

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Komisija II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu imenovalo nas je za članove Komisije za pregled i ocenu master rada kandidata Stefana Nestorovića pod naslovom „Empirijska analiza uticaja brzine kretanja vozila na modelovanje dinamike impulsnog odziva radio kanala u outdoor sredini“. Nakon pregleda rada podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Stefan Nestorović je rođen 20.10.1988. godine u Kragujevcu. Završio je osnovnu školu „Moma Stanojlović“ u Kragujevcu kao vukovac 2003. godine. Iste godine je upisao Prvu kragujevačku gimnaziju koju je završio sa odličnim uspehom. Nakon završene srednje škole, upisuje Elektrotehnički fakultet 2007. godine. Diplomirao je na odseku za Telekomunikacije i informacione tehnologije 2014. godine sa prosečnom ocenom 7,41. Diplomski rad je odbranio u oktobru 2014. godine sa ocenom 10. Diplomске akademske-master studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na modulu za sistemsko inženjerstvo i radio komunikacije, upisao je u oktobru 2014. godine. Živi i radi u Beogradu.

2. Predmet master rada

Složenost osobina radio kanala koji se koriste u javnim mobilnim sistemima se ogleda u vremenskoj i prostornoj promenljivosti, kao i frekvencijskoj selektivnosti. Najdominantniji fenomen prostiranja radio talasa predstavlja višestruka propagacija koja se ogleda u tome da radio signal dospeva na prijemnu antenu u obliku više replika originalnog emitovanog signala. Do ove pojave dolazi iz razloga što radio talasi od predajne do prijemne antene ne stižu istim putem, već se zbog same prirode prostiranja elektromagnetnih talasa, reflektuju od raznih objekata, što dovodi do toga da na prijemnik stižu u različitim trenucima i sa različitim karakteristikama. Uslovi u kojima se radio talasi prostiru od predajnika do prijemnika se razlikuju od slučaja do slučaja i mogu biti jednostavni, onda kada imamo optičku vidljivost (LoS – *Line of sight*) između predajnika i prijemnika, a njihova kompleksnost raste u slučajevima kada su uslovi propagacije ozbiljno narušeni i kada je zbog nedostatka optičke vidljivosti (NLoS – *Non Line of Sight*) teže ostvariti kvalitetnu vezu. Ako tome dodamo da se predajnik i/ili prijemnik kreću, uslovi pod kojima se ostvaruje komunikacija među njima postaju još složeniji. Upravo je potreba za komunikacijom čoveka u pokretu dovela do toga da se detaljno prouče karakteristike prostiranja radio talasa u ovakvom dinamičnom okruženju. Modelovanje *multipath* radio kanala predstavlja jedan od najzahtevnijih zadataka u projektovanju mobilnih radio sistema i obično se obavlja uz pomoć statističkih metoda i metoda na bazi merenja u realnim uslovima, adekvatnim uređajem za vrstu komunikacionog sistema koji nam je od interesa. Na osnovu izmerenih skupova impulsnih odziva radio kanala, određuju se relevantni parametri za opisivanje *multipath* fenomena. *Multipath* komponente se najlakše mogu prepoznati kao impulsi u okviru diskretnog impulsnog odziva radio kanala. Uzimajući u obzir sve veću mobilnost korisnika, savremeni modeli su posebno koncentrisani na utvrđivanje dinamike promena u profilu impulsnog odziva kanala. Pojava nove *multipath* komponente, tj. „rađanja“, u impulsnom odzivu fizički odgovara formiranju novog mehanizma refleksije (ili drugog oblika propagacije) koji obezbeđuje da novonastala *multipath* komponenta dospe do prijemnika. Sa druge strane, nestajanje određene *multipath* komponente, tj. „umiranje“, odgovara gubitku mehanizma prostiranja, jer ta *multipath* komponenta više ne uspeva da stigne do prijemnika istom propagacionom putanjom.

Posebno mesto u razvoju savremenih sistema zauzimaju *Vehicular Networks*, mreže u kojima se korisnik nalazi u vozilu. Intenzivni razvoj ove oblasti je u skladu sa sve većom mobilnošću korisnika, ali i servisa mobilnog interneta u ponudi, i usmeren je ka dubljoj analizi specifičnosti mreža ovog tipa kako bi se korisnički servisi optimizovali. Cilj je prilagoditi postojeća saznanja, kao i modele radio kanala različitim uslovima propagacije u kojima se vozilo u pokretu može naći. Tema ovog rada uključuje važan segment unapređenja postojećih modela za opis dinamike impulsnog odziva kanala u uslovima višestruke propagacije, za specifičan scenario VTI (*Vehicular to Infrastructure*) mreže i različitih brzina kojima se vozilo kreće. Formiranjem A matrica verovatnoće *Birth-Death* stanja i Q tranzicionih matrica, za svaku brzinu kretanja prijemnika u svakoj mernoj kampanji u *outdoor* urbanoj sredini, utvrđena je dinamika „rađanja“ i „umiranja“ *multipath* komponenti u zavisnosti od brzine kretanja vozila, tj. prijemnika.

3. Osnovni podaci o master radu

Master rad kandidata Stefana Nestorovića „Empirijska analiza uticaja brzine kretanja vozila na modelovanje dinamike impulsnog odziva radio kanala u outdoor sredini“ obuhvata 89 strana štampanog teksta uključujući 31 sliku, 93 tabele, 14 grafika, 27 bibliografskih referenci i programski kod. Rad je organizovan tako da sadrži sedam poglavlja, zajedno sa uvodom i zaključkom, spisak literature i prilog.

