

## Sadržaj:

11. SUČELJE DTE-DCE .....	2
11.1. Fizička razina .....	2
11.2. Koncept DTE-DCE.....	2
11.3. Električne karakteristike sučelja .....	4
11.4. Funkcionalne karakteristike sučelja .....	5
11.5. Kontrola toka na sučelju DTE-DCE .....	6
12. KANALI FIZIČKE RAZINE .....	6
12.1. Prijenos podataka telefonskim kanalom .....	6
12.2. Inteligentni modemi.....	7
12.3. Upravljanje inteligentnim modemom .....	8
12.4. Signalni kodovi.....	9
13. LOKALNE MREŽE - ETHERNET .....	10
13.1. Lokalne računalne mreže .....	10
13.2. Lokalna mreža Ethernet općenito .....	12
13.3. Kontrola medija Etherneta.....	13
13.4. Tehnička svojstva 10Mb/s Etherneta .....	14
13.5. Tehnička svojstva 100Mb/s Etherneta .....	14
13.6. Tehnička svojstva 1000Mb/s Etherneta.....	15
14. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE.....	16
14.1. Opća svojstva bežičnih lokalnih mreža .....	16
14.2. Upravljanje bežičnim mrežama .....	16
14.3. Kontrola medija bežičnih lokalnih mreža.....	17
15. DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE .....	17
15.1. Uskopojasni ISDN.....	17
15.2. xDSL mreže .....	19
15.3. Tehnologija xDSL mreža.....	19
15.4. ATM na fizičkoj razini .....	20
16. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGREŠKI .....	20
16.1. Redundantni kodovi .....	20
16.2. Sistematski blok kodovi sa paritetnim ispitivanjem.....	21
16.3. Kodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem.....	22
16.4. Dekodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem .....	24
17. CIKLIČKI KODOVI.....	25
17.1. Svojstva cikličkih kodova.....	25
17.2. Kodiranje i dekodiranje cikličkih kodova.....	26
17.3. Sklopovlje cikličkih kodova .....	27

## 11. SUČELJE DTE-DCE

### 11.1. Fizička razina

- uloga fizičke razine
- što se specificira
- jedinice informacije

**Fizička razina** definira sučelje između računala i medija kojeg koristimo za prijenos. **Specificiraju** se električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike kabela, konektora i signala kako bismo uređaj (čvorište ili terminal mreže) mogli standardno priključiti na komunikacijski kanal. **Jedinice informacije** koje se prenose na fizičkom sloju su bit i oktet.

### 11.2. Koncept DTE-DCE

- struktura sučelja, skica
- pregled standarda na sučelju
- pregled standarda na kanalima
- mehaničke karakteristike sučelja i standardi



Terminal **DTE** (Data Terminal Equipment) povezujemo na komunikacijski kanal zaključen prijenosnom opremom **DCE** (Data Circuit Terminating Equipment).

DTE sadrži sklopove potrebne za prijenos podataka iz jednog sustava u drugi. DCE sadrži sklopove potrebne za pretvorbu signala iz DTE u signale koje je moguće prenijeti komunikacijskim kanalom.

**Sučelja** za prijenos podataka po analognim i digitalnim mrežama s prospajanjem kanala specificira ITU-T svojim preporukama V i X serije (*dijelom su sukladne sa EIA → RS- standardima*). Sučelje DTE-DCE za lokalne mreže je specificirano kroz standarde lokalnih mreža.

#### Standardi na kanalima:

Računala kod umrežavanja spajamo na:

- analogne telefonske pretplatničke mreže → standarde donosi ITU-T (V serija).
- Digitalne pretplatničke mreže → prvotno specificirano kroz ISDN preporuku ITU-T (skup I-400). Standardizacija se nastavlja kroz xDSL skupinu standarda.
- lokalnu mrežu → Standardi objedinjeni kroz grupu 802.xxyy (IEEE).

Pod **mehaničkim karakteristikama** podrazumijeva se vrsta i oblik konektora, te raspored signala po kontaktima. Na sučeljima DTE-DCE često se specificiraju D konektori. ISO 2110 (RS-232D) → 25 iglični; PC-AT računala → 9 iglični D konektor.

### 11.3. Električne karakteristike sučelja

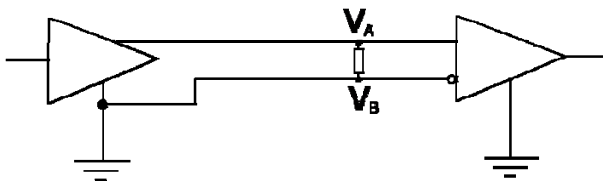
- nebalansirano povezivanje i standard
- polubalansirano povezivanje i standard
- balansirano povezivanje i standard
- usporedba električnih karakteristika

DTE i DCE se, prema standardu V.28, povezuju **nebalansiranim** (nesimetričnim) signalom.



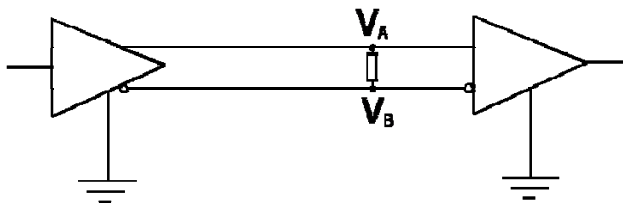
S jedne strane imamo predajna, a s druge prijemna pojačala. Referentna točka je zajednički povratni vod, koji je ujedno i uzemljenje dvaju uređaja.

Kod V.10 (RS 423) koristi se **polubalansirano** (polusimetrično) povezivanje kod kojeg je prijemnik simetričan, a predajnik nesimetričan.



Prijemnik mjeri razliku potencijala između signala i uzemljenja predajnika. Osnovna prednost je u potiskivanju smetnji nastalih zbog razlike potencijala masa povezanih uređaja.

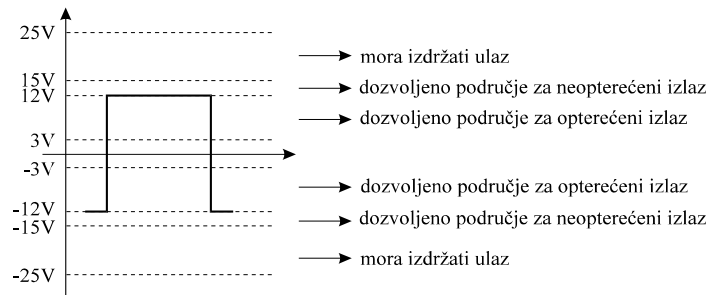
Kod V.11 (RS 422) se koristi **balansirano** (simetrično) povezivanje.



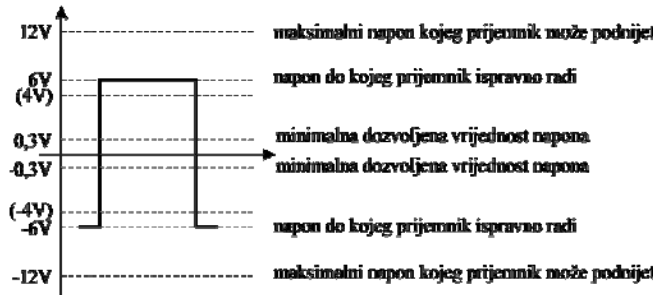
Prijemnik i predajnik su simetrični. Kod predajnika je jedan izlaz nenegiran, a drugi negiran.  $V_A - V_B = \Delta V \rightarrow$  Prijemnik mjeri razliku dvaju signala umjesto apsolutne vrijednosti prema uzemljenju, što je povoljno u slučaju smetnji i preslušavanja.

V.11 i V.10 su identični po električnim karakteristikama.

