

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU SAOBRAĆAJNOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Odlukom br. 457/4 Nastavno-naučnog veća Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, donetoj na sednici 06.07.2011. godine, određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije **mr Bojana Bakmaza, dipl. inž.**, pod naslovom *Izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju*. Pošto smo pregledali odgovarajući materijal, podnosimo Veću sledeći

I Z V E Š T A J

1. UVOD

1.1. Naslov i obim disertacije

Naslov disertacije je *Izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju*. Obim disertacije je 116 strana i obuhvata 42 slike, 9 tabela i 110 referenci.

1.2. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Tema pod naslovom: *Izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju* odobrena je na Nastavno-naučnom veću Saobraćajnog fakulteta u Beogradu 15. 12. 2008. godine, a Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu dalo je na to saglasnost 19. 12. 2008. godine.

Kandidat je urađenu disertaciju podneo 22. 6. 2011. godine, a Nastavno-naučno veće Saobraćajnog fakulteta u Beogradu imenovalo je 06.07. 2011. godine Komisiju za pregled i ocenu doktorske disertacije u sastavu: prof. dr Vladanka Aćimović-Raspopović, prof. dr Katarina Vukadinović i prof. dr Miroslav Dukić.

1.3. Mesto disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Disertacija je iz oblasti Tehničko-tehnoloških nauka, uža naučna oblast je Eksploatacija telekomunikacionog saobraćaja i mreža, za koju je matičan Saobraćajni fakultet u Beogradu.

1.4. Biografski podaci o kandidatu

Bojan Bakmaz je rođen 17. januara 1978. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i Prvu beogradsku gimnaziju (prirodno-matematički smer). Saobraćajni fakultet u Beogradu upisao je školske 1997/98. godine. Diplomirao je na Odseku za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj 2004. godine, sa prosečnom ocenom 8,54 i ocenom 10 na

diplomskom ispitu. Tema diplomskog rada bila je: *Praćenje kvaliteta nekih servisa mobilnih sistema četvrte generacije*.

Iste godine upisao je posle diplomске studije na Saobraćajnom fakultetu, Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj i do juna 2006. godine položio sve ispite predviđene planom i programom, sa prosečnom ocenom 9,71. Zvanje magistra tehničkih nauka stekao je 14. maja 2007. godine. Tema magistarskog rada bila je: *Kvalitet servisa u multimedijalnim bežičnim mrežama*. Za vreme služenja vojnog roka završio je školu za rezervne oficire roda Veze, na Vojnoj akademiji Vojske Srbije i Crne Gore.

U toku osnovnih studija bio je demonstrator na predmetu Tehničko crtanje i nacrtana geometrija. Kao student postdiplomac angažovan je na Saobraćajnom fakultetu u nastavi iz predmeta: Eksploatacija telekomunikacionog saobraćaja, Tehnika telekomunikacionih komutacija i Telekomunikacioni saobraćaj i mreže (u toku školske 2004/05. i 2005/06. godine). Osim na Katedri za telekomunikacioni saobraćaj i mreže, u toku školske 2006/07. godine, angažovan je i na predmetima zajedničke nastave: Osnovi programiranja, Baze podataka i Programiranje. U decembru 2007. godine izabran je za asistenta za užu naučnu oblast Eksploatacija telekomunikacionog saobraćaja i mreža. Na osnovnim studijama drži vežbe na predmetima: Komutacioni sistemi, Osnove telekomunikacionog saobraćaja, Saobraćaj u komunikacionim mrežama, Telekomunikacione i računarske mreže i Planiranje i prognoziranje u telekomunikacijama, kao i na predmetima: Telekomunikacioni saobraćaj i Prognoziranje novih servisa, na master studijama.

