

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

RAČUNALNE MREŽE

ODGOVORI NA TEORIJSKA PITANJA – NESLUŽBENA STUDENTSKA SKRIPTA

REV. 5-10-17



Napomena

Ova skripta sadrži odgovore na teorijska pitanja, kao i dodatna pojašnjenja iz kolegija Računalne mreže smjera računarstva na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu. Materijal u skripti preuzet je uglavnom iz literature i prezentacija profesora Julija Ožegovića te je nastao kao svojevrsna nadopuna i korekcija stare studentske skripte. Unatoč tome, moguće su greške u sadržaju. Odgovori u ovoj skripti ne obuhvaćaju samo ono što je potrebno napisati u kolokviju/ispitu, već i neka detaljnija objašnjenja i dodatke koji upotpunjavaju tekst kako bi bio razumljiviji. Taj je „višak“ označen svjetlijim fontom (što ne znači da je nebitan). Radi uspješnijeg učenja, preporučljivo je korištenje izvorne literature jer je ova skripta **samo sažetak**.

Naiđete li na greške u sadržaju ili imate određene primjedbe ili savjete za poboljšanje sadržaja, slobodno se javite na glisoc@gmail.com. Ukoliko u budućnosti dođe do značajnijih promjena sadržaja kolegija, odnosno pitanja, javite se za izvornu verziju skripte koju tada možete urediti i izmijeniti prema potrebama.

Sretno!

*Sastavio: **Glitorije Čupković***

*Ispravci i nadopune: **Karlo Mardešić, Mirna Markotić***

*Zahvala kolegama: **Rato Kuzmanić, Toni Beović***

Split, siječanj 2016.

Sadržaj

Napomena.....	1
1. RAZVOJ PRIJENOSA PODATAKA.....	5
1.1. Razvoj telekomunikacijskih sustava.....	5
1.2. Informacijski volumen i prijenos podataka.....	5
1.3. Telegrafske mreže	7
2. RAZVOJ TERMINALSKIH MREŽA.....	8
2.1. Razvoj centralnih računala.....	8
2.2. Terminalske mreže	8
3. RAZVOJ MREŽNIH ARHITEKTURA	10
3.1. Privatne arhitekture	10
3.2. Javne arhitekture i ARPANET	10
3.3. Internet i ISO/OSI arhitektura.....	11
4. OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA	13
4.1. Svojstva i sistematizacija mreža prema elementima i topologiji	13
4.2. Sistematizacija mreža prema uslugama, vlasništvu i području.....	14
4.3. Prospajanje kanala.....	15
4.4. Prospajanje poruka.....	15
4.5. Prospajanje paketa i ćelija	16
5. ELEMENTI RAČUNALNIH MREŽA	17
5.1. Kanali računalnih mreža	17
5.2. Osnovni i izvedeni kanali	17
5.3. Karakteristike kanala	18
5.4. Čvorišta i terminali računalnih mreža	19
6. SLOJEVITI HIJERARHIJSKI SUSTAVI.....	20
6.1. Koncept razine, protokola i sučelja.....	20
6.2. Koncept zaglavlja i umetanje	20
6.3. Jedinica informacije i fragmentacija	21
6.4. Referentna ISO/OSI arhitektura.....	22
7. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI	23
7.1. Svojstva protokola	23
7.2. Adresiranje	23
7.3. Sinkronizacija	24
8. KONTROLA POGRIJEŠKI	26
8.1. Organizacija kontrole pogriješki	26
8.2. Spojevni i bespojni protokoli	26
8.3. Vrste potvrda i algoritmi retransmisije.....	27
8.4. Kontrola pogriješki po razinama.....	28
9. KONTROLA ZAGUŠENJA.....	29

9.1.	Zagušenje i kontrola zagušenja.....	29
9.2.	Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja	29
9.3.	Vrste zagušenja.....	30
9.4.	Kakvoća usluge i kontrola zagušenja	30
10.	KONTROLA TOKA.....	32
10.1.	Optimalna radna točka sustava.....	32
10.2.	Modeliranje sustavima s posluživanjem	33
10.3.	Funkcije čvorišta i terminala mreže.....	34
10.4.	Detekcija i dojava zagušenja	35
10.5.	Mjerenje i filtriranje parametara	35
10.6.	Algoritmi predajnika.....	36
11.	SUČELJE DTE-DCE	38
11.1.	Fizička razina i sučelje DTE-DCE.....	38
11.2.	Standardi i mehaničke karakteristike sučelja	38
11.3.	Električne karakteristike sučelja	39
11.4.	Funkcionalne karakteristike sučelja	40
11.5.	Kontrola toka na sučelju DTE-DCE.....	41
12.	KANALI FIZIČKE RAZINE	42
12.1.	Prijenos podataka telefonskim kanalom	42
12.2.	Inteligentni modemi.....	43
12.3.	Upravljanje inteligentnim modemom	44
12.4.	Signalni kodovi	44
13.	LOKALNE MREŽE – ETHERNET.....	46
13.1.	Lokalne računalne mreže	46
13.2.	Lokalna mreža Ethernet općenito	46
13.3.	Tehnička svojstva Etherneteta	47
13.4.	Kontrola medija Etherneteta	48
14.	BEŽIČNE LOKALNE MREŽE.....	50
14.1.	Opća svojstva bežičnih lokalnih mreža.....	50
14.2.	Upravljanje bežičnim mrežama	51
14.3.	Kontrola medija bežičnih lokalnih mreža	51
15.	DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE	53
15.1.	Uskopojasni ISDN	53
15.2.	xDSL mreže	54
15.3.	Tehnologija xDSL mreža	54
15.4.	ATM na fizičkoj razini	55
15.5.	Gradske mreže – MAN	56
16.	KODOVI ZA OTKRIVANJE POGRJEŠKI	57
16.1.	Podatkovna razina i redundantni kodovi	57
16.2.	Sistematski blok kodovi s paritetnim ispitivanjem	58

16.3.	Kodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem	58
16.4.	Dekodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem	59
17.	CIKLIČKI KODOVI	61
17.1.	Svojstva cikličkih kodova	61
17.2.	Kodiranje i dekodiranje cikličkih kodova	62
17.3.	Sklopovlje cikličkih kodova	63
18.	ZNAKOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI	65
18.1.	Opća svojstva znakovnih protokola	65
18.2.	Znakovni protokoli po ISO 1745	66
18.3.	Dijagrami stanja ZO protokola	67
18.4.	Znakovno orijentirani protokoli u praksi	68
18.5.	PPP protokol Interneta	68
18.6.	Protokoli za prijenos datoteka	69
19.	BITOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI	70
19.1.	Opća svojstva BO protokola	70
19.2.	HDLC BO protokoli po ISO 3309	70
19.3.	HDLC BO protokoli po ISO 4335	71
19.4.	Mehanizmi HDLC protokola	71
19.5.	HDLC protokol u NRM načinu	72
19.6.	HDLC protokol u ARM načinu	73
20.	PRIMJENA BITOVNO ORIJENTIRANIH PROTOKOLA	74
20.1.	LAP-B	74
20.2.	LAP-M	75
20.3.	Mreže za prijenos okvira (Frame Relay)	75
21.	LOKALNE MREŽE NA PODATKOVNOJ RAZINI	77
21.1.	Organizacija podatkovne razine lokalnih mreža	77
21.2.	Protokol podrazine 2.2	77
21.3.	ATM tehnologija na podatkovnoj razini	78
21.4.	Primjena ATM tehnologije na lokalnim mrežama	79
22.	LOKALNE MREŽE ETHERNET	80
22.1.	Osnovna svojstva MAC podrazine Etherneta	80
22.2.	Problemi standardizacije Etherneta	80
22.3.	Varijante okvira Etherneta	81
23.	LOKALNE MREŽE – WLAN	82
23.1.	Osnovna svojstva MAC podrazine WLAN	82
23.2.	MAC okvir WLAN	82
24.	SVOJSTVA MREŽNE RAZINE	84
24.1.	Opća svojstva mrežne razine	84
24.2.	Algoritmi usmjeravanja	84
24.3.	Algoritmi izbora smjera	85

25.	MREŽNA RAZINA INTERNETA	86
25.1.	Protokoli mrežne razine Interneta	86
25.2.	Adresiranje na Internetu	87
25.3.	IP adresiranje na lokalnoj mreži	87
25.4.	Privatne mreže – intranet	88
26.	USMJERAVANJE PROMETA NA INTERNETU	89
26.1.	IP adresiranje na globalnom Internetu.....	89
26.2.	Usmjeravajući protokoli Interneta	89
27.	SVOJSTVA PRIJENOSNE RAZINE.....	91
27.1.	Opća svojstva prijenosne razine.....	91
27.2.	UDP protokol Interneta	91
27.3.	TCP protokol Interneta	92
28.	MEHANIZMI TCP PROTOKOLA	93
28.1.	Uspostava TCP veze.....	93
28.2.	Kontrola pogreški TCP protokola.....	94
28.3.	Organizacija kontrole toka TCP protokola.....	94
28.4.	Napredni algoritmi kontrole toka TCP protokola	95
29.	SUSTAVI S POSLUŽIVANJEM	96
29.1.	Modeli sustava s posluživanjem.....	96
29.2.	Stohastički procesi.....	97
29.3.	Ostali sustavi s posluživanjem	97
30.	M/M/1 SUSTAV S POSLUŽIVANJEM	99
30.1.	Poissonov proces.....	99
30.2.	Markovljevi procesi – lanci	99
30.3.	Svojstva M/M/1 sustava.....	101
	POPIS KRATICA	103

1. RAZVOJ PRIJENOSA PODATAKA

1.1. Razvoj telekomunikacijskih sustava

- ❖ *Telegraf, telefon, telefonske mreže*
- ❖ *Povezivanje telefonskih centrala*
- ❖ *Standardni telefonski kanal, prospajanje*
- ❖ *Značaj telefonskih mreža*

Telegraf je izumljen u prvoj polovici 19. stoljeća. Podaci su prenošeni jednožilnim vodovima u obliku dužih i kraćih strujnih impulsa pri čemu se zemlja koristila kao povratni vodič. Od tih impulsa formirani su znakovi Morse-ovog kôda.

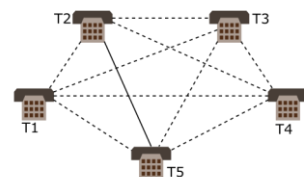
Telefon je nastao u drugoj polovici 19. stoljeća. Karakterizira ga pretvorba zvučnog signala u električni (mikrofon) i električnog u zvučni (slušalica). Zbog jednostavnosti je ušao u masovnu upotrebu.

Razlikujemo dvije vrste **telefonskih mreža**. Prva je bila mreža „**svatko sa svakim**“ (Slika 1.1). Ona je brzo napuštena zbog neekonomičnosti (ako imamo n korisnika potrebno nam je čak $\frac{n(n-1)}{2}$ kanala). Umjesto toga, danas se telefonske mreže realiziraju kao mreže s **prospajanjem kanala** (Slika 1.2) kod kojih je svaki korisnik povezan na telefonsku centralu, a veza se uspostavlja na njegov zahtjev.

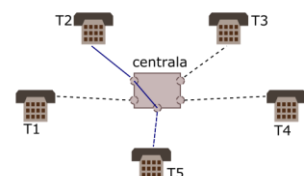
Međusobno **povezivanje telefonskih centrala** ostvaruje se stablastim (hijerarhijskim zvjezdastim) mrežama. Broj kanala, tj. potrebni kapacitet, određuje se kao kompromis između cijene usluge i potreba korisnika u periodima najvećeg prometa.

Kod **standardnog telefonskog kanala** (fizičkog voda telefonske mreže) za trajanja razgovora koristi se samo jedan kanal. Uspostavu tog komunikacijskog kanala između korisnika nazivamo **prospajanje**. U početku se ono obavljalo ručno, no s vremenom su se razvile automatske telefonske centrale.

Telefonska mreža **značajna** je zbog toga što omogućava gotovo trenutnu komunikaciju između dvaju korisnika u bilo kojim dijelovima svijeta.



Slika 1.1 Mreža „svatko sa svakim“

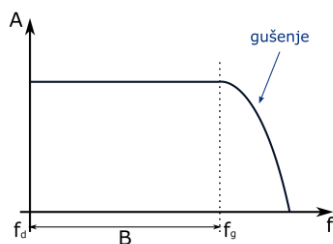
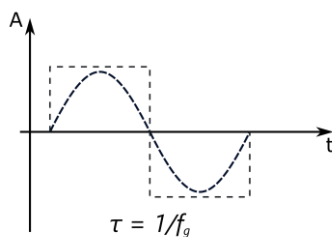
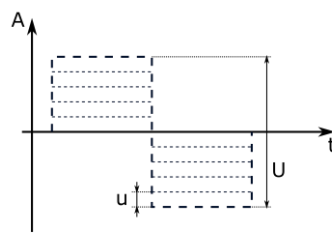


Slika 1.2 Mreža s prospajanjem

1.2. Informacijski volumen i prijenos podataka

- ❖ *Sustav s niskim propustom, broj razina*
- ❖ *Brzina prijenosa (kapacitet)*
- ❖ *Paralelni i serijski prijenos*
- ❖ *Izvedeni kanali*

Sustav s niskim propustom (*low pass filter*) je sustav sa širinom pojasa $B = f_g - f_d = f_g - 0 = f_g$ (Slika 1.3). U jednom periodu signala f_g prenesu se dva signalna elementa (Slika 1.4), što znači da imamo $2B$ signalnih elemenata u sekundi.


Slika 1.3 Sustav sa širinom pojasa $B = f_g$

Slika 1.4 Period signala f_g


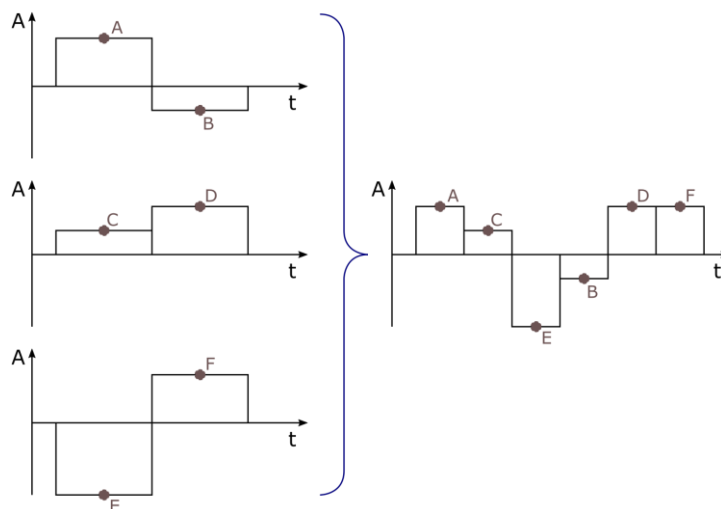
Slika 1.5 Određivanje broja razina signala

Ukupni raspon signala U , koji je određen dogovorom, dijelimo na razine ovisno o minimalnom signalu u , koji je ograničen smetnjama. **Broj razina** iznosi $R = \frac{U}{u}$ (Slika 1.5). Po dogovoru dinamika, tj. broj bita po signalnom elementu, iznosi $D = \log_2 R$.

Brzinu obrade, prijenosa i pristupa podacima u sustavu izražavamo **kapacitetom** sustava koji iznosi $C = 2B \cdot D$ i izražava se u bitovima po sekundi.

Informacijski volumen izražavamo kao $V = 2BDTK$, gdje je:

- 2B – dvostruka širina pojasa,
- D – dinamika,
- T – period raspoloživosti sustava,
- K – broj paralelnih informacijskih sustava.

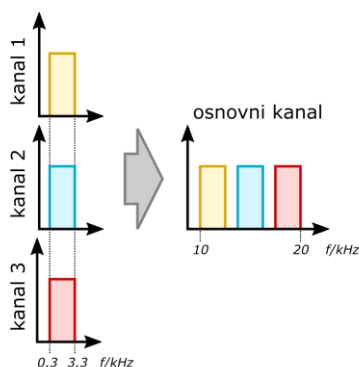


Slika 1.6 Usporedba paralelnog i serijskog prijenosa

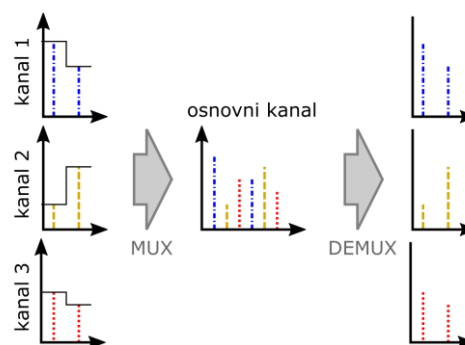
Prijenos informacije možemo vršiti **paralelno** ili **serijski**. Količinu podataka koju paralelno prenosimo kroz k kanala možemo serijski (kroz jedan kanal) prenijeti k puta većom brzinom, kao što je prikazano na Slika 1.6.

Osnovni kanal može se podijeliti na više **izvedenih kanala** na dva načina:

- Podjelom frekvencije (FDM) – frekvencijski opseg osnovnog kanala podijeli se na manje dijelove koji se pridružuju izvedenim kanalima (Slika 1.7).
- Podjelom vremena (TDM) – korisnici naizmjenice koriste osnovni kanal (Slika 1.8). Uglavnom se koristi kod digitalnih sustava.



Slika 1.7 Frekvencijska podjela osnovnog kanala

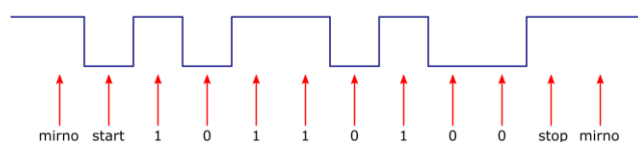


Slika 1.8 Primjer vremenske podjele

1.3. Telegrafske mreže

- ❖ Problem kodiranja, koncentrirani i redundantni kod
- ❖ Problem prijenosa, asinkroni serijski prijenos
- ❖ Teleks mreža i mreža s prospajanjem poruka
- ❖ Kodiranje znakova

Kod paralelnog nekodiranog prijenosa za prijenos 26 znakova potrebno nam je 26 vodova, što je nepraktično jer s toliko vodova možemo kodirati 2^{26} kodnih riječi, a nama je potrebno samo 26 kodnih riječi (imamo veliku **redundanciju**). Stoga nam je učinkovitije koristiti **koncentrirani kôd**, kod kojega nam je dovoljno pet vodova jer ćemo svaki od 26 simbola predstaviti kodnom riječi duljine 5 bitova (zato što je $2^5 = 32$, što je prva potencija broja 2 veća od 26). Kako s 5 bitova možemo kodirati 32 simbola, preostalih 6 kodnih riječi je redundantno.



Slika 1.9 Asinkroni serijski prijenos

Prevođenjem paralelnog na serijski prijenos došlo je do problema. Kod serijskog prijenosa, zbog korištenja samo jednog voda, nužna je sinkronizacija predajnog i prijemnog uređaja. Stoga je uveden pokretačko-zaustavni sustav za **asinkroni serijski prijenos** kod kojega prije kodne riječi šaljem pokretački impuls (startni bit), a nakon nje zaustavni (Slika 1.9). Mirovanje je u jedinici.

U prvoj polovici 20. stoljeća razvile su se javne telegrafske (**teleks**) mreže kod kojih se prospajanje obavljalo posredstvom telegrafskih centrala. Postoje dva standarda za **kodiranje znakova** kod teleks mreža, a to su europski (5 bitni) brzine 50 b/s i američki (7 bitni) brzine 110 b/s. Američki standard (ASCII) danas se masovno koristi.

Uskoro je došlo do razvoja telegrafskih centrala s memorijom koje su omogućile slanje telegrama iako je primatelj zauzet. Time je ostvarena **mreža s prospajanjem poruka** koja je po potrebi obavljala prevođenje s američkog na europski standard i obrnuto.

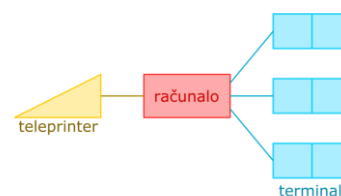
2. RAZVOJ TERMINALSKIH MREŽA

2.1. Razvoj centralnih računala

- ❖ *Upravljanje konzolom i terminalom*
- ❖ *Lokalni i daljinski unos poslova (RJE)*
- ❖ *Lokalni i daljinski interaktivni rad*

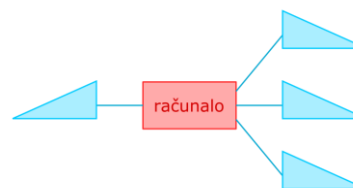
Prva digitalna računala komunicirala su s operaterom preko **konzole** sa žaruljama i sklopkama. Osim konzole, ta su računala imala čitač bušenih kartica kao ulaz za programe i podatke te linijski pisač za ispis rezultata. Čitač i pisač formiraju **terminal** za unos zadaća (JE – *Job Entry terminal*). Ubrzo je konzola zamijenjena teleprinterom pa je tako nastala prva mreža – računalno s jednim terminalom.

Takva prva računala mogla su obrađivati samo jedan po jedan program, što znači da su korisnici unosili podatke na bušenim karticama jedan po jedan i čekali obradu. Takav rad nazivamo **grupnom obradom** (*batch processing*). Razvojem diskova omogućeno je da se podaci i programi spremaju. Uskoro su ulazno-izlazne jedinice udaljene od računala, čime je ostvarena **daljinska grupna obrada** (*remote batch processing*). Na računalu se moglo priključiti više terminala (Slika 2.1) za daljinski unos zadaća (RJE – *Remote Job Entry terminal*).



Slika 2.1 Računalo s RJE terminalima

Uvođenjem **interaktivnog načina rada**, kod kojeg računalu u podjeli vremena prividno obavlja više zadaća istovremeno, svaki korisnik je imao dojam da računalu služi samo njemu. Korisnici s računalom komuniciraju posredstvom interaktivnih terminala povezanih u tzv. terminalske mreže (Slika 2.2). U takvim mrežama terminali su priključeni **lokalno**, unutar zgrade u kojoj je smješteno računalu, ili **daljinski**, posredstvom određene telekomunikacijske mreže.



Slika 2.2 Računalo s terminalske mrežom

2.2. Terminalske mreže

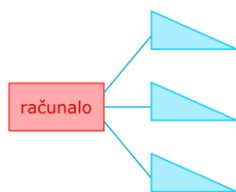
- ❖ *Korištenje telefonskih kanala*
- ❖ *Povezivanje više terminala*
- ❖ *Prijenos podataka telefonskim kanalom*
- ❖ *Definirati jednospojno povezivanje i rad terminala*
- ❖ *Definirati višespojno povezivanje i rad terminala*

Pojavom ekranskih (CRT) terminala premašeni su kapaciteti teleks mreže te ona više nije bila dovoljna za prijenos podataka. Umjesto nje, korišteni su stalni (iznajmljeni) telefonski kanali opremljeni modemima. Radi smanjenja troškova nastojalo se **povezati više terminala** na isti telefonski kanal.

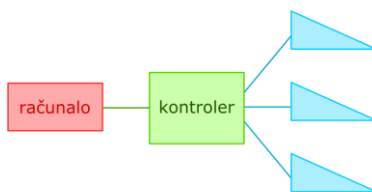
Za učinkovit rad ekranskog terminala potreban je cijeli kapacitet **telefonskog kanala**. Pri tome, kod interaktivnog rada, terminali veći dio vremena miruju, što znači da se periodi intenzivne aktivnosti

izmjenjuju s dugačkim periodima neaktivnosti. Stoga je najoptimalniji način **prijenosa podataka** upotrebom koncepta statističkog multipleksiranja (TDM, slika 1.8), tako da za vrijeme neaktivnosti jednog terminala, neki drugi terminal može koristiti kapacitet kanala. U svezi s tim pojavila su se dva koncepta povezivanja.

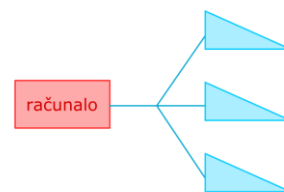
Prvi je koncept **jednospojnog povezivanja**, kod kojeg je svaki terminal povezan vlastitim vodom na računalo (lokalno povezivanje, Slika 2.3) ili na komunikacijski procesor (daljinsko povezivanje, Slika 2.4). Komunikacijski procesor prihvata podatke s terminala znak po znak (*character oriented*), oblikuje ih u poruke terminala i šalje računalu koristeći jedan telefonski kanal. Takvi terminali nazivaju se znakovni ili, zbog jednostavnog načina rada, neinteligentni terminali.



Slika 2.3 Izravno jednospojno povezivanje



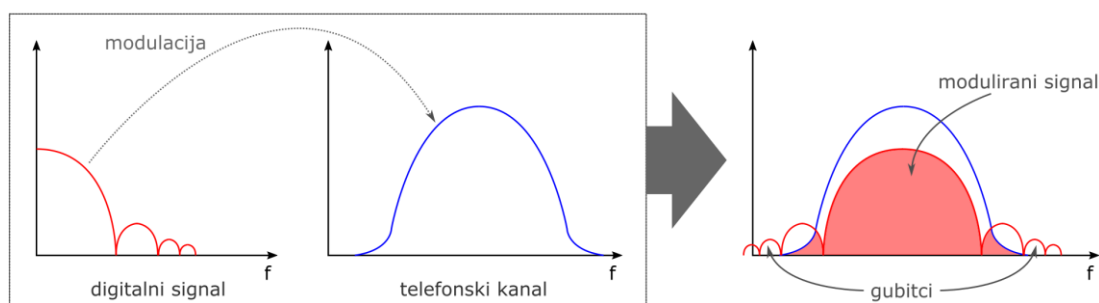
Slika 2.4 Jednospojno povezivanje preko kontrolera



Slika 2.5 Višespojno povezivanje

S druge strane, kod koncepta **višespojnog povezivanja** imamo više terminala spojenih na isti kanal (Slika 2.5). Terminali kod višespojnog povezivanja poruke operatera formiraju lokalno, a računalu ih šalju u obliku bloka (*block oriented*). Svaka poruka nosi identifikacijsku oznaku s kojeg je terminala došla. Takvi terminali nazivaju se blok orijentirani ili inteligentni terminali, jer raspolažu složenim funkcijama lokalne pripreme podataka i samostalno pristupaju mediju.

Kod korištenja telefonskih kanala za prijenos podataka, digitalni je signal potrebno određenim modulacijskim postupkom prevesti u analogni signal čiji frekvencijski spektar odgovara propusnom opsegu telefonskog kanala (Slika 2.6). Na strani prijemnika tada treba uraditi obrnutu konverziju (demodulaciju). U tu svrhu korišten je uređaj koji se sastoji od modulatora i demodulatora (MODEM).



Slika 2.6 Modulacija digitalnog signala u telefonski kanal

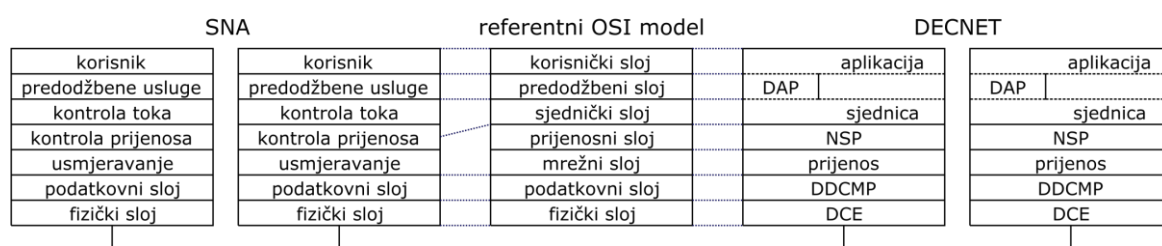
3. RAZVOJ MREŽNIH ARHITEKTURA

3.1. Privatne arhitekture

- ❖ *Motivacija*
- ❖ *Zatvorenost*
- ❖ *Najpoznatije arhitekture*

Zbog rasta količine podataka došlo je do **potrebe za povećanjem kapaciteta računalnog sustava**, što je postalo ekonomski neisplativo. Stoga je došlo do distribucije kapaciteta obrade umrežavanjem manjih računala. Te su mreže bile u privatnom vlasništvu i bile su **zatvorene**, što znači da su bile međusobno nekompatibilne. Imale su primitivne sigurnosne mehanizme i pristup im je bio ograničen.

Sedamdesetih godina 20. stoljeća pojedini proizvođači računala i vladine organizacije razvijaju vlastite **arhitekture računalnih mreža** (Slika 3.1). Među njima su značajni IBM-ov SNA (*System Network Architecture*), DEC-ov DECNET (*Digital Equipment Corporation Network*) i DARPA-in ARPANET (*Advanced Research Project Agency Network*) kao preteča Interneta.



Slika 3.1 Usporedba SNA i DECNET arhitektura s današnjom OSI arhitekturom

3.2. Javne arhitekture i ARPANET

- ❖ *Javne mreže s prospajanjem kanala*
- ❖ *Javne mreže s prospajanjem paketa*
- ❖ *Razvoj IDN-ISDN-ATM*
- ❖ *Razvoj BBS-ISP*
- ❖ *Osnovna arhitektura ARPANET-a*

Prve javne mreže su bile **mreže s prospajanjem kanala** za sinkroni i asinkroni prijenos podataka po preporukama X.20 i X.21 i **mreže s prospajanjem paketa** po preporuci X.25, od kojih se jedan dio razvija prema *frame-relay* mrežama.

Digitalizacijom kanala i centrala telefonske mreže razvila se integrirana digitalna mreža **IDN** (*Integrated Digital Network*), iz koje je nastala digitalna mreža integriranih usluga **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*).

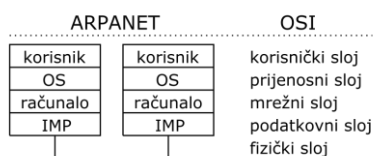
ISDN mreža na bazi komutiranih kanala kapaciteta 64 kb/s nije bila dovoljna za potrebe prijenosa podataka, pa je krenuo pokušaj razvoja širokopojasne **B-ISDN** (*Broadband ISDN*) mreže s komutacijom kanala varijabilnog kapaciteta $N * 64$ kb/s. Taj koncept je bio neučinkovit, stoga se prešlo na **ATM**

(*Asynchronous Transfer Mode*) mreže kojima se prenose kratki paketi (ćelije) dužine 53 okteta (5 okteta zaglavlja i 48 okteta podataka).

Pojavili su se i sustavi za prijenos poruka – **BBS** (*Bulletin Board System*) s poslužiteljsko-korisničkim načinom rada kod kojeg su se terminali povezivali modemima na telefonsku mrežu. BBS je nudio usluge elektroničke pošte, diskusije, razmjene softvera i sl., ali je pojavom Interneta izgubio na popularnosti.

Razvile su se i javne terminalske mreže (npr. AOL i *CompuServe*) koje su nekad bile veliki BBS sustavi. Danas su to mreže za pristup Internetu (**ISP** - *Internet Service Provider*).

Preteča današnjeg Interneta bio je **ARPANET**, mreža sa strukturom prikazanom na Slika 3.2.



Slika 3.2 Arhitektura ARPA mreže

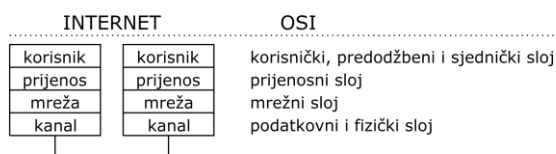
Kod ARPA mreže korisnik je program ili proces koji se izvršava na računalu. Da bi se posao mogao odvijati na udaljenom računalu i da bi se održala veza između računala, koriste se usluge operacijskog sustava (OS), nadograđenog mrežnim kontrolnim programom. Radna računala spojena su na mrežna preko čvornih računala (IMP).

3.3. Internet i ISO/OSI arhitektura

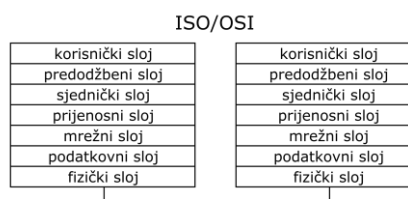
- ❖ Osnovna arhitektura Interneta
- ❖ ISO/OSI model
- ❖ Usporedba ISO/OSI s Internet arhitekturom
- ❖ Funkcije razina

Internet (Slika 3.3) je jedina globalna javna mreža za prijenos podataka s prospajanjem paketa. Na mrežnoj razini Interneta koristi se IP (*Internet Protocol*) protokol da bi paket stigao od jednog do drugog kraja mreže, dok se na prijenosnoj razini koristi TCP ili UDP protokol, koji omogućavaju da paket stigne od korisnika do korisnika.

ISO/OSI (*Open System Interconnection*) arhitekturu (Slika 3.4) standardizirala je Međunarodna organizacija za standarde ISO (*International Standardization Organization*).



Slika 3.3 Osnovna arhitektura Internet mreže u odnosu na ISO/OSI arhitekturu



Slika 3.4 Referentna ISO/OSI arhitektura

Internet arhitektura **razlikuje** se od ISO/OSI arhitekture samo u sjedničkom sloju koji je kod Interneta dio prijenosnog sloja. Zbog toga se jednom vezom (npr. TCP protokola) prenosi samo jedan cjeloviti dokument korisnika.

Osim toga, korisnička razina je integrirana s predodžbenom i pruža usluge interaktivnog dohвата podataka (Web, Email, FTP, Telnet, ...).

ISO/OSI model sastoji se od **sedam razina**:

- Korisnički sloj – ishodište i odredište svih podataka koji se razmjenjuju.
 - Predodžbeni sloj – konvertira informacije s mrežnih formata na korisničke i obrnuto.
 - Sjednički sloj – ako ima više korisnika, osigurava vezu među procesima, nadzire razmjenu podataka te osigurava sinkronizaciju podatkovnih operacija među njima.
 - Prijenosni sloj – osigurava vezu među korisnicima.
 - Mrežni sloj – osigurava prijenos podataka s kraja na kraj mreže.
 - Podatkovni sloj – upravlja fizičkim i brine se o prijenosu od točke do točke unutar mreže.
 - Fizički sloj – sadrži kanale za prijenos podataka.
-

4. OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA

4.1. Svojstva i sistematizacija mreža prema elementima i topologiji

- ❖ *Svojstva računalnih mreža*
- ❖ *Mreže prema elementima*
- ❖ *Mreže prema topologiji*

Računalne mreže imaju sljedeća **svojstva**:

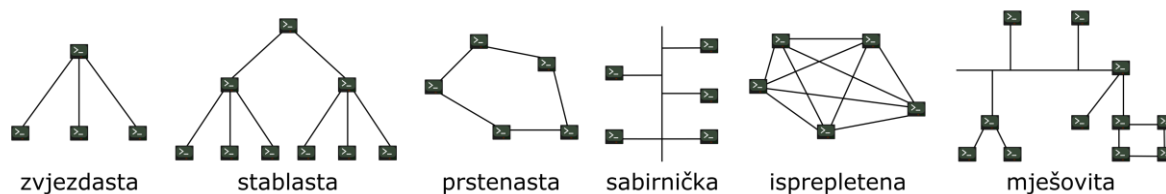
- Otvorenost – podrazumijeva javnost specifikacija kako bi različiti proizvođači mogli ponuditi kompatibilnu opremu.
- Generalnost – omogućava povezivanje raznorodnih sustava.
- Ekonomičnost – omjer iskoristivosti i kvalitete.
- Modularnost – mogućnost naknadnog uključivanja nekih sustava.
- Fleksibilnost – mogućnost promjene načina povezivanja u toku rada same mreže.
- Elastičnost – mogućnost povezivanja s drugim mrežama.
- Adaptivnost – upravljivost i mogućnost povezivanja opreme različitih proizvođača.
- Transparentnost – postoji jedinstvena tehnologija koja povezuje sve korisnike na mreži.
- Integralnost – integracija usluga.

Prema elementima razlikujemo sljedeće mreže:

- Mreže terminala – osiguravaju vezu centralnog računala i njegovih terminala. Sva se obrada odvija na računalu, dok terminal služi samo za interakciju s operaterom.
- Mreže računala – čvorovi su računala koja primaju poruke i usmjeravaju ih na odredište. Svako računalo može uz sebe imati mrežu terminala.
- Umrežena osobna računala – radni proces odvija se kod korisnika koji mrežu (Internet) koristi za razmjenu radnih podataka, održavanje aplikacija i sl.
- Računarstvo u oblaku – podrazumijeva umrežavanje svih korisnikovih računala koja mogu biti i mobilna, tako da radna okolina prati korisnika. Zato se kod ovih mreža radni podaci spremaju na mrežu, tj. „u oblak“, koja često pruža i usluge infrastrukture, platforme, aplikacije...