#### Električne karakteristike V.28



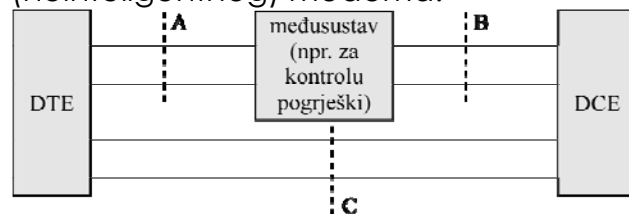
#### Električne karakteristike V.10 i V.11



### 11.4. Funkcionalne karakteristike sučelja

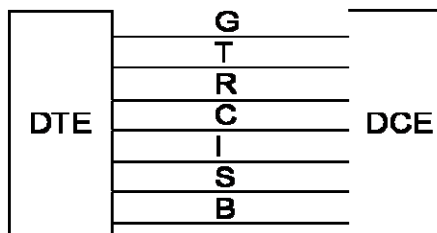
- osnovno povezivanje po RS232/V.24
- povezivanje po X.24
- osnovna svojstva RS485

Preporuka **ITU-T V.24** je razvijena sa svrhom povezivanja terminala i (neinteligentnog) modema.



Priključci A i B prenose podatke korisnika i služe za osnovno upravljanje sučeljem, priključak C sadrži vodove za posebne namjene (biranje broja na komutiranoj tel. mreži). Priključci A i B su identični. Svode se na jedan ukoliko se međusustav ne koristi.

Preporukom **ITU-T X.24** su specificirani signali na sučelju DTE-DCE za digitalne mreže za prijenos podataka s prospajanjem kanala. Koristi se balansirano ili polubalansirano povezivanje.



Sučelje **RS485** se koristi kada je potrebno povezati više učesnika i njime je omogućeno višespojno povezivanje na balansiranom mediju. Time je postignuta topologija sabirnice.

Primjenom sučelja RS485 je moguće ostvariti malu, jeftinu i robusnu lokalnu mrežu velike brzine (10 Mb/sek na 10 m; 100 kb/sek na 1 km).

## 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. Kontrola toka se odvija između dva neposredno povezana fizička uređaja. Brzina prijenosa se usklađuje asinkrono, na principu "uključi / isključi". Kad je prijemnik preopterećen predajnik prestaje slati podatke, dok prijemnik ne obradi sve podatke.

**Kontrola toka** se može obavljati :

- Signalima DTR(Data Transmission Ready) i DSR(Data Set Ready). DTR znači da je terminal uključen i spreman za rad, a DSR označava isto to za modem.
- Signalima RTS(Request To Send) i CTS(Clear To Send). Originalna namjena je upravljanje prelaskom na predaju kod obosmjernog prijenosa podataka. Mogu se koristiti za kontrolu toka. RTS označava spremnost terminala za prijem, a CTS je signal dozvole terminalu da nastavi sa slanjem podataka.
- Znakovima X-ON i X-OFF. Ti znakovi su ubačeni u tok podataka korisnika, što znači da se ne smiju pojaviti u podacima korisnika. Kad je prijemnik spreman na prijem šalje X-ON, a kada je preopterećen i želi prestati s prijemom šalje X-OFF.

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 kontrola toka vrši posebnim znakovima (X-ON i X-OFF), znakovi su ubačeni u tok podataka korisnika, tj. u tom slučaju nisu potrebni posebni vodovi.

## 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 nije moguće neposredno prenijeti telefonskim kanalom ( koji propušta frekvencije između 300 i 3300 Hz) zbog toga što bi došlo do linearnih izobličenja. Koristimo **modem** (modulator – demodulator) koji, na predaji, obavlja prilagodbu signala na izlazu iz računala u signal koji možemo prenijeti telefonskim kanalom. Na prijemu se obavlja demodulacija dolaznog signala.

### Modulacije:

- **Frekvencijska modulacija (FSK)** → Koriste se signali dviju frekvencija. Jedna frekvencija odgovara stanju 0, a druga stanju 1.
  - Standardi: V.21 do 300 b/s; V.23 (Glavni kanal 600 b/s ili 1200 b/s. Povratni kanal 75 b/s.)
- **Fazna modulacija (PSK)** da li se radi o 0 ili 1 ovisi o tome da li je faza jednaka 0 ili 180 u odnosu na početnu. Gubitak podataka ako se pogriješi u određivanju referentne faze.
- **Diferencijalna fazna modulacija DPSK** → gleda se relativni fazni pomak prema prethodnom simbolu.
  - Standardi: V.22 (600 b/s ili 1200 b/s; 300 b/s); V.26, V.26 bis, V.26 ter (2400 b/s); V.27, V.27 bis, V.27 ter (4800 b/s)
- **Kvadraturna amplitudna modulacija QAM** je kombinacija amplitudne i diferencijalne fazne modulacije.
  - Standardi: V.32 bis 14400 b/s; V.33 14400 b/s; V.34 33600 b/s; V.90 56000 b/s.

**Pozivni (originate)** način rada je karakterističan za modem koji prolazi kroz proceduru biranja telefonskog broja. Nakon što se drugi modem javi vodi se procedura uspostave prijenosa podataka koja se sastoji u razmjeni niza signala kojima se ispituje kvaliteta kanala i sposobnosti pozvanog modema. Na osnovu toga se bira optimalna brzina prijenosa.

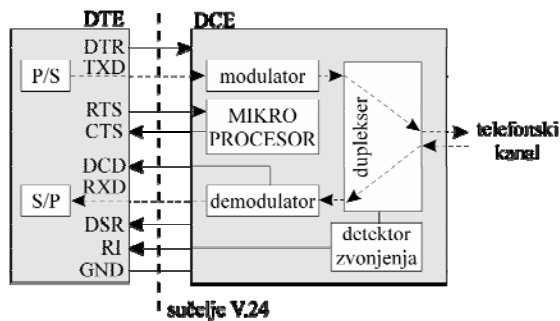
**Odzivni (answer)** način rada je karakterističan za modem koji se javlja na primljeni poziv. On slijedi proceduru koju vodi pozivajući modem. Modemu se može dozvoliti da se automatski javi (Auto answer).

## 12.2. Inteligentni modemi

- Pregled razvoja modema
- Blok shema inteligentnog modema
- Osnovne funkcije inteligentnog modema
- Interni i eksterni modemi

Pregled razvoja modema:

U početku su korišteni neinteligentni modemi, za koje je dizajnirano sučelje V.24. Koristila se FSK modulacija. Korištenje složenijih modulacija i sinkronog prijenosa je omogućilo povećanje brzine. Pri tome je postojao problem demodulacije za dugačke nizove nula ili jedinica. Taj problem je riješen korištenjem scramblera. Upravljanje scramblerom zahtjeva složenu proceduru početne sinkronizacije, koja se obavlja pod kontrolom mikroprocesora. U početku signali sučelja V.24 su bili direktno vezani na modulator i demodulator, a mikroprocesor se samo aktivirao po potrebi.

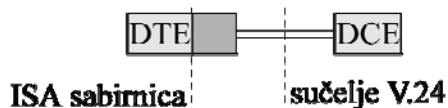


Poslije su na mikroprocesor dovedeni signali sučelja V.24, tako da procesor modema zna koji su zahtjevi terminala, te samostalno može obavljati prijem, predaju i sinkronizaciju → INTELIGENTNI MODEM.

