

ANALIZA PERFORMANSI ERRL-ERRL CICQ KOMUTATORA

Igor Radusinović, Zoran Veljovic, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

Sadržaj – U ovom radu je data analiza performansi CICQ (Combined Input- and Crosspoint-Queued) komutatora baziranog na ERRL (Exhausted Round Robin with Limited service) algoritmu arbitracije sa stanovišta propusnosti i srednjeg vremena kašnjenja. Simulacioni rezultati, dobijeni za neuniformni i ON-OFF dolazni saobraćaj, pokazuju da razmatrani komutator ima zadovoljavajuće performanse ako se imaju u vidu zahtjevi koji se postavljaju pred realizacijama savremenih komutatora. Uzimajući u obzir pogodnost ERRL algoritma arbitracije za hardversku implementaciju dobijeni rezultati ukazuju na izvjesnost fizičke realizacije ovog komutatora.

1. UVOD

Količina saobraćaja koja se prenosi Internetom doživljava dramatičan rast zbog izuzetne popularnosti WWW (World Wide Web) servisa. Zbog toga su vrlo brzi komutatori i ruteri dizajnirani za postizanje brzina komutiranja čak većih od 1Tb/s. Sa stanovišta fizičke realizacije atraktivno rješenje predstavlja neblokirajući komutator sa baferima na ulazu. Poznato je da ovaj komutator ima ograničenu propusnost zbog HOL (Head Of Line) efekta blokiranja [1]. Postoji veliki broj tehnika koje su predložene za redukovanje negativnog uticaja ovog efekta [2]. Na taj način je izuzetan broj arhitektura komutatora predložen i analiziran [3].

Među predloženim rješenjima CICQ (Combined Input- and Crosspoint-Queued) komutator paketa fiksnih dužina predstavlja posebno interesantno rješenje. Za razliku od komutatora sa izlaznim i zajedničkim baferovanjem ovaj komutator ne zahtijeva ubrzanje internih magistrala. Takođe, za dostizanje 100% propusnosti ova vrsta komutatora podrazumijeva jednostavnije algoritme arbitracije od rješenja baziranih na virtuelnom izlaznom baferovanju [4], [5]. Na kraju, za postizanje identičnih vrijednosti gubitka paketa potrebno je značajno manja memorija nego kod rješenja baziranog na baferovanju u ukrsnim tačkama [6]. Iz ovih razloga je CICQ komutator postao vrlo popularan u naučnoj i stručnoj javnosti [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Algoritmi arbitracije predstalljaju veoma važan faktor u funkcionisanju CICQ komutatora. U radu [14] napravljeno je upoređenje i analiza uticaja različitih algoritama arbitracije na srednje vrijeme kašnjenja u prenosu paketa koje unosi CICQ komutator i srednju veličinu zauzetosti virtuelnog izlaznog bafera, za beskonačne virtuelne izlazne bafere pri uniformnom i ON-OFF dolaznom saobraćaju. Utvrđeno je da bez obzira koji je algoritam arbitracije primijenjen nivoi dobijenih vrijednosti analiziranih performansi su međusobno veoma bliski. Takođe, utvrđena je bliskost vrijednosti njihovih performansi sa performansama “idealnog” neblokirajućeg komutatora sa izlaznim baferovanjem.

U radu [13] je prezentirana ekstenzija rezultata objavljenih u radu [14] u smislu analize, sprovedene simulacijama, koja se odnosi na propusnost i vjerovatnoću

gubitka paketa za uniformni i ON-OFF dolazni saobraćaj uz korišćenje RR algoritam arbitracije, kada je veličina virtuelnih izlaznih bafera konačna. Dobijeni su rezultati koji potvrđuju pogodnost CICQ komutatora sa RR algoritmom arbitracije za hardversku implementaciju.