Autor je jedne monografije, koautor pomoćnog udžbenika i autor, odnosno koautor preko 40 radova objavljenih u međunarodnim i domaćim časopisima i na naučnim skupovima. Dobitnik je plakete Društva za informatiku Srbije za najbolji naučni rad u 2009. godini. U svom dosadašnjem radu učestvovao je u realizaciji više naučnih i stručnih projekata i studija. Član je međunarodnog udruženja IEEE i Društva za telekomunikacije.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija sadrži rezime na srpskom i engleskom jeziku, sadržaj, osam poglavlja, spisak literature, tri priloga, spisak skraćenica, slika, tabela i oznaka. Po svojoj formi i sadržaju podneti rad zadovoljava standarde za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodno poglavlje ukazuje na značaj tretiranja problema izbora optimalne mreže u heterogenom bežičnom okruženju, iznalaženja i analitičke interpretacije saobraćajnih modela. Dat je kratak sadržaj preostalih poglavlja i istaknuti su postignuti rezultati.

U drugom poglavlju izloženi su principi i modeli razvoja heterogenih bežičnih mreža. Tabela su sistematizovane postojeće i mreže u razvoju. Sagledane su mogućnosti integracije postojećih i novih tehnologija.

Fenomenu mobilnosti u heterogenom okruženju posvećeno je treće poglavlje. Analizirani su protokoli mobilnosti po pripadajućim slojevima, mrežnom, transportnom i aplikacionom, a zatim je izvršena njihova komparacija. Za hendover, kao proceduralni vremenski proces, izvršena je sistematizacija na osnovu niza faktora, poput vrste mrežnog okruženja, administrativnih domena, broja konekcija, angažovanih frekvencija, potrebe za izvršenjem i uticaja korisnika. Analiziran je standard IEEE 802.21 koji, pored ostalog, rešava probleme interoperabilnosti heterogenih bežičnih mreža i proces vertikalnog hendovera.

Četvrto poglavlje sagledava performanse saobraćaja komunikacionih mreža. Najpre su izloženi osnovni pojmovi i modeli klasične teorije komunikacionog saobraćaja, koja ima tradiciju dužu od jednog veka. Radovi i formule Erlanga, bazirane na procesima "nastajanja i nestajanja", predstavljaju nezaobilaznu podršku u rešavanju praktično svih saobraćajnih problema klasičnih telefonskih mreža, da bi se njihov uticaj odrazio na računarske, paketske, širokopojasne, bežične i druge postojeće mreže, a evidentna je njihova svrsishodnost u saobraćajnim proračunima mreža naredne generacije.

Internet saobraćaj se takođe analizira u statističkom domenu, međutim, njegova svojstva su mnogo kompleksnija od svojstava Puasonovog saobraćaja, koji karakteriše klasične modele. Saobraćajni proces je višeslojan po vremenskoj skali, odnosno, može se tretirati na nivou paketa, *burst*-ova, tokova i sesija (zahteva, konekcija). Karakteristike Internet saobraćaja na paketskom nivou su vrlo kompleksne, ali niz osobina proizilazi iz prostijih karakteristika toka. Osnovni tipovi saobraćaja na nivou tokova su elastični i "striming". Kombinovani saobraćaj predstavlja agregaciju tokova i poseduje osobine zavisnosti u dugom opsegu, odnosno *self-similarity*.

Pri formiranju modela za raspodele vremena opsluge, kao i vremena nailazaka zahteva, kod ovog saobraćaja uobičajeno je da se koriste *heavy-tailed* raspodele, od kojih je Pareto raspodela najpopularnija. Za potrebe dimenzionisanja linka formiran je detaljniji univerzalni model, baziran na mehanizmima kvaliteta servisa. Da bi se kapacitet linka razdelio između elastičnog i "striming" saobraćaja, kao i između raznih saobraćajnih klasa unutar jednog tipa saobraćaja, predviđa se prosta podela opsega i klasifikacija paketa. Takođe, aktuelna je i saobraćajna prioritizacija po delovima opsega. Pristupna kontrola može regulisati sve, ili samo neke "striming" saobraćaje, dok uglavnom to ne važi za elastični saobraćaj. Ovo je od značaja za odabir respektivne dimenzione metodologije.