Osnovne funkcije inteligentnog modema:

- Automatsko javljanje na poziv i biranje
- Kontrola pogreški
- Sinkroni prijenos izbacivanjem start i stop bita
- Izbor optimalne brzine prijenosa
- Sažimanje korisnikovih podataka
- Kontrola toka na sučelju DTE-DCE i na kanalu

**Eksterni Modem** → Vezani sklop je dio DTE-a.



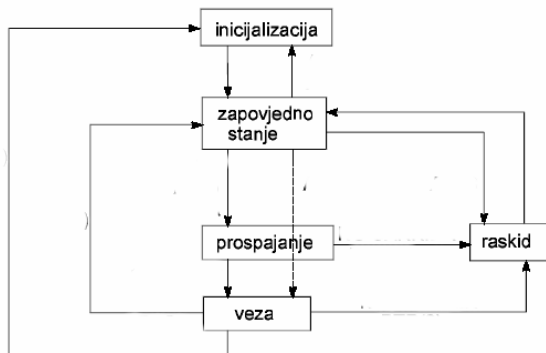
**Interni Modem** → Vezani sklop je dio DCE-a.



### 12.3. Upravljanje inteligentnim modemom

- koncept upravljanja inteligentnim modemom
- dijagram stanja modema
- upravljanje modemom
- osnovne naredbe AT jezika

Modem se nakon uključanja nalazi u stanju inicijalizacije. Iz stanja inicijalizacije prelazi u zapovjedno stanje u kojem čeka naredbe s terminala.



Iz zapovjednog stanja u stanje veze (prijenosa podataka) modem prelazi pomoću stanja prospajanja. Nakon naredbe ATD (biranje broja), naredbe ATH1 (podizanje slušalice) ili ATA (javljanja na poziv) počinje uspostava fizičkog kanala i prijenosa podataka na kanalu. Ako je kanal zauzet ili je uspostava prijenosa neuspješna, modem automatski prelazi u stanje raskida i potom u zapovjedno stanje.



Modemom se **upravlja** koristeći komandni AT jezik. Dok se nalazi u zapovjednom modu modem poruke s terminala smatra naredbama. Sve naredbe moraju započeti s velikim slovima AT, a završiti sa <ENTER>.

#### Osnovne naredbe AT jezika:

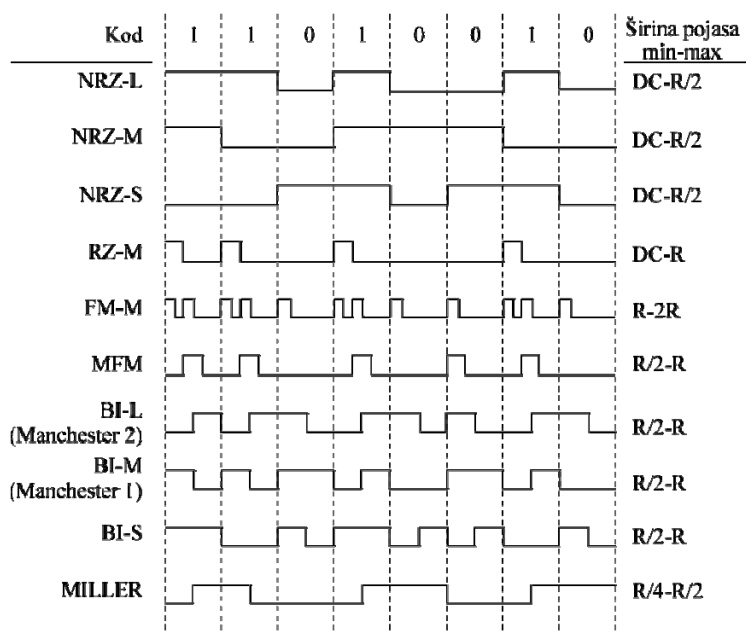
A(manual Answer); B\_(Bell to CCITT mode); D\_(Dial); E\_(Echo)  
 F\_ (Full duplex); H\_(Hook); L\_(Loudness); M\_(Monitor Speaker)  
 N (broj ponavljanja kod biranja broja); O(On Line Originate); Q\_(Quiet)  
 R(Reverse dial); Z(Reset).

## 12.4. Signalni kodovi

- namjena signalnih kodova
- vremenski dijagram osnovnih signalnih kodova
- svojstva osnovnih signalnih kodova
- primjer telekomunikacijskog signalnog koda

Kod prijenosa u osnovnom prijenosnom području koristimo električne signale koji trebaju imati što manju širinu frekvencijskog opsega(po mogućnosti bez istosmjerne komponente). Kod sinkronog prijenosa je potrebno istovremeno s podacima prenijeti i taktni signal. Zbog toga se razvijaju posebni signali → **signalni kodovi**.

#### Vremenski dijagram osnovnih signalnih kodova



NRZ-L → 0 i 1 imaju fiksne razine

NRZ-M → u 1 dolazi do promjene, u 0 razina ostaje ista.

NRZ-S → u 0 dolazi do promjene, u 1 razina ostaje ista .

RZ-M → 1 je impuls

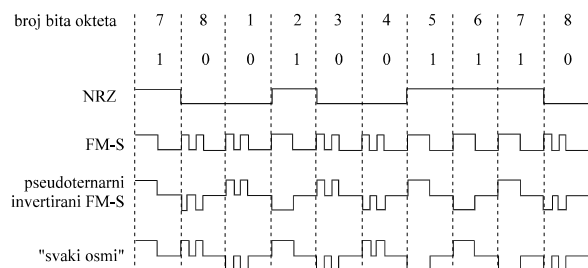
FM-M → Signal ima impuls na početku svakog bita, te u sredini svake 1.

MFM → ima impuls na sredini svake 1, te na početku druge i svih slijedećih 0

BI-L → Manchester II ima promjenu 0-1 za svaku 1 i 1-0 za svaku 0. Prenosi takt i omogućava detekciju

pogreške na fizičkoj razini.

Miller kod ima promjenu u sredini svake jedinice, te između svake dvije 0.



Pseudoternarni kod prema preporuci G.703 je nastao invertiranjem svakog drugog bita signala FM-S (dvostruki impuls za 0). Negativni impulsi se koriste za detekciju pogreške i eliminaciju istosmjerne komponente.

Redoslijed invertiranja se remeti na svakom osmom bitu čime se postiže sinkronizacija po oktetu.

## 13. LOKALNE MREŽE - ETHERNET

### 13.1. Lokalne računalne mreže

- opća svojstva topologija
- strukturno kabliranje
- pregled standarda

Lokalne mreže se po topologiji dijele na 3 osnovna oblika

- **Sabirničke**
- **Prstenaste**
- **Stablaste**

**Sabirničke** koriste višespojno povezivanje, a **prstenaste i stablaste** jednospojno povezivanje.

Prve lokalne mreže razvile su se na sabirničkoj (Ethernet) i prstenastoj (Token Ring) topologiji.

Lokalne mreže danas najčešće imaju stablastu topologiju koja je optimalna sa stanovišta izgradnje mreže kao dijela infrastrukture zgrade. Omogućava efikasnu pokrivenost prostora, nadzor i upravljanje mrežom. Ožičenje se izvodi po principima **strukturnog kabliranja**.

Svojstva **strukturnog kabliranja**:

- generalnost (prikladnosti za sve vrste tehnologija lokalnih mreža).
- zasićenost (prostor je pokriven dovoljnim brojem utičnica).
- upravljivost (stablasta struktura se efikasno povezuje prespojnima napravama).

Sučelja i protokole za LAN i MAN mreže definiraju standardi IEEE 802 prihvaćeni kao ISO 8802.

Razlikujemo:

- 802.1 : Arhitektura.
- 802.2 : Protokol podatkovne razine (LLC, Logical Link Control).
- 802.3-802.16 (*uz iznimku 802.10 - raspored ključeva za LAN/MAN sigurne mreže*) :  
Fizička razina i način pristupa za različite tipove mreža npr:

802.3 (Ethernet mreže); 802.8 (optičke gradske mreže); 802.11 (bežične mreže);  
802.14 (širokopojasni mreže koje koriste tehnologiju kablanske televizije).