U radu [15] je analiziran ERR (Exhausted Round Robin) algoritam primijenjen na ulazima i izlazima CICQ komutatora. ERR algoritam je predlagan u realizacijama komutatora sa VOQ baferima [16], [17]. Pokazano je da ovaj komutator ima izuzetno dobre performanse koje kada se uzme u obzir jednostavnost realizacije znače da primjena ERR algoritma otvara mogućnost realizacije visoko performantnih komutatora paketa budućnosti. Zapaženo je da predloženi CICQ komutator može imati problema pri nekim izuzetno neizbalansiranim dolaznim saobraćajima. Ovaj rad predstavlja ekstenziju prethodnog istraživanja [15] u smislu ograničavanja ERR algoritma (ERRL - ERR with Limited service) čime se sprečava da određeni par ulaz-izlaz, pri nekim izuzetno neizbalansiranim dolaznim saobraćajima, „preuzme“ komutator. Pokazuje se da definisanje maksimalnog broja ćelija koje se mogu prenijeti sa određenog virtuelnog izlaznog bafera (bafera u ukrskoj tački) od 100 ćelija rješava prethodni problem zadržavajući sve pogodnosti realizacije ERR CICQ komutatora.

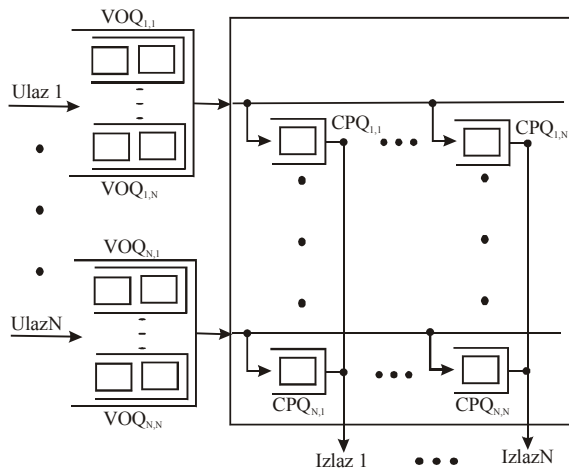
Ovaj rad je organizovan na način koji slijedi. U dijelu 2 opisan je način funkcionisanja ERRL-ERRL CICQ komutatora. Dio 3 sadrži osnove sprovedene analize i prezentaciju dobijenih rezultata. Na kraju, u dijelu 4 su izvedeni zaključci.

2. ERRL-ERRL CICQ KOMUTATOR

Polazeći od slike 1., razmatra se $N \times N$ krosbar komutator sa virtuelnim izlaznim baferima na ulazu i malim baferima u ukrsnim tačkama. Svaki ulaz sadrži N virtuelnih izlaznih bafera (VOQ – Virtual Output Queue), beskonačne dužine. Virtuelni izlazni bafer VOQ_{ij} sadrži pakete koji dolaze na ulaz i , a adresirani su za izlaz j ($1 \leq i, j \leq N$). Bafer u ukrskoj tački CPQ_{ij} je povezan sa jednim VOQ_{ij} na taj način što će paketi smješteni u VOQ_{ij} biti poslani u CPQ_{ij} . Pretpostavimo da je vrijeme segmentirano u intervale (slotove) i da paketi dolaze na početku vremenskog slota.

Tokom svakog vremenskog slota algoritam arbitracije se sastoji od faze arbitracije na ulazima i faze arbitracije na izlazima. Tokom arbitracije na izlazima, kontroler svakog izlaza j bira jedan neprazan CPQ_{ij} i omogućava da njegov paket napusti komutator tokom posmatranog vremenskog slota. Kontroler se zadržava na CPQ_{ij} sve dok u njemu postoji paketa ili dok ne istekne 100 slotova neprekidnog izbora posmatranog CPQ_{ij} , tada prelazi na sledeći neprazni CPQ . Osim opisanog ERRL algoritma, kao algoritmi arbitracije na izlazu u literaturi su predloženi RR, OPF (Oldest Packet First) ili MCBF (Most Critical Buffer First). Tokom arbitracije na ulazima, ulazni kontroler na ulazu i bira

