

6. Rutiranje

Jedan od najkompleksnijih i najvažnijih aspekata projektovanja mreže sa komutacijom paketa odnosi se na rutiranje.

Osnovna funkcija mreže sa komutacijom paketa sastoji se u tome što se prihvataju paketi od izvorišne stanice i predaju se odredišnoj stanici. Da bi se ostvario ovaj cilj, neophodno je odrediti put, ili rutu, poruka kroz mrežu. U opštem slučaju postoji više od jednog puta.

Ključni elementi tehnike rutiranja kod mreže sa komutacijom paketa prikazani su na slici 1.

Performansni kriterijumi
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Broj preskoka - najjednostavniji kriterijum je onaj koji se zasniva na određivanju minimalnog broja preskoka u ruti (tj. onaj put koji prolazi kroz najmanji broj čvorišta) ➤ cena - odnosi se na najnižu cenu ➤ kašnjenje - vreme potrebno da poruka pristigne od izvorišta do odredišta ➤ propusnost - iznos informacije koja se prenosi
Vreme odluke
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Paketi (datagram) ➤ sesije (virtuelna kola)
Mesto odluke
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Svaki čvor (distribuirano) ➤ centralni čvor (centralizovano) ➤ početni čvor (izvorišno)

Slika 6.1 Elementi tehnike rutiranja kod mreže sa komutacijom paketa

6.1. Strategije rutiranja

Postoji veliki broj strategija rutiranja od kojih su poznatije one koje se baziraju na :

- fiksnom rutiranju,
- plavljenju,
- proizvoljnom rutiranju, i dr.

6.1.1. Fiksno rutiranje

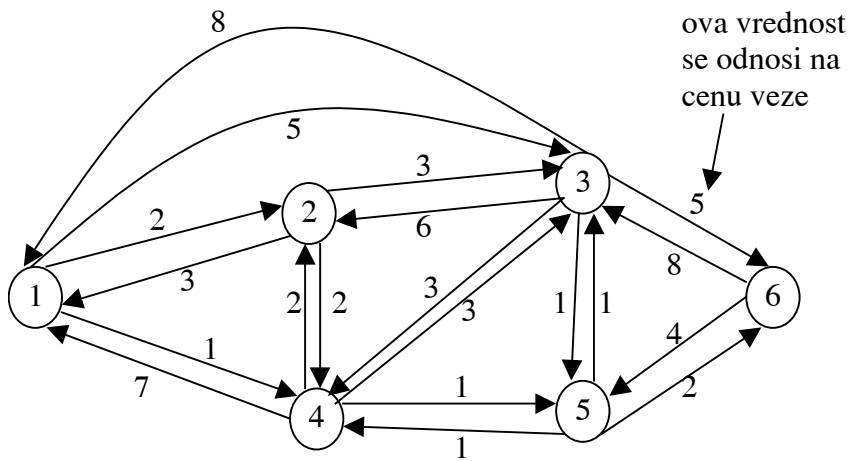
Za svaki par čvorova u mreži izvorište-odredište bira se ruta. Ilustracije radi algoritam rutiranja može biti najniža-cena. Rute su fiksne, sa izuzetkom da se one mogu menjati samo u slučaju kada postoji pomeranje čvorova u topologiji mreže. Cena kapaciteta veza u fazi projektovanja zasnovana je na očekivanom saobraćaju ili kapacitetu, a ne na nekoj dinamičkoj promeni.

Na slici 2b prikazno je kako se može implementirati fiksno rutiranje za mrežu sa paketnom komutacijom datom na slici 2a. Centralna matrica rutiranja se memoriše u centralnom računaru mreže. Matrica prikazuje, za svaki par čvorova izvorište-odredište, identifikaciju narednog čvora u ruti. Slika 2a prikazuje mrežu kod koje obe usmerene linije izmedju para čvorova predstavljaju vezu izmedju ovih

čvorova, i odgovaraju brojevima koji predstavljaju tekuću cenu veze za svaki pravac. Najkraći put (najmanji broj preskoka) od čvora 1 ka čvoru 6 je $1-3-6$ ($cena = 5 + 5 = 10$), ali najjeftiniji put je $1-4-5-6$ ($cena = 1 + 1 + 2 = 4$). Svakoj vezi na slici 2a) su dodeljene cene. Na primer, cena je obično obrnuto proporcionalna brzini podataka (tj. veća brzina podataka po vezi (linku), prati nižu cenu linka), ili tekuće kašnjenje u redu čekanja na linku. U prvom slučaju, ruta sa najnižom cenom obezbeđuje najveću propusnost. U drugom slučaju, ruta sa najnižom cenom minimiziraće kašnjenje.

Naglasimo da nije neophodno pamtili kompletnu rutu za svaki mogući par čvorova. Umesto toga, neophodno je poznavati, za svaki par čvorova, identitet prvog čvora u ruti. Da bi videli kako ova šema radi pretpostavima da ruta sa najnižom cenom je ona od $X-Y$, a počinje sa vezom $X-A$. Nazovimo ostatak rute R_1 ; a on odgovara delu od $A-Y$. Definišimo R_2 kao rutu koja ima najnižu cenu od $A-Y$. Sada, ako je cena od R_1 veća od one koja odgovara R_2 tada se ruta $X-Y$ može poboljšati kada se koristi R_2 . Kada je cena R_1 niža od R_2 tada cena rute R_2 nije najniža za put $A-Y$. Zbog toga $R_1 = R_2$. Na ovaj način, u svakoj tački duž rute, neophodno je samo poznavati identitet narednog čvor, a ne i celu rutu.

