

Komutacija paketa

Baferovanje u komutatorima paketa

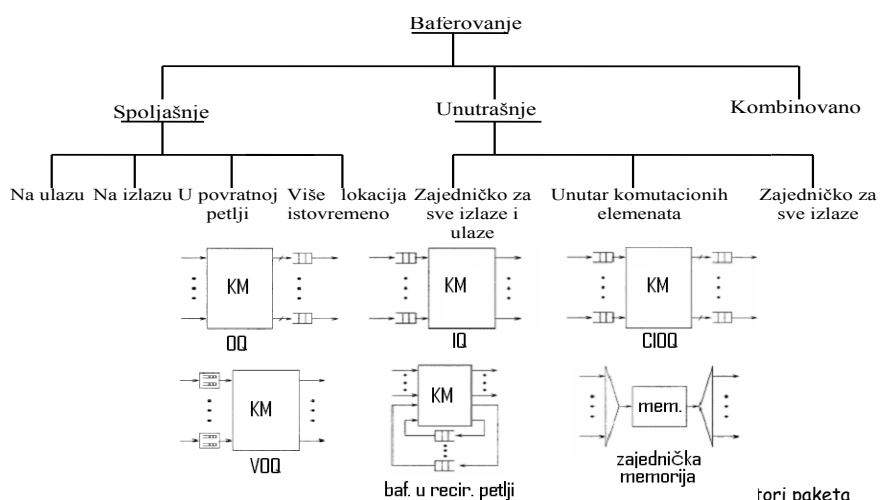
Da bi se redukovala degradacija performansi komutacionog uređaja prouzrokovana internim i spoljašnjim blokiranjem, mogu se obezbijediti baferi na:

- ulaznim portovima /ulazno baferovanje/,
- izlaznim portovima /izlazno baferovanje/,
- unutar komutatora /centralno baferovanje/,
- interno unutar komutacionih elemenata /interno baferovanje/
- kombinacija prethodnih postupaka baferovanja

Komutatori paketa 2-1

Komutacija paketa

Baferovanje u komutatorima paketa



Komutacija paketa

Baferovanje u komutatorima paketa

Spoljašnje baferovanje se realizuje sa baferima van komutacionog uređaja lociranim na:

- ❑ ulazima,
- ❑ izlazima,
- ❑ povratnoj petlji,
- ❑ više navedenih lokacija istovremeno (ulaz/izlaz, ulaz/povratna petlja...).

Unutrašnje baferovanje se obavlja unutar komutacionog uređaja i može biti realizovano u obliku:

- ❑ zajedničkog bafera za sve ulaze i izlaze,
- ❑ baferovanja unutar komutacionog elementa (ulaz, izlaz, ulaz/izlaz...),
- ❑ zajedničkog bafera za sve izlaze.

Komutatori paketa 2-3

Komutacija paketa

Baferovanje u komutatorima paketa

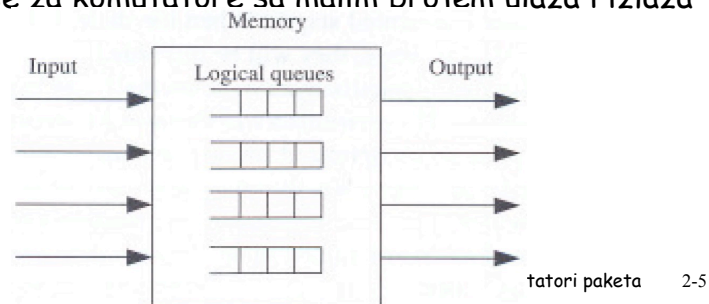
Kombinovano baferovanje se ostvaruje istovremenim postavljanjem bafera unutar komutacionih elemenata i van komutacionog uređaja.

Komutatori paketa 2-4

Komutacija paketa

Komutator sa zajedničkom memorijom

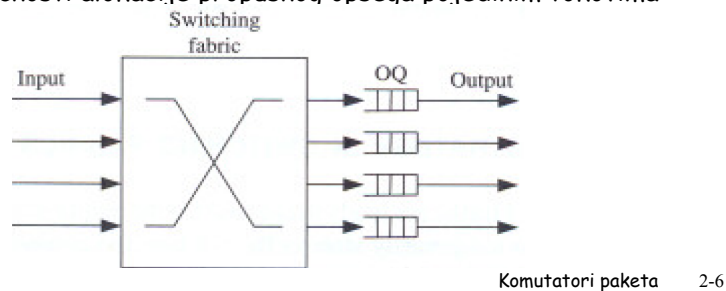
- ❑ Memorija sadrži N logičkih redova čekanja, pri čemu svaki odgovara jednom izlazu
- ❑ Iskorišćenje memorije je maksimalno
- ❑ Memorija mora jednovremeno (tokom trajanja vremenskog slota) odraditi N upisa i N izčitavanja
- ❑ Koristi se za komutatore sa malim brojem ulaza i izlaza



Komutacija paketa

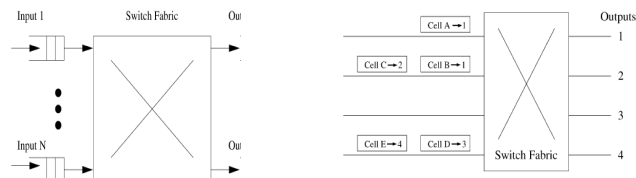
Izlazno baferovanje

- ❑ paketi se sa ulaza odmah prosleđuju na željeni izlaz
- ❑ baferi se postavljaju na izlazima
- ❑ najbolja kontrola saglasno QoS zahtjevima
 - 100% propusnost pri uniformnom dolaznom saobraćaju
 - najmanje srednje kašnjenje
 - mogućnosti alokacije propusnog opsega pojedinim tokovima



Komutacija paketa

Ulazno baferovanje

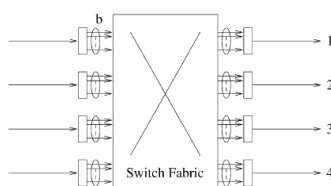


- ❑ Na svakom ulazu po jedan FIFO bafer
- ❑ Aktuelna poslednjih godina jer izlazno baferovanje onemogućava realizaciju komutatora sa velikim brojem ulaza/izlaza
- ❑ HOL blokiranje
- ❑ Za beskonačno N propusnost je svega 0.586

Komutatori paketa 2-7

Komutacija paketa

Multiline komutator paketa sa baferima na ulazu



- ❑ gubitak redoslijeda paketa koji pripadaju istom toku.
- ❑ za veliki broj ulaznih/izlaznih portova, potrebna je struktura sa b puta većim brojem ulaza/izlaza.
- ❑ iako je naučno gledano interesantan, ovaj pristup nema neki praktičan značaj.