neprazni VOQ_{ij} čiji je odgovarajući CPQ_{ij} nije pun. Paket iz odabranog virtuelnog izlaznog bafera napušta bafer i smješta se u odgovarajući bafer na ukrasnoj tački. Tokom jednog vremenskog slota samo jedan paket sa ulaza može dostići željeni bafer na ukrasnoj tački pošto se razmatra krosbar komutacioni uređaj čija je brzina komutiranja jednaka brzini prenosa podataka na ulaznim/izlaznim portovima. Kontroler se zadržava na VOQ_{ij} sve dok u njemu postoji paketa ili dok ne istekne 100 slotova neprekidnog izbora posmatranog VOQ_{ij} , tada prelazi na sledeći neprazni VOQ . Osim opisanog ERRL algoritma, kao algoritmi arbitracije u literaturi su predloženi LQF (Longest Queue First), OPF ili RR. Odlazak paketa iz virtuelnih izlaznih bafera i ukrasnih tačaka se dešava na kraju vremenskog slota.



Sl.1. ERRL-ERRL CICQ komutator

3. ANALIZA PERFORMANSI

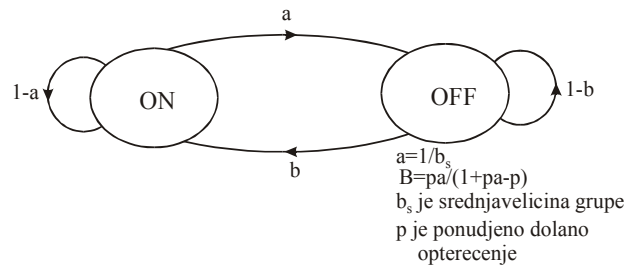
U ovom dijelu, stabilnost, propusnost i srednje vrijeme kašnjenja u prenosu paketa koje unosi CICQ komutator se razmatraju na bazi rezultata dobijenih simulacijama za ERRL ulazno/izlaznu arbitracionu proceduru pri nebalansiranom, neuniformno, i ON-OFF dolaznom saobraćaju. Simulaciona analiza je sprovedena uglavnom na 32x32 CICQ komutatorima za jediničnom dužinom CPQ (osim MCBF koji je simuliran sa baferima u ukrasnim tačkama veličine 10 ćelija) i beskonačnu veličinu VOQ.

U modelu neuniformnog dolaznog saobraćaja, paketi dolaze na ulaze komutatora saglasno identičnom Bernulijevom procesu sa jednakim vjerovatnoćama dolaska p (ulazno opterećenje). Dolazni paketi su neuniformno adresirani na izlaze komutatora slično kao u radovima [11], [12]. Označimo koeficijent neizbalansiranosti sa w . Posmatrajmo ulaz i i izlaz j , i neka je p ponuđeno ulazno opterećenje na svakom ulazu. Ponuđeno saobraćajno opterećenje sa ulaza na izlazni port j je:

$$p'_{i,j} = \begin{cases} p \left(w + \frac{1-w}{N} \right), & \text{za } i = j \\ p \frac{1-w}{N}, & \text{za } i \neq j \end{cases}$$

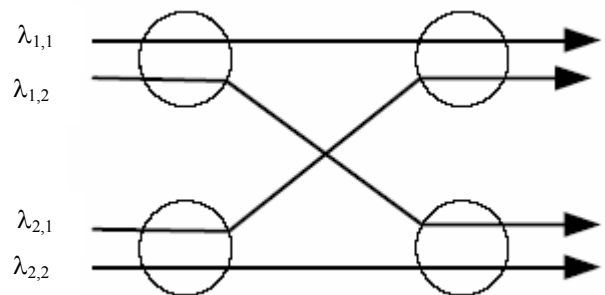
Kada je koeficijent neizbalansiranosti $w=0$, ponuđeni saobraćaj je uniforman. Sa druge strane kada je $w=1$ saobraćaj je u potpunosti neizbalansiran. To znači da je kompletan saobraćaj sa ulaza i adresiran za izlaz $j=i$. Simuliran je vremenski interval koji traje 100000 slotova.