Objašnjen je model kontrolnog mehanizma *token bucket*, koji diktira mogućnost prenosa paketa agregiranog mrežnog saobraćaja, a koristi se u okruženju diferenciranih servisa i reprezentuje funkciju *policing*. Mehanizmi *policing* i *shaping* koriste *token bucket* i imaju funkciju ograničenja izlazne brzine, ali i bitne funkcionalne razlike, što je u radu objašnjeno.

Posebno je i detaljno objašnjen fenomen *self-similar* saobraćaja, njegove specifičnosti, a izloženi su i postupci za testiranje *self-similarity* i Hurst-ovog efekta. Ukazano je na vezu sa Pareto raspodelom i navedeni metodi za analizu i predikciju.

Za teorijska istraživanja u radu od interesa su saobraćajni modeli na nivou zahteva, koji su u principu multiprotočni, a omogućuju procenu kvaliteta servisa kod mreža sa rezervacijom resursa, baziranih na Internet protokolu. Osnova za modeliranje je Erlangov multiprotočni model sa gubicima, kod koga Puasonovi saobraćajni tokovi raznih klasa servisa dolaze na jedinstven link određenog kapaciteta i iniciraju raspoloživi opseg na linku, principom potpune podele.

Komponente koje utiču na kvalitet servisa u radio interfejsu mogu se reprezentovati interakcijom mobilnosti, karakteristika saobraćaja i bežičnog medijuma. Bežični linkovi imaju promenljive karakteristike u vremenu, nomadsko ponašanje korisnika donosi drugu neizvesnost, a treba imati u vidu i specifična svojstva saobraćaja. Radi poboljšanja interakcije heterogenih mreža, kao moguće rešenje razmatra se hijerarhijska prekrivajuća infrastruktura. Kada mobilni korisnik uđe u nepokrivenu oblast ćelijske pristupne tačke, saobraćaj se hendover postupkom preliva do susedne mreže, radi nastavljanja konekcije. Klasičan slučaj, interesantan za istraživanje sprovedeno u tezi, je kada se zahtev odbacuje od strane ćelije zbog ograničenog kapaciteta, ali ima mogućnost da se prosledi u pokrivajuću mrežu.

Zadatak petog poglavlja je da razjasni osnovne pojmove metoda višekriterijumskog odlučivanja. Karakteristika problema da im je cilj dizajniranje optimalne, ili selekcija

najbolje alternative, dovodi do aktuelne klasifikacije na višekriterijumsko odlučivanje prema objektu (cilju) i prema osobinama. Kod problema izbora mreže u heterogenom okruženju dostupna mreža odlikuje se atributima, broj dostupnih mreža je konačan i prostor odlučivanja diskretan, tako da se problem svrstava u kategoriju odlučivanja prema osobinama (atributima).

Od navedenog većeg broja metoda objašnjeni su metod težinske sume, metod težinskog proizvoda i delimično AHP metod. Za metod na bazi koga će se razvijati sopstveni algoritam izbora mreže u heterogenom okruženju odabran je TOPSIS, koji je proveren i respektovan, a pruža mogućnosti nadogradnji i modifikacija. U procesu korišćenja i dobijanja rezultata izabrana je varijanta TOPSIS-a bazirana na entropiji težina, koja izbegava nedostatke drugih analiziranih metoda.

Šesto poglavlje se bavi ocenom tehnika izbora optimalne mreže. Izloženi su algoritmi bazirani na kvalitetu radio linka, kao i na funkcijama boniteta pristupne mreže. Razvijen je algoritam za izbor optimalne mreže baziran na funkciji boniteta mreže koja se određuje TOPSIS metodom sa entropijom težina. Testiranjem modela pokazane su mogućnosti TOPSIS metode u procesu izbora optimalne mreže. Jednostavnost algoritma povećava njegovu efikasnost u cilju optimalnog iskorišćenja terminalnih i mrežnih resursa, a robusnost se ogleda u mogućnosti uključivanja većeg broja kriterijuma.

