

PROJEKTOVANJE RUTA U TELEKOMUNIKACIONIM MREŽAMA SA DINAMIČKIM RUTIRANJEM SAOBRAĆAJA

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Goran Marković, Vladanka Aćimović-Raspopović,
Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu

Sadržaj – Projektovanje telekomunikacione mreže je složen proces koji se sastoji od dve osnovne funkcionalne celine: procesa projektovanja ruta i projektovanja kapaciteta. U ovom radu je prikazana primena modela za projektovanje ruta koji je baziran na optimizaciji tokova saobraćaja po linkovima. Analiza rezultata simulacije na primeru mreže sa četiri čvora pokazuje da se primenom ovog modela značajno mogu smanjiti gubici u mreži.

1. UVOD

Rutiranje predstavlja neophodnu funkciju telekomunikacionih mreža koja omogućava prosleđivanje poziva od izvora do odredišta i suštinski utiče na arhitekturu, planiranje i upravljanje mrežom, kao organizacijom komutacionih sistema međusobno povezanih transmisionim linkovima.

Dinamičko rutiranje, u odnosu na fiksno, ima dve osnovne prednosti. Prvo, povećava efikasnost korišćenja resursa mreže promenom šema rutiranja u skladu sa promenom saobraćajnih zahteva. Drugo, neograničavanjem broja mogućih ruta, što je slučaj u hijerarhijskoj strukturi sa fiksnim rutiranjem, povećava fleksibilnost, a takođe i efikasnost korišćenja mreže.

Dinamičko rutiranje saobraćaja dozvoljava promene tabela rutiranja u realnom vremenu ili u unapred planiranim vremenskim periodima. Shodno tome, sve metode dinamičkog rutiranja mogu se generalno razvrstati u dve osnovne kategorije:

- dinamičko rutiranje u realnom vremenu, i
- dinamičko rutiranje sa prethodnim planiranjem.[1, 2, 3]

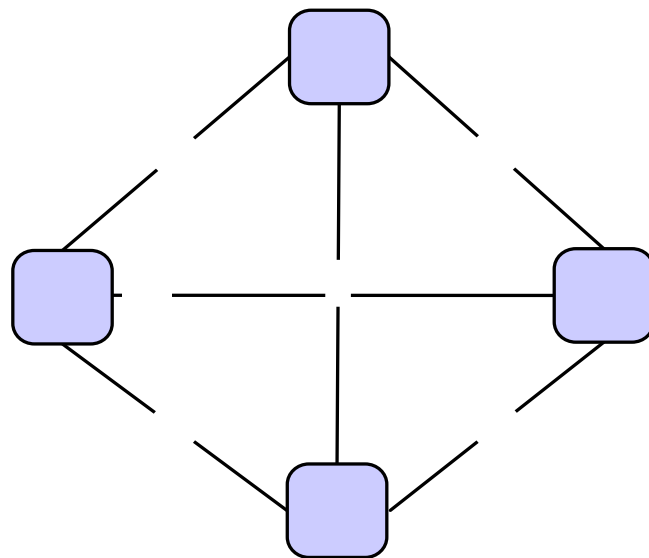
U ovom radu je, na konkretnom primeru mreže, pokazana primena jednog od modela za projektovanje ruta, koji se može koristiti u mrežama sa dinamičkim rutiranjem saobraćaja sa prethodnim planiranjem. Projektovanje ruta predstavlja jedan od najznačajnijih segmenata procesa projektovanja mreže. Osnovna funkcija primenjenog modela je formiranje tabela rutiranja na bazi optimizacije raspodele tokova saobraćaja po linkovima u mreži. Optimizacija se izvodi sa ciljem minimiziranja ukupnih troškova mreže, uz istovremeno zadovoljenje dozvoljenog nivoa gubitaka saobraćaja (*GoS-Grade of Service*), kao jednog od važnih parametara kvaliteta servisa.