Prema topologiji mreža može biti (Slika 4.1):

- Zvezdasta – sav promet prolazi kroz jedan čvor (glavno računalo). Najveći problem ovakve mreže je mogući kvar tog središnjeg čvora.
- Stablata – zapravo je hijerarhijska mreža više zvezdastih mreža od kojih one niže zovemo podmrežama. Promet može biti ograničen na podmrežu ili se protezati cijelom mrežom.
- Prstenasta – svako računalo spojeno je s dva susjedna pa se u slučaju prekida kanala prijenos podataka može nastaviti u suprotnom smjeru.
- Sabirnička – ostvaruje se višespojnim povezivanjem. Problem je što kod distribuiranog upravljanja postoji mogućnost sudara poruka.
- Isprepletena – svako je računalo spojeno sa svim ostalim računalima. Neekonomična je za mreže s malim prometom, ali može se koristiti kao glavna mreža.
- Mreža mješovite topologije – nastaje kombinacijom prethodnih vrsta mreža.



Slika 4.1 Shematski prikaz mreža prema topologiji

4.2. Sistematizacija mreža prema uslugama, vlasništvu i području

- ❖ Mreže prema načinu korištenja usluga
- ❖ Mreže prema vlasništvu
- ❖ Mreže prema području

Prema načinu korištenja usluga mreže se dijele na:

- Mreže korisnik-poslužitelj – poslužitelj daje uslugu računalo korisnika. Dio poslova obavlja se na korisničkom računalo na kojem se odvija i korisnički program, što smanjuje opterećenje poslužitelja.
- Mreže s ravnopravnim sudionicima (*peer-to-peer*) – svako računalo u mreži istodobno je i korisnik i poslužitelj.
- Mreže s distribuiranom obradom – razvijaju se kao zamjena za velika centralna računala. One mogu biti i dio prethodnih dviju vrsta mreža.

Prema vlasništvu mreže dijelimo na:

- Privatne – korisnik (vlasnik) samostalno upravlja mrežom i koristi je za vlastite potrebe.
- Javne – vlasnik komercijalno pruža uslugu prijenosa podataka drugima.

Prema području mreže dijelimo u tri skupine:

- Lokalne mreže (LAN – *Local Area Network*) – povezuju računala unutar prostorije ili zgrade. Karakterizira ih velika brzina prijenosa i malo kašnjenje, a obično su privatne i koriste vlastite vodove. Najraširenija takva mreža je Ethernet.
- Gradske mreže (MAN – *Metropolitan Area Network*) – povezuju računala na manjem teritoriju. Uglavnom su to javne mreže koje većem broju korisnika omogućuju pristup Internetu. Imaju veće kašnjenje i manji kapacitet od LAN-a.
- Globalne mreže (WAN – *Wide Area Network*) – povezuju računala na velikim udaljenostima. To su javne mreže koje koriste telekomunikacijsku ili Ethernet tehnologiju. Karakterizira ih srednja do velika brzina prijenosa, ali i veliko kašnjenje.

4.3. Prospajanje kanala

- ❖ *Svojstva, uspostava i raskid veze*
- ❖ *Kašnjenje i kvaliteta kanala*

Problem usmjeravanja susreće se s pitanjima kuda i kako. Prospajanje ili komutacija odgovara na pitanje kako, tj. definira način prijenosa podataka s kraja na kraj mreže.

Prospajanje kanala najviše se koristi u telefonskim mrežama. U telefonskim centralama vodovi se povezuju tako da se **uspostavi** cjeloviti komunikacijski kanal s kraja na kraj mreže. Ako je pozvani korisnik zauzet ili je zauzet neki od spojnih putova do njega, veza se neće moći ostvariti, pa pozivatelj mora ponavljati poziv, što dodatno opterećuje centralu. Korisnicima je nakon uspostave na raspolaganju čitav kapacitet kanala i drugi korisnici njime ne mogu raspolagati. Kada korisnici odluče, veza se **raskida**, spojni putovi se oslobađaju pa nove veze mogu koristiti oslobođene kapacitete.

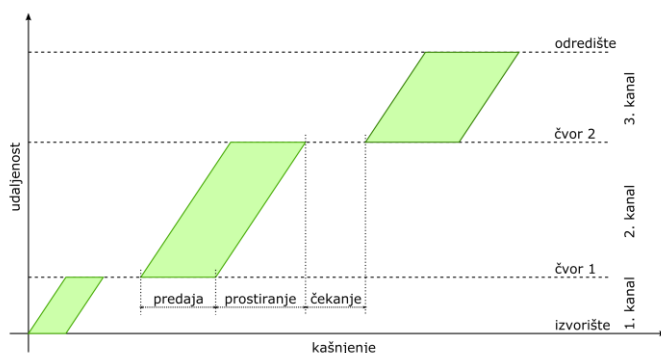
Načelno, **vrijeme kašnjenja** kod prospajanja kanala jednako je vremenu prostiranja (propagacije) na kanalima jer je veza direktna. Kod složenih mreža koje koriste izvedene digitalne kanale postoji i dodatno kašnjenje zbog analogno-digitalne i digitalno-analogne pretvorbe te sinkronizacije među dijelovima mreže. Ukupno kašnjenje kod govornih komunikacija mora biti što manje.

Komutacija kanala **nije pogodna** za prijenos podataka zbog nedovoljne iskorištenosti kapaciteta kanala, ali i zbog dugačke i neizvjesne procedure prospajanja. Pojedini korisnik na jednom priključku može ostvariti samo jednu vezu. Međutim, telefonska mreža s komutacijom kanala može se koristiti za pristup mrežama za prijenos podataka.

4.4. Prospajanje poruka

- ❖ *Svojstva*
- ❖ *Vremensko-prostorni dijagram*
- ❖ *Primjena u prijenosu podataka*

Mreže s prospajanjem poruka primaju poruke kao cjeline u komutacijskim čvorovima gdje se one privremeno pohrane, a zatim šalju do odredišta na osnovu podataka koji se nalaze u zaglavlju poruke. Čvorovi pri primitku poruke provjeravaju ispravnost sadržaja te obavještavaju pošiljatelja o sudbini poruke. Između pošiljatelja i primatelja ne uspostavlja se neposredna veza.



Slika 4.2 Kašnjenje kod mreže s prospajanjem poruka

Problem mreža s prospajanjem poruka je **veliko kašnjenje** (Slika 4.2) zbog čega nisu pogodne za prijenos govora. Kašnjenje se sastoji od vremena predaje, vremena prostiranja na svim spojnim putovima do odredišta te vremena čekanja poruke u čvorovima.

U **prijenosu podataka** mreže s prospajanjem poruka u prednosti su nad mrežama s prospajanjem kanala jer ne postoji potreba za uspostavljanjem fizičkog puta između krajnjih točaka te se kanali koriste optimalno, a poruke čekaju na prijenos. Danas se mreže s prospajanjem poruka ne grade kao samostalne mreže, već se prijenos poruka pruža kao jedna od usluga u mrežama s prospajanjem paketa (npr. elektronička pošta).

4.5. Prospajanje paketa i ćelija

- ❖ *Svojstva*
- ❖ *Usmjeravanje i prosljeđivanje*
- ❖ *Vremensko-prostorni dijagram*
- ❖ *Primjena u prijenosu podataka*
- ❖ *Svojstva prospajanja ćelija (ATM)*

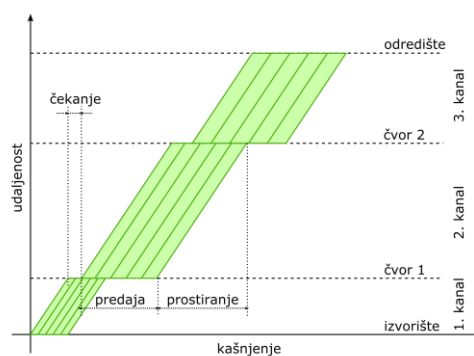
Kod **mreža s prospajanjem paketa** poruke korisnika dijele se na pakete koji se zatim prenose mrežom. Kako bi kašnjenje bilo minimalno, paket u čvoru se prvom prilikom prosljeđuje prema odredištu.

Kako bi čvorovi pravilno obavljali svoju funkciju, moraju postojati određeni algoritmi **usmjeravanja**. Algoritmima usmjeravanja određuje se optimalni put paketa prema odredištu. Ti algoritmi zahtijevaju veliku količinu obrade pa se ne primjenjuju na svaki paket, već stvaraju tablice usmjeravanja na osnovu kojih se pojedinačni paketi prosljeđuju.

Prosljeđivanje paketa moguće je organizirati na dva načina. Prvi je prosljeđivanje pojedinačnih paketa pa svaki paket u svom zaglavlju mora nositi globalnu adresu odredišta. Drugi način je korištenje virtualnog kanala gdje samo prvi paket u zaglavlju nosi adresu odredišta. Prolaskom tog paketa i njegove potvrde kroz mrežu se uspostavlja virtualni kanal kao put kojim se prosljeđuju svi ostali paketi.

Kašnjenje (Slika 4.3) se kod prospajanja paketa sastoji od vremena čekanja, predaje i prostiranja. Prednost je što se ne čeka prijem cijele poruke, već se primljeni paket odmah može slati dalje, što značajno skraćuje vrijeme kašnjenja u odnosu na prospajanje poruka.

Druga prednost je mogućnost podjele kapaciteta mreže pa je zajedničko korištenje kapaciteta kanala pravednije jer se paketi korisnika šalju naizmjenično. Osim toga, kratki paketi su manje osjetljivi na pogreške u prijenosu te je ponovno slanje paketa učinkovitije nego ponovno slanje cijele poruke.



Slika 4.3 Kašnjenje kod mreže s prospajanjem paketa

S ciljem integracije prijenosa govora, multimedijских signala i podataka razvijala se **ATM mreža**. To je mreža s prospajanjem paketa, kod koje se poruke korisnika dijele na male pakete fiksne duljine koji se zovu **ćelije**. Ćelije su dovoljno male (53 okteta) kako bi se **prospajanje** moglo obavljati sklopovljem, što bi smanjilo kašnjenje i omogućilo prijenos govora.

5. ELEMENTI RAČUNALNIH MREŽA

5.1. Kanali računalnih mreža

- ❖ *Vodovi*
- ❖ *Optičke niti*
- ❖ *Elektromagnetska zračenja*

Kanali računalnih mreža međusobno povezuju čvorišta te se dijele na fizičke vodove, optičke niti i elektromagnetska zračenja.

Vodovi su strukture koje se sastoje od dvaju ili više vodiča i izolatora. Primjeri vodova su:

- Parica (UTP) – sastoji se od dva prepletena vodiča. Koristi se za telefonske i lokalne mreže.
- Oklopljena parica (STP, FTP) – sastoji se od dva prepletena vodiča i cilindričnog opleta.
- Koaksijalni kabel – sastoji se od centralnog vodiča i uzemljenog cilindričnog opleta koji smanjuje smetnje. Koristi se kod kabelske televizije i starijih Ethernet mreža.
- Twinax kabel – sastavljen je od dva centralna vodiča i cilindričnog opleta. Koristi se kod prstenastih lokalnih mreža.

Optičke niti su vrsta cilindričnog vodiča koji prenosi svjetlost metodom potpune refleksije. Razlikujemo dvije vrste optičkih vlakana:

- Jednomodno – ima usku jezgru koja minimalizira disperziju pa se svjetlost lomi tako da zadržava koherentnost vala, stoga je doseg signala vrlo velik, ali je cijena visoka.
- Višemodno – omogućava prolaz svjetlosti koja se lomi na više načina. Problem je veće gušenje i manji doseg signala, ali je zato cijena niža.

Kao kanali mogu se koristiti i **elektromagnetska zračenja**. Primjerice:

- Infracrvena zračenja – koriste se za bežično povezivanje unutar jedne prostorije.
- Radio kanali – koriste se za prijenos podataka na područjima gdje nije izgrađena telefonska mreža, za mobilne komunikacije (GSM) i sl.
- Satelitske veze – npr. satelitska telefonija, navigacija, ...

5.2. Osnovni i izvedeni kanali

- ❖ *Osnovni kanali*
- ❖ *Izvedeni kanali*
- ❖ *Načini i uređaji višestrukog korištenja*

Osnovni kanal nastaje potpunim iskorištenjem kapaciteta fizičkog voda ili medija. Pri tome je najčešće obuhvaćena i istosmjerna komponenta spektra pa govorimo o osnovnom frekvencijskom području (*baseband*¹) koje se proteže od 0 do neke granične frekvencije (f_g). Informacijski volumen osnovnog kanala možemo podijeliti na više korisnika izdvajanjem **izvedenih kanala**.

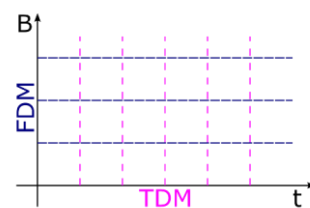
¹ *Baseband signal* je signal kod kojeg FDM nije moguć jer se za prijenos koristi sav kapacitet kanala.

Za **podjelu osnovnog kanala** možemo koristiti podjelu po vremenu (TDM) ili po frekvenciji (FDM). Kod podjele po vremenu, korisnik u nekom periodu koristi cjelokupni kapacitet kanala.

Kod **fiksne podjele po vremenu** točno se zna koji je vremenski odsječak predviđen za kojeg korisnika. Za fiksno multipleksiranje koristi se **obični multiplekser** koji promet s više ulaznih medija prosljeđuje na jedan izlazni tako da je ukupni kapacitet izlaznog medija veći ili jednak zbroju kapaciteta ulaznih ($K \geq \sum_i k_i$). Problem je u tome što je raspoloživo vrijeme izgubljeno ako ga korisnik ne upotrebljava.

Postoji i **statistička podjela po vremenu** kojom se neiskorišteno vrijeme uvijek dodjeljuje nekom korisniku. Primjerice, terminal može koristiti vremenski odsječak nekog drugog terminala koji trenutno nije u uporabi. Kod statističke podjele pristup prijenosnom mediju može biti distribuiran (korisnici se „nadmeću“ za medij) ili centraliziran (vrši se selektiranje korisnika). **Statistički multiplekser** kapacitet izlaznog medija dijeli prema potrebama korisnika, tako da je kapacitet izlaznog medija jednak zbroju kapaciteta ulaznih ($K = \sum_i k_i$). Posebna vrsta statističkog multipleksa je **koncentrator** koji se koristi kod prospajanja kanala i kod kojeg je izlazni kapacitet manji od zbroja ulaznih.

Podjela po frekvenciji (FDM) podrazumijeva podjelu frekvencijskog opsega kanala. Rijetko se koristi jer su uređaji za frekvencijsko multipleksiranje vrlo nefleksibilni. Moguća je i kombinirana podjela korištenjem obaju metoda podjele, i TDM i FDM (Slika 5.1).



Slika 5.1 Kombinirana podjela vremena

5.3. Karakteristike kanala

- ❖ *Kapacitet kanala*
- ❖ *Sinkronizacija*
- ❖ *Smjer prijenosa*

Kapacitet kanala izvodimo iz informacijskog volumena. Kod vodova gušenje raste porastom frekvencije signala zbog povećanja gubitaka u izolaciji. Postoji gornja granična frekvencija na kojoj je prijenos signala još uvijek ekonomičan pa smatramo da se vod ponaša kao niskopropusni filter. Signal propušten kroz niskopropusni filter širine frekvencijskog pojasa B može se potpuno obnoviti ako se načini $2B$ uzoraka u sekundi (Slika 1.3 i slika 1.4), što znači da kanalom širine pojasa B možemo prenijeti $2B$ uzoraka (signalizacijskih simbola).

Kapacitet kanala najčešće se izražava u bitovima u sekundi (b/s), a brzina signalizacije (broj simbola u sekundi) u Baudima (bd). Ako se signal prenosi na R diskretnih razina, vrijedi:

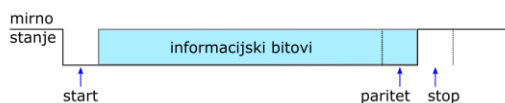
$$k = B^* \cdot \log_2 R$$

Gdje B^* označava brzinu signalizacije. Najveći mogući kapacitet kanala širine pojasa B iznosi $k_{max} = 2B \cdot \log_2 R$.

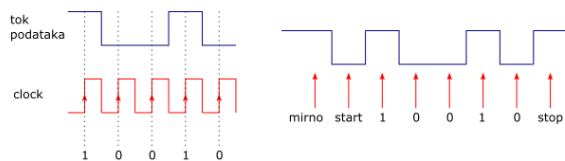
Prepoznavanje početka i kraja prijenosa nekog elementa informacije nazivamo **sinkronizacija**. Sinkronizacija je različita za sinkrone i asinkrone kanale.

Kod **asinkronih kanala** prvo se šalje startni (pokretački) bit, nakon čega ide podatak te na kraju zaustavni (stop) bit (Slika 5.2). Brzina prijenosa mora biti unaprijed dogovorena, ali je zbog kratkoće poruka dopušteno malo odstupanje. Takav način prijenosa istodobno osigurava sinkronizaciju po bitu i po oktetu.

Kod **sinkronih kanala** uz podatke se prenosi i takt signala kojim je definiran trenutak uzorkovanja signalnog elementa (Slika 5.3), ali ne i početak okteta, pa je osigurana samo sinkronizacija po bitu.



Slika 5.2 Asinkroni prijenos



Slika 5.3 Usporedba prijenosa kod sinkronog (lijevo) i asinkronog (desno) kanala na primjeru

Po **smjeru prijenosa** razlikujemo sljedeće vrste kanala:

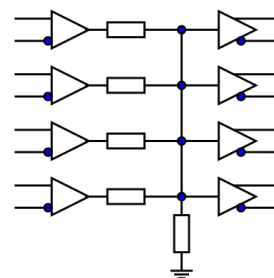
- Dvosmjerni (*full-duplex*) – omogućava istovremeni prijenos podataka u oba smjera.
- Obosmjerni (*half-duplex*) – omogućava slanje u oba smjera, ali ne istovremeno.
- Jednosmjerni (*simplex*) – prijenos je moguć samo u jednom smjeru, a za postizanje dvosmjernog prijenosa mogu se koristiti dva jednosmjerna kanala.

5.4. Čvorišta i terminali računalnih mreža

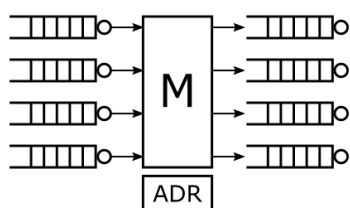
- ❖ Navesti poimenice čvorišta i opisati njihovu funkciju
- ❖ Definirati terminal mreže

Čvorišta razlikujemo prema razini hijerarhijske strukture na kojoj rade i prema broju priključaka.

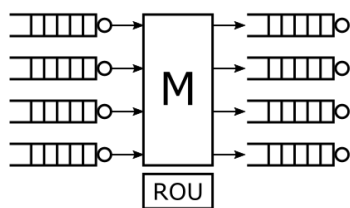
Čvorišta fizičke razine su **obnavljač** (*repeater*) koji ima dva priključka i **zvjezdaste** (*hub*) koje ima više priključaka. Oni samo pojačavaju signal i obavljaju prilagodbu impedancije. Obnavljač povećava doseg mreže, a zvjezdaste povezuje više kablskih segmenata u jednu višespojnu (sabitničku) strukturu tako što zbraja sve ulazne signale, uobliči ih te ih prenese na sve izlaze (Slika 5.4).



Slika 5.4 Shema zvjezdaste



Slika 5.5 Strukturni prikaz prospojnika



Slika 5.6 Strukturni prikaz usmjernika

Prospojnik (*switch*) prima okvir i na osnovu adrese prosljeđuje ga na podatkovnoj razini prema odredištu (Slika 5.5). Funkcija filtriranja sa samoučenjem efikasno dijeli promet na segmente mreže, povećavajući tako propusnost mreže. **Premosnik** (*bridge*) je prospojnik s dva priključka koji odlučuje hoće li prosljediti okvir.

Usmjernik (*router*) je uređaj mrežne razine koji prima pakete pa ih algoritmima usmjeravanja i prosljeđivanja šalje prema odredištu pojedinačno ili virtualnim kanalom (Slika 5.6).

Poveznik (*gateway*) povezuje dvije raznorodne mreže i pri tome obavlja prevođenje protokola mrežne i prijenosne razine.

Pod pojmom **terminal mreže** podrazumijevamo svaki uređaj koji se spaja na mrežu. To mogu biti računala i terminali u užem smislu. Često se i sama računala koriste kao čvorovi pa takva računala istovremeno obavljaju funkciju čvorišta i terminala mreže.

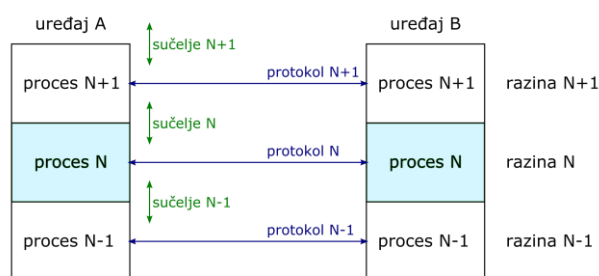
6. SLOJEVITI HIJERARHIJSKI SUSTAVI

6.1. Koncept razine, protokola i sučelja

- ❖ *Motivacija*
- ❖ *Skica hijerarhijskog sustava*
- ❖ *Koncept protokola i koncept sučelja*
- ❖ *Standardizacija*

Moderne mreže imaju **slojevit** **hijerarhijsku strukturu** (Slika 6.1), tj. organizirane su po konceptu razina jer je takva struktura **optimalna** i prirodna kod razvoja, realizacije, standardizacije i korištenja.

Na jednom uređaju mreže obavljaju se funkcije više **razina**. Za svaku od njih pokreće se proces koji komunicira sa susjedima preko sučelja (*interface*). Proces promatrane razine (N) pružaju nadređenoj razini (N+1) uslugu prijenosa podataka, pri čemu koriste uslugu podređene razine (N-1). Svaka razina komunicira preko dva različita sučelja s nadređenom i podređenom razinom.



Slika 6.1 Model hijerarhijskog sustava

Proces razine N uređaja A komunicira s procesom iste razine uređaja B prema pravilima **protokola N**. Ta je komunikacija prividno neposredna jer se zapravo odvija korištenjem usluga podređenih razina. Specifikacija protokola je osnovni način standardizacije komunikacijskih sustava.

Po **konceptu sučelja** komunikacija među procesima susjednih razina istog uređaja odvija se preko sučelja. Kroz sučelje može prolaziti više tokova podataka. Korisnik informacije se identificira mehanizmom pristupnih točaka (SAP – *Service Access Point*). SAP je programski kanal kojim dva procesa u računalu međusobno komuniciraju, pri čemu se korisnik informacije jednoznačno određuje dodjelom identifikacijskog broja kod otvaranja kanala. Identifikacijski brojevi mogu se dodjeljivati dinamički ili biti trajni, tj. standardizirani (npr. portovi na Internetu).

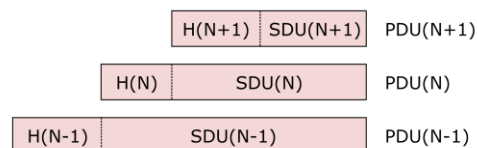
Standardizacija sučelja može biti interna stvar proizvođača. Međutim, danas je većina sučelja javno specificirana kako bi se pri izgradnji sustava mogla koristiti rješenja različitih proizvođača.

6.2. Koncept zaglavlja i umetanje

- ❖ *Definirati zaglavlje*
- ❖ *Definirati PDU i SDU*
- ❖ *Umetanje PDU i SDU na prijemu i predaji*

Proces razine N kod predaje korisnikove informacije (*service data unit*) **SDU(N)** procesu podređene razine toj informaciji dodaje **zaglavlje** $H(N)$. Zaglavlje sadrži informacije potrebne procesu N za obavljanje funkcija razine N. Dodavanjem zaglavlja na SDU(N) generira se jedinica informacije zvana *protocol data unit*, tj. **PDU(N)** kao što je prikazano (Slika 6.2).

Svaka razina u postupku **predaje** uzima preko gornjeg sučelja jedinicu informacije nadređene razine $PDU(N+1)$ kao podatke koje treba prenijeti, što znači da za razinu N informacija $PDU(N+1)$ ima značenje $SDU(N)$. Na $SDU(N)$ se dodaje zaglavlje $H(N)$, čime razina N formira vlastiti PDU, tj. $PDU(N)$ kojega može proslijediti sebi podređenoj razini.



Slika 6.2 Formiranje PDU

U postupku **prijema**, razina N od podređene razine $N-1$ preko donjeg sučelja dobiva $SDU(N-1)$ kao svoj PDU. Od njega odvajanjem zaglavlja $H(N)$ formira $SDU(N)$ i proslijeđuje ga nadređenoj razini za koju $SDU(N)$ ima značenje $PDU(N+1)$.

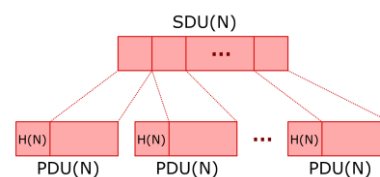
6.3. Jedinica informacije i fragmentacija

- ❖ Jedinice informacije po razinama
- ❖ Fragmentacija, segmentacija i P/S pretvorba
- ❖ Strategija fragmentacije, MSS, MTU

Po razinama razlikujemo sljedeće **jedinice informacije**:

- Bit (binarna znamenka) – najmanja jedinica informacije koja se prenosi na fizičkoj razini.
- Oktet (znak) – najmanja kodna riječ kojom baratamo kao cjelinom.
- Okvir (blok) – osnovni PDU podatkovne razine. Sastoji se od više okteta te je najmanja jedinica informacije koja ima vlastito zaglavlje.
- Paket – PDU mrežne razine. Njime se obavlja promet s kraja na kraj mreže.
- Segment i datagram – osnovni PDU-i prijenosne razine. Segment je dio veće korisnikove poruke, a datagram je kratka, zasebna poruka.
- Poruka korisnika – PDU kojeg formira proces koji koristi komunikaciju. Veće poruke se rastavljaju na segmente što optimalnije kako bi se izbjegla fragmentacija na nižim razinama.

Fragmentacijom (Slika 6.3) se svaki SDU u postupku formiranja PDU-a rastavlja na manje dijelove, tako da od njega formiramo više PDU-a. Pri tome svaki nastali PDU sadrži cjelovito zaglavlje. Fragmentaciju izbjegavamo jer povećava opterećenje čvorišta i otežava detekciju pogreške ili gubitka PDU-a (gubitak jednog fragmenta može značiti gubitak cijelog PDU-a). Ipak, fragmentacija je nužna kod paralelno-serijske pretvorbe na mediju i kod preuzimanja cjelovite poruke korisnika.



Slika 6.3 Fragmentacija korisnikove informacije

Segmentacija podrazumijeva dijeljenje korisnikove poruke na dijelove koji nakon uključivanja zaglavlja svih podređenih razina, mogu proći kroz mrežu bez daljnje fragmentacije. Primjerice, kod Interneta predajnik posebnim protokolom pokušava odrediti maksimalnu duljinu segmenta (MSS).

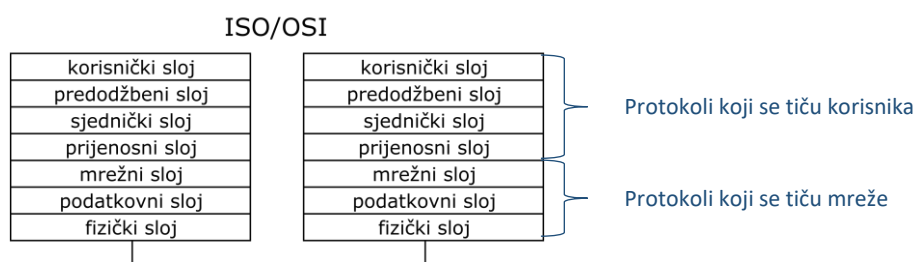
MSS (*Maximum Segment Size*) specificira najveću količinu podataka koju možemo prenijeti u jednom nefragmentiranom dijelu (segmentu).

MTU (*Maximum Transmission Unit*) je veličina najvećeg PDU-a kojeg sloj komunikacijskog protokola može proslijediti.

6.4. Referentna ISO/OSI arhitektura

- ❖ Definicija ISO/OSI arhitekture
- ❖ Opis pojedinih razina
- ❖ Skica čvorišta s obzirom na razine

Kao referentna mrežna struktura koristi se **ISO/OSI model** od 7 razina, prikazan na Slika 6.4.



Slika 6.4 Referentni ISO/OSI model

Fizička razina definira sučelje između računala i medija koji se koristi za prijenos. Specificiraju se električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike kabela, konektora i signala. Za asinkroni prijenos ostvaruje se sinkronizacija po bitu i oktetu, dok se za sinkroni prijenos ostvaruje samo po bitu.

Podatkovna razina neposredno nadzire fizičku razinu tako što upravlja vezom. Ostvaruje se sinkronizacija po oktetu i okviru ili samo po okviru, ovisno o načinu prijenosa.

Mrežna razina obavlja prijenos poruke s kraja na kraj mreže usmjeravanjem i prosljeđivanjem paketa.

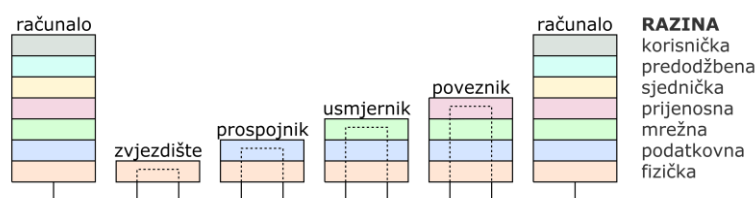
Prijenosna razina osigurava vezu od korisnika do korisnika. Na njoj se obavlja kontrola pogreški i kontrola toka.

Sjednička razina provjerava cjelovitost poruke i isporučuje poruku na pravo odredište unutar računala. Pritom se provjeravaju ovlasti pristupa uslugama.

Predodžbena razina obavlja prevođenje informacija s mrežnih formata na formate koji su standardni na računalu.

Korisnička razina poslužuje korisničke procese i pruža mrežne usluge.

Sada možemo prikazati **čvorišta** mreže s obzirom na razine ISO/OSI modela (Slika 6.5).



Slika 6.5 Skica čvorišta s obzirom na razine referentnog ISO/OSI modela

Zvjezdište i prospojnik povezuju istovrsne mreže na podatkovnoj razini. Usmjernik povezuje istovrsne mreže na mrežnoj razini, ali segmenti podatkovne razine mogu biti različiti. Poveznik povezuje različite mreže i obavlja potrebne pretvorbe protokola.

7. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI

7.1. Svojstva protokola

- ❖ *Definicija komunikacijskog procesa i protokola*
- ❖ *Značaj i provođenje standardizacije*
- ❖ *Vanjska i unutrašnja specifikacija*
- ❖ *Mehanizmi protokola*

Komunikacijski protokol je skup pravila po kojima procesi iste razine razmjenjuju jedinice informacije (PDU-e) koje u svojim zaglavljima sadrže kontrolne informacije potrebne za obavljanje funkcije razine.

Komunikacijski procesi odvijaju se na odvojenim računalima pa je PDU često jedina informacija o korespondentnom procesu na drugom računalu. Kako bi u svakom trenutku mogao pružati usluge prijenosa podataka procesu nadređene razine, komunicirajući proces treba sa što većom točnošću odrediti stanje korespondentnog procesa na osnovu primljenih PDU-a.

Standardizacija protokola nužna je kako bi uređaji različitih proizvođača mogli međusobno komunicirati. Standardizacija je značajna za pravilno funkcioniranje promatrane razine, ali i mreže kao cjeline te se provodi kroz strogo specifikiranje protokola i usvajanje industrijskih ili međunarodnih standarda. Prije donošenja formalnog standarda, nova tehnologija se detaljno ispituje. Standard je podložan naknadnim modifikacijama i usavršavanjima.

Vanjska specifikacija protokola odnosi se na definiranje formata zaglavlja i oblika PDU-a kao cjeline. U zaglavlju se definiraju polja, formati podataka u njima, i njihovo značenje koje mora biti jednoznačno za sve uređaje koji koriste protokol. Ova specifikacija se rijetko naknadno mijenja.

Unutrašnja specifikacija odnosi se na algoritme protokola kojima se obrađuju informacije iz zaglavlja PDU-a i donose odluke o radu procesa. U velikoj se mjeri može naknadno modificirati.

Komunicirajući procesi moraju voditi računa o identifikaciji i ispravnom tumačenju primljenih PDU-a, o radu korespondentnih procesa, pojavi pogreški i usklađivanju brzine rada s mogućnostima korespondentnog procesa, ali i mreže u cjelini. Prema tome razlikujemo četiri osnovna **mehanizma protokola** – adresiranje, sinkronizaciju, kontrolu pogreški i kontrolu toka.

7.2. Adresiranje

- ❖ *Svrha adresiranja, prosljeđivanje*
- ❖ *Objekti i organizacija adresiranja*
- ❖ *Vrste adresa*
- ❖ *Upravljanje adresama*
- ❖ *Adresiranje po razinama*

Adresiranjem se jednoznačno identificira korisnik informacije. U zaglavlju PDU-a se za adresu osigurava polje dovoljne duljine. Duljina adrese mora biti dovoljna za sve korisnike u predviđenom roku upotrebe protokola, ali treba voditi računa i opterećenju komunikacijskog sustava, jer se značajan dio kapaciteta kanala troši na prijenos sadržaja zaglavlja.

Objekti adresiranja mogu biti fizički uređaji ili procesi. Fizičke je uređaje u većini slučajeva dovoljno adresirati na podatkovnoj i mrežnoj razini. Procese, kojima podaci prolaze preko sučelja, identificiramo korištenjem pristupnih točaka (SAP). Procesima mrežne i prijenosne razine dodjeljujemo fiksne pristupne točke koje su dovoljne jer se radi o poznatim procesima. Procese na sjedničkoj i višim razinama iniciraju korisnici pa se koriste dinamičke pristupne točke. Iznimka su poslužiteljski procesi viših razina koji također koriste fiksne pristupne točke.

Organizacija adresiranja može biti:

- Striktna – adresa nadređene razine implicira stvarne adrese svih podređenih razina.
- Distribuirana – ukupnu adresu čine adrese pojedinih razina.

Postoje sljedeće **vrste adresa**:

- Pojedinačna (*unicast*) – PDU je namijenjen samo jednom uređaju ili procesu.
- Grupna (*multicast*) – PDU se šalje predefiniranoj grupi uređaja ili procesa.
- Univerzalna (*broadcast*) – svi uređaji ili procesi primaju PDU. Područje propagacije takve poruke zovemo zona prostiranja.

Da bi bile jednoznačne, adresama treba upravljati. **Upravljanje** (administriranje) može biti:

- Globalno – koristi se na javnim mrežama kojima upravlja ovlašteno tijelo u upravi mreže.
- Lokalno – koristi se kod lokalnih mreža.

Specifičnosti **adresiranja po razinama**:

- Na fizičkoj razini u načelu nema potrebe za adresiranjem.
- Na podatkovnoj razini adresiranje ovisi o načinu povezivanja. Kod jednospojnog povezivanja adresiranje se koristi za uspostavu više logičkih kanala, dok kod višespojnog povezivanja imamo pravi proces adresiranja tako da adresom identificiramo fizički uređaj.
- Na sučelju između podatkovne i mrežne razine potrebna je identifikacija procesa mrežne razine pomoću mehanizma fiksnih pristupnih točaka.
- Na mrežnoj razini postoji jedinstvena globalna adresa korisnika koja omogućuje usmjeravanje paketa prema odredištu.
- Na prijenosnoj razini obavlja se identifikacija prijenosnog protokola korištenjem pristupnih točaka s fiksnim identifikatorima.
- Na sjedničkoj razini vrši se identifikacija procesa korisnika unutar računala korištenjem pristupnih točaka s dinamičkom dodjelom identifikatora.
- Na predodžbenoj i korisničkoj razini adresiranje nije potrebno jer su procesi već identificirani na sjedničkoj razini.

7.3. Sinkronizacija

- ❖ *Svrha sinkronizacije*
- ❖ *Sinkronizacija PDU po razinama*
- ❖ *Sinkronizacija procesa*

Svrha sinkronizacije je usklađeni rad procesa iste razine. Mehanizam sinkronizacije odnosi se na izdvajanje cjelovitih PDU-a iz beskonačnog niza primljenih bitova.

Na **fizičkoj razini** kod sinkronog prijenosa obavlja se sinkronizacija po bitu, a kod asinkronog po bitu i oktetu.

Na **podatkovnoj razini** sinkronizacija također ovisi o načinu prijenosa na fizičkoj razini. Ako je prijenos sinkron, vrši se sinkronizacija po oktetu i okviru, a ako je asinkron, samo po okviru.

Na **mrežnoj razini** imamo sinkronizaciju po paketu ako je paket podijeljen na više okvira podatkovne razine.