U konkretnom primeru, ruta od čvora 1 ka čvoru 6 počinje tako što prolazi kroz čvor 4. Ponovo na osnovu matrice, ruta od čvora 4 ka čvoru 6 prolazi kroz čvor 5. Konačno, ruta od čvora 5 ka čvoru 6 je direktna veza ka čvoru 6. Kompletna ruta od čvora 1 ka čvoru 6 je $1-4-5-6$. Na osnovu matrice, moguće je kreirati i memorisati ruting tabele u svakom čvoru. Na osnovu prethodne analize sledi da svaki čvor treba da pamti samo jednu kolonu ruting direktorijuma. Direktorijumi čvorova ukazuju na naredni čvor za svako odredište. Kod fiksnog rutiranja ne postoji razlika između rutiranja za datagrame i virtuelnih kola. Svi paketi koji potiču od datog izvorišta a odnose se na neko odredište slede istu rutu. Prednost fiksnog rutiranja je jednostavnost, a rutiranje radi dobro kada je mreža pouzdana i kada se ona karakteriše stabilnim opterećenjem. Glavni nedostatak je nefleksibilnost. Ovo rutiranje ne reaguje dobro u slučaju kada je jave kvarovi u čvorovima. Imajući ovo u vidu poželjno je ponekad u svakom čvoru upisati i informaciju o alternativnom čvoru za svako odredište. Na primer, alternativni naredni čvorovi u direktorijumu čvora 1 mogu biti $4, 3, 2, 3, 3$.



ova vrednost se odnosi na cenu veze

a)

centralni rutiranje direktorijum od čvora

	1	2	3	4	5	6
1	-	1	5	1	4	5
2	2	-	2	2	4	5
3	4	3	-	5	3	5
4	4	4	5	-	4	5
5	4	4	5	5	-	5
6	4	4	5	5	6	-

ka čvoru

naredni čvor na putu od izvorišta ka odredištu

Direktorijum čvora 1		Direktorijum čvora 2	
odredište	naredni čvor	odredište	naredni čvor
2	2	1	1
3	4	3	3
4	4	4	4
5	4	5	4
6	4	6	4
Direktorijum čvora 3		Direktorijum čvora 4	
odredište	naredni čvor	odredište	naredni čvor
1	5	1	1
2	2	2	2
4	5	3	5
5	5	5	5
6	5	6	5
Direktorijum čvora 5		Direktorijum čvora 6	
odredište	naredni čvor	odredište	naredni čvor
1	4	1	5
2	4	2	5
3	3	3	5
4	4	4	5
6	6	5	5

b)

Slika 6.2 (a) Primer mreže sa paktenom komutacijom

b) fiksno rutiranje za mrežu pod (a)

6.1.2. Plavljenje

Druga jednostavna tehnika rutiranja naziva se plavljenje. Kod ove tehnike se ne zahteva informacija o mreži, a šema radi na sledeći način. Od strane izvorišnog čvora paket se šalje svakom od susednih čvorova. Kod svakog čvora, dolazeći paket se retransmituje na sve izlazne linkove (veze) sa izuzetkom linka po kojem je primljen. Na primer, ako čvor 1 na slici 2a) treba da pošalje paket ka čvoru 6 on predaje kopiju tog paketa (sa odredišnom adresom 6), ka čvorovima 2, 3 i 4. Čvor 2 slaće kopiju čvorovima 3 i 4. Čvor 4 slaće kopiju čvorovima 2, 3 i 5. Proces predaje se dalje nastavlja na istom principu. Eventualno veći broj kopija paketa će stići u čvor 6. Svaki paket mora da ima jedinstveni identifikator (tj. izvorišni čvor i redosledni broj, ili broj virtuelnog kola i redosledni broj) tako da čvor 6 zna da eliminiše sve pristigle pakete, istog tipa, sa izuzetkom prve kopije.