2. POSTAVKA PROBLEMA

Posmatra se primer potpuno povezane telekomunikacione mreže sa četiri komutaciona čvora, prikazane na slici 1. Cilj istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom radu je minimizacija troškova telekomunikacione mreže, sa aspekta

saobraćajnog inženjeringa. Primenjeni model treba da definiše redosled putanja u tabelama rutiranja, odnosno da odredi rute tako da bude obezbeđena optimalna raspodela tokova saobraćaja po pojedinim linkovima u mreži.

Za datu mrežu su kao ulazni podaci modela optimizacije tokova saobraćaja korišćene pretpostavljene vrednosti ponuđenog saobraćaja, dopušteni gubici između parova čvorova definisani zahtevanim kvalitetom servisa (*GoS*), kao i troškovi angažovanja resursa linka. Za *GoS* usvojena je tipična zahtevana vrednost od 0,5%, dok je za troškove resurs pretpostavljeno da su isti za sve linkove u mreži.



Slika 1. Primer posmatrane telekomunikacione mreže

3. OPIS MODELA PROJEKTOVANJA RUTA

Modeli za optimizaciju tokova saobraćaja primenjuju se pri projektovanju mreža, kako sa fiksnim tako i sa dinamičkim rutiranjem saobraćaja. U mrežama sa dinamičkim rutiranjem proces rutiranja saobraćajnih tokova i dodela kapaciteta linkovima zasniva se na primeni metoda linearnog programiranja (LP). U zavisnosti od načina dodeljivanja saobraćajnih tokova linkovima, putanjama ili rutama razlikuje se nekoliko tipova optimizacionih modela.

Ukupni troškovi mreže zavise od troškova na direktnim putanjama i troškova rutiranja po alternativnim putanjama. Sa povećanjem broja kanala na direktnom linku dolazi do linearnog porasta troškova direktnih putanja, dok troškovi alternativnih putanja opadaju, s obzirom da se smanjuje veličina prelivnog saobraćaja sa direktnih linkova, a time i potreban broj kanala na alternativnim putanjama. [4,5,6,7,8]

Primenjeni optimizacioni model za projektovanje ruta je iterativni, pri čemu se u prvoj iteraciji definišu inicijalni parametri mreže, od kojih se kreće u postupku optimizacije. Odluka o prekidu iterativne petlje donosi se na osnovu informacija o troškovima mreže. Rezultati sprovedenih

Ovaj rad je deo istraživanja koje finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

istraživanja pokazuju da je za manje mreže dovoljno obaviti tri do četiri iteracije, jer se svakom sledećom iteracijom dobija zanemarljivo smanjenje troškova, koje ne doprinosi značajnijim poboljšanjima u mreži.

U fazi inicijalizacije definišu se neophodni podaci za optimizacioni model procesa projektovanja ruta. Ti podaci uključuju:

(1) definisanje perioda sa približno konstantnim intenzitetima saobraćaja (*LSP-Load Set Period*)

(2) saobraćajno opterećenje između pojedinih parova komutacionih čvorova u mreži, u različitim *LSP* periodima

(3) zahtevani *GoS*, odnosno dozvoljene saobraćajne gubitke između dva komutaciona čvora u mreži (tipična vrednost ovih gubitaka je 0,5% između svaka dva čvora), [1]

(4) inkrementalni trošak (cena) po erlangu opsluženog saobraćaja na linku i ,

(5) kriterijumi za rangiranje i izbor alternativnih putanja. Tipične vrednosti se mogu naći u granicama od 5 do najviše 15 alternativnih putanja, mada se u realnim situacijama najveći deo saobraćaja opsluži već preko prve dve ili tri putanje.