## 13.2. Lokalna mreža Ethernet općenito

- svojstva i razvoj Etherneta
- pregled standarda Etherneta
- mogućnosti povezivanja segmenata
- funkcija čvornih uređaja

**Ethernet je** mreža sabirničkog tipa sa asinkronim pristupom i decentraliziranom kontrolom pristupa prijenosnom mediju. Na mediju istovremeno smije emitirati samo jedan učesnik.

Standardizacija Etherneta započela je 70-ih u razvojnom centru tvrtke Xerox (PARC, Palo Alto Research Center), kada je prikazano rješenje koje je radilo brzinom 3 Mb/s. Poslije se priključuju DEC i Intel, pa je početkom 80-ih specificiran

**DIX Ethernet** (10 Mb/s) koji se, uz male izmjene koristi kao **Ethernet II standard**.

Sredinom 80-ih standardizaciju preuzima IEEE 802 → standard 802.3 po kojem se danas radi Ethernet oprema. 802.3 je u međuvremenu nadopunjen specifikacijama za korištenje parica za prijenos brzinom 100 Mb/s i 1000 Mb/s.

### Pregled standarda:

- 10 Mb/s : 10Base-5, 10Base-2 (medij: „debeli“ i „tanki“ koaksijalni kabel; višespojno povezivanje); 10Base-T (UTP; jednospojno povezivanje); 10Base-FL (Optički kabel).
- 100 Mb/s : 100Base-TX ; 100Base-T4 (UTP); 100Base-FX (Optički kabel).
- 1000 Mb/s : 1000Base-T (UTP); 1000Base-SX (Optički kabel).

Dva ili više **segmenta** medija **moguće je povezati**:

- pojačalima zvjezdastima → Signal koji dobije na prijemnoj parici proslijedi na predajne parice ostalih priključenih uređaja.
- prenosnicima - prospojnicima → podatke prosljeđuju samo onim uređajima kojim su namijenjeni.

### 13.3. Kontrola medija Etherneta

- osnovni mehanizam pristupa mediju
- oporavak za slučaj kolizije
- zone lokalne mreže Ethernet
- virtualne lokalne mreže

Način pristupa mediju je **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Stanica koja želi predati okvir podataka najprije sluša da li je medij slobodan, nakon toga započinje s predajom. Kako postoji mogućnost istovremenog početka predaje, može doći do sukoba signala – **kolizije**. Stoga stanica na predaji mora kontrolirati vlastiti signal kako bi otkrila eventualnu koliziju. Ako je do kolizije došlo, obje stanice šalju signal kolizije (Jam), kako bi sve stanice na mediju sigurno detektirale koliziju, te se povlače s medija. Nakon kolizije stanice ponovno pokušavaju poslati podatke nakon slučajno odabranog perioda čekanja (višekratnik osnovnog perioda od 52  $\mu$ s), čime se smanjuje vjerojatnost ponovne kolizije.

Dva ili više segmenata medija je moguće povezati:

- Pojačalima (zvjezdima) → signali se s jednog segmenta prenose na sve ostale, pa dva signala sa dva segmenta **mogu** uzrokovati koliziju. Svi povezani segmenti čine jednu **domenu (zonu) kolizije** (collision domain). Istovremeno, svi tako povezani segmenti čine i jednu **domenu prostiranja** (broadcast domain), jer se kroz medij prostiru i okviri s univerzalnom (broadcast adresom).
- Premosnicima (prospojnicima) → okvir se s jednog segmenta prenosi na drugi samo ako je tamo odredišno računalo. Dva signala sa dva segmenta **ne mogu** uzrokovati koliziju, kolizija je jedino moguća kad prenosnik pristupa segmentu (kao i svaki drugi uređaj na mreži). Segment spojen prenosnikom za sebe čini **domenu kolizije**. Budući da prenosnik prosljeđuje okvire s univerzalnom adresom svi segmenti povezani prenosnikom čine jedinstvenu mrežu, odnosno čine jednu **domenu prostiranja**

#### **Virtualne lokalne mreže (VLAN) :**

Veliku mrežu možemo razbiti na više manjih. Dovoljno je ograničiti prostiranje okvira s univerzalnom adresom. Mrežu razbijamo na više domena prostiranja. Kod virtualnih mreža logička organizacija mreže se razlikuje od fizičke organizacije.

### 13.4. Tehnička svojstva 10Mb/s Etherneta

- signali i standardi na 10Mb/s
- vremenski odnosi na 10Mb/s
- osnove projektiranja na 10Mb/s

Podaci se kodiraju Manchester II kodom. Razlikujemo standarde:

- **10Base-5** ( medij „debeli“ koaksijalni kabel ) → Računala se na kabel povezuju preko MAU (Media Attachment Unit).
- **10Base-2** (medij „tanki“ koaksijalni kabel) → MAU je na istom modulu sa DCE.
- **10Base-T** ( medij UTP ) → Koristi se **jednospojno povezivanje**. Višespojno povezivanje se postiže korištenjem zvjezdišta. MAU je na istom modulu kao i DCE. Jedna parica je prijemna, a druga predajna.
- **10Base-FL** (medij višemodni optički kabel). Koristi se **jednospojno povezivanje**. Za spajanje sa računalom najčešće se koristi FOT (Fiber Optic Transceiver). Višespojno povezivanje se postiže korištenjem zvjezdišta.

Složene mreže se grade od više segmenata, koje možemo povezati korištenjem pojačala tako da čine jednu domenu kolizije. Maksimalna veličina domene kolizije se određuje na dva načina:

- Pomoću pravila (5-4-3 ili 4-3-4) → signal između bilo koja dva računala ne smije prolaziti kroz više od 5(4) segmenta; 4(3) pojačala i 3 (4) višespojna segmenta.
- Računanjem vremena obilaska (RTT), pri čemu se provjerava vremenski razmak između uzastopnih okvira.

Odabrana je minimalna duljina okvira od 511 bita + 64 bita sinkronizacijske sekvence. Ukupno **maksimalno vrijeme** obilaska mora biti jednako kašnjenju potrebnom za prijenos 570 bita (5 bita rezerve za detekciju kolizije), odnosno ne smije biti veće od 51,2 μs.

Kod složenih mreža s prospojnicima način rada prenosnika ili prospojnika dijeli mrežu na više zona kolizije, te tako omogućava efikasno prekrivanje većeg prostora. Kašnjenje između zona kolizije nije ograničeno. Prospojnik odbacuje okvir koji nije moguće proslijediti u roku od 2 s.

### 13.5. Tehnička svojstva 100Mb/s Etherneta

- signali i standardi na 100Mb/s
- vremenski odnosi na 100Mb/s
- osnove projektiranja na 100Mb/s

**Standardi:**

- **100Base-TX** → Koriste se dvije parice, jedna za prijem a druga za predaju. Podaci se kodiraju MLT-3 signalnim kodom.

- **100Base-T4** → Koriste se četiri nekvalitetne parice. Predaja se obavlja po 3, a na četvrtoj se kontrolira da li je došlo do kolizije. Podaci se kodiraju ternarnim kodom.
- **100Base-T2** → Koriste se dvije parice, podaci se kodiraju PAM-5 signalnim kodom.
- **100Base-FX** → Za prijenos podataka se koristi višemodni optički kabel. Podaci se kodiraju MLT-3 kodom, a nakon toga šalju na optičko vlakno u obliku NRZI koda.