Kod razmatranog ON-OFF modela dolazni saobraćaj se modeluje IB (Interrupted Bernoulli) procesom, saglasno slici 2. Tako, u ON stanju izvor ovog saobraćaja generiše paket dok u OFF stanju izvor ne generiše paket. Odlazne adrese su uniformno distribuirane. Dolazni saobraćaj na svakom ulazu je opisan istim ON-OFF modelom gdje periodi generisanja i negenerisanja paketa imaju geometrijsku raspodjelu. Čelije iste grupe su adresirane na isti izlaz (model fragmentirane poruke). U osnovi, svaki vremenski slot se karakteriše Bernulijevim procesom za koji je karakteristično da ako je ulaz u stanju ON (dolazak paketa) on će u tom stanju ostati sa vjerovatnoćom $1-a$, dok će preći u stanje OFF sa vjerovatnoćom a . Razmatran je ON-OFF dolazni saobraćaj srednje veličine grupe od b_s paketa i vrijeme trajanja simulacije od 1000000 slotova.



Sl. 2. IBP model saobraćaja

Slika 3. ilustruje 2x2 komutator sa nebalansiranim opterećenjem [7]. Slično kao u [7], varirane su srednje dolazne brzine $\lambda_{i,j}$ i mjerili maksimalne veličine redova čekanja virtuelnih izlaznih bafera i kašnjenja njihovih HOL ćelija za 10 intervala sa po 10000 ćelijskih slotova. Ako maksimalna veličina VOQ bafera raste tokom svih 10 intervala ili kašnjenje HOL ćelije dostigne 1000, komutator se smatra nestabilnim.

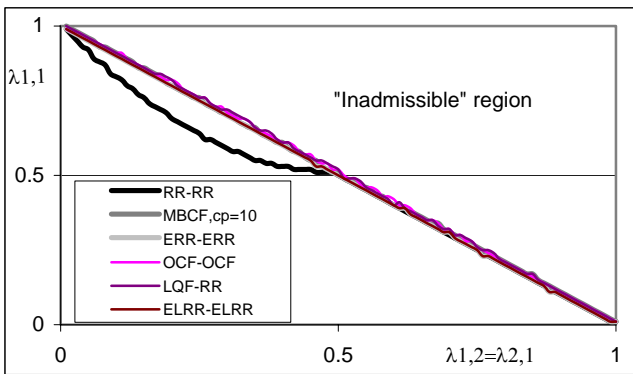


Sl. 3. Nebalansirano opterećenje za 2x2 komutator

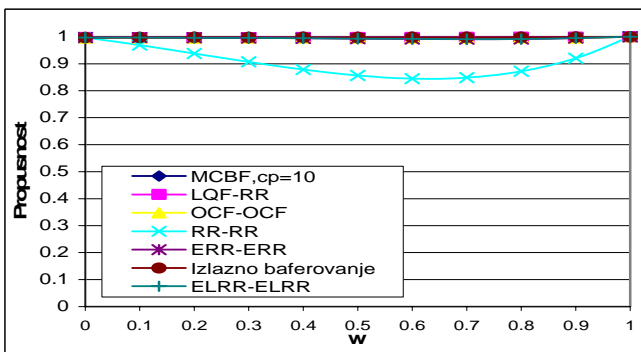
Slika 4. prikazuje regione nestabilnosti šest CICQ komutatora bri Bernolli-jevom dolaznom procesu. Očigledno je da je RR-RR CICQ komutator nestabilan za "admissible" saobraćaj, ali ne presijeca oblast $\lambda_{i,j} \leq 0.5$. Za ERR-ERR i ERRL-ERRL se dobijaju identične performanse.