Sedmo poglavlje posvećeno je rezultatima teorijskih rešavanja kompleksnijih modela sa alternativnim korišćenjem resursa, što je od interesa za hendover saobraćaj, koji ima karakter višefaznog opsluživanja, a u značajnijoj meri na potrebu heterogenih mreža da, u slučaju nedostatka resursa, koriste resurse druge mreže. Najpre je izložen multiprotočni model sa gubicima zahteva, kao osnovni pri rešavanju problema multimedijalnog saobraćaja, koji pri rešavanju tradicionalno koristi algoritam Kaufman – Roberts-a. Fenomen promene intenziteta u alternativnim grupama je od interesa i za heterogene mreže. Ovde je predstavljen opšti model sa više alternativnih grupa i tehnikom funkcija generatrisa (izvodnica) dobijeno je analitičko rešenje za jednačine stanja. Broj nepoznatih koeficijenata umanjen je u odnosu na broj verovatnoća stanja onoliko puta koliki je broj stanja u primarnoj grupi. Razvijen je i postupak koji dodatno umanjuje broj jednačina za rešavanje.

Najvažniji rezultat ovog poglavlja je eksplicitno analitičko rešenje modela sa dve alternativne grupe, koje je neuporedivo pogodnije od numeričkog rešavanja jednačina stanja. Time ovaj model postaje polazno sredstvo za niz složenijih problema, poput Erlangove formule u klasičnoj teoriji saobraćaja. Numerički primeri i grafici saobraćajnih parametara ukazuju na značaj modela i važnost rezultata za koje više nema potrebe da se aproksimiraju prostijim modelima.

U Zaključnom razmatranju naglašeni su doprinosi ove teze, posebno teorijski rezultati, ukazano je na njihov značaj za dalja istraživanja i predočene namere u daljem istraživačkom radu.

Prilozi sadrže izvorni kod algoritma za izbor optimalne mreže (Prilog A), postupak teorijskog rešavanja opšteg modela sa različitim intenzitetima opsluge u alternativnim grupama (Prilog B) i izvorni kod algoritma za određivanje saobraćajnih parametara modela sa dve alternativne grupe (Prilog C).

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Rad kandidata je rezultat naučno-istraživačkog angažovanja u oblasti heterogenih bežičnih mreža. Aktuelnost teme disertacije višestruko je potvrđena objavljenim radovima i pratećim softverskim rešenjima, kao i odgovarajućom citiranošću.

Izloženi su osnovni, ali naučno bitni rezultati višegodišnjeg izučavanja i istraživanja problema vezanih za fenomen heterogenih bežičnih mreža i komunikacionog saobraćaja. Aktuelnost problema motiviše i angažuje velike naučnoistraživačke timove, što se sagledava kroz obilje i ovde navedenih kvalitetnih referentnih radova, objavljenih u najjemenitnijim međunarodnim časopisima. Istraživača, koji nalazi polazište u tim radovima, obavezuje visok nivo dostignutih rezultata i stimulisan je da u individualnom pristupu osmisli i verifikuje svoj doprinos. Od radova kandidata sa ovom tematikom, jedan je uvršćen kao obavezna literatura na nekoliko prestižnih stranih univerziteta, a takođe je citiran i u knjizi, koja je u izdanju renomiranog svetskog izdavača.

Dizajniranje efikasnih tehnika hendovera predstavlja osnovni pravac istraživanja u oblasti heterogenih bežičnih mreža. Aktuelne tehnike ne ispunjavaju u potpunosti zahteve u pogledu pokrivenosti tehnologija, adekvatnosti analiziranih parametara, kompleksnosti implementacije i uključivanja svih entiteta u izbor adekvatne pristupne mreže. U suštini, tehnike bazirane na kvalitetu radio linka predstavljaju jednostavna rešenja zbog broja analiziranih kriterijuma i mrežnih tehnologija. Tehnike bazirane na bonitetu mreže analiziraju uticaje mrežnih performansi, servisnih zahteva i preferencija korisnika. Međutim, zbog svoje kompleksnosti predstavljaju samo teorijska rešenja, koja su trenutno u žiži interesovanja istraživača i zbog niza ograničenja nisu još primenljiva u realnim okruženjima.