Razlikujemo :

- Složene mreže s pojačalima : Minimalna duljina okvira je kao i kod 10 Mb/s Ethernet (511 bita + 64 bita), a vrijeme obilaska je 10 puta kraće (5,6  $\mu$ s). To ograničava zonu kolizije na 200 m. Mreža s pojačalima za brzi Ethernet se gradi po pravilu 2-1-0 ( 2 jednospojna segmenta; 1 pojačalo ili zvjezdište).
- Složene mreže s prospojnicima → jednospojne veze između dva prospojnika (premosnika) se ne smatraju zonom kolizije i njihova maksimalna duljina ovisi o vrsti medija.

### 13.6. Tehnička svojstva 1000Mb/s Ethernet

- signali i standardi na 1000Mb/s
- vremenski odnosi na 1000Mb/s
- osnove projektiranja na 1000Mb/s

Standardi:

1. **802.3z** : Kodiraju podatke 8b/10b kodom (kodna riječi duljine 8 b se zamjenjuje kodnom riječi duljine 10 b).
  - **1000Base-CX**
  - **1000Base-LX i SX**. SX koristi višemodno optičko vlakno, a LX jednomodno i višemodno optičko vlakno.
2. **802.3 ab**
  - **1000Base-T** (medij UTP kabel). Važan standard jer omogućava korištenje već postojećih instalacija. Prijenos se obavlja dvosmjerno po četiri parice, korištenjem PAM-5 koda.

1 Gb/s Ethernet je zadržao osnovni CSMA/CD način pristupa za višespojne medije. Da se zadrži ista širina domene kolizije kao za 100 Mb/s sustave, minimalna duljina okvira je povećana na 512 okteta (4096 bita). Radi boljeg iskorištenja kanala, dozvoljeno je slanje praskova kratkih okvira (bez razmaka među okvirima). Kod jednospojnih medija između dvaju uređaja s prospajanjem, ili između računala i prospojnika, se može koristiti dvosmjerni prijenos. Tada je minimalna duljina okvira 512 b, a praskovi nisu dozvoljeni.

## 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 sa **namjerom** zamjene ili dogradnje na ožičene lokalne mreže.

**Prednosti:** lako premještanja računala iz prostorije u prostoriju; mobilnost; lako povezivanje "gostujućeg" računala; povezivanje bez galvanske veze...

**Mane** bežičnog povezivanja: viša cijena; povećana nesigurnost podataka; veća osjetljivost na smetnje; ograničen kapacitet unutar područja prostiranja signala.

U sedamdesetim razvija se eksperimentalna Aloha mreža (Havaji). Standardizaciju lokalnih mreža provodi IEEE standardom 802.11 za brzine do 2 Mb/s; standard 802.11b za brzine do 11 Mb/s; 802.11g do 54 Mbit/s. IEEE 802.11 tehnologiju moguće je primijeniti na raznim frekvencijama, od 2 GHz na više. Najviše se koristi slobodno frekvencijsko područje namijenjeno (ISM) industriji, znanosti i medicini 2,400-2,483 GHz.

Za prijenos podataka radio signalom predviđa se **tehnologija širokog spektra (Spread spectrum)**. Signal je raširen na raspoloživom području pa je manje osjetljiv na uskopojasne smetnje. Širokopojasni signal ima manju gustoću energije po Hz pa za uskopojasne korisnike predstavlja šum niske energije.

Signal širokog spektra postiže se na dva načina

- skakanjem frekvencija (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)
- direktnim raspršenjem (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum)

### 14.2. Upravljanje bežičnim mrežama

- načini povezivanja učesnika
- definicija i funkcije BSS i ESS

Bežične mreže mogu biti:

- **Decentralizirane** (ad hoc) → nastaju povezivanjem dvaju ili više uređaja koji se nađu u blizini i imaju pravo međusobnog komuniciranja.
- **Centralizirane** → Organizirane su na teritorijalnom principu. Jedan pristupni uređaj (AP, Access Point) pokriva određeno područje i osigurava vezu 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 tzv. "**prošireni korisnički skup**" (ESS, Extended Service Set). Mobilni (pokretni) korisnici mogu se kretati



unutar ESS bez prekida veze → "roaming". Ako više AP-ova istog ESS-a pokriva isto područje moguće je dijeljenje opterećenja (Load Balancing).

- **Od točke do točke** bežična LAN tehnologija koristi se za povezivanje udaljenih zgrada.

### 14.3. Kontrola medija bežičnih lokalnih mreža

- osnovni mehanizam pristupa bežičnom mediju
- vrste kontrolnih poruka

Pristup mediju osiguran je na principu CSMA/CA. Stanica koja želi emitirati najprije osluškuje, te ako je medij slobodan šalje kratki **RTS** (Request to Send) okvir. RTS okvir sadrži adresu odredišta i izvorišta (vlastita adresa). Prozvana stanica, najčešće AP, odaziva se sa **CTS** (Clear To Send) i time odobrava prijenos. CTS ujedno obavještava ostale stanice da je medij zauzet (u nekom trenutku smije emitirati samo jedna stanica). Nakon toga slijedi prijenos okvira.

Ova procedura je nužna jer kod centraliziranih sustava čujnost među stanicama nije obavezna, dovoljna je čujnost između AP i svake stanice. Kod FHSS procedura se mora završiti unutar jednog skoka frekvencije.

## 15. DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE

### 15.1. Uskopojasni ISDN

- namjena i razvoj
- osnovni kanali i priključci
- referentna arhitektura ISDN sučelja
- S/T i U sučelja

Uskopojasni ISDN (Integrated Services Digital Network) je mreža na principu prospajanja kanala standardnog kapaciteta 64 kb/s. Integrirana digitalna mreža **IDN** (Integrated digital network) nastaje digitalizacijom kanala i centrala telefonske mreže. Iz IDN se razvija **ISDN** (Integrated services digital network). ISDN mreža nije nudila dovoljan kapacitet za potrebe prijenosa podataka, pa je krenuo pokušaj razvoja širokopojasnog (B-ISDN) također s komutacijom kanala varijabilnog kapaciteta  $N \cdot 64 \text{ kb/s}$ . Taj koncept je bio neefikasan, pa se ubrzo napustio.

#### Osnovni kanali:

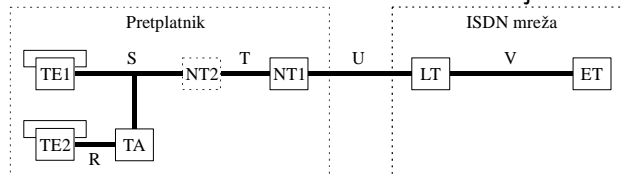
Osim osnovnog B kanala kapaciteta 64 kb/s, koristi se signalizacijski D kanal kapaciteta 16 kb/s i različiti H kanali (H0 384 kb/s, H12 (30B)).

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

- osnovni **BRI** (Basic Rate Interface) – raspolaze s 2B+D kanalima, od kojih su 2B kanala na raspolaganju korisniku, a D kanal se koristi za signalizaciju prema ISDN centrali.

- primarni **PRI** (Primary Rate Interface) – raspolaže s 30B+D kanalima i koristi se za povezivanje većih radnih organizacija na mrežu.

#### Referentna arhitektura ISDN sučelja



TE1 (terminal); TE2 analogni tel, modem...; TA-Terminal Adapter; NT1 veza između pretplatničkog kanala i kućne instalacije; NT2 obavlja funkciju lokalne tel. centrale. LT fizički priključak na ISDN mrežu, ET priključak telefonske centrale.

