

5. Nivo mreže

5.1. Uloga mrežnog nivoa

Osnovni zadatak mrežnog nivoa je da obezbedi razmenu podataka izmedju računara i mreže na koju je taj računar povezan. Predajni računar, u okviru poruke koju predaje, dostavlja mreži adresu odredišnog računara tako da mreža može usmeavati (rutirati) podatke ka odgovarajućem odredištu. Pored ostalog, računar koji predaje podatke može zahtevati određene vrste usluge (servise), kao što je prioritet opsluživanja u prenosu, koje se mogu obezbediti (pružiti) od strane mreže.

Da bi ispunio svoj osnovni cilj mrežni nivo mora da poseduje (zna) dovoljno informacija koje se odnose na topologiju komunikacionog *subnet*-a (da poznaje skup svih rutera) i da odabere odgovarajući put za prenos poruke kroz mrežu. Mrežni nivo mora takodje da vodi računa o izboru puta kako bi se izbeglo preopterećenje na nekim komunikacionim linijama i ruterima a da ostali putevi ostanu, pri tome, neopterećeni. Konačno, ako su izvorišni i odredišni računar locirani u različitim mrežama zadatak je mrežnog nivoa da uskladi ove razlike i reši sve probleme koji se javljaju zbog toga.

Na mrežnom nivou koristi se specifični softver koji zavisi od tipa korišćene mreže. U suštini, različiti standardi su razvijeni za mreže koje koriste princip komutacije kola (*circuit switching*), komutacije paketa (*packet switching*), lokalne računarske mreže (LAN - *Local Area Network*), i druge. Zbog toga, u daljem tekstu ukazaćemo na specifičnosti ovih mreža posebno.

5.2. Komutacione komunikacione mreže

Komutacione komunikacione mreže (*switched communication networks*) dele se na sledeće tri grupe:

- mreže sa komutacijom-kola (*circuit switched network*)
- mreže sa komutacijom-poruka (*message switched network*)
- mreže sa komutacijom-paketa (*paket switched network*)

5.2.1. Mreže sa komutacijom kola

Javna telefonska mreža predstavlja mrežu sa komutacijom kola. Kod ovog tipa mreže, u toku poziva, korisniku je dato isključivo pravo da koristi kolo (misli se kanal i elektronika za predaju i prijem koja je povezana na taj kanal). Glavne karakteristike ovog tipa mreže su:

- moguće je obavljati direktni razgovor onoliko dugo koliko to učesnici žele.
- da bi se uspostavila veza potrebno je da prodje određeni vremenski period. Ako se veza ne može uspostaviti mreža u opštem slučaju ne pruža indicaciju kada se komunikacija može ostvariti. Ipak treba naglasiti da postoje mreže kod kojih je moguće ostaviti poruku koja će kasnije, kada uslovi to dozvole, biti prosledjena krajnjem korisniku (ovo znači da uspostavljanje trenutne veze kod ovih mreža ne predstavlja više imperativ).
- kada terminali uspostavljaju komunikaciju, uređjaji i kanali koji učestvuju u komuniciranju isključivo se koriste za tu namenu i ne obavljaju druge komunikacije.

Mreže koje koriste komutaciju kola sa aspekta komunikacije su veoma neefikasne. Kanal za prenos podataka je zauzet od strane korisnika u toku trajanja celokupne veze (razgovora ili prenosa podataka) i pored toga što se kroz kanal za duži vremenski period ne prenosi nikakva informacija. Na primer, kod telefonskih razgovora postoji veliki broj pauza u toku konverzacije tako da je iskorišćenost kanala daleko ispod 100%. Kod veza računar-terminal kroz kanal se takodje u toku najvećeg dela vremena ne prenosi

informacija. Vreme uspostavljanja veze (misli se u toku poziva) kod ovih mreža je suviše dugo. Glavna prednost ovih mreža je sledeća: Nakon što je veza uspostavljena ona postaje transparentna korisnicima. Informacija koja se prenosi u tom slučaju je fiksne brzine a karakteriše je prenos u realnom vremenu izuzimajući propagaciono kašnjenje signala duž prenosnog puta koje je zaista malo.

5.2.2. Mreže sa komutacijom poruka

Između predajnika i prijemnika ne uspostavlja se direktni kanal (veza). Umesto toga poruke se prenose od tačke do tačke, a u svakoj tački poruke se memorišu i ponovo predaju dalje preko sledećeg dostupnog kanala. Sistemi sa komutacijom poruka se obično nazivaju sistemi tipa sačuvaj-pa-prosledi (*store-and-forward*). Prednost ovih sistema je sledeća: Odmah nakon što je jedna poruka prosledjena preko kanala, druga poruka, verovatno usmerena drugom odredištu (korisniku) je moguće predati (poslati) preko istog tog kanala. Ako kanal nije slobodan poruke moraju čekati. One se memorišu i smeštaju u redove-čekanja-spremnih-poruka-za-prenos. Ovaj sistem se karakteriše veoma visokim stepenom iskorišćenja kanala, ali je neopogodan za primenu kod onih aplikacija kod kojih se zahteva interaktivna komunikacija između krajnjih korisnika sa brzim odgovorom.

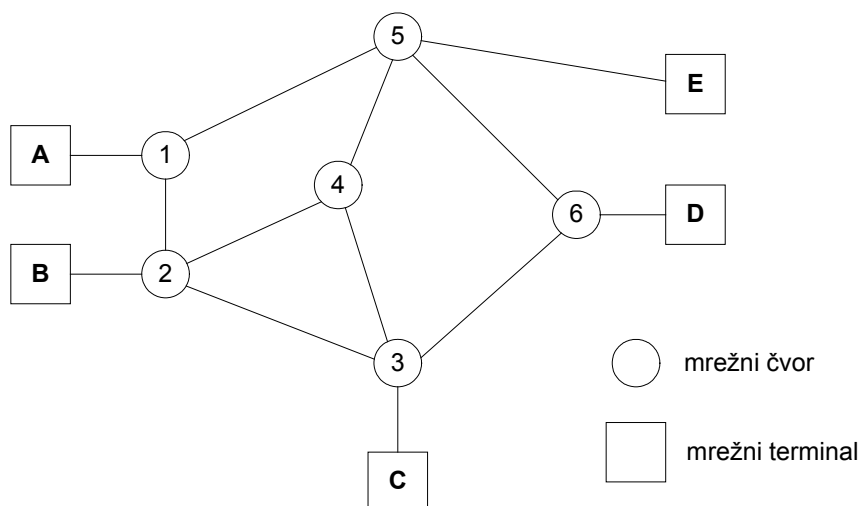
5.2.3. Mreže sa komutacijom paketa

Mreže sa komutacijom paketa predstavljaju derivat mreža sa komutacijom poruka i od izuzetne su važnosti za korisnike računarskih sistema koji međusobno komuniciraju. Kao i kod tehnike sa komutacijom poruka ne uspostavlja se direktni kanal (veza) između predajnika i prijemnika, nego poruke koje se predaju od strane terminala se memorišu u usputnim tačkama, a zatim retransmituju preko narednog slobodnog kanala. Poruka se deli na kratke segmente fiksnih dužina koji se nazivaju paketi. Izbor puta kroz mrežu za svaki paket određen je saobraćajem kroz mrežu u datom trenutku, kao i od tipa sistema za komutaciju paketa. Postoje dva standardna metoda za manipulaciju sa paketima: *datagrami* i *virtuelna kola*.

A. Datagrami

Kod datagram servisa svaki paket se tretira kao posebna celina tako da ne postoji međusobna veza sa ostalim paketima. Sastavni deo svakog paketa je kako izvorišna tako i odredišna adresa.

Analizirajmo situaciju prikazanu na slici 4.1 kod koje terminal A treba da pošalje tri-paket-poruke terminalu D. Čvoru $_1$ on predaje pakete u redosu $1-2-3$. Nakon prijema svakog paketa, čvor $_1$ mora da donese odluke o rutiranju. U trenutku kada je pristigao *paket_1* čvor $_1$ ispituje *redove-čekanja-poruka-za-slanje* za čvor $_5$ (Q_{1_5}) i čvor $_2$ (Q_{1_2}). Ako je Q_{1_5} prazniji čvor $_1$ usmerava paket ka čvoru $_5$. Na isti način se usmerava i *paket_2*. Ali za *paket_3* čvor $_1$ odredi da je Q_{1_2} kraći i on usmerava *pake_3* ka čvoru $_2$. Svaki paket prati odgovarajuća odredišna adresa, ali je bitno i to da svaki paket ne mora da prolazi isti put kroz mrežu. Naime moguće je da *paket_3* stigne u čvoru $_6$ pre *paketa_1* i *paketa_2*. Zadatak ugradjenog softvera u stanici D je da preuredi pakete. Kod ove tehnika prenosa svaki paket se tretira nezavisno, pa zbog svoje sličnosti sa tehnikom prenosa telegrama naziva se datagram. Ova tehnika je prvenstveno namenjena za slanje kratkih *jediničnih-paket-poruka*.



