

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 **Filipa Elčića** pod naslovom „**Optimizacija izbora modulaciono-kodne šeme u LTE sistemu**“. Nakon pregleda rada podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Filip Elčić rođen je 12. juna 1981. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i Treću beogradsku gimnaziju. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je 2000. godine. Diplomirao je juna 2005. godine na Katedri za telekomunikacije odbranom rada „Servisi u mobilnim mrežama treće generacije“. Tokom osnovnih studija postigao je prosečnu ocenu 8.60. Postdiplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu, smer Telekomunikacije, upisao je 2005. godine. Iste godine zaposlio se u kompaniji Telekom Srbija, gde i danas radi. Posедуje licencu Inženjerske komore Srbije - Odgovorni projektant telekomunikacionih mreža i sistema. Iz oblasti magistarske teze kandidat ima jedan rad koji je objavljen na konferenciji ETRAN 2014.

2. Predmet magistarskog rada

Razvoj LTE (*Long Term Evolution*) tehnologije i njenih poboljšanja definisanih kao LTE-*Advanced*, posledica je sve većih i strožijih zahteva za prenosom podataka u mobilnim ćelijskim sistemima. LTE/LTE-*Advanced* tehnologija je već nekoliko godina dostupna u Evropi i drugim delovima sveta, a sledeće godine očekuje se početak njene komercijalne upotrebe i u našoj zemlji. Ključne odlike LTE/LTE-*Advanced* tehnologije su: velika fleksibilnost u dodeli propusnog opsega koji se koristi za prenos, upotreba OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) tehnike višestrukog pristupa u radio delu i prenos zasnovan na komutaciji paketa s kraja na kraj mreže. Veliku spektralnu efikasnost ova tehnologija ostvaruje upotrebom MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) antenskih sistema i tehnike prostornog multipleksiranja, kao i dodelom resursa u vremensko-frekvencijskoj ravni na osnovu trenutnog stanja u radio kanalu. Dodela resursa obavlja se na nivou 1ms, tj. posebno za svaki TTI (*Transmission Time Interval*). Na *downlink*-u, u prilagođavanju karakteristika prenosa trenutnom stanju radio kanala (preciznije, u proceni trenutnog stanja radio kanala), mreži pomaže sam mobilni terminal. Naime, on šalje izveštaje o stanju radio kanala - CSI (*Channel State Information*). Najvažniji deo tog izveštaja je parametar CQI (*Channel Quality Indicator*) koji odražava kvalitet radio kanala. Sa druge strane, najvažniji deo prilagođavanja karakteristika prenosa trenutnom stanju radio kanala jeste izbor modulacione i kodne šeme – MCS (*Modulation Coding Scheme*). Stanica, na osnovu vrednosti CQI koju je poslao, tj. preporučio terminal, bira MCS koju će koristiti na *downlink* smeru veze.

Kako izveštaji koje terminal šalje mogu biti pogrešno dekodovani na strani bazne stanice, od interesa je ispitati kako upotreba MCS različitih od one koju je preporučio terminal utiče na korisnički protok i BLER (*Block Error Rate*). Osnovno pitanje tokom rada na tezi bilo je kako će promena MCS, tj. upotreba niže ili više MCS delovati na korisnički protok. Kada se koristi viša MCS nego što to uslovi u radio kanalu dozvoljavaju, koristiće se veći transportni blok i protok na fizičkom sloju će biti veći. Ipak, usled smanjenja broja zaštitnih bita, tj. povećanja kodnog količnika, broj grešaka koje se mogu ispraviti će se smanjiti, pa će doći do porasta potrebnog broja retransmisija HARQ (*Hybrid ARQ protocol*) procedure na MAC (*Medium Access Control*) sloju i samim tim do opadanja korisničkog protoka. Sa druge strane, kada se koristi niža MCS, veličina transportnog bloka je manja i samim tim dolazi do smanjenja protoka na fizičkom nivou. Međutim, broj zaštitnih bita je veći, pa će veliki broj grešaka biti ispravljen, tj. neće biti potrebe za velikim brojem retransmisija. U radu je utvrđeno koja je od ove dve mogućnosti manje loša po korisnički protok, tj. u kom slučaju on sporije opada u odnosu na vrednost kada se koristi MCS preporučena od strane terminala.

Tokom eksperimenta koji je u tu svrhu izvršen, a obuhvatao je upotrebu različitih MCS (one koja je preporučena od strane terminala, kao i viših i nižih MCS) u različitim radio uslovima, bilo je moguće primorati mrežu da ostvari vezu sa BLER-om na MAC sloju većim od 10%, koliko je standardom definisano kao maksimalna moguća vrednost BLER-a. Razmatran je korisnički protok u „mikrookolini“ vrednosti BLER-a od 10%. Utvrđeno je da se veći korisnički protok dobija za vrednost BLER-a od 11% ili čak 12%, iako je standardom predviđen rad sa maksimalnom vrednošću BLER-a od 10%.

U radu je izvršeno i poređenje vrednosti korisničkog protoka u *indoor* ćeliji (kancelariji tipa *open space* u kojoj se zaposleni kreću) koji se ostvaruje upotrebom dva različita načina prenosa - *Transmission modes* – TM. Poređenje je izvršeno između TM3, kod koga se izbor matrice za prenos obavlja po principu otvorene petlje, i TM4, kod koga se taj izbor obavlja po principu zatvorene petlje.