Sinkronizacija po segmentu ili datagramu na **prijenosnoj razini** je rijetka jer se najčešće cjeloviti PDU-i prenose jednim paketom mrežne razine.

Na **sjedničkoj razini** obavlja se sinkronizacija po poruci, tj. od primljenih segmenata ili datagrama sastavlja se poruka.

Kod **sinkronizacije rada procesa** imamo dva procesa iste razine koji komuniciraju. Komunicirajući se proces odvija u nejednolikom diskretnom vremenu koje je određeno pristizanjem PDU-a s podređene i SDU-a s nadređene razine. Takav proces može se smatrati automatom jer za obavljanje funkcije razine mora pamtit prethodne događaje. Stoga imamo mogućnost specificiranja protokola dijagramom stanja.

U nekom promatranom trenutku svaki se proces nalazi u nekom stanju. **Par stanja** procesa koji komuniciraju nazivamo stanje veze.

Stanja veze uzrokovana kašnjenjem u međusobnoj komunikaciji ili gubitkom PDU-a su normalna stanja. Svi ostali parovi stanja ne mogu činiti normalno stanje veze, već su rezultat neusklađenog rada korespondentnih procesa. Protokol mora imati sposobnost oporavka od takvih nepoželjnih stanja veze.

8. KONTROLA POGRJEŠKI

8.1. Organizacija kontrole pogreški

- ❖ *Kontrola pogreški prema vrsti informacije*
- ❖ *Zahtjevi kontrole pogreški kod prijenosa podataka*
- ❖ *Organizacija kontrole pogreški kod prijenosa podataka*

Kontrolom pogreški osiguravamo da korisnikova informacija stigne na odredište. **Kontrolu pogreški organiziramo** ovisno o:

- količini redundancije u informaciji,
- dozvoljenom ukupnom kašnjenju,
- dozvoljenom kašnjenju među dijelovima informacije.

Prema tim kriterijima **informacije** možemo svrstati u dvije skupine:

- **Prijenos govora** je skupina koju karakterizira malo ukupno kašnjenje i malo kašnjenje među dijelovima, dok redundancija mora biti velika radi razumljivosti prenesene informacije u slučaju pogreški. U ovom slučaju dovoljna je korekcija samo najčešćih pogreški.
- **Prijenos podataka** zahtijeva apsolutnu točnost prenesene informacije, dok je dozvoljeno nešto veće kašnjenje, varijacije kašnjenja i varijacije brzine prijenosa. Dakle, zahtijeva se korekcija svih pogreški.

Organizacija kontrole pogreški kod prijenosa podataka odvija se u dva koraka. U prvom koraku se pogreška otkriva, a u drugom se veza oporavlja od pogreške.

Otkrivanje pogreški zasniva se na kodovima s korištenjem redundancije i kodne udaljenosti. U zaglavlje se dodaju kontrolni bitovi kako bi se povećao broj mogućih riječi, čime se zapravo povećava broj neiskorištenih kodnih riječi. Tako se povećava vjerojatnost da pogreška ispravnu kodnu riječ pretvori u neiskorištenu umjesto u drugu ispravnu pa će takva grješka biti lako otkrivena.

Nakon detekcije slijedi **oporavak** od pogreške. Kôd za detekciju ne daje nam informaciju gdje je unutar PDU-a nastupila grješka, stoga je najjednostavnije oštećeni PDU odbaciti te ga ponovno poslati. Mehanizam ponovnog slanja naziva se retransmisija.

8.2. Spojevni i bespojni protokoli

- ❖ *Definirati funkciju kontrole pogreški*
- ❖ *Definirati karakteristike bespojnih protokola*
- ❖ *Definirati karakteristike spojevnih protokola*
- ❖ *Identifikacija PDU-a i posljedice*

Kontrola pogreški koristi se kako bi informacija stigla do odredišta cjelovita i neoštećena. Kontrola pogreški obuhvaća detekciju i oporavak od pogreški pri prijenosu informacija. Na osnovu mehanizma kontrole pogreški razlikujemo dvije vrste protokola – bespojne i spojevne.

Bespojni protokoli (*connectionless*) ne sadrže mehanizme oporavka od pogreške, već samo detektiraju pogrešku i odbacuju oštećeni PDU. Kod takvih protokola (npr. IP) gubitak PDU-a ne izaziva nikakvu reakciju, stoga cjelovitost korisnikove poruke osigurava neki od protokola nadređenih razina.

Spojivni protokoli (*connection oriented*) osim detekcije sadrže i mehanizme oporavka od pogreške (numeraciju, detekciju izostanka i retransmisiju PDU-a). Kod takvih protokola (npr. TCP) procesi na početku prijenosa podataka moraju uskladiti početnu numeraciju PDU-a (uspostaviti logički kanal).

Da bi proces razine mogao detektirati gubitak PDU-a, potrebno je pojedine PDU-e identificirati.

Identifikacija se vrši numeracijom PDU-a, tj. brojčanim oznakama za koje se u zaglavlju rezerviraju polja u kojima se šalje redni broj PDU-a. Radi uštede, numeracija se obavlja po modulu koji je određen veličinom polja. Da ne bi došlo do miješanja PDU-a, predajnik na mrežu ne smije poslati dva PDU-a s istom numeracijom, tj. PDU se može poslati na mrežu tek nakon što je prethodni PDU s istom numeracijom izašao iz mreže (primljen).

Posljedica ovakve identifikacije je da predajnik na mrežu može poslati najviše onoliko PDU-a koliki je modul numeracije. Ta veličina naziva se prozor (*window*).

8.3. Vrste potvrda i algoritmi retransmisije

- ❖ *Podjele potvrda*
- ❖ *Potvrde u praksi i kod TCP Interneta*
- ❖ *Detekcija gubitka i vrste retransmisije*

Potvrde možemo **podijeliti** na dva načina, na pozitivne i negativne te na selektivne i kumulativne.

Pozitivne potvrde eksplicitno potvrđuju prijem PDU-a, a negativne dojavljuju njegov gubitak. Selektivne se odnose na samo jedan (označeni) PDU, a kumulativne na označeni i sve PDU-e koji mu prethode. Kombinacijom ova dva svojstva dobivamo četiri moguće vrste potvrda:

- **Pozitivne kumulativne** – potvrđuju primitak označenog i svih prijašnjih PDU-a. Robusne su jer kompenziraju gubitak neke od ranijih potvrda. Ako primi prekoredni PDU, prijemnik ponovno šalje posljednju kumulativnu potvrdu, što za predajnik znači dojavu gubitka. Međutim, problem je što predajnik ne dobiva informaciju koji PDU-i su primljeni nakon izgubljenog.
- **Pozitivne selektivne** – potvrđuju primitak označenog PDU-a. Ne koriste se samostalno zbog osjetljivosti na gubitak potvrde, već se koriste u kombinaciji s pozitivnim kumulativnim tako da se selektivne potvrde šalju samo u slučaju gubitka, pa predajnik zna koji su PDU-i primljeni nakon izgubljenog. Na taj se način rješava osnovni nedostatak pozitivnih kumulativnih potvrda.
- **Negativne kumulativne** – dojavljuju gubitak označenog i svih prethodnih PDU-a, što u praksi nema primjenu.
- **Negativne selektivne** – dojavljuju gubitak označenog PDU-a i mogu se koristiti u kombinaciji s pozitivnim kumulativnim jer eksplicitno dojavljuju gubitak PDU-a pa predajnik pretpostavlja da su svi PDU-i za koje nije primljena negativna selektivna potvrda primljeni.

U praksi se najviše koriste i najefikasniji su sustavi s pozitivnim kumulativnim potvrdama i sustavi s kombinacijom pozitivnih kumulativnih i pozitivnih selektivnih potvrda.

TCP protokol standardno koristi pozitivne kumulativne potvrde (ACK), međutim, zbog nedostataka takvog potvrđivanja uvedena je i upotreba pozitivnih selektivnih potvrda (SACK).

Detekcija gubitka PDU-a otežana je zbog načina prosljeđivanja. Naime, kod mrežne razine s pojedinačnim prosljeđivanjem paketi mogu putovati velikim brojem putova, pa redoslijed pristizanja na odredište nije zagarantiran. Stoga je potrebno odrediti optimalno vrijeme čekanja PDU-a. Ako je to vrijeme prekratko, može doći do nepotrebne retransmisije, a ako je predugo, opada brzina prijenosa.

Postoje dvije **vrste retransmisije**:

- Grupna (*Go-Back-N*) – predajnik šalje izgubljeni PDU, ali i sve one koji ga slijede, bez obzira jesu li i oni izgubljeni.
- Selektivna – složenija je i šalje se samo izgubljeni PDU.

8.4. Kontrola pogreški po razinama

- ❖ *Optimalna organizacija spojevnih i bespojnih protokola*
- ❖ *Mogućnost kontrole pogreški po razinama*

Na **fizičkoj razini** kontrola pogreški na razini bita nije isplativa, osim ako linijski kôd omogućava automatsku detekciju pogreške (npr. Manchester-II).

Na **podatkovnoj razini** kontrola pogreški je jedna od osnovnih funkcija. Okvir se štiti kôdom za otkrivanje pogreški, a oštećeni okviri se odbacuju.

Kod **spojevnih protokola** podatkovne razine izostanak okvira detektira se na osnovu numeracije. Retransmisija se tada aktivira na zahtjev prijemnika ili izostankom potvrde. Budući da podatkovna razina izravno nadzire medij (jednospojni ili višespojni), može se smatrati da će redoslijed isporuke okvira biti očuvan, a kašnjenje malo, stoga će algoritam detekcije gubitka PDU-a biti jednostavan te je moguće neposredno tražiti retransmisiju.

Kod **bespojnih protokola** podatkovne razine oporavak od pogreške prepušta se nadređenim razinama. U praksi se pokazalo da istovremena detekcija izostanka PDU-a na podatkovnoj i mrežnoj (ili prijenosnoj) razini može izazvati poteškoće. Kašnjenje na podatkovnoj razini uzrokovano pokušajima retransmisije može izazvati netočnu detekciju gubitka više uzastopnih PDU-a na prijenosnoj razini i njihovu nepotrebnu retransmisiju.

Na **mrežnoj razini** često dolazi do gubitaka zbog zagušenja, a protokoli su često bespojni jer je detekciju izostanka potvrde i retransmisiju najbolje obaviti na prijenosnoj razini.

Kontrolu pogreški optimalno je obaviti na **prijenosnoj razini**. Kopije PDU-a za retransmisiju nalaze se kod predajnika pa ne opterećuju mrežu, a prijemnik mora kontrolirati konzistentnost podataka. Na složenim mrežama s prospajanjem paketa kašnjenje može biti veliko, a često ni redoslijed pristizanja nije zagarantiran, stoga je detekcija gubitka PDU-a otežana, a neposredna dojava nije efikasna. Analizom pristizanja potvrda predajnik detektira gubitak PDU-a i donosi odluku o retransmisiji.

9. KONTROLA ZAGUŠENJA

9.1. Zagušenje i kontrola zagušenja

- ❖ *Definicija zagušenja*
- ❖ *Mjere protiv zagušenja*

Kontrola zagušenja omogućava pružanje kvalitetne usluge korisniku te optimalno iskorištenje kapaciteta mreže. **Zagušenjem** nazivamo situaciju kada je u promatranom vremenskom periodu ponuđeni promet veći od prijenosnog kapaciteta mreže. Tada dolazi do gubitka prometa i smanjenja kvalitete usluge.

Kontrolu zagušenja provodimo kroz postupke izbjegavanja i otklanjanja zagušenja koji se provode na svim razinama upravljanja i vođenja mreže te na svim vremenskim razinama.

Postupci **izbjegavanja zagušenja** provode se dok mreža još nije zagušena i cilj im je ograničiti ulazni promet i održati mrežu u optimalnoj radnoj točki, koja osigurava traženu kvalitetu usluge uz optimalnu iskorištenost mreže.

Postupci **otklanjanja zagušenja** aktiviraju se kad mreža već dođe u stanje zagušenja, kako bi posljedice trajale što kraće i bile ograničene na što manje područje.

Kod mreža s prospajanjem paketa, značajna mjera izbjegavanja zagušenja je kontrola toka, koja ima zadatak regulirati brzinu predaje izvorišta tako da dolazni promet bude optimalan po kriterijima kvalitete usluge i iskorištenja kapaciteta mreže.

9.2. Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja

- ❖ *Kod prospajanja kanala*
- ❖ *Kod prospajanja paketa*
- ❖ *Kod ATM mreža*

U mrežama s **prospajanjem kanala** kontrola toka provodi se odbacivanjem zahtjeva za prospajanjem, tj. kontrolom pristupa mreži. Korisnik može nakon nekog vremena ponoviti svoj zahtjev i kad konačno ostvari vezu, kvaliteta usluge mu je zagwarantirana.

Kod mreža s **prospajanjem paketa** raspoloživi kapacitet kanala dijeli se na mnogo korisnika statističkim multipleksiranjem paketa. Kontrola zagušenja mora održati broj paketa u mreži na optimalnoj razini kontrolom brzine predaje paketa izvorišta. Manjak paketa na mreži znači lošu iskorištenost kapaciteta, dok višak znači lošu kvalitetu usluge zbog velikog kašnjenja i gubitaka paketa.

ATM mreže imaju sličnu kontrolu zagušenja kao paketne mreže, tj. cilj je održati broj ćelija u mreži na optimalnoj razini. Zbog velike predviđene brzine prijenosa i prospajanja, kontrola zagušenja obavlja se ovisno o vrsti usluge:

- CBR (*Constant Bit Rate*) – ograničenje pristupa,
- VBR (*Variable Bit Rate*) – uobličavanje prometa,
- ABR (*Available Bit Rate*) – uobličavanje prometa s dinamičkom promjenom brzine,

- UBR (*Unspecified Bit Rate*) – korisnici pristupaju preostalom kapacitetu bez ikakvih garancija za kvalitetu usluge tako da se višak ćelija odbacuje.

9.3. Vrste zagušenja

- ❖ *Definirati vrste*
- ❖ *Definirati mjere po vrstama*

Trajno zagušenje javlja se zbog povećanih potreba korisnika i nepravodobnih investicija u proširenje kapaciteta mreže.

Izbjegava se pravovremenim planiranjem razvoja i izgradnjom potrebnih kapaciteta, a otklanja hitnom izgradnjom ili zakupom novih kapaciteta.

Periodička zagušenja rezultat su ritma upotrebe. Nastaju kada korisnici istovremeno traže istu uslugu.

Izbjegavaju se korištenjem tarifne politike, kontrolom pristupa i usmjeravanjem kapaciteta, a otklanjaju korištenjem kapaciteta drugih mreža s različitim rasporedom opterećenja (npr. iz drugih vremenskih zona) te uvođenjem kontrole pristupa korisnika.

Privremeno zagušenje nastaje i nestaje unutar vremena trajanja pojedine veze među korisnicima, ali traje duže od vremena obilaska na mreži (trajanje mu je reda veličine minuta i sekunda). Rezultat je statističkog rasporeda zahtjeva korisnika za uspostavljanjem i raskidanjem veze.

Izbjegava se kontrolom toka, a otklanja odbacivanjem viška paketa.

Trenutna zagušenja imaju trajanje reda veličine desetinke sekunde te su kraća od vremena obilaska na mreži. Rezultat su nejednolikog intenziteta ponuđenog prometa izvorišta i kašnjenja mehanizma kontrole toka, a manifestiraju se kroz praskove paketa (*packet burst*).

Ne mogu se izbjeći kontrolom toka, ali pomaže uobličavanje prometa izvorišta. Otklanjaju se ugradnjom dovoljnog kapaciteta memorija čvorišta koje trebaju predviđene količine podataka prihvatiti bez gubitaka.

9.4. Kakvoća usluge i kontrola zagušenja

- ❖ *Kakvoća za analogne i digitalne kanale*
- ❖ *Kakvoća za prospajanje paketa*
- ❖ *Mreže bez rezervacije kapaciteta*
- ❖ *Mreže s rezervacijom kapaciteta*
- ❖ *Koncepti osiguranja kvalitete na mreži Internet*

Za **analogne kanale** kvaliteta se mjeri širinom frekvencijskog pojasa i odnosom signala i šuma, a za **digitalne** brzinom prijenosa i vjerojatnošću pogreške.

Kod mreža s **prospajanjem paketa bez rezervacije kapaciteta** (npr. Interneta) usluga se pruža po principu najbolje moguće usluge, bez ikakvih garancija za točnost (na mrežnoj razini), brzinu i kašnjenje. Paketi se usmjeravaju na osnovu težine putova, a višak paketa se odbacuje. Korisnici samo moraju

nadzirati integritet podataka i obavljati kontrolu toka na prijenosnoj razini. Takve mreže su efikasne za prijenos podataka, ali neprimjerene za prijenos informacija u stvarnom vremenu.

Kod **paketnih mreža koje rezerviraju kapacitet** (npr. ATM) paketi se usmjeravaju virtualnim kanalom. Mreža garantira kvalitetu usluge, ali korisnici ipak moraju nadzirati integritet podataka zbog mogućnosti nedetektiranja pogreške.

Cilj ATM mreža bila je integracija svih vrsta prometa pa je za svaku vrstu garantirana specifična kvaliteta usluge. Tako su predviđene usluge prijenosa:

- nekomprimiranog govora i videa (CBR – *Constant Bit Rate*),
- komprimiranog govora, videa i multimedija (VBR – *Variable Bit Rate*),
- podataka s garantiranom kvalitetom prijenosa (ABR – *Available Bit Rate*),
- podataka bez garantirane kvalitete prijenosa (UBR – *Unspecified Bit Rate*).

Na mreži **Internet** postoje dva koncepta osiguranja kvalitete:

- IntServ (*Integrated Services*) – koristi tehniku rezervacije kapaciteta uspostavom staze kroz mrežu korištenjem RSVP protokola. Problem je što svako čvorište na mreži mora imati implementiran IntServ kako bi se mogla ostvariti uspostava staze.
- DiffServ (*Differentiated Services*) – koristi metodu kategorizacije tokova dajući određenim kategorijama prednost pri prijenosu (npr. prijenosu govora). Kategorija paketa na ulazu u mrežu upisuje se u DSCP polje zaglavlja IP paketa (polje *Type of Service*).

10. KONTROLA TOKA

10.1. Optimalna radna točka sustava

- ❖ *Definicija i kriterij optimalnosti*
- ❖ *Kriterij kašnjenja*
- ❖ *Stanje elemenata mreže*
- ❖ *Jednakost korisnika i pravednost, indeks Jaina*

Optimalna radna točka mreže je vektor stanja svih elemenata mreže pri kojem je odnos iskorištenja mreže i kvalitete usluge optimalan. Cilj je ponuditi promet poslužiti što prije, uz minimalno kašnjenje.

Malo **kašnjenje** bitno je i korisniku i mreži jer sav trenutno raspoloživi kapacitet treba ponuditi korisnicima, čime ga se oslobađa za buduće zahtjeve. To znači da treba izbjegavati gubitke izazvane zagušenjem kako bi se spriječile nepotrebne retransmisije koje smanjuju učinkovitost mreže.

Stanje elemenata paketne mreže je broj paketa u redu čekanja na predaju. Kada je mreža u optimalnoj točki, stanja svih elemenata su na optimalnoj razini.

Problem određivanja optimalne radne točke usko je vezan s modelom posluživanja i prometa na mreži. Paketi kanalima stižu u čvorišta gdje čekaju u redu za prijenos odlaznim kanalima. Kada je dolazni promet veći od odlaznog, paketi se gomilaju u memoriji čvorišta, povećava se kašnjenje i nastaje zagušenje. Nasuprot tome, kada su redovi prazni, raspoloživi kapacitet je nedovoljno iskorišten. Zato je potrebno broj paketa u redu održati takvim da kašnjenje bude što manje, a iskorištenje mreže visoko.

Pravednost osigurava da svi korisnici dobiju na raspolaganje **podjednak** dio kapaciteta mreže. Kod mreža bez rezervacije kapaciteta pravednost bi trebala težiti za dodjelom jednakog dijela prijenosnog kapaciteta svakom korisniku. Međutim, u stvarnosti su problem različite potrebe korisnika te različiti putovi kojima podaci idu kroz mrežu. Optimalno bi bilo za svakog korisnika odrediti kanal najmanjeg kapaciteta (usko grlo, *bottleneck*) koji se rezervira na svim ostalim kanalima, dok se preostali kapacitet dijeli prema potrebama. Kod mreža s rezervacijom kapaciteta prednost se daje korisniku koji je prvi zatražio uslugu, a ako mreža nije u stanju ispuniti traženu uslugu, zahtjev se odbacuje.

Indeks Jaina koristi se kao mjera pravednosti (x_i označava propusnost koju postiže i -ti tok):

$$J(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

Najbolji je indeks 1 („svima jednako“), a najgori $\frac{1}{n}$ („jednome sve“).

10.2. Modeliranje sustavima s posluživanjem

- ❖ Motivacija
- ❖ Definirati propusnost i snagu mreže
- ❖ Prikazati karakteristike M/M/1 sustava
- ❖ Prikazati karakteristike D/D/1 sustava

Fizički model optimalnosti analitički se opisuje matematičkim **modelima sustava s posluživanjem**. Za analizu se najčešće koriste sustavi s Markovljevim (M/M/1) i generalnim (G/G/1) modelima prometa i posluživanja. Kao poseban slučaj generalnog, značajan je determinirani (D/D/1) model.

Optimalna radna točka najčešće se određuje kao maksimum „**snage mreže**“, definirane kao omjer **propusnosti** i vremena kašnjenja:

$$P = \frac{L}{T} \quad [b/s^2]$$

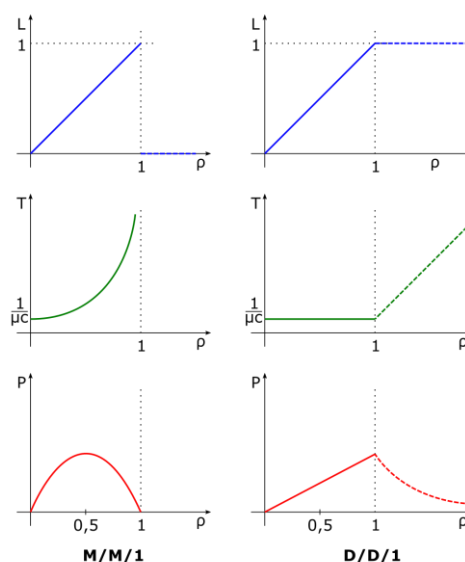
P označava snagu, L korisni promet (propusnost), a T vrijeme kašnjenja. Promet L korisnik vidi kao broj paketa prenesenih u jedinici vremena. Kod kontrole toka mehanizmom prozora predajnik će poslati onoliko paketa koliko mu dozvoljava širina prozora W , a potvrdu za neki paket primit će nakon vremena obilaska RTT , dakle nakon što pun prozor paketa prođe kroz mrežu:

$$L = \frac{W}{RTT} = \frac{W}{T}$$

Optimalna radna točka za **M/M/1 model** je pri prosječnoj duljini reda (ρ) od jednog paketa, uz iskorištenje mreže od 50%. Zbog velike varijance M/M/1 model koristi se kao „najgori slučaj“.

D/D/1 model koristi se kad sva izvorišta šalju pakete približno jednake duljine jednolikom brzinom, primjerice za model posluživanja kod ATM mreža. Za podopterećenu mrežu kašnjenje je konstantno i jednako vremenu posluživanja. Ako je broj paketa u mreži konstantan (postoji prozorska kontrola toka), porast kašnjenja pri preopterećenju linearan je sve dok se memorija čvorišta ne popuni, kada dolazi do gubitaka. **Optimalna radna točka za D/D/1 model je pri opterećenju 100%.**

Sve ove karakteristike modela prikazane su na Slici 10.1. Do dostizanja kapaciteta mreže, preneseni promet jednak je ponuđenom. Nakon toga, promet M/M/1 modela pada na 0 (zbog gubitaka), dok za D/D/1 ostaje konstantan. Pri tome kašnjenje za M/M/1 raste u beskonačnost, dok za D/D/1 raste linearno s porastom prozora. Donji grafovi prikazuju promjenu snage ovisno o opterećenju mreže.



Slika 10.1 Propusnost, kašnjenje i snaga mreže u ovisnosti o opterećenju

10.3. Funkcije čvorišta i terminala mreže

- ❖ *Algoritmi posluživanja*
- ❖ *FIFO, RED, FQ*
- ❖ *Razlučivanje tokova*
- ❖ *Funkcije odredišta i izvorišta*

Različiti elementi mreže (čvorišta i terminali) imaju različite uloge u obavljanju kontrole toka na mreži.

Čvorišta primaju pakete s dolaznih i usmjeravaju ih k odlaznim kanalima. Pri tome pakete spremaju u redove čekanja za odlazne kanale.

Algoritmi posluživanja određuju kako se paketi iz reda čekanja šalju na kanal, osiguravaju kvalitetu posluživanja i odvajaju tokove pojedinih korisnika. Razlikujemo posluživanje bez posebnog algoritma (FIFO – *First in First out*), stohastičke algoritme i determinističke algoritme.

FIFO poslužuje korisnika čiji je zahtjev prvi pristigao, a u slučaju popunjenosti odbacuje paket koji je stigao posljednji (*drop-tail*).

Stohastički algoritam, npr. **RED** (*Random Early Detection*), odbacuje pakete slučajno. Zasniva se na pretpostavci da korisnik koji šalje više paketa od optimalnog ima veći broj paketa u redu pa je vjerojatnost odbacivanja njegovih paketa veća. Optimalan je u uvjetima jako opterećene mreže.

Deterministički algoritam vodi računa o svim tokovima podataka i donosi odluku o individualnom posluživanju svakog paketa. Primjer je **FQ** (*Fair Queuing*), koji simulira fiksno multipleksiranje na razini okteta. Mana je velika količina potrebne obrade kod posluživanja svakog paketa.

Tok podataka odnosi se na niz PDU-a koje čvorište smatra jednom cjelinom, a multipleksiranje označava postupak kojim se više tokova nadređene razine šalje istim tokom promatrane razine. **Rezolucija** (razlučivost) čvorišta je sposobnost da ukupni tok podataka kroz neki kanal dijeli (finije ili grublje) na individualne tokove. Rezolucija može biti:

- Niska – razlikujemo samo izvorišnu i odredišnu podmrežu,
- Srednja – identificiraju se parovi terminala,
- Visoka – identificiraju se parovi korisničkih procesa.

Izvorišta primaju podatke s nadređene razine, segmentacijom formiraju pakete te donose odluku o trenutku njihovog slanja. Poslani se paket čuva do primitka potvrde, radi eventualne retransmisije. Izvorište donosi odluku o brzini slanja paketa i širini prozora.

Odredišta primaju pakete i šalju potvrde kao odvojene kratke pakete ili uključene u pakete toka suprotnog smjera. Također donose odluku o trenutku slanja potvrde i pomaku gornje granice prijemnog prozora radi izbjegavanja segmentacije korisničkih podataka na male pakete.

10.4. Detekcija i dojava zagušenja

- ❖ *Zagušenje kod paketnih mreža*
- ❖ *Detekcija zagušenja u čvorištima*
- ❖ *Rad predajnika*
- ❖ *Eksplisitna dojava*
- ❖ *Implicitna dojava*

Osnovna posljedica **zagušenja kod paketnih mreža** je gomilanje paketa u memoriji čvorišta, zbog kojega raste kašnjenje na mreži, a nakon što se popuni memorija dolazi i do gubitaka paketa.

Čvorišta raspolažu s podacima o trenutnoj duljini redova na izlaznim kanalima, vremenu kašnjenja pojedinih paketa i učestalosti gubitka paketa zbog popunjenosti redova čeka. Na osnovu tih podataka mogu dojaviti izvorištu da je došlo do zagušenja. Čvorišta načinom rada mogu potencirati implicitne indikacije zagušenja kao što su RTO i kašnjenje, npr. unaprijednim odbacivanjem paketa, i tako ostvariti funkcije kontrole toka mrežne razine.

Predajnici pojavu zagušenja mogu detektirati:

- Eksplisitno – dojavom čvorišta,
- Implicitno – mjerenjem parametara prijenosa.

Nakon detekcije zagušenja izvorišta smanjuju brzinu predaje korištenjem algoritama predajnika.

Kod **eksplicitne dojave** mogu se koristiti sljedeći mehanizmi:

- Povratne kontrolne poruke – čvorište ih šalje izvorištu kad odbaci paket. Ova metoda se ne koristi jer povratne poruke ustvari pridonose zagušenju.
- Povratni indikatori – bitovima u zaglavlju PDU-a suprotnog smjera, koje čvorište postavlja u jedinicu kada otkrije zagušenje. Kad predajnik primi indikator zagušenja, smanjuje brzinu predaje na pola, a u suprotnom je povećava. Problem je što promet suprotnog smjera ne mora prolaziti istim putem.
- Unaprijedni indikatori – umeću se u pakete koji putuju prema odredištu, a ono ih kopira u pakete povratnog prometa, čime se otklanja problem razdvojenog usmjeravanja, tj. različitog puta prometa suprotnog smjera.

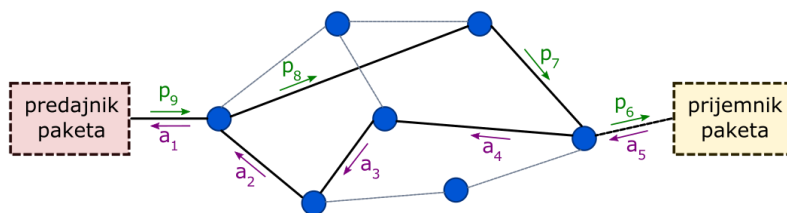
Kod **implicitne dojave** predajnik mjeri kašnjenje potvrde (RTT), širinu prozora (W) i učestalost gubitaka paketa te na osnovu toga zaključuje je li došlo do zagušenja.

10.5. Mjerenje i filtriranje parametara

- ❖ *Mjerenje RTT i W*
- ❖ *Problem fluktuacije i reda veličine*
- ❖ *Algoritam eksponencijalnog usrednjavanja*

Predajnik na mrežu šalje prozor paketa koji se rasporede po nekoj stazi (Slika 10.2). Kada paketi stignu do prijemnika, on šalje potvrdu o prijemu. Kad primi potvrdu a_j predajnik zna da je paket p_j izašao iz mreže te da smije poslati sljedeći paket p_k , te **izmjeri trenutni prozor** $W = k(p_k) - j(a_j)$. Predajnik

na osnovu poznatih trenutaka predaje paketa i prijema njegove potvrde izračuna i **vrijeme obilaska**: $RTT = t(a_j) - t(p_j)$.



Slika 10.2 Primjer razmjene paketa i potvrda između predajnika i prijemnika

Kod implicitnih i eksplicitnih metoda dojava zagušenja javlja se problem trenutnih promjena mjernih veličina (**fluktuacija**), koje nastaju zbog statističkih svojstava prometa na nižim vremenskim razinama (kraće su od vremena kašnjenja, npr. trenutno zagušenje). Zbog toga je potrebno trenutno mjerene vrijednosti filtrirati, kako bi se iz niza mjerenih vrijednosti dobila tražena informacija za višu vremensku razinu. Problem pri filtriranju može biti varijabilna ili niska frekvencija te (varijabilno) vrijeme kašnjenja.

Najčešći algoritam filtriranja je **eksponencijalno usrednjavanje**, gdje se sukcesivni uzorci množe faktorom pojačanja α i pribrajaju sumi, prethodno pomnoženoj s $(1 - \alpha)$. Tako je udio i -tog prošlog uzorka proporcionalan s α^i . Za neku veličinu x bit će $x(n + 1) = (1 - \alpha)x(n) + \alpha m(n)$, gdje je $m(n)$ trenutna izmjerena vrijednost².

10.6. Algoritmi predajnika

- ❖ Strategija kontrole toka
- ❖ Prozorska kontrola toka i karakteristike
- ❖ Kontrola brzine i karakteristike

Nakon dojava (detekcije) zagušenja, predajnik treba uskladiti brzinu predaje s nastalom situacijom. Taj postupak nazivamo kontrolom brzine predaje, odnosno **algoritmom predajnika**. Korekcija brzine na osnovu ugrađenih algoritama predajnika odvija se kod eksplicitne ili implicitne dojava zagušenja kada podatak o raspoloživom kapacitetu nije poznat. Optimalnim se pokazao algoritam koji koristi aditivan porast brzine kod podopterećene mreže i multiplikativno smanjenje brzine kod pojave zagušenja.

Algoritmi predajnika koriste dvije metode kontrole toka predajnika:

- **Prozorska kontrola** zasniva se na ograničenju broja paketa u mreži. Prozor je apsolutno ograničen modulom numeracije PDU-a, a najveći dozvoljeni prozor ima vrijednost slobodnog dijela memorije prijemnika. Maksimalna brzina predaje ovisi o širini prozora prijemnika $RWIN$ i vremenu obilaska T . Ovaj mehanizam možemo koristiti za izbjegavanje zagušenja tako da korigiramo širinu prozora zagušenja $CWND$. Tada prijemnik na mrežu šalje onoliko paketa koliko dopušta prozor zagušenja a najviše onoliko koliko dopušta prozor prijemnika. **Mana** samostalnog korištenja ove metode je što se ne nadzire ulazni promet, pa izvorišta često generiraju praskove paketa.

² Pogledati pitanje 28.2 s primjerom praktične primjene

- **Kontrola brzine predaje** zasniva se na mijenjanju perioda emitiranja paketa, gdje je propusnost obrnuto proporcionalna periodu emitiranja paketa. Prednost ove metode je u izbjegavanju praskova paketa, a mana je što ne ograničava broj paketa u mreži.

Zbog prednosti i mana ovih mehanizama, teži se njihovom ujedinjavanju. Tada bi kontrola brzine sprječavala praskove paketa, dok bi prozorka kontrola ograničavala broj paketa na mreži.

11. SUČELJE DTE-DCE

11.1. Fizička razina i sučelje DTE-DCE

- ❖ *Uloga fizičke razine*
- ❖ *Što se specificira*
- ❖ *Jedinice informacije*
- ❖ *Struktura sučelja, skica*
- ❖ *Pregled standarda na kanalima*

Fizička razina definira sučelje između računala i medija kojeg koristimo za prijenos i **specificira** električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike kabela, konektora i signala kako bismo uređaj mogli standardno priključiti na komunikacijski kanal.

Jedinice informacije koje se prenose na fizičkoj razini su bit i oktet.

Povezivanje na fizičkoj razini ostvaruje se **DTE-DCE strukturom**, koja omogućava povezivanje svakog terminala (DTE – *Data Terminal Equipment*) na svaki komunikacijski kanal (Slika 11.1) zaključen prijenosnom opremom (DCE – *Data Circuit Terminating Equipment*).



Slika 11.1 Skica DTE-DCE sučelja

DTE sadrži sklopove potrebne za prijenos podataka iz jednog sustava u drugi, dok DCE sadrži sklopove potrebne za prilagodbu ili pretvorbu signala iz DTE u signale koje je moguće prenijeti komunikacijskim kanalom. Struktura DTE-DCE sadrži dva područja standardizacije:

- standardizacija sučelja – omogućava povezivanje modema različitih proizvođača na terminale,
- standardizacija signala – definira prijenos podataka između modema različitih proizvođača.

Za različite načine umrežavanja postoje različiti **standardi signala na kanalima**:

- Za **pretplatničke analogne telefonske mreže** standarde donosi **ITU-T V serija** preporuka koje specificiraju modulacije, brzine prijenosa te procedure uspostave veze i logičkog kanala.
- **Digitalna pretplatnička mreža** prvobitno je specificirana kroz **ITU-T I-400** skup preporuka, a kasnije se standardizacija nastavlja kroz **xDSL** skupinu standarda.
- Standardi za **lokalnu mrežu** objedinjeni su kroz **IEEE 802 grupu** specifikacija (ISO-8802).

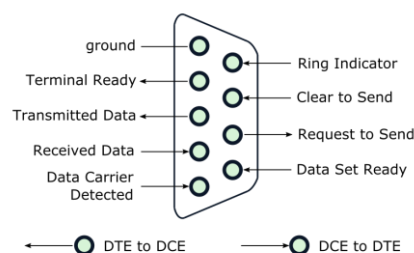
11.2. Standardi i mehaničke karakteristike sučelja

- ❖ *Pregled standarda na sučelju*
- ❖ *Mehaničke karakteristike sučelja i standardi*

Sučelja za prijenos podataka po analognim i digitalnim mrežama s prospajanjem kanala **specificirana** su ITU-T preporukama V i X serije, koje su dijelom sukladne s EIA RS standardima. Najkorišteniji je osnovni V.24/V.28 (RS-232D) standard maksimalne brzine oko 115 kb/s. U industriji se koristi RS-485 sabirnica sa svojstvima male, jednostavne, spore i robusne lokalne mreže. 1980-ih pokušalo se uvesti

RS-449 standard, no on je doživio neuspjeh zbog složenosti.