**S/T sučelje** je vrsta male lokalne mreže koja koristi sabirnicu izrađenu od dvije parice (jedna parica služi za prijem, a druga za predaju signala). Parice trebaju biti zaključene otporom karakteristične impedancije. Broj istovremenih veza ovisi o broju B kanala. Podaci se prenose balansirano brzinom 192 kb/s. Koristi se modificirani AMI signalni kod.

**U sučelje** prenosi podatke između mreže i korisnika i, u velikoj mjeri je interna stvar same mreže.

## 15.2. xDSL mreže

- namjena i razvoj
- korištenje postojećih parica
- veza prema javnoj mreži

Osnovna **namjena** je ponuditi razumne brzine dvosmjernog prijenosa po prihvatljivim cijenama. Razvoju xDSL tehnologije je prethodila tehnologija analognih modema i tehnologija ISDN modema.

### Korištenje postojećih parica

Parice na kratkim udaljenostima omogućavaju prijenos podataka znatnim brzinama. xDSL sustav prenosi podatke paricom samo do prve telefonske centrale. Prednosti ove tehnologije su:

- ne zahtijeva investicije u nove vodove, dostupna je svuda gdje postoji telefonski priključak.
- skupe nadogradnje telefonskih centrala nisu potrebne jer se one DSL tehnologijom mimoilaze.
- ne trebaju dodatni telefonski priključci jer većina DSL tehnologija koristi istu paricu za prijenos telefonskog i podatkovnog signala.
- DSL kanal je dostupan u punom kapacitetu svom korisniku.

### Veza prema javnoj mreži

Kvalitetan prijenos podataka dalje kroz komunikacijsku mrežu je osiguran jer na tom dijelu postoji razvijena optička mreža i u mnogim telefonskim centralama raspoložu čvornom opremom za prijenos podataka velikog kapaciteta (npr. ATM prospojnici). Primjenom stalnih ili prospojenih veza moguće je ostvariti zadovoljavajuću povezanost s Internetom.

## 15.3. Tehnologija xDSL mreža

- pregled xDSL tehnologija
- ADSL standardi

### Pregled xDSL tehnologija

- HDSL (High speed Digital Subscriber Line) je prva xDSL tehnologija. Koristi dvije parice i ne dozvoljava istovremeni prijenos analognog telefonskog signala.
- SDSL (Single line Symmetric Digital Subscriber Line) omogućava simetričan dvosmjernan prijenos podataka po jednoj parici uz istovremeni prijenos analognog telefonskog kanala.
- IDSL (ISDN Digital Subscriber Line)
- VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line) je nova tehnologija koja bi trebala omogućiti download od 52 Mb/s (udaljenost do 300 m), a upload do 2.3 Mb/s. Ne omogućava prijenos telefonskog signala.

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) je prva uspješna xDSL tehnologija (download do 8 Mb/s; upload do 640 kb/s). Omogućava prijenos analognog telefonskog kanala.
- RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line) je inteligentna varijanta ADSL sustava kod koje uređaji automatski prilagođavaju brzinu prilikama na parici.

#### **ADSL standardi**

Unatoč službenom ANSI standardu, na tržištu su prisutna dva sustava modulacije:

- standardni DMT (Discrete Multi Tone)
- industrijski CAP (Carrier-less Amplitude Phase modulation)

DMT je robusniji, ali i skuplji i troši više energije. CAP je jednostavniji, jeftiniji i troši manje energije.

### **15.4. ATM na fizičkoj razini**

- razvoj i namjena ATM mreža
- standardizacija ATM priključaka

#### **Razvoj i namjena ATM mreža**

Na ATM tehnologiji (Asynchronous Transfer Mode) zasniva se moderna širokopojasna ISDN, B-ISDN mreža. Korištenjem prospajanja malih paketa, ćelija konstantne duljine 53 okteta, ostvareno je visoko iskorištenje kanala karakteristično za podatkovne mreže s prospajanjem paketa i omogućena je integracija svih vrsta prometa.

Prijenosna osnovica ATM mreže je optička SDH (SONET) telekomunikacijska mreža. Na SDH se nadograđuje STM (Synchronous Transfer Mode) način prijenosa koji simulira PCM sustave, te ATM. ATM tehnologija predviđa izgradnju homogene globalne mreže, te dovođenje ATM priključka do svakog korisničkog terminala.

#### **Standardizacija ATM priključaka**

Standardizaciju ATM mreže obavlja ITU-T kroz svoje I preporuke. Funkcionalne standarde sučelja specificira udruženje proizvođača opreme, ATM-Forum.

## **16. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGREŠKI**

### **16.1. Redundantni kodovi**

- koncept zaštite podataka od pogreški
- model kanala i uloga uređaja
- redundantni kodovi i efikasnost
- primjena redundantnih kodova (LRC, VRC)

Zaštita od pogreški je potrebna **da bi informacija stigla na odredište u izvornom obliku**. Pogrešku možemo detektirati i nakon toga korigirati na prijemnoj strani, ili tražiti retransmisiju izgubljene informacije.

Tehnike za otkrivanje pogreški zasnovane su na **unošenju redundancije (zalihosti)** u kod.

**Na predajnoj strani kanala** ugrađujemo **koder** koji izvorni (koncentrirani) kod pretvara u redundantni. **Na prijemnoj strani kanala** ugrađujemo **dekoder** koji provjerava ispravnost kodne riječi; neispravnu odbacuje, a ispravnu prevodi natrag u izvorni kod. U sustavima za prijenos podataka, zaštita od pogreški provodi se nad PDU kao cjelinom. Kodna riječ u smislu kodiranja i dekodiranja je čitav PDU.

Potrebno je pronaći kod u kojem unesena redundancija ima visoki stupanj efikasnosti.

Kriteriji efikasnosti:

- o **Efikasnost otkrivanja pogreški** (ovisi o min. distanci među kodnim riječima)
- o **Efikasnost algoritma** (ovisi o sklopovlju za kodiranje i dekodiranje)
- o **Efikasnost protokola** (ovisi o odnosu korisne informacije prema veličini zaglavlja)

U primjeni se koriste tri **vrste redundantnih kodova** za detekciju pogreški:

- o Vertikalna zaštita **VRC**
- o Dužinska zaštita **LRC**
- o Ciklička zaštita **CRC**

Primjena VRC omogućuje otkrivanje samo jedne pogreške.

Istodobna zaštita sa VRC i LRC omogućuje otkrivanje dviju pogreški ili otkrivanje i ispravljanje jedne pogreške.

Ciklička zaštita CRC otkriva većinu pogreški.

## 16.2. Sistematski blok kodovi sa 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:

- o **Sistematski kodovi** → originalnoj poruci se dodaju redundantni bitovi.
- o **Nesistematski kodovi** → neki općeniti kodovi.

Podjela po načinu izračuna redundantnih bita:

- o **Konvolucijski kodovi** – svakom bloku se dodaju bitovi na osnovi tog i prethodnog bloka (najčešće se koriste kod malih kodnih riječi; prednost → lakše detektiraju pogrešku, mana → pogreška se multiplicira i propagira na slijedeće blokove).
- o **Blok kodovi** – svakom bloku se dodaju redundantni bitovi na osnovi samo tog bloka.

Podjela po korištenim algebarskim operacijama:

- **Sistematski blok kodovi sa paritetnim ispitivanjem** → za paritetno ispitivanje koristimo operaciju sume po modulu  $m=2$ .

### 16.3. Kodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem

- sistematski blok kodovi sa paritetnim ispitivanjem
- svojstva koda i veličina matrice
- generirajuća matrica i jednačbe kodera
- svojstva matrice P

Kod **sistematskih blok kodova sa paritetnim ispitivanjem**, bitovima originalne kompleksije se dodaju 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 kodnoj riječi bio neparan, a nulu ako je bio paran.