Slika 5.1 Topogija jedne komutatorske mreže

B. Virtuelna kola

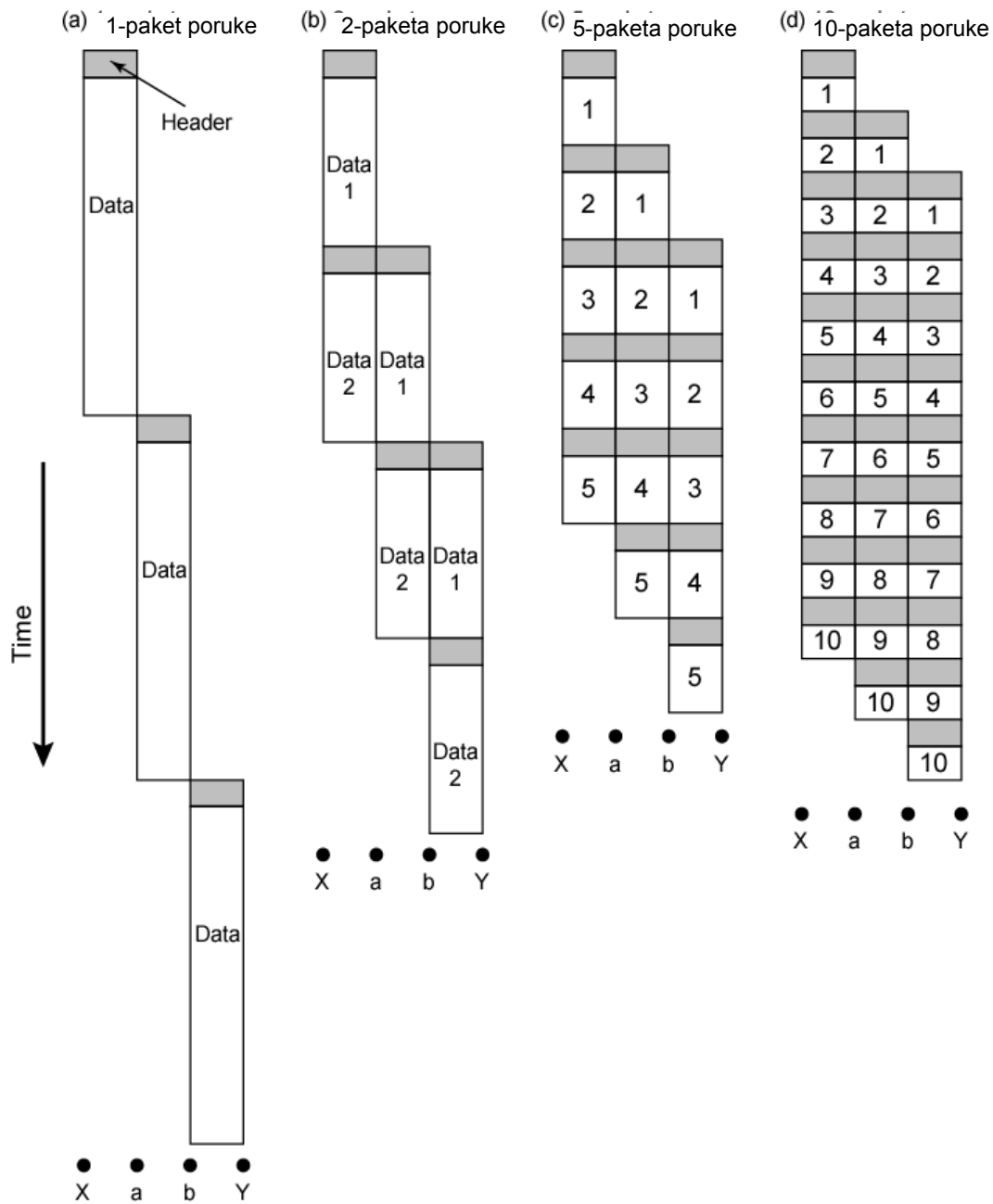
Kada poruka sadrži veći broj paketa koristi se metod virtuelno kolo/logički kanal. Kod ovog metoda slanja, pre slanja bilo kakve informacije, izvorni DTE (*Data Terminal Equipment*) predaje svom lokalnom PSE-u (*Packet Switched Exchange*) specijalni paket nazvan *Call-request*. Funkcija *call-request*-a je da trasira (postavi) pogodan put za prenos podataka kroz mrežu. Nakon što je put trasiran svi naredni paketi generisani od strane izvorenog DTE-a usmeravaju se ka određinom DTE-u. Imajući u vidu da svi paketi slede isti put ovaj kanal nazivamo virtuelno kolo (*virtual circuit*). I pored toga što između dva DTE-a postoji virtuelni kanal, koji usmerava svaki paket kroz isti put, u principu paketi nemaju isključivo pravo korišćenja bilo koje individualne veze (linka). Bilo koja veza (link) karakteriše se time što kroz nju prolazi veći broj paketa od kojih je svaki usmeren ka različitom odredištu. To znači da jedna fizička veza tipa tačka-ka-tački može da podržava rad većeg broja virtuelnih kanala.

Prednosti sistema koji koriste paketsku-komutaciju su sledeće:

1. Efikasnost veze je veća u poredjenju sa komutacijom-kola jer jedinstvena veza (link) se može koristiti za potrebe većeg broja paketa.
2. Moguće je uskladiti brzine kod prenosa podataka. Naime svaki terminal se povezuje na svoj čvor sa kim on ima uskladjenu brzinu u toku prenosa podataka.
3. Ne može doći do blokiranja puta poruke kao što se to dešava kod sistema sa komutacijom kola. Kada se mreža preopteretiti paketi se i dalje prihvataju ali se kasni sa njihovom isporukom (poruke se pamte u nekom od usputnih čvorova).
4. Paketima se može dodeliti prioritet tako da visoko-prioritetne poruke pristižu do odredišta sa manjim kašnjenjem.

5.2.4. Obim paketa

Važna projektanska stavka kod projektovanja mreže predstavlja obim prenetog paketa. U suštini postoji zavisnost između obima paketa i vremena prenosa (vidi sliku 4.2.).



Slika 5.2 Efekat obima paketa na vreme predaje

U konkretnom primeru usvojeno je da postoji virtuelno kolo od stanice X preko čvorova a i b ka stanici Y.

Informacionu poruku koja se predaje čini 30 bajtova, plus 3 bajta zaglavlja, tako da ukupnu poruku čini 33 bajta. Paket se prvo predaje od stanice X ka čvoru a (slika 4.2 a)). Kada se primi ceo paket tada se on predaje ka čvoru b, a zatim ka stanici Y. Ukupno vreme prenosa iznosi 99 bajt-vremena ($33 \text{ bajta} * 3 \text{ prenosa paketa}$).

Podelimo sada poruku na dva paketa od kojih svaki sadrži poruku sa po 15 bajtova informacije plus 3 bajta za zaglavlje. U ovom slučaju čvor a može da počne sa predajom prvog paketa odmah nakon što ga je primio od X, bez da čeka na drugi paket. Zbog ovakvog preklapanja u predaji ukupno vreme predaje iznosi 72 bajt-vremena. Kod deobe poruke na pet paketa svaki među-čvor može početi sa prenosom još pre u odnosu na prethodni slučaj, čime se ubrzava prenos, a ukupno vreme prenosa iznosi sada 63 bajt-vremena.