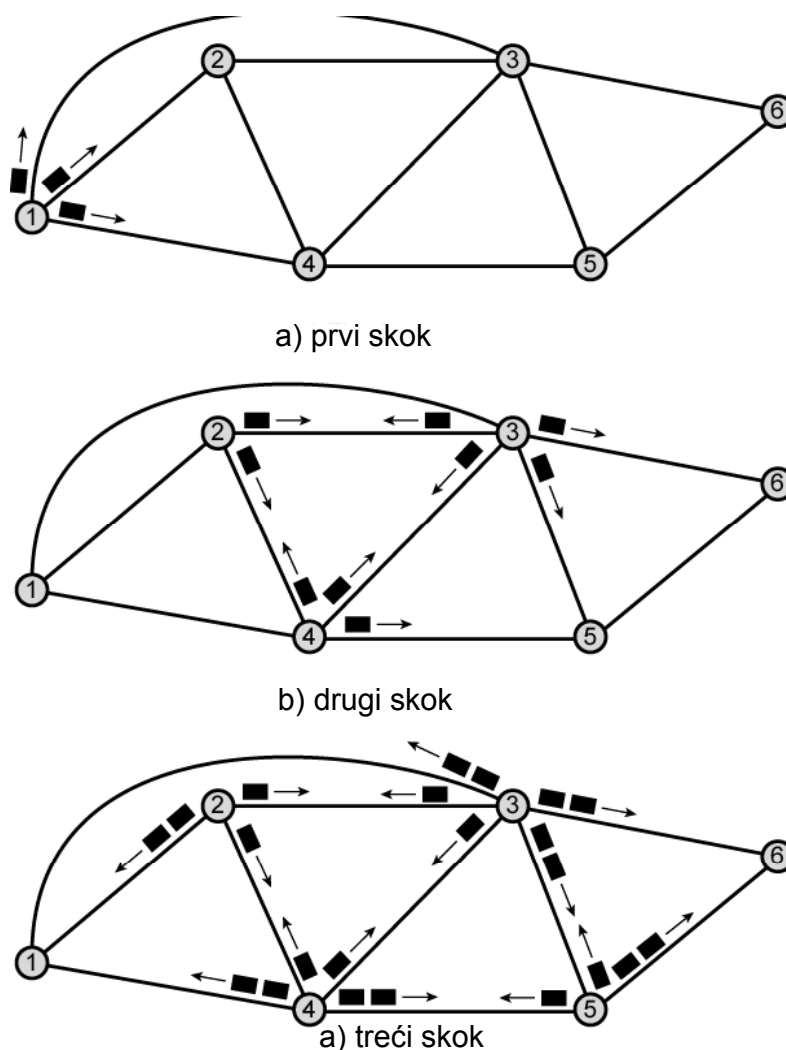
Sa ciljem da se spreči neprekidna retransmisija paketa, tj. da se broj paketa koji cirkuliše (onih paketa čija je predaja inicirana od strane jedinstvenog izvorišnog čvora) povećava bez ograničenja, svaki čvor treba da pamti identitet onih paketa koje je već retransmitovao. Za slučaj da pristignu duplikati paketa isti se izbacuju. Jednostavnija tehnika je da se u svakom paketu uvede polje tipa brojač-preskoka. Brojač se početno postavlja na neku maksimalnu vrednost, kakav je dijametar (najveći broj preskoka u mreži) mreže. Svaki put kada paket predje kroz čvor brojač se dekrementira za jedan. Kada brojač dostigne vrednost 0, paket se eliminiše. Primer zadnje taktike prikazan je na slici 3. Paket se šalje od čvora 1 ka čvoru 6, a polje brojača preskoka se postavlja na vrednost 3. Kod prvog preskoka, kreiraju se tri kopije paketa. Kod drugog preskoka kreiraju se ukupno 9 kopija. Jedna od ovih kopija stigne do čvora 6, koji prepoznaje da je to za njega i on ne vrši njenu dalju retransmisiju. Ipak ostali čvorovi generišu ukupno 22 nove kopije za treći konačni preskok. Naglasimo da za slučaj da čvor ne čuva trag o identifikatoru paketa, on može da generiše veći broj kopija u trećem koraku (stepenu). Svi paketi primljeni u trećem preskoku se eliminišu. Sve u svemu, čvor 6 je primio još 4 dodatne kopije paketa.

Tehniku plavljenja karakterišu sledeće osobine:

- Pokrivene su sve moguće rute izmedju izvorišta i odredišta. Nezavisno od toga koji je link ili čvor u kvaru, paket će uvek pristići do njega pod uslovom da postoji najmanje jedan put izmedju izvorišta i odredišta
- S obzirom da su sve rute pokrivene, najmanje jedna kopija paketa će pristići na odredište, a prva će biti ona koja je koristila rutu sa najmanjim brojem preskoka (pod uslovom da je prenos idealan (bez greške u prenosu) i da je brzina prenosa podataka po svim rutama isti).
- Do svih čvorova, koji su direktno ili indirektno povezan na izvorišni čvor, je stigla poruka.

Zbog svoje prve osobine, tehnika plavljenja je veoma robusna i najčešće se koristi za prenos hitnih (urgentnih) poruka. Tipičan primer su vojne mreže koje su podložne čestim oštećenjima i ometanjima. Zbog svoje druge osobine, plavljenje se može koristiti za inicijalno postavljanje ruta kod virtuelnog kola. Treća osobina ukazuje da plavljenje može bit korisno za resejavanje važnih informacija svim čvorovima.

Glavni nedostatak plavljenja je veliki saobraćaj koji ova tehnika generiše i što je taj saobraćaj direktno proporcionalan povezljivosti mreže.



Slika 6.3 Primer poplavlivanja

6.1.3. Proizvoljno rutiranje

Proizvoljno (slučajno) rutiranje karakteriše jednostavnost i robusnost tehnike plavljenja, ali uz znatno manji saobraćaj. Kod proizvoljnog rutiranja čvor odabira samo jedan izlazni put za retransmisiju dolazećeg paketa. Izlazni link se bira proizvoljno, isključujući link po kome je paket pristigao. Ako je za sve linkove verovatnoća da budu izabrani ista, tada čvor jednostavno odabira izlazni link po principu *round-robin* tehnike.

