

Analiza nekih performansi telekomunikacione mreže pri različitim metodama rutiranja

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Snežana Mladenović, Vladanka Aćimović-Raspopović

Sadržaj — U ovom radu su prikazani rezultati analize efekata dinamičkog rutiranja saobraćaja i uticaj izabrane metode rutiranja na optimalno korišćenje resursa mreže i na prihod operatora. Da bi se napravila takva analiza mi smo kreirale softver za simulaciju rada mreže. Ovde će biti prikazana analiza samo nekih od brojnih izlaznih rezultata koji se mogu dobiti korišćenjem kreiranog softvera.

Ključne reči — telekomunikaciona mreža, dinamičko rutiranje saobraćaja, prihod operatora

I. UVOD

Adekvatno izabrana metoda rutiranja, kao jedan od ključnih elemenata optimizacije funkcionisanja telekomunikacione mreže, može značajno da utiče na njene performanse. Za razliku od metoda sa fiksnim pravilima rutiranja, u kojima se kapaciteti u mreži dodeljuju saglasno prognoziranim saobraćajnim zahtevima između parova komutacionih čvorova, dinamičko rutiranje se zasniva na drugačijem pristupu: saobraćaj se dodeljuje onim putanjama na kojima trenutno postoje slobodni kapaciteti. Primenom metoda dinamičkog rutiranja saobraćaja mogu se ostvariti značajne uštede u investicionim troškovima mreže jer se omogućava bolje iskorišćenje raspoloživih resursa. Pored uštede, postoje i druge prednosti dinamičkog nad fiksnim rutiranjem koje su razmatrane u [1], [2] i [3]. U spomenutoj literaturi su klasifikovane i opisane brojne metode dinamičkog rutiranja, a naše dosadašnje istraživanje se bavilo sledećim: rutiranje po najkraćoj putanji, rutiranje po putanjama koje u sebi sadrže najviše 4 čvora – ruta sa 3 hopa, rutiranje po putanjama koje su na slučajan način izabrane iz seta mogućih putanja i rutiranje po poslednjoj uspešnoj putanji. Primenjeni metod rutiranja u nekoj mreži, osim navedenog, može da značajno utiče i na cenu interkonekcije sa drugim mrežama, kao i na prihod

Ovaj rad je deo istraživanja na projektu broj T11013A, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

Aleksandra Kostić- Ljubisavljević, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091322; faks: 381-11-3096704; e-mail: a.kostic@sf.bg.ac.rs

Snežana Mladenović, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091209; faks: 381-11-3096704; e-mail: snezanam@sf.bg.ac.rs

Vladanka Aćimović-Raspopović, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11-3091398; faks: 381-11-3096704; e-mail: v.acimovic@sf.bg.ac.rs

operatora.

Postoje brojni koncepti koji se primenjuju u telekomunikacionim mrežama širom sveta u cilju određivanja adekvatne i prihvatljive cene interkonekcije sa aspekta operatora i regulatora [4], [5] i [6]. Neki od njih su: metode zasnovane na troškovima, *bill and keep*, podela profita, *price cap* i td. U svetu su najviše korišćeni *bill and keep* i *cost based* pristupi.

Bill and keep pristup podrazumeva da se operatorima interkonekcija uopšte ne naplaćuje. Svaki operator "naplati" svojim krajnjim korisnicima izlazni saobraćaj koji oni generišu ka drugoj mreži, i "zadržava" sav prihod koji proistekne. Model *bill and keep* je najbolje primeniti u situacijama kada je saobraćaj između operatora u ravnoteži. U suprotnom, jedan operator će imati manju dobit zbog većih troškova terminiranja saobraćaja u njegovoj mreži. *Cost based* pristup u naplati interkonekcije podrazumeva da se cene interkonekcije mogu formirati tako da se u potpunosti postigne povraćaj troškova operatora. U okviru ovog načina formiranja tarife interkonekcije postoje brojne realizacije i pristupi u njegovoj implementaciji [7]. To je koncept koji predstavlja jedan od najprihvaćenijih koncepata utvrđivanja tarife interkonekcije širom sveta.