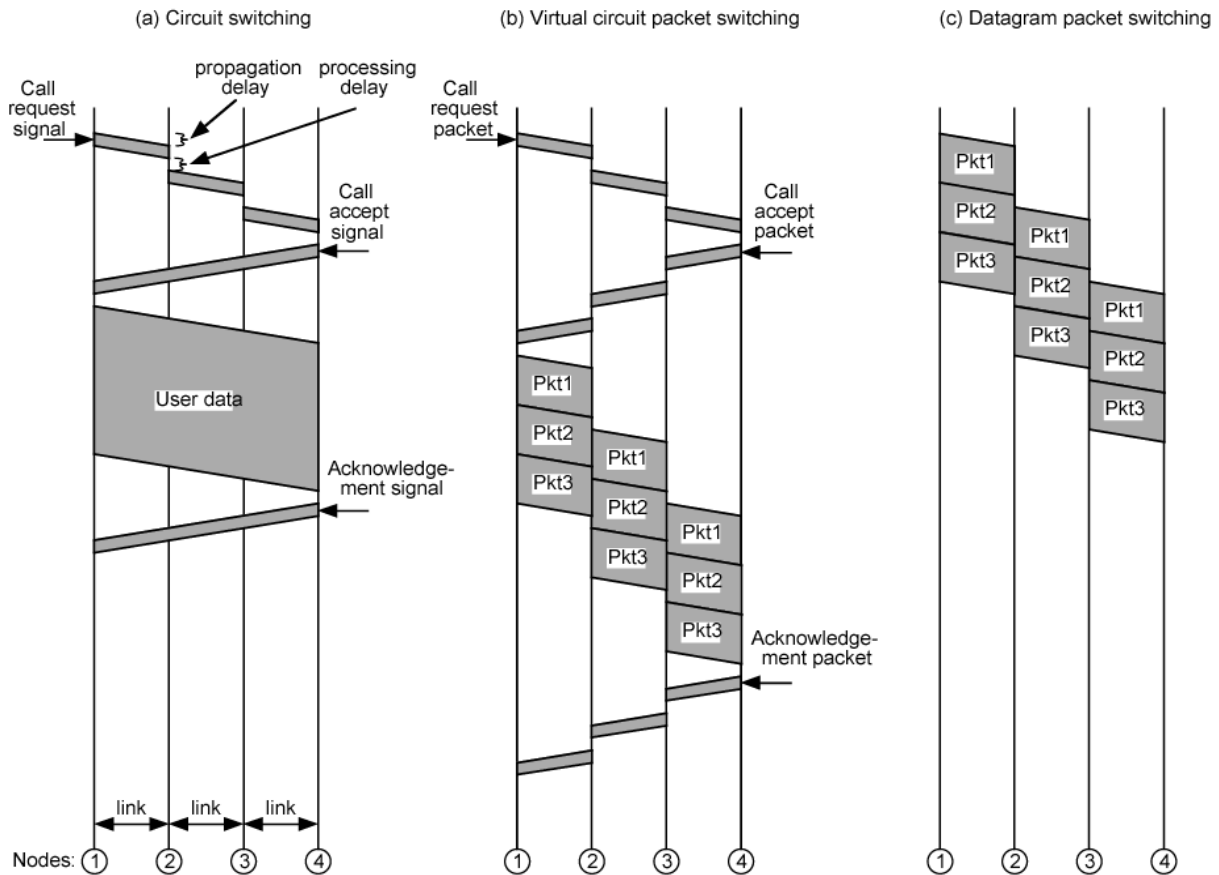
Na žalost, dalje smanjenje veličine paketa rezultira u povećanju vremena prenosa (slika 4.2.d)). Razlog ovog povećanja je taj što svaki paket prati zaglavlje fiksnog obima tako da ako se poveća broj paketa povećava se i broj zagavlja.

5.2.5. Uporedjenje izmedju tehnika prenosa komutacije-kola i komutacija-paketa

Upoređivanje tehnike koja koristi komutaciju-kola sa obe tehnike (forme) koje koriste paketsku-komutaciju, prikazano je na slici 4.3. Na slici 4.3. opisan je prenos poruke preko četiri čvora pri čemu je izvorište prikazano (povezano) na čvor_1 a odredište na čvor_4.

Pri analizi su uzeta u obzir sledeća kašnjenja:

- propagaciono-kašnjenje - odgovara vremenu prostiranja signala od jednog čvora ka narednom (ovo vreme je obično zanemarljivo)
- vreme prenosa - predstavlja vreme koje je potrebno predajniku da preda blok podataka. Na primer, za 1s moguće je preneti 10.000 impulsa ako je bitska brzina 10 kbps.
- vreme obrade čvora - to je vreme potrebno čvoru da obavi procesiranje nad dolazećim podacima.



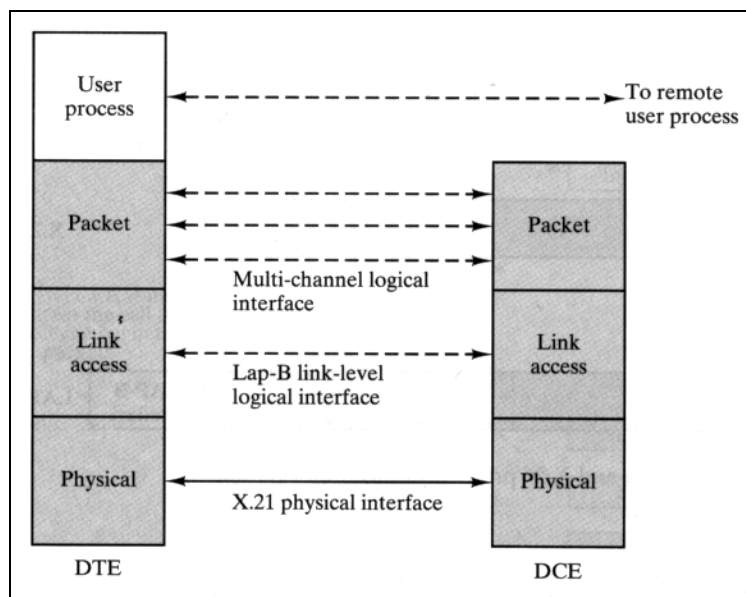
Slika 5.3 Vremenski redosled događaja kod komutacije-kola i komutacije-paketa

Kod komutacije kola, pre nego što se poruka preda postoji određeno kašnjenje. Prvo, preko mreže se šalje *call-request* zahtev sa ciljem da se uspostavi put kroz mrežu od izvorišta do odredišta. Ako odredište nije zauzeto vraća se signal *call-accepted*. Procesno kašnjenje (vidi sliku 4.3.) je uzeto u obzir (uključeno je) samo u toku *call-request*-a (to je vreme potrebno svakom čvoru da odredi smer puta (veze)). Pri povratku procesno kašnjenje ne postoji jer je veza već uspostavljena a to znači da se poruka šalje kao jedinstveni blok uzimajući u obzir samo kašnjenje u komutatorskim čvorovima.

Tehnika koja koristi virtuelno-kolo sa komutacijom-paketa se realizuje slično kao i komutacija-kola. Virtuelno kolo se zahteva koristeći *call-request* paket koji je izložen (podložan) kašnjenju pri prolasku kroz svaki čvor. Rad virtuelnog kola se potvrđuje *call-accept* paketom. Nasuprot komutaciji-kola, kod virtuelnog-kola, *call-accept* je izložen kašnjenju kroz čvor i pored toga što je put virtuelnog kola već određen. Razlog ovome je taj što se paket u svakom čvoru smešta u red čekanja i isti mora da čeka sve dok mu ne dodje red za prenos. Nakon što je virtuelni kanal uspostavljen poruka se šalje u paketima. Ova faza prenosa ne može biti brža u odnosu na istu fazu kod komutacije-kola (kod komutacije-paketa svaki čvor unosi određeno kašnjenje. Ovo kašnjenje je promenljivo i zavisi od opterećenja čvora). Kod *datagram* paketne-komutacije nije potreban *call* za uspostavljanje puta. Za prenos kratkih poruka ova tehnika je brža u odnosu na komutaciju-paketa i verovatno komutacije kola. Ipak, zbog toga što se svaki datagram rutira nezavisno procesiranje u svakom čvoru mora da traje duže u poredjenju sa virtuelnim kolom. Imajući ovo u vidu, kod prenosa dužih poruka tehnika koja se zasniva na virtuelnom kolu je superiornija.

5.3. X.25

Verovatno najpoznatiji i najšire korišćeni protokol standard je X.25. Ovaj standard specificira interfejs izmedju host-a sistema sa jedne- i mreže za paketsku komutaciju, sa druge strane.



