

Komutatori paketa

Komutatori paketa 4-1

1

Komutatori paketa

Motivacija

- ❑ Komutacija kola omogućava agrantovanje kvaliteta servisa korisniku
- ❑ Komutatori kola su neefikasni za računarske komunikacije
- ❑ Niska iskorišćenost resursa rezultira većim ulaganjima operatora i usporavanju razvoja/uvođenja novih servisa
- ❑ Statističko multipleksiranje paketa postiže visoku efikasnost i iskorišćenje resursa mreže
- ❑ Tehnološki razvoj je omogućio efikasnu obradu paketa koji se prenose linkovima kapaciteta 100Gb/s

Komutatori paketa 4-2

2

Komutatori paketa

Uloga komutatora paketa

- ❑ Osnovna funkcija je prosleđivanje/rutiranje korisničkih paketa
- ❑ Razmjena kontrolnih paketa radi izvršavanje velikog broja kontrolnih funkcija neophodnih za obavljanje funkcija prosleđivanja/rutiranja
- ❑ Implementirani su na različitim nivoima OSI referentnog modela
- ❑ Struktura ekvivalentna strukturi komutatora kola

Komutatori paketa 4-3

3

Komutacija paketa

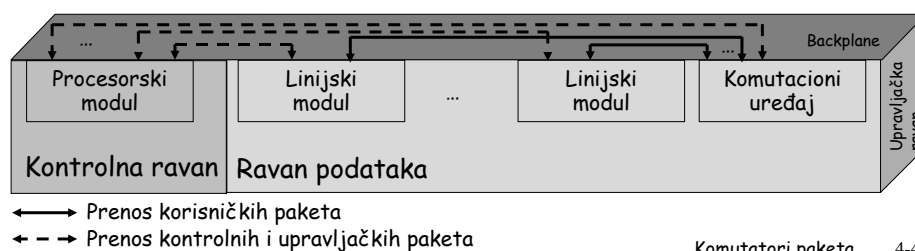
Principiska arhitektura komutatora paketa

Fizička struktura

- ❑ Backplane
- ❑ Linijski modul
- ❑ Komutacionog uređaj
- ❑ Procesorski modul

Logička struktura

- ❑ Ravan podataka
- ❑ Kontrolna ravan
- ❑ Upravljačka ravan



Komutatori paketa 4-4

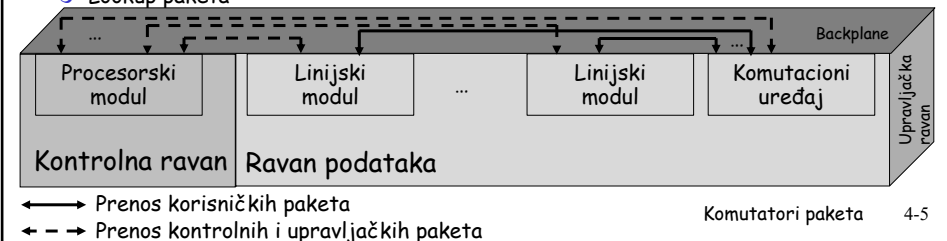
4

Komutacija paketa

Principijska arhitektura komutatora paketa

Ravan podataka

- ❑ Obrada korisničkih paketa
- ❑ Implementirana u hardveru radi bržeg procesiranja korisničkih paketa
- ❑ Tipične funkcije
 - Ispitivanje ispravnosti primljenog paketa
 - Prosleđivanje paketa
 - Odbacivanje paketa uslučaju zagušenja komutatora
 - Baferovanje paketa
 - Lookup paketa



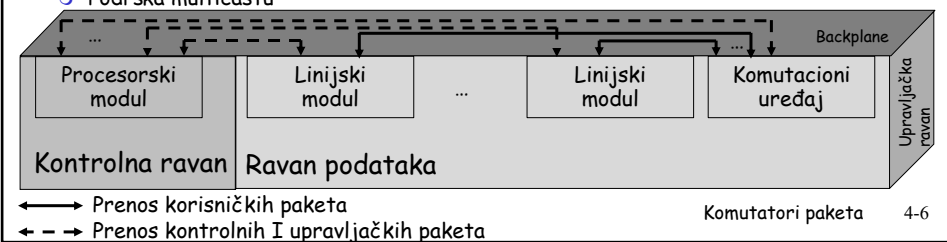
5

Komutacija paketa

Principijska arhitektura komutatora paketa

Kontrolna ravan

- ❑ Obrada kontrolnih paketa
- ❑ Implementirana zajedno sa upravljačkom ravni u softveru na procesorima opšte namjene radi lakšeg održavanja, dodavanja i modifikovanja kontrolnih funkcija
- ❑ Tipične funkcije
 - Protokoli rutiranja
 - Ažuriranje tabela rutiranja
 - Protokoli za rezervaciju resursa
 - Podrška multicastu