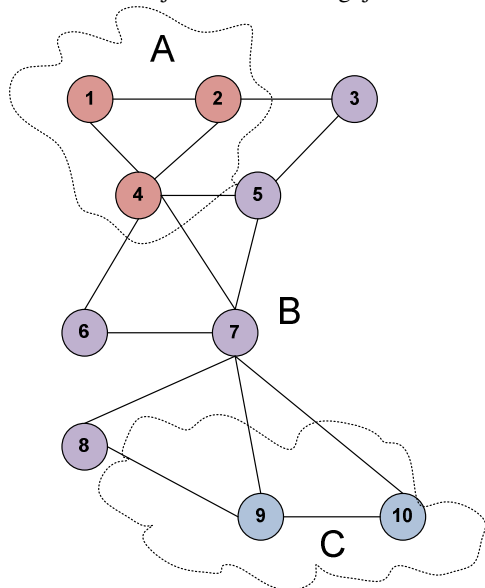
Ovaj rad je koncipiran na sledeći način. U drugom delu rada je data postavka problema. Treći deo se odnosi na analizu dobijenih rezultata. Zaključna razmatranja su data u četvrtom delu rada.

II. POSTAVKA PROBLEMA

Posmatra se telekomunikaciona mreža prikazana na Sl. 1. Mreža se sastoji od 3 međusobno povezana segmenta (A, B i C). Mrežu A čine čvorovi 1,2,4, mrežu B čvorovi 3,5,6,7 i 8 a mrežu C čvorovi 9 i 10. Primenjena su četiri različita načina rutiranja i dva načina naplate interkonekcije. Rutiranje može biti po najkraćoj putanji, rutiranje sa maksimalno tri hopa (četiri čvora), rutiranje po putanji koja je na slučajan način izabrana iz skupa mogućih putanja i rutiranje po poslednjoj uspešnoj putanji.

Što se interkonekcije tiče, posmatrana su dva načina naplate: *bill and keep* i naplata bazirana na troškovima. Kao što je prethodno navedeno, kod *bill and keep* pristupa nema naplate uluge interkonekcije između mreža, dok se *cost based* interkonekcija naplaćuje zavisno od troškova koji u tom procesu nastaju. Mi smo u softver uvele „faktor troška interkonekcije“ kojim se množi trošak linka koji se

nalazi u izabranoj putanji kojom se opslužuje konekcija, pod uslovom da se taj link nalazi u drugoj mreži.



Sl. 1. Mreža koja je korišćena za simulacije

Saobraćaj je variran sa faktorom od 0,5 do 5. Realizovani softver daje mogućnost da se za kratko obavi veliki broj eksperimenata (što je i urađeno), pa samim tim i da se dobije veliki broj izlaznih podataka.

Za posmatranu mrežu su poznati sledeći podaci:

- kapacitet linkova,
- trošak svakog od linkova,
- kapacitet čvorova,
- trošak čvorova.

U procesu kreiranja softvera pretpostavile smo jednake kapacitete svih linkova u mreži.

Trošak linka se definiše kao onaj trošak koji snosi operator da bi opslužio konekciju koja je generisana u njegovoj mreži, koja tranzitira kroz njegovu mrežu, ili koja terminira u njegovoj mreži. Iako ovi troškovi u praksi nisu na isti način definisani, niti se na isti način računaju, u ovom radu će oni biti posmatrani pod zajedničkim nazivom troškovi linkova.

Kapacitet čvora predstavlja srednji broj zahteva za konekcijom koji se može generisati u svakom čvoru. Zbog jednostavnijeg rada, a i kasnije lakše obrade dobijenih rezultata, kapacitet čvorova je normalizovan na jedan. Pretpostavljeno je da svaki čvor može da prosledi sav tranzitni saobraćaj koji kroz njega prolazi, pod uslovom da su linkovi koji ulaze i izlaze iz njega slobodni. U svakom čvoru se generiše saobraćaj koji je predstavljen Poasonovim tokom događaja, sa srednjom vrednošću koja predstavlja umnožak unapred definisanog kapaciteta čvora.