Komutatori paketa 2-8

Komutacija paketa

Window based komutator paketa sa baferima na ulazu prostornog komutatora

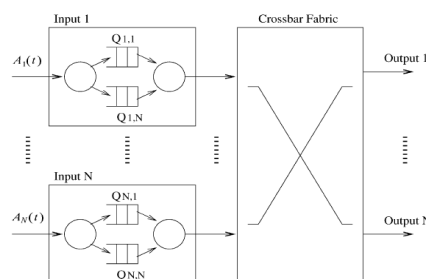
- ❑ Ostali paketi iz reda čekanja, kada njihova HOL ćelija izgubi nadmetanje, se nadmeću za izlazni resurs.
- ❑ w paketa, koliko iznosi veličina prozora, se nadmeće za izlazni resurs
- ❑ visoka osjetljivost na dolazni saobraćaj, tako da se za *bursty* saobraćaj ne postižu značajno bolje performanse nego kog FIFO discipline

N	Window Size w							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.75	0.84	0.89	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
4	0.66	0.76	0.81	0.85	0.87	0.89	0.91	0.92
8	0.62	0.72	0.78	0.82	0.85	0.87	0.88	0.89
16	0.60	0.71	0.77	0.81	0.84	0.86	0.87	0.88
32	0.59	0.70	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88
64	0.59	0.70	0.76	0.80	0.83	0.85	0.86	0.88
128	0.59	0.70	0.76	0.80	0.83	0.85	0.86	0.88

Komutatori paketa 2-9

Komutacija paketa

VOQ komutator paketa



- ❑ paket koji dolazi na ulaz i , a namijenjen je za izlaz j , postavlja u bafer VOQ $_{ij}$
- ❑ 100% propusnosti, ukoliko je algoritam za odlučivanje o prosljeđivanju ćelija **stabilan**
- ❑ Razmatraju se kašnjenje/propusnost i kompleksnost algoritma
- ❑ Algoritam za odlučivanje o prosljeđivanju ćelija je pravilo po kojem se određuje matrica uparivanja, na osnovu koje pojedine ćelije dobijaju odobrenje (*grant*) da budu prosljeđene sa ulaza na željeni izlaz.
- ❑ Algoritam za odlučivanje je sofisticiran (bipartitni grafovi)

Komutatori paketa 2-10

Komutacija paketa

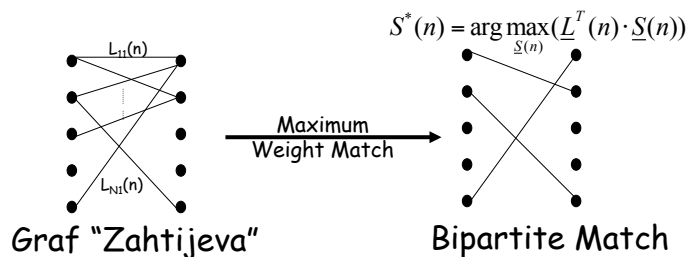
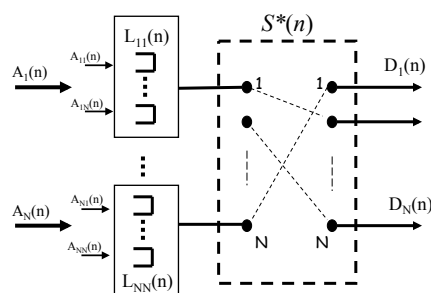
VOQ Krosbar

Maximum weight matching (MWM) algoritmi

- imaju veoma dobre performanse za širok spektar saobraćajnih uslova ali i veliku kompleksnost implementacije $O(N^3 \log N)$ što ih čini najkomplicovanijim za primjenu u praksi
- Ako se tome dodaju zahtjevi za multikastom i QoS uslugama onda je ta kompleksnost još veća. MWM metoda se sastoji u uparivanju ulaza i izlaza tako da ukupni težinski faktor svih konekcija bude maksimalan.
- Taj težinski faktor može biti okupiranost reda ili vrijeme čekanja neke ćelije. Algoritmi koji spadaju u ovu grupu su LQF (Longest Queue First), OCF (Oldest Cell First) i LPF (Longest Port First).
- Mnogo jednostavniji za implementaciju su iterativni oblici ovih algoritama iLQF, iOCF i iLPF zbog manje kompleksnosti.

Komutatori paketa 2-11

Maximum Weight Matching (MWM)



Komutacija paketa

VOQ Krosbar

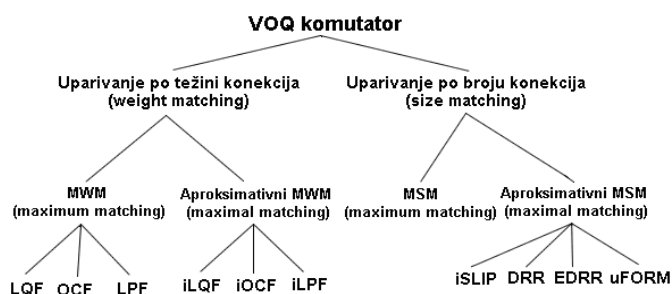
Maximum size matching (MSM) algoritmi

- ❑ nalaze maksimalni broj konekcija ulaz-izlaz tako da propusnost bude maksimalna
- ❑ specijalni slučaj MWM algoritma za slučaj kada svaka konekcija ulaz-izlaz ima jedinični težinski faktor
- ❑ Daju dobre performanse kada je u pitanju propusnost ali vrlo sporo konvergiraju i nisu imuni na pojavu zapostavljenja ulaz-izlaz konekcija čak i za proste saobraćajne uslove
- ❑ Kada je u pitanju kompleksnost implementacije ovih algoritama ona je manja u odnosu na MWM algoritme ali je i dalje velika. Najmanja postignuta kompleksnost MSM algoritma iznosi $O(N^{2.5})$. Upravo zbog toga u praksi primjenu nalaze aproksimativni MSM algoritmi.
- ❑ U ovu grupu algoritama koji nalaze praktičnu primjenu spadaju: iSLIP, DRR, EDRR i u-FORM.

