

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 Nine Španović pod naslovom „**Izbor odgovarajuće antenske konfiguracije pri implementaciji 5G mreže**“. Nakon pregleda rada podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Nina Španović rođena je 13. avgusta 1995. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu školu i prirodno-matematički smer Treće beogradske gimnazije. 2014. godine upisala je Elektrotehnički fakultet u Beogradu. Diplomirala je septembra 2018. godine na Smeru za sistemsko inženjerstvo Odseka za telekomunikacije i informacione tehnologije, odbranom diplomskog rada „Analiza kapaciteta LTE mreže: *Expansion Decision Tree analiza*“. Tokom osnovnih studija postigla je prosečnu ocenu 9.52. Diplomske akademske - master studije na Elektrotehničkom fakultetu, na Smeru za sistemsko inženjerstvo i radio komunikacije, upisala je 2018. godine.

2. Predmet master rada

Razvoj pete generacije mobilnih telekomunikacionih sistema, 5G mreže, motivisan je kako potrebom za poboljšanjem performansi i kapaciteta postojećih mobilnih servisa, tako i brojnim novim primenama usmerenim na ostvarivanje konekcija između velikog broja uređaja. Takve primene zahtevaju visoku energetsku efikasnost, veliku pouzdanost u prenosu i veoma mala kašnjenja. Kako bi mogao da podrži veliki broj aplikacija različitih u pogledu zahteva za performansama, kapacitetom, porkivanjem, kašnjenjem itd. dizajn 5G mreže je usmeren ka postizanju što veće fleksibilnosti i efikasnosti. Uporedo sa razvojem 5G mreže, došlo je i do značajnog napretka u oblasti pametnih antenskih sistema, rezulutujući u poboljšanim performansama i fleksibilnosti kao i smanjenoj ceni ovakvih sistema. Zbog toga se njihova primena smatra jednom od osnova 5G standarda.

Pametni antenski sistemi se još nazivaju i aktivni antenski sistemi, obzirom da je njihova implementacija potpuno integrisana i signal emitovan sa svakog od primopredajnih elemenata se može kontrolisati u okviru same antene. Na taj način se pruža velika fleksibilnost pri formiranju i upravljanju emitovanim snopom, što omogućava izuzetno dobre performanse tehnika kao što su *beamforming*, prekodovanje i prostorno multipleksiranje. Samim tim, poboljšavaju se performanse, pokrivanje i kapacitet sistema po manjim troškovima nego što bi zahtevala densifikacija sistema. Dok je na nižim frekvencijama upotreba pametnih antenskih sistema motivisana pre svega potrebama za povećanjem kapaciteta i boljom upotrebom već zagušenog spektra, na višim, milimetarskim frekvencijama, čija je propagacija izuzetno osetljiva, njihova upotreba je neophodna kako bi se tehnikama kao što je *beamforming* osiguralo održanje veze između predajnika i prijemnika. Fleksibilnost i performanse pametnih antenskih sistema povećavaju se sa porastom broja kontrolabilnih elemenata. Međutim, tako ostvarivi dobici u velikoj meri zavise od scenarija primene, a prati ih porast troškova, potrošnje snage, elektromagnetne emisije, kao i veća kompleksnost implementacije, zbog čega se prilikom planiranja implementacije 5G mreže moraju pažljivo birati lokacije gde je primena pametnih antenskih sistema sa velikim brojem kontrolabilnih elemenata opravdana i neophodna.

Cilj ovog rada jeste da, uvezvi u obzir sve relevantne faktore kao što su gustina mreže, profil terena, visina zgrada u okruženju, količina saobraćaja u mreži, postojeći 4G spektar itd., identifikuje scenarije u kojima su dobici u performansama i kapacitetu ostvarivi primenom pametnih antenskih sistema u okviru 5G mreže takvi da opravdavaju njihovu primenu. Očekivani rezultat jeste segmentacija mreže na osnovu neophodne antenske konfiguracije takva da pruža optimalni kompromis između performansi sistema i troškova implementacije i održavanja.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Nine Španović „**Izbor odgovarajuće antenske konfiguracije pri implementaciji 5G mreže**“, obuhvata 98 strana štampanog teksta sa 76 slika, 6 tabela i 14 citiranih bibliografskih referenci. Rad je organizovan tako da sadrži apstrakt, uvod, pet poglavlja, zaključak, spisak literature, spisak skraćenica, spisak slika, spisak tabela i prilog.

4. Sadržaj i analiza rada

Motivacija za izradu rada i pregled sadržaja centralnih poglavlja dati su u uvodnom poglavlju.

U trećem poglavlju opisane su osnovne primene i motivacija za razvoj 5G sistema, razmotreni osnovni principi dizajna fizičkog sloja 5G mreže i navedene osnovne razlike u odnosu na 4G sisteme.

U četvrtom poglavlju su izloženi osnovni osnovni efekti koji se javljaju pri radio propagaciji, a koji utiču na performanse višeantenskih tehnika. Takođe su opisane primarne i sekundarne karakteristike antena.