Trošak čvora je parametar koji predstavlja trošak prosljeđivanja konekcije kroz posmatrani čvor. U zavisnosti od toga koja je funkcija datog čvora u procesu opsluživanja saobraćaja, trošak može da se odnosi na generisanje, tranzitiranje i terminiranje konekcije. Za sve čvorove smo unapred definisale da su troškovi generisanja i terminiranja konekcije jednaki i duplo veći od troškova

tranzitiranja.

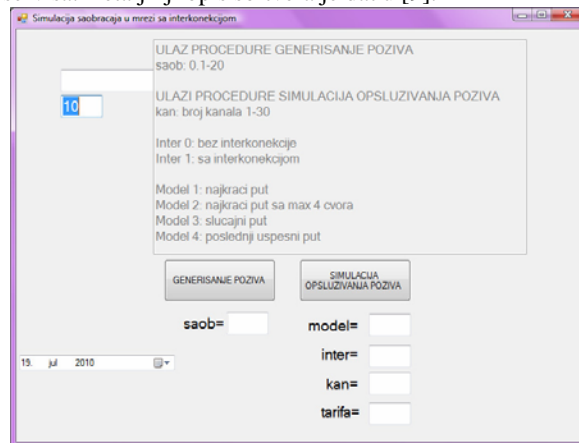
Realizovani softver testiran je na primeru mreže koja je predstavljena na Sl. 1. Simulran je period koji je 7 puta duži od srednjeg vremena trajanja konekcije, pri čemu se iz analize podataka izostavljaju intervali koji se odnose na srednje vreme trajanja konekcije na samom početku i kraju simulacije. Trajanje konekcije se posmatra kao slučajna promenljiva koja ima eksponencijalnu raspodelu.

Konekcija podrazumeva zahtev za dostavljanje paketa servisa krajnjim korisnicima koji su grupisani oko posmatranih čvorova u mreži. Prema Strategiji razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Srbiji do 2012. godine, pod pojmom širokopojasni pristup, koji bi trebalo da bude omogućen svakom krajnjem korisniku, podrazumeva se stalni pristup resursima telekomunikacione mreže sa protocima ne manjim od 4Mb/s [8].

Zbog izuzetno velikog broja izlaznih rezultata u ovom radu će biti prikazani samo rezultati koji se odnose na *bill and keep* način naplate interkonekcije.

III. ANALIZA REZULTATA

Softver je kreiran tako da se simulacija izvodi u dve odvojene faze. U prvoj fazi se generiše saobraćaj u mreži, koji može da varira sa faktorom od 0,5 do 5. Nakon generisanja saobraćaja korisnik unosi željeni tip rutiranja i način naplate interkonekcije pomoću ulazne maske prikazane na Sl. 2. Osim ovih podataka korisnik unosi i tarifu (cenu) koja se naplaćuje od krajnjeg korisnika paketa servisa. Detaljniji opis softvera je dat u [9].



Sl. 2. Izgled ulazne maske kreiranog softvera

Po završetku simulacije relevantni podaci se upisuju u datoteku odakle se mogu prebaciti u format koji je pogodniji za njihovu dalju obradu. U toj izlaznoj datoteci se za svaki tip rutiranja i naplate interkonekcije memorišu podaci koji se odnose na:

- procentualnu zauzetost linka,
- troškove konekcija (ukupne i raspodeljene po mrežama),
- broj konekcija koji je generisan, tranzitirao i terminirao za svaki čvor u mreži,
- prihode nastale opsluživanjem konekcija (i to ukupno i raspodeljeno po mrežama),

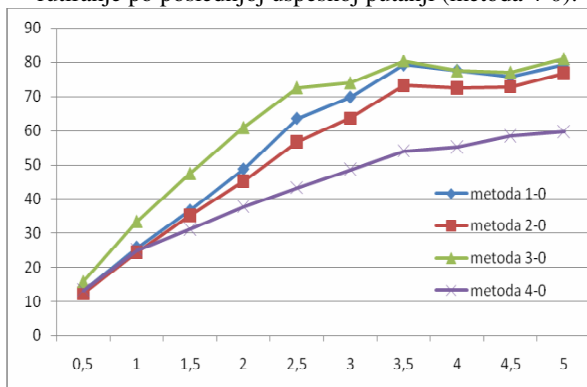
- broj realizovanih konekcija između parova čvorova,
- ukupan broj konekcija koje su generisane, tranzitirale ili terminirale za svaku od mreža,
- detaljne podatke o broju konekcija koje su terminirale u svaku mrežu kao i podatke o njihovom poreklu,
- za svaku putanju koja je korišćena memorišu se podaci o linkovima koji je sačinjavaju, broju konekcija koje su tu putanju koristile, kao i o vremenu zauzeća,
- kumulativne troškove realizovanih konekcija između parova čvorova, kao i prosečne troškove realizovanih konekcija između parova čvorova.