Komutatori paketa 2-13

Komutacija paketa

Klasifikacija VOQ Krosbar

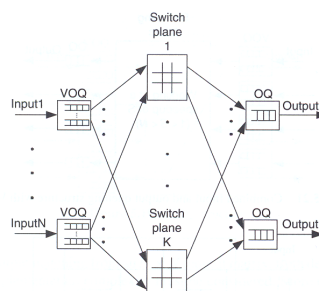


Komutatori paketa 2-14

Komutacija paketa

Paralelni komutator paketa sa VOQ baferima na ulazu i baferima na izlazu

- Paralelni komutator se sastoji od K paralelnih komutacionih struktura, pri čemu svaka struktura ima svoje ulazne baferne, dok izlazne baferne dijeli sa ostalim strukturama.
- Treba pronaći K ćelija koje sa svakog ulaza odlaze tokom slota tako da propusnost bude najveća
- Za N jednako beskonačno paralelni komutator sa $K=2$ paralelnih struktura postiže 100% propusnost, i ponaša se kao komutator sa izlaznim baferovanjem.
- Sa $K=3$ može oponašati bilo koju QoS disciplinu.

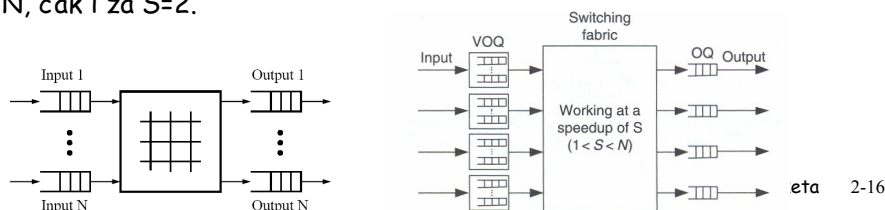


Komutatori paketa 2-15

Komutacija paketa

Speedup komutator sa ulaznim baferovanjme

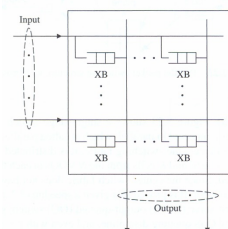
- Unutrašnji kapacitet komutacione matrice se može povećati njenim ubrzavanjem tako da se tokom jednog vremenskog slota S paketa može komutirati sa nekog ulaza na određeni izlaz.
- Komutaciona struktura se opisuje speedup faktorom S ($1 < S < N$).
- Za $S=4$, pokazuje se propusnost dostiže 99% za uniformni saobraćaj.
- klasa komutatora sa kombinovanim ulaznim i izlaznim baferovanjem, tzv. CIOQ (*Combined Input Output Queueing*) komutatora
- klasa komutatora sa kombinovanim virtuelnim izlaznim i izlaznim baferovanjem se ponaša kao komutator sa izlaznim baferovanjem brzine N , čak i za $S=2$.



Komutacija paketa

Baferovanje u ukrsnim tačkama

- ❑ baferi se postavljaju u ukrsne tačke, čija je praktična realizacija u CMOS tehnologiji moguća ukoliko su unutrašnji baferi malog kapaciteta, reda nekoliko paketa
- ❑ Algoritmi odlučivanja su jednostavniji nego u VoQ slučaju ali se moraju izvršavati i na ulazima i na izlazima
- ❑ Nema HOL blokiranja
- ❑ N^2 bafer!!!

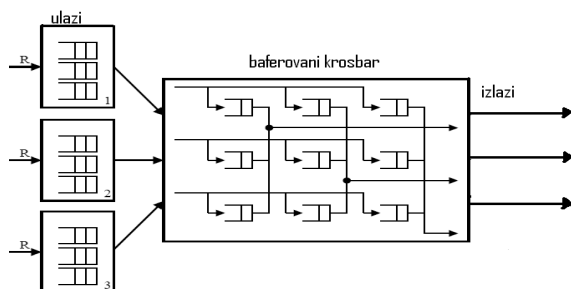


Komutatori paketa 2-17

Komutacija paketa

CICQ (Combined Input Crosspoint Queueing)

- ❑ baferi se postavljaju u ukrsne tačke, čija je praktična realizacija u CMOS tehnologiji moguća ukoliko su unutrašnji baferi malog kapaciteta, reda nekoliko paketa
- ❑ VOQ baferi na ulazu
- ❑ Round robin, oldest cell first, longest queue first,....

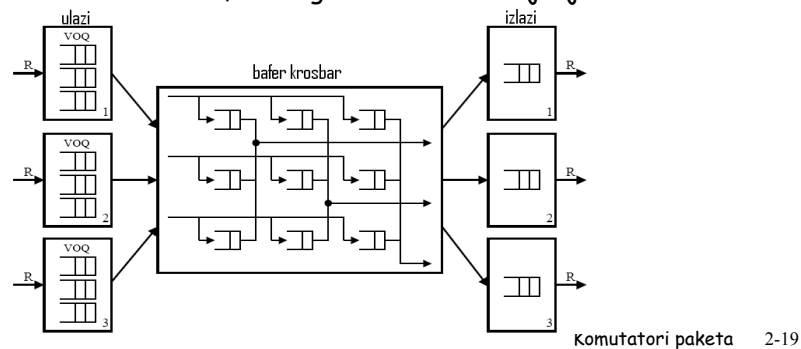


Komutatori paketa 2-18

Komutacija paketa

CICOO

- U odnosu na prethodni slučaj baferi se postavljaju i na izlazima
- 100% propusnost sa speedupom 2
- Garantovanje protoka sa speedupom 2
- Sa speedupom 3, ili sa speedupom 2, uz određenu modifikaciju komutacione strukture, može garantovati i kašnjenje



Komutacija paketa

Performanse osnovnih komutatora

- Modeli saobraćaja
- Krosbar komutator sa odbacivanjem
- Krosbar komutator sa baferima na izlazu
- Krosbar komutator sa baferima na ulazu
- Banyan komutator

Komutacija paketa

Modeli saobraćaja

- ❑ Bernoulli uniformni dolazni saobraćaj
- ❑ ON-OFF model i bursty saobraćaj
- ❑ Neuniformni saobraćaj