Pod **mehaničkim karakteristikama** podrazumijeva se vrsta i oblik konektora te raspored signala po kontaktima. Na sučeljima DTE-DCE često se specificiraju tzv. D konektori zbog specifičnog oblika s neparnim brojem pinova smještenih naizmjenice u dva reda. Po standardu ISO-2110 (RS-232D) specificiran je 25-pinski konektor, umjesto kojeg se najčešće koristi umanjena 9-pinska verzija (kod koje je izbačen višak signala koji se vrlo rijetko koriste – Slika 11.2).



Slika 11.2 9-pinski ISO-2110

Konektor na terminalu je muškog, a na modemu ženskog tipa pa kabel za povezivanje računala s modemom na strani računala ima utičnicu, a na strani modema utikač.

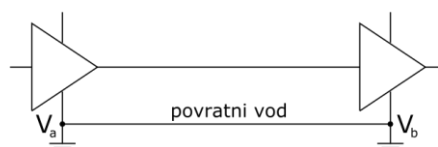
Null-modem kabel ima utičnicu s obje strane i služi za neposredno povezivanje dvaju računala.

11.3. Električne karakteristike sučelja

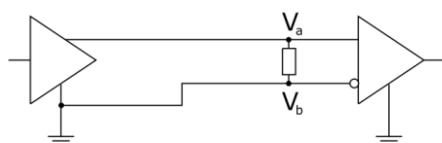
- ❖ *Nebalansirano povezivanje i standard*
- ❖ *Polubalansirano povezivanje i standard*
- ❖ *Balansirano povezivanje i standard*
- ❖ *Usporedba električnih karakteristika*

Električne karakteristike signala ovise o načinu povezivanja.

Prema standardu V.28 DTE i DCE povezuju se **nebalansiranim** (nesimetričnim) signalom (Slika 11.3). S jedne strane nalaze se predajna, a s druge prijemna pojačala. Referentna točka je zajednički povratni vod koji povezuje uzemljenja dvaju uređaja. Problem je razlika potencijala između udaljenih stanica pa može doći do petlje uzemljenja koja može oštetiti sklopove. Problem je i veliko preslušavanje između kanala zbog nesimetričnosti.



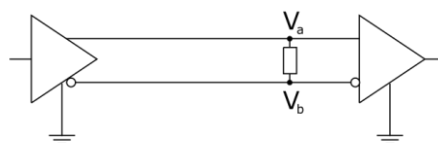
Slika 11.3 Povezivanje prema standardu V.28



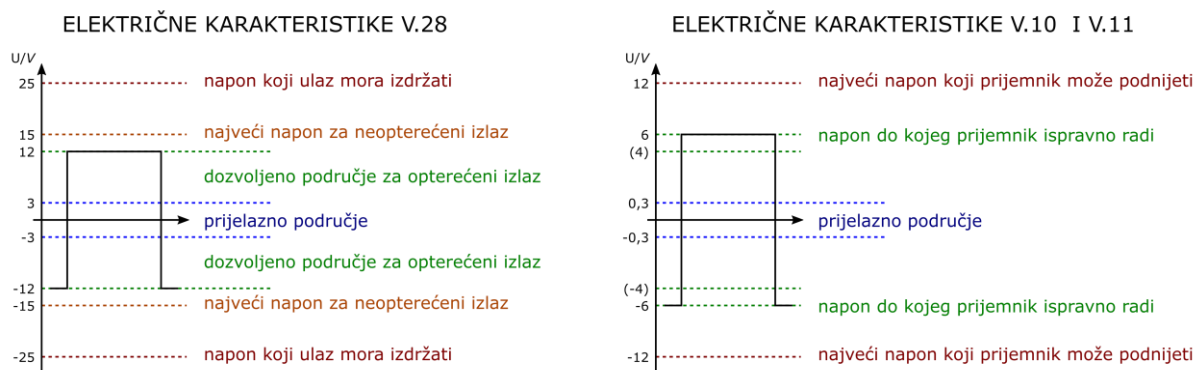
Slika 11.4 Povezivanje prema standardu V.10

Standard V.10 (RS-423) koristi **polubalansirano** (polusimetrično) povezivanje s nesimetričnim predajnikom i simetričnim prijemnikom (Slika 11.4). Prijemnik mjeri razliku potencijala između signala i uzemljenja predajnika. Prednost ovog spoja je u potiskivanju smetnji nastalih zbog razlike potencijala uzemljenja povezanih uređaja. Osim toga je preslušavanje manje nego kod nesimetričnog spoja.

Kod V.11 (RS-422) koristi se **balansirano** (simetrično) povezivanje (Slika 11.5) – simetrični su i predajnik i prijemnik. Jedan je izlaz predajnika nenegiran, a drugi negiran. Predajnik umjesto apsolutne vrijednosti prema uzemljenju mjeri razliku dvaju signala, što je vrlo povoljno u slučaju smetnji i preslušavanja. Također se poništava utjecaj razlike potencijala. V.11 standard je po električnim karakteristikama jednak standardu V.10 (Slika 11.6).



Slika 11.5 Povezivanje prema V.11 standardu



Slika 11.6 Električne karakteristike standarda V.28, V.10 i V.11

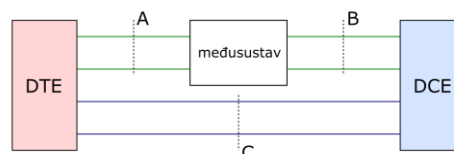
11.4. Funkcionalne karakteristike sučelja

- ❖ Osnovno povezivanje po RS-232/V.24
- ❖ Povezivanje po X.24
- ❖ Osnovna svojstva RS-485

Funkcionalne karakteristike sučelja DTE-DCE određuju namjenu pojedinih signala na sučelju.

Preporuka ITU-T **V.24** razvijena je u svrhu povezivanja terminala s (neinteligentnim) modemom i koristi model sučelja prikazan na Slika 11.7.

Priključci A i B prenose podatke korisnika i koriste se za osnovno upravljanje sučeljem, dok dodatni priključak C sadrži vodove za posebne namjene te se koristi samo po potrebi. Priključci A i B identični su pa se svode na jedan ukoliko se ne koristi međusustav. Osnovni signali sučelja opisani su u Tablica 11.1 (vidi Slika 11.2).



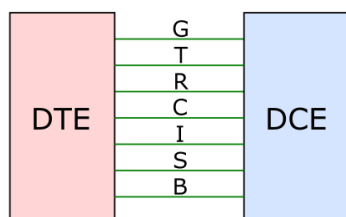
Slika 11.7 Model sučelja prema V.24

NAZIV	IZVOR	OPIS
Uzemljenja		
shield	-	Zaštitni oplet kabela
GND	-	Uzemljenje
Osnovni signali za prijenos podataka		
TXD	DTE	Podaci koje terminal šalje modemu
RXD	DCE	Podaci koje modem šalje terminalu
Osnovni signali za kontrolu sučelja		
RTS	DTE	Terminal traži da modem prijeđe na predaju
CTS	DCE	Modem javlja da je prešao na predaju
DSR	DCE	Modem uključen i spreman na rad
DTR	DTE	Terminal uključen i spreman na rad
DCD	DCE	Modem je detektirao ispravan dolazni signal udaljenog modema
RI	DCE	Detektiran signal dolaznog poziva

Tablica 11.1 Osnovni signali DTE-DCE sučelja prema standardu V.24 (RS-232)

Preporukom **X.24** specificirani su signali sučelja DTE-DCE za digitalne mreže za prijenos podataka s prospajanjem kanala (Slika 11.8, Tablica 11.2), uz korištenje balansiranog ili polubalansiranog povezivanja. U praksi se ova preporuka često označava kao X.21. Koristi se kod manjeg broja profesionalnih uređaja.

Kada je potrebno povezati više sudionika, koristi se sučelje **RS-485**. Ono omogućuje višespojno povezivanje na balansiranom mediju (prepletena parica). Time se postiže topologija sabirnice na koju se može priključiti najviše 32 uređaja. Primjenom sučelja RS-485 moguće je ostvariti malu, jeftinu i robusnu mrežu znatne brzine (10 Mb/s na 10 m, 100 kb/s na 1000 m).



Slika 11.8 Model sučelja prema X.24

OZNAKA	IZVOR	OPIS
shield	-	Oplet kabela
G	-	Zajedničko uzemljenje uređaja
T	DTE	Predajni podaci s terminala
R	DCE	Prijemni podaci s modema
S	DCE	Takt po bitu
B	DCE	Takt po oktetu
C	DTE	Kontrolni signal s terminala na modem
I	DCE	Odzivni signal s modema na terminal

Tablica 11.2 Osnovni signali sučelja DTE-DCE prema standardu X.24

11.5. Kontrola toka na sučelju DTE-DCE

- ❖ Primjena kontrole toka na sučelju DTE-DCE
- ❖ Tehnike kontrole toka
- ❖ Povezivanje DTE-DCE ovisno o kontroli toka

Na fizičkoj razini kontrolu toka obavljamo **na sučelju DTE-DCE**, dakle između terminala i modema. Kod neinteligentnih modema brzina prijenosa bila je konstantna, no kod inteligentnih modema efektivna brzina na konkretnoj vezi je nepoznata, stoga se brzina na sučelju DTE-DCE postavi na neku razumno visoku vrijednost, a eventualni zastoji rješavaju se kontrolom toka. Kontrolom toka brzina prijenosa usklađuje se asinkrono, po principu „uključi/isključi“. Kad je prijemnik preopterećen, predajnik prestaje slati podatke sve dok prijemnik ne obradi sve podatke. Usklađivanje brzine može se vršiti na sljedeće načine:

- **Signalima DTR i DSR.** Signal DTR znači da je terminal uključen i spreman na rad, a DSR označava isto za modem. Umjesto originalne namjene, ovi signali se mogu koristiti za kontrolu toka.
- **Signalima RTS i CTS** čija je originalna namjena upravljanje prelaskom na predaju kod poludvosmjernog prijenosa podataka, ali kako su kod dvosmjernog prijenosa nepotrebni mogu se koristiti za kontrolu toka. Tada je RTS signal spremnosti terminala za prijem podataka, a CTS dozvola terminalu da nastavi slati podatke.
- **Znakovima X-ON i X-OFF** koji se ubacuju u tok podataka korisnika. To znači da se ti znakovi ne smiju pojaviti u podacima korisnika. Kada je prijemnik spreman na prijem, šalje znak X-ON, a kada je preopterećen, šalje znak X-OFF sve dok predajnik ne prestane odašiljati podatke.

Ako se kontrola toka vrši fizičkim signalima (DTR i DSR ili RTS i CTS), oni se prenose posebnim vodovima između DTE i DCE. Ako se koriste posebni znakovi (X-ON i X-OFF), posebni vodovi nam nisu potrebni jer se ti znakovi ubacuju u tok podataka korisnika.

12. KANALI FIZIČKE RAZINE

12.1. Prijenos podataka telefonskim kanalom

- ❖ *Karakteristike telefonskog kanala*
- ❖ *Uloga modema*
- ❖ *Pregled modulacija, standarda i brzina*
- ❖ *Pozivni i odzivni način rada*

Računala šalju podatke u obliku niza impulsa. Takav signal ima vrlo širok spektar frekvencija, a često sadrži i istosmjernu komponentu. Zbog toga ga nije moguće neposredno prenijeti **telefonskim kanalom** koji propušta frekvencije između 300 i 3300 Hz jer bi došlo do linearnih izobličenja, što onemogućuje detekciju signala na prijemnoj strani. Stoga se digitalni signal podvrgava postupku modulacije kojim signal prilagođava karakteristikama telefonskog kanala.

Modem je naprava koja na predajnoj strani modulira signal, a na prijemnoj ga demodulira.

Modulacijom se signal iz jednog frekvencijskog područja prebacuje u drugo. Modulacija može biti amplitudna (mijenja se amplituda signala) ili kutna (mijenja se frekvencija ili faza signala):

- **Frekvencijska modulacija (FSK)** – kod dvorazinske FSK primjenjuju se signali dviju frekvencija, od kojih jedna odgovara stanju 0, a druga stanju 1.
- **Fazna modulacija (PSK)** – značenje ovisi o pomaku faze u odnosu na neku inicijalnu fazu (0° za 0 i 180° za 1). PSK nije pogodna za upotrebu jer može doći do gubitka podataka ako se pogriješi u određivanju referentne faze.
- **Diferencijalna fazna modulacija (DPSK)** – mjeri se relativni fazni pomak u odnosu na prethodni simbol, a ne apsolutni iznos faze u odnosu na početno sinkroniziranu fazu. Da bi se održala sinkronizacija, potrebno je što više promjena u signalu pa se uvodi mehanizam „miješanja signala“ (*scrambler*).
- **Kvadraturna amplitudna modulacija (QAM)** – spoj amplitudne i diferencijalne fazne modulacije.

Pregled **standarda** prema modulaciji dan je u Tablica 12.1.

MODULACIJA	STANDARD	BRZINA	OSOBINE
FSK	V.21	300 b/s	dvosmjerno, asinkrono
	V.23	Glavni kanal 600 b/s ili 1200 b/s, povratni kanal 75 b/s	nesimetrični kanali
DPSK	V.22	1200 ili 600 b/s	dvosmjerno, sinkrono
	V.26, V.26 bis, V.26 ter	2400 b/s	(polu)dvosmjerno, sinkrono
	V.27, V.27 bis, V.27 ter	4800 b/s	(polu)dvosmjerno, sinkrono
QAM	V.22 bis	2400 b/s	dvosmjerno, sinkrono
	V.29	9600 b/s (pomoćne: 4800 b/s i 7200 b/s)	(polu)dvosmjerno, sinkrono
	V.32	9600 b/s ili 4800 b/s	dvosmjerno, sinkrono
	V.32 bis	14400 b/s	
	V.33	14400 b/s	
	V.34	33600 b/s	dvosmjerno, sinkrono
	V.90	prema mreži 33600 b/s, prema terminalu 56000 b/s	

Tablica 12.1 Standardi prema modulacijama

Unatoč tome što je telefonski kanal dvosmjernan, razdvajanje primljenog i emitiranog na telefonskom kanalu nije idealno. Stoga se razdvajaju uloge pozivajućeg modema, koji radi u pozivnom, i odazivajućeg modema, koji radi u odzivnom načinu rada.

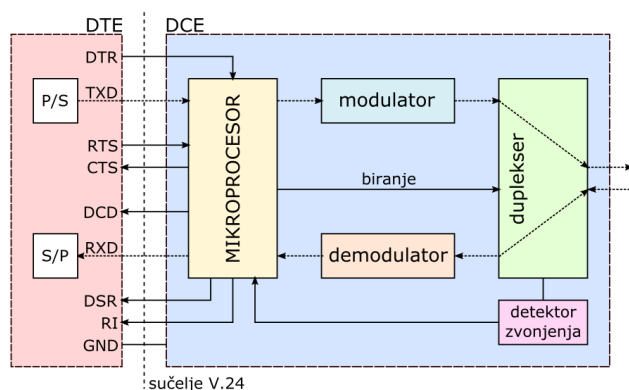
Pozivni (*originate*) način rada karakterističan je za modem koji traži vezu. Taj modem prolazi kroz proceduru biranja telefonskog broja. Nakon što se pozvani modem javi, provodi se procedura uspostave prijenosa podataka koja se sastoji od niza signala kojima se ispituje kvaliteta kanala i sposobnosti pozvanog modema. Na osnovu toga bira se optimalna brzina prijenosa, obavlja se sinkronizacija miješanja, kontrole griješaka i kompresije podataka nakon čega slijedi prijenos podataka.

Odzivni (*answer*) način rada svojstven je modemu koji se javlja na primljeni poziv, pri čemu slijedi proceduru koju vodi pozivajući modem. Modemu se može dozvoliti automatsko javljanje na poziv.

12.2. Inteligentni modemi

- ❖ *Pregled razvoja modema*
- ❖ *Blok shema inteligentnog modema*
- ❖ *Osnovne funkcije inteligentnog modema*
- ❖ *Interni i eksterni modem*

Neinteligentne modeme kontroliralo se s terminala, a korištena je FSK modulacija. Korištenje sinkronog prijenosa i složenijih modulacija (DPSK) omogućilo je povećanje brzine. Pri tome je postojao problem demodulacije za duge nizove nula i jedinica, što je riješeno uvođenjem postupka „miješanja“ (*scrambler*) koji korisnikovim podacima daje svojstva slučajnog niza. Upravljanje tim postupkom zahtijeva složenu proceduru početne sinkronizacije koja se obavlja pod kontrolom **mikroprocesora**. Signali sučelja V.24 i dalje su direktno povezani na modulator i demodulator, a mikroprocesor samo po potrebi sudjeluje u komunikaciji. U sljedećem koraku na mikroprocesor su dovedeni signali sučelja V.24, tako da procesor zna koji su zahtjevi terminala te može samostalno izvršavati prijem, predaju, sinkronizaciju i ostale zadatke. Takav modem nazivamo inteligentnim (Slika 12.1). Mikroprocesor **inteligentnog modema** upravlja svim njegovim sklopovima i vrši izravnu komunikaciju s terminalom. Neovisno o tome, s druge strane komunicira s modemom na drugoj strani kanala.

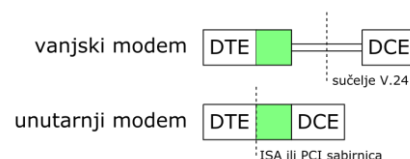


Slika 12.1 Blok shema inteligentnog modema

Razdvajanje tokova podataka na sučelju i kanalu omogućuje proširenje **funkcija modema** pa inteligentni model ima sljedeće funkcionalnosti:

- Automatsko javljanje na poziv
- Automatsko biranje
- Kontrola pogriješki
- Sinkroni prijenos
- Izbor optimalne brzine prijenosa
- Sažimanje korisnikovih podataka
- Kontrola toka na sučelju i kanalu

Modem može biti vanjski ili unutarnji. Kod vanjskog modema, koji ima izraženo sučelje, vezni sklop je dio DTE, a kod unutarnjeg je dio DCE te je sučelje skriveno u sklopu (Slika 12.2).

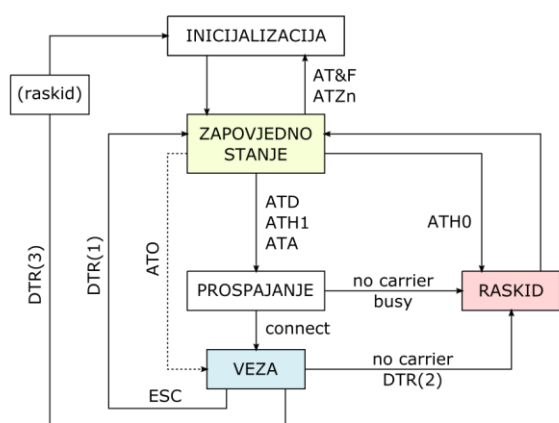


Slika 12.2 Vanjski i unutarnji modem

12.3. Upravljanje inteligentnim modemom

- ❖ *Koncept upravljanja inteligentnim modemom*
- ❖ *Dijagram stanja modema*
- ❖ *Upravljanje modemom*
- ❖ *Osnovne naredbe AT jezika*

Modem radi u kontrolnom i podatkovnom modu. Nakon uključenja modem se nalazi u stanju inicijalizacije iz kojeg prelazi u zapovjedno (kontrolno) stanje u kojem čeka naredbe s terminala. Iz



Slika 12.3 Dijagram stanja modema

Modemom se **upravlja** korištenjem AT komandnog jezika. U zapovjednom modu modem poruke s terminala smatra naredbama. Sve naredbe započinju s „AT“, a završavaju znakom <ENTER> (CR-LF). Neke od **naredbi** prikazane su u Tablica 12.2.

zapovjednog stanja modem se može vratiti u stanje inicijalizacije (naredbom ATA&F ili ATZn) ili prijeći u stanje veze posredstvom stanja prospajanja. U stanje prospajanja ulazi naredbom ATD (biranje broja), ATH1 (podizanje slušalice) ili ATA (javljanje na poziv). Nakon toga počinje uspostava fizičkog kanala i prijenosa podataka na kanal. Ako je kanal zauzet ili uspostava prijenosa nije bila uspješna, modem automatski preko stanja raskida prelazi u zapovjedno stanje. Raskid fizičkog kanala moguć je iz zapovjednog stanja naredbom ATH0. **Dijagram stanja modema** prikazan je na Slika 12.3.

NAREDBA	ZNAČENJE
A	Uspostava veze u odzivnom načinu rada
D<broj>	Biranje broja
E<1,0>	Uključi ili isključi povratni ispis
F<0,1>	Obosmjerna ili dvosmjerna veza
H<1,0>	Podizanje/spuštanje slušalice
L<1,2,3>	Glasnoća zvučnika
M<1,0>	Uključivanje ili isključivanje zvučnika
N	Broj ponavljanja kod biranja broja
O	Preuzmi vezu kao pozivajući modem
Q<1,0>	Uključi/isključi tekstualne poruke
R	Biranje broja i povezivanje u odzivnom modu
X<broj>	Odabir poruka po važnosti
Z	Izvršavanje inicijalizacije

Tablica 12.2 Osnovne AT naredbe

12.4. Signalni kodovi

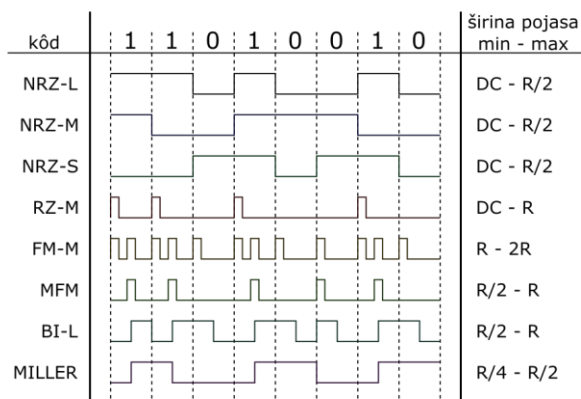
- ❖ *Namjena signalnih kodova*
- ❖ *Vremenski dijagram osnovnih signalnih kodova*
- ❖ *Svojstva osnovnih signalnih kodova*
- ❖ *Primjer telekomunikacijskog signalnog koda*

Kada podatke prenosimo neposrednim korištenjem vodova, na raspolaganju nam je kompletan kapacitet kao osnovni kanal. Frekvencijski spektar takvog kanala proteže se od istosmjerne komponente do neke gornje granične frekvencije. Za prijenos u osnovnom kanalu kažemo da se odvija u osnovnom frekvencijskom području.

Kod prijenosa u osnovnom frekvencijskom području koristimo električne signale koji trebaju imati što manju širinu frekvencijskog opsega, po mogućnosti bez istosmjerne komponente. Osim toga, kod sinkronog prijenosa potrebno je istovremeno s podacima prenijeti i taktni signal, kako bismo izbjegli korištenje dodatnog posebnog kanala za njegov prijenos.

Različiti **signalni kodovi** (Slika 12.4) uvjetuju različite širine frekvencijskog opsega. DC označava istosmjernu komponentu, a R brzinu signalizacije.

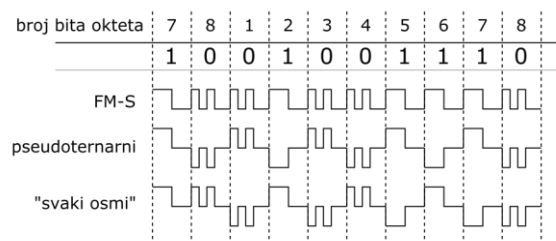
Svojstva osnovnih signalnih kodova:



Slika 12.4 Vremenski dijagram osnovnih signalnih kodova

- NRZ-L – osnovni digitalni signal s fiksnim razinama 1 i 0.
- NRZ-M – u 1 dolazi do promjene, a u 0 razina ostaje ista.
- NRZ-S – obrnuto od NRZ-M.
- RZ-M – ima impuls u jedinici.
- FM-M – ima impuls na početku svakog bita i u sredini jedinice.
- MFM – ima impuls na sredini jedinice i na početku svih nula u nizu, osim prve.
- BI-L (Manchester II) – ima promjenu iz 0 u 1 za jedinicu i iz 1 u 0 za nulu.
- Miller – ima promjenu u sredini jedinice i između svake dvije nule.

ITU-T je specificirao nekoliko signalnih kodova, među kojima većina koristi pozitivne i negativne impulse i napon 0. Takvi kodovi s tri razine nazivaju se **pseudoternarni** kodovi (Slika 12.5).



Slika 12.5 Pseudoternarni signal prema preporuci G.703

Pseudoternarni kôd po preporuci G.703 nastao je invertiranjem svakog drugog bita signala FM-S. Negativni impulsi koriste se za detekciju pogreške i eliminaciju istosmjerne komponente. Redoslijed invertiranja remeti se na svakom osmom bitu, čime se postiže sinkronizacija po oktetu.

13. LOKALNE MREŽE – ETHERNET

13.1. Lokalne računalne mreže

- ❖ *Opća svojstva i topologija*
- ❖ *Strukturno kabliranje*
- ❖ *Pregled standarda*

Lokalne mreže (LAN) povezuju računala na manjem prostoru (npr. unutar zgrade ili radne organizacije) i najčešće su privatne. Karakterizira ih malo kašnjenje i velika brzina prijenosa. Prema **topologiji** lokalne mreže dijele se na sabirničke, prstenaste i stablaste. Sabirničke koriste višespojno, a stablaste i prstenaste jednospojno povezivanje. Prve lokalne mreže razvile su se na sabirničkoj (Ethernet) i prstenastoj (Token Ring) topologiji, dok se danas najčešće koristi stablasta jer je optimalna pri izgradnji mreže kao dijela infrastrukture zgrade gdje omogućava efikasnu pokrivenost prostora, nadzor i upravljanje mrežom.

Ožičenje se izvodi po principu **strukturnog kabliranja** sa sljedećim svojstvima:

- generalnost – prikladnost za sve vrste tehnologija lokalnih mreža,
- zasićenost – prostor je pokriven dovoljnim brojem priključaka,
- upravljivost – mogućnost efikasnog povezivanja prospojnim napravama.

Sučelja i protokole za LAN (i MAN) mreže definiraju **standardi** IEEE 802, prihvaćeni kao ISO 8802 i razrađeni u više dokumenata:

- 802.1 – specificira arhitekturu,
- 802.2 – specificira protokol podatkovne razine (LLC),
- 802.10 – specificira raspored ključeva za LAN/MAN sigurne mreže,
- 802.3-802.16 – specificiraju fizičku razinu i način pristupa za različite tipove mreža:
 - 802.3 – Ethernet mreže,
 - 802.8 – optičke gradske mreže,
 - 802.11 – bežične mreže,
 - 802.14 – širokopojasne mreže koje koriste tehnologiju kabelske televizije,
 - 802.16 – WiMAX mreže,
 - ...

13.2. Lokalna mreža Ethernet općenito

- ❖ *Svojstva i razvoj Etherneta*
- ❖ *Pregled standarda Etherneta*
- ❖ *Mogućnosti povezivanja segmenata*
- ❖ *Funkcija čvornih uređaja*

Ethernet je izvorno mreža sabirničkog tipa s asinkronim pristupom i decentraliziranom kontrolom pristupa mediju, na kojem u nekom trenutku samo jedan sudionik smije emitirati, dok ostali slušaju. Današnji Ethernet ima stablastu topologiju i mogućnost dvosmjernog rada korištenjem prospojnika.

Razvoj Etherneta započela je firma Xerox 70-ih godina, kada je predstavljeno rješenje koje je radilo brzinom 3 Mb/s. Uskoro su se razvojnom timu priključile firme DEC i Intel te je 1980. specificiran DIX Ethernet brzine 10 Mb/s koji se danas, uz male izmjene, koristi kao Ethernet II standard. Standardizaciju

OZNAKA	BRZINA	MEDIJ	POVEZIVANJE
10BASE-5	10 Mb/s	„debeli“ koaksijalni kabel	višespojno
10BASE-2		„tanki“ koaksijalni kabel	
10BASE-T		UTP	
10BASE-FL		višemodni optički kabel	
100BASE-TX	100 Mb/s	UTP	jednospojno
100BASE-T4			
100BASE-T2		višemodni optički kabel	
100BASE-FX			
1000BASE-T	1000 Mb/s	UTP	
1000BASE-CX		STP	
1000BASE-SX		višemodni optički kabel	
1000BASE-LX		jedno-/višemodni optički kabel	
10GBASE-CX4	10 Gb/s	STP	
10GBASE-T		UTP	
10GBASE-SR		višemodni optički kabel	
10GBASE-LR		jednomodni optički kabel	
40GBASE-CR4	40 Gb/s	twinax	
40GBASE-SR4		višemodni optički kabel	
40GBASE-LR4		jednomodni optički kabel	
100GBASE-SR10	100 Gb/s	višemodni optički kabel	
100GBASE-LR4		jednomodni optički kabel	
100GBASE-ER4			

Tablica 13.1 Pregled standarda Etherneta

je preuzela IEEE komisija 802 koja pet godina kasnije donosi 802.3 standard po kojem se danas radi Ethernet oprema. U međuvremenu je 802.3 nadopunjen specifikacijama za korištenje parica za prijenos brzinom 100 Mb/s i za prijenos brzinom 1000 Mb/s. Pregled osnovnih **standarda** nalazi se u Tablica 13.1.

Dva ili više segmenata³ medija moguće je **povezati** pojačalima/zvjezdastima ili premosnicima/ prospojsnicima.

Zvjezdište – signal koji dobije na prijemu proslijeđuje na sve ostale priključene uređaje.

Prospojsnik – podatke proslijeđuje samo na uređaje kojima su namijenjeni.

13.3. Tehnička svojstva Etherneta

- ❖ Signali i standardi na 10 Mb/s
- ❖ Signali i standardi na 100 Mb/s
- ❖ Signali i standardi na 1000 Mb/s
- ❖ Signali i standardi na 10 Gb/s

10 Mb/s Ethernet koristi Manchester II linijski kôd s razinama signala 0 V i -2,05 V. **Standardi** su sljedeći:

- 10BASE-5 – koristi „debeli“ Ethernet kabel karakteristične impedancije 50 Ω i s malim gubicima. Računala se na kabel povezuju preko priključne jedinice (MAU – *Media Attachment Unit*).
- 10BASE-2 – koristi standardni „tanki“ koaksijalni kabel, koji ima veće gubitke pa je maksimalna duljina segmenta manja. MAU se nalazi na istom modulu kao i DCE.
- 10BASE-T – koristi kabel s dvije ili četiri neoklopljene parice (CAT3) karakteristične impedancije 100 Ω koja uzrokuje znatne gubitke. Povezivanje je jednospojno, a MAU je na modulu s DCE.
- 10BASE-FL – koristi višemodni optički kabel. Povezivanje je jednospojno te se za povezivanje računala koristi optički pretvornik (FOT – *Fiber Optic Transceiver*).

Standardi 100 Mb/s Ethernet su:

- 100BASE-TX – koristi dvije parice. Podaci se kodiraju MLT-3 signalnim kodom s tri razine.

³ Segment je električna veza između dva uređaja koji dijele prijenosni medij.

- 100BASE-T4 – koristi četiri parice. Podaci se kodiraju ternarnim kôdom. Rijetko se koristi.
- 100BASE-T2 – koristi dvije parice i PAM-5 linijski kôd s pet razina, tako da se svakim simbolom kôda prenose 2 bita informacije.
- 100BASE-FX – prijenos se vrši višemodnim optičkim kabelom. Podaci se kodiraju 4b/5b⁴ kôdom, nakon čega se šalju na optičko vlakno u obliku NRZI (NRZ-M) kôda.

1000 Mb/s standardi dijele se u dvije grupe:

- 802.3z – kodiranje podataka vrši se 8b/10b kôdom.
 - 1000BASE-CX – za povezivanje koristi STP na kratke udaljenosti.
 - 1000BASE-LX – omogućava povezivanje korištenjem bilo kojeg optičkog vlakna.
 - 1000BASE-SX – koristi višemodno optičko vlakno.
- 802.3ab
 - 1000BASE-T – poseban standard koji specificira povezivanje UTP kabelom s dvosmjernim prijenosom korištenjem PAM-5 signalnog kôda s razinama 0, $\pm 0,5$ ± 1 V.

Najznačajniji **10 Gb/s standardi** su:

- 10GBASE-T – koristi UTP i služi za povezivanje na manjim udaljenostima.
- 10GBASE-CX4 – koristi specijalni STP kabel za povezivanje na udaljenosti do 15 metara.
- 10GBASE-SR – koristi višemodni optički kabel.
- 10GBASE-LR – koristi jednomodni optički kabel.

13.4. Kontrola medija Etherneta

- ❖ *Osnovni mehanizam pristupa mediju*
- ❖ *Oporavak u slučaju kolizije*
- ❖ *Zone lokalne mreže Ethernet*
- ❖ *Virtualne lokalne mreže*
- ❖ *Osnove projektiranja*

Kod Etherneta, stanica koja želi predati okvir podataka najprije sluša je li medij slobodan, a tek onda započinje s **predajom** (CSMA). Kako postoji mogućnost da dvije stanice započnu predaju istovremeno, može doći do sukoba signala, što nazivamo kolizijom. Stoga stanica koja emitira mora kontrolirati vlastiti signal kako bi otkrila eventualnu koliziju (CD).

Ako je došlo do **kolizije**, obje stanice koje u njoj sudjeluju šalju signal kolizije ostalim stanicama na mediju te se povlače s medija. Nakon slučajno odabranog perioda čekanja, stanice ponovno pokušavaju poslati podatke. Taj period mora biti višekratnik od 52 μ s, kako bi se smanjila vjerojatnost ponovne kolizije. Ovakav **način pristupa mediju** naziva se CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).

Segmente medija moguće je povezati pojačalima/zvjezdastima ili prenosnicima/prospojnicima. Kod povezivanja zvjezdastima, signali s jednog segmenta prenose se na sve ostale, stoga dva signala s različitih segmenata mogu izazvati koliziju.

⁴ Svaka četiri bita zamjenjuju se kompleksijom od pet bitova.

Svi povezani segmenti mreže povezani zvjezdastima čine **domenu (zonu) kolizije** (*collision domain*). Istovremeno, svi segmenti čine **zonu prostiranja** (*broadcast domain*) jer se kroz medij prostiru i okviri s univerzalnom (*broadcast*) adresom.

Ukoliko se segmenti povežu prospojnicima, okvir se s jednog segmenta prenosi na drugi samo ako je tamo odredišno računalo. Dva signala s dva segmenta ne mogu uzrokovati koliziju, osim ako prospojnik (premostnik) pristupa segmentu kao i svaki drugi uređaj. Stoga segment povezan prospojnikom sam za sebe čini **domenu kolizije**. Budući da prospojnik prosljeđuje okvire s univerzalnom adresom, svi segmenti povezani prospojnikom ili premostnikom čine **domenu prostiranja**.

Pri korištenju premostnika veliku mrežu možemo razbiti na više manjih ograničavanjem prostiranja okvira s univerzalnom adresom. Tako mrežu razbijamo na više zona prostiranja koje nazivamo **virtualne lokalne mreže** (VLAN). Kod njih se logička organizacija mreže razlikuje od fizičke organizacije.

Složene mreže **grade se** od više segmenata po principu strukturnog kabliranja. Možemo ih povezati korištenjem pojačala. Tada se maksimalna veličina domene kolizije odredi primjenom pravila „5-4-3“ ili „4-3-4“ i računanjem vremena obilaska. Prema pravilu „5-4-3“, signal između bilo koja dva računala ne smije prolaziti kroz više od pet segmenata i četiri pojačala, s tim da tri segmenta mogu biti višespojna. Pravilo „4-3-4“ primjenjuje se na manje mreže i definira da između dva računala mogu biti najviše četiri segmenta i tri pojačala, s tim da sva četiri segmenta mogu biti višespojna. Maksimalno ukupno vrijeme obilaska mora biti jednako kašnjenju potrebnom za prijenos 570 bita.

Kod složenih mreža s prospojnicima mreža je podijeljena na više zona kolizije, što omogućava pokrivanje većeg prostora. Kašnjenje nije ograničeno, osim pravilom da prospojnik odbacuje okvir koji nije moguće proslijediti u roku od 2 sekunde.

14. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE

14.1. Opća svojstva bežičnih lokalnih mreža

- ❖ *Namjena, prednosti i mane*
- ❖ *Razvoj i pregled standarda, frekvencija i brzina*
- ❖ *Tehnologija širokog spektra*

Bežične lokalne mreže grade se s **namjenom** zamjene ili dogradnje ožičenih lokalnih mreža. **Prednosti** bežičnog povezivanja su:

- lako premještanje računala,
- mobilnost (rad u pokretu),
- lako povezivanje „gostujućeg“ računala,
- povezivanje bez galvanske veze među računalima.