Slika 5.4 Interfejs X.25

Kao što je prikazano na slici 4.4. standard specificira pozive za tri nivoa funkcionalnosti:

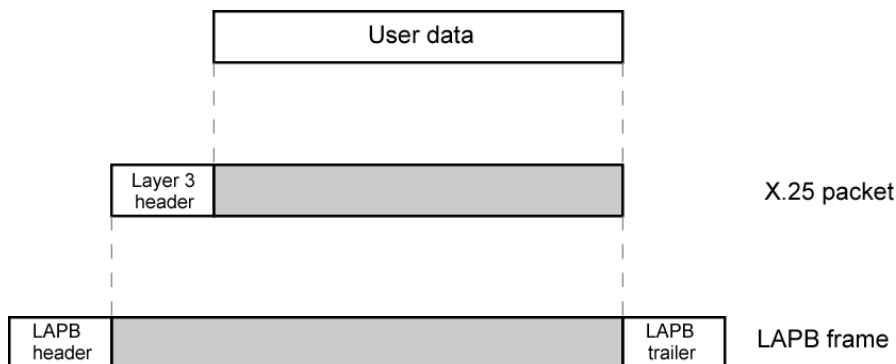
- fizički nivo
- link nivo (nivo veze)
- nivo paketa

Ova tri nivoa odgovaraju trima najnižim nivoima OSI modela. Fizički nivo se odnosi na fizički interfejs izmedju prikačene stanice (računarski terminal) i veze koja povezuje tu stanicu sa čvorom za paketsku komutaciju. Standardom je definisano da sprega izmedju DTE-a i DCE-a bude X.21, ali i druge standarde kakvi su EIA-232 moguće je koristiti.

Link nivo obezbedjuje pouzdan prenos podataka preko fizičke veze prenosom podataka kao sekvencu okvira. Korišćeni standard za link-nivo je LAP-B (*Link Access Protocol-Balanced*) koji predstavlja podskup HDLC-a.

Nivo paketa obezbedjuje servise tipa eksterno-virtuelno kolo.

Na slici 4.5. prikazan je odnos izmedju sva tri nivoa kod X.25. Korisnički podaci prenose se naniže ka nivou 3 od X.25. Nivo 3 pridružuje korisničkim podacima upravljačku (kontrolnu) informaciju u obliku zaglavlja, kreirajući na taj način paket. Upravljačka informacija koristi se za potrebe rada protokola. Celokupni X.25 paket prenosi se dalje ka LAP-B celini koja pridružuje kontrolnu informaciju na početku i kraju paketa formirajući na taj način LAP-B okvir. Upravljačka informacija okvira od interesa je za rad protokola LAP-B.



Slika 5.5 Podaci korisnika i kontrolna informacija kod X.25 protokola

5.3.1. Usluge virtuelnog kola

Preko X.25 paket-nivoa predaja podataka (preko eksternih kola) se vrši u paketima. Servis (usluga) virtuelnog-kola kod X.25 se odnosi na (važi za) dva tipa virtuelnih kola: *virtuelni poziv* i *permanentno virtuelno kolo*.

Virtuelni poziv je virtuelno kolo koje se dinamički uspostavlja, a koristi procedure *call-setup* i *call-clearing*.

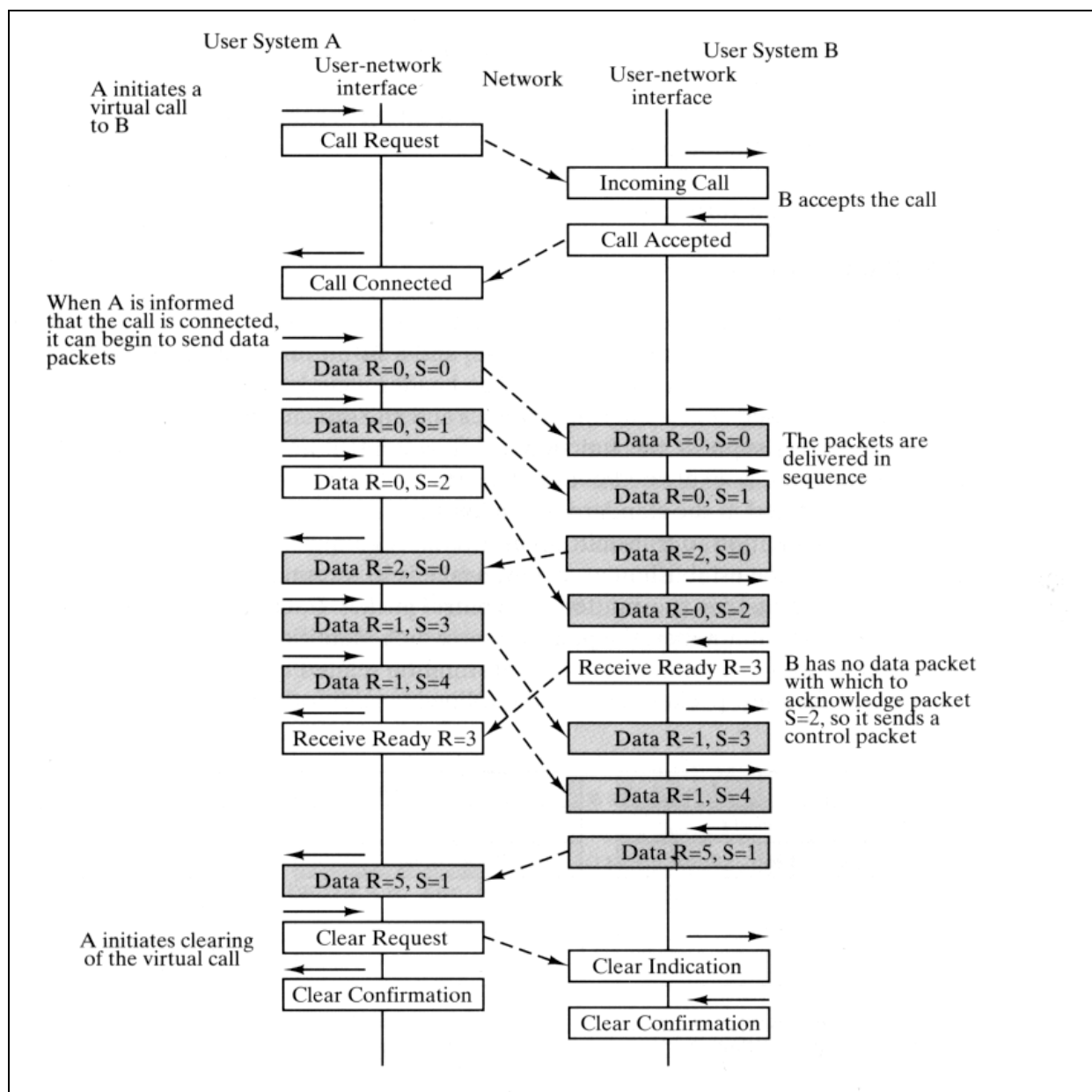
Permanentno virtuelno kolo je fiksno, a virtuelno kolo je dodeljeno (određeno) od strane mreže. Prenos podataka se vrši kao i kod virtuelnog poziva, ali se zahtevaju procedure tipa *call-setup* ili *call-clearing*.

Na slici 4.6. prikazana je tipična sekvenca događaja kod virtuelnog poziva. Leva strana slike prikazuje razmenu paketa izmedju korisnika mašine A i čvora za paketsku komutaciju na koju je mašina povezana. Desni deo slike 4.6 prikazuje razmenu podataka izmedju korisnika mašine B i čvora na koju je ta mašina povezana. Rutiranje paketa unutar mreže nije vidljivo korisniku.

Sekvenca događaja je sledeća:

1. A zahteva uspostavljanje virtuelnog kola ka B slanjem *call-request* paketa ka DCE-u povezan na mašinu A. Paket sadrži izvorišne i odredišne adrese kao i broj virtuelnog-kola koji će se koristiti za ovo novo virtuelno kolo. Svi naredni ulazni i izlazni prenosi identifikovaće se na osnovu ovog broja virtuelnog-kola.
2. Mreža usmerava (rutira) ovaj *call-request* ka DCE-u mašine B.
3. DCE povezan na mašini B prima *call-request* i predaje *incomming-call* paket mašini B. Ovaj paket ima format kao i *call-request* paket, ali koristi drugi (različit) broj virtuelnog kola (ovaj broj bira DCE mašine B iz skupa lokalnih neiskorišćenih brojeva).
4. B indicira da je prihvatio *call* na taj način što vraća *call-accepted* paket u kome specificira isti broj virtuelnog kola kao i onaj koji postoji u *incomming-call* paketu.
5. DCE mašine A prima *call-accepted* i predaje mašini A paket tipa *call-connected*. Ovaj paket ima isti format kao i *call-accepted* paket, a takodje isti broj virtuelnog kanala kao onaj specificiran u početnom *call-request* paketu.

6. *A* i *B*, medjusobno, predaju podatke i kontrolne (upravljačke) pakete koristeći odgovarajuće brojeve virtuelnih-kola.
7. *A* (ili *B*) predaje paket tipa *call-request* kojim zatvara virtuelno-kolo i prima paket tipa *clear-information*.
8. *B* (ili *A*) prima paket *clear-information* i vraća paket tipa *clear-confirmation*.