Komutatori paketa 2-21

Komutacija paketa

Modeli saobraćaja

- ❑ Bernoulli dolazni proces i slučajni saobraćaj
 - Paketi dolaze u jednakim vremenskim slotovima
 - Vjerovatnoća dolaska paketa je jednaka u svakom slotu (p) i ne zavisi od drugih slotova
 - Ova vjerovatnoća se zove ponuđeno opterećenje ulaza (offer load)
 - Ako je paket jednakovjerovatno adresiran prema svakom izlazu onda se radi o uniformnom saobraćaju

Komutatori paketa 2-22

Komutacija paketa

Modeli saobraćaja

ON-OFF model i bursty saobraćaj

- Svaki ulaz prelazi iz "aktivnog" ON u "pasivno" OFF stanje saglasno geometrijskoj raspodjeli.
- Kada se nalazi u ON stanju paket tokom svakog slota dobija paket. Trajanje aktivnog perioda se zove BURST.
- Ako je X trajanje aktivnog, a Y pasivnog perioda onda važe relacije

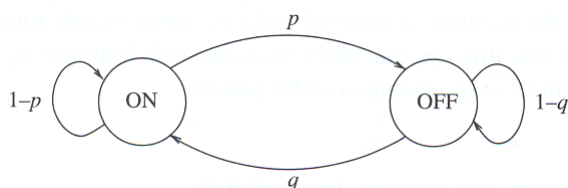
$$P(X=i) = p(1-p)^{i-1}, i \geq 1$$

$$P(Y=j) = q(1-q)^j, j \geq 0$$

$$E[X] = \sum_{i=1}^{\infty} ip(1-p)^{i-1} = \frac{1}{p}$$

$$E[Y] = \sum_{j=0}^{\infty} jq(1-q)^j = \frac{1-q}{q}$$

$$\text{Dolazno opterećenje} = \rho = \frac{\frac{1}{p}}{\frac{1}{p} + \frac{1-q}{q}} = \frac{q}{q+p-pq}$$



Komutatori paketa 2-23

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Izlazna kolizija, kod ove vrste komutatora se rješava izborom jedne od ćelija u koliziji od strane linijskog (magistralnog) kontrolera dok se ostale ćelije odbacuju .
- Izbor ćelije može biti različit (slučajan, *round-robin*, zavisno od prioriteta komutacionih elemenata,...)
- Posmatrajmo uniformni saobraćaj. Uočimo proizvoljan ulaz i i proizvoljan izlaz j . Vjerovatnoća da u jednom trenutku dolazi n ćelija adresiranih za izlaz j je

$$P_n = \binom{N}{n} \left(\frac{p}{N}\right)^n \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-n}$$

Komutatori paketa 2-24

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Propusnost komutatora je jednaka propusnosti izlazne magistrale. Polazeći od zakona održanja protoka i uniformnosti ulaznog saobraćaja slijedi:

$$\rho_{ul} = \rho_{iz} + \rho_{ul} P_L$$

- ρ_{ul} - opterećenje na ulazu posmatrane izlazne magistrale
- ρ_{iz} - propusnost posmatranog izlaza

$$\begin{aligned} \rho_{ul} &= \sum_{n=1}^N n \binom{N}{n} \left(\frac{p}{N}\right)^n \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-n} = \sum_{n=1}^N \frac{N!}{(N-n)!(n-1)!} \left(\frac{p}{N}\right)^n \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-n} = \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} N \binom{N-1}{n} \frac{p}{N} \left(\frac{p}{N}\right)^n \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-1-n} = p \left(1 + \frac{p}{N} - \frac{p}{N}\right)^{N-1} = p \\ \rho &= \rho_{iz} = \sum_{n=1}^N \binom{N}{n} \left(\frac{p}{N}\right)^n \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-n} = 1 - \left(1 - \frac{p}{N}\right)^N \end{aligned}$$

Komutatori paketa 2-25

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Vjerovatnoća gubitka je:

$$P_L = \frac{\rho_{ul} - \rho_{iz}}{\rho_{ul}} = \frac{p - 1 + \left(1 - \frac{p}{N}\right)^N}{p}$$

- Kod ove topologije kašnjenje i varijansa kašnjenja u prenosu zbog komutiranja su zanemarljive.
- Za komutator sa beskonačnim brojem ulaza, dobija se

$$\rho = 1 - e^{-p}$$

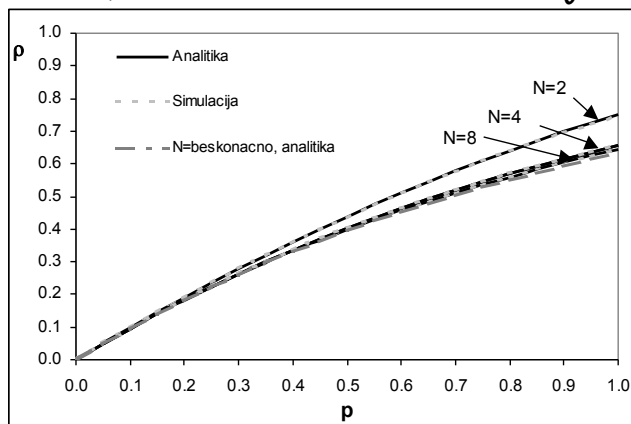
$$P_L = \frac{p - 1 + e^{-p}}{p}$$

Komutatori paketa 2-26

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Propusnost komutatora ρ u funkciji ulaznog opterećenja p za različito N , za uniformni dolazni saobraćaj

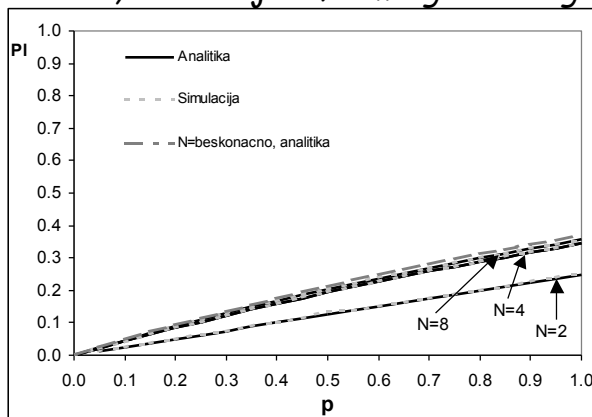


Komutatori paketa 2-27

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Vjerovatnoća gubitka ćelija u zavisnosti od ulaznog opterećenja p za različite vrijednosti veličine komutatora N , za slučaj uniformnog dolaznog saobraćaja