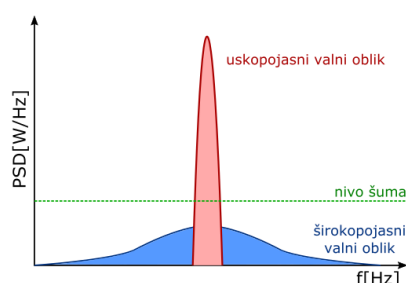
Mane su:

- smanjena sigurnost podataka,
- veća osjetljivost na smetnje,
- ograničen kapacitet unutar područja prostiranja signala.

Primjena radio signala u prijenosu podataka započela je u sedamdesetima eksperimentalnom mrežom *Aloha*. U devedesetima proizvođači **razvijaju** vlastite bežične lokalne mreže, čiju standardizaciju preuzima IEEE **standardom** 802.11 za brzine do 2 Mb/s, a kasnije i standardima 802.11b za brzine do 11 Mb/s i 802.11g za brzine do 54 Mb/s.

IEEE 802.11 tehnologija može se primijeniti na **frekvencijama** od 2 GHz i više, a najviše se koristi područje namijenjeno industriji, znanosti i medicini (ISM – *Industry, Science and Medicine*) 2400-2480 MHz. Dio standarda odnosi se i na područje 5725-5875 MHz.

Pogodnija od uskopojasnih (*narrowband*) komunikacija je **tehnologija širokog spektra** (*spread spectrum*), koja koristi signal raširen na raspoloživom području, tj. ima puno veću širinu frekvencijskog pojasa (Slika 14.1), što ga čini manje osjetljivim na uskopojasne smetnje. Širenjem spektra smanjuje mu se gustoća energije (*power spectral density*), stoga širokopojasni signal uskopojasnim korisnicima predstavlja niskoenergetski šum.



Slika 14.1 Široki spektar

Signal širokog spektra može se postići skakanjem frekvencija (FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*), direktnim raspršenjem (DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*) ili ortogonalnim multipleksiranjem frekvencijskim odvajanjem (OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

FHSS je tehnologija koja širi signal po frekvencijama koje se brzo mijenjaju. DSSS svaki bit poruke prenosi kodnom sekvencom signalizacijskih bitova zvanih „chip“. FHSS signal je robusniji i uređaji koji se koriste su jeftiniji, ali je sporiji od DSSS signala.

14.2. Upravljanje bežičnim mrežama

- ❖ *Načini povezivanja učesnika*
- ❖ *Definicija i funkcije BSS i ESS*

Bežične mreže mogu biti decentralizirane, centralizirane i „od točke do točke“.

Decentralizirane (*ad hoc*) bežične mreže nastaju neposrednim povezivanjem dvaju ili više uređaja koji se nalaze u blizini i imaju pravo međusobnog komuniciranja.

Centralizirane bežične mreže organizirane su po teritorijalnom principu, tako da jedan pristupni uređaj (AP – *Access Point*) pokriva određeno područje i osigurava povezivanje bežičnih korisnika na ožičenu lokalnu mrežu. AP sa svojim korisnicima čini **osnovni korisnički skup** (BSS – *Basic Service Set*). Više AP-ova povezanih lokalnom mrežom čine jedinstveni bežični sustav zvan **prošireni korisnički skup** (ESS – *Extended Service Set*). Mobilni korisnici mogu se kretati unutar ESS-a bez prekida veze. Taj postupak naziva se *roaming*. Ako više AP-ova istog ESS-a pokriva isto područje, moguće je dijeljenje opterećenja (*load balancing*). Unutar jednog BSS-a svi korisnici koriste istu frekvenciju za FHSS, odnosno isti frekvencijski pojas za DSSS i OFDM. U nekom trenutku samo jedan korisnik smije emitirati podatke jer se bežični LAN ponaša kao sabirnički, s tim da nije moguće detektirati koliziju. Pristup mediju osiguran je po principu CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

Bežična LAN tehnologija „od točke do točke“ koristi se za povezivanje udaljenih zgrada korištenjem usmjernih antena dosega do 15 km.

14.3. Kontrola medija bežičnih lokalnih mreža

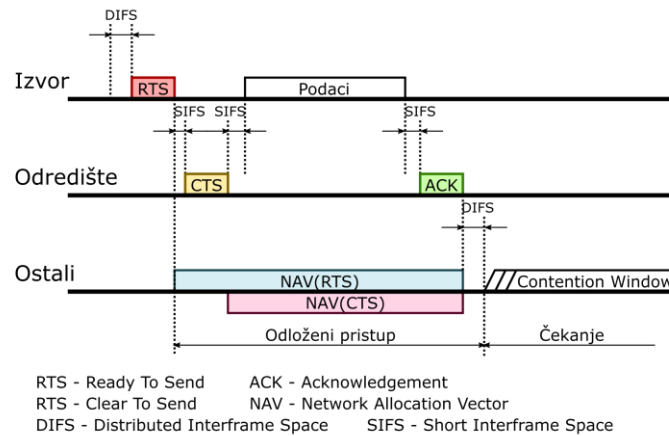
- ❖ *Osnovni mehanizam pristupa bežičnom mediju*
- ❖ *Vrste kontrolnih poruka*

Pristup bežičnom mediju osiguran je po principu CSMA/CA (Slika 14.2). Stanica koja želi emitirati prvo osluškuje medij (CSMA). Ako je medij slobodan, pokušava ga zauzeti.

Kod bežičnih mreža detekcija kolizije nije moguća jer je prijemnik neke stanice uvijek zagušen signalom vlastitog predajnika, stoga je kolizije potrebno izbjegavati (CA – *Collision Avoidance*).

Ako se sve stanice međusobno čuju, moguć je pristup **bez rezervacije** medija. Stanica osluškuje medij i započinje emitiranje. Izostanak potvrde prijema indicira koliziju. Ova je procedura primjenjiva na *ad hoc* i infrastrukturne mreže.

Procedura **s rezervacijom** je nužna kada se sve stanice međusobno ne čuju. Ako je medij slobodan, stanica koja želi emitirati pokušava ga rezervirati slanjem kratkog RTS (*Request to Send*) okvira koji sadrži adresu izvorišta i odredišta. Prozvana stanica (AP) odaziva se s CTS (*Clear to Send*), čime odobrava prijenos i ujedno ostale obavještava da je medij zauzet. Nakon toga slijedi prijenos okvira. Rezervaciju je pogodno koristiti kada je odnos između vremena prijenosa okvira i vremena pristupa mediju velik. Može se koristiti i kod *ad hoc* mreža. Prednost rezervacije gubi se kada je brzina modulacije velika.



Slika 14.2 Vremenski dijagram CSMA/CA

Na Sliku 14.2 prikazan je vremenski dijagram pristupa bežičnom mediju. Stanica koja želi emitirati (izvor) mjeri vrijeme u kojem je medij slobodan. Kada je medij slobodan DIFS vremena, stanica šalje RTS paket. Odredištu je potrebno SIFS vremena da obradi primljeni paket i odgovori paketom odgovora (u ovom slučaju to je CTS). Kada izvor primi i obradi CTS paket u određenom SIFS vremenu, može početi slati podatke. Nakon što podatke primi i obradi, odredište šalje potvrdu primitka. NAV je indikator koji stanici onemogućava pristup mediju kako bi se izbjeglo nadmetanje (*contention*) za vrijeme prijenosa.

15. DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE

15.1. Uskopojasni ISDN

- ❖ *Pregled pretplatničkih mreža*
- ❖ *Namjena i razvoj ISDN-a*
- ❖ *Osnovni kanali i priključci*
- ❖ *Referentna arhitektura ISDN sučelja*
- ❖ *S/T i U sučelja*

Pretplatničke mreže povezuju korisnike javnih mreža s najbližim čvorištem mreže. Izgrađene su uglavnom korištenjem parica niske kvalitete, koje omogućuju prijenos većim brzinama od telefonskih kanala. Stoga su u analognoj tehnologiji pretplatničkih mreža razvijeni standardi za istovremeni prijenos govora i podataka (npr. ITU-T R.22). Kod digitalne tehnologije po jednoj se parici mogu prenositi 2 ili 4 telefonska kanala istovremeno.

Uskopojasni **ISDN** je digitalna mreža zasnovana na prospajanju kanala standardnog kapaciteta 64 kb/s. Razvila se iz IDN mreže, nastale digitalizacijom kanala i centrala telefonske mreže. Zbog malog kapaciteta i tehnologije prospajanja kanala, ISDN nije pogodan za umrežavanje računala te je napušten.

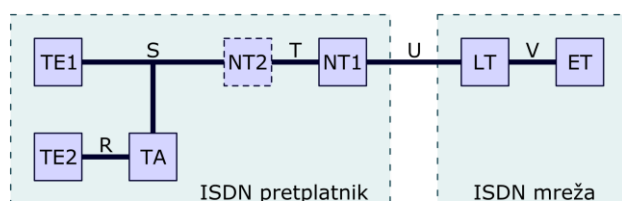
Kod ISDN-a razlikujemo tri vrste **kanala**:

- B – osnovni kanal kapaciteta 64 kb/s,
- D – signalizacijski kanal kapaciteta 16 kb/s,
- H – dodatni kanali različitih namjena i kapaciteta.

ISDN mreža omogućava dvije vrste pretplatničkih **priključaka**:

- Osnovni (BRI – *Basic Rate Interface*) – raspolaže 2B korisničkih kanala i D kanalom koji se koristi za signalizaciju prema ISDN centrali.
- Primarni (PRI – *Primary Rate Interface*) – raspolaže s 30 B korisničkih kanala i jednim D kanalom te se koristi za povezivanje većih radnih organizacija na mrežu.

Arhitektura ISDN sučelja prikazana je na Slika 15.1. Dijelovi pretplatničke instalacije su:



Slika 15.1 Referentna ISDN arhitektura

TE1 – digitalni terminal,
TE2 – analogni terminal,
TA – adapter,
NT1 – mrežna oprema,
NT2 – kućna centrala,
LT – kanalna oprema,
ET – digitalna centrala,
S, R, T, U, V – sučelja.

S/T sučelje je vrsta male, lokalne, sabirničke mreže koja koristi jednu paricu za prijem i jednu za predaju signala. Podaci se prenose balansirano brzinom 192 kb/s, a broj istovremenih veza ovisi o broju B kanala. Koristi se modificirani AMI kôd s tri razine, kod kojeg se pri promjeni simbola razina podiže, odnosno spušta, dok se ponavljanjem simbola signal invertira.

U sučelje prenosi podatke između mreže i korisnika. U velikoj mjeri je interna stvar same mreže. Standardno se podaci prenose dvosmjerno ternarnim kôdom, ali mogu se prenositi i poludvosmjerno i drugim kodovima.

15.2. xDSL mreže

- ❖ *Namjena i razvoj*
- ❖ *Korištenje postojećih parica*
- ❖ *Veza prema javnoj mreži*

Namjena xDSL mreža je ponuditi dvosmjerni prijenos podataka po prihvatljivim cijenama.

Razvoju xDSL-a prethodi tehnologija analognih modema koji podatke prenose standardnim telefonskim kanalima te ISDN tehnologija, koja je bila ograničena kapacitetom B kanala. Osnovni nedostatak tih tehnologija bilo je prospajanje kanala. Stoga je bilo potrebno prijenos podataka obaviti mimo telefonske mreže. Kao rješenje bilo je moguće i korištenje interaktivne kabelaške televizije ili satelitskih modema za prijenos podataka, no zbog prevelikih investicija je odbačeno.

DSL koristi **postojeće parice** koje pripadaju mrežama telefonskih kompanija i koje na kratkim udaljenostima omogućavaju prijenos znatnim brzinama. Iz toga proizlaze prednosti xDSL tehnologije:

- Ne zahtijeva investicije u nove vodove
- Dostupna je svugdje gdje postoji telefonski priključak
- Nisu potrebne skupe nadogradnje telefonskih centrala jer ih se DSL-om mimoilazi
- Nisu potrebni dodatni telefonski priključci jer se ista parica koristi za prijenos telefonskog i digitalnog signala
- Sav kapacitet DSL kanala dostupan je pretplatniku jer se ne dijeli s drugima
- Moguća je izgradnja u fazama

Kao **vezu prema javnoj mreži** DSL može koristiti već postojeću optičku mrežu telefonskih kompanija, kao i njihove centrale koje raspolažu opremom za prijenos podataka velikog kapaciteta. DSL sustav podatke prenosi samo do prve telefonske centrale, a ne s kraja na kraj mreže.

15.3. Tehnologija xDSL mreža

- ❖ *Pregled xDSL tehnologija*
- ❖ *ADSL standardi*

HDSL (*High speed DSL*) – prva xDSL tehnologija koja korisnicima nudi dvosmjerni prijenos preko dvije parice, ali ne dozvoljava istovremeni prijenos telefonskog signala. Za prijenos se koristi jednostavni kvaternarni kôd. Značajan je samo kao osnovica za kasnije standarde.

SDSL (*Single line symmetric DSL*) – omogućuje simetričan dvosmjerni prijenos po jednoj parici uz istovremeni prijenos telefonskog kanala. Mana mu je vrlo kratak domet na većim brzinama.

IDSL (*ISDN DSL*) – koristi tehnologiju ISDN pretplatničke petlje i ostvaruje dvosmjerni prijenos brzinom 128 kb/s po jednoj parici. Istovremeni prijenos telefonskog signala nije podržan.

VDSL (*Very high speed DSL*) – omogućava veliku brzinu prijenosa podataka prema korisniku (do 52 Mb/s na 300 m). Koristi jednu paricu i ne omogućava prijenos telefonskog signala.

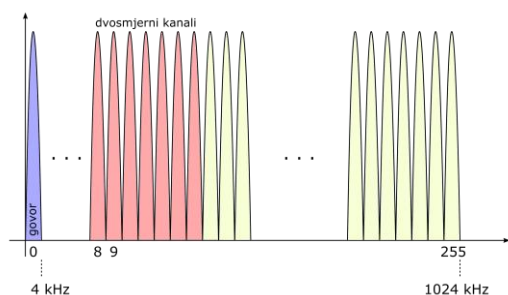
ADSL (*Asymmetric DSL*) – prva uspješna DSL tehnologija. Omogućava prijenos podataka prema korisniku brzinom 2 Mb/s na udaljenostima do 5 km. Koristi jednu paricu i omogućava istovremeni prijenos telefonskog kanala.

RADSL (*Rate adaptive DSL*) – inteligentna varijanta ADSL sustava kod koje uređaji brzinu automatski prilagođavaju prilikama na parici.

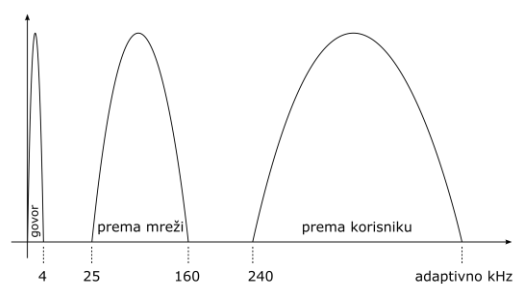
Na tržištu su dostupna dva sustava modulacije kod ADSL-a, a to su DMT i CAP.

DMT je robusniji, ali skuplji i troši više energije. Frekvencijski spektar 0-1024 kHz podijeljen je u 256 pojasa širine po 4 kHz. Pojas 0 koristi se za prijenos govornog signala, a pojasevi 8-255 za prijenos podataka. Dio donjih kanala koristi se za dvosmjerni prijenos, a ostali za prijenos samo prema korisniku (Slika 15.2).

CAP je u osnovi adaptivna QAM modulacija s promjenjivim brojem točaka konstelacije. Dvosmjerni prijenos ostvaren je podjelom frekvencije (Slika 15.3).



Slika 15.2 DMT modulacija



Slika 15.3 CAP modulacija

15.4. ATM na fizičkoj razini

- ❖ Razvoj i namjena ATM mreža
- ❖ Standardizacija ATM priključaka

Na **ATM** tehnologiji zasniva se B-ISDN mreža. Prospajanje malih paketa – ćelija konstantne duljine 53 okteta omogućuje visoko iskorištenje kanala i integraciju svih vrsta prometa. Ćelije koje pripadaju jednom toku proslijeđuju se kroz mrežu virtualnim kanalom, dok je sam prijenos bespojan.

Prijenosna osnovica ATM mreže je optička SDH (SONET) telekomunikacijska mreža na koju se nadograđuje STM (*Synchronous Transfer Mode*) način prijenosa koji simulira PCM sustave.

Na lokalnoj razini definirana su sučelja korisnik – mreža (UNI) i privatna mreža – mreža (PNNI). Same lokalne instalacije su stablaste tehnologije s ATM prospojnicima u čvorištima.

Standardizaciju ATM mreža obavlja ITU-T kroz svoju I seriju preporuka, a funkcionalne standarde specificira ATM-Forum (udruženje proizvođača opreme).

ATM tehnologija predviđala je izgradnju homogene globalne mreže i dovođenje ATM priključka do svakog korisničkog terminala. Međutim, nakon što su izgrađeni dijelovi ATM mreža, zbog cijene se prešlo na Ethernet i Internet tehnologije.

15.5. Gradske mreže – MAN

- ❖ *Problemi razvoja gradskih mreža*
- ❖ *Optičke tehnologije gradskih mreža*
- ❖ *Bežične tehnologije gradskih mreža*
- ❖ *Metro Ethernet*

MAN mreže nalaze se negdje između LAN-a i WAN-a, tj. u području su interesa korisnika i javne mreža te su izvor prirodnog monopola. Privatni korisnici nastoje minimizirati troškove kroz lokalnu zajednicu, koja treba osigurati infrastrukturu kao preduvjet razvoja. Međutim, telekomunikacijska kompanija kao vlasnik mreže postaje prirodni monopolist. Stoga se potiče razlaganje sustava na operatore infrastrukture i pružatelje usluga.

Ovisno o gustoći naseljenosti, mreža koristi optička vlakna (za gradska područja) ili bežični pristup (za ruralna područja).

Optička vlakna provode se po principu *Fiber to the x* (FTTx):

- FTTH (*Fiber to the Home*) – neprekinuto optičko vlakno dovodi se do svakog korisnika.
- FTTB (*Fiber to the Building*) – vlakno se dovodi do ormara u zgradi, a dalje se vrši grananje po paricama.
- FTTC (*Fiber to the Curb*) – vlakno ide do zajedničkog ormara kvarta i poslužuje nekoliko korisnika na manjem području.
- FTTN (*Fiber to the Node*) – vlakno ide do zajedničkog ormara cijelog kvarta i poslužuje više stotina korisnika.

Kao **bežična tehnologija** koristi se WiMax kao bežična zamjena za ADSL i kabelski pristup. WiMax je standardiziran standardom IEEE 802.16. Predviđena je stablasta, samoorganizirajuća topologija te mobilni i stacionarni korisnici.

Metro Ethernet je MAN mreža zasnovana na Ethernet standardu koja uvodi tehniku dvostrukog označavanja, tj. VLAN unutar VLAN-a za povezivanje udaljenih lokacija istog vlasnika. Podržava bežični pristup (WiMAN), a kao vezu prema WAN-u može koristiti sve tehnologije.

16. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGRJEŠKI

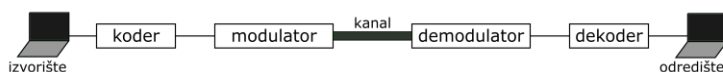
16.1. Podatkovna razina i redundantni kodovi

- ❖ *Funkcionalnost podatkovne razine*
- ❖ *Koncept zaštite podataka od pogreški*
- ❖ *Model kanala i uloga uređaja*
- ❖ *Redundantni kodovi, efikasnost i primjena*

Podatkovna razina obavlja poslove potrebne za prijenos korisnikovih podataka između dva čvora neposredno povezana fizičkim kanalom. Prijenos se obavlja oblikovanjem okvira koji se preko sučelja predaju fizičkoj razini za prijenos do drugog čvora.

Zaštita podataka od pogreški potrebna je kako bi informacija na odredište stigla u izvornom obliku. Pogrešku možemo detektirati i potom korigirati na prijemnoj strani ili možemo tražiti retransmisiju, ovisno o primjeni – kod prijenosa podataka obavlja se retransmisija, a kod prijenosa govora može se eventualno koristiti korekcija na prijemnoj strani.

Tehnike za otkrivanje pogreški zasnivaju se na unošenju **redundancije** u kôd. Na predajnoj strani kanala ugrađujemo **koder** (Slika 16.1) koji izvorni kôd pretvara u redundantni. Na prijemnoj strani komunikacijskog kanala ugrađujemo **dekoder** koji provjerava ispravnost primljene kodne riječi. Neispravna kodna riječ se odbacuje, a ispravna prevodi nazad u izvorni kôd.



Slika 16.1 Model kanala za prijenos poruke sa zaštitom od pogrešaka

U sustavima za prijenos podataka zaštita od pogreški provodi se nad PDU-om kao cjelinom.

Korištenjem kodnih riječi s povećanim brojem bita dobivamo veliki broj neiskorištenih kodnih riječi. Prijem neiskorištene kodne riječi ukazuje na pogrešku, dok pogreške koje ispravnu kodnu riječ pretvore u drugu ispravnu nije moguće otkriti. Stoga treba pronaći kôd u kojem unesena redundancija ima visok stupanj učinkovitosti. To radimo na osnovu tri **kriterija efikasnosti**:

- Efikasnost otkrivanja pogreški – ovisi o minimalnoj distanci među kodnim riječima.
- Efikasnost algoritma – ovisi o potrebnim operacijama, odnosno sklopovlju za kodiranje i dekodiranje.
- Efikasnost protokola – ovisi o odnosu korisne informacije prema veličini zaglavlja.

U **primjeni** su tri vrste **redundantnih kodova** za detekciju pogreški:

- Vertikalna zaštita (VRC)
- Dužinska zaštita (LRC)
- Ciklička zaštita (CRC)

Primjena VRC omogućava otkrivanje samo jedne pogreške, dok u kombinaciji s LRC omogućava otkrivanje dviju pogreški ili otkrivanje i ispravljanje jedne pogreške. Ciklička zaštita otkriva većinu pogreški.

16.2. Sistematski blok kodovi s paritetnim ispitivanjem

- ❖ *Sistematizacija kodova*
- ❖ *Podjela po načinu dodavanja redundancije*
- ❖ *Podjela po načinu izračuna redundantnih bita*
- ❖ *Podjela po korištenim algebarskim operacijama*

Podjela po načinu dodavanja redundancije:

- Sistematski kodovi – originalnoj se poruci dodaju redundantni bitovi. Originalna k -bitna informacija prenosi se nepromijenjena i dodaje joj se c redundantnih bita.
- Nesistematski kodovi – općeniti kodovi.

Podjela po načinu izračuna redundantnih bita:

- Konvolucijski kodovi – svakom se bloku dodaju redundantni bitovi na osnovu tog i prethodnog bloka. Najčešće se koriste kod malih kodnih riječi. Prednost im je lakša detekcija pogreške. Problem je što se pogreška multiplicira i propagira na sljedeće blokove.
- Blok kodovi – svakom se bloku redundantni bitovi dodaju na osnovu samo tog bloka, pa se pogreška ne može multiplicirati.

Podjela po korištenim algebarskim operacijama:

- Kodovi s paritetnim ispitivanjem – bitovima originalne kompleksije dodaju se paritetni kontrolni bitovi. Koristimo operaciju sume po modulu $m = 2$.
- Ostali kodovi – koriste druge algebarske operacije (obično zbrajanje).

16.3. Kodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem

- ❖ *Sistematski blok kodovi s paritetnim ispitivanjem*
- ❖ *Svojstva kôda i veličina matrice*
- ❖ *Generirajuća matrica i jednadžbe kodera*
- ❖ *Svojstva matrice P*

Kod **sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem**, bitovima originalne kompleksije dodaju se paritetni kontrolni bitovi, tako da za definirano paritetno ispitivanje broj jedinica bude paran ili neparan. Za paritetno ispitivanje koristimo operaciju sume po modulu $m = 2$. Zbrajanje svih znamenki neke kodne riječi po modulu 2 daje jedinicu ako je broj jedinica u toj riječi neparan, a nulu ako je paran.

Sistematske blok kodove s paritetnim ispitivanjem najčešće opisujemo **matricom** (n, k) , gdje je n ukupan broj bitova, a k broj bitova originalne informacije. Vrijedi da je $k \leq n$, s tim da slučaj $k = n$ opisuje prijenos informacije bez zaštite.

Kodiranjem 2^k k -torki originalne informacije dobije se 2^n n -torki. 2^k dobivenih n -torki je ispravno (iskorišteno), a ostalih $2^n - 2^k$ su neispravne.

Ispravna kompleksija \underline{c} iz skupa 2^k ispravnih n -torki nastaje djelovanjem **generirajuće matrice** \underline{G} veličine $k \times n$ na k -torku \underline{d} iz originalnog skupa kompleksija:

$$\underline{c} = \underline{d} \cdot \underline{G}$$

Generirajuća matrica \underline{G} sastoji se od jedinične matrice \underline{I} veličine $k \times k$ i permutacijske matrice \underline{P} veličine $k \times (n - k)$ koja definira kontrolne bitove:

$$\underline{G} = [\underline{I} \ \underline{P}]$$

Prvih k bita kodne riječi \underline{c} zapravo je jednako kodnoj riječi \underline{d} , dok ostalih $n - k$ bita ovisi o permutacijskoj matrici.

Za svaki $c_{1,j}$ imamo posebnu formulu oblika $c_{1,j} = d_{1,1} \cdot G_{1,j} \oplus \dots \oplus d_{1,k} \cdot G_{k,j}$. Sustav tih jednadžbi koje koristimo za izračunavanje vektora \underline{c} je sustav **jednadžbi kodera**. Pojedini bit vektora \underline{c} nastaje sumacijom onih bitova vektora \underline{d} za koje je bit stupca matrice \underline{G} jednak jedinici.

Svojstva matrice \underline{P} :

- Ne smije imati dva ista stupca.
- Niti jedan stupac ne smije sadržavati samo nule.
- Niti jedan redak ne smije sadržavati samo nule.
- Ne smiju postojati dva jednaka retka.

Poopćenje zadnja dva svojstva kaže da je za detekciju n -terostruke pogreške potrebno osigurati da suma bilo kojih n redaka matrice \underline{P} bude različita od nule. Ukratko, matrica mora biti regularna.

16.4. Dekodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem

- ❖ Definicija matrica za dekodiranje
- ❖ Tehnika detekcije pogreški
- ❖ Jednadžbe dekodera
- ❖ Dobivanje i svojstva sindroma, statistička svojstva

Na prijemnoj strani potrebno je provjeriti ispravnost primljenog koda. Stoga definiramo **matricu kontrole pariteta \underline{H}** i njenu transponiranu matricu \underline{H}^T :

$$\underline{H} = [\underline{P}^T \ \underline{I}] \quad \underline{H}^T = \begin{bmatrix} \underline{P} \\ \underline{I} \end{bmatrix}$$

Vrijedi $\underline{G} \cdot \underline{H}^T = \underline{0}$.

Tehnika detekcije pogreški zasniva se na činjenici da matrica \underline{H}^T primijenjena na vektor \underline{c} mora dati nul-vektor ako je \underline{c} iz skupa ispravnih kompleksija \mathcal{C} . Dakle:

$$\forall \underline{c}' \cdot \underline{H}^T = \underline{0} \Rightarrow \underline{c}' \in \mathcal{C}$$

$$\forall \underline{c}' \cdot \underline{H}^T \neq \underline{0} \Rightarrow \underline{c}' \notin \mathcal{C}$$

Množenjem općenitog vektora \underline{c} s \underline{H}^T dobivamo sustav jednadžbi koje nazivamo **jednadžbe dekodera**.

Sindrom \underline{s} rezultat je paritetnog ispitivanja. Za sindrom vrijedi $\underline{c}' \cdot \underline{H}^T = \underline{s}$. Primljena kodna riječ može biti pogrešna, tj. $\underline{c}' = \underline{c} \oplus \underline{e}$, gdje je \underline{c} poslana kodna riječ, a \underline{e} vektor pogreške. Sindrom ovisi o karakteru pogreške: $\underline{s} = \underline{e} \cdot \underline{H}^T$.

Svojstva sindroma:

- Ne možemo otkriti onu pogrešku koja je sama za sebe ispravna kodna riječ:

$$\underline{e} \cdot \underline{H}^T = \underline{s} = \underline{0}$$

- Ne možemo detektirati $\frac{2^k}{2^n}$ pogreški.
- Nakon detekcije ne možemo sa sigurnošću izvršiti korekciju, stoga je za prijenos pogodnije koristiti samo detekciju pogreški i retransmisiju izgubljenih podataka.

Nisu sve pogreške jednako vjerojatne. Višestruke pogreške i dugački snopovi pogreški malo su vjerojatni. Ukoliko je matrica \underline{G} ispravno dizajnirana, u 2^k pogreški naći će se jedna koja je vjerojatnija od svih drugih i nazivamo je **dominantna kodna riječ pogreške**. Najvjerojatnije pogreške ne smiju pripadati skupu ispravnih kodnih riječi.

17. CIKLIČKI KODOVI

17.1. Svojstva cikličkih kodova

- ❖ Svojstva i primjena
- ❖ Polinomski zapis kodne riječi, dijeljenje polinoma
- ❖ Generirajući polinom i formiranje matrice G

Ciklički kodovi omogućavaju kodiranje i dekodiranje jednostavnim algoritmom. Nastali su iz blok kodova primjenom operacije cikličke permutacije nad generirajućim polinomom $g(x)$ i pripadaju skupu sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem. Ciklička permutacija obavlja se tako da svaki bit pomaknemo ulijevo, s tim da najznačajniji bit prelazi na najmanje značajno mjesto.

Vektor \underline{c} možemo zapisati kao **polinom**:

$$c(x) = c_{n-1} \cdot x^{n-1} \oplus c_{n-2} \cdot x^{n-2} \oplus \dots \oplus c_1 \cdot x^1 \oplus c_0 \cdot x^0$$

x^{n-k} pokazuje mjesto na kojem se unutar kodne riječi nalazi koeficijent c_{n-k} . Kada ovakav polinom pomnožimo s x , dobit ćemo pomak koeficijenata ulijevo. Dobiveni polinom zatim **dijelimo** s $x^n \oplus 1$, čime smo obavili ciklički pomak.

Sistematski ciklički blok kodovi definirani su matricom oblika $\underline{G} = [I \ P]$ koju **formiramo** počevši od posljednjeg retka. Posljednji redak matrice \underline{I} jednoznačno je određen, dok je posljednji redak matrice \underline{P} proizvoljan, uz određena ograničenja.

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & r & r & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & r & r & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & r & r & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Sve ostale retke matrice \underline{G} dobivamo cikličkim pomakom posljednjeg retka. Ako novi redak r_{j-1} ne odgovara retku matrice \underline{L} , pribrojimo mu posljedni redak r_k (r_j^{k+1} je bit na mjestu $k + 1$ retka j):

$$r_{j-1} = \begin{cases} r_j \cdot x, & r_j^{k+1} = 0 \\ r_j \cdot x \oplus r_k, & r_j^{k+1} \neq 0 \end{cases}$$

Zadnji član posljednjeg retka matrice \underline{G} mora biti 1 kako svi članovi nekog retka ili stupca matrice \underline{P} ne bi bili jednaki nuli.

Posljednji redak matrice \underline{G} je polinom stupnja $n - k$ i naziva se **generirajući polinom**. On mora biti djeljitelj od $x^n \oplus 1$ da bi matrica \underline{G} imala smisla. Svaki redak matrice \underline{G} nastao je linearnom kombinacijom i rotacijom posljednjeg retka i djeljiv je s njim.

17.2. Kodiranje i dekodiranje cikličkih kodova

- ❖ Svojstva kodne riječi cikličkog kôda
- ❖ Konstrukcija kôdne riječi cikličkog kôda
- ❖ Izračunavanje $c(x)$
- ❖ Dekodiranje cikličkog kôda

Svaki redak matrice \underline{G} nastao je cikličkim pomakom $g(x)$ i eventualno zbrajanjem po modulu s $g(x)$, što znači da su svi reci djeljivi s $g(x)$. **Kodna riječ c** nastaje sumacijom redaka matrice \underline{G} , stoga je polinom $c(x)$ djeljiv s $g(x)$. Zato je na prijemnoj strani dovoljno provjeriti djeljivost polinoma $c(x)$ s poznatim $g(x)$. Ako nije djeljiv, u prijenosu je nastupila pogriješka.

Kako je:

$$c(x) = q(x) \cdot g(x) \oplus r(x) \quad /: g(x)$$

vrijedi:

$$\frac{c(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)}$$

gdje je $q(x)$ kvocijent stupnja $n - k$, a $r(x)$ ostatak dijeljenja stupnja manjeg od $n - k$. Za ispravnu kodnu riječ vrijedi $r(x) = 0$.

Kako se radi o sistematskom blok kôdu, **$c(x)$ sadrži** bitove originalne kôdne riječi $d(x)$ pomaknute $n - k$ bitova ulijevo i kontrolne bitove $k(x)$ kao što je prikazano na Slika 17.1.



$$c(x) = x^{n-k} \cdot d(x) \oplus k(x)$$

Slika 17.1 Konstrukcija kôdne riječi cikličkog kôda

Kodnu riječ $c(x)$ **izračunavamo** dijeljenjem pomaknutog $d(x)$ s $g(x)$:

$$\frac{x^{n-k} \cdot d(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)} \quad /: g(x)$$

$$x^{n-k} \cdot d(x) = q(x) \cdot g(x) \oplus r(x) \quad / \oplus r(x)$$

$$x^{n-k} \cdot d(x) \oplus r(x) = q(x) \cdot g(x) = c(x) \Rightarrow k(x) = r(x)$$

Dakle, $c(x)$ dobijemo pomakom $d(x)$ ulijevo i dodavanjem ostatka dijeljenja s $g(x)$:

$$c(x) = x^{n-k} \cdot d(x) \oplus r(x)$$

$$r(x) = \text{rem} \frac{x^{n-k} \cdot d(x)}{g(x)}$$

Na prijemnoj strani dobijemo kodnu riječ $c'(x)$ i provjeravamo njenu djeljivost s $g(x)$.

$$c'(x) = e(x) \oplus c(x) \quad /: g(x)$$

$$\frac{c'(x)}{g(x)} = \frac{e(x)}{g(x)} \oplus \frac{c(x)}{g(x)}$$

Za $c(x)$ znamo da je djeljiv s $g(x)$, pa rezultat dijeljenja ovisi samo o $e(x)$. Ostatak dijeljenja $\frac{e(x)}{g(x)}$ jednak je sindromu napisanom u obliku polinoma:

$$\text{rem} \frac{e(x)}{g(x)} = s(x)$$

Ako je $s(x) = 0$, vektor je ili iz skupa ispravnih kompleksija (nije moguće detektirati pogrešku) ili je jednak 0 (nije bilo pogreške).

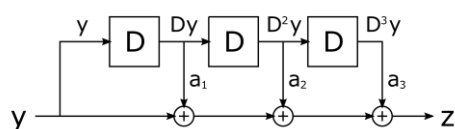
17.3. Sklopovlje cikličkih kodova

- ❖ Operator kašnjenja
- ❖ Prijenosna funkcija digitalnog filtra
- ❖ Digitalni filter s povratnom vezom
- ❖ Sklop za kodiranje i dekodiranje
- ❖ Polinomi i primjena cikličkih kodova u praksi

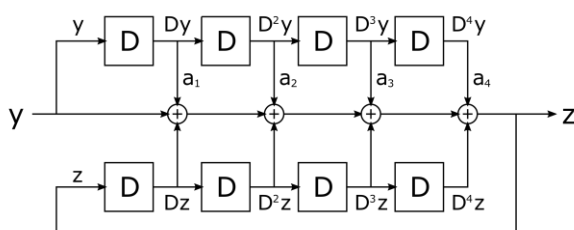
Kašnjenje u digitalnoj tehnici realiziramo korištenjem D bistabila $Q^{n+1} = D^n$. Ako je Q izlazna varijabla z , a D ulazna varijabla y , vrijedi:

$$z = D \cdot y$$

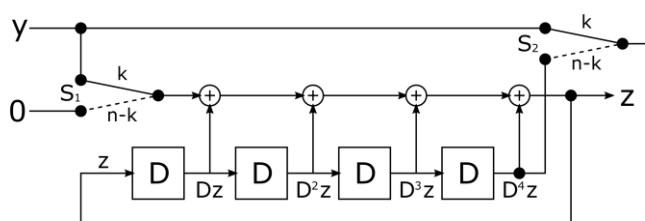
gdje je D operator kašnjenja.



Slika 17.2 Binarni (digitalni) filter



Slika 17.3 Binarni filter s povratnom vezom



Slika 17.4 Koder i dekoder cikličkog kôda

Digitalni filter realizira se serijskim povezivanjem bistabila i kombinacijom trenutnih vrijednosti s prethodnim vrijednostima (Slika 17.2).