Slika 5.6 Sekvenca događaja kod protokola X.25

5.3.2. Format paketa

Osnovni formati paketa kod X.25 prikazani su na slici 4.7. Kada se govori o podacima korisnika oni se dele na blokove određenog maksimalnog obima kojima se pridružuje 24- ili 32-bitno zaglavlje i na taj način formira paket-podataka. Zaglavlje sadrži 12-bitni broj virtuelnog-kola (izražen kao 4-bitni broj koji se odnosi na grupu i 8-bitni broj koji se odnosi na kanal). Polja $P(S)$ i $P(R)$ podržavaju funkcije koje se odnose na tok upravljanja i upravljanje greškama virtuelnog kola. Q bit nije definisan standardom ali

omogućava korisniku da pravi razliku između dva tipa podataka. O ulozi M i D bitova govorićemo kasnije.

Pored predaje korisničkih podataka X.25 mora da predaje i kontrolnu informaciju koja se odnosi na uspostavljanje, održavanje i raskidanje rada virtuelnih kola. Kontrolna informacija se prenosi kao kontrolni paket (*control packet*). Svaki kontrolni paket sadrži broj virtuelnog-kola (*virtual-circuit number*), kao i tip paketa koji identifikuje pojedinu kontrolnu informaciju koja je u vezi sa tom funkcijom.

Q	D	0	1	Group #
Channel #				
P(R)	M	P(S)	0	
User data				

a) paket podataka sa 3-bitnim brojačem sekvenci

0	0	0	1	Group #
Channel #				
Packet type				1
Additional Information				

b) kontrolni paket za virtuelne pozive sa 3-bitnim brojačem sekvenci

0	0	0	1	Group #
Channel #				
P(R)	Packet type			1

c) RR, RNR i REJ paketi sa 3-bitnim brojačem sekvenci

Q	D	0	1	Group #
Channel #				
P(S)				0
P(R)				0
User data				

d) paket podataka sa 7-bitnim brojačem sekvenci

0	0	0	1	Group #
Channel #				
P(R)				1
Additional Information				

e) kontrolni paket za virtuelne pozive sa 7-bitnim brojačem sekvenci

0	0	0	1	Group #
Channel #				
Packet type				1
P(R)				0

f) RR, RNR i REJ paketi sa 7-bitnim brojačem sekvenci

Slika 5.7 Formati paketa kod X.25

Ilustracije radi, *call-request* paket sadrži sledeća dodatna polja:

- obim adrese pozivnog DTE-a - dužina (obim) odgovarajućeg adresnog polja izražava se u 4-bitnim jedinicama
- obim adrese pozvanog DTE-a - dužina adrese odgovarajućeg adresnog polja izražava se u 4-bitnim jedinicama
- DTE adrese (promenljiva) : adrese pozivnog i pozvanog DTE-a.
- dodatne mogućnosti (*facilities*): sekvenca za specifikaciju dodatnih mogućnosti. Svaka specifikacija se predstavlja 8-bitnim kôdom ili sa većim brojem parametarskih kôdova.

Na slici 4.8. prikazana je lista X.25 paketa. O nekima smo već govorili, a za ostale sledi kratak opis.

DTE može da predaje *interrupt* pakete kojima se premošćavaju procedure za upravljanje tokom prenosa paketa podataka. Prekidni (*interrupt*) paket predaje se određenom DTE-u od strane mreže sa

mного višim prioritetom u odnosu na pakete podataka koje su u tranzitu. Primer korišćenja ove mogućnosti je prenos karaktera tipa *control-break*.

Reset paketi pružaju mogućnost otklanjanja grešaka u radu putem reinicijalizacije virtuelnog-kola, a to znači da se redosledni brojevi (*sequence numbers*) na oba kraja postavljaju na 0. Bilo koji podaci ili *interrupt* paketi na putu (u tranzitu) gube se. *Reset* se može inicirati kada se iz više razloga javi greška, uključujući gubitak paketa, greška u redoslednom broju, sudari (sukobi), ili gubitak interne logičke veze u mreži. U zadnjem slučaju, oba DCE-a moraju ponovo uspostaviti internu logičku vezu koja će i na dalje podržavati rad još uvek važećeg X.25 DTE-DTE virtuelnog kola. Daleko ozbiljniji uzrok greške javlja se kod manipulisanja sa *Restart*, koji zatvara sve aktivne virtuelne pozive. Primer uslovnog izvršnog restarta je privremeni gubitak pristupa mreži.

Diagnostic paketi omogućavaju (obezbeđuju) signalizaciju određenih uslova pojave grešaka koje ne obavljaju (ne daju nalog) za inicijalizaciju. *Registration* paketi se koriste za poziv i potvrdu dodatnih mogućnosti kod X.25.

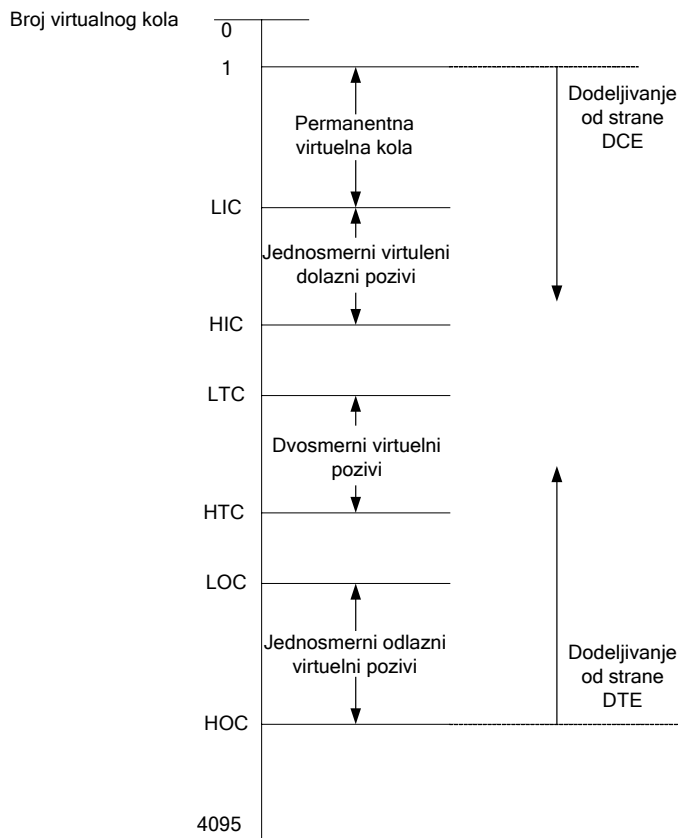
tip paketa		servis		parametri
Od DTE do DCE	Od DCE do DTE	VC	PVC	
Poziv za postavljanje i brisanje				
<i>Call request</i>	<i>Incoming call</i>	X		Pozivna DTE adresa, pozvana DTE adresa, poziv za korisničkim podacima
<i>Call accepted</i>	<i>Call connected</i>	X		Pozivna DTE adresa, pozvana DTE adresa, poziv za korisničkim podacima
<i>Call request</i>	<i>Clear indication</i>	X		Brisanje uzroka, dijagnostički kôd, pozivna DTE adresa, pozvana DTE adresa
<i>Clear confirmation</i>	<i>Clear confirmation</i>	X		Brisanje uzroka, dijagnostički kôd, pozivna DTE adresa, pozvana DTE adresa
Podaci i prekid				
data	data	X	X
interrupt	interrupt	X	X	Prekid zbog korisničkih podataka
interrupt confirmation	interrupt confirmation	X	X
Kontrola toka i reseta				
<i>RR</i>	<i>RR</i>	X	X	P(R)
<i>RNR</i>	<i>RNR</i>	X	X	P(R)
<i>REJ</i>		X	X	P(R)
<i>Reset request</i>	<i>Reset indicationt</i>	X	X	Resetovanje uzroka, dijagnostički kôd
<i>Reset confirmation</i>	<i>Reset confirmation</i>	X	X
Restartovanje				
<i>Restart request</i>	<i>Reset indicationt</i>	X	X	Restartovanje uzroka, dijagnostički kôd
<i>Reset confirmation</i>	<i>Reset confirmation</i>	X	X
Dijagnosticiranje				
	<i>Diagnostic</i>	X	X	Dijagnostički kôd i objašnjenje dijagnostike
Registracija				
<i>Registration request</i>	<i>Registration</i>	X	X	DTE adresa, DCE adresa, registracija
	<i>Confirmation</i>	X	X	Uzrok, dijagnostika, DTE adresa, DCE adresa, registracija

Slika 5.8 Tipovi paketa i parametri kod X.25

5.3.3. Multipleksiranje

Jedan od najvažnijih servisa (usluga) koje obezbeđuje X.25 je multipleksiranje. Preko jedinstvene fizičke DTE-DCE veze DTE-u je dozvoljeno da uspostavi istovremeno do 4095 virtuelnih kola. DTE može da dodeli ova kola kako ono želi. Individualna virtuelna-kola se mogu koristiti za potrebe aplikacija, procesa terminala, i dr. Veza DTE-DCE omogućava multipleksiranje tipa potpuni-dupleks, a to znači, da u bilo kom trenutku paket, kome je pridruženo određeno virtuelno-kolo, može da se prenosi u oba smera.