U ovde primenjenom modelu projektovanja ruta usvojen je kriterijum da putanja ne sadrži više od dva linka. Takođe u modelu je pretpostavljeno da postoje dva *LSP* perioda. Na osnovu datih ulaznih podataka, primenom modifikovanog Truitovog modela na mreže sa dinamičkim rutiranjem, mogu se odrediti verovatnoće gubitaka na pojedinim linkovima. Inicijalno formiranje redosleda putanja se vrši na slučajan način. [9,10,11,12,13]

U procesu optimizacije tokova saobraćaja potrebno je za svaku putanju odrediti odgovarajuća ograničenja u pogledu njenih mogućnosti prosleđivanja saobraćajnih tokova određenih intenziteta, u skladu sa gubicima na pojedinim linkovima posmatrane putanje. Drugim rečima, određenoj putanji ne može se dodeliti veći saobraćaj od onoga koji ona može realno da opsluži. U tom smislu, za svaku putanju j određuje se maksimalna dopuštena vrednost saobraćajnog toka (*UPBD-Upper Bound*), koji se njoj može ponuditi, prema sledećoj relaciji:

$$UPBD_j = A(1-B_j), \quad (1)$$

gde je:

$UPBD_j$ – maksimalna vrednost toka na putanji j ,

A – ponuđeni saobraćaj između dva komutaciona čvora,

B_j – vrednost gubitaka na putanji j .

Problem raspodele saobraćajnih tokova na pojedine putanje može se rešiti modelom u kome se primenjuje metod linearnog programiranja, pod pretpostavkom da su potrebni kapaciteti na pojedinim linkovima u linearnoj zavisnosti od opsluženog saobraćaja na linku. Model linearnog programiranja kojim se minimizira ukupna cena mreže može se matematički formulisati u sledećoj formi:

$$\min \sum_{i=1}^L M_i a_i \quad (2)$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{J_k^h} P_{jk}^{ih} f_{jk}^h \leq a_i \quad i = 1, \dots, L \quad (3)$$

$$h = 1, \dots, H$$

$$\sum_{j=1}^{J_k^h} f_{jk}^h = g_k^h \quad k = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$h = 1, \dots, H$$

$$f_{jk}^h \leq UPBD_{jk}^h \quad h = 1, \dots, H \quad (5)$$

$$k = 1, \dots, K$$

$$j = 1, \dots, J_k^h$$

$$f_{jk}^h \geq 0, \quad a_i \geq 0 \quad (6)$$

gde je:

M_i – inkrementalna cena linka po jedinici opsluženog saobraćaja na i -tom linku,

a_i – maksimalni opsluženi saobraćaj na i -tom linku u toku svih posmatranih *LSP* perioda h ,

K – ukupan broj parova komutacionih čvorova

H – broj *LSP* perioda za koje se vrši projektovanje ruta,

L – ukupan broj linkova u mreži,

J_k^h – broj putanja za komutacioni par k , u *LSP* periodu h ,

P_{jk}^{ih} je parametar koji ima vrednost 1, ako se i -ti link pojavljuje u putanji j za posmatrani par komutacionih čvorova k , u *LSP* saobraćajnom periodu h , odnosno $P_{jk}^{ih} = 0$, u suprotnom,

f_{jk}^h – opsluženi saobraćaj na putanji j za komutacioni par k u *LSP* saobraćajnom periodu h ,

g_k^h – ukupan saobraćaj između para komutacionih čvorova k , u *LSP* peiodu h , koji se može opslužiti prema zahtevanom *GoS*,

$UPBD_{jk}^h$ – maksimalna vrednost saobraćajnog toka na putanji j , između para komutacionih čvorova k , u saobraćajnom *LSP* periodu h .

Prvi skup ograničenja (3) predstavljaju jednačine koje određuju tok saobraćaja na i -tom linku u pojedinim *LSP* periodima. Drugi skup ograničenja (4) odnosi se na zadovoljenje predviđenih *GoS* kriterijuma. Ova ograničenja govore da se između svaka dva komutaciona čvora u posmatranom saobraćajnom periodu *LSP* mora opslužiti dovoljan saobraćajni tok g_k^h , tako da gubici budu manji od dozvoljenih prema *GoS*. Treći skup ograničenja (5) označava da saobraćajni tok na putanji j ne sme preći definisanu gornju granicu $UPBD_{jk}^h$, odnosno kapacitet putanje j , za zahtevani par komutacionih čvorova k , u posmatranom saobraćajnom *LSP* periodu h . Konačno, poslednji skup (6) ograničenja odnosi se na prirodno ograničenje da saobraćajni tokovi moraju biti nenegativne veličine.