Nešto prefinjenija tehnika predstavlja dodelu verovatnoće svakom izlaznom linku i odabiranje tog linka na osnovu te verovatnoće. Verovatnoća se može bazirati na brzini prenosa podataka, pa shodno tome važiće relacija

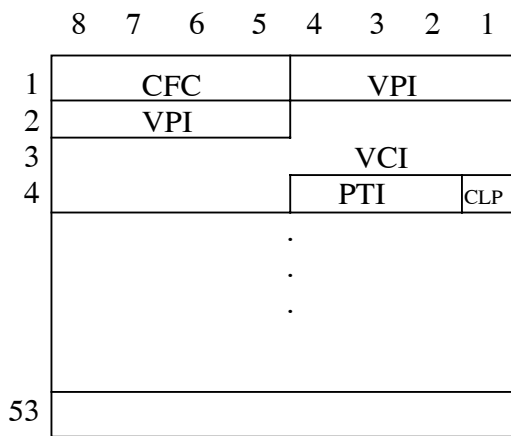
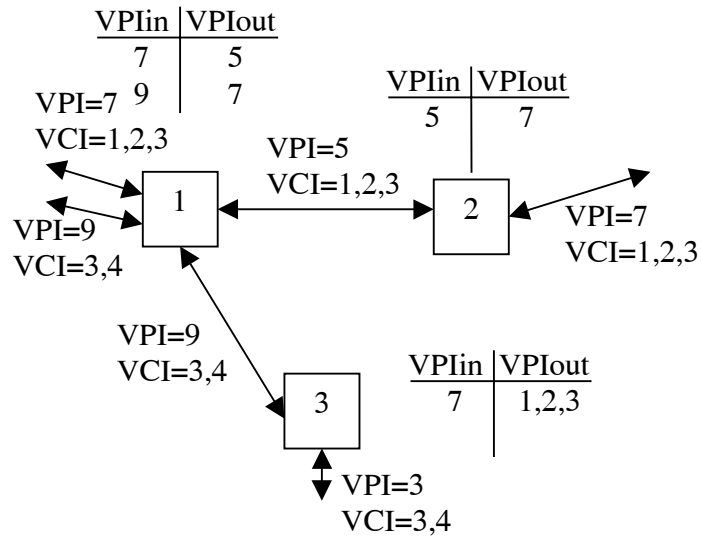
$$P_i = R_i / (\sum_j R_j)$$

gde je: P_i - verovatnoća odabiranja linka i ; R_i je brzina prenosa podataka po linku i .

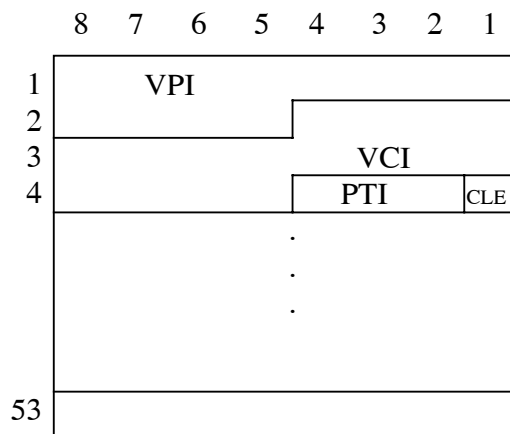
Sumiranje se vrši po svim izlaznim kandidat linkovima.

Ovom šemom se obezbeđuje dobra distribucija saobraćaja. Naglasimo da se verovatnoće mogu zasnovati na fiksnim cenama linkova.

Na sličan način kao i plavljenje i kod proizvoljnog rutiranja nije potrebno koristiti informaciju o mreži. S obzirom da se ruta bira proizvoljno (slučajno) stvarna ruta sigurno neće biti ruta sa najnižom cenom, niti ruta sa minimalnim brojem preskoka. Zbog toga mreža mora da podržava nešto veći intenzitet saobraćaja od optimalnog, ali sigurno ne tako intenzivan kao onaj kod tehnike plavljenja.

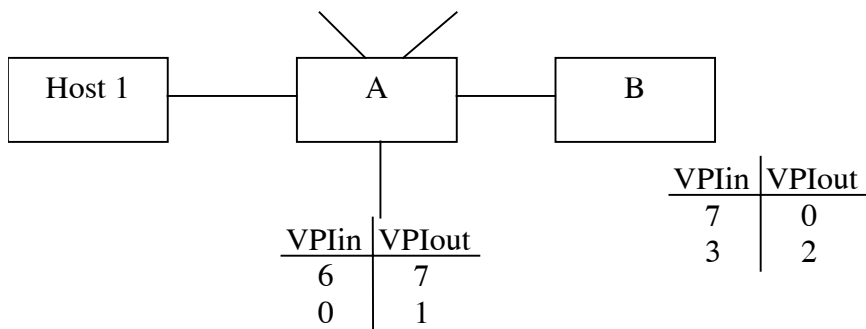


UNI user to network format
 ↑
 važi od hosta za mrežu i od mreže ka korisnika



NNI - network-to-network interface format
 ↑
 važi od čvora do čvora u mreži

Kod računarske mreže prikazane na narednoj slici postoje dva komutatorska čvora A i B, koji komutiraju poruke na virtuelnom putu. Mrežna topologija u tabeli rutiranja za komutatore sledećeg su oblika