Da bi se odredilo koji paket pripada kom virtuelnom kolu, svaki paket sadrži 12-bitni broj virtuelnog-kola (izražen kao 4-bitni logički broj grupe plus 8-bitni logički broj kanala). Dodela brojeva virtuelnim-kolima vrši se shodno konvenciji prikazanoj na slici 4.9.



Slika 5.9 Dodela brojeva virtuelnim kolima

LEGENDA:

LIC-najniži dolazeći kanal; HIC-najviši dolazeći kanal; LTC-najniži dvosmerni kanala; HTC- najviši dvosmerni kanal; LOC-najniži odlazni kanal; HOC- najviši odlazni kanal;

broj virtuelnog kola = logičko grupni broj i logički broj kanala

Broj 0 je uvek rezervisan za zajedničke dijagnostičke pakete svih virtuelnih kola. Nakon toga, neprekidni opsezi brojeva dodeljuju se četirima kategorijama virtuelnih kola. Permanentnim virtuelnim kolima dodeljuju se brojevi počev od 1. Naredna kategorija se dodeljuje jednosmernim (prenose se podaci samo u jednom smeru) dolazećim virtuelnim pozivima. To znači da se samo dolazećim pozivima iz mreže mogu dodeljivati ovi brojevi, dok je virtuelno kolo, nezaboravimo ipak, dvosmerno (koristi se potpuni dupleks). Kada naidje *call-request* DCE selektuje neiskorišćeni broj iz ove kategorije. Jednosmerni izlazni pozivi su, obično, oni koji se iniciraju od strane DTE-a. U ovom slučaju, DTE je taj koji selektuje neiskorišćeni broj od onih brojeva koji, shodno slici 4.9, su rezervisani za potrebe ovih poziva. Izdvajanje ovih kategorija poziva vrši se sa ciljem da se izbegne istovremena selekcija istog broja za dva različita kola od strane DTE i DCE.

5.3.4. Upravljanje tokom prenosa i greškama

Upravljanje tokom prenosa i greškama kod X.25 vrši se skoro na identičan način kao kod HDLC-a. Svaki paket sadrži redni broj predaje, $P(S)$, i redni broj prijema, $P(R)$. Standardno se koriste 3-bitni redni brojevi. Opciono, preko mehanizma za pružanje usluga korisnika (*user-facility mechanism*), DTE može da zahteva korišćenje 7-bitnih brojeva za numerisanje sekvenci. Kao što je prikazano na slici 4.7, za 3-bitne redne brojeve, treći i četvrti bit kod svih kontrolnih i paketa podataka su postavljeni na vrednost 01, a kod 7-bitnih rednih brojeva sekvenci ovi bitovi su postavljeni na vrednost 10. Za svaki izlazni paket virtuelnog kola vrednost $P(S)$ se određuje od strane DTE-a, što znači da je $P(S)$ za svaki novi izlazni paket podataka virtuelnog kola za jedan veći u odnosu na prethodni paket, po modulu 8 ili modulu 128. $P(R)$ ukazuje na broj narednog paketa koji se očekuje kao prijemni od suprotne strane virtuelnog kola. Na ovaj način se obezbeđuje uzajamno potvrđivanje poruka. Ako jedna strana nema podatke za predaju ona može da potvrdi (prijem) dolazećih paketa sa *Receive-Ready (RR)* i *Receive-not-Ready (RNR)* kontrolnim paketima koji imaju isto značenje kao i kod HDLC-a. Inicijalno, obim prozora (veličina poruke) je 2, ali se ona može postaviti na 7 za 3-bitni redni broj ili 127 za 7-bitni redni broj.

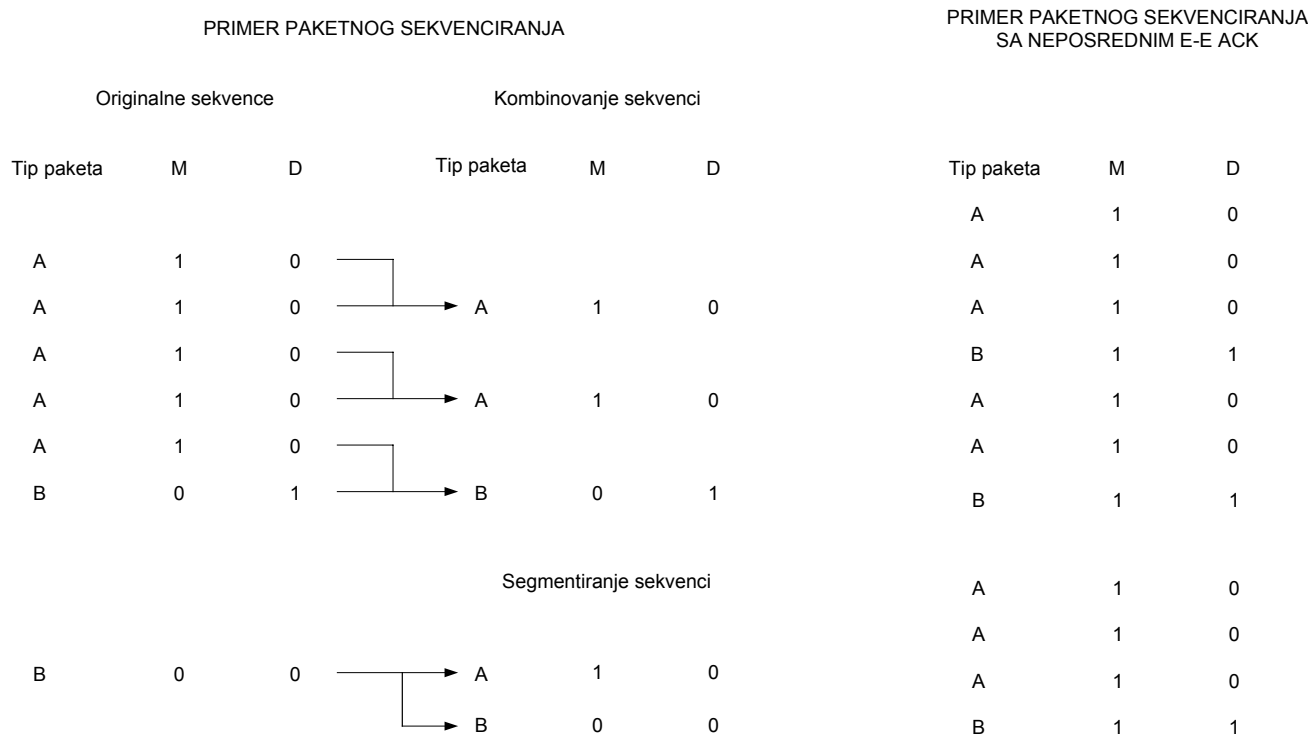
Potvrđivanje (bilo da je ono izvedeno preko $P(R)$ polja, kod prenosa paketa podataka, ili preko *RR* ili *RNR* paketa), a shodno tome i upravljanje tokom prenosa informacija u zavisnosti od postavljenosti D bita, može da ima lokalno ili *end-to-end* (od-kraja-do-kraja) značenje. Kada je $D = 0$ (najčešći slučaj), potvrda se izvodi između DTE i mreže. Ova komunikacija se koristi od strane lokalnog DCE-a i/ili mreže radi povrdjivanja prijema paketa i upravljanje tokom prenosa od DTE-a ka mreži. Kada je $D=1$, potvrde dolaze od udaljenog DTE-a.

Osnovna forma kontrole greške je predaja negativne potvrde koji ima formu *Reject (REJ)* upravljačkog paketa. Ako čvor primi negativnu potvrdu on će ponovo emitovati specifikirani paket i sve naredne pakete.