Da bi se dobili korektni podaci potrebno je pokrenuti softver dovoljan broj puta i izvršiti adekvatnu statističku analizu dobijenih rezultata. Mi smo za svaki posmatrani parametar izračunali srednju vrednost i standardno odstupanje.

U ovom radu će biti prikazani rezultati koji se odnose na poređenje različitih metoda rutiranja i to po kriterijumima zauzetosti linkova u mreži i prihoda operatora.

Na Sl. 3 je prikazan grafik zavisnosti srednje vrednosti procenta zauzetosti svih linkova u mreži pri *bill and keep* metodi naplate interkonekcije. U legendi na grafiku su naznačene sledeće metode rutiranja:

- rutiranje po najkraćoj putanji (metoda 1-0),
- rutiranje po putanji sa maksimalno 4 čvora (metoda 2-0),
- rutiranje po slučajno izabranoj putanji (metoda 3-0),
- rutiranje po poslednjoj uspešnoj putanji (metoda 4-0).



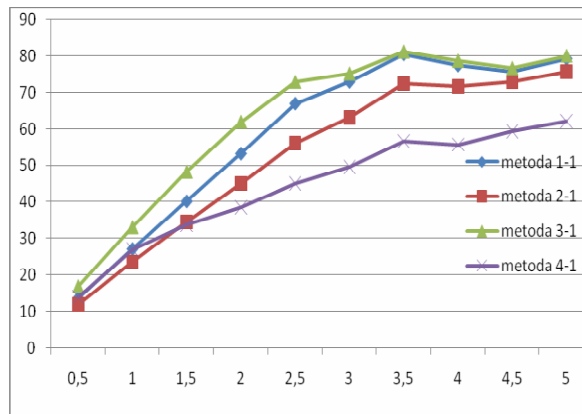
Sl. 3. Srednja vrednost procenta zauzetosti svih linkova u posmatranoj mreži pri *bill and keep* načinu naplate interkonekcije

Na Sl. 4 je prikazan grafik zavisnosti srednje vrednosti procenta zauzetosti svih linkova u mreži pri *cost based* metodi naplate interkonekcije.

Sa Sl. 4 i Sl. 5 se može uočiti porast zauzetosti svih linkova u mreži, međutim on ne prelazi granicu od 82%, čak i pri velikim saobraćajnim opterećenjima. Takođe se može zaključiti da način naplate interkonekcije nema značajnijeg uticaja na prosečnu zauzetost linkova u mreži.

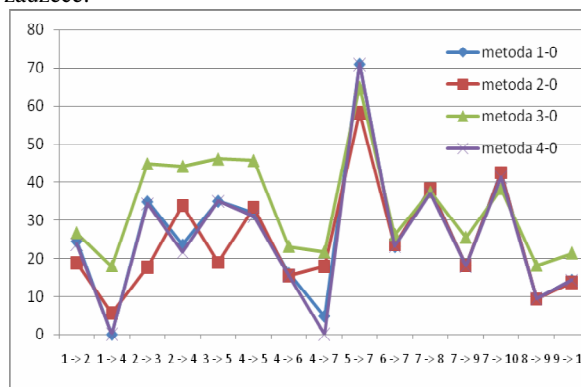
Analizom zauzetosti svakog linka pojedinačno, i za svaki metod rutiranja došli smo do zaključka da nisu svi linkovi u mreži podjednako opterećeni.

Na Sl. 5 prikazan je grafik zavisnosti srednje vrednosti procenta zauzetosti linkova u mreži, pri slabom intenzitetu saobraćaja.