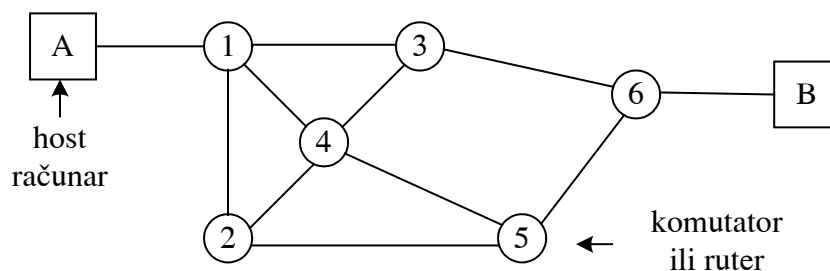
Poruke (*cells* - veličine 53 bajtova) koje dolaze u ATM-ov komutator A od Host 1 imaju sledeće UNI zaglavlje (prva četiri bajta)

		8	7	6	5	4	3	2	1
bajtovi	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	1	0	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Pokazati kako izgleda sadržaj za prva četiri bajta NNI zaglavlja.

6.2. Rutiranje kod mreža sa paketnom komutacijom

Mreže koje koriste paketnu-komutaciju se sastoje od čvorova (rutera ili komutatora) međusobno povezanih na proizvoljan način u obliku rešetke (vidi sliku 6.4)



Slika 6.4 Primer mreže sa paketnom komutacijom

U principu postoji nekoliko različitih puteva po kojima se paket može usmeriti (rutirati) od računara *A* ka *B*. Tri moguća puta su 1-3-6, 1-4-5-6 i 1-2-5-6. Sada se javlja sledeća dilema. Koji je put najbolji? Značaj pojma najbolji zavisi pre svega od kriterijuma koje je postavio mrežni operator. Kao prvo, ako je cilj da se minimizira broj preskoka, tada je najbolji put 1-3-6. Kao drugo, za slučaj da svaka veza unosi određeno kašnjenje, a cilj je pri tome da se minimizira kašnjenje od jednog-kraja-do-drugog (početka-do-kraja), tada je najbolji put onaj koji unosi najmanje kašnjenje. Treći kriterijum se može bazirati na izboru puta sa najvećim dostupnim propusnim opsegom. Svrha algoritma za rutiranje je da identifikuje skup puteva koji su najbolji sa aspekata kriterijuma koje je definisao mrežni operator. Da bi uspešno obavio zadatak rutiranja, algoritam usmeravanja mora da poseduje informaciju koju se odnosi na opšte podatke o stanju mreže.

Na globalnom nivou algoritam rutiranja bi trebalo da ostvari sledeće ciljeve:

1. obezbedi mehanizam za brzo i pouzdano slanje paketa,
2. obezbedi brzu prilagodljivost promenama mrežne topologije koje se javljaju usled kvarova u čvorovima ili prekida na vezama
3. brzo se prilagodi promenama gustine saobraćaja između odredišta i izvorišta
4. izbegne rutiranje paketa po vezama gde dolazi do velikog broja sudara
5. za potrebe optimalnog rutiranja brzo odredi povezljivost čvorova u mreži
6. unese minimalno režijsko vreme (sistemi za rutiranje dobijaju informaciju o povezljivosti izmenom upravljačkih poruka sa drugim sistemima za rutiranje. Za potrebe prenosa ovih poruka potrebno je režijsko vreme (*overhead*) koje treba minimizirati).

6.2.1. Klasifikacija algoritama za rutiranje

Algoritme za usmeravanje poruka je moguće klasifikovati na osnovu nekoliko kriterijuma. U zavisnosti od toga u kom se trenutku formira tabela rutiranja postoje dva osnovna pristupa:

- a) statičko rutiranje – na osnovu topologije mreže izračunavaju se usmeravanja koje se zatim, uglavnom ručno, unose u ruting tabele i ostaju nepromenjene za relativno dug vremenski period
- b) dinamičko (adaptivno) rutiranje – svaki ruter kontinualno uči o stanju mreže putem komuniciranja sa susedima. Promene u mrežnoj topologiji se prenose kroz sve rutere. Na osnovu raspoložive informacije, svaki ruter određuje najbolji put ka željenoj destinaciji.

Kako statičko tako i dinamičko rutiranje imaju svoje prednosti i nedostatke.

Glavne prednosti statičkog rutiranja su jednostavnost i malo režijsko vreme dok glavni nedostatak predstavlja nefleksibilnost. Naime, statičke rute se ne mogu menjati lako tj., sistem ne može da reaguje brzo na defekte u mreži. Zbog svega ovoga, statičko rutiranje se uglavnom aplicira kod mreža manjeg obima.