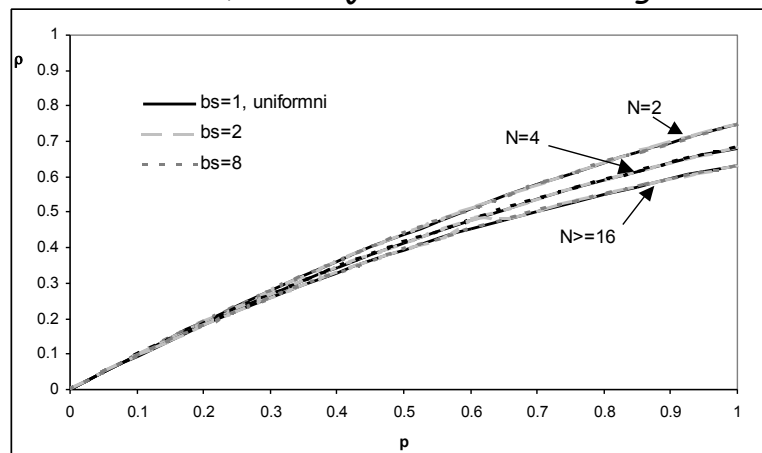


Komutatori paketa 2-28

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Propusnost komutatora ρ u funkciji ulaznog opterećenja p za različito N i bs , u slučaju ON-OFF dolaznog saobraćaja

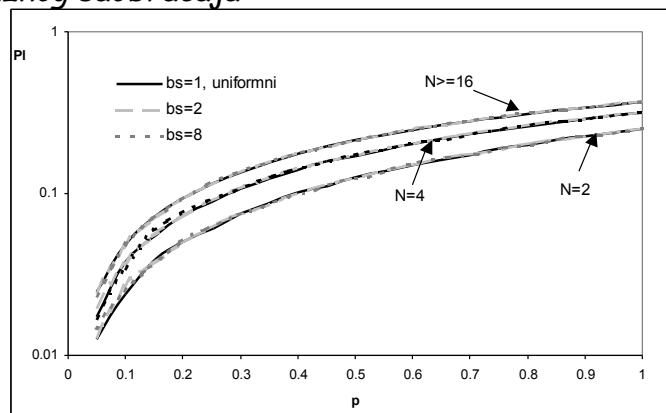


2-29

Komutacija paketa

Performanse crossbar komutatora sa odbacivanjem

- Vjerovatnoća gubitka ćelija P_L u zavisnosti od ulaznog opterećenja za različito N i bs , u slučaju ON-OFF dolaznog saobraćaja



paketa 2-30

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Postavljanjem bafera (FIFO, FIRO,...) širine b na izlaze komutacionog uređaja, mogu se dobiti značajno bolje performanse od performansi komutatora sa odbacivanjem ćelija u koliziji
- Ako je brzina prenosa podataka na ulaznim/izlaznim linijama V tada brzina komutiranja u ovom komutatoru mora biti LV gdje se L kreće između 2 i N . Teorijski se tolika brzina može dobiti ubrzavanjem vertikalnih magistrala na nivo LV i ubrzavanjem linijskih kontrolera koji bi u toku trajanja paketa morali da obrade i prihvate do L zahtjeva za prenosom po jednoj izlaznoj magistrali.
- To znači da je brzina memorije u kojoj se realizuju baferi $(L+1)V$, uz pretpostavku da je memorija dvoportna (istovremeno se vrši čitanje i upis). Ukoliko u baferu nema dovoljno mjesta "suvišne" ćelije, koje se biraju na određeni način, se odbacuju.
- Sa stanovišta praktične realizacije zahtjevi za ubrzavanjem vertikalnih magistrala sa jedne strane i brzim memorijama predstavljaju problem. Zbog toga je u interesu minimizirati veličinu L , tako da ona još uvijek ispunjava zahtijevani nivo performansi.
- Analiza ovog komutatora, u slučaju uniformnog dolaznog saobraćaja, koja slijedi počinje određivanjem minimalno "potrebnih" vrijednosti za L . Uzimanje većih vrijednosti, kako se navodi u literaturi ne donosi isplativ nivo poboljšanja performansi.

Komutatori paketa 2-31

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

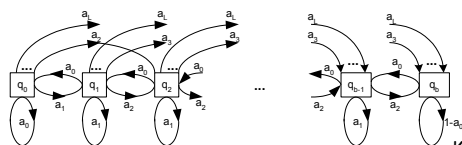
- Vjerovatnoća dolaska k paketa na jedan izlaz je jednaka

$$a_k = \begin{cases} p_k, & k < L \\ \sum_{k=L}^N p_k, & k = L \end{cases}$$

- gdje je

$$p_k = \binom{N}{k} \left(\frac{p}{N}\right)^k \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-k} \underset{N \rightarrow \infty}{=} \frac{e^{-p} p^k}{k!}$$

- Zbog uniformnosti dolaznog saobraćaja analiza samo jednog izlaznog bafera je validna za razmatranje čitavog skupa izlaznih bafera. Proizvoljan izlazni bafer se modeluje konačnim diskretnim Markovljevim lancem, pri čemu se stanje definiše kao broj ćelija u izlaznom baferu. Očigledno treba da bude $b \geq L$. Dijagram stanja ovog modela je prikazan na slici.



Komutatori paketa 2-32

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Na osnovu metoda za rješavanje Markovljevih lanaca mogu se napisati jednačine

$$q_1 = q_0 \frac{a_1 + \dots + a_L}{a_0}$$

$$q_i = \frac{1}{a_0} \left[q_{i-1}(1 - a_1) - \sum_{k=1}^{i-2} q_k a_{i-k+1} - q_0 a_{i-1} \right] \quad 1 < i \leq L$$

$$q_i = \frac{1}{a_0} \left[q_{i-1}(1 - a_1) - \sum_{k=i-L}^{i-2} q_k a_{i-k} \right] \quad L < i \leq b$$

$$q_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^b \frac{q_k}{q_0}}$$

Komutatori paketa 2-33

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Korišćenjem prethodnih jednačina mogu se odrediti performanse
- propusnost komutatora je jednaka propusnosti izlaznog bafera i data je relacijom $\rho = 1 - q_0$

- vjerovatnoća gubitka ćelija je data jednačinom konzervacije protoka

$$P_L = \frac{p - \rho}{p}$$

- polazeći od poznate Litlove formule srednje kašnjenje ćelije zbog komutiranja je dato formulom