5.3.5. Sekvenciranje paketa

X.25 ima mogućnost identifikacije kontinualne sekvence paketa podataka koja se naziva *complete packet sequence*. Ova mogućnost koristi se od strane *internetworking* protokola sa ciljem da obezbedi slanje dužih blokova podataka kroz mrežu, zadržavajući pri tome ograničenja koja se odnose na slanje paketa manjeg obima, bez opasnosti da se naruši integritet bloka. Da bi specifikirao ovaj mehanizam rada, X.25 definiše dva tipa paketa: *Paket A* i *paket B*. *Paket A* je onaj kod koga je $M=1$, a $D=0$, a paket je jednak maksimalnoj dozvoljenoj dužini paketa. *Paket B* je bilo koji drugi paket koji nije *paket A*. Potpuna (celokupna) sekvenca paketa se sastoji od nula ili većeg broja paketa *A* iza kojih sledi paket *B*. Mreža može kombinovati ovu sekvencu kako bi formirala paket većeg obima. Mreža može takodje segmentirati paket *B* u manje pakete sa ciljem da kreira kompletnu paket sekvencu.

Način na koji se manipuliše paketom *B* zavisi od postavljenosti bitova M i D . Ako je $D=1$, *end-to-end* potvrda se šalje od strane prijemnog DTE-a prema predajnom DTE-u. Na ovaj način se potvrđuje prijem celokupne paket sekvence. Ako je $M=1$, slede dodatne kompletne paket sekvence. Ovo obezbeđuje formiranje podsekvenci kao deo veće sekvence, tako da se *end-to-end* potvrda može javiti pre kraja velike (dugačke) sekvence. Na slici 4.10 prikazan je primer ovih koncepata. Zadatak je DCE-a da složi promene kod numerisanja u sekvenciranju što je uzrok segmentacije i reasembliranja.



Slika 5.10 Sekvenciranje paketa kod X.25

5.3.6. Napomena u vezi X.25

X.25 je ITU-T standardni protokol za pristup mreži. On definiše interfejs između DTE i PSDN. U suštini, X.25 čini skup protokola koja odgovaraju prvih triju nivoa OSI modela. S obzirom da je X.25 protokol za pristup mreži on pokriva samo interfejs DTE ka DCE. Zbog toga X.25 mreža se definiše samo preko tog interfejsa, a rad mreže obezbeđen je od strane *provider*-a usluga. Ovo znači da se X.25 odnosi samo na unos podataka u mrežu i njihovo napuštanje, kao podaci tipa X.25.

5.3.7. Virtuelno komutaciona kola-primeri

Virtuelno kolo (*Virtual Circuit -VC*) je koncept (model) koji se kod tehnike sa komutacijom-paketa (*packet-switching*) standardno koristi za prenos informacije. Da bi razumeli kako ovaj koncept funkcioniše analiziraćemo Sliku 1 kod koje *Host A* želi da preda paket *Host-u B*. Proces prenosa rastavićemo na sledeća dva koraka:

- a) uspostavljanje veze (*connection setup*)
- b) prenos podataka (*data transfer*).

Analiziraćemo sada, pojedinačno, oba koraka.

5.3.8. Uspostavljanje veze

U toku faze (koraka) uspostavljanja-veze neophodno je ostvariti povezljivo-stanje (*connection state*) u svakom od komutatora koji se nalazi na putu između izvorišnog i odredišnog *host*-a. Postoje dva pristupa kako se rešava problem uspostavljanja-veze:

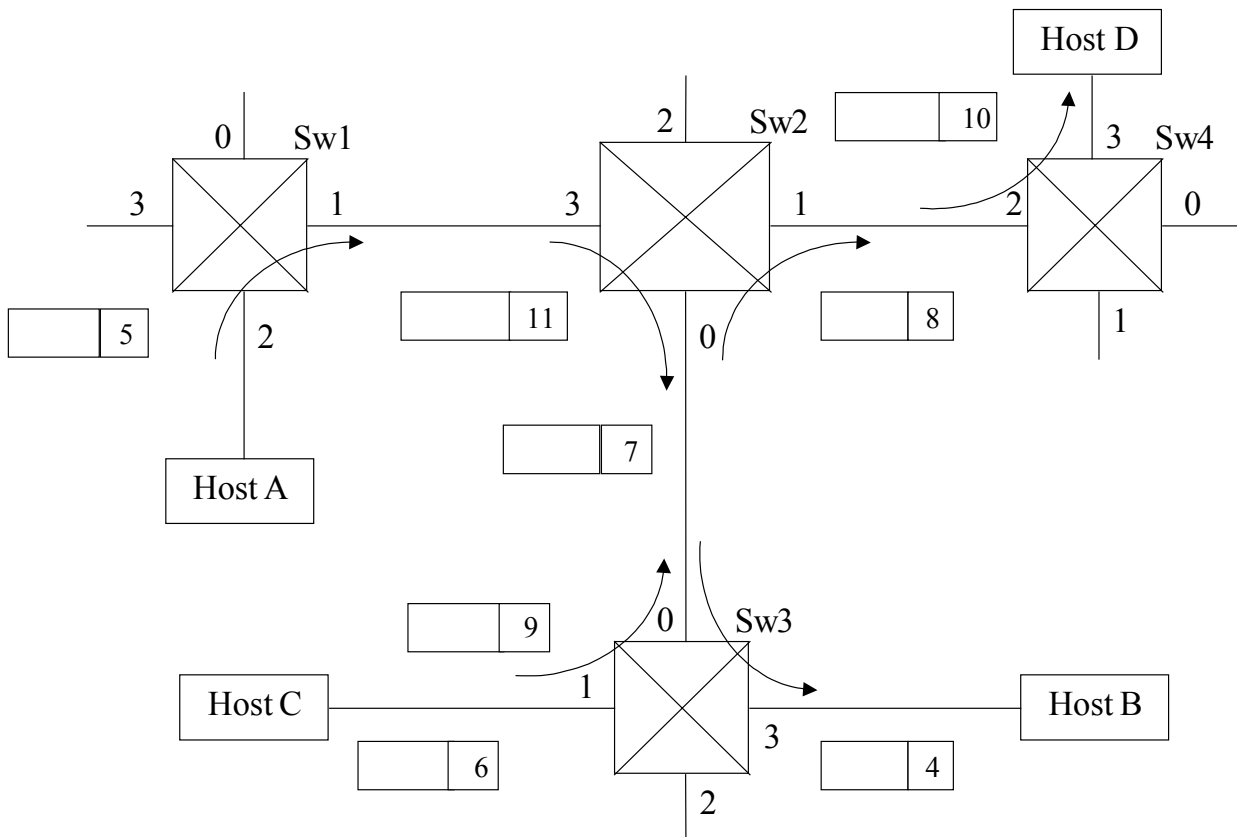
- a) mrežni administrator je taj koji konfigurira stanje, pa se virtuelno kolo naziva permanentno (PVC - *permanent virtual circuit*)
- b) host predaje poruku u mreži, a put se uspostavlja bez prisustva mrežnog administratora. Ovaj pristup se naziva signalni (*signalling*) a rezultatno komutirano kolo nazivamo komutirano virtuelno kolo (SVC - *switched virtual circuit*).

Analiziramo prvo princip rada PVC-a. Povezljivost na nivou svakog komutatora u mreži rešava se pomoću VC (*virtual circuit*) tabele. Naime, za svaku vezu postoji po jedan ulaz u VC tabeli. Ulaz u tabeli sadrži sledeću informaciju:

- ulazni interfejs po kome pristižu paketi za dati VC
- identifikator virtuelnog kola (VCI - *virtual circuit identifier*) koji se odnosi na broj kanala po kome pristižu paketi
- izlazni interfejs po kome paketi za dati VC napuštaju komutator
- VCI koji se odnosi na identifikaciju kanala po kome se predaju paketi.

Treba uočiti da se na osnovu kombinacije ulaznog-interfejsa i ulaznog-VCI-a na jedinstven način identifikuje virtuelna veza. Shodno prethodnom, uvek kada želimo da kreiramo novu vezu, treba da se obezbedimo da je toj vezi dodeljen VCI koji se tekuće ne koristi od strane interfejsa na kome pristižu paketi. Takodje, ulazni i izlazni VCI-ovi treba da su različiti. To znači da VCI, u globali, nije značajan identifikator za VC, nego je samo od značaja za datu vezu (link).