Najveći broj mreža koristi dinamičko rutiranje, jer ono obezbeđuje da mreža automatski izlazi-na-kraj sa problemima. Tako na primer, programi instalirani u čvorovima mogu da nadgledaju saobraćaj u mreži kao i status mrežnog hardvera. Programi mogu zatim da modifikuju rute sa ciljem da se premeste otkazi. Imajući u vidu da se uobičajeno, mreže velikog obima projektuju sa redundantnim vezama pomoću kojih se premošćavaju hardverski otkazi, najveći broj mreža velikog obima koristi danas neki od oblika dinamičkog rutiranja. Ozbiljan nedostatak dinamičkog rutiranja predstavlja kompleksnost rutera.

Alternativno, algoritmi za rutiranje se mogu klasifikovati u odnosu na to koji na način su oni locirani u mreži.

- i) centralizovano rutiranje – mrežni upravljački centar izračunava sve puteve usmeravanja i puni (loaduje) ovu informaciju u mrežne rutere.
- ii) distribuirano rutiranje – ruteri međusobno razmenjuju poruke i samostalno određuju sopstveno usmeravanje. Algoritmi distribuiranog rutiranja sa aspekta skaliranja mreže poseduju bolje osobine ali veoma često mogu generisati nekonzistentne rezultate koji dovode do formiranja petlji. Tako na primer, ako A zaključi da je najbolji put do Z preko B , a B odredi da je najbolji put do Z preko A , paketi namenjeni Z -u koji pristižu ka A ili B kuržiće u petlji između A i B .

U principu, odluka o rutiranju paketa donosi se u trenutku uspostavljanja veze. Ako se komutacija paketa bazira na virtuelnom-kolu, put paketa se određuje u fazi uspostavljanja veze. Nakon uspostavljanja virtuelnog kola, svi paketi koji pripadaju tom virtuelnom kolu slede isti put. Kod datagramskog prenosa faza uspostavljanja veze ne postoji. Put koji prati svaki paket određuje se nezavisno.

Zadatak

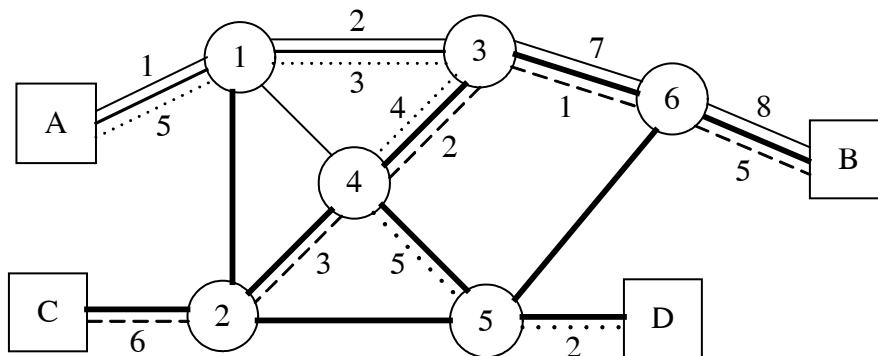
- a) Na slici 6.5 prikazana je mreža koja svoj princip rada bazira na komutaciji paketa. Prenos paketa se zasniva virtuelnom kolu. Na slici 6.5 su takodje prikazani identifikatori virtuelnog kola (*virtual circuit identifier* – VCI) za svaki od čvorova.

Postoje sledeća tri virtuelna kola:

- 1) A-1-3-6-B čiji su odgovarajući VCI -ovi označeni sa 1,2,7 i 8, respektivno, i obeleženi su tankom punom linijom
- 2) A-1-3-4-5-D čiji su odgovarajući VCI -ovi označeni sa 5,3,4,5 i 2, respektivno, i obeleženi su tačkastom linijom
- 3) C-2-4-3-6-B čiji su VCI -ovi označeni sa 6,3,2,1 i 5, respektivno, i obeleženi su isprekidanom linijom

Za svaki komutatorski čvor odrediti odgovarajuću ruting tabelu.

- b) Za slučaj da se mrežom sa slike 1 vrši datagramski prenos podataka, a da se algoritam rutiranja bazira na minimalnom broju preskoka, odrediti tabelu rutiranja za svaki od čvorova.

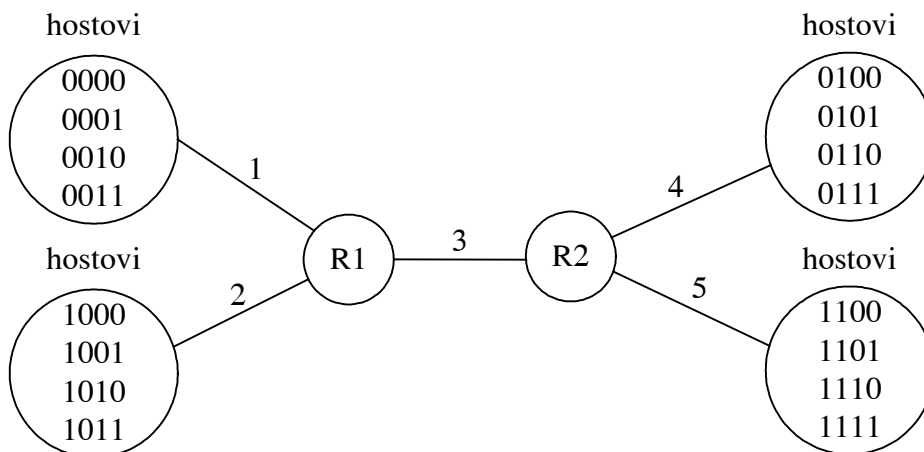


Slika 6.5 Mreža sa komutacijom paketa kod koje je prenos baziran na virtuelnom-kolu