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^b i q_i}{\rho}$$

Komutatori paketa 2-34

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Brzina komutiranja L se bira tako da vjerovatnoća gubitka ćelije u komutatoru ne prelazi definisani nivo od 10^{-8} za vjerovatnoću gubitka ćelija pri ulaznom opterećenju $p \leq 0.95$.

$$P_{L,1} = \frac{1}{p} \sum_{k=L+1}^N (k-L) \binom{N}{k} \left(\frac{p}{N}\right)^k \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-k}, \quad N < \infty$$

$$P_{L,1} = \frac{1}{p} \sum_{k=L+1}^{\infty} (k-L) \frac{e^{-p} p^k}{k!}, \quad N \rightarrow \infty$$

N	2	4	8	16	32	64	128	256	512	∞
L_{min}	2	4	8	9	10	10	10	10	10	11

Komutatori paketa 2-35

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Minimalne vrijednosti veličine izlaznog bafera za različite parove (N, L_{min}) koje imaju $P_L < 10^{-8}$ pri ulaznom opterećenju $p \leq 0.95$.

N, L_{min}	2,2	4,4	8,8	16,9	32,10	64,10	128,10	256,10	512,10	$\infty, 11$
b_{min}	77	114	133	146	148	155	160	165	171	173

- Vrijednosti za srednje čekanje pri ulaznom opterećenju 0.95 za minimalne vrijednosti veličine bafera b i brzine L

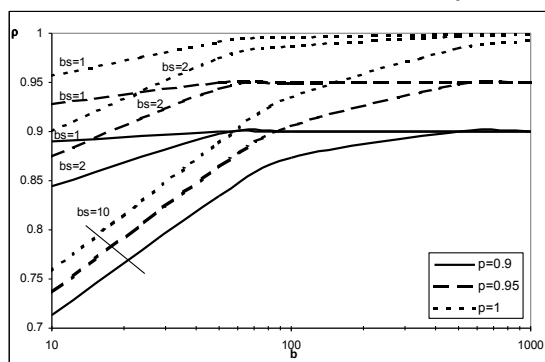
N	2	4	8	16	32	64	128	256	512	∞
\bar{T}	6	8	10	11	12	12	12	12	12	12

Komutatori paketa 2-36

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Propusnost komutatora ($N=8, L=8$) sa baferima na izlazima u funkciji veličine bafera, vrijednosti ulaznog opterećenja i srednje veličine grupe ON-OFF saobraćaja

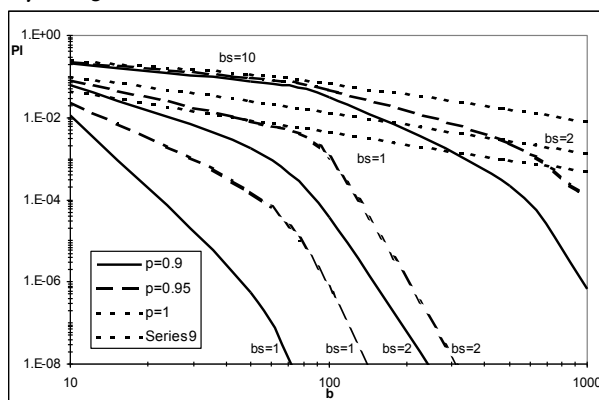


Komutatori paketa 2-37

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Vjerovatnoća gubitka paketa u krosbaru ($N=8, L=8$) sa baferima na izlazima u funkciji veličine bafera za različite vrijednosti p i b_s

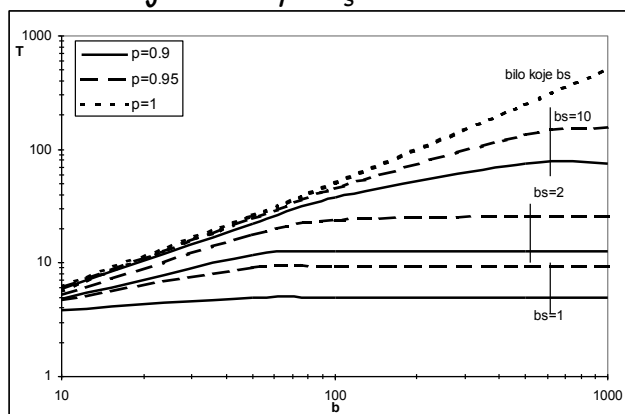


paketa 2-38

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu

- Srednje kašnjenje u prenosu uslijed baferovanja krosbaru ($N=8, L=8$) sa baferima na izlazima u funkciji veličine bafera za različite vrijednosti p i b_s



Komutatori paketa 2-39

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na izlazu (još jedan pristup)

$$\bar{Q} = \frac{N-1}{N} \frac{p^2}{2(1-p)} = \frac{N-1}{N} \bar{Q}_{M/D/1}$$

$$\bar{W} = \frac{N-1}{N} \frac{p}{2(1-p)} = \frac{N-1}{N} \bar{W}_{M/D/1}$$

Komutatori paketa 2-40

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

- FIFO baferi
- Samo se HOL ćelije (paketi fiksne dužine) takmiče za izlaze
- Samo jedna od ćelija u koliziji dobija pravo da bude prosljeđena na izlaz
- Cilj je izračunati maksimalnu propusnost uz pretpostavke
 - Na ulaz u svakom slotu dolazi ćelija.
 - Ako k HOL ćelija čeka da bude prosljeđeno prema istom izlazu samo će jedna biti izabrana sa vjerovatnoćom $1/k$
- U sistemu ima N HOL ćelija, koje se u nekom uočenom slotu m grupišu u N grupa (svaku grupu čine ćelije adresirane za isti izlaz)
- B_m^i je broj ćelija u grupi koju čine ćelije adresirane prema izlazu i u slotu m
- B^i je broj ćelija u grupi koju čine ćelije adresirane prema izlazu i u ravnotežnom stanju
- A_m^i je broj ćelija koje dolaze u grupu koju čine ćelije adresirane prema izlazu i u slotu m
- A^i je broj ćelija koje dolaze u grupu koju čine ćelije adresirane prema izlazu i u ravnotežnom stanju

Komutatori paketa 2-41

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

$$B_m^i = \max(0, B_{m-1}^i + A_m^i - 1)$$

- Vjerovatnoća dolaska ćelija na posmatrani ulaz koja je adresirana na izlaz i je jednaka $1/N$
- Vjerovatnoća dolaska k ćelija u grupu HOL ćelija adresiranih na izlaz i, tokom slotu m je

$$P[A_m^i = k] = \binom{F_{m-1}}{k} (1/N)^k (1-1/N)^{F_{m-1}-k}, \quad k = 0, 1, \dots, F_{m-1}$$