Na slici 5. su prikazane propusnosti CICQ komutatora u funkciji koeficijenta neizbalansiranosti w . Očigledno je da

ERRL-ERRL CICQ komutator ima propusnost veoma približnu propusnosti ostalih rješenja predloženih u literaturi. Uočljivo je da RR-RR CICQ komutator ima za ovu vrstu dolaznog sobračaja propusnost manju od 100%.

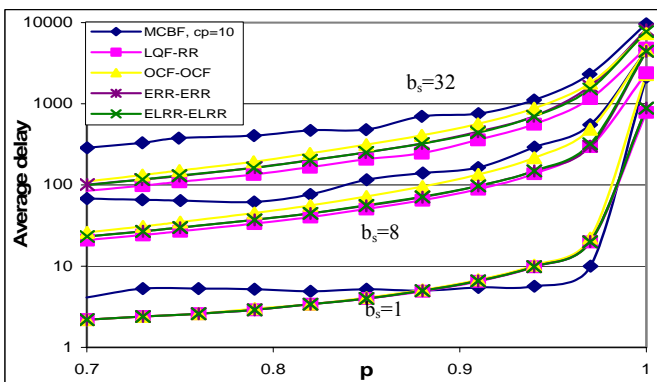


Sl. 4. Nebalansirano opterećenje za 2x2 komutator

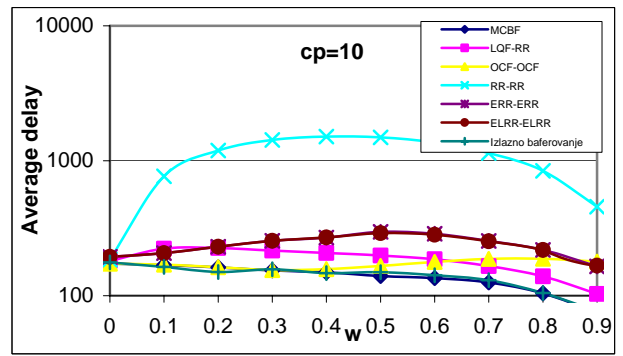


Sl. 5. Regioni nestabilnosti 2x2 CICQ komutatora pri neuniformnom ulaznom opterećenju

Srednje kašnjenje CICQ komutatora u funkciji ON-OFF ulaznog opterećenja i faktora neizbalansiranosti su prikazane na slikama 6 i 7. Uočljivo je da se sa povećanjem veličine srednje grupe raste srednje kašnjenje koje unose svi CICQ komutatori. U slučaju neuniformnog dolaznog saobraćaja, ERRL-ERRL komutator ima performanse značajno bolje od RR-RR komutatora. Na slici 7. su prikazani rezultati za CICQ komutatore sa veličinom bafera ukrasne tačke $c_p=10$. Zapaža se da ERRL-ERRL i ERR-ERR komutatori unose identično srednje kašnjenje.

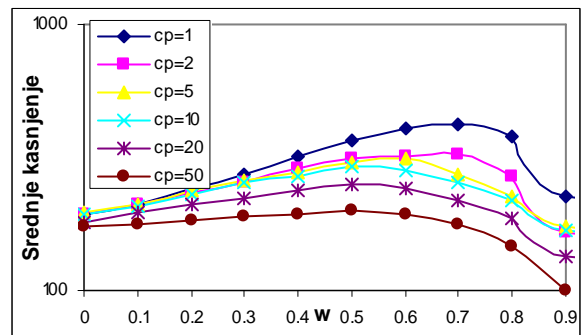


Sl. 6. Srednje kašnjenje koje unose CICQ komutatori u funkciji ON-OFF ulaznog opterećenja za različite veličine srednje grupe