Prikazani binarni filter može se opisati prijenosnom **funkcijom**:

$$G^*(D) = \frac{z}{y} = 1 \oplus a_1 D \oplus a_2 D^2 \oplus a_3 D^3$$

Za slučaj **digitalnog filtra s povratnom vezom** (Slika 17.3) vrijedi:

$$z = P(D)y \oplus G'(D)z$$

$$z(1 \oplus G'(D)) = P(D)y$$

$$\frac{z}{y} = \frac{P(D)}{1 \oplus G'(D)} = \frac{P(D)}{G(D)} = G^*(D)$$

Za $P = 1$ je $G^*(D) = \frac{1}{G(D)}$, odnosno $z = \frac{y}{G(D)}$. Taj sklop obavlja dijeljenje ulaza s polinomom, a nas zanima ostatak tog dijeljenja.

Na Slika 17.4 prikazan je **sklop za kodiranje i dekodiranje**.

Na predajnoj strani bistabili se postave u početnu vrijednost 0 i originalna poruka $d(x)$ propušta se nepromijenjena. Istovremeno se ta poruka dijeli s $g(x)$, a u bistabilima se akumulira ostatak dijeljenja. Nakon emitiranja poruke $d(x)$ preklopnici se prebace u drugi položaj $(n - k)$ i na kanal se pošalje ostatak dijeljenja $r(x)$.

Na **prijemnoj strani** kroz sklop se propušta cijela primljena poruka $c(x)$. Ako nije bilo pogreške, ostatak u bistabilima sklopa mora biti jednak nuli.

Kod suvremenih protokola **primjenjuje se** više različitih cikličkih kodova ovisno o korištenom generirajućem **polinomu**. Primjeri su:

- CRC-12: $x^{12} \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1$
- CRC-16: $x^{16} \oplus x^{15} \oplus x^2 \oplus 1$
- CRC-CCITT: $x^{16} \oplus x^{12} \oplus x^5 \oplus 1$
- CRC-32

Ako dođe do gubitka sinkronizacije, može biti preskočen ili dodan bit 0 na početku poruke, što CRC-32 i CRC-CCITT ne mogu detektirati, te se koristi zaštitni kôd kao komplement sume po modulu dva člana.

18. ZNAKOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI

18.1. Opća svojstva znakovnih protokola

- ❖ Zadaće podatkovne razine
- ❖ Definicija, namjena i razvoj znakovnih protokola
- ❖ Pregled standarda protokola i znakova

Podatkovna razina obavlja poslove vezane za prijenos korisnikovih podataka između dva čvora neposredno povezana fizičkim kanalom. Podatkovnu razinu dijelimo na dvije podrazine:

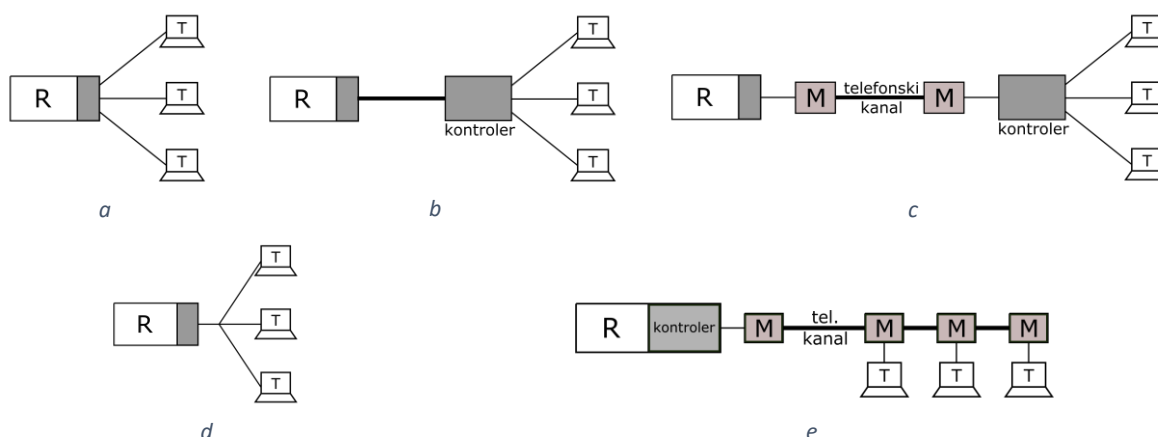
Podrazina 2.1 – obavlja sastavljanje i rastavljanje PDU-a, sinkronizaciju po PDU i oktetu, detekciju pogreške i odbacivanje neispravnog okvira.

Podrazina 2.2 – vrši kontrolu toka (usklađivanje brzine prijenosa) i kontrolu pogreške (retransmisiju).

Osnovna jedinica informacije kod **znakovno-orijentiranih** protokola je blok sastavljen od pojedinih znakova. Prijenos se odvija znak po znak i svaki znak ima određeno značenje. ZO protokoli mogu se koristiti i na sinkronim i na asinkronim kanalima. Problem je što nisu transparentni jer su neki znakovi rezervirani za upravljanje prijenosom, pa se ne smiju pojaviti u korisnikovoj poruci.

ZO protokoli prvi su se put **pojavili** na mrežama terminala u više izvedbi:

- Znakovni terminali priključeni na računalo neposredno (Slika 18.1) ili posredstvom kontrolera (Slika 18.1).
- Znakovni terminali priključeni na računalo posredstvom kontrolera i modemske veze (Slika 18.1).
- Blokovni terminali priključeni na računalo višespojno (Slika 18.1) ili višespojnim modemima (Slika 18.1).



Slika 18.1 Različite izvedbe mreža terminala

U svim varijantama koriste se slični protokoli koji uključuju funkcije prozivanja i selektiranja.

Pri **kodiranju** znakova koriste se dva kôda – ASCII (ISO 646) i IBM-ov EBCDIC. Osnovni kontrolni znakovi prikazani su u Tablica 18.1.

ZNAK	ZNAČENJE	ZNAK	ZNAČENJE
SOH	Početak zaglavlja (<i>Start of Header</i>)	ACK	Potvrda (<i>Acknowledgement</i>)
STX	Početak teksta (<i>Start of Text</i>)	DLE	Iznimka (<i>Data Link Escape</i>)
ETX	Kraj teksta (<i>End of Text</i>)	NAK	Negativna potvrda (<i>Negative Acknowledgement</i>)
EOT	Kraj prijenosa (<i>End of Transmission</i>)	SYN	Sinkronizacija (<i>Synchronous Idle</i>)
ENQ	Upit (<i>Enquiry</i>)	ETB	Kraj bloka (<i>End of Transmission Block</i>)

Tablica 18.1 Osnovni ISO 646 kontrolni znakovi

18.2. Znakovni protokoli po ISO 1745

- ❖ Faze prijenosa podataka
- ❖ Podjela uređaja na vezi
- ❖ Vrste i oblik okvira – blokova
- ❖ Problem transparentnosti

ISO 1745 definira sljedeće **faze komunikacije**:

- Uspostava fizičkog kanala
- Uspostava logičkog kanala – povezivanje dvaju uređaja na višespojnom mediju prozivanjem i selektiranjem
- Prijenos podataka
- Raskid logičkog kanala – oslobađanje povezanih uređaja
- Raskid fizičkog kanala

Primarna stanica (*master*) obavlja kontrolu rada mreže, a **sekundarna stanica** (*slave*) odaziva se kad je primarna pozove ili selektira.

Informacijski blokovi prvenstveno se koriste u fazi prijenosa, a mogu biti:

- Bez zaglavlja – koriste se kod najjednostavnijih protokola na jednospojnom mediju. Jednostavno se prenosi blok po blok podataka.
- Sa zaglavljem – u zaglavljju se prenosi adresa odredišta, potvrda prijenosa, redni broj bloka i druge kontrolne informacije određene protokolom. Zaglavlje počinje znakom <SOH> i korisnik u njega nema uvid.

Kontrolni blokovi su blokovi prozivanja i selektiranja koje šalje primarna stanica. Općenito su oblika prikazanog na Slika 18.2.

Prefiks se zamijeni adresom prozivanja, odnosno selektiranja, a znak sa „ENQ“. Nakon prozivanja sekundarna stanica šalje negativni odgovor „EOT“ ako nema podataka ili odgovara nizom informacijskih okvira ako ima.

Nakon selektiranja sekundarna stanica šalje „NAK“ ako se nije spremna odazvati, inače prelazi u prijemno šalje i šalje „ACK“. Znakovima „ACK“ i „NAK“ prijemna stanica potvrđuje prijem, odnosno gubitak bloka. Predajna stanica raskida logički kanal znakom „EOT“, a fizički kanal slanjem „DLE EOT“.

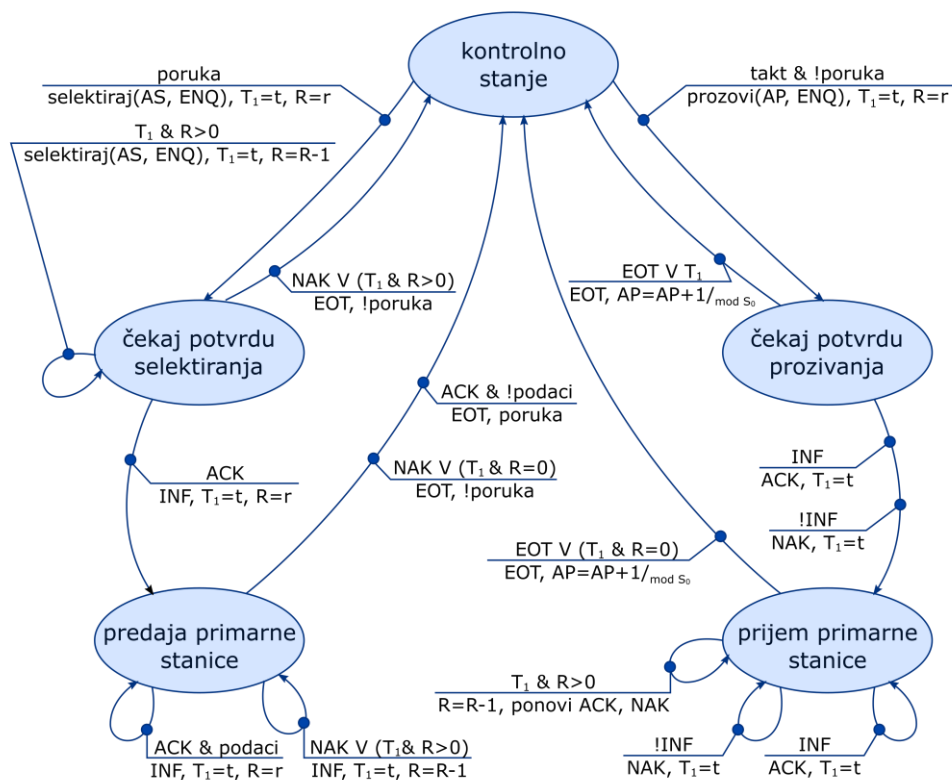
Kako bi riješili **problem transparentnosti** (kontrolni znakovi ne smiju se pojaviti u korisnikovoj poruci), uvodi se posebni znak „DLE“ koji mijenja značenje znaka koji ga slijedi.

z
n
a
k
prefix

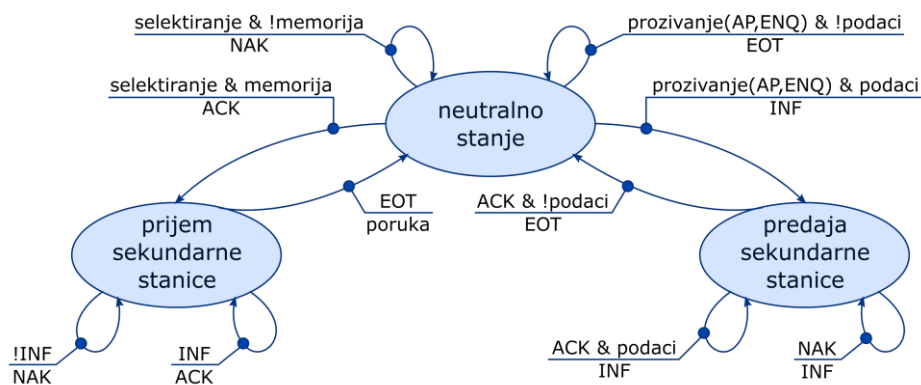
Slika 18.2 Oblik kontrolnog bloka

18.3. Dijagrami stanja ZO protokola

- ❖ Upotreba okvira – blokova
- ❖ Dijagram stanja primarne stanice
- ❖ Dijagram stanja sekundarne stanice



Slika 18.3 Dijagram stanja primarne stanice



Slika 18.4 Dijagram stanja sekundarne stanice

Oznake:

T_1	- vremenski sklop	r	- maksimalni broj retransmisija	takt	- takt prozivanja
R	- brojač retransmisija	INF	- informacijski blok	poruka	- poruka poslana
selektiraj(AS, ENQ)	- selektiranje s adresom selektiranja AS			!poruka	- poruka nije poslana

18.4. Znakovno orijentirani protokoli u praksi

- ❖ *Korištenje znakovnih protokola*
- ❖ *Samoodredni protokoli*
- ❖ *SLIP*

Znakovno orijentirani protokoli masovno se **koriste** zbog sposobnosti korištenja asinkronih kanala. Osobna računala standardno raspolažu asinkronim veznim sklopom, što ograničava prijenos podataka telefonskim kanalom na znakovno orijentirane protokole. Radi kompatibilnosti, čak i interni modemi prividno s terminalom komuniciraju asinkrono.

Samoodredni protokoli su ZO protokoli čije zaglavlje sadrži podatak o duljini poruke (LEN), zbog čega nije potreban znak za kraj teksta. Time je riješen problem transparentnosti. Međutim, protokol je postao osjetljiviji na pogreške zaglavlja pa je uvedeno posebno kodiranje za detekciju takvih pogreški. Koriste se za sinkroni i asinkroni prijenos. Primjer je DDCMP protokol u DNA arhitekturi.

SLIP (*Serial Line Internet Protocol*) je de-facto standard za modemske prijenos IP paketa telefonskim kanalima. Specifikacija definira oblik okvira u kojem je sadržan IP paket, s mogućnošću kompresije IP zaglavlja. Mana SLIP-a je što ne sadrži mehanizme adresiranja, identifikacije mrežnog protokola i kompresije podataka. SLIP koristi četiri posebna znaka: <END>, <ESC>, <hexDC> i <hexDD>. Specifikacija predviđa slanje niza znakova koji završava <END> znakom (Slika 18.5). Maksimalna veličina SLIP okvira nije definirana, dok minimalna iznosi 1006 okteta.



Slika 18.5 SLIP okvir

18.5. PPP protokol Interneta

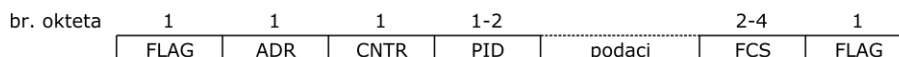
- ❖ *Osnovna svojstva PPP*
- ❖ *Oblik okvira*
- ❖ *Uloga LCP i NCP*

PPP (*Point to Point Protocol*) je bespojni protokol Interneta za modemske i druge serijske kanale. Specificira okvir i mehanizme upravljanja protokolima podatkovnog (LCP) i mrežnog (NCP) nivoa. Omogućava prijenos asinkronim i sinkronim kanalima.

PPP **okvir** (Slika 18.6) sastoji se od okvirnog znaka koji se šalje na početku i na kraju okvira, adresnog i kontrolnog polja fiksne duljine te PID polja koje identificira protokol mrežne razine, podatkovnog polja maksimalne duljine 1500 okteta i zaštitnog polja (FCS) koje se izračunava po polinomu CRC-CCITT ili CRC-32.

LCP (*Link Control Protocol*) odnosi se na dogovaranje opcija (duljina okvira, kompresija zaglavlja), funkciju kontrole kvalitete i provjeru identiteta korisnika.

NCP (*Network Control Protocol*) se definira za pripadni mrežni protokol i koristi se za određivanje dinamički dodjeljivanih mrežnih adresa te za uključanje kompresije TCP/IP zaglavlja.



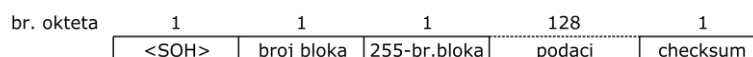
Slika 18.6 Oblik PPP okvira

18.6. Protokoli za prijenos datoteka

- ❖ Osnovna svojstva i primjena
- ❖ XMODEM, YMODEM, ZMODEM

Prije masovne pojave Interneta razmjena datoteka i poruka obavljala se neposredno ili putem BBS-a. Različiti **komunikacijski programi** omogućavali su terminalski pristup drugom računalu i razmjenu datoteka koristeći neki od znakovno orijentiranih protokola (XMODEM, YMODEM, ZMODEM). Komunikacijski programi uključivali su poseban komandni jezik kojim se automatizirao pristup udaljenom sustavu.

XMODEM je protokol ugrađen u svim komunikacijskim programima, predviđen za asinkroni prijenos datoteka sa 8 podatkovnih i jednim stop bitom. Podaci se prenose u numeriranim blokovima veličine 128 okteta, zaštićenim zaštitnim znakom (Slika 18.7).



Slika 18.7 Oblik XMODEM bloka

Prijenos je poludvosmjernan, a predajna i prijemna stanica moraju uvijek biti sinkronizirane. Mane su nedovoljna veličina bloka (što ograničava brzinu prijenosa), mogućnost prenošenja samo jedne datoteke za vrijeme jedne veze (bez prijenosa imena datoteke) te slaba zaštita od pogreške koju pruža zaštitna suma, što je riješeno XMODEM/CRC proširenjem.

YMODEM je proširenje XMODEM/CRC protokola kod kojeg se koristi poseban blok za slanje imena, veličine i datuma posljednje izmjene datoteke. YMODEM omogućuje slanje više datoteka u jednom prijenosu i korištenje blokova veličine 128 i 1024 okteta, što je povećalo brzinu prijenosa.

ZMODEM prenosi podatke kao okvire sa zaglavljem duljine 5 okteta (Slika 18.8) i proizvoljnim brojem okteta podataka, a umjesto numeracije koristi pomak od početka datoteke.



Slika 18.8 Oblik zaglavlja ZMODEM okvira

Zastavice F0-F3 koriste se samo kod nekih tipova okvira, a služe za određivanje nekih dodatnih opcija. Okteti P0-P3 određuju pomak od početka datoteke, odnosno koji je dio datoteke primljen.

19. BITOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI

19.1. Opća svojstva BO protokola

- ❖ *Razvoj i standardizacija*
- ❖ *Mogućnosti primjene*
- ❖ *Podjela na podrazine*

Znakovno orijentirani protokoli bili su netransparentni, a prijenos je kod poludvosmjernih veza bio spor jer je svaki put trebalo okretati smjer komuniciranja i čekati vrijeme kašnjenja na kanalu. Stoga su razvijeni novi - **bitovno orijentirani** protokoli. Prvi takav protokol bio je IBM SDLC, kasnije **standardiziran** kao ANSI ADCCP, odnosno ISO 3309/4335 te kao protokol prema ITU-T preporuci X.25 LAP-B.

BO protokoli masovno se **primjenjuju** kod lokalnih mreža te se na njima temelje MAC i LLC protokoli. Koriste se i kod sinkronih komunikacija između inteligentnih modema pod nazivom LAP-M. Jedina im je mana što se isključivo koriste na sinkronim kanalima.

Podatkovni sloj dijeli se na dvije **podrazine** s okvirima definiranim ISO standardima:

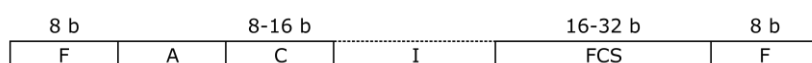
- Podrazina 2.1 – okviri prema ISO 3309
- Podrazina 2.2 – okviri prema ISO 4335

19.2. HDLC BO protokoli po ISO 3309

- ❖ *Osnovni oblik okvira*
- ❖ *Sinkronizacija po okviru*
- ❖ *Svojstva adresnog polja*
- ❖ *Mehanizam transparentnosti*

HDLC (*High-Level Data Link Control*) **okvir** (Slika 19.1) sastoji se od sljedećih polja:

- F – okvirni znak koji označava početak i kraj okvira.
- A – adresno polje.
- C – kontrolno polje. Sadrži parametre koji određuju vrstu okvira i parametre vezane za numeraciju i retransmisiju
- I – informacijsko polje. Sadrži korisnikove informacije.
- FCS – zaštitno polje s CRC-CCITT zaštitom koja djeluje na cijeli okvir.



Slika 19.1 Osnovni oblik HDLC okvira

Sinkronizacija po okviru vrši se tako da prijemnik, nakon prepoznavanja vlastite adrese u primljenom okviru, nastavlja s kompletiranjem okvira sve dok ne naiđe na kontrolni znak, na osnovu kojeg provjerava ispravnost okvira. Ako je okvir ispravan, prosljeđuje ga podrazini 2.2, inače ga odbacuje.

Adresno polje sadrži adresu podatkovne razine. Duljina mu je jedan ili više okteta, ovisno o protokolu. Ako je popunjeno samo jedinicama, okvir primaju sve stanice. Adresno polje sa svim nulama se ne koristi. Mana je što nedostaje adresa pošiljatelja.

Transparentnost se postiže ubacivanjem nule nakon svakih pet jedinica. Prijemnik poslije pet jedinica bezuvjetno odbacuje nulu.

19.3. HDLC BO protokoli po ISO 4335

- ❖ Funkcija i uređaji
- ❖ Osnovni načini prijenosa podataka
- ❖ C polje i grupe okvira

Uređaji ISO 4335 standarda su primarna i sekundarna stanica. Primarna stanica šalje komandne okvire (*command*) prema sekundarnim stanicama i od njih prima odzivne okvire (*response*). Sekundarna stanica može održavati komunikaciju samo s jednom primarnom stanicom.

Osnovni načini prijenosa podataka su:

- Normalni odzivni način rada (NRM – *Normal Response Mode*) namijenjen *half duplex* vezama. U NRM-u sekundarna stanica može započeti s predajom isključivo uz dozvolu primarne.
- Asinkroni odzivni način rada (ARM – *Asynchronous Response mode*) namijenjen *full duplex* vezama. U ARM-u sekundarna stanica može samostalno početi s predajom.

C polje (Slika 19.2) omogućava tri različite grupe okvira:

- I – informacijski okvir (*information*) za prijenos korisnikovih informacija.
- S – nadzorni okvir (*supervision*) za prijenos nadzornih informacija (npr. potvrde).
- U – nenumerirani okvir (*unnumbered*) za upravljačke naloge podatkovnog sloja.

	0	1	2	3	4	5	6	7
I	0		N(S)		P/F		N(R)	
S	1	0	S	S	P/F		N(R)	
U	1	1	M	M	P/F	M	M	M

Slika 19.2 Oblik 8-bitnog C polja

19.4. Mehanizmi HDLC protokola

- ❖ Numeracija, polja i varijable
- ❖ P/F mehanizam u NRM i ARM načinu rada
- ❖ Vrste i upotreba S okvira

Blokovе korisnikovih informacija **numeriramo** po modulu $m = 2^n$ gdje je n broj bitova numeracije u C polju, a m širina prozora. Numeraciju koristimo za kontrolu toka i kontrolu pogriješki. C polje (Slika 19.2) sastoji se od sljedećih **polja**:

- N(S) – redni broj odaslanog okvira
- N(R) – redni broj okvira kojeg stanica očekuje
- S – bitovi vrste nadzornog okvira

- M – bitovi vrste nenumeriranog okvira
- P/F (*Poll/Final*) – prozivni bit

Svaka stanica na vezi održava dvije **varijable**:

- $V(S)$ – redni broj okvira koji će sljedeći biti poslan
- $V(R)$ – redni broj okvira koji sljedeći treba biti primljen

Kod NRM načina rada primarna stanica šalje niz okvira i u zadnjem pošalje P bit u jedinici, čime sekundarnoj stanici dopušta da šalje svoje okvire. Sekundarna stanica na to odgovara svojim nizom okvira i u zadnjem šalje F bit u jedinici.

Kod ARM načina rada primarna stanica u bilo kojem trenutku može sa $P = 1$ zahtijevati odziv sekundarne. Sekundarna stanica se na taj poziv odaziva što prije s $F = 1$ ili s nadzornim (S) okvirom ako trenutno nema podataka.

Nadzorni **S okvir** ima dva S bita, pa imamo četiri različita S okvira:

- $SS = 00$ – prijemnik spreman (RR – *Receiver Ready*) i potvrda svih okvira do $N(R) - 1$,
- $SS = 01$ – prijemnik nije spreman (RNR – *Receiver Not Ready*) i potvrda okvira do $N(R) - 1$,
- $SS = 10$ – odbacivanje okvira, tj. zahtjev za retransmisijom (REJ – *Reject*) i zahtjev za retransmisijom okvira od $N(R) - 1$ nadalje,
- $SS = 11$ – selektivno odbacivanje okvira ($SREJ$ – *Selective Reject*) i zahtjev za njegovom retransmisijom.

19.5. HDLC protokol u NRM načinu

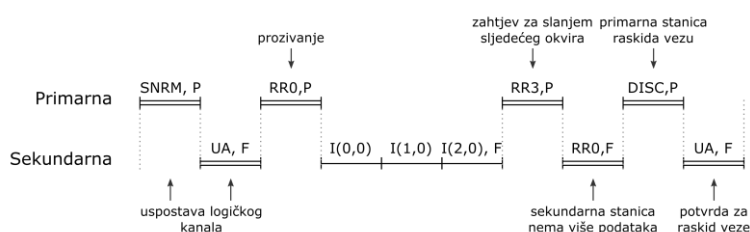
- ❖ *Namjena NRM načina*
- ❖ *U okviri za NRM*
- ❖ *Primjeri prijenosa i oporavka za NRM*

NRM način rada **namijenjen je** poludvosmjernim (*half duplex*) vezama. Kontrolni **U okvir** ima 5 M bitova, pa imamo 32 različita U okvira, od kojih za NRM koristimo:

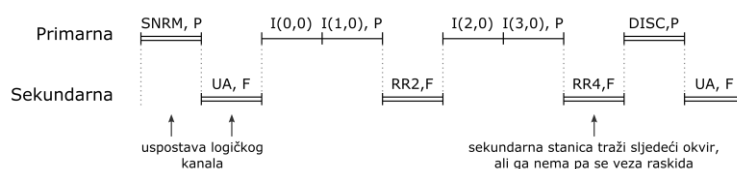
- 00001 – $SNRM$ (*Set NRM*) – postavi normalni odzivni način,
- 11011 – $SNRME$ (*Set NRM Extended*) – postavi NRM s proširenim zaglavljem.

Na Sliku 19.3 prikazan je **primjer prijenosa** s prozivanjem u NRM načinu rada, a na Sliku 19.4 je primjer sa selektiranjem.

Ako se smetnja pojavi na $SNRM$, P ili UA , F okviru, sekundarna stanica se ne odaziva te nakon nekog određenog vremena primarna stanica ponavlja poziv. Grješka na I okviru ispravlja se dojavom gubitka RR i REJ okvirima, potvrđnim brojem I okvira ili istekom primarnog vremena sklopa i retransmisijom.



Slika 19.3 Prozivanje u NRM načinu



Slika 19.4 Selektiranje u NRM načinu

19.6. HDLC protokol u ARM načinu

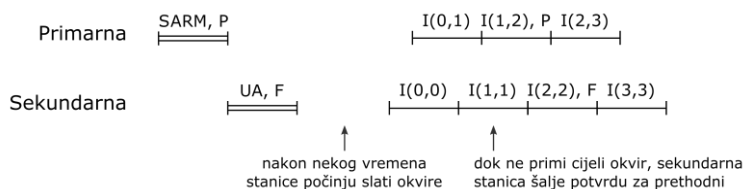
- ❖ Namjena ARM načina
- ❖ U okviri za ARM
- ❖ Primjeri prijenosa i oporavka za ARM

ARM način rada **namijenjen je** dvosmjernim vezama. Od 32 kontrolna **U okvira** u ARM načinu rada primarna stanica (po ISO 4335) šalje:

- 11000 – SARM (Set ARM) – postavi asinkroni odzivni način,
- 11010 – SARME (Set ARM Extended) – postavi ARM s proširenim zaglavljem.

Primjer prijenosa okvira u ARM načinu prikazan je na Slika 19.5. Primarna i sekundarna stanica proizvoljno počinju s emitiranjem te je moguća kolizija.

Ako se smetnja pojavi na *SARM, P* okviru, sekundarna stanica se ne odaziva te nakon nekog vremena primarna stanica shvati da mora ponoviti poziv. Isto vrijedi i za smetnju na *UA, F* okviru. Pogreška na informacijskom okviru otkriva se praćenjem numeracija, uz pomoć P/F mehanizma te *REJ* ili *SREJ* okvirom, nakon čega slijedi retransmisija.



Slika 19.5 Primjer prijenosa u ARM načinu

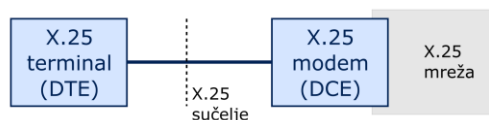
20. PRIMJENA BITOVNO ORIJENTIRANIH PROTOKOLA

20.1. LAP-B

- ❖ *Balansni odzivni mod*
- ❖ *Sučelje na X.25 mreži*
- ❖ *Korištenje adresnog polja*
- ❖ *Okviri LAP-B protokola*

LAP-B (*Link Access Protocol Balanced*) je bitovno orijentirani protokol koji koristi **asinkroni balansni mod**, kod kojeg nema striktno podjele na primarne i sekundarne stanice, već svaka stanica po potrebi izvršava funkcije primarne ili sekundarne stanice. Ovim protokolom nije predviđeno višespojno povezivanje, već samo DTE-DCE povezivanje.

Koristi se **X.25** specifikacija s terminalom povezanim na javnu mrežu zaključenu s X.25 DCE-om (Slika 20.1).



Slika 20.1 Sučelje po ITU-T X.25

Definirane su dvije 8-bitne LAP-B **adrese**:

- A (DCE primarna, 1100 0000) – koristi se kad komanda putuje od DCE prema DTE, odnosno kad odziv putuje od DTE prema DCE.
- B (DTE primarna, 1000 0000) – koristi se kad komanda putuje od DTE prema DCE, odnosno kad odziv putuje od DCE prema DTE.

LAP-B **S okviri**:

- RR (*Receive Ready*) – prijem spreman,
- RNR (*Receive Not Ready*) – prijem nije spreman,
- REJ (*Reject*) – okvir odbačen.

LAP-B **U okviri**:

- Komande:
 - SARM (*Set Asynchronous Response Mode*) – postavi asinkroni odzivni način rada,
 - SABM (*Set Asynchronous Balanced Mode*) – postavi asinkroni balansni način rada,
 - DISC (*Disconnect*) – prekid veze.
- Odzivi:
 - UA (*Unnumbered Acknowledgement*) – nenumerirana potvrda,
 - CMDR (*Command Reject*) – odbacivanje komande,
 - FRMR (*Frame Reject*) – odbacivanje okvira,
 - DM (*Disconnected Mode*) – nepriključeno stanje.

20.2. LAP-M

- ❖ *Razvoj protokola inteligentnih modema*
- ❖ *Mehanizmi LAP-M protokola*
- ❖ *Okviri LAP-M protokola*

Protokoli koje koriste inteligentni modemi **razvili su se** najprije kao industrijski standardi. Poznata je serija standarda firme Micronic pod nazivom MNP (*Modem Networking Protocol*). MNP-5 određuje mehanizme kontrole pogreški, a MNP-10 kompresiju korisničkih podataka.

Potreba za **službenim standardom** rezultirala je donošenjem ITU-T preporuka:

- V.42 – specificira upotrebu **LAP-M** (*Link Access Protocol for Modems*) bitovno orijentiranog protokola s kontrolom pogreški.
- V.42 bis – specificira pravila kompresije korisničkih podataka.

LAP-M koristi **asinkroni balansni mod** kao i LAP-B kojemu je vrlo sličan.

Specificirana je upotreba **SREJ** okvira te dvaju novih U okvira:

- **XID** – koristi se za razmjenu identifikacijskih podataka,
- **TEST** – koristi se za ispitivanje ispravnosti i kvalitete.

20.3. Mreže za prijenos okvira (Frame Relay)

- ❖ *Namjena i standardizacija*
- ❖ *Mehanizmi LAP-F protokola*
- ❖ *Adresno polje LAP-F protokola*
- ❖ *Usluge po LAP-F protokolu*

Frame Relay mreže razvijene su s **namjenom** povezivanja udaljenih lokalnih mreža radnih organizacija. Nakon inicijative zainteresiranih strana, **standardizaciju** je obavio ITU-T. Osnovne usluge definirane su preporukom I.233, a protokol preporukama Q.922 i Q.923. Na fizičkoj razini koristi se BRI ili PRI ISDN priključak, a na podatkovnoj bitovno orijentirani protokol LAP-F (*Link Access Protocol for Frame Relay*), vrlo sličan HDLC protokolu.

LAP-F protokol dijelimo na dvije razine:

- Podrazina 2.1 – koristi se standardni okvir bitovno orijentiranog protokola (Slika 20.2). Jedina je razlika u **adresnom polju** (Slika 20.3) koje sadrži niz podataka potrebnih za prijenos okvira.
- Podrazina 2.2 – sadrži kontrolno C polje bitovno orijentiranog protokola te korisničke podatke (samo I i UI okvir).

01111110
adresno polje
podrazina 2.2
CRC-CCITT
01111110

Slika 20.2 LAP-F okvir prema Q.922

LAP-F protokol predviđa dvije vrste **usluga**:

- Prijenos okvira (*Frame Relay*) – koristi samo podrazinu 2.1 i UI okvir te je prijenos bespojan.
- Prospajanje okvira (*Frame Switching*) – koristi obje podrazine i asinkroni balansni način rada s numeracijom PDU-a i retransmisijom što osigurava spojevnii prijenos podataka.

	8	7	6	5	4	3	2	1
osnovni format adrese (2 okteta)	Upper DLCI						C/R	EA=0
	Lower DLCI				FECN	BECN	DE	EA=1
format adrese s 3 okteta	Upper DLCI						C/R	EA=0
	DLCI				FECN	BECN	DE	EA=0
	Lower DLCI or DL-CORE control						D/C	EA=1
format adrese s 4 okteta	Upper DLCI						C/R	EA=0
	DLCI				FECN	BECN	DE	EA=0
	DLCI							EA=0
	Lower DLCI or DL-CORE control						D/C	EA=1

Slika 20.3 Format adresnog polja LAP-F protokola

Pojedina polja adresnog polja (Slika 20.3) imaju sljedeće značenje:

- EA – indicira kraj zaglavlja,
- C/R – govori radi li se o komandi ili odzivu,
- FECN – indicira zagušenje preko prijemnika,
- BECN – indicira zagušenje povratno,
- DLCI – identifikator virtualnog kanala,
- DE – indikator niskog prioriteta, okvir za odbacivanje,
- D/C – indicira DLCI ili DL-CORE format,
- DL-CORE – kontrolne poruke za održavanje virtualnog kanala.

21. LOKALNE MREŽE NA PODATKOVNOJ RAZINI

21.1. Organizacija podatkovne razine lokalnih mreža

- ❖ *Svojstva lokalnih mreža*
- ❖ *Podjela na podrazine i uloga podrazina*
- ❖ *Pregled standarda*

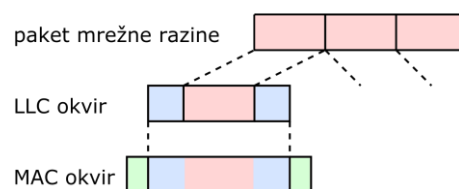
Lokalne mreže su mreže velike brzine, malog kašnjenja i kratkog doseg. Povezuju računala unutar jedne prostorije ili zgrade i najčešće su privatne.

LAN standardizacijom IEEE 802.x definirane su dvije podatkovne podrazine (Slika 21.1):

- 2.1 (MAC, *Media Access Control*) – specificira oblik okvira koji se pojavljuje na mediju i metode pristupa mediju prilagođene samom mediju.
- 2.2 (LLC, *Logical Link Control*) – specificira bitovno orijentirani protokol koji je zajednički za sve vrste mreža.

Neki od 802.x **standarda** su:

- 802.2 – specificira LLC
- 802.3 – Ethernet
- 802.4 – Token bus
- 802.5 – MAC podrazina za Token ring
- 802.11 – WLAN



Slika 21.1 Okviri podrazina podatkovne razine

21.2. Protokol podrazine 2.2

- ❖ *Svojstva protokola, klase usluga*
- ❖ *Oblik okvira, C polje i tipovi okvira*
- ❖ *Sustav adresiranja s komentarom*
- ❖ *Praktična primjena po klasi usluge i po adresiranju*

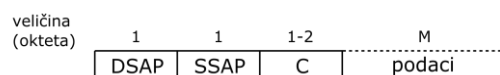
LLC je bitovno orijentirani protokol, zajednički za sve 802 lokalne mreže i specificiran IEEE 802.2 standardom.