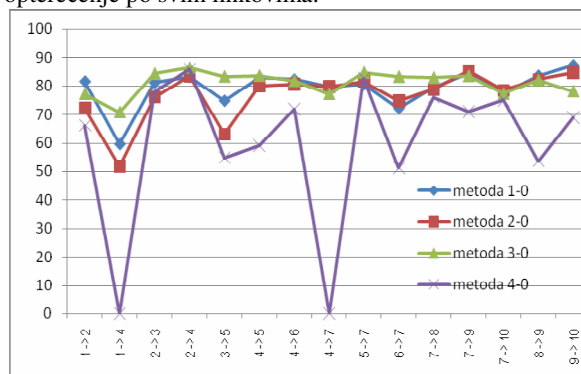
Sl. 4. Srednja vrednost procenta zauzetosti svih linkova u posmatranoj mreži pri *cost based* načinu naplate interkonekcije

Može se primetiti velika razlika u procentu zauzetosti pojedinih linkova. Linkovi 1-4 i 4-7 su pri metodi 4 potpuno neiskorišćeni, dok link 5-7 ima primetno najveće zauzeće.



Sl. 5. Procenat zauzetosti linkova pri slabom intenzitetu saobraćaja u mreži

Na Sl. 6 je prikazan grafik zavisnosti srednje vrednosti procenta zauzetosti linkova u mreži, pri većem intenzitetu saobraćaja. Primećuje se da je primenom prve tri metode rutiranja saobraćaja u mreži postignuto ravnomerno opterećenje po svim linkovima.

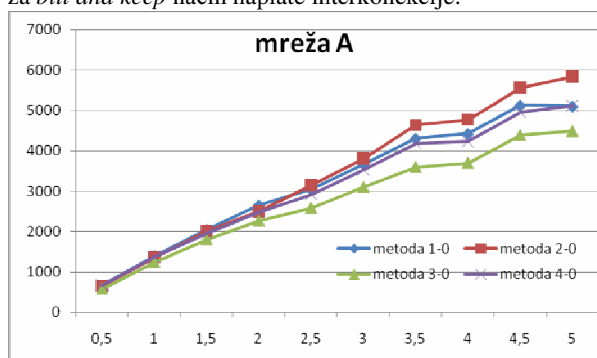


Sl. 6. Procenat zauzetosti linkova pri jakom intenzitetu saobraćaja u mreži

Korišćenjem metode 4, i pored velikog intenziteta ponuđenog saobraćaja, neki linkovi ostaju neiskorišćeni.

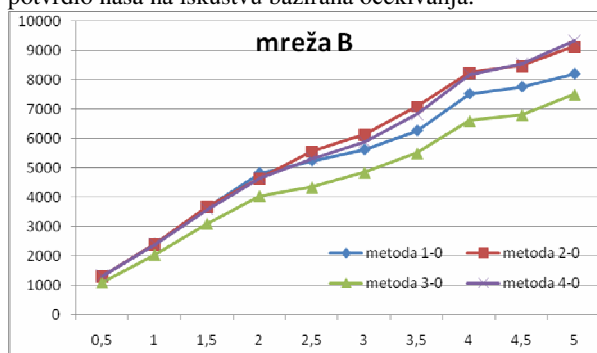
Na Sl. 7, Sl. 8 i Sl. 9 su prikazani grafici zavisnosti prihoda operatora (mreže) A, B i C, respektivno, od

primenjene metode rutiranja saobraćaja u mreži i to samo za *bill and keep* način naplate interkonekcije.



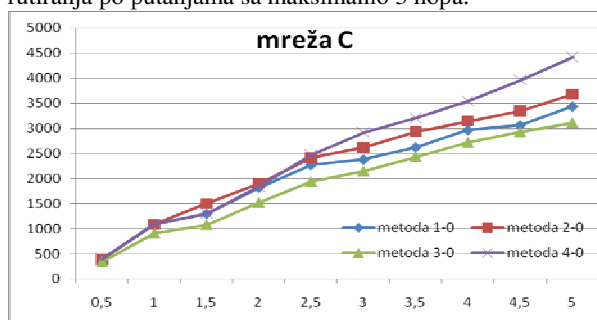
Sl. 7 Zavisnost prihoda mreže A od primenjene metode rutiranja

Ono što se može odmah uočiti je da metoda rutiranja po slučajno izabranoj putanji obezbeđuje najniže prihode svim posmatranim operatorima. Softver je u ovom slučaju potvrdio naša na iskustvu bazirana očekivanja.