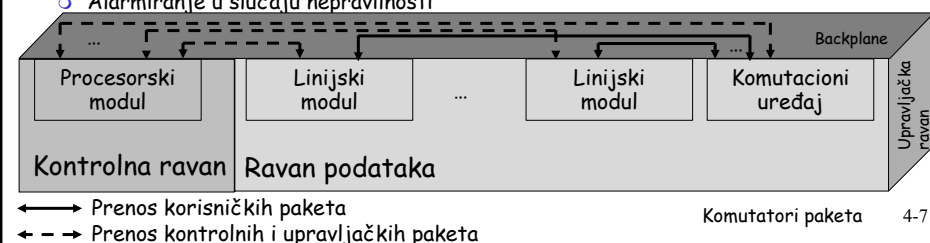
6

Komutacija paketa

Principska arhitektura komutatora paketa

Upravljačka ravan

- ❑ Obrada upravljačkih paketa
- ❑ Implementirana zajedno sa kontrolnom ravni u softveru na procesorima opšte namjene radi lakšeg održavanja, dodavanja i modifikovanja upravljačkih funkcija
- ❑ Tipične funkcije
 - Udaljeni pristup administratora
 - Komandni interfejs za konfiguriranje komutatora paketa
 - Protokoli za nadgledanje komutatora paketa
 - Alarmiranje u slučaju nepravilnosti



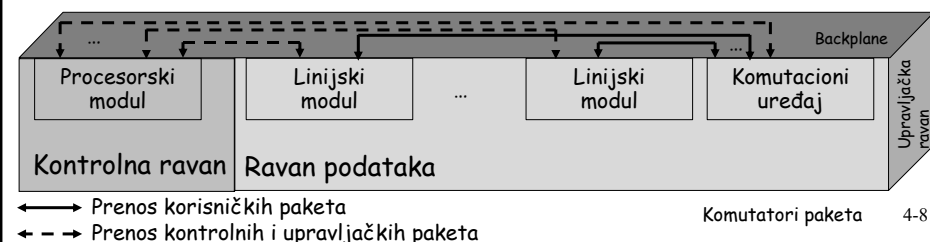
7

Komutacija paketa

Principska arhitektura komutatora paketa

Linijski modul

- ❑ Pripada ravni podataka
- ❑ Sadrži ulazne/izlazne portove
- ❑ Obraduje pakete
 - Provjera ispravnosti paketa
 - Lookup
 - Segmentacija paketa...
- ❑ Baferuje pakete
- ❑ Može ih biti više na komutatoru paketa



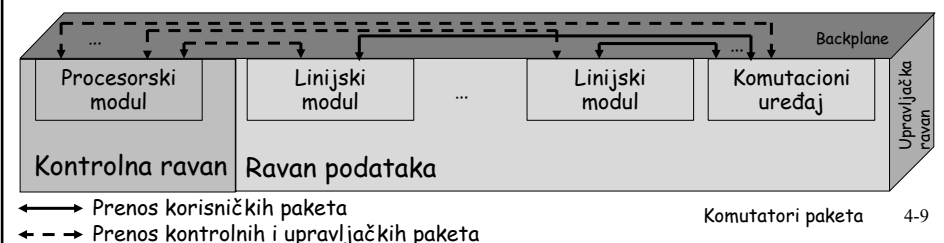
8

Komutacija paketa

Principska arhitektura komutatora paketa

Komutacioni uređaj

- ❑ Pripada ravni podataka
- ❑ Prosleđuje korisničke pakete sa ulaznih na izlazne portove



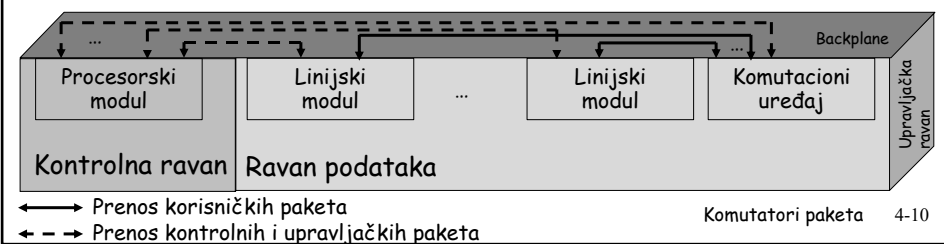
9

Komutacija paketa

Principska arhitektura komutatora paketa

Procesorski modul

- ❑ Pripada kontrolnoj ravni
- ❑ Na njemu se instalira operativni sistem komutatora u okviru koga se izvršavaju funkcije kontrolne i upravljačke ravni
- ❑ Jedan ili više radi boljih performansi i veće pouzdanosti
- ❑ Upravlja radom linijskih modula i komutacionog uređaja