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

**Kodiranjem**  $2^k$  k-torki originalne informacije dobije se  $2^n$  n-torki, od čega je  $2^k$  ispravnih (iskorištenih), a  $(2^n - 2^k)$  neispravnih (neiskorištenih).

**Kodna kompleksija**  $\underline{c}$  nastaje tako da na originalnu kompleksiju  $\underline{d}$  djelujemo generator matricom  $\underline{G}$ :  $\underline{c} = \underline{d} * \underline{G}$

$\underline{c}$  – kodna kompleksija koja ima  $n$  bita, iz skupa  $2^k$  ispravnih n-torki

$\underline{d}$  – originalna kompleksija koja ima  $k$  bita

$\underline{G}$  – generirajuća matrica veličine  $k \times n$

**Matrica**  $\underline{G}$  (generirajuća matrica) se sastoji od jedinične matrice I veličine  $k \times k$  i permutacijske matrice P veličine  $k \times (n - k)$ .  $\underline{G} = [I \ P]$ . Prvih  $k$  bitova kodne riječi  $\underline{c}$  je zapravo jednako kodnoj riječi  $\underline{d}$ . Ostalih  $n-k$  bitova kodne riječi  $\underline{c}$  ovise o permutacijskoj matrici.

Vrijedi:  $c_{1,j} = d_{1,1} * P_{1,j} \oplus d_{1,2} * P_{1,j} \oplus \dots \oplus d_{1,k} * P_{1,k}$ . Za svaki  $c_{1,j}$  imamo posebnu formulu

koje čine sustav jednačbi koji koristimo za izračunavanje vektora  $\underline{c}$  → **sustav**

**jednačbi kodera**. Pojedini bit vektora  $\underline{c}$  nastao je sumacijom onih bitova vektora  $\underline{d}$  za koje je bit stupca matrice  $\underline{G}$  jednak jedinici.

**Svojstva matrice P :**

- Ne smije imati dva ista stupca
- Ni jedan stupac ne smije sadržavati same nule
- Ni jedan redak ne smije sadržavati same nule
- Ne smije imati dva jednaka retka
- Za detekciju n-terostruke pogreške, potrebno je osigurati da suma po modulu bilo kojih  $n$  redaka matrice P bude različita od nule.

Matrica P ne smije biti singularna.

## 16.4. Dekodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem

- definicija matrica za dekodiranje
- tehnika detekcije pogreški
- jednačbe dekodera
- dobivanje i svojstva sindroma

Na prijemnoj strani je potrebno provjeriti ispravnost koda. Za potrebe dekodiranja se definiraju **matrica kontrole pariteta**  $\underline{H}$  i **njena transponirana matrica**  $\underline{H}^T$ .

$$\underline{H} = \left[ \begin{array}{c|c} \underline{P}^T & \underline{I} \end{array} \right] ; \quad \underline{H}^T = \left[ \begin{array}{c} \underline{P} \\ \hline \underline{I} \end{array} \right]$$

Svojstvo matrice  $\underline{H}^T$ :  $\underline{G} * \underline{H}^T = \underline{0}$

**Tehnika detekcije pogreški** se zasniva na činjenici da matrica  $\underline{H}^T$  primijenjena na  $\underline{c}$  mora dati nul-vektor, pod uvjetom da je  $\underline{c}$  iz skupa ispravnih kompleksija. Ako je primljena kodna riječ  $\underline{c}'$  ispravna, umnožak će biti  $\underline{0}$ , a ako je pogrešna, umnožak će biti različit od nul-vektora.

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

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

Množenjem općenitog vektora  $\underline{c}$  sa  $\underline{H}^T$  dobijemo sustav jednačbi koje nazivamo **jednačbe dekodera**.

**Sindrom**  $\underline{s}$  je rezultat paritetnog ispitivanja. Za sindrom vrijedi:  $\underline{c}' * \underline{H}^T = \underline{s}$

Sindrom ovisi o karakteru pogreške  $\underline{s} = \underline{e} * \underline{H}^T$

**Svojstva (ograničenja) sindroma:**

- Ne možemo otkriti onu pogrešku koja je sama za sebe ispravna kodna riječ  $\underline{e} * \underline{H}^T = \underline{s} = \underline{0}$ , ako je  $\underline{e} \in C$
- Određeni postotak pogreški ne možemo detektirati:  
$$\frac{\text{ukupan\_broj\_ispravnih\_kompleksija}}{\text{ukupan\_broj\_kompleksija}} = \frac{2^k}{2^n} = \frac{1}{2^{n-k}} \cdot 100[\%]$$
- Nakon detekcije pogreški ne možemo sa sigurnošću izvršiti korekciju, iz čega slijedi da je za prijenos podataka pogodnije koristiti samo detekciju pogreški, te nakon toga retransmisiju izgubljenih podataka.



## 17. CIKLIČKI KODOVI

### 17.1. Svojstva cikličkih kodova

- svojstva i primjena
- polinomske zapis kodne riječi
- generirajući polinom i formiranje matrice  $G$
- polinomi i primjena cikličkih kodova u praksi

**Ciklički kodovi** su kodovi kod kojih se kodiranje i dekodiranje može obaviti jednostavnim algoritmom. Nastali su iz blok kodova operacijom cikličke permutacije nad generirajućim polinomom  $g(x)$  i pripadaju skupu sistematskih blok kodovima s paritetnim ispitivanjem. Ciklička permutacija se obavlja tako da se svaki bit pomaknemo u lijevo, a najznačajniji bit dolazi na najmanje značajno mjesto.

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

$$c(x) = c_{n-1}x^{n-1} \oplus c_{n-2}x^{n-2} \oplus \dots \oplus c_1x^1 \oplus c_0x^0$$

$x^{n-k}$  nam pokazuje mjesto na kojem se unutar kodne riječi nalazi neki od koeficijenata  $c_{n-k}$ .

Ako ovakav polinom pomnožimo sa  $x$ , dobit ćemo pomak koeficijenata u lijevo. Dobiveni polinom tada podijelimo sa  $x^n \oplus 1$ , čime smo obavili ciklički pomak.

U primjenama su zanimljivi sistematski ciklički kodovi definirani matricom oblika:

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

Svaka kodna riječ sastoji od  $k$  informacijskih simbola i  $(n-k)$  kontrolnih simbola. Matricu  $\underline{G}$  formiramo od posljednjeg retka, a posljednji redak matrice  $\underline{I}$  je jednoznačno određen. Posljednji redak matrice  $\underline{P}$  je proizvoljan, uz ograničenja:

$$\underline{G} = \begin{vmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & 1 & r & r & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Sve ostale retke matrice  $\underline{G}$  dobijemo cikličkim pomakom posljednjeg retka. Ako novi redak ne odgovara retku matrice  $\underline{I}$  tada pribrojimo ciklički pomaknutom retku posljednji redak.

Vrijedi:

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

$r_{j-1}$  prethodni redak;  $r_k$  posljednji redak; Nastojimo da zadnji član posljednjeg retka matrice  $\underline{G}$  bude 1, da se ne bi dogodilo da svi članovi nekog retka ili stupca matrice  $\underline{P}$  budu jednaki nuli.

Posljednji redak matrice  $\underline{G}$  je polinom stupnja  $n-k$  i naziva se generirajući polinom  $g(x)$ . On mora biti divizor od  $x^n \oplus 1$  da bi matrica  $\underline{G}$  bila suvisla.