- Gdje F_{m-1} predstavlja broj ćelija koje su otišle iz komutatora tokom slotu m-1, odnosno broj bafera koji tokom slotu m ima nove ćelije na HOL pozicijama

$$F_{m-1} = N - \sum_{i=1}^N B_{m-1}^i$$

$$F_{m-1} = \sum_{i=1}^N A_{m-1}^i$$

Komutatori paketa 2-42

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

- Kada N teži ∞ , A_m^i ima Poasonovu raspodjelu parametra $\rho_i^m = F_{m-1}/N$.
- U ravnotežnom stanju A^i takođe ima Poasonovu raspodjelu parametra $\rho_0 = E(F)/N$
- $E(F)$ predstavlja srednji broj ćelija koje prolaze kroz komutator, a ρ_0 iskorišćenje izlaznih linija tj. normalizovanu propusnost komutatora
- B_m^i se može modelovati M/D/1 redom čekanja, kod kojeg za N teži ∞ srednji broj je jednak

$$\bar{B}^i = \frac{\rho_0^2}{2(1-\rho_0)}$$

- U ravnotežnom stanju

$$\bar{F} = N - \sum_{i=1}^N \bar{B}^i$$

- Kako je zbog simetričnosti srednji broj \bar{B}^i jednak za sve izlaze

$$\bar{F} = N(1 - \bar{B}^i) \rightarrow \bar{B}^i = 1 - \frac{\bar{F}}{N} = 1 - \rho_0$$

Komutatori paketa 2-43

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

- Izjedačavanjem srednjeg bora paketa u grupi dobijenih udvije prethodne relacije dobija se maksimalna propusnost od

$$\rho_0 = 2 - \sqrt{2} = 0,586$$

- Kada je N malo i konačno, maksimalna propusnost komutatora se može dobiti korišćenjem Markovljevih lanaca. Numerički rezultati su dati u tabeli

N	Throughput
1	1.0000
2	0.7500
3	0.6825
4	0.6553
5	0.6399
6	0.6302
7	0.6234
8	0.6184
∞	0.586

- Maksimalna propusnost od 0,586 znači da kada je ulazno opterećenje manje od ove vrijednosti onda je propusnost 100%, a ako je veća iznosi 0,586.

Komutatori paketa 2-44

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

- Kašnjenje se u ovom komutatoru za N teži beskonačno modeluje $Geom/G/1$ redom čekanja uz sledeće pretpostavke
 - Dolazni proces na svakom ulazu je Bernulijev proces, tj. vjerovatnoća p dolaska paketa u svakom vremenskom slotu je idnetična i nezavisna od prethodnog slotu.
 - Čelije su uniformno raspoređene izlazima.
 - Vrijeme koje čelija provede u komutatoru se sastoji od vremena koje provede u baferu i trajanja jednog slotu za rosleđivanje kroz komutator
 - Kada N teži beskonačno broj HOL čelija koje se adresirane na određeni izlaz imaju Poasonovu raspodjelu parametra p. Prema tome raspodjela kašnjenja modela $Geom/G/1$ je jednaka raspodjeli kašnjenja modela $M/D/1$.
- Korišćenjem standardnih rezultata za $Geom/G/1$ dobija se da je srednje kašnjenje koje unosi komutator sa baferima na ulazu:

$$\bar{W} = \frac{pS(S-1)}{1-pS} + \bar{S} - 1$$

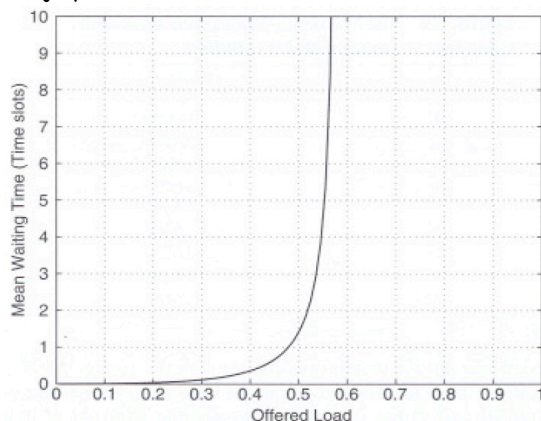
- Gdje je S slučajna raspodjela koja ima vrijeme posluživanja koje se dobija iz $M/D/1$ modela

Komutatori paketa 2-45

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa baferima na ulazu

- Srednje kašnjenje koje unosi komutator sa baferima na ulazu za N teži beskonačno je prikazano na slici



Komutatori paketa 2-46

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Jednokaskadni krosbar komutacioni uređaj sa višestrukim ulaznim baferima na svakom ulazu ima m ($2 \leq m \leq N$) odvojenih FIFO bafera. Svaki bafer je dodijeljen jednoj grupi izlaza koja sadrži N/m izlaznih portova. Parametar m se još naziva i bifurkacioni parametar.
- Analitički je pokazano da ovaj pristup, kada je bifurkacioni parametar dovoljno velik, obezbjeđuje 100% propusnost za uniformni dolazni saobraćaj bez dodatnog usložnjavanja strukture komutatora (ubrzavanje ili proširenje).
- Analiza propusnosti poput jednokaskadnog matričnog komutacionog uređaja sa višestrukim ulaznim baferima se može sprovesti na sličan način kao što je u sprovedena analiza za jednostruko baferovanje na ulazu sa slučajnim izborom jedne od ćelija koje su u koliziji.
- Neka su:
 - $B_i(t)$ broj HOL ćelija adresiranih za izlaz i , koje nijesu u fazi arbitracije tokom vremenskog slota t odabrane,
 - $A_i(t)$ broj ćelija adresiranih za izlaz i , koje tokom vremenskog slota t dolaze na ulaz "slobodnog" bafera,
 - $F_i(t)$ broj HOL ćelija adresiranih za izlaz i , koje su tokom vremenskog slota t odabrane
 - m broj bafera na ulazu,
 - $M=N/m$.