10

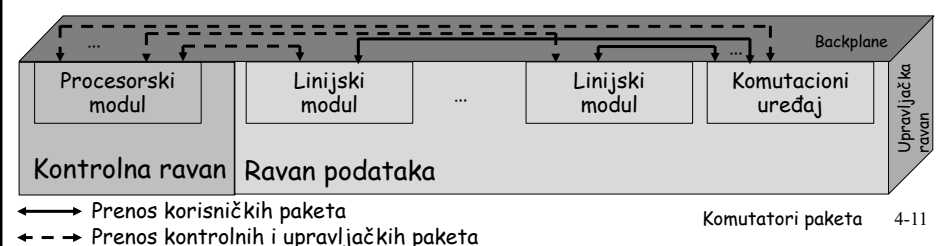
Komutacija paketa

Principijska arhitektura komutatora paketa

Backplane

- ❑ Povezuje sve module realizovane u formi harverskih kartica
- ❑ Omogućava razmjenu korisničkih, kontrolnih i upravljačkih paketa između modula
- ❑ Štampana ploča koja povezuje ostale elemente strukture
- ❑ Omogućava modularan i skalabilan dizajn velikih komutatora paketa

Napomena: Komutator paketa uvijek ima blok za napajanje



11

Komutacija paketa

Komutacioni uređaj

- ❑ Komutacioni uređaj se sastoji od komutacionih elemenata povezanih u određenu topologiju na osnovu definisanog pravila povezivanja. Komutacioni elementat je osnovna komutaciona jedinica u strukturi komutacionog uređaja.
- ❑ prosleđivanje (rutiranje) i baferovanje (uskladištenje) ćelija,
- ❑ koncentracija, ekspanzija i multipleksiranje saobraćaja,
- ❑ redundantnost radi otpornosti na otkaze,

Komutatori paketa 4-12

12

Komutacija paketa

Komutacioni uređaj (nastavak)

- višedifuzija (*multicast*) i širokodifuzija (*broadcast*) paketa,
- prioritetno prosleđivanje paketa,
- očuvanje redosleda paketa,
- nadgledanje zagušenja i aktiviranje indikacije u slučaju postojanja zagušenja.

Komutatori paketa 4-13

13

Komutacija paketa

Komutacioni uređaj (nastavak)

Funkcija prosleđivanja obezbeđuje prenos informacija (vremenskom ili prostornom komutacijom) sa jednog ulaza na jedan izlaz, koji je izabran između većeg broja izlaza. Fizički ulaz/izlaz je definisan brojem porta.

Funkcije uskladištenja: Kada se u komutatorima paketa ostvaruje prostorna komutacija, pojavljuje se problem kolizije ako se dvije ili više paketa nadmeću za isti resurs u istom vremenskom trenutku. Taj problem se može razriješiti primjenom uskladištenja u baferima (redovima čekanja), što je drugi važan aspekt komutatora paketa.

Komutatori paketa 4-14

14

Komutacija paketa

Komutacioni uređaj (nastavak)

Realizacije pojedinih komutatora se razlikuju upravo po načinu na koji su prethodne dvije funkcije primijenjene i mjestu gde su u komutatoru te funkcije locirane.

Komutatori paketa 4-15

15

Komutacija paketa

Bitne karakteristike komutacionog uređaja

- ☐ Podrška multicast saobraćaju
- ☐ Blokiranje
- ☐ Skalabilnost (mogućnost nadogradnje)
- ☐ Ubrzanje komutatora paketa
- ☐ Propusnost komutatora paketa
- ☐ Cijena (ekonomičnost izrade)
- ☐ Kompleksnost (složenost realizacije i upravljanja)
- ☐ Tip paketa (promjenljive ili fiksne dužine)
- ☐ Efikasnost i složenost algoritma za odlučivanje
- ☐ Baferovanje

Komutatori paketa 4-16

16

Komutacija paketa

Klasifikacija komutacionih uređaja

- ❑ Zbog različite realizacije funkcija komutacioni uređaji se mogu razlikovati po mnoštvu karakteristika tako da se jedna njihova cjelovita klasifikacija teško može napraviti.
- ❑ Na primjer, prema načinu organizovanja komutacionih elemenata razlikuju se jednokaskadni i višekaskadne realizacije.
- ❑ Prema načinu rješavanja problema kolizije razlikuju se blokirajući i neblokirajući dizajni.
- ❑ Najveći broj osmišljenih komutacionih uređaja predstavlja "simbiozu" više različitih komutacionih uređaja što takođe otežava njihovu podjelu.