LLC pruža dvije **klase usluga**:

- 1. klasa – omogućava bespojni prijenos korištenjem UI (*Unnumbered Information*) okvira.
- 2. klasa – omogućava spojevni prijenos klasičnim okvirima HDLC protokola.

Stanica koja koristi okvire 1. klase mora biti u stanju koristiti i okvire 2. klase. Klasa 1 ima definirane određene komande i odzive od kojih se **u praksi** najčešće koristi samo komanda UI, koja označava samostalnu informaciju.

LLC **okvir** (Slika 21.2) sastoji se od adrese odredišne (DSAP) i izvorišne (SSAP) priključne točke, kontrolnog (C) polja i polja podataka.



Slika 21.2 Oblik LLC okvira

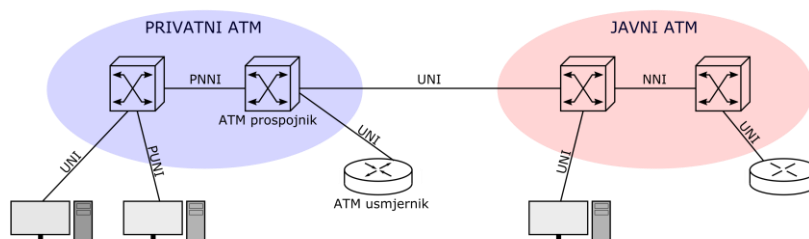
C polje određuje **tip okvira** – S i I okviri koriste 16-bitno, a U okviri 8-bitno C polje.

Pomoću **DSAP** i **SSAP** identificiraju se korisnici logičkog kanala, čime je riješen nedostatak adrese pošiljatelja kod prijašnjih bitovno orijentiranih protokola. Ove adrese dodjeljuju se dinamički, pri uspostavi veze. Kako na mrežnoj razini korisnik može biti samo protokol mrežne razine, i to isti za oba učesnika, nedostatak ovog koncepta je u nepostojanju standardne identifikacije mrežnih protokola.

21.3. ATM tehnologija na podatkovnoj razini

- ❖ *Struktura ATM mreže i položaj sučelja*
- ❖ *Referentna ATM arhitektura*
- ❖ *Karakteristike AAL5 razine*
- ❖ *Parametri kvalitete usluge ATM veze*

ATM je stablasta mreža s ATM prospojnicima u čvorištima. Definirana su dva sučelja (Slika 21.3) – korisničko (UNI, *User Network Interface*) i mrežno (NNI – *Network Node Interface*), odnosno PUNI i PNNI kod privatnih mreža.

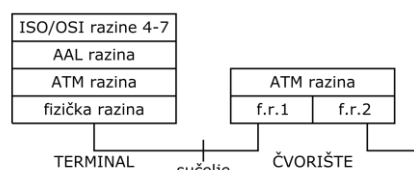


Slika 21.3 Položaji sučelja ATM mreža

Referentna arhitektura ATM mreže prikazana je na Slika 21.4. Fizička razina omogućava prijenos ćelija različitim medijima.

ATM razina odgovorna je za uspostavu i raskid virtualnih kanala te za prosljeđivanje ćelija.

AAL razina ostvaruje vezu između većih jedinica podataka i ćelija. Ona od nadređenih razina prima SDU i obavlja segmentaciju na dijelove duljine 48 okteta.



Slika 21.4 Referentna ATM arhitektura

AAL5 razina osigurava bespojni prijenos podataka. SDU korisnika nadopunjuje se AAL5 CS-SDU dodatkom pa se tako formirani CS-SDU segmentira na ćelije (SAR-PDU).

Ukoliko je mreža u stanju pružiti traženi kapacitet i kvalitetu usluge, uspostavlja se virtualni kanal, inače se zahtjev odbija, čime je ostvarena kontrola pristupa.

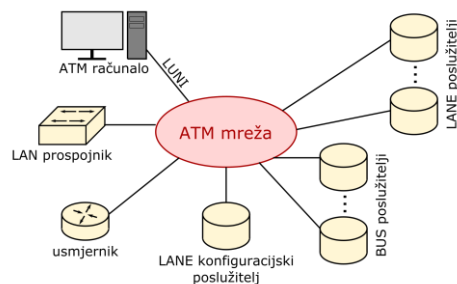
Parametri kvalitete usluge su:

- CDV – varijacija kašnjenja na mreži
- CTD – prijenosno kašnjenje ćelija
- CLR – omjer izgubljenih ćelija

21.4. Primjena ATM tehnologije na lokalnim mrežama

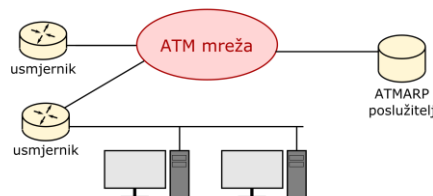
- ❖ *Struktura i svojstva LANE tehnologije*
- ❖ *Struktura i svojstva CIPOA tehnologije*
- ❖ *Struktura i svojstva NHRP i MPOA tehnologije*

LANE (*LAN Emulation*, Slika 21.5) je skup protokola koji omogućavaju korištenje ATM tehnologije za izgradnju bespojnih lokalnih mreža čija je funkcionalnost slična Ethernet mreži. ATM terminali posredstvom ATM mreže komuniciraju kao da su spojeni na lokalnu mrežu. Takva lokalna mreža predstavlja domenu prostiranja i može se povezati na Internet kao podmreža.



Slika 21.5 LANE

CIPOA (*Classical IP over ATM*, Slika 21.6) omogućava prijenos IP paketa preko ATM mreže uz korištenje specifičnog ATMARP sustava, koji IP adrese prevodi na ATM adrese. Na ovaj način moguće je koristiti ATM mrežu kao izravnu zamjenu za lokalne mreže.



Slika 21.6 CIPOA

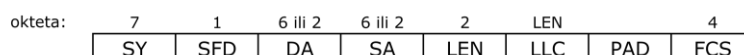
NHRP (*Next Hop Resolution Protocol*) je modifikacija IPOA tehnologije na način da se najprije veza uspostavi među usmjernicima. Tim postupkom doznaje se ATM adresa odredišnog računala i ostvaruje direktni virtualni kanal.

MPOA (*Multi Protocol Over ATM*) objedinjuje dobre strane ranijih tehnologija i povezuje virtualne podmreže različitih tehnologija ATM virtualnim kanalom.

22. LOKALNE MREŽE ETHERNET

22.1. Osnovna svojstva MAC podrazine Ethernet

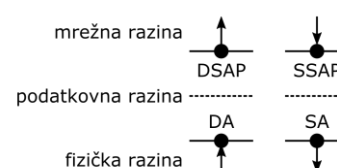
- ❖ Osnovna struktura MAC okvira Ethernet
- ❖ Arhitektura adresiranja Ethernet
- ❖ Struktura i svojstva MAC adresa



Slika 22.1 MAC okvir

MAC okvir Ethernet (Slika 22.1) sastoji se od sljedećih polja:

- SY – koristi se za uspostavu sinkronizacije po okviru,
- SFD (*Start of Frame Delimiter*) – okvirni znak,
- DA (*Destination Address*) – odredišna adresa,
- SA (*Source Address*) – izvorišna adresa,
- LEN – duljina korisnikove informacije u oktetima,
- LLC – informacijsko polje koje sadrži korisnikove podatke,
- PAD – nadopuna na minimalnu duljinu okvira,
- FCS (*Frame Check Sequence*) – zaštitno polje za detekciju pogreške.



Slika 22.2 Arhitektura adresiranja Ethernet

Kod **MAC adresiranja** (Slika 22.2) DA i SA su adrese fizičkog uređaja na fizičkom mediju, dok DSAP i SSAP identificiraju korisnika na mrežnoj razini. DA i SA mogu biti 48-bitna ili 16-bitna adresna polja (Slika 22.3). I/G bit govori radi li se o individualnoj (0) ili grupnoj (1) adresi, a U/L govori radi li se o globalno (0) ili lokalno (1) administriranoj adresi. 16-bitna adresa je uvijek lokalno administrirana.



Slika 22.3 Adresna polja MAC okvira

22.2. Problemi standardizacije Ethernet

- ❖ Problem minimalne duljine okvira
- ❖ Problem identifikatora protokola mrežne razine
- ❖ Primjena Ethernet okvira u praksi

Minimalna duljina okvira uvodi se zbog kašnjenja informacije uzrokovano dužinom kabela te kako bi se osigurala detekcija kolizije. Ako je dužina stvarnog okvira manja od minimalne između LLC i FCS polja ubacuju se dodatni okteti za nadopunu okvira (PAD polje).

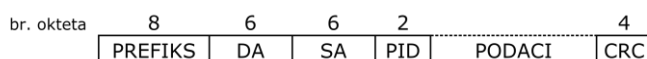
Ethernet okvir definiran je IEEE 802.3 standardom. Problem tog standarda je što nema adekvatnu **identifikaciju protokola mrežne razine**. Da bi se riješio taj problem, definirane su četiri varijante okvira: Ethernet II, 802.3, 802.2 LLC i 802.2 SNAP.

U praksi se na Ethernet mrežama mogu naći sva 4 okvira. Zbog toga na podatkovnoj razini mora postojati sustav za multipleksiranje koji će prepoznati vrstu okvira i uputiti ga na ispravne procese na mrežnoj razini.

22.3. Varijante okvira Etherneta

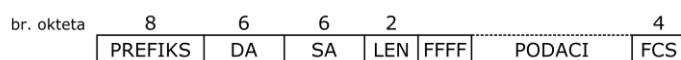
- ❖ *Struktura i svojstva Ethernet II okvira*
- ❖ *Struktura i svojstva 802.3 okvira*
- ❖ *Struktura i svojstva 802.2 LLC okvira*
- ❖ *Struktura i svojstva 802.2 SNAP okvira*

Ethernet II specifikacija (Slika 22.4) danas se masovno koristi iako nije formalno standardizirana. Njegova osnovna karakteristika je PID polje za identifikaciju protokola mrežne razine. Polje PODACI sadrži paket mrežne razine kao SDU, dakle LLC protokol se ne koristi te je prijenos podataka bespojan.



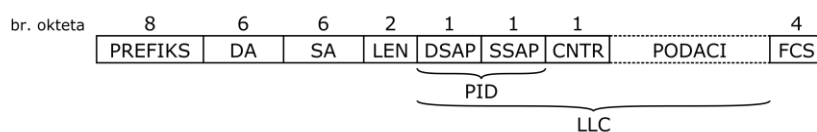
Slika 22.4 Ethernet II okvir

Kod **802.3** okvira (Slika 22.5) polje PID zamijenjeno je poljem LEN. Prvi oktet iza njega (FF) ekvivalentan je adresi odredišne priključne točke DSAP, a drugi je ekvivalentan adresi izvorišne priključne točke (SSAP). To su univerzalne adrese, što je prihvatljivo za odredišnu, ali ne i za izvorišnu priključnu točku.



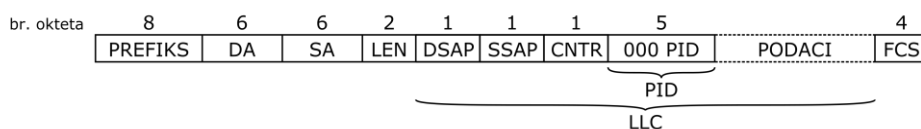
Slika 22.5 802.3 okvir

802.2 LLC (Slika 22.6) koristi originalnu 802.3 specifikaciju s uključenim LLC okvirom na način da polja SSAP i DSAP zajedno služe kao identifikator protokola mrežne razine (PID). Problem je što DSAP i SSAP imaju fiksno dodijeljene vrijednosti i što specifikacija nije u skladu s originalnim standardom.



Slika 22.6 802.2 LLC okvir

SNAP okvir (Slika 22.7) zajednički je za sve vrste lokalnih mreža i zadovoljava sve standarde.



Slika 22.7 802.2 SNAP okvir

23. LOKALNE MREŽE – WLAN

23.1. Osnovna svojstva MAC podrazine WLAN

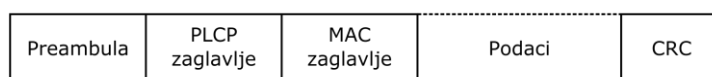
- ❖ Osnovna arhitektura WLAN
- ❖ Osnovna struktura okvira
- ❖ PLCP protokol
- ❖ Koncept prilagođavanja brzine

Za **WLAN**, tj. bežične mreže IEEE donosi seriju standarda 802.11. Na fizičkoj razini podržani su radio (FHSS i DSSS) i infracrveni (IR) prijenos, a na podatkovnoj je definiran specifičan MAC protokol kao podloga za zajednički LLC (Slika 23.1). Osnovna zadaća MAC razine je isporuka okvira LLC protokola (MSDU) bežičnim putem. 802.11 MAC sadrži funkcije provjere identiteta i zaštite tajnosti informacija.

Podatkovna razina	802.2		
	802.11 MAC		
Fizička razina	FHSS	DSSS	IR

Slika 23.1 Osnovna arhitektura WLAN-a

Prijenos podataka obavlja se korištenjem tri vrste **okvira** (Slika 23.2) – podatkovnih, nadzornih i upravljačkih. Preambula se sastoji od sinkronizacijske sekvence (SYN) i okvirnog znaka (SFD).



Slika 23.2 Osnovna struktura WLAN MAC okvira

PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*) zaglavlje omogućuje kompatibilnost s prethodnim standardima te određuje duljinu okvira i brzinu emitiranja. Razlikujemo više varijanti PLCP protokola koji se razlikuju po obliku zaglavlja i modulaciji.

Brzinu prijenosa okvira određuje 8-bitno polje *signal* u PLCP zaglavlju. Njegova binarna vrijednost predstavlja stvarnu brzinu podijeljenu sa 100 kb/s. 8-bitno polje *servis* koristi se za olakšavanje sinkronizacije i definira duljinu u oktetima ili mikrosekundama.

23.2. MAC okvir WLAN

- ❖ Struktura MAC okvira WLAN
- ❖ Fragmentacija i ulančavanje
- ❖ Upravljački, nadzorni i podatkovni okviri

MAC okvir (Slika 23.2) sastoji se od polja:

- Početni niz (preambula) – sastoji se od sinkronizacijske sekvence i okvirnog znaka
- PLCP zaglavlje – određuje duljinu okvira i brzinu emitiranja
- MAC zaglavlje – određuje vrstu okvira, adrese izvorišta, odredišta i relejne⁵ stanice (po 6 bajta), smjer, fragmentaciju i zaštitu podataka

⁵ Relejna stanica je stanica preko koje se okvir prenosi do odredišta.

- Podaci – korisničke informacije
- CRC – 32-bitna ciklička zaštita čitavog okvira

Mehanizam fragmentacije 802.11 protokola omogućuje slanje okvira manje duljine kako bi se smanjila učestalost pogreški uzrokovanih smetnjama. Informacijsko polje (MSDU) fragmentira se na dijelove optimalne duljine, ovisno o načinu prijenosa.

Ulančavanjem više PDU-a virtualno se povećava PDU te se prenosi više korisnikovih podataka po jednom pristupu mediju, čime se rješava problem niske iskoristivosti novih modulacija, odnosno kratkog vremena prijenosa SDU-a. Postoje dva načina ulančavanja:

- A-MPDU – ulančavaju se kompletni MPDU (MAC PDU). Prednost je mogućnost pojedinačne retransmisije, a mana su dulja MPDU zaglavlja.
- A-MSDU – ulančavaju se Ethernet okviri. Prednost su kraća Ethernet zaglavlja, a nedostatak nemogućnost pojedinačne potvrde i retransmisije.

Vrstu okvira definirana je s 2 bita kontrolnog polja MAC zaglavlja:

- **Upravljački okviri** (00) – koriste se za pridruživanje na BSS i odjavu s njega,
- **Nadzorni okviri** (01) – koriste se za nadzor prijenosa podataka,
- **Podatkovni okviri** (10) – koriste se za prijenos podataka.

24. SVOJSTVA MREŽNE RAZINE

24.1. Opća svojstva mrežne razine

- ❖ *Zadaća, protokoli, standardizacija*
- ❖ *Moguće kombinacije mehanizama protokola*
- ❖ *Optimalna konfiguracija mehanizama mrežne razine*

Mrežna razina osigurava prijenos podataka s kraja na kraj mreže. Primarni problemi koji se pritom javljaju su adresiranje i usmjeravanje prometa kroz mrežu. Oni se nastoje riješiti na način optimalan za korisnika (tako da je kašnjenje minimalno, a točnost što veća) i za mrežu (da se izbjegne zagušenje i da iskorištenost mreže bude maksimalna).

MREŽA	PROTOKOL	PROSLJEĐIVANJE
Internet	bespojni	zasebno
X.25	spojevni	virtualnim kanalom
ATM	bespojni	virtualnim kanalom

Tablica 24.1 Kombinacije mehanizama mrežnih protokola

Pakete mrežne razine moguće je usmjeravati zasebno (svaki paket nosi globalnu adresu odredišta) ili virtualnim kanalom (prvi paket nosi globalnu adresu, a ostali ID virtualnog kanala).

Protokoli mrežne razine mogu biti spojevni ili bespojni. U Tablica 24.1 dani su primjeri **kombinacija mehanizama protokola**.

Kako se na mreži pojavljuju zagušenja zbog kašnjenja i gubitka informacija, potrebno je uvesti kontrolu toka. Na mrežnoj razini nije moguća neposredna kontrola toka kao na podatkovnoj, pa se koriste prozorska kontrola i kontrola brzine. X.25 koristi neposrednu kontrolu, dok kod IP protokola ne postoji kontrola toka, već se ona odvija na prijenosnoj razini.

24.2. Algoritmi usmjeravanja

- ❖ *Teorijske i praktične mogućnosti usmjeravanja, prosljeđivanje*
- ❖ *Pregled determinističkih algoritama usmjeravanja*
- ❖ *Pregled stohastičkih algoritama usmjeravanja*

Usmjeravanje prometa je postupak otkrivanja optimalnog puta između izvorišta i odredišta toka podataka. Njime se utječe na stanje zagušenja na mreži. **U praksi** se određivanje optimalnog puta, tj. preračunavanje tablica usmjeravanja, obavlja samo povremeno zbog složenosti. **Prosljeđivanje** i određivanje virtualnog kanala na stvarnim se mrežama obavlja prema tablicama usmjeravanja, koje se izračunavaju prema algoritmima usmjeravanja koji mogu biti:

- **Deterministički** – odluka o usmjeravanju donosi se na temelju čvrstih pravila.
 - Algoritam poplave – primljeni paket se šalje na sve kanale osim onog s kojeg je došao.
 - Algoritam stalnog usmjeravanja – za svaki par odredišta i izvorišta postoje unaprijed određeni putevi.
 - Algoritam razdvojenog prometa – promet se šalje prema istom odredištu kroz više kanala, s tim da se unaprijed odredi koji će udio ići kojim kanalom.
 - Algoritam idealnog opažača – pretpostavlja se da svako čvorište u trenutku usmjeravanja ima sve informacije o stanju mreže, što u praksi nije moguće.
- **Stohastički** – osim pravila dopuštene su i određene slučajnosti.

- Algoritam nasumičnog usmjeravanja – paketi se nasumce šalju u smjeru odredišta.
- Algoritam izoliranog usmjeravanja – čvorište donosi odluku o usmjeravanju na osnovu opterećenja izlaznih kanala.
- Algoritam raspodijeljenog prometa – povezuje algoritam razdvojenog prometa s algoritmom izoliranog usmjeravanja, tako da sada imamo točnu informaciju o stanju mreže te od mogućih puteva prema lokalnoj procjeni biramo optimalni put.

24.3. Algoritmi izbora smjera

- ❖ *Teorija grafova*
- ❖ *Algoritam Bellman-Ford*
- ❖ *Algoritam Dijkstra*

Graf je uređeni par $G = (V, E)$, gdje su V čvorovi, a E grane (usmjerene ili neusmjerene). Graf možemo zapisati kao matricu susjedstva u koju za svaki par čvorova unosimo 1 ako između njih postoji grana, a 0 ako ne postoji. Za težinske grafove koristimo matricu težina u koju se za svaki par čvorova unosi težina puta između njih. Između čvorova i i j traži se staza najmanje duljine, odnosno najmanje težine (cijene).

Duljinu (težinu) staze označavamo s $d(i, j)$. Vrijedi da je $d(i, i) = d(j, j) = 0$. Ako $d(i, j) \rightarrow \infty$, čvorovi i i j nisu povezani. Minimalna udaljenost čvorova je $u = \min(dist(i, j))$, odnosno, ako se radi o težinskom grafu, $u = \min(sum(w(i \dots j)))$, gdje w označava ukupnu težinu staze. Na temelju teorije grafova algoritmi izbora smjera izračunavaju optimalne staze

Algoritam Bellman-Ford analizira sve staze, robustan je i sporo konvergira – kompleksnost mu je $O(|V| \cdot |E|)$. Koristi se kod RIP protokola.

Algoritam Dijkstra analizira sve susjedne čvorove, s tim da prvo bira čvor najbliži izvorišnom. Brže konvergira nego Bellman-Ford. Koristi se kod OSPF protokola. Složnost mu je $O(|V|^2)$.

```

procedura BellmanFord(čvorovi V, grane E, težine W, korijen r)
  za svaki v:
    ako je v=r: udaljenost[v]=0
    inače: udaljenost[v]=besk
    prednik[v]=null
  odradi |V| puta:
    za svaki e(u,v):
      ako je w(u,v)>0 i w(u,v)<besk:
        ako je udaljenost[u]+w(u,v)<udaljenost[v]:
          udaljenost[v]=udaljenost[u]+w; prednik[v]=u
  za svaki e(u,v):
    ako je w(u,v)>0 i w(u,v)<besk:
      ako je udaljenost[u]+w(u,v)<udaljenost[v]:
        pogrješka: „Postoji petlja s negativnom težinom“

procedura Dijkstra(čvorovi V, grane E, težine W, korijen r)
  za svaki v:
    ako je v=r: udaljenost[v]=0
    inače: udaljenost[v]=besk
    prednik[v]=null
  Q=V; q=r
  dok je |Q|>0:
    za svaki e(q,v):
      ako je w(q,v)>0 i w(q,v)<besk:
        ako je udaljenost[q]+w(q,v)<udaljenost[v]:
          udaljenost[v]=udaljenost[q]+w; prednik[v]=q
    izbriši q iz Q
    q = v iz Q s min(udaljenost[v])

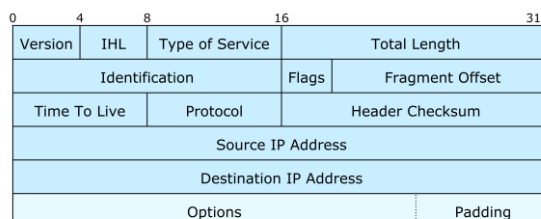
```

25. MREŽNA RAZINA INTERNETA

25.1. Protokoli mrežne razine Interneta

- ❖ *IPv4 protokol Interneta*
- ❖ *Mehanizmi IPv4 protokola*
- ❖ *Zaglavlje IPv4 i IPv6 paketa*
- ❖ *Polja zaglavlja IPv4 i IPv6 paketa*

IPv4 protokol je protokol mrežne razine Interneta kojem je namjena osigurati prijenos podataka između raznorodnih mreža, što uključuje adresiranje i usmjeravanje svakog paketa zasebno. IPv4 omogućava fragmentiranje paketa i specifikaciju vrste usluge. Navedeni **mehanizmi** omogućavaju dostupnost svakog računala priključenog na Internet.



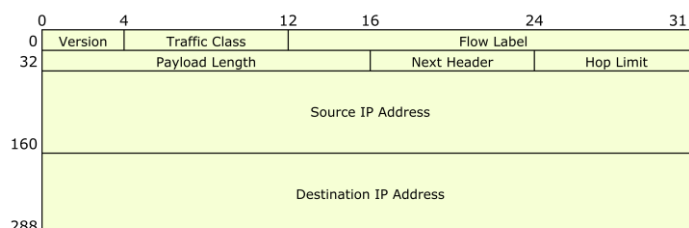
Slika 25.1 Zaglavlje IPv4 protokola

IPv4 zaglavlje (Slika 25.1) sastoji se od sljedećih **polja**:

- *Version* – indicira verziju IP protokola
- *IHL* – duljina zaglavlja
- *Type of Service* – definira na koji će način čvorišta postupati s paketom
- *Total Length* – duljina paketa u oktetima
- *Identification* – 16-bitna riječ neodređenog sadržaja koja služi za identifikaciju paketa.
- *Flags* (indikatori) – zabranjuju ili dozvoljavaju fragmentaciju
- *Fragment Offset* – određuje pomak fragmenta u odnosu na početak originalnog paketa
- *Time to Live* – vrijeme koje paket smije provesti na mreži
- *Protocol* – identifikator protokola prijenosne razine
- *Header Checksum* – zaštita zaglavlja od pogreški
- *Source/Destination IP Address* – identificira izvorišno/odredišno računalo
- *Options* – specificira posebne zahtjeve za upravljanje paketima
- *Padding* – nadopuna do pune 32-bitne riječi

IPv6 zaglavlje (Slika 25.2) sadrži **polja**:

- *Version* – konstanta 6
- *Traffic Class* – vrsta usluge
- *Flow Label* – pomoćna informacija kod prosljeđivanja, ne koristi se
- *Payload Length* – dužina podataka u oktetima
- *Next Header* – obično specificira protokol više razine
- *Hop Limit* – maksimalni broj prosljeđivanja



Slika 25.2 Zaglavlje IPv6 protokola

25.2. Adresiranje na Internetu

- ❖ *Arhitektura adresiranja na Internetu, priključnice i veza*
- ❖ *Klase IP adresa, oblik i svojstva*
- ❖ *Korištenje mrežne maske za podmrežavanje i nadmrežavanje*

Adrese IPv4 protokola su duljine 32 bita i sastoje se od adrese podmreže i adrese računala (mrežnog priključka). Broj bita adrese podmreže i adrese računala određuje klasa mreže.

Priključnice (sockets) sačinjavaju broj priključne točke (*port*) i IP adresu. Na taj način omogućena je komunikacija između dvaju procesa na različitim računalima i njihova jednoznačna identifikacija.

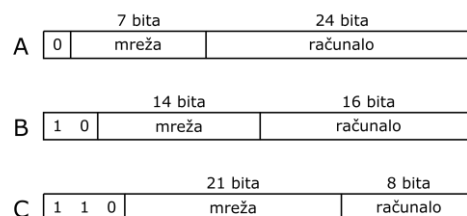
Vezi (tok podataka) čine dvije priključnice putem kojih se odvija komunikacija između procesa.

Specificirane su tri korisničke **klase IP adresa** (Slika 25.3) i dvije dodatne:

- A – omogućuje ($2^7 - 2$) mreža i ($2^{24} - 2$) računala,
- B – omogućuje ($2^{14} - 2$) mreža i $2^{16} - 2$ računala,
- C – omogućuje ($2^{21} - 2$) mreža i ($2^8 - 2$) računala,
- D – rezervirana za grupne adrese,
- E – rezervirana za proširenja.

Podmrežavanje se koristi zbog problema nedostatka adresa. Njime se mreža dijeli na više manjih podmreža korištenjem adresne maske – 32-bitne varijable sastavljene od jedinica i nula. Dio s jedinicama definira bitove adrese podmreže, a dio s nulama bitove adrese računala. Kod podmrežavanja se broj bita adrese mreže povećava, a broj bita adrese računala smanjuje.

Nadmrežavanjem (CIDR) se radi obrnuto – koristi se „kraća“ mrežna maska, pa se smanjuje broj bita adrese mreže, a broj bita adrese računala se povećava.



Slika 25.3 Korisničke klase IP adresa

25.3. IP adresiranje na lokalnoj mreži

- ❖ *Preslikavanje IP adrese u MAC adresu*
- ❖ *Obrada dolaznog paketa*
- ❖ *Obrada odlaznog paketa za lokalno i udaljeno odredište*

Preslikavanje IP adrese u MAC adresu vrši se pomoću ARP protokola. Izvorišna stanica provjerava ima li u svojoj tablici prevođenja par *odredišna IP adresa – odredišna MAC adresa*. Ako nema, izvorišna stanica na lokalnu mrežu šalje ARP upit s univerzalnom adresom kojeg primaju sve stanice na mreži, ali se na njega odaziva samo ona s odgovarajućom IP adresom. Potom ta stanica u odzivu javlja svoju MAC adresu i sve stanice obnavljaju tablice prevođenja

Dolazne pakete osnovni usmjernik pakira u okvire s MAC adresom odredišnog računala i prosljeđuje ih lokalnom mrežom do njega.

Odlazne pakete obrađuje se ovisno o tome je li odredište na lokalnoj mreži ili ne, što izvorišno računalo utvrđuje na osnovu usporedbe mrežnog dijela odredišne i vlastite IP adrese. Ako je odredište **lokalno**, izvorište pakete pakira u okvire s MAC adresom odredišta i šalje ih izravno odredištu. Ako je odredište **izvan podmreže**, izvorište pakete pakira u okvire s MAC adresom osnovnog usmjernika koji ih dalje proslijeđuje prema tablicama usmjeravanja.

25.4. Privatne mreže – intranet

- ❖ *Motivacija i razvoj*
- ❖ *Privatne adrese*
- ❖ *Povezivanje privatne mreže na Internet*
- ❖ *Tehnike prevođenja adresa*

Privatne mreže zasnivaju se na TCP/IP tehnologiji, ali koriste privatne IP adrese umjesto javnih. Privatne mreže koriste se iz tri **razloga**:

- Mreža nije povezana na Internet,
- Mreža je povezana na Internet, ali radi sigurnosti koristi privatne adrese,
- Mreža je povezana na Internet, ali zbog nedostatka IP adresa koristi privatne adrese.

Za **privatne adrese** rezervirane su:

- Jedna A klasa – 10.0.0.0/8,
- Jedna B klasa – 172.16.0.0/12,
- Blok od 256 uzastopnih C klasa – 192.168.0.0/16.

Sigurne podmreže (*Intranet*) **povezane su na Internet** preko jednog usmjernika koji prema Internetu djeluje kao krajnje računalo. Tako vanjskom učesniku komunikacije nisu poznati ni broj ni nazivi računala unutar sigurne podmreže.

Prevođenje adresa (NAT – *Network Address Translation*) obavlja se sljedećim tehnikama:

- Maskarada – obavlja se na mrežnoj razini tako da usmjernik priključne točke i IP adrese zamjenjuje vlastitim. Tako je vezu moguće inicirati samo iz zaštićenog dijela mreže.
- Uslužne veze (*proxy*) – uspostavljaju se dvije zasebne veze s odvojenom kontrolom toka i pogreški. Moguće je propustiti i neke veze inicirane s javne mreže.

26. USMJERAVANJE PROMETA NA INTERNETU

26.1. IP adresiranje na globalnom Internetu

- ❖ *Struktura i razvoj usmjerenja na internetu*
- ❖ *Koncept autonomnih sustava*
- ❖ *Korištenje pod mreža i nad mreža*

Usmjeravanje osigurava dostupnost od izvorišta do odredišta toka podataka. Osim toga, utječe na optimalno iskorištenje mreže i osigurava kvalitetu usluge. Te funkcije ostvaruju IP usmjernici.

Prvi usmjernici bili su organizirani hijerarhijski. Postojao je centralni sustav mreže, kroz čije su usmjernike usmjeravane informacije među svim mrežama Interneta. **Novi model usmjerenja** zasniva se na autonomnim sustavima.

Svaki **autonomni sustav** sastoji se od grupe mreža pod istom administrativnom upravom. Tako razlikujemo različite vrste usmjernika i različite dijelove mreže:

- Vanjski usmjernici – obavljaju usmjeravanje prometa među različitim nezavisnim sustavima,
- Unutrašnji usmjernici – usmjeravaju pakete unutar autonomnih sustava.
- Osnovna mreža (*Backbone*) – povezuje vanjske usmjernike i predstavlja najvišu razinu usmjeravanja.
- Osnovna pod mreža (*Autonomous System*) – karakterizirana je vlastitom administracijom adresa. Ostvaruje se jednostavnom do srednje složenom mrežom unutrašnjih usmjernika na koje su povezane pod mreže.
- Pod mreža (*Subnetwork*) – obuhvaća jednu zonu prostiranja lokalne mreže. S osnovnom pod mrežom je najčešće povezana samo jednim (osnovnim) usmjernikom.

26.2. Usmjeravajući protokoli Interneta

- ❖ *Definirati ulogu usmjeravajućih protokola*
- ❖ *Opća svojstva usmjeravajućih protokola*
- ❖ *Tablice usmjeravanja*
- ❖ *Protokoli RIP i OSPF*

Uloga usmjeravajućih protokola je osiguravanje optimalnog puta od izvorišta do odredišta uz zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Usmjernici ne drže informacije o cijelom putu paketa, već u svojim tablicama usmjeravanja imaju samo prvi sljedeći korak na tom putu. Paketi za koje taj korak nije poznat šalju se na osnovni smjer (*default route*) definiran adresom osnovnog usmjernika.

Tablice usmjeravanja sadrže niz informacija potrebnih za usmjeravanje i određivanje optimalnog puta paketa, od kojih je najvažniji par *adresa odredišta – sljedeći usmjernik* koji govori da se dano odredište može na optimalan način dosegnuti ako se paket pošalje na navedeni sljedeći usmjernik.

RIP (*Routing Information Protocol*) je unutrašnji protokol za usmjeravanje koji usmjernicima i radnim stanicama omogućava razmjenu informacija o usmjerivačkim smjerovima na mreži. Zasniva se Bellman-Ford algoritmu određivanja optimalnog puta, tako da se najboljim proglašava smjer s

najmanjim brojem usmjernika koje paket treba proći na putu do odredišta. Najduži prihvatljivi smjer u RIP tablici može imati najviše 15 koraka. Ako nova informacija nudi bolji smjer, njime se zamjenjuje stari.

OSPF (*Open Shortest Path First*) je unutrašnji protokol za usmjeravanje koji se koristi na razini osnovne podmreže. OSPF izračunava put najmanje težine korištenjem Dijkstra algoritma. Zbog kompleksnosti mreža se dijeli na manja područja (*OSPF Area*) – *Area 0* je osnovno područje, a sva ostala područja su rubni dijelovi mreže (*Stub Area*).

27. SVOJSTVA PRIJENOSNE RAZINE

27.1. Opća svojstva prijenosne razine

- ❖ *Zadaća, protokoli, standardizacija*
- ❖ *Moguće kombinacije mehanizama protokola*
- ❖ *Optimalna konfiguracija mehanizama prijenosne razine*
- ❖ *Arhitektura adresiranja na internetu*

Zadaća prijenosne razine je osigurati prijenos poruke među krajnjim korisnicima. Na prijenosnoj razini vrši se kontrola pogriješki i kontrola toka.

Protokoli prijenosne razine mogu biti bespojni (samo detektiraju pogreške) ili spojevni (detektiraju i korigiraju pogreške).

Standardizacija protokola sastoji se od vanjske, koja definira oblik i značenje pojedinih dijelova PDU-a, i unutarnje, koja definira način obrade primljenih PDU-a.

Na prijenosnoj razini Interneta koriste se sljedeći protokoli:

- UDP (*User Datagram Protocol*) – bespojni protokol koji se koristi za usluge kod kojih su jednostavnost rukovanja i brzina važniji od pouzdanosti prijenosa (npr. audio ili video prijenos).
- TCP (*Transmission Control Protocol*) – spojevni protokol koji se koristi za pouzdanu komunikaciju korištenjem nepouzdanog IP protokola mrežne razine.

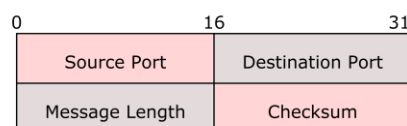
Zaglavlje protokola prijenosne razine nosi brojeve priključnih točaka (*portova*) izvorišta i odredišta, a zaglavlje IP protokola njihove IP adrese. Zajedno, IP adresa i broj priključne točke čine priključnicu (*socket*) izvora, odnosno odredišta.

Uspostava veze s kraja na kraj mreže moguća je po principu unaprijed poznatih priključnih točaka. U sustavu korisnik-poslužitelj korisnik uvijek traži uslugu od poslužitelja, pa se poslužiteljskim procesima dodjeljuju unaprijed poznate (standardizirane) priključne točke.