Ukoliko u optimizacionom modelu dobijeno rešenje ne zadovoljava zahtevani uslov konvergencije, u sledećem koraku nakon rešavanja modela linearnog programiranja vrši se korigovanje gubitaka na linkovima u svim saobraćajnim

časovima na bazi trenutnih saobraćajnih tokova na pojedinim linkovima. Ovo se vrši na taj način što se proračunavaju veličine linkova tako da ne budu prevaziđeni maksimalni dopušteni gubici na linkovima u bilo kom saobraćajnom času, a zatim se vrši proračun gubitaka u svakom saobraćajnom času. Nakon korigovanja vrednosti gubitaka određuju se nove maksimalne dopuštene vrednosti tokova po pojedinim putanjama na bazi trenutnih saobraćajnih zahteva da bi se postiglo prihvatljivo rešenje.

Primenjeni algoritam za optimizaciju tokova saobraćaja u mreži sastoji se od sledećih koraka:

1. definisanje skupa potencijalnih putanja između svih parova komutacionih čvorova u mreži,
2. selekcija putanja po kriterijumu najmanjih troškova (uz pretpostavku da svi linkovi imaju jednake troškove M_i),
3. određivanje ukupnih gubitaka (verovatnoća gubitaka) za svaku od izabranih putanja,
4. određivanje maksimalnih vrednosti saobraćaja koji može biti opslužen na svakoj od putanja (*UPBD*),
5. inicijalna raspodela tokova saobraćaja po putanjama uz zadovoljenje postavljenih ograničenja (uz kriterijum da se direktnoj putanji dodeljuje najveći mogući saobraćaj),
6. primena modela linearnog programiranja za optimizaciju raspodele tokova saobraćaja,
7. ažuriranje verovatnoća gubitaka na linkovima u onim LSP periodima u kojima je linku dodeljen manji saobraćaj,
8. ažuriranje ograničenja tokova po putanjama (*UPBD*), s tim što u određivanju granica sada učestvuju tokovi dobijeni u procesu optimizacije sa ograničenjem da se alternativnim putanjama može opsluziti samo saobraćaj koji nije opslužen direktnom putanjom, vodeći računa o GoS,
9. definisanje sekvencijalnih ruta za svaki par čvorova i za svaki LSP period.

Ovako definisan model linearnog programiranja je teško rešiv u slučaju velikih mreža, što je čest slučaj u realnim situacijama. Na primer, za slučaj mreže sa 140 čvorova i deset saobraćajnih perioda u toku dana u modelu bi se pojavilo preko milion promenljivih, što značajno prevazilazi mogućnosti dostupnih LP programskih paketa. Čak i slučaju da se realizuje ovakav paket, vreme potrebno za rešavanje ovakvog problema bilo bi neprihvatljivo dugo. Usled toga se rešavanje ovako složenih modela može ostvariti i primenom odgovarajućih heurističkih modela, koji su manje precizni od modela sa linearnim programiranjem koji je ovde primenjen.

4. REZULTATI

U tabeli I prikazane su vrednosti ponuđenog saobraćaja između linkova, kao i izračunate vrednosti gubitaka na linkovima za oba LSP perioda, koji predstavljaju ulazne parametre modela optimizacije.

Takođe su u tabelama prikazanim dalje u radu (tabele 2,3,4) date brojne vrednosti bitnih parametara modela u svim međukoracima algoritma. Tako, tabela II prikazuje promenu verovatnoća gubitaka nakon svih iteracija modela.