Komutatori paketa 4-17

17

Komutacija paketa

Klasifikacija komutacionih uređaja (nastavak)

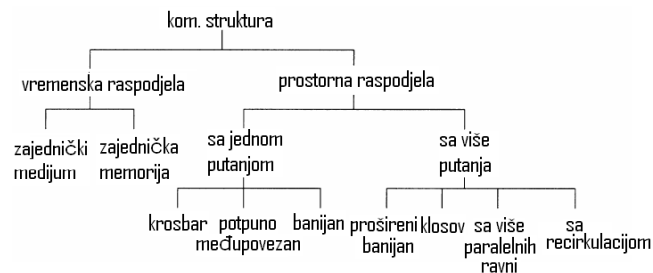
- ❑ Najopštija podjela se dobija ako se istovremeno razmatra više karakteristika komutatora.
- ❑ Izbor navedenih karakteristika je proizvoljan, uz zahtjev da sistematizacija obuhvati što veći broj komutacionih uređaja i ostavi mogućnost budućeg uključivanja novih komutacionih uređaja.

Komutatori paketa 4-18

18

Komutacija paketa

Jedna klasifikacija komutacionih uređaja



Komutatori paketa 4-19

19

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji

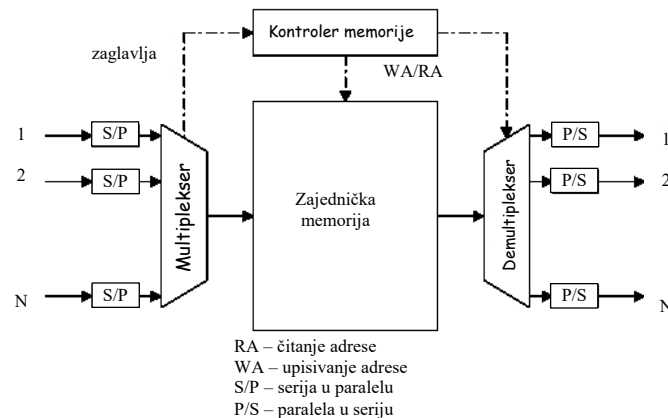
- Vremenska komutacija, kao princip komutiranja, je primijenjena kod komutacionih uređaja baziranih na zajedničkoj memoriji i zajedničkom medijumu za prenos (prsten, magistrala,...).
- Ograničavajući parametar je kapacitet memorije, odnosno magistrale.
- Bitna pogodnost je jednostavnost realizacije *multicast* i *broadcast* saobraćaja.

Komutatori paketa 4-20

20

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkom memorijom



Komutatori paketa 4-21

21

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkom memorijom

- ❑ U slučaju ovog komutacionog uređaja, paketi se konvertuju iz serijske forme, u kojoj se prenose preko linka, u paralelnu formu i sekvencionalno se upisuju u memoriju sa slučajnim pristupom, koja ima dva porta (ulazni i izlazni).
- ❑ Zato se koriste TDM multiplekser na ulazu i TDM demultiplekser na izlazu
- ❑ Memorija može biti zajednička ili distribuirana.
- ❑ Kontroler memorije odlučuje o redosledu izčitavanja paketa iz memorije, zasnovanom na zaglavlju paketa.
- ❑ Odlazeći paketi se nakon demultipleksiranja konvertuju iz paralelne u serijsku formu.

Komutatori paketa 4-22

22

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkom memorijom

- ❑ Ova arhitektura je privlačna jer obezbjeđuje 100% propusnost čak i pod uslovima visokog nivoa dolaznog saobraćaja.
- ❑ Korišćenjem zajedničke memorije postiže se minimizacija memorijskog prostora potrebnog za postizanje odgovarajućeg nivoa vjerovatnoće gubitka paketa.
- ❑ Osnovni nedostatak ove arhitekture je vrijeme pristupa memoriji, koje treba da podrži i dolazni i odlazni saobraćaj.
- ❑ Postoje dva različita pristupa u pogledu načina dijeljenja memorije: kompletna particija (*complete partitioning*) i potpuno dijeljenje (*full sharing*).

Komutatori paketa 4-23

23

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkom memorijom

- ❑ U slučaju zajedničke memorije zahtijevani memorijski kapacitet je znatno manji, memorija je znatno brža ali i mnogo osjetljivija u odnosu na zagušenje u slučaju neuniformnog saobraćaja.
- ❑ Brzina ove realizacije je ograničena brzinom memorije (brzine upisa/čitanja). Ukoliko je brzina prenosa linija R , to je potrebna brzina memorije $2NR$ b/s (strožije nego za komutator sa zajedničkim medijumom). Na primjer, ukoliko je trajanje slot-a $2.83 \mu s$ (53 B na liniji brzine 149.76 Mb/s) i vrijeme pristupa memoriji 10 ns, veličina komutatora je limitirana na 141. Broj ulaza je definisan relacijom:

$$(2N) \leq \frac{T_{paket}}{T_{memorija}}$$

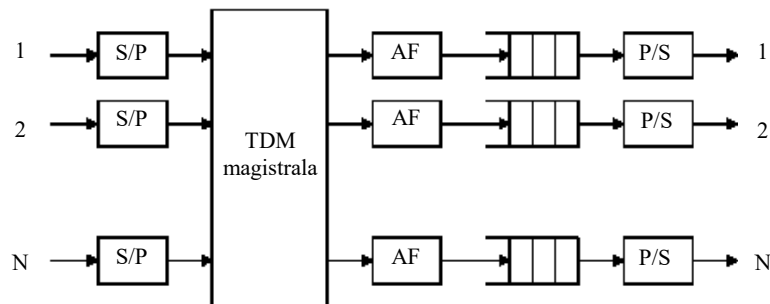
- ❑ Prvi komutator baziran na ovom principu bio je *Prelude* (CNET). Više proizvođača je do sada proizvelo komutacioni element sa zajedničkom memorijom (ALCATEL, HITACHI, TOSHIBA).

Komutatori paketa 4-24

24

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkim medijumom



Komutatori paketa 4-25

25

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkim medijumom

- ❑ Komutacioni uređaji, bazirani na vremenskoj komutaciji, sa zajedničkim medijumom nemaju vrijeme pristupa memoriji kao "usko grlo".
- ❑ Kod ovih arhitektura dolazeći paketi se multipleksiraju na zajedničku sredinu za prenos (magistrala, prsten, dvostruka magistrala,...).
- ❑ Svakom ulazu se dodjeljuje jedan TDM kanal pri čemu jedan TDM frejm ima N kanala
- ❑ Svi izlazi su povezani preko adresnih filtera na zajednički medijum i primaju TDM multipleks
- ❑ Adresni filter propušta samo pakete namijenjene odgovarajućem izlazu
- ❑ Osnovna prednost ove arhitekture je odsustvo kolizije vezane za istovremeno nadmetanje više paketa za isti izlaz.
- ❑ Mogućnosti prenosa *multicast* i *broadcast* saobraćaja su same po sebi jednostavne i prirodne.

Komutatori paketa 4-26

26

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkim medijumom

- ❑ Medijum za prenos mora N puta brži od ulaznih portova
- ❑ Tokom jednog TDM frejma potrebno je u bafer obaviti N upisa i jedno izčitivanje
- ❑ Problemi nastaju kada se broj ulaznih portova povećava i kada rastu nivoi dolaznog saobraćaja što dovodi zajedničku sredinu u situaciju da predstavlja usko grlo.
- ❑ Zajednički medijum za prenos teško može proširivati (nije skalabilan) i može da podrži relativno mali broj portova.

Komutatori paketa 4-27

27

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkim medijumom

- ❑ Paketi koji dolaze na ulaze ove arhitekture sa slike se iz serijske forme pretvaraju u paralelnu i sekvencionalno prenose po magistrali po principu "prozivke".
- ❑ Na svakom izlazu postoji adresni filter koji propušta pakete adresirane na posmatrani izlaz do izlaznih bafera.

Komutatori paketa 4-28

28

Komutacija paketa

Vremenski komutacioni uređaji sa zajedničkim medijumom (nastavak)

- Ukoliko je brzina prenosa linija R , to je potrebna brzina memorije $(N+1)R$ b/s. Na primjer, ukoliko je trajanje slota $2.83 \mu s$ (53 B na liniji brzine 149.76 Mb/s) i vrijeme pristupa memoriji 10 ns , veličina komutatora je limitirana na 282.

$$(N+1) \leq \frac{T_{\text{paket}}}{T_{\text{memorija}}}$$

- Prije odlaska paketi se iz paralelne forme transformišu u serijsku formu.
- Praktično su realizovani ALCATEL-ov komutacioni elemenat, *Atmospheric ring (RACE)*, *Atom* (NEC) i Fore System-ov ForeRunner ASX-100.

Komutatori paketa 4-29

29

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji

Postoje dva osnovna nedostaka komutacionih uređaja sa vremenskom komutacijom:

- multipleksiranje se zahtijeva na ulaznoj strani a demultipleksiranje na izlaznoj strani komutacionog uređaja, što ograničava mogućnost proširivanja i mogućnost podržavanja većeg broja portova,
- funkcije upravljanja i kontrole memorijama, odnosno baferima, su centralizovane što povećava kompleksnost, a smanjuje pouzdanost komutatora.