27.2. UDP protokol Interneta

- ❖ *Namjena UDP protokola i mehanizmi*
- ❖ *Zaglavlje UDP protokola*
- ❖ *Polja zaglavlja UDP protokola*

UDP protokol korisniku pruža uslugu prijenosa podataka bez uspostave logičkog kanala. Koristi se za usluge kod kojih su jednostavnost i brzina važniji od pouzdanosti prijenosa. Podaci se tretiraju kao kratke, zasebne poruke (datagrami), a na korisniku je da osigura konzistentnost poruke.



Slika 27.1 Zaglavlje UDP protokola

Polja zaglavlja UDP protokola (Slika 27.1):

- *Source Port* – priključna točka procesa koji šalje datagram (nije obavezna),

- *Destination Port* – priključna točka procesa koji prima datagram,
- *Message Length* – duljina cijelog datagrama u oktetima (minimalna duljina je 8 okteta),
- *Checksum* – služi za kontrolu pogreški i opcionalna je.

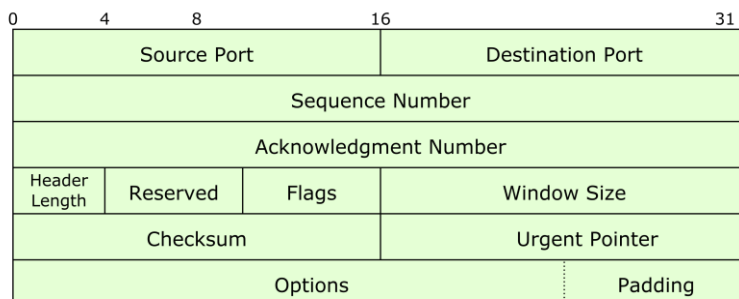
27.3. TCP protokol Interneta

- ❖ *Namjena TCP protokola i mehanizmi*
- ❖ *Zaglavlje TCP protokola*
- ❖ *Polja zaglavlja TCP protokola*

TCP protokol pruža uslugu sigurnog prijenosa podataka s uspostavom dvosmjernog logičkog kanala. Podaci se tretiraju kao dijelovi dugačkog toka poruke (segmenti). Korisniku se (po dijelovima) isporučuje cjelovita poruka. Koriste ga korisnički procesi koji zahtijevaju siguran prijenos. TCP je spojevni protokol, pa koristi mehanizam retransmisije kako bi osigurao dostavu svakog segmenta.

Polja zaglavlja TCP protokola (Slika 27.2):

- *Source Port* – identificira proces koji šalje podatke,
- *Destination Port* – identificira proces koji prima podatke,
- *Sequence Number* – redni broj početnog okteta segmenta u odnosu na početak poruke,
- *Acknowledgement Number* – broj sljedećeg okteta korisnikove poruke kojeg očekujemo u sljedećem segmentu, ujedno ima značenje kumulativne potvrde svih prošlih okteta,
- *Header Length* – duljina TCP zaglavlja u 32-bitnim riječima,
- *Flags* – indikatorski bitovi:
 - *URG* – segment sadrži hitne podatke,
 - *ACK* – potvrdni broj je ispravan,
 - *PSH* – podatke treba odmah isporučiti korisniku,
 - *RST* – reinicijalizacija veze,
 - *SYN* – zahtjev za uspostavom veze,
 - *FIN* – zahtjev za raskidom veze,
- *Window Size* – veličina prozora prijemnika,
- *Checksum* – kontrolna suma,
- *Urgent Pointer* – pokazuje gdje se unutar segmenta nalaze hitni podaci,
- *Options* – dodatne opcije koje se ugovaraju pri uspostavi veze,
- *Padding* – nadopuna zaglavlja nulama do širine 32-bitne riječi.



Slika 27.2 Zaglavlje TCP protokola

28. MEHANIZMI TCP PROTOKOLA

28.1. Uspostava TCP veze

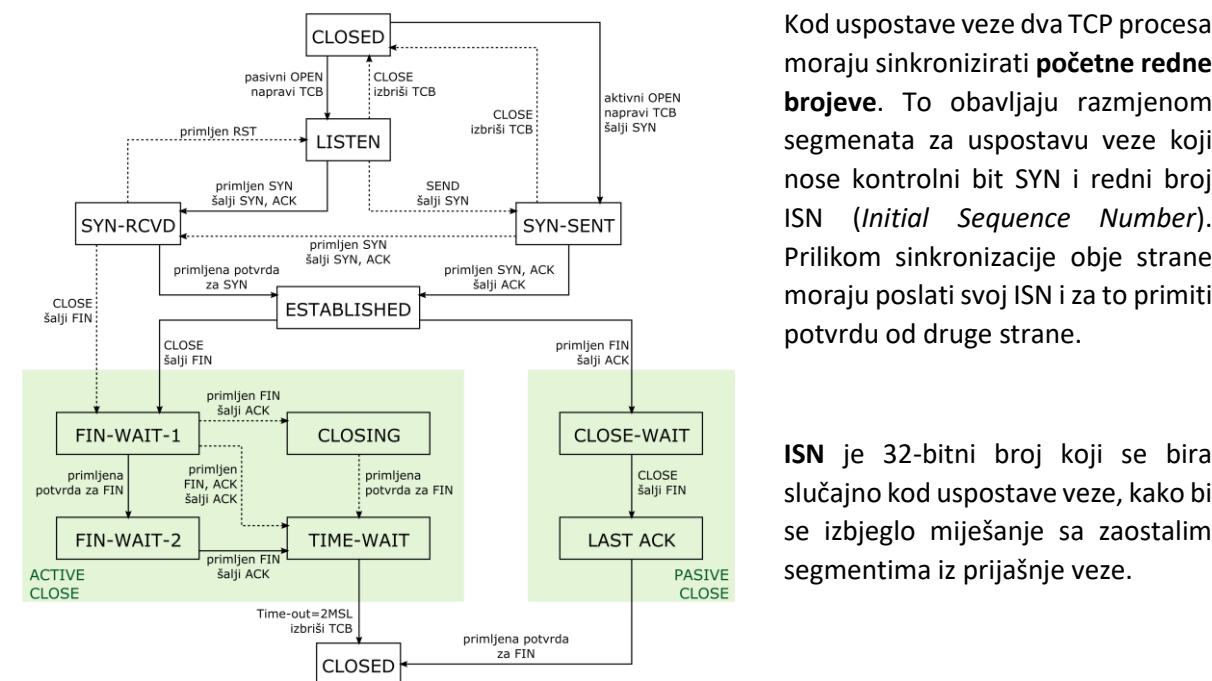
- ❖ *Vrste TCP priključaka*
- ❖ *Sinkronizacija u tri koraka*
- ❖ *Dijagram stanja TCP priključka*
- ❖ *Određivanje početnog rednog broja*

Proces TCP protokola održava niz varijabli. Razlikujemo ponašanje na strani poslužiteljskog i na strani korisničkog računala. Kod poslužiteljskog računala aplikacija inicira **priključak** u *LISTEN* stanju. Taj priključak je višestruk – dozvoljava uspostavu više veza. Kod korisničkog računala aplikacija inicira priključak u *SYN-SENT* stanju. Broj tog priključka je dinamički dodijeljen te se odmah inicira veza prema poslužitelju koji koristi poznati, unaprijed definirani priključak servisa.

Uspostava veze odvija se u **tri koraka** (*three-way handshake*):

- 1) Računalo A koje inicira vezu šalje segment s bitovima $SYN = 1$ i $ACK = 0$ te rednim brojem od kojeg želi početi prijenos $SEQ = x$.
- 2) Računalo B odgovara slanjem segmenta s postavljenim $SYN = 1$ i $ACK = 1$ bitovima, potvrdnim brojem $x + 1$ te redni brojem $SEQ = y$.
- 3) Računalo A odgovara segmentom s $ACK = 1$, rednim brojem $SEQ = x + 1$ i potvrdnim brojem prethodnog segmenta $ACK = y + 1$, čime je veza uspostavljena.

Dijagram stanja TCP priključka prikazan je na Slika 28.1.



Slika 28.1 Dijagram stanja TCP priključka

The diagram illustrates the state transitions for the FIN and CLOSE states in TCP. It is divided into two main sections: ACTIVE (left) and PASIVE (right).

ACTIVE Section:

- FIN-WAIT-1:**
 - On receiving a confirmation for FIN (primljena potvrda za FIN), it transitions to **FIN-WAIT-2**.
 - On receiving FIN, ACK and sending ACK (primljen FIN, ACK šalji ACK), it transitions to **TIME-WAIT**.
- CLOSING:**
 - On receiving a confirmation for FIN (primljena potvrda za FIN), it transitions to **TIME-WAIT**.
- FIN-WAIT-2:**
 - On receiving FIN, ACK and sending ACK (primljen FIN šalji ACK), it transitions to **TIME-WAIT**.
- TIME-WAIT:** This is the final state for the ACTIVE section.

PASIVE Section:

- CLOSE-WAIT:**
 - On sending CLOSE and FIN (CLOSE šalji FIN), it transitions to **LAST ACK**.
- LAST ACK:** This is the final state for the PASIVE section.

28.2. Kontrola pogreški TCP protokola

- ❖ *Vrste potvrda TCP protokola i detekcija gubitka*
- ❖ *Izračun vremena obilaska i devijacije*
- ❖ *Izračun vremena retransmisije*

Kako bi osigurao dostavu svakog segmenta, TCP koristi mehanizam retransmisije. **Vrste potvrda** koje se koriste su kumulativna (ACK) i selektivna (SACK). Na mrežnoj razini IP protokol svaki paket proslijeđuje zasebno, pa može doći do promjene redoslijeda pristizanja na odredište. Ako u vremenu RTO (*Retransmission Timeout*) ne dobije potvrdu, TCP segment smatra izgubljenim te ga ponovno šalje.

Vrijeme obilaska (RTT – *Round Trip Time*) je vrijeme potrebno da stigne potvrda za odaslani paket. Stalno se mijenja i ovisi o trenutnoj opterećenosti mreže. Za svaku vezu TCP mjeri i filtrira vrijeme obilaska na osnovi stare vrijednosti RTT i nove vrijednosti M . Faktor α odlučuje kolika će se težina pridati starom vremenu (eksponencijalno usrednjavanje):

$$RTT = \alpha \cdot RTT + (1 - \alpha) \cdot M$$

Devijacija D računa se da bi se spriječile neželjene retransmisije i predugo čekanje na detekciju gubitka:

$$D = \alpha \cdot D + (1 - \alpha) |RTT - M|$$

Vrijeme retransmisije (RTO) računa se dinamički zbog raznolikosti mreža kako bi se izbjegle nepotrebne retransmisije zbog prekratkog i spori oporavak od pogreške zbog predugačkog RTO-a. Dobiva se po formuli:

$$RTO = RTT + 4 \cdot D$$

28.3. Organizacija kontrole toka TCP protokola

- ❖ *Algoritmi segmentacije*
- ❖ *Varijable kontrole toka*
- ❖ *Usporeni start i izbjegavanje zagušenja*

Kako bi se izbjeglo neučinkovito iskorištenje kanala zbog slanja vrlo kratkih segmenata koji nepotrebno povećavaju broj potvrda na mreži, uvedeni su **algoritmi segmentacije**:

- Nagleov algoritam – slanje novih podataka odlaže se dok se ne potvrde svi prethodno odaslani segmenti ili dok se ne skupi dovoljno podataka za slanje segmenta maksimalne veličine.
- Algoritam izbjegavanja besmislenih prozora – sprječava prijemnik da oglasi prozor veličine jednog okteta.

TCP održava tri **varijable kontrole toka**:

- Ssthresh – granica usporenog starta, početna pretpostavka o kapacitetu mreže,
- cwnd – prozor zagušenja, trenutna količina podataka koja se može poslati,
- rwin – prozor prijemnika, trenutna količina podataka koju prijemnik može primiti.

Usporeni start (*Slow start*) služi za otkrivanje raspoloživog kapaciteta mreže. Koristi se na početku prijenosa ili kod oporavka od gubitka. Ssthresh označava vrijednost na kojoj veza izlazi iz faze

usporenog starta i ulazi u fazu izbjegavanja zagušenja. U ovoj fazi CWND raste eksponencijalno ako je RTT konstantan.

Izbjegavanje zagušenja (*Congestion Avoidance*) je faza u kojoj TCP ispituje mogućnost povećanja prozora kako bi iskoristio kapacitet mreže oslobođen eventualnim završetkom prijenosa drugih korisnika. U ovoj fazi se CWND svakih RTT vremena poveća za 1 MSS.

28.4. Napredni algoritmi kontrole toka TCP protokola

- ❖ *Algoritam brze retransmisije*
- ❖ *Algoritam brzog oporavka*
- ❖ *Algoritam djelomičnih potvrda*

Algoritam brze retransmisije (*fast retransmit*) uključen je u Tahoe TCP varijantu i omogućava retransmisiju prije isteka RTO. Čekanje na istek RTO je dugotrajno i za to vrijeme će svi paketi napustiti mrežu pa ona ostaje neiskorištena. Brza detekcija gubitka moguća je ako prijemnik za svaki prekoredno primljeni segment (nakon gubitka) ponavlja posljednju kumulativnu potvrdu. Kada primi tri duplicirane potvrde, predajnik zaključuje da je došlo do gubitka segmenta i obavlja retransmisiju prije isteka RTO.

Algoritam brzog oporavka (*fast recovery*) uveden je u Reno TCP kako bi se bolje iskoristile prednosti brze retransmisije. Nakon gubitka paketa, obični TCP ide u fazu usporenog starta. Algoritam brzog oporavka tu fazu izbjegava na način da se parametri postave na:

$$SSTHRESH = \frac{CWND}{2}$$

$$CWND = SSTHRESH + 3$$

Time se u obzir uzimaju paketi koji su izašli iz mreže (tri duplicirane potvrde). Prilikom potvrde novih podataka ulazi se u fazu izbjegavanja zagušenja s polovičnim prozorom:

$$CWND = SSTHRESH$$

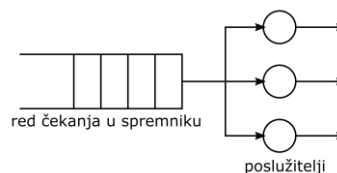
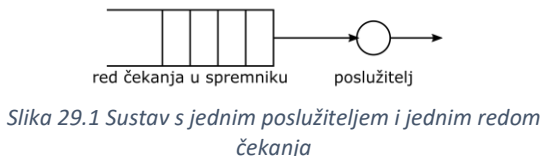
Algoritam djelomičnih potvrda (*partial acks*) ubrzava izlazak iz faze brzog oporavka u slučaju višestrukog gubitka segmenata. Djelomična potvrda indicira da je paket koji slijedi iza posljednjeg potvrđenog izgubljen. Taj paket je tada moguće poslati prije isteka vremena retransmisije.

29. SUSTAVI S POSLUŽIVANJEM

29.1. Modeli sustava s posluživanjem

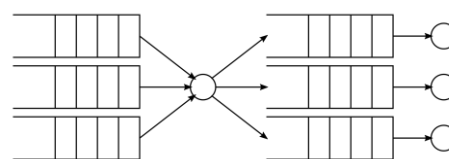
- ❖ Opća struktura sustava s jednim ili više poslužitelja
- ❖ Model usmjernika kao sustava s posluživanjem
- ❖ Vrijeme kašnjenja paketa
- ❖ Razdioba duljine paketa na internetu

Paket na putu kroz mrežu prolazi kroz više čvorišta, gdje najčešće mora čekati dok ne budu posluženi paketi prije njega, stoga je potrebno zapamtiti ga u memoriji. Paketi koji čekaju na predaju (posluživanje) pamte se u spremniku koji se formira ispred predajnika (poslužitelja). To je sustav s posluživanjem s jednim redom čekanja i **jednim poslužiteljem** (Slika 29.1).



Mogući su i sustavi s **više poslužitelja** (Slika 29.2), pa čak i više redova čekanja.

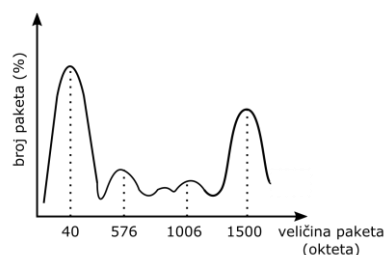
Usmjernik se može modelirati složenim sustavom s više redova i poslužitelja (Slika 29.3). Paketi stižu na ulazne redove čekanja i smještaju se u ulazne spremnike, gdje čekaju prosljeđivanje prema izlaznim kanalima. Poslužitelj prospajanja uzima redom pakete iz ulaznih redova i prospaja ih prema izlaznim kanalima, gdje čekaju na predaju.



Vrijeme kašnjenja paketa sastoji se od vremena čekanja u izlaznom redu, vremena predaje na medij i vremena prostiranja:

$$T_d = T_q + T_s + T_p$$

Vrijeme posluživanja ovisi o duljini pojedinog paketa, a vrijeme čekanja ovisi o ukupnoj **duljini paketa** u redu. Mjerenja su pokazala da se Internetom uglavnom prenose paketi duljine 40 okteta (TCP i Telnet), a nešto rjeđe duljine 1500 okteta (Ethernet II i SNAP), kao što je vidljivo na Slika 29.4.



29.2. Stohastički procesi

- ❖ Opis procesa dolazaka zahtjeva
- ❖ Opis procesa posluživanja
- ❖ Kendallova notacija
- ❖ Najčešće korišteni stohastički modeli

Proces dolazaka zahtjeva ovisi o populaciji generatora zahtjeva (paketa), intenzitetu pojedinog generatora i statističkoj zavisnosti uzastopnih paketa. Iskazuje se kroz statistička svojstva vremenskog perioda između dva zahtjeva, a mjeri se kao srednji intenzitet dolazaka λ [paketa/s].

Proces posluživanja ovisi o statističkim svojstvima duljine paketa i brzini kanala. Iskazuje se kroz srednje vrijeme posluživanja, tj. srednje vrijeme predaje paketa na kanal, a mjeri se kao srednji intenzitet posluživanja μ [paketa/s].

Kendallova notacija standardizira zapisivanje sustava s posluživanjem koristeći šest parametara:

- z – disciplina (FIFO, LIFO, ...),
- N – broj izvorišta (veličina izvorišne populacije),
- K – kapacitet spremnika,
- C – broj poslužitelja,
- A – statistički izražena raspodjela vremena između dolazaka dvaju zahtjeva,
- B – statistički izražena raspodjela vremena između dva posluživanja.

Ako je $K = \infty$, $N = \infty$, a $z = FIFO$, Kendallova notacija se skraćeno piše $A/B/C$, a inače $A/B/C/K/N/z$. Umjesto A i B koristimo oznake razdioba (M – Markovljeva, D – deterministička, ...)

Najčešće korišteni stohastički modeli:

- $M/M/1$ – procesi se smatraju Poissonovim procesima s beskonačnom populacijom generatora zahtjeva i potpuno nezavisnim događajima. Modeliran je eksponencijalnom raspodjelom.
- $M/M/1/N$ – spremnici su konačnog kapaciteta, pa je to sustav s gubicima.

29.3. Ostali sustavi s posluživanjem

- ❖ $M/G/1$
- ❖ Pollachek-Khintchine formula
- ❖ Veza $M/G/1$ prema $M/M/1$ i $M/D/1$ (ATM)

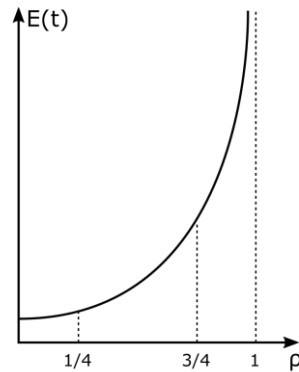
Ako sustav $M/M/1$ ne modelira izlazni proces dovoljno dobro, koristi se **$M/G/1$** proces posluživanja koji je modeliran normalnom razdiobom. Proces posluživanja opisan je srednjom vrijednošću μ i varijancom σ :

$$E(n) = \frac{1}{1-\rho} \left[\rho - \frac{1}{2} \rho^2 (1 - \mu^2 \sigma^2) \right]$$

Pollachek-Khintchine formula opisuje vezu između duljine reda i vremena posluživanja i primjenjiva je na razne sustave promjenom varijance:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} E(n) = \frac{1}{2\mu(1-\rho)} [2 - \rho(1 - \mu^2\sigma^2)]$$

Za $\sigma = \frac{1}{\mu}$ dobijemo M/M/1 (Slika 29.5).



Slika 29.5 Očekivanje $E(t)$ kao funkcija faktora opterećenja ρ za M/M/1 sustav

Za $\sigma = 0$ dobijemo M/D/1, kod kojeg je duljina paketa konstantna (ATM sustav):

$$E(n) = \frac{\rho}{1-\rho} \left[1 - \frac{1}{2}\rho \right]$$

30. M/M/1 SUSTAV S POSLUŽIVANJEM

30.1. Poissonov proces

- ❖ Korištenje i svojstva Poissonovog procesa
- ❖ Vjerojatnost događaja Poissonovog procesa
- ❖ Razdioba vremena međudolazaka
- ❖ Funkcije gustoće i kumulativne vjerojatnosti

Poissonovi procesi su procesi kod kojih događaje (pakete) generira beskonačna populacija predajnika. Ti događaji su potpuno nezavisni. Poissonov se proces koristi zbog jednostavnosti i s njim je vezana eksponencijalna razdioba.

Vjerojatnost $p_k(\Delta t)$ da se u periodu Δt dogodilo k događaja proporcionalna je broju kombinacija s kojima se dogodi upravo k događaja u n po volji kratkih perioda dt ($\Delta t = n \cdot dt$) u odnosu na sve moguće brojeve događaja. Pustimo li da $n \rightarrow \infty$, dobijemo:

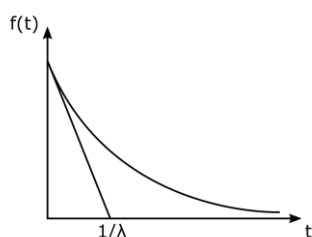
$$p_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta t}$$

Razdioba vremena međudolazaka je vjerojatnost da u promatranom periodu neće stići niti jedan zahtjev:

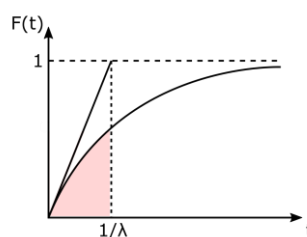
$$p_0(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t}$$

Pri tome je srednje vrijeme između dva dolaska obrnuto proporcionalno intenzitetu dolazaka ($T_d = \frac{1}{\lambda}$).

Funkcije gustoće i kumulativne vjerojatnosti eksponencijalne razdiobe prikazane su na slikama Slika 30.1 i Slika 30.2.



Slika 30.1 Funkcija gustoće vjerojatnosti eksponencijalne razdiobe



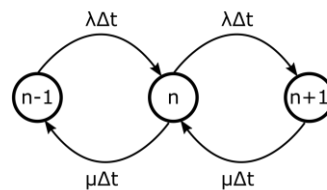
Slika 30.2 Funkcija kumulativne vjerojatnosti eksponencijalne razdiobe

30.2. Markovljevi procesi – lanci

- ❖ Svojstva eksponencijalne razdiobe
- ❖ Sustavi rađanja i umiranja i Markovljevi lanci
- ❖ Izvod vjerojatnosti $p(n)$ i očekivanja $E(n)$

Svojstvo eksponencijalne razdiobe je da vjerojatnost jednog dolaska (paketa) prelazi u $\lambda \Delta t$, a vjerojatnost posluživanja u $\mu \Delta t$, uz dovoljno mali period Δt , dok je vjerojatnost višestrukih dolazaka i posluživanja zanemariva.

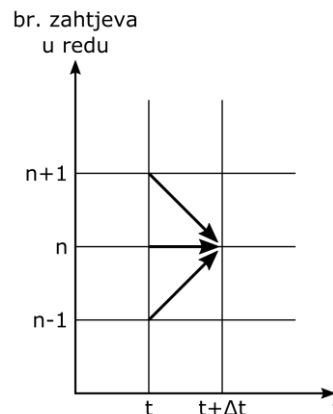
Zato procesi dolazaka i posluživanja prelaze u **processe rađanja i umiranja** – Markovljeve procese. Karakteristika **Markovljevih procesa (lanaca)** je da sustav iz stanja n može prijeći samo u stanje $n - 1$ ili $n + 1$, odnosno u stanje n može doći samo iz tih stanja. Dakle, moguć je prijelaz samo u susjedno stanje (Slika 30.3).



Slika 30.3 Markovljev lanac

Vjerojatnost da se u trenutku $t + \Delta t$ (Slika 30.4) u redu čekanja nađe upravo n paketa jednaka je vjerojatnosti postizanja stanja n , a za to postoje četiri mogućnosti:

- 1) Broj zahtjeva u trenutku t jednak je n , a nije se dogodio niti jedan dolazak ni posluživanje: $(1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t)$.
- 2) Broj zahtjeva u trenutku t jednak je n , a dogodio se jedan dolazak i jedno posluživanje: $(\lambda\Delta t)(\mu\Delta t)$.
- 3) Broj zahtjeva u trenutku t jednak je $n + 1$ i nije bilo dolazaka, ali bilo je jedno posluživanje: $(1 - \lambda\Delta t)(\mu\Delta t)$.
- 4) Broj zahtjeva u trenutku t jednak je $n - 1$, dogodio se jedan dolazak i niti jedno posluživanje: $(\lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t)$.



Slika 30.4 Vremensko-prostorni dijagram za Markovljev lanac

Vjerojatnost koju tražimo jednaka je sumi ta četiri moguća događaja:

$$p_n(t + \Delta t) = p_n(t)[(\lambda\Delta t)(\mu\Delta t) + (1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t)] + p_{n-1}(t)[(\lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t)] + p_{n+1}(t)[(1 - \lambda\Delta t)(\mu\Delta t)]$$

Ako je $\Delta t \ll$, za stacionarno stanje vrijedi aproksimacija $p_n(t + \Delta t) = p_n(t)$ te nakon množenja slijedi:

$$p_n(t) = p_n(t)[\lambda\mu\Delta t^2 + 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t + \lambda\mu\Delta t^2] + p_{n-1}(t)[\lambda\Delta t - \lambda\mu\Delta t^2] + p_{n+1}(t)[\mu\Delta t - \lambda\mu\Delta t^2]$$

Ako je $\Delta t \ll$, slijedi da je Δt^2 zanemarivo pa dobivamo:

$$p_n(t) = p_n(t)[1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t] + p_{n-1}(t) \cdot \lambda\Delta t + p_{n+1}(t) \cdot \mu\Delta t \quad /: \Delta t$$

$$p_n(t)(\lambda + \mu) = p_{n-1}(t) \cdot \lambda + p_{n+1}(t) \cdot \mu$$

Dobili smo jednadžbu ravnoteže vjerojatnosti. Da bi izračunali pojedinačne vrijednosti, primijenimo granične uvjete:

- 1) $\sum p_n = 1 \Rightarrow p_n \rightarrow 0$ za $n \rightarrow \infty$, odnosno $p(\infty) = 0$,
- 2) Ako je $n = 0, 1, \dots, \infty$, za slučaj $n = 0$ ($p_n = p_0$) ne postoji $p_{n-1} = 0$ jer broj zahtjeva u redu ne može biti negativan.

Kada drugi uvjet primijenimo na jednadžbu ravnoteže vjerojatnosti, slijedi:

$$p_0 \cdot (\lambda + \mu) = p_1 \cdot \mu \quad \Rightarrow \quad p_0 \cdot \lambda + p_0 \cdot \mu = p_1 \cdot \mu$$

Za $n = 0$ nema zahtjeva, tj. nema posluživanja:

$$p_0 \cdot \lambda = p_1 \cdot \mu \quad \Rightarrow \quad p_1 = p_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu}$$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ označava odnos između intenziteta dolazaka i odlazaka i zovemo ga faktorom opterećenja sustava.

Može se pisati:

$$p_n(\lambda + \mu) = p_{n-1} \cdot \lambda + p_{n+1} \cdot \mu \quad /: \mu$$

$$p_n(1 + \rho) = p_{n-1} \cdot \rho + p_{n+1}$$

Slijedi da je: $p_1 = p_0 \cdot \rho$, $p_2 = p_1 \cdot (\rho + 1) - p_0 \cdot \rho = p_0 \cdot \rho^2$, ..., i konačno: $p_n = p_0 \cdot \rho^n$.

Iz prvog graničnog uvjeta za $\rho < 1$ slijedi:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n = \sum_{n=0}^{\infty} \rho^n \cdot p_0 = \frac{p_0}{1 - \rho}$$

Na kraju dobijemo:

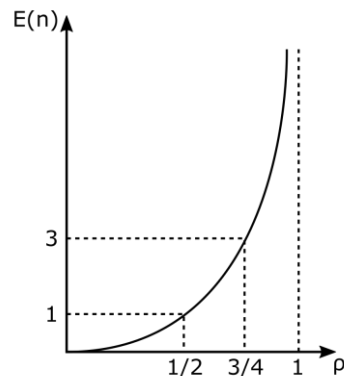
$$\frac{p_0}{1 - \rho} = 1 \quad \Rightarrow \quad p_0 = 1 - \rho \quad \Rightarrow \quad p_n = (1 - \rho) \cdot \rho^n$$

Pa je **očekivanje** (prosječna duljina reda čekanja):

$$E(n) = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p_n = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot (1 - \rho) \cdot \rho^n$$

Za $\rho < 1$ vrijedi (Slika 30.5):

$$E(n) = \frac{\rho}{1 - \rho}$$



Slika 30.5 Očekivanje $E(n)$ kao funkcija opterećenja

30.3. Svojstva M/M/1 sustava

- ❖ Izračun očekivanja $E(t)$
- ❖ Littleova formula
- ❖ Utjecaj konačnosti spremnika i vjerojatnost gubitka
- ❖ Primjena M/M/1 sustava

Prosječno **očekivano vrijeme čekanja** jednako je nekom očekivanom vremenu posluživanja zahtjeva i prosječnom vremenu čekanja tog istog zahtjeva na posluživanje prethodnih paketa:

$$E(T) = \frac{1}{\mu} + \frac{E(n)}{\mu} = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\rho}{1 - \rho} \right] = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{1 - \rho} = \frac{1}{\mu - \mu\rho}$$

$$\mu\rho = \mu \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \quad \Rightarrow \quad E(T) = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Ako istu jednadžbu pomnožimo s μ , dobijemo:

$$E(T) = \frac{1}{\mu} + \frac{E(n)}{\mu} \quad / \cdot \mu$$

$$E(n) = \mu E(T) - 1 = \frac{\mu}{\mu - \lambda} - \frac{\mu - \lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \lambda E(T)$$

$$E(n) = \lambda E(T)$$

Dobiveni izraz naziva se **Littleova formula**. Ona daje vezu između duljine reda čekanja i duljine čekanja preko intenziteta prometa.

U realnim sustavima **spremnik je konačnog kapaciteta**, pa je vjerojatnost da u spremniku imamo više paketa od predviđenog kapaciteta jednaka nuli. Takav sustav naziva se sustav s gubicima jer se zahtjevi koji su došli nakon što je kapacitet spremnika popunjen smatraju izgubljenima.

Za konačni kapacitet spremnika $N < \infty$ vrijedi:

$$\sum_{n=0}^N p_n = p_0 \cdot \sum_{n=0}^N \rho^n = p_0 \cdot \frac{1 - \rho^{N+1}}{1 - \rho} = 1$$

$$p_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}}$$

Korištenjem jednadžbe ravnoteže za beskonačni spremnik, dobije se:

$$p_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \cdot \rho^n$$

Vjerojatnost punog spremnika je:

$$p_N = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \cdot \rho^N$$

Vjerojatnost gubitka p_B jednaka je vjerojatnosti da je red pun ($n = N$) i da u tom trenutku dođe jedan zahtjev, a ne izvrši se ni jedno posluživanje:

$$p_B = p_N(\lambda \Delta t)(1 - \mu \Delta t)$$

Ovu vjerojatnost izračunavamo iz jednadžbe ravnoteže za cijeli sustav:

$$\lambda \cdot (1 - p_B) = \mu \cdot (1 - p_0)$$

Vjerojatnost gubitka je:

$$p_B = \frac{\lambda^N(\mu - \lambda)}{\mu^{N+1} - \lambda^{N+1}}$$

M/M/1 služi za procjenu rada mreže. Zbog visoke varijance približan je najgorem slučaju.

POPIS KRATICA

AAL	ATM Adaption Layer
ABR	Available Bit Rate
ADCCP	Advanced Data Communication Control Procedures
ADSL	Asymetric DSL
AMI	Alternate Mark Iversion
ANSI	American National Standards Institute
AP	Access Point
ARM	Asynchronous Response Mode
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATMARP	ATM Address Resolution Protocol
BBS	Bulletin Board System
BISDN	Broadband ISDN
BRI	Basic Rate Interface
BSS	Basic Service Set
CAP	Carrierless Amplitude Phase modulation
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy
CDV	Cell Delay Variation
CIDR	Classless Inter-Domain Routing
CIPOA	Classic IP Over ATM
CLR	Cell Loss Ratio
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRT	Cathode Ray Tube
CSMA/CA	Carrier-sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier-sense Multiple Access with Colision Detection
CTD	Cell Transmission Delay
CTS	Clear to Send
CWND	Congestion Window Size
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DCE	Data Circuit-terminating Equipment
DDCMP	Digital Data Communications Message Protocol
DEC	Digital Equipment Corporation
DECNET	Digital Equipment Corporation Network
DIFS	Distributed Interframe Space
DMT	Discrete Multitone

DNA	Digital Network Architecture
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSR	Data Set Ready
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTE	Data Terminal Equipment
DTR	Data Terminal Ready
EBCDIC	Extended Binary Coded Decimal Interchange Code
EIA	Electronic Industries Alliance
ESS	Extended Service Set
FCS	Frame Check Sequence
FDM	Frequency Domain Multiplexing
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FIFO	First in First out
FOT	Fiber Optic Transceiver
FQ	Fair Queuing
FSK	Frequency Shift Keying
FTP	File Transfer Protocol
FTP	Foil Screened Twisted Pair
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTH	Fiber to the Home
FTTN	Fiber to the Node
GSM	Global System for Mobile Communications
HDLC	High-level Data Link Control
HDSL	High Speed DSL
IBM	International Business Machines Corporation
IDN	Integrated Digital Network
ISDN	ISDN DSL
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHL	Internet Header Length
IMP	Interface Message Processor
IP	Internet Protocol
IR	Infrared
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standardization Organization
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telegraph Union
LAN	Local Area Network
LANE	LAN Emulation

LAP-B	Link Access Procedure, Balanced
LAP-F	Link Access Procedure for Frame Relay
LAP-M	Link Access Procedure for Modems
LCP	Link Control Protocol
LIFO	Last in First out
LLC	Logical Link Control
LLC	Logical Link Control
LRC	Longitudinal Redundancy Check
LRC	Longitudinal Redundancy Check
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MAU	Media Attachment Unit
MLT	Multi- Level Trasmit
MNP	Modem Networking Protocol
MPDU	MAC Protocol Data Unit
MPOA	Multi- Protocol Over ATM
MSDU	MAC Service Data Unit
MSS	Maximum Segment Size
MTU	Maximum Transmission Unit
NAT	Network Address Translation
NAV	Network Allocation Vector
NCP	Network Control Protocol
NHRP	Next Hop Resolution Protocol
NNI	Network Node Interface
NRM	Normal Response Mode
NRZ	Non-retur-to-zero
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
PAM	Pulse-Amplitude Modulation
PCM	Pulse Code Modulation
PDU	Protocol Data Unit
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol
PNNI	Private Network Node Interface
PPP	Point-to-Point Protocol
PRI	Primary Rate Interface
PSK	Phase Shift Keying
PUNI	Private User Network Interface
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RADSL	Rate Adaptive DSL

RED	Random Early Detection
RIP	Routing Information Protocol
RJE	Remote Job Entry
RTO	Retransmission Timeout
RTS	Ready to Send
RTT	Round-trip Time
RWIN	Receive Window Size
SAP	Service Access Point
SAR-PDU	Segmentation and Reassembly Protocol Data Unit
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDLC	Synchronous Data Link Control
SDSL	Single line symetric DSL
SDU	Service Data Unit
SIFS	Shortest Interframe Space
SLIP	Serial Line Internet Protocol
SNA	System Network Architecture
SNAP	Subnetwork Access Protocol
SOH	Start of Header
SONET	Synchronous Optical Networking
SSTHRESH	Slow Start Threshold
STM	Synchronous Transfer Mode
STP	Shielded Twisted Pair
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Domain Multiplexing
TOS	Type of Service
TTL	Time to Live
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User Network Interface
UTP	Unshielded Twisted Pair
VBR	Variable Bit Rate
VDSL	Very high-speed DSL
VLAN	Virtual Local Area Network
VRC	Vertical Redundancy Check
VRC	Vertical Redundancy Check
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access