Tabela I Ulazni parametri modela

Link	Par čvorova	Gubici		Ponuđeni saobraćaj	
		LSP-1	LSP-2	LSP-1	LSP-2
1	A-B	0.008	0.093	10	15
2	A-C	0.093	0.008	10	10
3	A-D	0.07	0	25	5
4	B-C	0	0.079	10	20
5	B-D	0.117	0.117	15	10
6	C-D	0.079	0	20	5

Tabela II Promena verovatnoća gubitaka

link	II iteracija		III iteracija		IV iteracija	
	LSP1	LSP2	LSP1	LSP2	LSP1	LSP2
1	0.057	0.093	0.039	0.093	0.039	0.093
2	0.093	0.049	0.093	0.017	0.093	0.014
3	0.070	0.000	0.070	0.000	0.070	0.000
4	0.058	0.079	0.054	0.079	0.038	0.079
5	0.117	0.134	0.117	0.125	0.117	0.102
6	0.079	0.004	0.079	0.001	0.079	0.000

Tabela III prikazuje izlazne rezultate softvera koji je razvijen za proračunavanje optimalne raspodele tokova saobraćaja u mreži. Može se zaključiti da se primenom ovog modela dobija smanjenje verovatnoća gubitaka što, naravno, rezultuje povećanjem opsluženog saobraćaja u mreži.

Tabela III Promena ukupno opsluženog saobraćaja po linkovima

link	II iteracija		III iteracija		IV iteracija	
	LSP1	LSP2	LSP1	LSP2	LSP1	LSP2
1	15.90	16.20	14.40	16.01	14.42	16.15
2	14.66	13.34	14.18	11.16	14.29	11.01
3	25.85	16.05	23.25	13.71	23.25	12.64
4	19.24	19.77	16.68	17.81	15.52	18.03
5	10.45	10.21	12.09	11.83	11.94	11.44
6	18.43	13.64	19.69	11.52	19.54	9.45

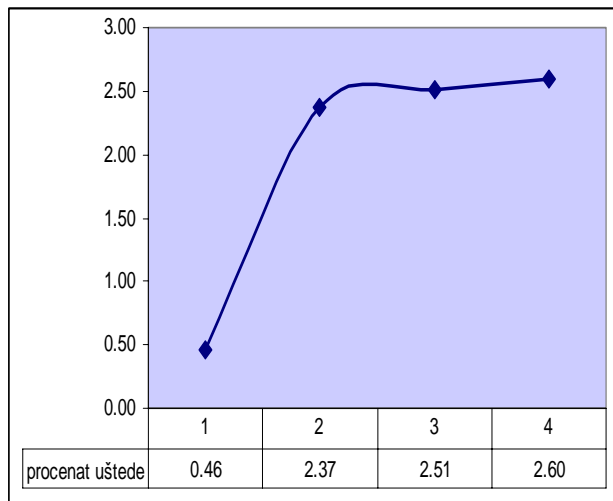
Tabela IV prikazuje smanjenje troškova u mreži nakon primenjene četiri iteracije modela.

Tabela IV Promena troškova mreže

	I iteracija	II iteracija	III iteracija	IV iteracija
LSP1	104.5331	100.2949	98.9683	98.3581
LSP2	89.2076	81.4942	78.71	77.0862

Nakon sprovedene četiri iteracije opisanog modela, došlo se do zaključka da se postupkom projektovanja ruta na bazi optimizacije tokova saobraćaja dobijaju značajne uštede u mreži, koje se ispoljavaju kroz smanjenje gubitaka. Na slici 2 prikazana je zavisnost procenta uštede na mreži od broja

iteracija koje se primenjuju u modelu projektovanja ruta. Primetan je nagli porast uštede u mreži nakon prve iteracije. To se može objasniti analiziranjem samog algoritma primenjenog modela. Jasno je da se početni podaci za prvu primenu linearnog programiranja dobijaju iz prvih pet koraka. Primenom optimizacije se završila prva iteracija, čiji je rezultat najmanja ušteta. Početni podaci za drugu iteraciju se dobijaju posle ažuriranja verovatnoća gubitaka i ograničenja tokova po putanjama (koraci 7 i 8) i definisanja sekvencijalnih ruta za svaki par čvorova i svaki LSP.



Slika 2 Grafik zavisnosti procenta uštete od broja primenjenih iteracija u modelu

ZAKLJUČAK

Višegodišnje iskustvo mnogih telekomunikacionih operatora u primeni različitih metoda dinamičkog rutiranja je pokazalo značajne prednosti u odnosu na, sada već prevaziđeno, fiksno hijerarhijsko rutiranje. Izborom adekvatnog modela za projektovanje ruta može se postići značajna ušteta u troškovima mreže. Takođe se postižu znatna poboljšanja performansi mreže posmatrano kroz vrednosti relevantnih parametara kao što su verovatnoća gubitaka ili opsluženi saobraćaj.

U ovom radu je na konkretnom primeru mreže ilustrovan postupak projektovanja ruta zasnovan na optimizaciji raspodele tokova saobraćaja u mreži. Pokazano je da se primenom ovakvog modela mogu postići uštete u ukupnim troškovima mreže, odnosno smanjiti ukupno saobraćajno opterećenje po pojedinim linkovima u mreži.

LITERATURA

- [1] G. R. Ash, "Dynamic Routing in Telecommunication Networks", McGraw-Hill, New York, 1998
- [2] G.R. Ash, "Dynamic Network Evolution, with Examples from AT&T's Evolving Dynamic Network", IEEE Comm. Mag., vol. 33, no.7, July 1995, pp. 26-39.
- [3] Vladanka Aćimović-Raspopović, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, "Saobraćajni inženjering u telekomunikacijama", rad po pozivu, XXII

Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel 2004.

- [4] Vladanka Aćimović-Raspopović, Goran Marković: Rutiranje u optičkim mrežama sa talasnim multipleksiranjem – rad po pozivu, TELFOR 2003, 25-27.novembar 2003. Beograd.
- [5] G.Marković, V.Aćimović-Raspopović, S. Lazović, "Dinamičko rutiranje saobraćaja u mrežama sa komutacijom kanala – poređenje nekih metoda", TELFOR 2001
- [6] Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Vladanka Aćimović-Raspopović, Miodrag Bakmaz, "Sekvencijalno dinamičko rutiranje: poređenje nekih metoda", TELFOR 2000, Zbornik radova, str. 82-85
- [7] Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Vladanka Aćimović-Raspopović, Ranko Nedeljković, "Primena dinamičkog rutiranja za povećanje pouzdanosti telekomunikacionih mreža", Telfor2002, Beograd 2002, Zbornik radova, str 60-63.
- [8] Vladanka Aćimović-Raspopović, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Valentina Radojičić, "Dynamic Routing Design under Forecastt Uncertainty", Telsiks 2003, Niš, October 2003., pg 30-34
- [9] A.N.Kashper and Y.Watanabe, "Dynamic Routing in Multiple Carrier International Network", IEEE Comm. Mag., vol. 33, no.7, July 1995, pp. 54-61..
- [10] M. Bakmaz, G. Marković, A. Kostić-Ljubisavljević "Rerutiranje u mrežama sa komutacijom kanala", XVIII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju, Zbornik radova, 2000, str. 153-162.
- [11] V. Aćimović-Raspopović, S.Lazović,"Dinamičko rutiranje u telekomunikacionim mrežama", Zbornik radova, XV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Dec.1997, str. 163-176
- [12] Goran Marković, Vladanka Aćimović-Raspopović i Slobodan Lazović, "Neke metode dinamičkog rutiranja: analiza gubitaka u potpuno povezanoj mreži sa komutacijom kanala", ETRAN 2001, Zbornik radova, Bukovička Banja, 4-7 jun 2001.
- [13] Goran Marković, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Vladanka Aćimović-Raspopović, "Optimizacija raspodele saobraćaja u mrežama sa dinamičkim rutiranjem", Telfor 2004

Abstract: Telecommunication network design is a very complex procedure and consists of two basic functional steps: routing design and capacity design process. In this paper the application of the routing design model based on traffic flows optimization was presented. The analysis of simulation results when this model was applied in a four node fully connected network shows that a significant loss reduction can be achieved.

ROUTING DESIGN IN DYNAMIC ROUTING TELECOMMUNICATION NETWORKS

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Goran Marković,
Vladanka Aćimović-Raspopović