Komutatori paketa 4-30

30

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

- ❑ Kod komutacionih uređaja sa prostornom komutacijom je primijenjen princip višestrukog međupovezivanja skupa ulaza i skupa izlaza.
- ❑ Više puteva između skupa ulaza i skupa izlaza omogućava paralelizam u prenosu paketa čak i kada su brzine na ulaznim/izlaznim portovima jednake ili čak veće od brzine komutiranja.
- ❑ Na taj način se propusna moć značajno povećava u odnosu na komutatore paketa bazirane na vremenskoj komutaciji.

Komutatori paketa 4-31

31

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

- ❑ Istovremeno uspostavljanje više zahtijevanih "veza" između ulaza i izlaza dovodi do neophodnosti unutrašnjeg usmjeravanja paketa.
- ❑ Kontrola procesa unutrašnjeg usmjeravanja može biti distribuirana što smanjuje složenost rješenja.

Komutatori paketa 4-32

32

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

Prosleđivanje paketa po jednoj od mogućih trasa koje se biraju u procesu usmjeravanja može biti:

- ❑ *samorutirajuće* /paket "sam" na osnovu algoritma rutiranja u komutacionom elementu i interne odredišne adrese pronalazi put/;
- ❑ *tabelarno* /paket se rutira na osnovu trase definisane unutar rutirajućih tabela komutatora/;
- ❑ *kombinaciono* (kombinacija prethodna dva načina);

Komutatori paketa 4-33

33

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

Paket može biti proslijeđen:

- ❑ "tačka-tačka",
- ❑ višedifuzno ("tačka-više tačaka" ili *multicast*),
- ❑ širokodifuzno ("tačka-sve tačke" ili *broadcast*).

Komutatori paketa 4-34

34

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

Ako više paketa u prenosu zahtijeva isti resurs dolazi do kolizije, koja značajno degradira performanse komutacionog uređaja. Kolizija se može pojaviti kao:

- ❑ interna (resurs je unutar komutacionog uređaja),
- ❑ spoljašnja (postoji više istovremenih zahtijeva za isti izlaz).

Komutacioni uređaji kod kojih se javlja samo konflikt na izlazu se nazivaju interno neblokirajući komutacioni uređaji.

Komutatori paketa 4-35

35

Komutacija paketa

Prostorni komutacioni uređaji (nastavak)

Postoji više načina za otklanjanje kolizije:

- ❑ odbacivanje svih paketa koji su se našli u koliziji osim jednog,
- ❑ **baferovanje paketa na mjestu kolizije ili na nekom drugom mjestu u komutatoru koji obezbjeđuje eliminisanje kolizije,**
- ❑ uvođenjem prioriteta koji favorizuju prioritetnije grupe paketa,
- ❑ realizacija komutacionih uređaja u vidu paralelnih komutacionih ravni,
- ❑ ubrzavanje komutacije u komutacionom uređaju u odnosu na brzinu portova,
- ❑ realizacija komutacionih uređaja sa brojem izlaza koji je veći od broja ulaza,
- ❑ kombinacija prethodnih postupaka.

Komutatori paketa 4-36

36

Komutacija paketa

Klasifikacija prostornih komutatora

Komutacioni elementi kod prostornih komutatora mogu biti krosbar ili banijan tipa, pa se stoga i komutacioni uređaji sa prostornom komutacijom dijele na

- ❑ Single path komutatore
 - krosbar (crossbar)
 - potpuno povezani (fully interconnected)
 - banijan (banyan)
- ❑ Multi path komutatore
 - prošireni banijan (augumented banyan)
 - trokaskadni Closov
 - višeravanski (multiplane)
 - recirkulacioni

Komutatori paketa 4-37

37

Komutacija paketa

Krosbar prostorni komutatori

Pod krosbar komutacionim uređajem podrazumijeva se komutacioni uređaj matrice topologije, gdje se horizontalne magistrale pridružuju ulazima, a vertikalne izlazima

- ❑ Baziran na prostornoj komutaciji.
- ❑ Interno neblokirajući
- ❑ Jednostavna struktura
- ❑ Kompleksnost (broj komutacionih elemenata) raste proporcionalno kvadratu veličine komutatora N^2 .

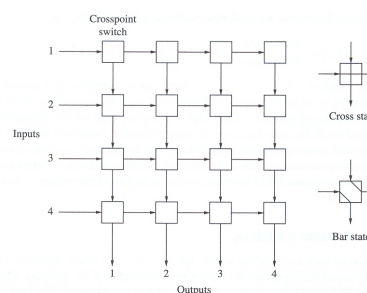


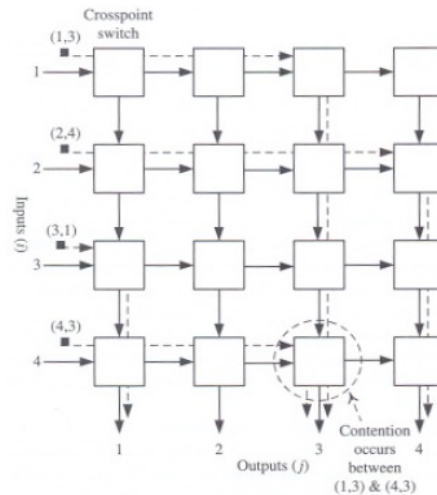
Figure 5.10 4 × 4 crossbar switch.

