

ISPITIVANJE UTICAJA ALOKACIJE TALASNIH DUŽINA DEFLEKTOVANOM SAOBRAĆAJU U OPTIČKIM WDM MREŽAMA NA KVALITET TOKA MULTIMEDIJSKIH SADRŽAJA

Danka Pevac, *Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije u Beogradu*
Risto Bojović, *Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici*
Ivana Petrović, *Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu*

Sadržaj - U ovom radu je zbog ispitivanja uticaja alokacije određenog broja talasnih dužina na optičkom linku za deflektovani saobraćaj, razvijen simulacioni model OBS čvora WDM mreže, primenom objektno orijentisanog softverskog alata Delsi for Delphi 4.0. U simulacionom modelu je korišćen ranije razvijeni Pareto generator saobraćaja, čije karakteristike odgovaraju realnom saobraćaju koji potiče od memorisanih audio/video datoteka različite dužine. Analizom estimiranih vrednosti primarnih mera performansi OBS čvora dobijenih iz simulacionih eksperimenata, zaključuje se da je došlo do poboljšanja performansi u slučaju kada je za deflektovani saobraćaj na izlaznom linku alocirani određeni broj talasnih dužina. Statistička analiza rezultata simulacije sprovedena je za estimirane srednje vrednosti ukupne verovatnoće blokiranja brsta B i srednje vrednosti verovatnoće blokiranja deflektovanog brsta B_d , procenom intervala poverenja za zadati nivo poverenja $(1-\alpha)$, prema Student-ovoj t raspodeli.

Abstract – In this paper, due to investigation the impact of allocation the certain number of optical link wavelengths for deflected traffic, is developed the simulation model of OBS node using the object-oriented software tool Delsi for Delphi 4.0. Previously developed Pareto traffic generator, whose characteristics match the real traffic that comes from the stored audio/video files, is used in this simulation model. From the analysis of the estimated values of primary performance measures of OBS node, which are obtained from the simulation experiments, it can be concluded that there is an improvement of performance in the case when the certain number of output link wavelengths is allocated to the deflected traffic. Statistical analysis of the simulation's results is performed by estimating the confidence intervals for a given level of confidence $(1-\alpha)$, according to the Student- t distribution, for the mean value of total burst blocking probability B , and mean value of the deflected burst blocking probability B_d .

1. UVOD

Savremeni multimedijiski servisi u realnom vremenu, koji su poslednjih godina sve popularniji na Internetu, zahtevaju veliku širinu propusnog opsega, kako bi se postigao zadovoljavajući kvalitet reprodukcije prenetih audio/vizuelnih sadržaja kod krajnjeg korisnika u realnom vremenu. Najnovija tehnologija multipleksiranja talasnih dužina – WDM (Wavelength Division Multiplexing) na optičkom vlaknu obezbeđuje potrebne širine propusnih opsega koje pružaju mogućnost prenosa informacija brzinama do reda veličine terabita u sekundi.

U fazi projektovanja mreže potrebno je izvršiti modeliranje saobraćaja koji generišu izvori memorisanih multimedijiskih sadržaja koji se u realnom vremenu prenose

preko optičke WDM mreže sa komutacijom brsta (OBS), kako bi se estimirale njene performanse i utvrdilo da li ona zadovoljava postavljene kriterijume u pogledu kvaliteta prenosa i reprodukcije multimedijiskih sadržaja.

Pošto su mnogi rezultati istraživanja pokazali da audio/video saobraćaj na Internetu ima karakteristike self-similar procesa [1], što zahteva razvijen je model generatora audio/video saobraćaja primenom Pareto raspodele, koji ima karakteristike realnog saobraćaja.

Razvijen je simulacioni model optičke WDM mreže sa OBS čvorovima i Pareto generatorom memorisanog multimedijiskog saobraćaja, u kojem je primenjena WA metoda alokacije talasnih dužina deflektovanom saobraćaju, kako bi se izvršila procena uticaja WA metode na performanse WDM mreže i kvalitet prenosa saobraćaja, kada

optička WDM mreža predstavlja transportnu platformu za distribuciju audio/video sadržaja u realnom vremenu.

2. SIMULACIJA WA METODE I OBS ČVORA SA AUDIO/VIDEO SAOBRAĆAJEM

Simulacioni model OBS čvora sa implementiranom WA metodom za alokaciju talasnih dužina deflektovanom saobraćaju i Pareto generatorom audio/video saobraćaja [2], razvijen je radi estimacije performansi OBS čvora i evaluacije procesa distribucije audio/video saobraćaja preko WDM mreže. Estimacijom srednje vrednosti verovatnoće gubitka brsta i srednjeg vremena kašnjenja, procenjuje se opravdanost primene WDM mreže sa OBS komutacijom u procesu distribucije audio/video sadržaja.

Brst se formira u ivičnom čvoru OBS mreže sakupljanjem povorki IP paketa koje prenose delove memorisanih audio/video datoteka. Algoritam prikupljanja brsta odvija se prema hibridnoj šemi, na bazi dva praga: vremenskog intervala i dužine brsta. Prikupljeni brst će biti poslat onda kada se dostigne jedan od dva postavljena praga. Brst se prenosi iz ulaznog ivičnog čvora do izlaznog čvora OBS mreže, koji je lociran bliže krajnjim korisnicima multimedijskog servisa. WDM mreža predstavlja transportnu infrastrukturu u realizaciji CDN (Content distribution Network) mreže za distribuciju sadržaja, čiji je zadatak da omogući korisnicima brže preuzimanje audio/video materijala u realnom vremenu.

Pretpostavlja se da ON i OFF periodi, tj. dužine vremenskih intervala u kojima se šalju povorke paketa i pauze između njih, podležu Pareto raspodeli i da vrednosti slučajne promenljive X_{ON} i X_{OFF} predstavljaju ON i OFF periode toka podataka izražene brojem paketa. Iz odnosa srednje vrednosti dužine ON perioda i posmatranog intervala, može se odrediti intenzitet saobraćaja, odnosno iskorišćenje kapaciteta linka.

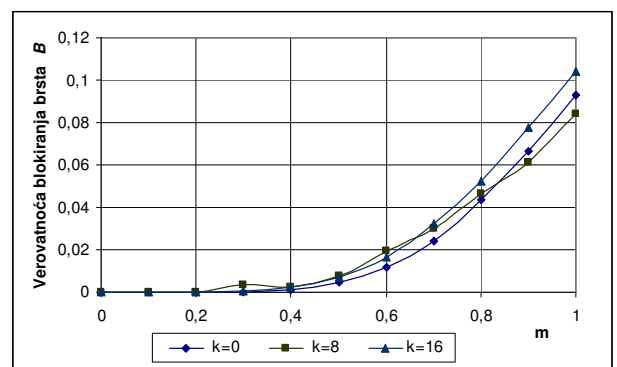
U razvoju simulacionog modela OBS čvora i implementacije WA metode za alokaciju talasnih dužina deflektovanom audio/video saobraćaju, uzete su u obzir sledeće pretpostavke i ulazni podaci:

- S je najmanja vrednost >0 koju računar može da generiše na konačnoj sekvenci;
- uniformni generator slučajnih brojeva generiše vrednosti $U=(0,1]$;
- normalizovana vrednost ukupnog toka saobraćaja ima vrednost iz opsega $a=[0.1,0.9]$, gde je a_1 nedeflektovani a a_2 deflektovani saobraćaj;
- jedan tok podataka sadrži pakete fiksne dužine $D=1250B$;
- kapacitet linka je $C=1Gb/s$;
- vreme slanja jednog paketa je $t_{pak}=D/C$;
- parametri Pareto raspodele ON perioda, za $n=5$ izvora su $b_{ON}=1$ i $\alpha_{ON}=\{1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5\}$.

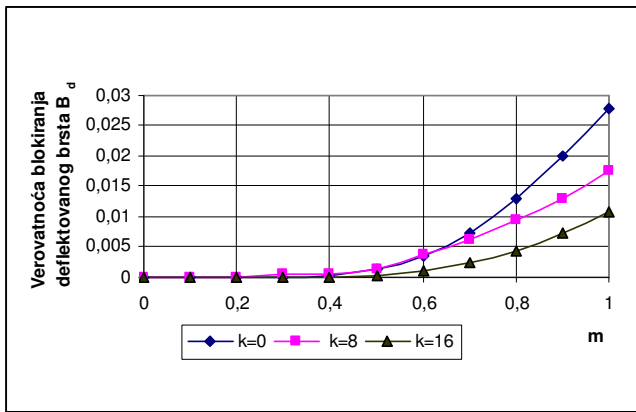
- parametri Pareto raspodele OFF perioda, za $n=5$ izvora su $\alpha_{OFF}=\{1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5\}$ i b_{OFF} ;
- izlazni link OBS čvora ima W talasnih dužina koje su predstavljene skupom $\Lambda=\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w\}$, gde jedna talasna dužina predstavlja jedan transmisioni kanal;
- ukupni broj talasnih dužina izlaznog linka $W=64$;
- k talasnih dužina izlaznog linka se dodeljuje samo deflektovanim brstovima;
- $(W-k)$ talasnih dužina izlaznog linka se dodeljuje nedeflektovanim i deflektovanim brstovima;
- srednje vreme procesiranja upravljačkog paketa u međučvoru $\delta=2.5\mu s$;
- srednje vreme rekonfiguracije optičkog komutacionog polja je $t_{REC}=10\mu s$;
- srednji broj dodatnih deonica za deflektovani brst je $h=2$;
- srednje vreme kašnjenja u FDL baferu je $1/\mu_d=h\cdot\delta$;
- FDL bafer obezbeđuje maksimalno kašnjenje koje iznosi $t_{FDL}=0.01ms$.

Simulacioni model je razvijen korišćenjem objektno orijentisanog softverskog alata *Delsi for Delphi 4.0* [3], koji je namenjen za simulaciju sistema sa diskretnim događajima. Na osnovu numeričkih vrednosti prikupljenih u toku izvršavanja simulacionih eksperimenata izračunate su srednje vrednosti ukupne verovatnoće gubitka brsta B i srednje vrednosti verovatnoće gubitka deflektovanog brsta B_d , koje su prikazane na slikama 1. i 2. za slučaj u kojem je od ukupnog ponuđenog saobraćaja udeo deflektovanog $a_2=0.3a$, a nedeflektovanog $a_1=0.7a$. Eksperimenti su izvedeni sa $W=64$ i različitom vrednošću k , a numerički rezultati simulacije su na graficima prikazani uporedo sa rezultatima simulacije kada se WA metoda ne primenjuje, tj. kada je $k=0$.

Na ovim grafikonima se može zapaziti da sa porastom vrednosti k , srednja vrednost ukupne verovatnoće blokiranja bitno ne menja, već samo raste sa porastom saobraćaja, ali je uočljivo da srednja vrednost verovatnoće blokiranja deflektovanog brsta opada sa porastom k , tako da primena WA metode, doprinosi smanjenju verovatnoće gubitaka deflektovanog audio/video saobraćaja u OBS mreži.



Sl. 1. Verovatnoća blokiranja brsta B za $a_2=0.3a$



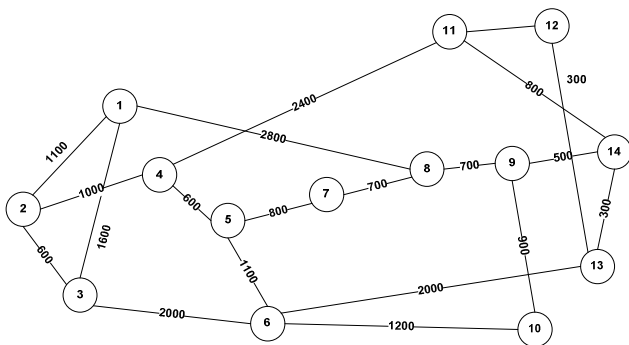
Sl. 2. Verovatnoća blokiranja deflektovanog brsta B_d za $a_2=0.3a$

3. SIMULACIJA OBS MREŽE

Radi estimacije srednjeg vremena kašnjenja u prenosu tokova memorisanih audio/video sadržaja, kada se kao transportna infrastruktura koristi WDM mreža, razvijen je simulacioni model u kojem su eksperimenti izvedeni na standardnoj NSF (National Science Foundation) mreži sastavljenoj od 14 čvorova [4]. Topologija mreže data je na slici 3. sa oznakama dužinae linkova između čvorova koje su izražene u [km].

Na osnovu poznatog algoritma rutiranja najkraćim putem, čiji je autor Dijkstra, izvršen je proračun najkraćih putanja u mreži. U razvoju simulacionog modela uzete su u obzir sledeće pretpostavke:

- elementi saobraćajne matrice faktora interesovanja imaju identične vrednosti,
- intenzitet generisanog saobraća u svim čvorovima je identičan,
- svi linkovi imaju jednak kapacitet $C=10\text{Gb/s}$,
- IP paketi toka podataka su fiksne dužine $D=1250\text{B}$,
- vreme praga prikupljanja brsta iznosi $t_b=100\mu\text{s}$,
- prag dužine brsta iznosi 100 IP paketa.

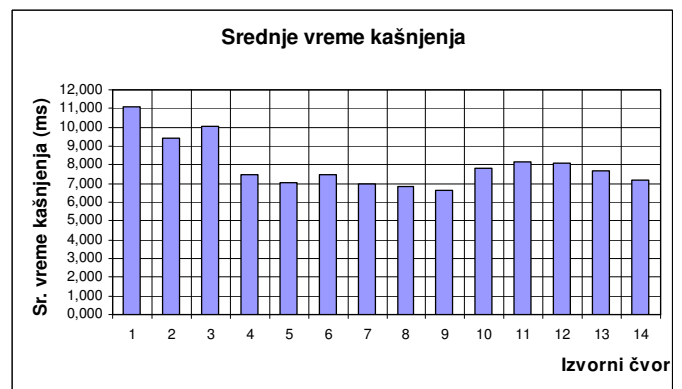


Sl. 3. NSF mreža od 14 čvorova

Vreme procesiranja zaglavlja brsta u čvoru je estimirano na bazi osnovne učestanosti CPU jedinice i procene broja

instrukcija, tako da iznosi $t_{proc}=2.5\mu\text{s}$. Na osnovu tehnoloških komponenata koje se u današnje vreme primenjuju u optičkoj komutaciji brsta, kao što su mikro-elektromehanički sistemi – MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) i poluprovodnički optički pojačavači – SOA (Semiconductor Optical Amplifier), procenjeno je da vreme potrebno za rekonfiguraciju optičkog komutacionog polja za dolazeći brst iznosi $t_{rec}=10\mu\text{s}$.

Prikupljanjem statistike iz simulacionih eksperimenata izračunato je srednje vreme kašnjenja brsta u mreži. Srednje vrednosti kašnjenja brsta za sve čvorove mreže kada se oni posmatraju kao izvor, prikazane su na slici 4. i izražene su u vremenskim jedinicama [ms].



Sl. 4. Srednje vreme kašnjenja brsta za čvorove NSF mreže

Prikupljanjem numeričkih vrednosti iz eksperimenata, izračunata je za svaki čvor ukupna dužina puta koji prelazi brst generisan u tom čvoru, ukupan broj međučvorova na putanjama i srednja vrednost dužine putanje [km], što je prikazano u tabeli na slici 5.

U simulacionim eksperimentima izvorni saobraćaj potiče od memorisanih audio/video datoteka različite dužine, koja zavisi od rezolucije koja je primenjena u snimanju materijala kao i od brzine prenosa za koju je pripremljen materijal za slanje u realnom vremenu.

Izvorni čvor	Ukupna dužina putanja (km)	Ukupan broj međučvorova na svim putanjama	Srednja vrednost dužine putanje (km)
1	42700	34	3284.6
2	36300	34	2792.3
3	38600	33	2969.2
4	28500	28	2192.3
5	27000	31	2076.9
6	28500	24	2192.3
7	26700	36	2053.8

			4
8	26000	31	2000.0 0
9	25200	31	1938.4 6
10	29900	32	2300.0 0
11	31300	29	2407.6 9
12	31000	41	2384.6 0
13	29200	35	2246.1 5
14	27400	29	2107.6 0

Sl. 5. Vrednosti ukupne i srednje dužine puta u NSF mreži

4. STATISTIČKA ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE

Tehnika simulacije omogućava da se na modelu ispita funkcionisanje sistema i predvidi njegovo ponašanje u realnom radu. Iako su rezultati simulacije stohastičke veličine kao i rezultati fizičkih eksperimenata, među njima postoji bitna razlika. Na stohastičku prirodu fizičkih eksperimenata utiču brojni spoljašnji faktori koji su izvan kontrole onoga ko izvodi eksperiment – preciznost mernih instrumenata, vremenski uslovi, itd. U simulacionim modelima, statističke varijacije su direktna posledica razvoja modela u kojem su neki aspekti realnog sistema apstrahovani.

Cilj izvršavanja simulacionih eksperimenata je da se varijacije promene srednje vrednosti ishoda eksperimenata redukuju što je moguće više. Jedan od načina da se to ostvari je ponavljanje simulacionog eksperimenta pod istim uslovima ali sa različitim ulaznim vrednostima iz generatora slučajnih brojeva, što se postiže izmenom početne vrednosti (engl. *seed*) generatora.

Srednja vrednost veličine dobijena simulacijom biće bliža srednjoj vrednosti realnog sistema, ukoliko je izvršavanje simulacije duže, pri čemu se odbacuju sve vrednosti dobijene u početnom, prelaznom režimu rada sistema. Ako je L prava srednja vrednost sistema, a vreme izvršavanja simulacije T , tada je L_T izračunata srednja vrednost na osnovu rezultata simulacije, za koju važi:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} L_T = L. \quad (1)$$

Nažalost u praksi se nikad ne može dostići ovaj limit i za izvršene simulacije konačne dužine vremena T dobija se L_T a ne L .

Ako je zadovoljen uslov ergodičnosti, L će biti i srednja vrednost ansambla, tako da se ponavljanjem eksperimenata u

kojima se svi parametri modela zadržavaju konstantnim, može izvršiti više simulacija, takozvanih replikacija. Pri tom se generišu različite povorke slučajnih brojeva menjanjem početne vrednosti generatora slučajnih brojeva. Ako se broj replikacija označi sa n , a sa L_i srednja vrednost izračunata iz jednog simulacionog eksperimenta, srednja vrednost po ansamblu biće:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n} = L. \quad (2)$$

Pretpostavlja se da prilikom izvođenja n replikacija povorke slučajno generisanih brojeva nisu u korelaciji i tada je estimacija parametra L jednaka:

$$\hat{L} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n}, \quad (3)$$

a estimacija varijanse od \hat{L} je:

$$s_{\hat{L}}^2 = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \hat{L})^2}{n-1}. \quad (4)$$

Za estimaciju intervala poverenja od L može se primeniti centralna granična teorema i za mali broj replikacija n (< 30), važi:

$$\hat{L} \pm t_{\alpha} s_{\hat{L}}, \quad (5)$$

gde je $(1-\alpha)$ nivo poverenja, a t_{α} odgovarajuća vrednost konstante iz *Studentove t* raspodele. Ovde se pretpostavlja da je raspodela L_i normalna, [5].

Rezultati simulacionog modela koji predstavljaju estimaciju mera performansi OBS čvora su srednja vrednost ukupne verovatnoće blokiranja brsta B i srednja vrednost verovatnoće blokiranja deflektovanog brsta B_d . Statističkom analizom numeričkih rezultata simulacije mogu se dobiti intervali poverenja sa unapred zadatim nivoom poverenja u kojima se nalazi tačna vrednost mera performansi koje se vrednuju.

Iz simulacionih eksperimenata prikupljena je statistika saobraćaja OBS čvora, na osnovu koje su izračunate srednja vrednost ukupne verovatnoće blokiranja brsta B i srednja vrednost verovatnoće blokiranja deflektovanog B_d .

Estimacija srednje vrednosti verovatnoće blokiranja brsta u OBS čvoru WDM mreže sprovedena je prema opisanom

postupku na osnovu izraza (3), (4) i (5). S obzirom da se u jednom simulacionom eksperimentu dobija po jedna srednja vrednost za B i B_d izvršene su $n=3$ replikacije simulacije, sa različitim početnim vrednostima generatora slučajnih brojeva.

Primenom izraza (3) estimirane su srednje vrednosti \hat{B} i \hat{B}_d , a primenom obrasca (4) dobijene su estimacije varijansi s_B^2 i $s_{B_d}^2$ od \hat{B} i \hat{B}_d , respektivno.

Statistička analiza rezultata simulacije sprovedena za slučaj identičnog intenziteta saobraćaja koji čine nedeflektovani i deflektovani brstovi, tj. kada je $a_1=a_2=0.5a$, $W=64$ i $k_{opt}=16$.

Evaluacija estimirane srednje vrednosti ukupne verovatnoće blokiranja brsta B i srednje vrednosti verovatnoće blokiranja deflektovanog brsta B_d , izvršena je intervalskom ocenom. Procena intervala poverenja za zadati nivo poverenja $(1-\alpha)$ dobijena je primenom obrasca (5) i prikazana je u tabeli na slici 6.

Vrednost t_α preuzeta iz tabele konstanti za *Studentovu t* raspodelu, za slučaj $n=3$ replikacije i $\alpha=0.05$ iznosi $t_\alpha=2.353$. Za dobijene vrednosti \hat{B} i \hat{B}_d iz tabele sa slike 6. i sa zadatim nivoom poverenja $(1-\alpha)=0.95$ (95%), može se tvrditi da se tačne vrednosti B i B_d nalaze u intervalu poverenja $\hat{B} \pm \Delta$ i $\hat{B}_d \pm \Delta$.

m	\hat{B}	Interval poverenja Δ za B	\hat{B}_d	Interval poverenja Δ za B_d
0.1	0.000485	$\pm 3.529 \cdot 10^{-5}$	0.000127	$\pm 7.460 \cdot 10^{-6}$
0.2	0.002348	$\pm 2.823 \cdot 10^{-5}$	0.000657	$\pm 8.371 \cdot 10^{-6}$
0.3	0.007800	$\pm 4.941 \cdot 10^{-5}$	0.002312	$\pm 9.221 \cdot 10^{-6}$
0.4	0.019136	$\pm 5.532 \cdot 10^{-5}$	0.005949	$\pm 1.181 \cdot 10^{-5}$
0.5	0.037216	$\pm 5.906 \cdot 10^{-5}$	0.012041	$\pm 2.140 \cdot 10^{-5}$
0.6	0.061048	$\pm 6.635 \cdot 10^{-5}$	0.020434	$\pm 2.466 \cdot 10^{-5}$
0.7	0.088701	$\pm 2.114 \cdot 10^{-5}$	0.030567	$\pm 1.982 \cdot 10^{-5}$

Sl. 6. Estimacija verovatnoća blokiranja B i B_d

Iz širine proračunatih intervala poverenja evidentno je da procenjene srednje vrednosti ukupne verovatnoće blokiranja brsta i verovatnoće blokiranja deflektovanog brsta odstupaju od svojih pravih vrednosti za 10^{-6} do 10^{-5} . Može se zaključiti da se estimirane srednje vrednosti verovatnoće blokiranja prema izvršenoj analizi nalaze u okolini tačne vrednosti koja

se sa zadatim nivoom poverenja nalazi u veoma uskim granicama intervala poverenja.

5. ZAKLJUČAK

Raspoloživost optičkih WDM mreža i njene mogućnosti, u pogledu širine propusnog opsega i brzine rada, mogu udovoljiti zahtevima koje im postavljaju savremeni multimedijiski servisi u realnom vremenu. Istraživanja u oblasti njihove realizacije predstavljaju veliki izazov za naučnike i zahtevaju još mnogo istraživačkog rada kako bi se rešili postojeći problemi vezani za procesiranje u optičkom domenu i došlo do zadovoljavajućih rezultata. U radu je predložena implementacija originalne WA metode za alokaciju talasnih dužina u OBS čvorovima WDM mreže. Simulacioni model OBS čvora razvijen je sa ciljem da se proceni uticaj WA metode na performanse blokiranja i kašnjenje brsta u OBS čvoru, kao primarnih mera kvaliteta prenosa multimedijiskih sadržaja. Dobijeni numerički rezultati simulacije, navode na zaključak da se primenom WA metode postižu značajna smanjenja verovatnoće blokiranja saobraćaja i kašnjenja u prenosu u poređenju sa slučajevima kada se ova metoda ne primenjuje.

6. LITERATURA

- [1] K. Park, W. Willinger, *Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [2] D. Pevac, I. Petrović, R. Bojović, "Implementacija Pareto generatora audio/video saobraćaja u simulacionom modelu čvora sa optičkom komutacijom brsta", *Naučno-stručni skup o informacionim tehnologijama - INFOTEH 2009*, Jahorina, Mart 2009.
- [3] H. Holushko, *Delsi for Delphi 4.0*, Software simulation tool, 2002.
- [4] V. Vokkarane, J. Jue, "Segmentation-Based Non-preemptive Channel Scheduling Algorithms for Optical Burst Switched Networks", *Journal of Lightwave Technology*, Vol 23, No. 10, October 2005.
- [5] D. Gross, C. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, John Wiley & Sons, New York, 1974.