutim, danas postoji široka lepeza aplikacija sa različitim zahtevima u smislu dva ključna parametra kada je u pitanju iskustvo korisnika: kašnjenje i protok (propusna moć linka). Zato, kada se govori o pokrivanju, mora se definisati i na koju se aplikaciju odnosi.

Ovaj rad je fokusiran na protok *downlink*-a i procenu kako on zavisi od pozicije mobilnog terminala u ćeliji. Stoga će korelacija između protoka i nivoa LTE signala (merenog kao nivo primljene snage referentnog signala) biti izvedena i analizirana na osnovu analize performansi jedne LTE mreže u povelju. Uticaj različitih mrežnih opterećenja će biti uzet u obzir kako bi se procenilo i buduće ponašanje mreže, u narednim fazama razvoja kada saobraćaj bude rastao.

### 3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Milutina Davidovića „**Utica**j mrežnog opterećenja na *downlink* performanse LTE mreže“, obuhvata 56 strana štampanog teksta sa 21 slikom, 14 tabela i 25 citiranih bibliografskih referenci. Rad je napisan na engleskom jeziku. Organizovan je tako da sadrži uvod, 6 poglavlja, zaključak, zahvalnicu, spisak literature, kao i spisak skraćenica, slika i tabela.

### 4. Sadržaj i analiza rada

Rad sadrži teorijsku osnovu o LTE radio interfejsu i njegovim ključnim pojmovima, kao i osnovnim korelacijama između njih. Takođe, u radu su prikazane aktuelne tendencije u razvoju mobilnih mreža kao i koncept aplikacionog pokrivanja. Korelacije između parametara od interesa su detaljno izvedene, a zatim se kombinacijom izvedenog modela i merenja u “živoj” mreži dolazi do željenih zaključaka. Merenja u mreži se konkretno odnose na nivo primljene snage referentnog signala (*RSRP* – *Reference Signal Received Power*) detektovanog od strane mobilnog terminala, kako od ćelije koja ga opslužuje, tako i od ostalih ćelija u blizini. Na ovaj način je realna interferencija u ispitivanoj mreži uključena u kalkulacioni model, kao jedan od ključnih parametara koji utiču na performanse mreže, konkretno protok. Dakle, rad pokriva teorijsku osnovu, kao i praktičnu analizu.

Prvi deo ovog rada (prvo poglavlje) daje objašnjenje koncepta aplikacionog pokrivanja kao glavnog pokazatelja performansi savremenih mobilnih mreža.

U drugom poglavlju dat je kratak pregled LTE radio interfejsa sa fokusom na faktore koji utiču na kvalitet dizajna LTE mreže. Faktor interferencije (F-faktor) je definisan i razmatran kao dobra mera kvaliteta dizajna mreže, od koga direktno zavise performanse mreže.

Studija je zasnovana na realnim merenja. U cilju procene trenutnog stanja mreže u smislu *downlink* performansi i aplikacionog pokrivanja, kao i za procenu budućeg ponašanja, modeli kanala i propagacije talasa su korišćeni u međukoracima. Kratak pregled ovih modela je dat u trećem poglavlju.

Uslovi i metodologija merenja na terenu, kao i pregled korišćene merne opreme dat je u četvrtom poglavlju. Ovo poglavlje takođe daje kratak opis softverskih alata korišćenih za obradu merenja.

Konačni model i rezultati studije su predstavljani u četvrtom poglavlju, gde su prikazani i objašnjeni uticaji opterećenja mreže i pozicije mobilnog terminala u ćeliji na *downlink* performanse LTE mreže.

Na kraju, generalni zaključci i doprinos ovog rada dati su u poslednjem poglavlju, koje takođe prikazuje i kako rezultati i ovakav način analize mogu biti od koristi operateru.

### 5. Zaključak i predlog

U master radu Milutina Davidovića izložena je analiza *downlink* performansi jedne LTE mreže u pvoju zavisno od pozicije mobilnog terminala u ćeliji, kao i procena menjanja performansi kako opterećenje u mreži bude raslo. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- Predstavljen je uticaj opterećenja mreže na *downlink* performanse baziran na modelovanoj relaciji između nivoa snage LTE signala (merenog kao *RSRP*) i očekivanog *downlink* protoka LTE mreže širine kanala 15 MHz uz primenu 2x2 MIMO (Multiple Input Multiple Output).
- Interferencija u LTE mrežama je objašnjena i predstavljena kroz F-faktor (faktor interferencije) koji je modelovan na osnovu realnih merenja u jednoj geografskoj oblasti pokrivenom LTE mrežom i na taj način je realna interferencija u mreži uključena u kalkulacioni model.
- Rezultati modelovanja omogućavaju predviđanje korisničkog iskustva na određenoj udaljenosti od antene u različitim fazama zrelosti LTE mreže (opsluženog saobraćaja izraženog kroz opterećenje mreže definisano kao količina iskorišćenih resursa). Pored toga, rezultati analize mogu se iskoristiti od strane mobilnog operatera za definisanje oblasti sa dobrim/prosečnim/lošim pokrivanjem na osnovu nivoa signala, zahtevima različitih aplikacija u pogledu protoka i mrežnim statusom u pogledu opterećenja.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Komisiji II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad **Milutina Davidovića**, pod naslovom „**Uticaj mrežnog opterećenja na downlink performanse LTE mreže**“ prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 12.04.2016.

Članovi komisije:



prof. dr Aleksandar Nešković



prof. dr Nataša Nešković