U petom poglavlju su detaljno predstavljene višeantenske tehnike diverzitet, *beamforming*, prekodovanje i prostorno multipleksiranje. Opisane su razlike između digitalnih, analognih i hibridnih antenskih sistema i njihovih performansi. Razmotreni su *feedback-based* i *reciprocity-based* načini za prikupljanje informacija o stanju u kanalu na strani predajnika, koji su od izrazitog značaja za performanse višeantenskih tehnika. Konačno, detaljno su opisane *beam management* procedure koje se odnose na upravljanje emitovanim snopom na visokim, milimetarskim frekvencijama.

U šestom poglavlju predstavljena je fizička struktura pametnih aktivnih antenskih sistema dizajniranih za primenu na nižim ili srednjim frekvencijama, kao i na višim, milimetarskim frekvencijama. U slučaju nižih i srednjih frekvencija, razmotren je način na koji broj particija antenske konfiguracije u vertikalnom i horizontalnom domenu utiče na fleksibilnost pri upravljanju kreiranim snopom, a u slučaju viših frekvencija, razmotren je uticaj broja panela na performanse antenske konfiguracije.

U sedmom poglavlju izloženi su rezultati analiza baziranih na sistemskim simulacijama i mrežnoj statistici. Prvo je posmatran kapacitet različitih antenskih konfiguracija (4T4R, 8T8R, 16T16R, 32T32R i 64T64R) u slučaju 5G primene na 3.5 GHz frekvenciji namenjene za pružanje MBB ili FWA (*Fixed Wireless Access*) servisa. Pri tome su performanse navedenih antenskih konfiguracija posmatrane u različitim scenarijima primene, tj. okruženjima: gušćim i srednje gustim urbanim i ruralnim oblastima, pri čemu je gradacija u spratnosti okružujućih zgrada uzeta u obzir. Potom su modelovane performanse i kapacitet 5G sistema u slučaju implementacije na 28 GHz frekvenciji, ili u slučaju agregacije spektra na frekvencijama 3.5 GHz i 28 GHz. Konačno, izvršena je analiza mrežne statistike iz dva grada jedne evropske mreže. Utvrđene su realne potrebe za kapacitetom i analizirani načini na koji se može izvršiti njegova ekspanzija, uvezvi u obzir i implementaciju 5G mreže i pametnih antenskih sistema.

U poslednjem, osmom poglavlju, dat je pregled prethodnih poglavlja i sumirani su rezultati teze. Istaknuti su osnovni doprinosi master teze i predstavljene su smernice za dalji rad u ovoj oblasti.

5. Zaključak i predlog

U okviru master rada kandidata Nine Španović izvršena je segmentacija realne potrebe za primenom antenskih sistema sa različitim stepenima fleksibilnosti u zavisnosti od tipa okruženja. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- Kvantifikacija dobitaka usled primene pametnih antenskih sistema višeg reda u zavisnosti od tipa okruženja.
- Kvantifikacija uticaja snage antene i promene u veličini (broju antenskih elemenata) jedne particije antenske konfiguracije u vertikalnom domenu na dobitke ostvarive pri primeni pametnih antenskih sistema u različitim okruženjima.

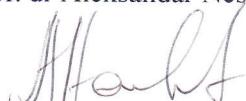
- Isktaknute razlike očekivane u slučaju primene FWA umesto MBB servisa (ili kombinovanja MBB i FWA servisa) i kvantifikovani dobici ostvarivi ukoliko se korisnički uređaji u slučaju FWA servisa postave spolja, umesto unutar zgrade.
- Identifikacija optimalne antenske konfiguracije na nivou svakog od posmatranih tipova okruženja (klastera) koja ostvaruje kompromis između dobitaka u performansama i kapacitetu sistema i troškova, komplikacije instalacije, potrošnje energije i snage emisije.
- Kvantifikacija dobitaka u kapacitetu u slučaju agregacije nižeg 5G spektra (3.5 GHz) sa velikom količinom dostupnog spektra na višim frekvencijama (28 GHz). Istaknuti su izazovi kada je u pitanju propagacija talasa i pokrivanje na višim frekvencijama, i načini na koji se ti problemi mogu prevazići.
- Na primeru realne mreže, pokazano je kako potreba za implementacijom 5G mreže i pametnih antenskih sistema zavisi od trenutnog stanja u mreži (npr. količine saobraćaja) i kako se dobici ostvarivi dodatkom 5G spektra menjaju u zavisnosti od trenutnih radio uslova u mreži. Istaknuta je razlika u potebi za dodatkom 5G spektra i pametnih antenskih sistema u zavisnosti od toga da li je u obzir prethodno uzet i dostupan 4G spektral ili ne.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Komisiji II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad **Nine Španović** pod naslovom „**Izbor odgovarajuće antenske konfiguracije pri implementaciji 5G mreže**“ prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 28.8.2020.

Članovi komisije:

prof. dr Aleksandar Nešković



prof. dr Nataša Nešković