Fenomen komunikacionog saobraćaja sagledan je sa više aspekata, najpre kao klasični i kao saobraćaj aktuelnih IP mreža. Analizirane su specifičnosti paketskog saobraćaja, saobraćaja tokova, kao i saobraćaja sesija, odnosno na nivou zahteva. Agregacije i svojstva saobraćaja na paketskom sloju uslovljavaju zakonitosti ponašanja saobraćaja na sloju toka i sloju zahteva. U nameri da se teorijski reši neki saobraćajni problem, od interesa za bežične mreže naredne generacije, izbor je pao na modele koji problem tretiraju na nivou zahteva.

Modeli multimedijalnog saobraćaja su kompleksni već pri korišćenju jedinstvenog kapaciteta, odnosno jedne grupe, a ovde je namera bila da se sagledaju modeli bitni za hendover, kao i za prelivni saobraćaj, za koji postoji izuzetan interes pri objedinjenju heterogenih mreža. Mada u literaturi postoje metodi kojima se multiprotokni model svodi na prostiji, ovde se predlaže postupak kojim saobraćaj posmatranog toka definiše osnovnu brzinu, odnosno broj kanala u nekom kapacitetu (opsegu), a svi ostali tokovi svode se na drugi saobraćaj. Odbačeni zahtevi posmatranog saobraćaja upućuju se na alternativne grupe, gde se predviđa menjanje osnovne brzine, odnosno intenziteta usluge. Pojam opseg (propusni opseg, *bandwidth*) na sloju zahteva, za modele sa gubicima, poistovećuje se sa kapacitetom, a preko osnovne brzine sa kapacitetom grupe, odnosno brojem kanala u grupi.

Polazna hipoteza uspešno je dokazana analitičkim rešavanjem opšteg modela sa više alternativnih grupa, a dobijeno je i eksplicitno rešenje za model sa dve alternativne grupe. Numerička i grafička analiza pokazala je svrsishodnost korišćenja ovakvih modela. Deo ovde izloženih rezultata objavljen je u renomiranom međunarodnom časopisu. Namera je da se ovi modeli iskriste kao polazni u rešavanju složenijih saobraćajnih problema bežičnih mreža, kada su u pitanju postupci hendovera i alternativnog prosleđivanja zahteva, uzimajući u obzir multiprotoknost, odnosno multimedijalnost saobraćaja.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Kandidat je detaljno istražio aktuelnu literaturu i korektno naveo reference koje su u vezi sa temom disertacije. Pored radova u renomiranim časopisima i radova referisanih na međunarodnim konferencijama, konsultovana je udžbenička i monografska literatura iz oblasti heterogenih bežičnih mreža i teorije telekomunikacionog saobraćaja.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Metodologija istraživanja u okviru doktorske disertacije sastoji se u sledećem:

- Izvršena je sistematizacija i analiza aktuelnih problema istraživanja, koji se prvenstveno odnose na tehničke aspekte razvoja heterogenih bežičnih mreža.
- Analizirani su protokoli mobilnosti po pripadajućim slojevima, mrežnom, transportnom i aplikacionom, a zatim je izvršena njihova komparacija.
- Izvršena je sistematizacija hendovera, kao proceduralnog vremenskog procesa, na osnovu niza faktora, poput vrste mrežnog okruženja, administrativnih domena, broja konekcija, angažovanih frekvencija, potrebe za izvršenjem i uticaja korisnika.
- Razvijen je i višestruko testiran algoritam za odabir mreže u heterogenom bežičnom okruženju, čiju osnovu čini, kritički odabran i za ove potrebe adaptiran, metod višekriterijumskog odlučivanja TOPSIS.
- Analizirana su svojstva saobraćaja savremenih mreža po svim nivoima, a za predmetna naučna istraživanja odabrano je rešavanje problema na nivou sesije (zahteva, konekcije).
- Za odabrane, do sada nerešene probleme, postavljeni su sistemi jednačina stanja u stacionarnom režimu, a do njihovih analitičkih i eksplicitnih rešenja došlo se vrlo kompleksnom tehnikom funkcija generatrisa.
- Za razvijeni algoritam, provere tačnosti dobijenih analitičkih rešenja, kao i za vršene analize, razvijeni su i priloženi odgovarajući računarski programi.