4. Sadržaj i analiza rada

U uvodnom poglavlju Master rada je dat osvrt na opšti značaj teme, njenu aktuelnost u razmatranoj naučnoj oblasti i kratak pregled poglavlja od kojih je rad sačinjen.

U drugom poglavlju je detaljnije objašnjena priroda prostiranja radio talasa i sam fenomen višestruke propagacije. Objasnjeno je efekat *small-scale fading*-a kao posledice višestrukih (*multipath*) propagacija. U kontekstu proučavanja uticaja brzine kretanja prijemnika, obrađena je i pojava nasumične frekvencijske modulacija izazvana Doplerovim efektom, kao i vremenske disperzije kanala kao posledice toga što replike originalnog signala (*multipath* komponente) pristižu na prijemnik u različitim vremenskim trenucima. Objasnjeno je proces “rađanja” i “umiranja” *multipath* komponenti kao i najbitniji parametri koji opisuju ovu pojavu.

Treće poglavlje se bavi modelovanjem radio kanala sa osvrtom na njen razvoj kroz istoriju i različite tehnike pristupa, sa tim što su postojeći modeli za urbanu sredinu detaljnije objašnjeni u četvrtom poglavlju, u okviru predstavljanja V2I (*vehicle-to-infrastructure*) komunikacije. U trećem poglavlju je takođe izložen Markovljev proces koji ćemo koristiti za modelovanje dinamičkog propagacionog kanala, kao i matematički pristup za definisanje najbitnijih pojmova koji su u vezi sa Markovljevim svojstvom.

U četvrtom poglavlju su objašnjene mogućnosti primene radio komunikacija u automobilske industriji (zarad efikasnijeg i bezbednijeg odvijanja saobraćaja) i mogućim rešenjima u okviru postojećih radio tehnologija. U cilju korišćenja usluga javnih mobilnih sistema za V2X (*vehicle-to-everything*) komunikaciju, poseban osvrt je dat na zahteve koji su predstavljeni pred najnapredniji (LTE - *Long Term Evolution*) ćelijski radio sistem. Dat je osvrt i na ostale bežične tehnologije kao alternativna ili dopunska rešenja u V2X komunikaciji. Na kraju je predstavljena karakterizacija V2X radio kanala, sa posebnim osvrtom na moguće scenarije u V2I komunikaciji.

Peto poglavlje govori o eksperimentalnom delu rada. Predstavljen je merni uređaj koji je korišćen, kao i merne kampanje koje su sprovedene. Merenja su, u skladu sa dostupnom opremom, a u cilju proučavanja procesa “rađanja” i “umiranja” *multipath* komponenti, izvedena na UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) javnoj mobilnoj mreži operatera Telekom Srbija. Merenja su vršena za različite brzine kretanja prijemnika, kako bi mogao da se opiše njen uticaj na dinamiku “rađanja” i “umiranja” *multipath* komponenti. Na kraju je predstavljen način procesuiranja dobijenih mernih podataka.

U šestom poglavlju je predstavljen pregled dobijenih rezultata. Formirane su A matrice verovatnoće *Birth-Death* stanja i Q tranzicione matrice. Matrice su formirane za svaki merni fajl, tj. za svaku brzinu kretanja prijemnika u svakoj mernoj kampanji. Predstavljen je njihov uporedni prikaz, kao i razlike odgovarajućih koeficijenata matrica za različite brzine kretanja prijemnika. Uz odgovarajuće tabele i grafičke predstave koje su priložene, komentarisane su tendencije do kojih dolazi sa povećanjem brzine.

U poslednjem, sedmom poglavlju, predstavljeni su zaključci do kojih se došlo i smernice za neka dalja istraživanja u *outdoor* urbanoj sredini.

5. Zaključak i predlog

U okviru master rada Stefana Nestorovića predstavljeni su neki od ključnih aspekata za razumevanje problematike ostvarivanja kvalitetne radio komunikacije iz vozila u pokretu, kao i motiva za ostvarivanjem ovakve komunikacije. Najvažniji doprinosi master rada su sledeći:

- U cilju opisivanja dinamike “rađanja” i “umiranja” *multipath* komponenti, formirane su A matrice verovatnoće *Birth-Death* stanja i Q tranzicione matrice. Upoređivanjem vrednosti ovih matrica za različite brzine kretanja prijemnika, utvrđena je zavisnost dinamike “rađanja” i “umiranja” *multipath* komponenti (a time i eventualnog kvaliteta i pouzdanosti ostvarene radio veze) u odnosu na brzinu kretanja prijemnika, u uslovima urbane *outdoor* sredine. Utvrđena je korelisanost zastupljenosti konkretnih *Birth-Death* stanja sa brzinom kretanja prijemnika.

- Rad prezentuje opsežnu komparacionu analizu inteziteta dinamike radio kanala mobilnog sistema za korisnika u vozilu urbane sredine, u zavisnosti od tipa okruženja. U pregled okruženja uvršteni su scenarii od posebnog interesa za razvoj V2I komunikacionih mreža u vozilima u koje spadaju: veliki gradski most, bulevar velike dužine okružen raznolikim objektima i parkiralište na otvorenom.
- Navedena analiza detaljna analiza nestacionarnosti *Birth-Death* matrica u zavisnosti od brzine kretanja prijemnika postavlja jako važan osnov za dalji razvoj savremenih modela V2I radio kanala i njihovu primenu za mnogobrojne servise buduće generacije.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije predlažu Komisiji II stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da rad Stefana Nestorovića, pod naslovom „Empirijska analiza uticaja brzine kretanja vozila na modelovanje dinamike impulsnog odziva radio kanala u outdoor sredini“ prihvati kao master tezu i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 15. 08. 2017.

Članovi komisije:



prof. dr Aleksandar Nešković



prof. dr Nataša Nešković