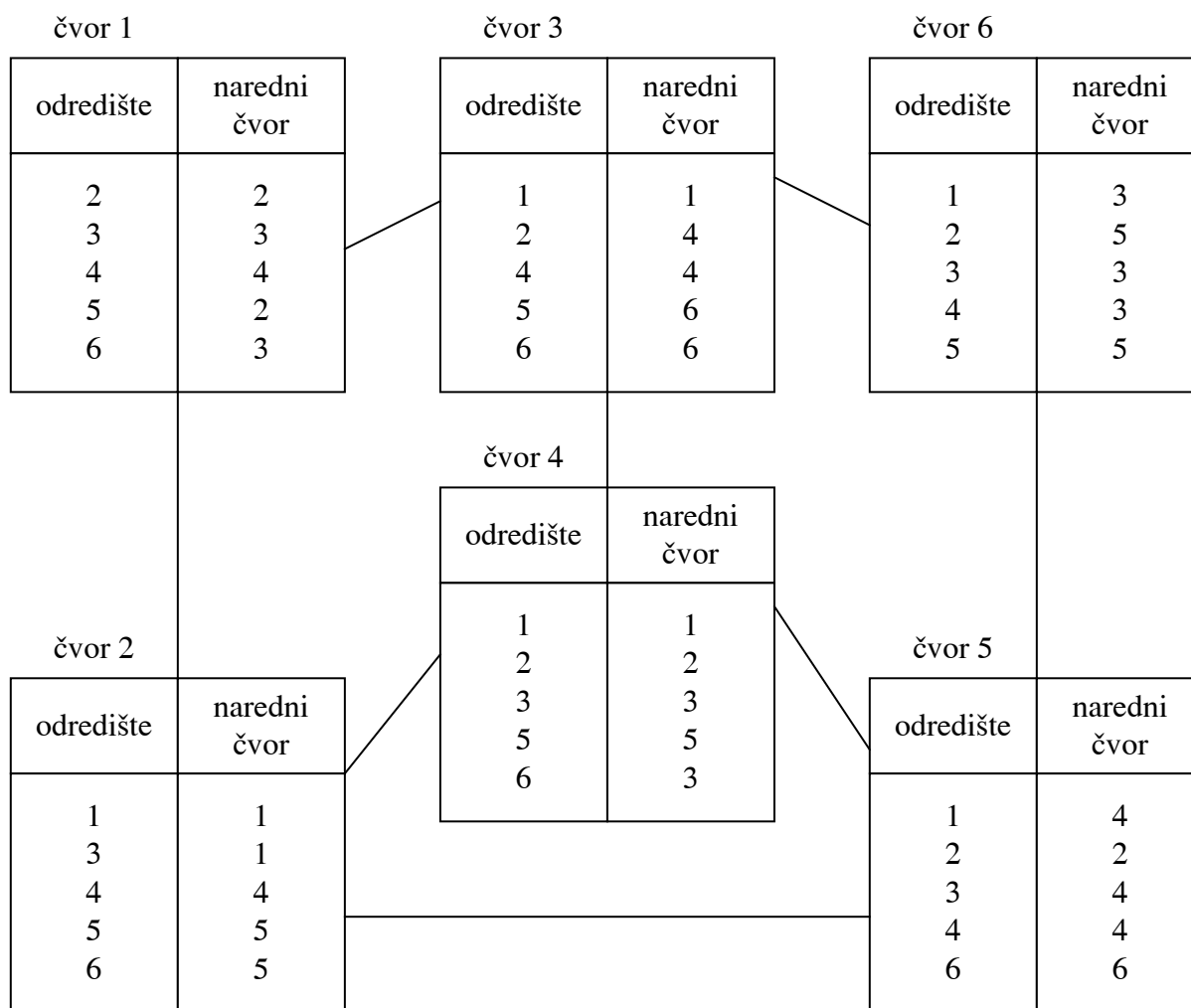
Rešenje

a)

čvor 1		čvor 3		čvor 6	
dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI	dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI	dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI
A 1	3 2	1 2	6 7	3 7	B 8
A 5	3 3	1 3	4 4	3 1	B 5
3 2	A 1	4 2	6 1	B 5	3 1
3 3	A 5	6 7	1 2	B 8	3 7
		6 1	4 2		
		4 4	1 3		
čvor 2		čvor 4		čvor 5	
dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI	dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI	dolazni čvor VCI	odlazni čvor VCI
C 6	4 3	2 3	3 2	4 5	D 2
4 3	C 6	3 4	5 5	D 2	4 5
		3 2	2 3		
		5 5	3 4		



b)



Zadatak

Tabela koja se u svakom čvoru (ruteru) mreže koristi za čuvanje informacije o narednom preskoku naziva se rutiranje-tabela, a proces prosledjivanja paketa narednom čvoru nazivamo rutiranje (usmeravanje). Obim rutiranje tabele koja je ruteru potrebna za čuvanje adresa čvorova mreže može se redukovati ako se koristi hijerarhijski pristup kod dodele adresa. U suštini hostovi koji su bliži jedan drugom treba da imaju adrese sa istim (zajedničkim) prefiksom. Na ovaj način, sa ciljem da odredi da li pakete treba usmeriti, ruteri treba da ispituju samo deo adrese (tj. prefiks).