Sl. 8 Zavisnost prihoda mreže B od primenjene metode rutiranja

Za mrežu/operatora A i B kao najpovoljnija metoda rutiranja, sa aspekta prihoda operatora, se pokazala metoda rutiranja po putanjama sa maksimalno 3 hopa.



Sl. 9 Zavisnost prihoda mreže C od primenjene metode rutiranja

Ono što je karakteristično za mrežu C je da najveći prihod može da se ostvari primenom rutiranja po poslednjoj uspešnoj putanji. Ovde treba napomenuti da ta metoda rutiranja pokazuje najlošije performanse sa aspekta izbalansiranosti saobraćaja u mreži. Razlog za takav rezultat leži u tome što se pri toj metodi rutiranja neki linkovi koji pripadaju mrežama A i B (npr. 1-4 i 4-7) skoro uopšte ne koriste, pa se samim tim i saobraćaj sa njih preusmerava na linkove drugih mreža. Kako su troškovi opsluživanja saobraćaja po tim linkovima manji, samim

tim će i ostvareni prihod operatora biti veći.

IV. ZAKLJUČAK

Analiziranjem samo nekih od mogućih izlaznih rezultata softvera koji smo razvile, može se zaključiti da način rutiranja saobraćaja ima značaja uticaj na izbalansiranost saobraćajnog opterećenja u telekomunikacionoj mreži. Na konkretnom primeru mreže postoje linkovi koji se i pored velikog saobraćajnog opterećenja uopšte ne koriste. Takođe se vidi da metode 2 i 3 dovode do najboljeg raspoređivanja opterećenja. Ovo je izuzetno značajan zaključak s obzirom na činjenicu da smo razmatrale načine naplate interkonekcije, i da je za *bill and keep* pristup od ključne važnosti upravo podjednako opterećenje svih angažovanih operatora. Osim izbalansiranosti saobraćaja u ovom radu je razmatran i uticaj metode rutiranja na prihod operatora. Za mreže A i B najpogodnija se pokazala metoda 2, dok je za mrežu 3 najbolje rezultate sa aspekta prihoda pokazala metoda 4. Na način pokazan u radu, moguće je analizirati performanse bilo koje telekomunikacione mreže.

V. LITERATURA

- [1] G. R. Ash, *Dynamic Routing in Telecommunication Networks*, McGraw-Hill, New York, 1998
- [2] ITU-T Recommendations E series
- [3] M. Pioro, D. Medhi, *Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks*, Elsevier, 2004
- [4] P. DeGraba, "Bill and Keep at the Central Office as the Efficient Interconnection Regime", *OPP Working Paper Series No. 33*, 2004.
- [5] B. E. Hermalin, M. L. Katz, "Sender or Receiver: Who Should Pay to Exchange an Electronic Message" *Rand Journal of Economics*, Autumn 2004, pp. 423 – 447, 2004.
- [6] M. Armstrong, "Network Interconnections in Telecommunications", *Economic Journal*, Vol. 108 (1998), pp. 545-564.
- [7] P. Nomba, et al., *A model for calculating interconnection costs in telecommunications*, World Bank, 2004.
- [8] <http://www.mtid.gov.rs/upload/documents/propisi/strategije/Strategija%20i%20akcioni%20plan%20razvoj%20sirokoprijemnog%20pristupa.pdf>
- [9] S. Mladenović, A. Kostić-Ljubisavljević, V. Aćimović - Raspopović, "Softver za analizu efekata interkonekcije telekomunikacionih mreža", *Zbornik radova CD, ETRAN 2010*, rad broj PT4.5

ABSTRACT

The effects of dynamic traffic routing methods on optimal usage of telecommunication network resources and operator revenue are analyzed in this paper. The results of numerous simulations performed with software specially developed for analysis of network performances are given. In this paper will be shown only analysis of some of numerous output data, which can be obtained from realized software.

THE ANALYSIS OF SOME NETWORK PERFORMANCES WITH DIFFERENT ROUTING METHODS

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Snežana Mladenović, Vladanka Aćimović-Raspopović