3.4. Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata

Radovi kandidata privukli su pažnju istraživača, tako da su u međuvremenu citirani na IEEE konferencijama, kao i u priznatim međunarodnim naučnim časopisima. Izloženi algoritam predstavlja jednu od više realizovanih modifikacija, koja bi mogla da bude od izvesnijeg interesa za praktičnu implementaciju. Dalja istraživanja bi se usredsredila na temeljniju komparaciju sa sličnim algoritmima i suptilnije tretiranje korišćenih kriterijuma. U međuvremenu je interesovanje za ove probleme izuzetno poraslo, tako da postaje kritično praćenje dostignutih rezultata prezentovanih u literaturi.

3.5. Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je ispoljio izuzetnu samostalnost, analitičnost i sistematičnost u rešavanju složenih istraživačkih problema. Rezultati dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada kandidata zadovoljavaju sve kriterijume Zakona o visokom obrazovanju. Kandidat ispunjava sve uslove za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Glavni ostvareni doprinosi istraživanja su:

- Sistematizovana su svojstva aktuelnih bežičnih mreža i sagledane su mogućnosti njihove integracije.
- Analizirani su i komparirani protokoli mobilnosti, sistematizovani su hendoveri po raznim faktorima i analiziran je standard IEEE 802.21, koji rešava probleme vezane za interoperabilnost heterogenih bežičnih mreža i proces vertikalnog hendovera.

- Sistematizovano su izloženi osnovni pojmovi teorije klasičnog saobraćaja, a potom je detaljno objašnjena priroda paketskog, odnosno Internet saobraćaja, koja je višeslojna po vremenskoj skali, odnosno, tretira se na nivou paketa, *burst*-ova, tokova i sesija.
- Izloženi su najnapredniji algoritmi za odabir mreže, bazirani na kvalitetu radio linka, kao i na funkcijama boniteta pristupne mreže i izvršena je njihova analiza.
- Razvijen je algoritam za izbor optimalne mreže baziran na funkciji boniteta mreže, koja se određuje TOPSIS metodom sa entropijom težina i testiranjem modela prikazane su mogućnosti algoritma.
- Pokazano je da gubitak u mreži predstavlja kriterijum koji efektno utiče na donošenje odluke u procesu izbora optimalne mreže. Jednostavnost algoritma povećava njegovu efikasnost u cilju optimalnog iskorišćenja terminalnih i mrežnih resursa, a robusnost se ogleda u mogućnosti uključivanja većeg broja kriterijuma.
- Za opšti saobraćajni model sa više alternativnih grupa i sa promenom intenziteta opsluge, tehnikom funkcija generatrisa dobijeno je analitičko rešenje za jednačine stanja. Broj nepoznatih koeficijenata umanjeno je u odnosu na broj nepoznatih verovatnoća stanja onoliko puta koliki je broj stanja u primarnoj grupi. Razvijen je i postupak koji dodatno umanjuje broj jednačina za rešavanje.
- Kao najznačajniji rezultat može se izdvojiti eksplicitno analitičko rešenje modela sa dve alternativne grupe, koje je neuporedivo pogodnije od numeričkog rešavanja jednačina stanja. Numeričkim primerima i graphicima saobraćajnih parametara ilustrovan je značaj modela i njegova prednost nad prostijim modelima.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Neosporno je da su u ovom radu pažljivo odabrani i obrađeni aktuelni problemi heterogenih bežičnih mreža. Dve istraživački istaknute celine su: razvijanje algoritma za odabir mreže u heterogenom bežičnom okruženju i analitičko rešavanje saobraćajnih modela od interesa za razmatrane mrežne tehnologije.