Na slici 6.6 prikazana je mreža koju čine čvorovi *R1* i *R2* i hostovi čije se adrese nalaze u opsegu od 0000 do 1111. Putevima povezivanja hostova i čvorova dodeljene su brojke od 1 do 5. Odrediti sadržaj ruting tabela za čvorove *R1* i *R2*.

Odgovor

Ruting tabele čvorova *R1* i *R2* su oblika

čvor R1		čvor R2	
00	1	00	3
01	3	01	4
10	2	10	3
11	3	11	5

Slika 6.6 Mreža čvorova R1 i R2

Pitanje

- a) Ruter je računar specijalne namene koji se koristi da obezbedi medjusobno sprezanje dve mreže kakve su recimo *LAN* i *LAN*, *LAN* i *WAN*, ili dva *WAN*-a.
- b) Ruter može da poveže mreže koje koriste različite tehnologije, kao na primer *Ethernet LAN* sa *FDDI LAN*.
- c) Ruter može da poveže različite medije recimo u slučaju kada postoji električna nekompatibilnost između mreža.
- d) Ruter može da poveže mreže koje koriste različite fizičke adresne šeme.
- e) Ruter može da poveže mreže koje koriste različite formate okvira kod prenosa podataka.

6.2.2. Algoritmi najkraćeg puta

Mrežno rutiranje je glavni zadatak mrežnog nivoa OSI modela. Rutiranje se odnosi na određivanje ostvarljive rute (puta) od svakog izvorišta do svakog odredišta. Ruter (komutatorski čvor) obavlja sledeće dve glavne funkcije:

- a) rutiranje (usmeravanje) – algoritam pronalazi optimalan put ka svakom odredištu i memoriše rezultat u ruting tabelu
- b) prosledjivanje (*forwarding*) – ruter prosledjuje svaki paket sa ulaznog porta ka izlaznom portu na osnovu informacije koja se čuva u riting tabelu.

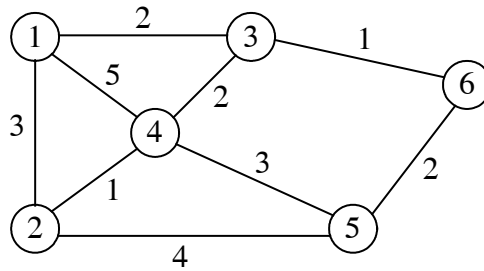
Najveći broj algoritama za rutiranje se zasniva na varijanti algoritama najkraćeg puta. Ovim algoritmom, na osnovu određenih kriterijuma o ceni, pokušava se da se odredi najkraći put paketa.

Da bi bolje razumeli namenu ovih algoritama smatraćemo da komunikaciona mreža predstavlja jedan graf koga čini skup čvorova (*nodes* ili *vertices*) i skup potega (*links*, *edges*, *arcs* ili *branches*). Svaki čvor grafa odgovara ruteru, ili komutatoru paketa, dok svaki poteg (veza) predstavlja komunikacioni kanal koji egzistira između dva rutera. Na slici 1 prikazan je jedan primer mreže. Svakoj vezi je pridružena vrednost koja odgovara ceni (ili metrici) korišćenja te veze. Radi pojednostavljenja uzeto je da je svaka veza neusmerena. Ako definišemo cenu puta kao sumu cene veza, tada najkraći put između para čvorova je put sa najnižom cenom. Tako na primer, najkraći put od čvora 2 ka čvoru 6 je 2-4-3-6, a cena puta je 4.

Slika 1 Primer mreže kod koje su potezima (vezama) pridružene cene

U zavisnosti od toga koja se od funkcija optimizira, koristi se veći broj metrika za dodelu cene svakoj vezi. Tipični slučajevi su

1. Cena $\sim 1/\text{kapacitet}$ – cena je inverzno proporcionalna kapacitetu veze. U konkretnom slučaju vezama-manjeg kapaciteta pridružuje se višja cena. Cilj je da se paket šalje po vezama koje imaju veći kapacitet. Ako svaka od veza ima isti kapacitet, tada je najkraći put onaj koji ima najmanji broj preskoka.



2. Cena \sim kašnjenje paketa – cena je srazmerna prosečnom kašnjenju paketa, a uključuje kašnjenja u redovima čekanja komutatorskih bafera, kao i propagaciono kašnjenje veza. Najkraći put predstavlja najbrži put da se stigne do odredišta.
3. Cena \sim sudari – cena je proporcionalna u određenoj meri sa sudarima, na primer gustini saobraćaja. Najkraći put izbegava da izbegne veze na kojima dolazi do sudara.