Za terminal koji je korišćen tokom merenja eksperimentalno je dobijena funkcija zavisnosti CQI parametra od odnosa signal/šum - SNR (*Signal to Noise Ratio*).

Postavljen je i problem pronalaska optimalnih parametara za združeno dejstvo HARQ procedure sa MAC sloja i ARQ procedure sa RLC (*Radio Link Control*) sloja.

3. Osnovni podaci o magistarskom radu

Magistarski rad kandidata Filipa Elčića pod naslovom „**Optimizacija izbora modulaciono-kodne šeme u LTE sistemu**“, obuhvata 104 strane štampanog teksta sa 55 slika, 23 tabele i 9 bibliografskih referenci. Rad je organizovan tako da sadrži uvod, sedam poglavlja, zaključak i spisak literature.

4. Sadržaj i analiza rada

Posle uvoda, koji je dat u prvom poglavlju i u kome je izložena kratka istorija mobilnih ćelijskih sistema i definisan predmet rada, u okviru drugog poglavlja opisana je tehnika višestrukog pristupa koju koristi LTE/LTE-Advanced tehnologija. Razmotrene su i specifičnosti, tj. razlike u *downlink* i *uplink* smeru veze (OFDMA i SC-FDMA).

U trećem poglavlju opisani su mehanizmi prilagođavanja linka za prenos (kontrolom snage i kontrolom protoka), dodela resursa (*scheduling*) i HARQ procedura.

U četvrtom poglavlju dat je pregled radio dela mreže - RAN (*Radio Access Network*), kao i funkcije koje obavljaju njegovi podslojevi. Dati su opis i ilustracija vremensko-frekvencijske strukture signala, a ukratko su opisane i funkcije protokola u kontrolnoj ravni.

Peto poglavlje opisuje tehnike prenosa sa više antena. Najviše pažnje posvećeno je MIMO antenskim sistemima, kao i načinu rada uz upotrebu tehnike prostornog multipleksiranja. Objasnjeno je mapiranje tokova podataka na antene – *precoding*.

U okviru šestog poglavlja dato je objašnjenje kako terminal izveštava baznu stanicu o stanju radio kanala i kako na osnovu tih izveštaja bazna stanica prilagođava način prenosa podataka.

U sedmom poglavlju predstavljena je merna metodologija, prikazana šema sistema u kome su vršena merenja i date tabele koje međusobno povezuju parametre od interesa za istraživanje.

U osmom poglavlju izneti su rezultati merenja, a na osnovu tabela i grafikona izvedena su zapažanja i zaključci o pitanjima postavljenim na početku rada.

U poslednjem, devetom poglavlju, izložen je konačan zaključak. Istaknuti su osnovni doprinosi magistarske teze i otvorena pitanja za buduća istraživanja.

5. Zaključak i predlog

U ovom radu, na osnovu eksperimentalnih merenja, na *downlink* smeru veze razmotren je uticaj primene MCS različitih od one koju bi baznoj stanici preporučio terminal.

Najznačajniji doprinosi magistarske teze su:

- Zaključak da upotreba nižih MCS u odnosu na optimalnu vrednost (onu koju bi preporučio terminal) ima manje nepovoljan uticaj na korisnički protok od upotrebe viših MCS. Ovaj zaključak može da se primeni prilikom dodele MCS terminalu čije je stanje radio kanala, u nekom trenutku, iz bilo kog razloga, delimično nepoznato.
- Zaključak da se, u određenim radio uslovima, upotrebom MCS kojom se ostvaruje prenos sa BLER-om na MAC sloju od 11-12% može ostvariti za oko 1% veći korisnički protok nego

kada je vrednost BLER-a do 10%, što je standardom definisano kao maksimalna dozvoljena vrednost.

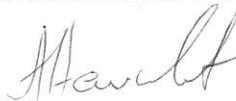
- Zaključak da u *indoor* ćeliji tipa *open space*, u kojoj se zaposleni kreću, stacionarni terminal ostvaruje nešto bolje vrednosti korisničkog protoka sa TM3 nego sa TM4.
- Realna funkcija zavisnosti CQI parametra od vrednosti SNR za terminal korišćen tokom merenja.
- Definisanje problema pronalaska kombinacije dva parametra (broja retransmisija HARQ procedure sa MAC sloja i trajanja tajmera ARQ procedure sa RLC sloja) koja će dati najbolje performanse za različite tipove saobraćaja u različitim tipovima ćelija.
- Otvaranje pitanja pronalaska granične vrednosti CQI parametra, za različite tipove antenskih sistema i načina prenosa – TM, za koju je upotreba tehnike prostornog multipleksiranja opravdana.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad **Filipa Elčića** pod naslovom „**Optimizacija izbora modulaciono-kodne šeme u LTE sistemu**“ prihvati kao magistarsku tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 18.08.2014.

Članovi komisije:

Prof. dr Aleksandar Nešković



Prof. dr Nataša Nešković



Dr Miloš Borenović, Naučni saradnik
Razvojno istraživački centar „Vlatacom“