Komutatori paketa 4-38

38

Komutacija paketa

Krosbar prostorni komutatori



Komutatori paketa 4-39

39

Komutacija paketa

Krosbar prostorni komutatori (nastavak)

- ❑ Matrična krosbar topologija je prisutna u najvećem broju visokoperformantnih rutera današnjice.
- ❑ Važnost jednoskaskadne matrične topologije je u tome što ona predstavlja strukturu koju je lako simulirati i analizirati, a dobijeni rezultati se mogu jednostavno primijeniti za bilo koji interno neblokirajući komutator, posebno kada je riječ o metodama rješavanja spoljašnje kolizije.

Komutatori paketa 4-40

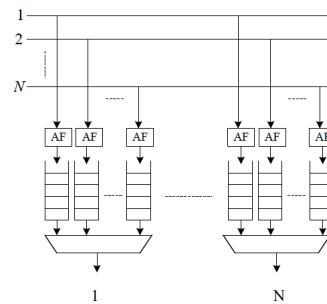
40

Komutacija paketa

Potpuno povezani komutator

Potpuna povezanost se postiže povezivanjem preko N odvojenih magistrala od svakog ulaza do svakog izlaza

- ❑ Bafer i filter na svakom izlazu
- ❑ Kompleksnost (broj komutacionih elemenata) raste proporcionalno kvadratu veličine komutatora N^2 .
- ❑ Jednostavna i neblokirajuća struktura.
- ❑ Topologije sa N^2 razdvojenih puteva su prisutne u CHRISTMAS TREE, KNOCKOUT i "cilindričnom" komutatoru.



Komutatori paketa 4-41

41

Komutacija paketa

Banijan prostorni komutatori

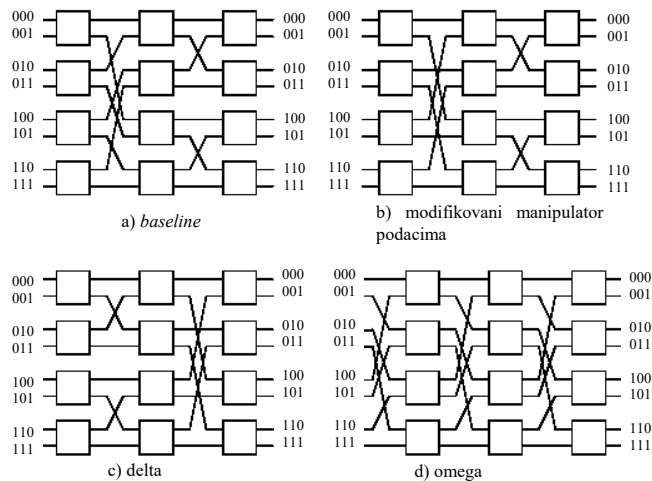
- ❑ Banijan predstavlja jednostavnu "samorutirajuću" topologiju koja garantuje da će ćelija stići "sama" do odredišta, izuzev u slučaju gubitka u arbitraži pri eventualnom nailasku na koliziju.
- ❑ Banijan topologija je bazirana na topologiji "drveta" koja se sastoji od $n \times n$ komutacionih elemenata povezanih u $\log_2 N$ kaskada.
- ❑ Najčešće se razmatraju topologije sa $n=2$, koje su najjednostavnije za realizaciju, kako u fizičkom smislu tako i u smislu algoritma usmjeravanja, a posebno sa stanovišta analize performansi.
- ❑ Kod ovih topologija svakoj kaskadi odgovara po tačno jedna cifra u adresi po kojoj se ćelija rutira. Ako je ta cifra 0 ćelija se rutira na "gornji" izlaz, a ako je 1 ćelija se rutira na "donji" izlaz. U slučaju kolizije rutiranje se obavlja u skladu sa odgovarajućim algoritmom odlučivanja koji zavisi od samog komutacionog uređaja.

Komutatori paketa 4-42

42

Komutacija paketa

Banijani prostorni komutatori (nastavak)



Komutatori paketa 4-43

43

Komutacija paketa

Banijani prostorni komutatori (nastavak)

- Ukupan broj $n \times n$ komutacionih elemenata je jednak $\frac{N \log_n N}{n}$, odnosno u smislu krosbar komutacionih elemenata, što je znatno manje od N^2 kod jednokaskadnih krosbar komutacionih uređaja.