Da bi uspostavio VC od *host-a* A ka *host-u* B, mrežni administrator vodi računa o VCI vrednostima koji tekuće nisu iskorišćeni od strane svakog linka za dato povezivanje. Za potrebe primera sa Slike 1 usvojićemo da je za link od *host-a* A ka komutatoru *Sw1* uzeto da je VCI=5; za vezu od *Sw1* ka *Sw2* imamo VCI=11; zatim VCI=7 za vezu od *Sw2* ka *Sw3*; i VCI=4 za vezu od *Sw3* ka *host-u* B. Za dati slučaj, svaki komutator treba da poseduje odgovarajuću VC tabelu čiji su ulazi za vezu od *Host-a* A ka *Host-u* B popunjeni kao u Tabeli 1.



Slika 5.11 Mreža bazirana na virtuelnim kolonama

Tabela 1: VC tabela ulaza za četiri komutatora

ulazni interfejs	ulazni VCI	izlazni interfejs	izlazni VCI
2	5	5	11
...

a) VC tabela za Sw1

ulazni interfejs	ulazni VCI	izlazni interfejs	izlazni VCI
3	11	0	7
0	9	1	8
...

b) VC tabela za Sw2

ulazni interfejs	ulazni VCI	izlazni interfejs	izlazni VCI
0	7	3	4
1	6	0	9
...

c) VC tabela za Sw3

ulazni interfejs	ulazni VCI	izlazni interfejs	izlazni VCI
2	8	3	10
...

d) VC tabela za Sw4

Shodno Tabeli 1 svaki put kada *Host A* želi da preda paket *Host-u B* on postavlja VCI na vrednost 5 i predaje paket ka *Sw1*. Komutator *Sw1* prima paket na interfejsu 2 i na osnovu vrednosti interfejsa i VCI-a određuje odgovarajući ulaz u VC tabelu (Tabela 1a). Na osnovu sadržaja odgovarajućeg ulaza on prosledjuje paket ka izlaznom interfejsu 1 i koristi VCI vrednost 11 kod predaje paketa. Paket pristize na ulazni interfejs 3 komutatora *Sw2*, a predaje se na izlaznom interfejsu 0 sa VCI=7, Na kraju on pristize do *Host-a B* sa VCI=4. *Host B* identifikuje da je paket pristigao sa *Host-a A*.

Zadatak 1.

Tehnika prenosa podataka sa komutiranjem-paketa (*packet switching*) često se zasniva na konceptu virtuelnog-kola (*virtual circuit - VC*). Jedna takva tipična mreža koju čine četiri komutatora, Sw_i ($i=1, \dots, 4$), prikazana je na Slici 1. Usmeravanje poruka kroz mrežu vrši se shodno VC tabelama koje su, od strane sistemskog administratora mreže, upisane u svakom od komutatora. U Tabeli 1, ilustracije radi, prikazani su odgovarajući ulazi VC tabela u svakom od komutatora koji važe za slučaj kada paket od *host-a A* se usmerava ka *host-u B*.

Popuniti odgovarajuće ulaze u Tabeli 1 za svaki od komutatora koji učestvuje u prenosu podataka od *host-a C* ka *host-u D*.

5.4. Ostali tipovi mreža za prenos podataka

5.4.1. Frame relay

Tehnika koja koristi za komutaciju paketa je bila razvijena u ono vreme kada je digitalni prenos podataka na daljinu bio podložan velikom broju grešaka u poredjenju sa onim što današnja tehnologija nudi. Kao rezultat takvih razmatranja značajno veliko režijsko vreme je ugrađeno kod rešenja koja koriste paketsku-komutaciju sve to sa ciljem da se kompenzuju greške u prenosu. Prekoračenje (režijsko vreme - *overhead*) uključuje dodatne bitove koji prate paket kako bi se uvela redundantnost informacije, a zatim i dodatno procesiranje u krajnjim stanicama kao u i komutatorskim čvorovima sa namerom da se detektuju i isprave greške.

Kod savremenih veoma brzih telekomunikacionih sistema, režijsko vreme nije neophodno, pa je čak i kontra produktivno. Procenat greške u prenosu je drastično smanjen a ostale greške se mogu relativno lako odstraniti (premostiti) u krajnjim stanicama uz pomoć logike koja radi (operativna je) iznad nivoa logike zadužene za paketsku-komutaciju (pripada višim nivoima OSI modela). Na ovaj način u značajnoj meri se efektivno povećava kapacitet (iznos) saobraćaja u mreži.

Frame-relay je razvijena kao tehnika prenosa koja koristi prednosti kod velike-brzine-prenosa-podataka uz mali procenat grešaka. Prvobitne mreže za paketsku komutaciju su bile projektovane za brzine prenosa podataka između krajnjih korisnika do 64 kbps, dok su *frame-relay* mreže projektovane za brzine prenosa do 2 Mbps. Ključ uspeha u postizanju većih brzina svodi se na ukidanju svih ograničenja koja se odnose na kontrolu greške u prenosu.

5.4.2. ATM

Asynchronous transfer mode (ATM), ponekad poznat i kao *cell relay*, predstavlja kulminaciju svega što je razvijeno zadnjih 25 godina, u tehnici komutacije-kola i komutacije-paketa.

ATM se može smatrati proizvodom evolucije *frame-relay*-a. Najvažnija razlika između *frame-relay*-a i ATM-a je ta što *frame-relay* koristi pakete promenljive dužine, dok ATM koristi pakete fiksne dužine, koji se nazivaju *cells*. Kao i kod *frame-relay*-a tako i kod ATM postoji mali *overhead* za korekciju greške, koji zavisi u velikoj meri od osobine pouzdanosti prenosnog sistema i procesnih mogućnosti viših logičkih nivoa sistema krajnjih stanica da detektuju i koriguju greške (viši nivoi OSI modela). Koristeći pakete fiksnih dužina, smanjuje se *processing overhead*. Kao rezultat, ATM je projektovan da radi sa bitskim brzinama od nekoliko desetina do nekoliko stotina Mbps-a, nasuprot *frame-relay* koji radi do 2 Mbps.

ATM se, takodje, može posmatrati kao evolucija i u odnosu na sisteme koji rade sa komutacijom-kola. Kod komutacije-kola, krajnjem korisniku su samo dostupna kola koja rade sa fiksnom-brzinom-prenosa podataka. ATM dozvoljava definiciju većeg broja virtuelnih kanala kod kojih se brzina prenosa podataka dinamički definiše u trenutku kreiranja virtuelnog-kanala. Potpunim korišćenjem, *cells*-ova fiksnog obima, ATM je efikasan u tome što može ponuditi kanale koji rade sa fiksnom brzinom prenosa podataka i pored toga što se u toku prenosa koristi tehnika sa komutacijom-paketa. Drugim rečima, ATM predstavlja proširenje tehnike komutacije-kola jer omogućava prenos većeg broja kanala kod kojih se brzina podataka dinamički, tj. po zahtevu, postavlja.

5.4.3. ISDN i širokopojasni ISDN

Spajanjem novih komunikacijskih i računarskih tehnologija, uzimajući u obzir povećane zahteve u pogledu rada u realnom vremenu koji se tiču prikupljanja informacije, procesiranja, i korektnog

usmeravanja, dovelo je do razvoja integriranih sistema koji prenose i procesiraju sve tipove podataka. Tipičan reprezent ovih trendova razvoja je ISDN (*integrated service digital network*). ISDN je namenjena da bude svetska javna telefonska mreža koja će zameniti postojeće javne telefonske mreže, a nuditi veliki broj raznovrstih usluga. ISDN se definiše standardizovanim korisničkim interfejsima, implementira se kao skup digitalnih komutacija i puteva koji podržavaju širok dijapazon tipova saobraćaja, a obezbeđuje, pored toga, i dodatne usluge koje se tiču procesiranja signala. U praksi postoji veći broj mreža, implementiranih u okviru nacionalnih granica, ali sa tačke gledišta korisnika postoji jedna namera da se one vide kao jedinstvena celina, da budu svima podjednako dostupne, i da predstavljaju jednu svetsku mrežu.

I pored toga što ISDN do ovog trenutka nije dostigao željeni nivo, ipak danas egzistira njegova druga generacija. Prva generacija, često nazivana *narrowband ISDN*, je koristila 64 kbps kanal kao osnovnu jedinica za komutaciju i bila je orijentisana kao sistem koji je koristio tehniku rada sa komutacijom-kola. Kao plod rada na usavršavanju *narrowband ISDN*, razvijena je bila *frame-relay* tehnika prenosa. Druga generacija, naziva se *broadband ISDN*, podržava bitske brzine prenosa od nekoliko stotina Mbps, a karakteriše je tehnika prenosa sa komutacijom-paketa. Osnovni tehnički doprinos *broadband ISDN* predstavlja razvoj ATM-a.