Komutatori paketa 2-47

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Komutator $N \times N$ se može "podijeliti" na m podkomutatora $N \times M$ za slučaj uniformnog saobraćaja.
- Prethodno znači da se $1/m$ - ti dio ukupnog dolaznog saobraćaja nezavisno opslužuje $N \times M$ komutacionim uređajem.
- Propusnost $N \times N$ komutacionog uređaja je jednaka propusnosti bilo kojeg od $N \times M$ podkomutacionih uređaja.
- Virtuelni bafer blokiranih HOL ćelija adresiranih za posmarani izlaz i se može dinamički modelovati na sledeći način:

$$B^i(t) = \max(B^i(t-1) + A^i(t) - 1)$$

Komutatori paketa 2-48

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Pretpostavljajući da je N vrlo velika vrijednost posmatrani bafer možemo modelovati M/D/1 redom čekanja pa je srednji broj blokiranih HOL ćelija

$$E(B) = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$$

- Takođe, važi:

$$F^n + \sum_{i=1}^M B^i(t) = N$$

- U ravnoteži prethodna relacija se transformiše u:

$$E(F) + ME(B) = N \Rightarrow \frac{E(F)}{M} + E(B) = \frac{N}{M}$$

$$\Rightarrow \frac{E(F)}{M} + E(B) = m \Rightarrow E(B) = m - \rho \Rightarrow \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} = m - \rho$$

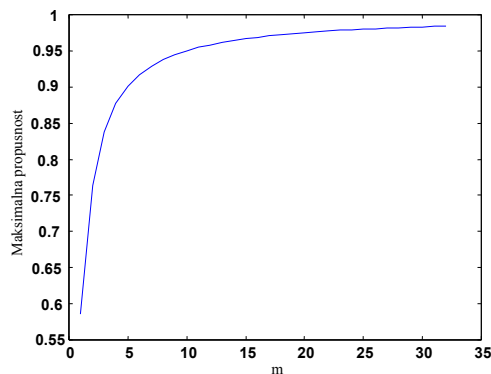
Komutatori paketa 2-49

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Rješavanjem prethodne relacije dobija se da je maksimalna propusnost

$$\rho_m = 1 + m - \sqrt{1 + m^2}$$



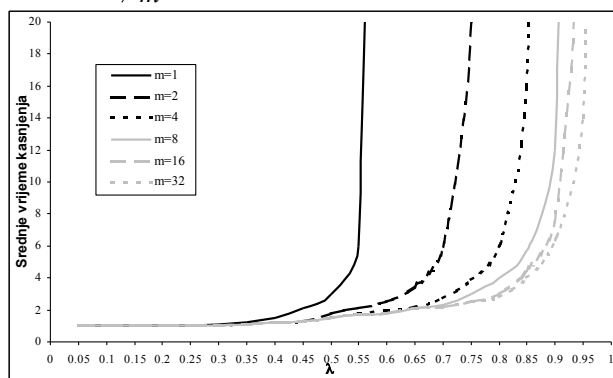
Komutatori paketa 2-50

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Srednje kašnjenje (beskonačan broj N)

$$D = \frac{E(K)}{\lambda/m} = \frac{(m-\lambda)}{m\mu-\lambda} = \frac{(m-\lambda)(2-\lambda)}{2m-2(m+1)\lambda+\lambda^2}$$

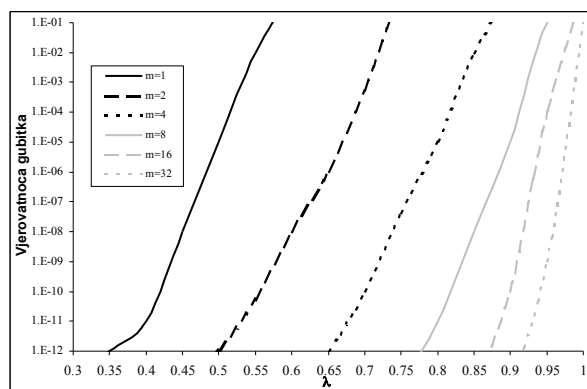


ori paketa 2-51

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Vjerovatnoća gubitka (beskonačan broj ulaza)

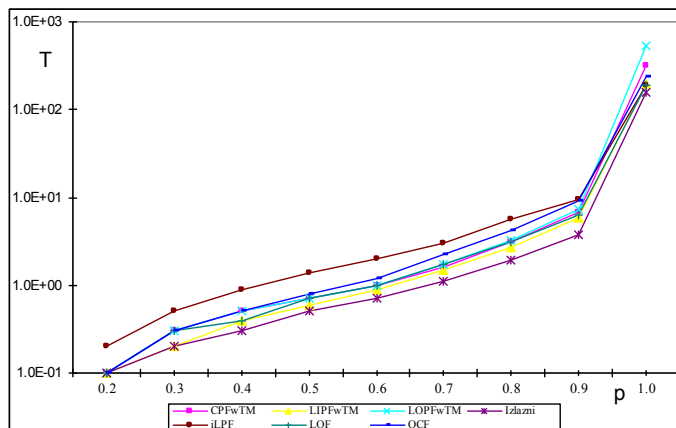


Komutatori paketa 2-52

Komutacija paketa

Performanse komutatora sa višestrukim baferima na ulazu

- Srednje kašnjenje ćelija u komutatoru sa virtuelnim izlaznim baferima ($m=N$) u funkciji ulaznog opterećenja za $N=16$



2-53

Komutacija paketa

Potpuna sistemizacija prostornih komutatora

		Prostorni komutacioni uredaji				
		Krosbar		Banijan		
		Matrični	N^2 razdvojenih putanja	Bafer banijan	Bačer banijan	Prošireni banijan
Sa jedinstvenom putanjom		Baferi na ulazu Baferi u ukrasnim tačkama Baferi na izlazu Baferi na ulazu i izlazu Baferi na ulazu i ukrasnim tačkama	Knockout Lee Integrirani	Baferi na ulazu Centralni baferi Baferi na izlazima	u tri faze sa kružnom rezervacijom sa serijskom rezervacijom	cut-through
	U jednoj ravni					alt. pros. Tandem III BMSR
Sa višestrukim putanjama	Paralelne ravni	tandem - ukrasne tačke SATURN				PIP/N PDN
	Produžene				BNS	St. Louis Tandem I, II Shufflout I Rerouting I, II Benes
	Sa recirkulacijom				Starlite Sunshine	Sa povratnom petljom Tandem III Shufflout II Sa neutralnim kontrolerom
	Clos					3-0 stepeni Knockout Generalizovani Knockout

2-54