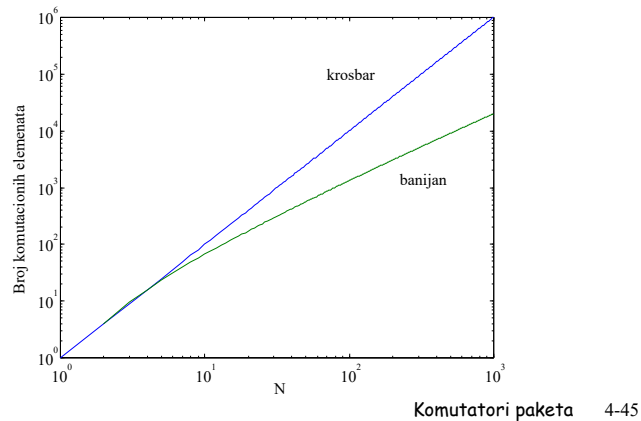
Komutatori paketa 4-44

44

Komutacija paketa

Banijan prostorni komutatori (nastavak)

- Za slučaj $n=2$, ukupan broj komutacionih elemenata u krosbar i banijan komutacionim uređajima u funkciji broja ulaza/izlaza (N) je prikazan na slici.



45

Komutacija paketa

Banijan prostorni komutatori (nastavak)

Osnovni nedostatak ove arhitekture je interno blokiranje koje značajno degradira performanse komutacionog uređaja. Postoji više načina za otklanjanje negativnog uticaja internog blokiranja od kojih su najznačajnija:

- korišćenje bafera unutar komutacionih elemenata /bafer banijan/,
- dodavanje u kaskadu novih banijan mreža ili više paralelnih ravni /prošireni banijan/,
- postavljanje *batcher* sortirajuće mreže na ulaz banijan mreže /batcher banijan/.

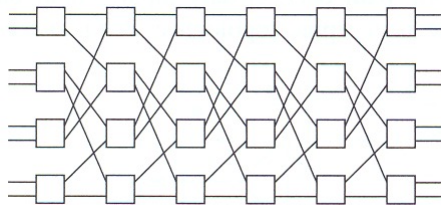
Komutatori paketa 4-46

46

Komutacija paketa

Prošireni banyan

- ❑ Ima više od $\log_n N$ kaskada.
- ❑ Povećava se šansa paketa da dođe do željenog izlaza
- ❑ Na svakoj proširenoj kaskadi se provjerava da li je paket stigao na željeni izlaz
- ❑ Tandem banyan i dual shuffle



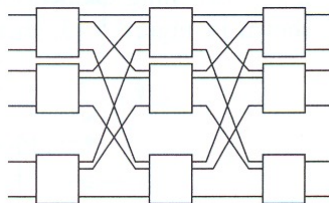
Komutatori paketa 4-47

47

Komutacija paketa

Trokaskadni Closov komutator

- ❑ Tri kaskade
- ❑ Prva kaskada se koristi za distribuciju saobraćaja
- ❑ Druga kaskada omogućava više paralelnih puteva kroz komutator
- ❑ Treća kaskada više paralelnih puteva vodi na željeni izlaz
- ❑ Closov uslov mora biti zadovoljen ako se želi realizovati neblokirajući dizajn



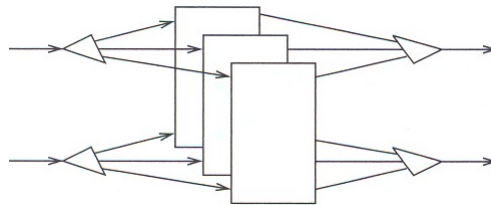
Komutatori paketa 4-48

48

Komutacija paketa

Višeravanski komutator

- ❑ Više identičnih komutacionih uređaja postavljenih u paraleli
- ❑ Bolja propusnost sistema
- ❑ Smanjenje unutrašnje kolizije
- ❑ Veća pouzdanost jer otkaz jednog komutacionog uređaja vodi samo smanjenju kapaciteta, ne i dostupnosti
- ❑ Sunshine



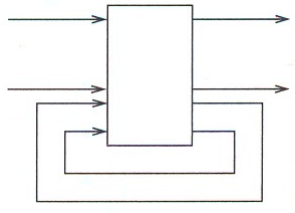
Komutatori paketa 4-49

49

Komutacija paketa

Recirkulacioni komutator

- ❑ Vršiti recirkulaciju paketa koje su "izgubile" uslijed izlazne kolizije
- ❑ Smanjenje vjerovatnoće gubitka
- ❑ Veći broj portova zbog dodavanja recirkulacionih portova
- ❑ Out-of sequence problem
- ❑ Starlite i Sunshine



Komutatori paketa 4-50

50