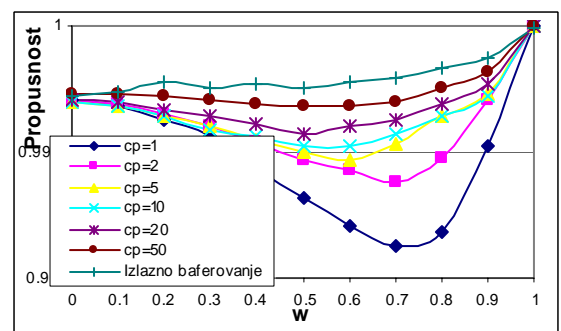
Sl. 7. Srednje kašnjenje koje unose CICQ komutatori u funkciji faktora neizbalansiranosti

Na slici 8. je prikazano srednje kašnjenje koje unosi ERRL-ERRL komutator u funkciji faktora neizbalansiranosti saobraćaja za različite veličine bafera u ukrasnim tačkama. Uočava se da se srednje kašnjenje sa povećanjem veličine bafera u ukrasnoj tački smanjuje, što znači da se povećava efikasnost funkcionisanja komutatora.



Sl. 8. Srednje kašnjenje u prenosu paketa koje unosi ERRL-ERRL komutator u funkciji faktora neizbalansiranosti za različite veličine bafera u ukrasnim tačkama

Na slici 9. je prikazana propusnost ERRL-ERRL komutatora u funkciji faktora neizbalansiranosti saobraćaja za različite veličine bafera u ukrasnim tačkama. Uočava se da se propusnost sa povećanjem veličine bafera u ukrasnoj tački povećava i teži propusnosti komutatora sa baferima na izlazu, što takođe ide u prilog konstataciji da se sa povećanjem veličine bafera u ukrasnoj tački povećava efikasnost funkcionisanja komutatora.



Sl. 9. Propusnost ERRL-ERRL CICQ komutatora u funkciji faktora neizbalansiranosti za različite veličine bafera u ukrasnim tačkama

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je data analiza performansi CICQ (Combined Input- and Crosspoint-Queued) komutatora baziranog na ERRL (Exhausted Round Robin algorithm with Limited service) algoritmu arbitracije sa stanovišta propusnosti i srednjeg vremena kašenjenja. Predstavljeni su rezultati, dobijeni za neuniformni i ON-OFF dolazni saobraćaj. Ovi rezultati, koji predstavljaju najznačajniji doprinos ovog rada, pokazuju da razmatrani komutator ima zadovoljavajuće performanse ako se imaju u vidu zahtjevi koji se pred realizacijama savremenih komutatora postavljaju. Sledeći doprinos ovog rada je upotpunjavanje analize sprovedene u [15] rezultatima koji se odnose na rješavanje problema „zauzimanja“ komutatora od strane određenog para ulaz-izlaz pri određenim vrstama nebalansiranog saobraćaja. Ova analiza i rezultati pokazuju da razmatrani komutator, pored hardverske jednostavnosti, ima odlične performanse koje su poredive ne samo sa ostalim CICQ komutatorima već i sa izuzetno kvalitetnim realizacijama kao što su VOQ komutatori [4], [5] ili komutatori sa izlaznim baferovanjem [18]. Ostaje dalje da se pomenuti komutator analizira u uslovima realnog Internet saobraćaja što bi bilo dalje upotpunjavanje rezultata ovog rada. Takođe, bilo bi interesantno sprovesti i analize drugih performansi od kojih zavisi pružanje određenih kvaliteta servisa. Na taj način bi se moglo doći do preciznog odgovora o pogodnosti ERRL-ERRL CICQ komutatora za hardversku implementaciju.

LITERATURA

- [1] M. Karol, M. Hluchyj, and S. Morgan, "Input versus output queuing on a space division switch," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.35, pp.1347-1356, Dec.1987.
- [2] M. Karol, K. Eng, and H. Obara, "Improving the performance of input-queued ATM packet switches," in *Proc. of IEEE INFOCOM '92*, 1992, pp.110-115.
- [3] M. Murata, "Requirements on ATM switch architectures for quality-of-service guarantees," *IEICE Trans. Comm.*, vol. E81-B, no.3, pp.138-151, Feb. 1998.
- [4] N. McKeown, V. Anantharam, and J. Walrand, "Achieving 100% throughput in an input-queued switch," in *Proc. of IEEE INFOCOM '96*, pp.296-302, 1996.
- [5] N.H. Liu, K.L. Yeung, and D.C.W. Pao, "Scheduling Algorithms for Input-queued Switches with Virtual Output Queuing," in *Proceedings of IEEE ICC '2001*, 2001.
- [6] M. Nabeshima, "Performance evolution of a combined input- and crosspoint-queued switch," *IEICE Trans. Comm.*, vol. E83-B, no.3, pp.737-741, March 2000.
- [7] T. Javidi, R. Magill, and T. Hrabik, "A High-Throughput Scheduling Algorithm for a Buffered Crossbar Switch Fabric," in *Proc. of IEEE ICC '2001*, pp. 1586-1591, June 2001.
- [8] F. Gramsamer, M. Gusat, and R. Luijten, "Optimizing flow control for buffered switches," *IEEE IC3N*, pp. 438-443, Oct. 2002.
- [9] K. Yoshigoe, and K. Christensen, "A parallel-pollled virtual output queued switch with buffered crossbar," *IEEE HSPR 2001*, pp. 271-275, May 2001.
- [10] R. Cessa, E. Oki, Y. Jing, and H. Chao, "CIVX-1: Combined input-one-cell-crosspoint buffered switch," *IEEE HSPR 2001*, pp. 324-329, May 2001.
- [11] L. Mhamdi and M. Hamdi, "MCBF: A High-Performance Scheduling Algorithm for Buffered Crossbar Switches," *IEEE Communications Letters*, Vol.7, No.9, pp.451-453, September 2003.
- [12] R. Rojas-Cessa and E. Oki, "Round-Robin Selection With Adaptable-Size Frame in a Combined Input-Crosspoint Buffered Switch," *IEEE Communications Letters*, Vol.7, No.11, pp.555-557, November 2003.
- [13] I. Radusinovic, M. Pejanovic, and Z. Petrovic, "Analiza performansi CICQ komutatora baziranog na RR algoritmu arbitracije" in *Proc. of ETRAN '2003*, June 2003.
- [14] I. Radusinovic, M. Pejanovic, and Z. Petrovic, "Impact of scheduling algorithms on performance of buffered crossbar switch fabrics" in *Proc. of IEEE ICC '2001*, pp. 2038-2042, June 2001.
- [15] I. Radusinovic, and Z. Veljovic, "New Round-Robin scheduling algorithm for CICQ switch" accepted for *ICN '2005*, April 2005.
- [16] Y.Li, S. Panwar, and H.J.Chao, "Performance analysis of an exhaustive service dual round-robin scheduling algorithm," *Proceedings of IEEE HPSR 2002*, 2002.
- [17] Y.Li, S. Panwar, and H.J.Chao, "Exhaustive Service Matching Algorithms for Input Queued Switches," *Proceedings of IEEE HPSR 2004*, 2004.
- [18] Lie. S.C., "Performance of Various Input-buffered and Output-buffered ATM switch Design Principles under Bursty Traffic: Simulation Study", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42 (2/3/4), pp. 1371-1379, Feb. 1994.

Abstract – In this paper, performance analysis of Combined Input- and Crosspoint-Queued (CICQ) switch based on Exhausted Round Robin scheduling algorithm with Limited service (ERRL) is presented from throughput and average time delay point of view. The results obtain by simulations for nonuniform and ON-OFF incoming traffic show that considered switch has required performance. Taking into account that ERRL algorithms (input and output) are suitable for hardware implementation obtained results show that this switch has to be considered as attractive cost effective solutions.

PERFORMANCE ANALYSIS OF ERRL-ERRL CICQ SWITCH

Igor Radusinović, Zoran Veljovic