Testirani algoritam poslužio je da bi se pokazalo da estimirani gubitak mreže predstavlja respektivan kriterijum, u odnosu na druge odabrane kriterijume, značajan za proces odabira mreže. Algoritam se zasniva na kvalitetnom optimizacijskom metodu, nije zahtevan u implementaciji i izvršenju, ali je zato izazovan za dodatna proširenja i suptilniju optimizacionu podršku.

Analitički i eksplicitno rešeni saobraćajni modeli su pod razumljivim ograničenjima u pogledu karaktera opsluživanih tokova. Međutim, odabran je prihvatljiv put, jer se u analitičkom rešavanju složenije saobraćajne situacije ne bi daleko odmaklo, a dobijena rešenja su zahvalna za nadogradnju pretpostavkama o multiprotokolnosti multimedijalnog saobraćaja.

4.3. Očekivana primena rezultata u praksi

Za praktičnu primenu, pored ostalog, od interesa je razvijeni algoritam za izbor optimalne pristupne mreže u heterogenom okruženju. Za funkcionisanje na aplikacionom sloju i obezbeđivanje potrebnih podataka, potrebno je u mobilne terminale implementirati softverske module, bazirane na predloženom algoritmu, kao i hardverske i softverske module servera za podršku pri izboru optimalne mreže.

Implementacija modela bi obezbedila značajna poboljšanja kvaliteta servisa, koji se opaža od strane korisnika, jer je evidentno da, u slučaju vertikalnog hendovera, jačina radio signala nije dovoljan indikator za analizu performansi heterogenih bežičnih mreža.

Predloženi model na efikasan i jednostavan način iznalazi optimalan balans između zahteva servisa, preferencija korisnika i performansi mreža.

4.4. Verifikacija naučnih doprinosa

U direktnoj vezi sa doktorskom disertacijom su sledeća dva rada u časopisima sa SCI liste, pri čemu je u jednom od njih kandidat prvopotpisani autor:

- 1.) Z. Bojkovic, M. Bakmaz, **B. Bakmaz**, "To the Memory of Agner K. Erlang: Originator of Teletraffic Theory", *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, no. 1, Jan. 2010, pp. 123-127. DOI: 10.1109/JPROC.2009.2035167, ISSN 0018-9219, IF(2010) = 5.096 (M21)
- 2.) **B. Bakmaz**, M. Bakmaz, "Solving Some Overflow Traffic Models with Changed Serving Intensities", *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ: Archiv fuer Elektronik und Übertragungstechnik)*, DOI: 10.1016/j.aeue.2011.05.007, ISSN 1434-8411, IF(2010) = 0.519 (M23)

Osim toga, kandidat je na međunarodnim i nacionalnim konferencijama, kao i u nacionalnim časopisima objavio još 28 radova, koji su u direktnoj vezi sa doktorskom disertacijom i od kojih ovde izdajamo:

- 3.) **B. Bakmaz**, Z. Bojkovic, "Internet Protocol version 6 as Backbone of Heterogeneous Networks", *Proc. IWSSIP 2005*, Chalkida, Greece, Sep. 2005, pp. 255-259. ISBN 0-90776-20-5 (M33)
- 4.) **B. Bakmaz**, Z. Bojkovic, M. Bakmaz, "Internet Protocol Multimedia Subsystem for Mobile Services", *Proc. IWSSIP & EC-SIPMCS 2007*, Maribor, Slovenia, Jun. 2007, pp. 353-356. ISBN 978-961-248-029-5 (M33)
- 5.) **B. Bakmaz**, Z. Bojkovic, M. Bakmaz, "Network Selection Algorithm for Heterogeneous Wireless Environment", *Proc. IEEE PIMRC 2007*, Athens, Greece, Sep. 2007, pp. 347-350. ISBN 1-4244-1144-0 (M33)
- 6.) **B. Bakmaz**, et al., "Mobile Broadband Networking Based on IEEE 802.20 Standard", *Proc. IEEE TELSIS 2007*, vol. 1, Nis, Serbia, Sep. 2007, pp. 243-246. ISBN 1-4244-1467-9 (M33)
- 7.) **B. Bakmaz**, M. Bakmaz, Z. Bojkovic, "Security Aspects in Wireless Networks", *Proc. 10th WSEAS Int. Conf. on Mathematical Methods and Computational Techniques in Electrical Engineering (MMACTEE'08)*, Sofia, Bulgaria, May 2008, pp. 120-125. ISBN 978-960-6166-60-2 (M33)
- 8.) **B. Bakmaz**, M. Bakmaz, Z. Bojkovic, "Security Aspects in Future Mobile Networks", *Proc. IWSSIP 2008*, Bratislava, Slovak Republic, Jun. 2008, pp. 479-482. ISBN 978-80-227-2856-0 (M33)
- 9.) **B. Bakmaz**, Z. Bojkovic, M. Bakmaz, "Vertical Handover Techniques Evaluation", *Proc. 10th WSEAS International Conference on ELECTRONICS, HARDWARE, WIRELESS and OPTICAL COMMUNIS (EHAC '11) Recent Researches in Communications, Automation, Signal Processing, Nanotechnology, Astronomy and Nuclear Physics*, Cambridge, UK, Feb. 2011, pp. 259-264. ISSN: 1792-8133, ISBN: 978-960-474-276-9. (M33)
- 10.) **B. Bakmaz**, M. Bakmaz, "Network Selection Heuristics Evaluation in Vertical Handover Procedure", *Proc. ICEST 2011*, Nis, Serbia, Jun. 2011. (M33)
- 11.) **B. Bakmaz**, M. Bakmaz, "Properties of Two Traffic Models with Changed Serving Intensities in Alternative Groups", *Proc. ICEST 2011*, Nis, Serbia, Jun. 2011. (M33)

Doprinosi objavljeni u navedenim, ali i drugim radovima, predstavljaju deo osnovnih rezultata istraživanja izloženih u doktorskoj disertaciji kandidata i dopunjeni su rezultatima koji do sada nisu objavljeni.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Disertacija *Izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju* predstavlja rezultat višegodišnjeg izučavanja i istraživanja problema vezanih za fenomene heterogenih bežičnih mreža i komunikacionog saobraćaja. Razvijen je algoritam za izbor mreže, u kome je, od parametara kvaliteta servisa, naglašeno mesto zauzelo stanje mreže izraženo preko gubitaka saobraćaja. U dubljim teorijskim razmatranjima saobraćajnih problema, analitički i eksplicitno su rešeni sistemi jednačina stanja modela od interesa za izučavane mreže, koji bitno olakšavaju njihovo korišćenje i otvaraju niz mogućnosti za dalja istraživanja.

Za razvijeni algoritam objašnjen je postupak praktične interpretacije, a analitički rešeni saobraćajni modeli omogućuju efektivnije iznalaženje saobraćajnih parametara, koji bi se koristili u algoritmima odabira mreža, kao i za mnogo šire potrebe.

Kandidat je pokazao potpunu zrelost u samostalnom uočavanju i postavljanju naučnih problema, te njihovom savesnom i svestranom rešavanju. Rezultati do kojih se došlo verifikovani su većim brojem objavljenih radova. Dva od njih su u časopisima sa SCI liste, pri čemu je u jednom kandidat prvi autor.

Na osnovu izloženog, članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Nastavno-naučnom veću Saobraćajnog fakulteta u Beogradu da rad **Bojana Bakmaza**, pod naslovom *Izbor mreže u heterogenom bežičnom okruženju*, prihvati kao doktorsku disertaciju i da kandidatu odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 08. jul 2011. godine

KOMISIJA ZA PREGLED I OCENU RADA

Dr Vladanka Aćimović-Raspopović, red.prof.
Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet

Dr Katarina Vukadinović, red.prof.
Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet

Dr Miroslav Dukić, red.prof.
Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet