

# Analiza maksimalnog kašnjenja koje unosi CQ komutator pri bursty dolaznom saobraćaju

Soko Divanović, Milutin Radonjić, Igor Radusinović  
 Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore  
 Podgorica, Crna Gora  
[soko.divanovic@gmail.com](mailto:soko.divanovic@gmail.com), [micor@t-com.me](mailto:micor@t-com.me), [igorr@ac.me](mailto:igorr@ac.me)

Gordana Gardašević  
 Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci  
 Banja Luka, Bosna i Hercegovina  
[gordanagardasevic@gmail.com](mailto:gordanagardasevic@gmail.com)

**Sadržaj**— U ovom radu je ispitivana mogućnost obezbjeđivanja kvaliteta servisa u komutatoru sa baferima u ukrsnim tačkama. Jedan od najznačajnijih parametara u današnjim mrežama predstavlja kašnjenje, te je stoga u ovom radu ispitivano kašnjenje koje unosi CQ (*Crosspoint Queued*) komutator pri *bursty* (sporadičnom) dolaznom saobraćaju, pri velikom ulaznom opterećenju i odsustvu gubitaka. Pored srednjeg kašnjenja, ispitivano je i maksimalno kašnjenje koje unosi CQ komutator.

**Ključne riječi**— CQ komutator, QoS, kašnjenje

## I. UVOD

Jedan od ključnih zadataka savremenih telekomunikacionih mreža je obezbjeđivanje korisniku garantovanih performansi, odnosno odgovarajućeg kvaliteta servisa (usluga), QoS (*Quality of Service*) [1]-[3]. Komutatori paketa su jedan od ključnih dijelova svake telekomunikacione mreže i od njihovih performansi zavise performanse kompletne mreže. Korišćenje optičkih linkova koji imaju velike brzine prenosa podrazumijeva proizvodnju komutatora koji ih mogu podržati. U bliskoj budućnosti će se komercijalizovati komutatori čija će propusnost biti reda Tb/s. Ostvarivanje ove propusnosti se može postići korišćenjem jedne od mnogih realizacija prostornog krosbar komutatora. Ovo rješenje je aktuelno i najčešće implementirano zbog upotrebe statističkog multipleksiranja koje omogućava dobro iskorišćenje dostupnih resursa [3]. Ideja statističkog multipleksiranja je kombinovanje više saobraćajnih tokova u jedan veliki tok. Ovo je sasvim dobro rješenje kada se poslužuje saobraćaj koji je relativno neosjetljiv na kašnjenje i gubitke. Tipičan primjer je saobraćaj koji potiče od tradicionalnih Internet aplikacija.

Za saobraćaj osjetljiv na kašnjenje i gubitke, statističko multipleksiranje samo po sebi ne može da obezbijedi zadovoljavajući QoS [4]. Ovo je najlakše objasniti analizom performansi nebaferovanog krosbar komutatora. U ovom komutatoru, paketi pristigli na ulazne portove se prosljeđuju na odgovarajuće izlazne portove. Uslijed nadmetanja paketa koji dolaze sa više ulaznih portova adresiranih na isti izlazni port, javlja se kolizija koja negativno utiče na performanse komutatora i QoS saobraćajnih tokova. Ovaj problem se može riješiti na nekoliko načina. Prvi način je korišćenje izuzetno brze komutacione matrice koja bi prosljeđivala sve pristigle pakete na isti izlaz skoro trenutno. Međutim, ovo povlači za sobom potrebu baferovanja na izlazu, jer se oni dalje ne mogu svi istovremeno prosljediti. Na ovom rješenju je baziran OQ

(*Output Queue*) komutator [5]. Drugi način je baferovanje dolaznih paketa na ulaznim portovima koji se nakon toga prosljeđuju kada se obezbijedi pristup odgovarajućem izlaznom portu. Ovaj koncept je implementiran u IQ (*Input Queued*) komutatoru [5]. OQ komutator je idealno rješenje za ostvarivanje traženog QoS-a. Pokazano je da se izborom odgovarajućih algoritama raspoređivanja može ostvariti bilo koji zahtijevani QoS [3]. Problem koji se ne može riješiti kod OQ komutatora je potreba za ubrzanjem memorije (brzina upisivanja bita u izlaznim baferima) i komutacionog uređaja onoliko puta koliko ima ulaznih portova. Ovo OQ komutator čini nepodesnim za implementaciju komunikacionih uređaja velikih brzina ili uređaja sa velikim brojem portova. Zbog toga se OQ komutator koristi kao referenca za poređenje performansi sa komutatorima koji se mogu implementirati. Kod IQ komutatora je izbjegnuta potreba za ubrzanjem memorije. Međutim, problem ovog rješenja je HOL (*Head Of Line*) blokiranje koje značajno degradira performanse komutatora. HOL blokiranje je u potpunosti riješeno kod VOQ (*Virtual Output Queueing*) komutatora [5]. Razvijeni su algoritmi raspoređivanja VOQ komutatora koji obezbjeđuju 100% propusnost i pružaju mogućnost garantovanja QoS, ali imaju veliku kompleksnost implementacije [5].

Rješenje koje prevazilazi ove probleme je CQ komutator koji sadrži bafere samo u ukrsnim tačkama komutacione matrice [6]. Ovaj komutator predstavlja interesantno rješenje, jer kao i IQ komutator ne zahtijeva ubrzanje komutacione matrice kao ni memorije, pri čemu se uslijed “eliminacije” bafera na ulazu ne javlja problem HOL blokiranja. Druga prednost ove arhitekture proizilazi iz činjenice da CQ komutator predstavlja vrstu modifikovanog OQ komutatora, te je u njemu jednostavno realizovati i primijeniti algoritme raspoređivanja koji su realizovani za OQ komutator radi ostvarivanja traženih QoS servisa. Ova arhitektura nije bila aktuelna zbog problema realizacije velikih bafera u ukrsnim tačkama, međutim sa napretkom tehnologije ovaj problem je prevaziđen [6]. CQ komutator je u ranijem periodu detaljno analiziran od strane autora ovog rada [7]-[10]. Analizirani su parametri kao što su propusnost, srednje kašnjenje, vjerovatnoća gubitka, varijacija kašnjenja, za različite vrste saobraćaja (*unicast*, *multicast*, uniformni, *bursty*, nebalansirani) i različite dužine bafera u ukrsnim tačkama.

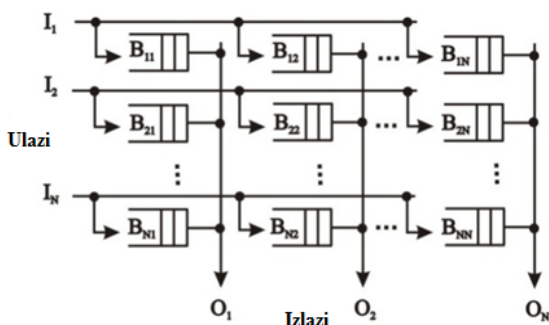
U ovom radu je prikazano statističko garantovanje maksimalnog kašnjenja koje unosi CQ komutator pri dolaznom *bursty* saobraćaju i predstavlja prvu analizu

ovakvog tipa vršenu za pomenuti komutator. Ova analiza se vrši za različite algoritme raspoređivanja u cilju utvrđivanja koji od njih postiže najbolje performanse. Predstavljeno je poređenje sa rezultatima dobijenim za OQ komutator pod istim uslovima.

U drugom poglavlju rada je dat kratak opis CQ komutatora i korišćenog simulacionog modela saobraćaja. U trećem poglavlju je opisan metod ispitivanja. Analiza simulacionih rezultata je prikazana u četvrtom poglavlju, dok su zaključci rada dati u petom poglavlju.

## II. KOMUTATOR I MODEL SAOBRAĆAJA

CQ komutator se sastoji od  $N$  ulaznih,  $N$  izlaznih portova i  $N^2$  bafera u komutacionoj matrici (po jedan u svakoj ukrasnoj tački), kao što je i prikazano na slici 1 [7].



Slika 1. Konceptijska šema CQ komutatora

U CQ komutatoru su svi baferi izmješteni sa ulaznih portova u komutacionu matricu čime je izbjegnuto HOL blokiranje koje se javlja kod IQ komutatora. Na ovaj način se prevazilazi i potreba za kontrolnom komunikacijom između linijskih kartica i komutacione matrice čime se omogućava implementacija CQ komutatora sa ulaznim i izlaznim portovima velikih brzina. Dolazni paketi se na ulazu prvo segmentiraju na ćelije (pakete fiksne dužine) koje se na osnovu *lookup* tabele prosljeđuju na odgovarajući bafer. Ukoliko u odgovarajućem baferu nema slobodnog mjesta, ćelija se odbacuje. U svakom vremenskom slotu raspoređivač bira jedan od zauzetih bafera koji pripadaju istom izlaznom portu i prosljeđuje njegovu HOL ćeliju na izlaz. Svaki izlaz se posmatra nezavisno od ostalih. Izbor bafera koji će biti poslužen vrši se saglasno algoritmu raspoređivanja.

U okviru sprovedenih simulacija, pretpostavljena je komutacija ćelija, odnosno paketa fiksne dužine. Vrijeme je podijeljeno na jednake vremenske slotove, čije trajanje odgovara vremenu potrebnom za prenos jedne ćelije. Za modelovanje dolaznog *bursty* saobraćaja korišćen je IBP (*Interrupted Bernoulli Process*) model saobraćaja koji se opisuje srednjim trajanjem aktivnog perioda (*burst-a*) -  $B_s$  [7].

Analizirane su performanse komutatora koji koriste sljedeće algoritme raspoređivanja: LQF (*Longest Queue First*), RR (*Round Robin*), ERR (*Exhaustive Round Robin*), FBRR (*Frame-Based Round Robin*) i RAND (*Random*) [10].

LQF algoritam bira bafer koji sadrži najveći broj ćelija. RR algoritam opslužuje zauzete bafere koji se nalaze na istoj

izlaznoj liniji u kružnom poretku. To znači da među baferima nema unaprijed definisanog prioriteta. Nakon što se prosljedi HOL ćelija sa jednog zauzetog bafera, u sljedećem vremenskom slotu će biti poslužen drugi zauzeti bafer. Posluživanje se obavlja uvijek po istom redoslijedu, koji je definisan položajem bafera. Kod ERR algoritma posluživanje se takođe vrši u kružnom poretku. Međutim, za razliku od RR algoritma, posluživanje jednog bafera se vrši neprekidno sve dok se isti ne isprazni. Tek kada se posluživani bafer isprazni, prelazi se na posluživanje sljedećeg zauzetog, u RR poretku. FBRR algoritam je varijanta RR algoritma koji poslužuje isti bafer sve dok se u njemu nalaze ćelije koje su se zatekle u trenutku njegovog izbora. Kada se prosljede sve zatečene ćelije, prelazi se na sljedeći bafer, u RR rasporedu. RAND algoritam poslužuje jedan slučajno izabrani zauzeti bafer.

RR algoritam, kao i algoritmi zasnovani na njemu, su mnogo jednostavniji za implementaciju od LQF algoritma. Osim toga, LQF algoritam ima jedan značajan nedostatak: moguće je zapostavljanje pojedinih saobraćajnih tokova. To znači da je, pod određenim uslovima dolaznog saobraćaja, moguće da neki baferi nikada ne budu posluženi [10].

## III. METOD ISPITIVANJA

Dva termina koja su često zastupljena u analizi QoS-a su garantovani (*guaranteed*) i podržani (*assured*) QoS. Pri tome se razlikuju tri vrste garancija:

- individualne garancije – šema u okviru koje se garantuje minimalan nivo performansi komutatora;
- statističke garancije – analiziraju se performanse prethodnih mjerenja kako bi se u najvećem broju slučajeva zadovoljio minimalan nivo performansi;
- garancije u projektovanju – mrežni resursi se projektuju tako da se minimalan nivo performansi postiže u najvećem broju slučajeva, ali se ne mogu predvidjeti situacije u kojima ovaj nivo neće biti zadovoljen.

Individualne garancije su najčešće analizirane u radovima i one se uglavnom baziraju na parametrima kao što su propusnost i srednje kašnjenje komutatora u odnosu na određeni tip i intenzitet saobraćaja. CQ komutator je sa stanovišta individualnih garancija intenzivno istraživan [7]-[9], dok statističke i garancije u projektovanju još uvijek nijesu ispitivane. Analizom statističkih garancija se može izvršiti povezivanje parametara, tj. na osnovu zadatih parametara (ulaznog opterećenja, željene propusnosti, tipa saobraćaja) mogu se garantovati srednje i maksimalno kašnjenje u određenom procentu slučajeva. Na ovaj način se omogućava statističko garantovanje maksimalnog kašnjenja.

U ovom radu je izvršena analiza statističkih garancija maksimalnog kašnjenja različitog nivoa granularnosti. Biće prikazana vrijednost kašnjenja koje unosi CQ komutator za 100% propusnost pri *bursty* dolaznom saobraćaju. Analizirana je propusnost komutatora za različite vrijednosti ulaznog opterećenja i srednjeg trajanja *burst-a*. Za analizirane algoritme raspoređivanja, koji nude različite nivoe

propusnosti, razmatrana je veličina bafera u ukrsnim tačkama koja garantuje vjerovatnoću gubitka jednaku nuli. Na ovaj način se obezbjeđuje fer poređenje.

Nakon izbora odgovarajućih parametara, izvršena je analiza kašnjenja. Da bi se što bolje analiziralo kašnjenje, pored srednjeg kašnjenja, posmatrano je i maksimalno kašnjenje. Mjereno je maksimalno kašnjenje od procenta ( $v$ ) svih primljenih ćelija. Vršena su ispitivanja za različite nivoe granularnosti, pri čemu su uzimane sljedeće vrijednosti  $v$ : 90%, 99%, 99.9% i 99.99%. Na ovaj način se dobija informacija o maksimalnom kašnjenju u odgovarajućem procentu proslijeđenih ćelija. Ova informacija daje bolji uvid u performanse CQ komutatora sa stanovišta garantovanja kašnjenja za različite algoritme raspoređivanja. U analizi QoS-a garantovanje performansi u određenom procentu slučajeva je veoma značajno. Pored rezultata koji će pokazati koji od ispitivanih algoritama je najbolji, biće dati i rezultati koji prikazuju koliko je maksimalno kašnjenje svakog od ispitivanih algoritama u razmatranim granularnostima.

#### IV. ANALIZA PERFORMANSI

Zbog nedostatka prostora, u ovom radu će biti prikazani rezultati za samo jednu veličinu komutatora ( $N = 16$ ) i srednjeg trajanja *burst*-a ( $B_s = 16$ ), pri ulaznim opterećenjima  $p_i = 0.8$  i  $p_i = 0.9$  koja predstavljaju dolazni saobraćaj visokog intenziteta. Veličina bafera u ukrsnim tačkama iznosi  $L = 512$  ćelija, pri čemu se veličina bafera izražava u broju ćelija koje bafer može primiti. Simulacije su vršene za deset miliona vremenskih slotova.

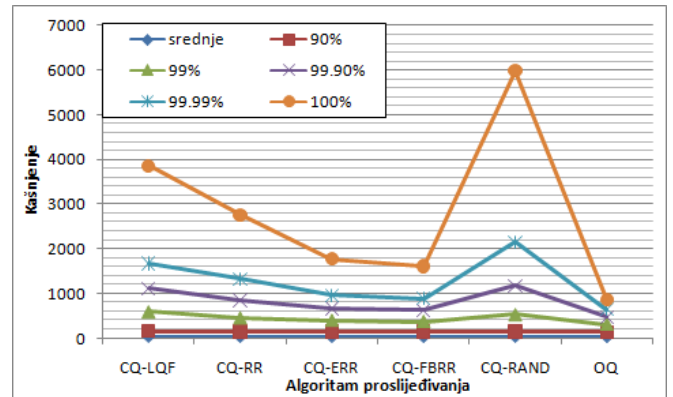
Na Sl. 2 i Sl. 3 je prikazano srednje kašnjenje i maksimalno kašnjenje različitog nivoa granularnosti, koje unosi CQ komutator za različite algoritme raspoređivanja, pri ulaznim opterećenjima 0.8 i 0.9 respektivno.

Može se uočiti da je srednje kašnjenje koje unose algoritmi u razmatranim uslovima gotovo identično. Ipak, RR algoritmi daju za nijansu bolje rezultate od LQF algoritama. Preciznije, za opterećenje 0.8, javlja se razlika od 4 vremenska slota, dok za opterećenje 0.9 razlika iznosi svega 16 vremenskih slotova. Upravo ovi rezultati opravdavaju potrebu za analizom maksimalnog kašnjenja različitog nivoa granularnosti. Naime, ovom analizom će se omogućiti dalje diferenciranje algoritama raspoređivanja i prikazivanja koji od njih unosi najmanje maksimalno kašnjenje, te samim tim granice garantovanog kašnjenja u CQ komutatoru.

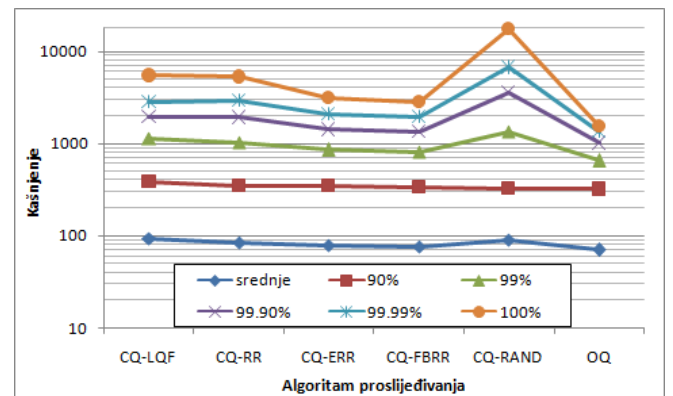
Analiza kašnjenja pokazuje da najveći broj ćelija ima relativno malo kašnjenje. Zapravo, ćelija sa jako velikim kašnjenjem ima veoma malo u odnosu na ukupan broj ćelija. Samim tim, posmatrajući maksimalno kašnjenje za  $v=90\%$  proslijeđenih ćelija, razlika između algoritama se i ne uočava. Sa povećanjem granularnosti ova razlika postaje evidentna.

Sa slika 2 i 3, se jasno uočava da komutator sa RAND algoritmom unosi najveće maksimalno kašnjenje. Ovo proizilazi iz činjenice da se posluživanje bafera vrši nasumice, te stoga vrlo lako može doći do zapostavljanja pojedinih bafera njihovim ignorisanjem. Značajno bolje performanse se

postizu kod komutatora sa LQF algoritmom, dok se najbolje performanse dobijaju korišćenjem RR tipova algoritama. Ova razlika se javlja uslijed pojave zapostavljanja pojedinih saobraćajnih tokova od strane LQF-a.



Slika 2. Srednje kašnjenje i raspodjela maksimalnog kašnjenja za različite algoritme raspoređivanja pri ulaznom opterećenju  $p_i = 0.8$



Slika 3. Srednje kašnjenje i raspodjela maksimalnog kašnjenja za različite algoritme raspoređivanja pri ulaznom opterećenju  $p_i = 0.9$

Najbolje rezultate daju ERR i FBRR algoritam, upravo zbog toga što se zadržavaju u baferu dok se ne isprazni, odnosno dok se ne pošalju sve ćelije koje su se u njemu zatekle. Samim tim, maksimalno kašnjenje pojedinačnih ćelija ne raste previše. Kod običnog RR-a, šalje se samo jedna ćelija iz svakog bafera, što znači da se jednaki prioritet daje baferu koji ima npr. 1 ćeliju u sebi i baferu koji ima 100 ćelija u sebi. To znači da kod RR-a dolazi do većeg akumuliranja maksimalnog kašnjenja nego što je to slučaj kod ERR i FBRR algoritama. Od ova dva algoritma, bolje performanse daje FBRR što je posljedica pojave zapostavljanja koja se može pojaviti kod ERR algoritma. Ukoliko je saobraćaj takav da na bafer koji ERR poslužuje konstantno dolaze ćelije, onda ERR nikada neće prestati da ga poslužuje, potpuno zanemarujući ostale bafere. Ovo je kod FBRR algoritma izbjegnuto, pa je i maksimalno kašnjenje koje on unosi manje.

Svi dobijeni rezultati su poređeni sa rezultatima dobijenim za OQ komutator pod istim uslovima. Kao što se sa slika 2 i 3 može vidjeti, OQ komutator daje najbolje performanse. Međutim, CQ komutator sa FBRR i ERR algoritmom daje zadovoljavajuće rezultate koji su bliski OQ komutatoru.

U tabelama I i II je prikazano je maksimalno kašnjenje koje unosi komutator za različite nivoe granularnosti pri ulaznim opterećenjima  $p_i = 0.8$  i  $p_i = 0.9$  respektivno. Na osnovu ovih tabela se mogu jasnije uočiti razlike između algoritama, kao i uticaj granularnosti na maksimalno kašnjenje.

TABELA I. MAKSIMALNO KAŠNENJE ZA RAZLIČITE NIVOE GRANULARNOSTI, ZA ULAZNO OPTEREĆENJE 0.8

Nivo granularnosti	Algoritmi raspoređivanja					
	CQ komutator					OQ komutator
	LQF	RR	ERR	FBRR	RAND	
90 %	164	156	159	152	157	149
99 %	598	461	403	380	533	314
99.9 %	1123	858	675	635	1172	485
99.99 %	1679	1333	963	900	2153	645
100 %	3850	2760	1772	1613	5969	873

TABELA II. MAKSIMALNO KAŠNENJE ZA RAZLIČITE NIVOE GRANULARNOSTI, ZA ULAZNO OPTEREĆENJE 0.9

Nivo granularnosti	Algoritmi raspoređivanja					
	CQ komutator					OQ komutator
	LQF	RR	ERR	FBRR	RAND	
90 %	389	348	348	336	328	320
99 %	1145	1027	855	815	1360	656
99.9 %	1963	1922	1426	1343	3594	1013
99.99 %	2838	2940	2088	1950	6732	1347
100 %	5475	5310	3144	2820	17512	1564

Analizom rezultata prikazanih u tabeli I se može zaključiti da maksimalno kašnjenje u 90% slučajeva, gotovo ne zavisi od primijenjenog algoritma, dok je za veće procenete razlika više nego očigledna. Na osnovu ovih podataka se potvrđuje zaključak da OQ komutator unosi najmanje maksimalno kašnjenje u svim razmatranim slučajevima, a da mu je najbliži po rezultatima FBRR algoritam. Rezultati u tabelama I i II pokazuju da sa povećanjem opterećenja, raste i maksimalno kašnjenje, te su samim tim i razlike između algoritama za bilo koji nivo granularnosti uočljivije. Pokazuje se da FBRR algoritam daje čak i u najgorem slučaju (za  $v = 100\%$ ) duplo veće kašnjenje od OQ komutatora, dok je već za slučaj  $v=99.99\%$  kašnjenje 50% veće.

Pored simulacija izvršenih za  $10^7$  vremenskih slotova, izvršene su simulacije i za  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$  i  $10^6$  vremenskih slotova. Primjećeno je da se sa povećanjem trajanja simulacija srednje kašnjenje smanjuje, a maksimalno povećava. Ovo je direktna posljedica nulte vjerovatnoće gubitka, jer sada i ako je maksimalno kašnjenje veće, broj ćelija sa "malim" kašnjenjem je značajno veći. Na taj način i srednje kašnjenje opada. Ukoliko bi vjerovatnoća gubitka bila veća od nule, tendencija bi bila obrnuta, tj. srednje kašnjenje bi se povećavalo, a maksimalno smanjivalo (uslijed odbacivanja ćelija zbog nedostatka slobodnog prostora u baferu).

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analizirana mogućnost garantovanja kašnjenja koje unosi CQ komutator. Predstavljena je analiza srednjeg i maksimalnog kašnjenja koje unosi CQ komutator sa

različitim algoritmima rsortovanja, pri *bursty* saobraćaju visokog intenziteta i 100% propusnosti. Može se zaključiti da za niske nivoe granularnosti komutatori unose maksimalno kašnjenje približno OQ. Povećanjem nivoa granularnosti maksimalno kašnjenje kod razmatranih komutatora brže raste u odnosu na OQ, pri čemu se najniže vrijednosti dobijaju za komutator sa FBRR algoritmom raspoređivanja. Mogući dalji pravac istraživanja je razvoj novih algoritama sa QoS podrškom sposobnih da razdvoje tokove saobraćaja dajući im različite prioritete i ispitivanje performansi komutatora baziranih na tim algoritmima.

## ZAHVALNICA

Rad je dijelom finansiran sredstvima projekta „Analiza performansi CQ komutatora paketa sa stanovišta QoS garancija“, sufinansiranim od strane Ministarstva za nauku Crne Gore i Ministarstva za prosvjetu i nauku Bosne i Hercegovine.

## LITERATURA

- [1] ITU-T Recommendation E.800, "Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability," August 1994.
- [2] A.G. Malamos, E.N. Malamas, T.A. Varvarigou, S.R. Ahuja, "On the definition, modeling and implementation of QoS in distributed multimedia systems," IEEE ISCC '99, Egypt, July 1999.
- [3] N. Giroux, S. Ganti "Quality of service in ATM networks," Prentice HallPTR, NJ, USA, 1999.
- [4] M. Aida, K. Horikawa, "Stability Analysis for Global Performance of Flow Control in High-Speed Networks Based on Statistical Physics," IEICE Trans. Commun., vol. E82-B, no. 12, pp. 2095-2106, 1999.
- [5] E. Schiattarella, F. Neri, I. Montrosset, "High-performance packet switching architectures," PhD thesis, Politecnico di Torino, March 2006.
- [6] Yossi Kanizo, David Hay, Isaac Keslassy "The Crosspoint-Queued Switch," Proc of IEEE Infocom '09, Brazil, pp. 729-737, 2009.
- [7] Milutin Radonjic, Igor Radusinovic "Impact of scheduling algorithms on performance of crosspoint-queued switch," Annals Of Telecommunications, pp. 363-376, 2011.
- [8] M. Radonjic, I. Radusinovic, "Buffer length impact to crosspoint queued crossbar switch performance," In Proc. IEEE MELECON, pp. 119-124, 2010.
- [9] M. Radonjic, I. Radusinovic, "Average latency and loss probability analysis of crosspoint queued crossbar switches," In Proc. ELMAR, pp. 203-206, 2010.
- [10] M. Radonjic, I. Radusinovic, "Analiza varijacije kašnjenja kod krosbar komutatora sa baferima u ukrsnim tačkama," INFOTEH-JAHORINA Vol. 10, Ref. B-III-8, pp. 224-228, March 2011.

## ABSTRACT

The possibility of enabling quality of service in crosspoint-queued packet switches has been investigated. One of the most important parameters in modern networks is delay therefore, in this paper, we investigate the delay that CQ switch introduce under bursty traffic for large input load and zero cell loss probability. Beside standard average delay, the truncated maximum cell delay is investigated.

## ANALYSIS OF CQ SWITCH MAXIMUM DELAY UNDER BURSTY TRAFFIC

Soko Divanovic, Milutin Radonjic, Gordana Gardasevic, Igor Radusinovic