## 17.2. Kodiranje i dekodiranje cikličkih kodova

- svojstva kodne riječi cikličkog koda
- konstrukcija kodne riječi cikličkog koda
- izračunavanje  $c(x)$
- dekodiranje cikličkog koda

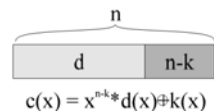
Svaki redak matrice  $\underline{G}$  je nastao cikličkim pomakom (ili sumacijom po modulu sa generirajućim polinomom  $g(x)$ ) što znači da su svi djeljivi sa  $g(x)$ . Zato na prijemnoj strani samo moramo provjeriti djeljivost dobijenog polinoma  $c(x)$  sa unaprijed poznatim generirajućim polinomom. Ako  $c(x)$  nije djeljiv sa  $g(x)$ , u prijenosu je nastupila pogreška.

Vrijedi:

$$c(x) = q(x) * g(x) \oplus r(x) \mid g(x) \quad \text{Slijedi:} \quad \text{Gdje je } q(x) \text{ kvocijent stupnja } n-k, \text{ a}$$

$$\frac{c(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)} \quad r(x) \text{ ostatak dijeljenja stupnja manjeg od } n-k. r(x)=0 \text{ za ispravnu } c(x).$$

Kako se radi o sistematskom bloku kodova,  $c(x)$  sadrži bitove originalne kodne riječi  $d(x)$  pomaknute  $n-k$  bitova ulijevo i kontrolne bitove  $k(x)$ .



$c(x)$  **izračunavamo** dijeljenjem pomaknutog  $d(x)$  sa  $g(x)$ :

$$\frac{x^{n-k} * d(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)} \mid * g(x)$$

$$x^{n-k} * d(x) = q(x) * g(x) \oplus r(x) \mid \oplus r(x)$$

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

$c(x)$  dobijemo pomakom  $d(x)$  ulijevo i dodavanjem ostatka dijeljenja sa  $g(x)$ :

d	r
---	---

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

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

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

$$c'(x) = c(x) \oplus c(x)$$

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

Za  $c(x)$  znamo da je djeljivo sa  $g(x)$  pa rezultat dijeljenja ovisi samo o  $e(x)$ .

Ostatak dijeljenja  $\frac{e(x)}{g(x)}$  je jednak sindromu napisanom u obliku polinoma.

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

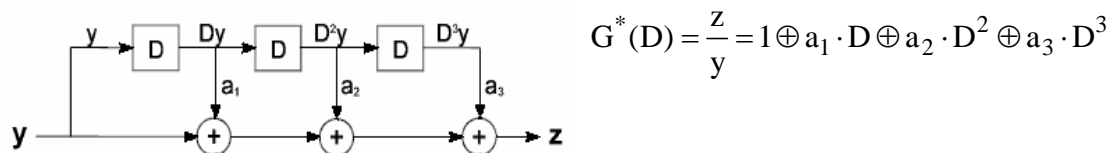
Ako je ostatak dijeljenja  $s(x)=0$ , vektor  $\underline{e}$  je ili iz skupa ispravnih kompleksija ili je 0. 0 znači da nije bilo pogreške, a  $e$  iz skupa C znači da pogrešku nije moguće detektirati.

### 17.3. Sklopovlje cikličkih kodova

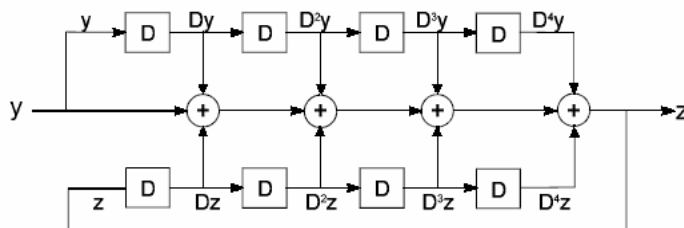
- operator kašnjenja
- prijenosna funkcija digitalnog filtra
- digitalni filter s povratnom vezom
- sklop za kodiranje i dekodiranje

Kašnjenje u digitalnoj tehnici možemo realizirati korištenjem D-bistabila.  $z=D*y$   
 $z \rightarrow$  izlazna varijabla;  $y \rightarrow$  ulazna varijabla;  $D \rightarrow$  operator kašnjenja.

Digitalni filter se realizira pomoću više bistabila:



Digitalni filter s povratnom vezom:



Kodiranje:

Na predajnoj strani bistabili se postavljaju u početnu vrijednost 0 i originalna poruka  $d(x)$  se propušta kroz sklop nepromijenjena. Istovremeno se obavlja dijeljenje te poruke sa generator polinomom  $g(x)$ , a u bistabilima sklopa se akumulira ostatak dijeljenja. Nakon emitiranja poruke  $d(x)$ , preklopnici se prebace u drugi položaj  $(n-k)$  i na kanal se pošalje ostatak dijeljenja  $r(x)$ .

Dekodiranje:

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

## 18. ZNAKOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI

### 18.1. Opća svojstva znakovnih protokola

- zadaće podatkovne razine
- definicija, namjena i razvoj znakovnih protokola
- pregled standarda protokola i znakova

Obavlja poslove potrebne za prijenos korisnikovih podataka između dva čvora neposredno povezana fizičkim kanalom. Podatkovnu razinu dijelimo u dvije podrazine:

- Podrazina 2.1: sastavljanje i rastavljanje PDU; sinkronizacija po PDU i po oktetu; detekcija pogreške i odbacivanje neispravnog okvira.
- Podrazina 2.2: kontrola toka (usklađivanja brzine prijenosa); kontrola pogreški (retransmisija); multipleksiranje protokola.

Osnovna jedinica informacije kod ZO protokola je blok sastavljen od pojedinih znakova. Prijenos se odvija znak po znak i svaki znak ima određeno značenje. Problem je što nisu transparentni, jer su neki znakovi rezervirani za upravljanje prijenosom. Koriste se na sinkronim i asinkronim kanalima.

Prvi put su se pojavili na mrežama terminala koje se javljaju u više varijanti:

- znakovni terminali priključeni na računalo (neposredno ili posredstvom kontrolora).
- znakovni terminali priključeni na računalo posredstvom kontrolora i modemske veze.
- blokovni terminali priključeni na računalo (višespojno ili višespojnim modemima).

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

Za kodiranje znakova koriste se: **ASCII** i **EBCDIC (IBM)**.

### 18.2. Znakovni protokoli po ISO 1745

- faze prijenosa podataka
- podjela uređaja na vezi
- vrste i oblik okvira-blokova
- problem transparentnosti

Faze prijenosa podataka:

- Uspostava fizičkog kanala
- Uspostava logičkog kanala → povezivanje dvaju uređaja na višespojnom mediju, koristi se prozivanje i selektiranje
- Prijenos podataka → nakon prozivanja ili selektiranja obavi se prijenos niza blokova.

- Raskid logičkog kanala → povezani uređaji se oslobađaju
- Raskid fizičkog kanala

Kontrolu obavlja primarna stanica ili **master** postupkom prozivanja i selektiranja. Stanica koja se odaziva kada je primarna stanica prozove ili selektira naziva se sekundarna stanica ili **slave**.

Vrste i oblik okvira-blokova

- **Informacijski blokovi** se prvenstveno koriste u fazi prijenosa podataka. Mogu biti:

- **Bez zaglavlja** → koriste se kod najjednostavnijih protokola na jednospojnom mediju. Jednostavno prenosimo blok po blok podataka.
- **sa zaglavljem** → zaglavlje je dio poruke koji sadrži adresu odredišta, pozitivnu ili negativnu potvrdu prijenosa, redni broj bloka i sl. Zaglavlje počinje znakom SOH (Start of Header), a sadržaj je određen protokolom.

- **Kontrolni blokovi** → primarna stanica šalje okvire prozivanja i selektiranja, oblika:

$z$  Prefiks zamijenimo ili adresom prozivanja ili adresom selektiranja, a  
 $prefix$   $n$  znak sa ENQ (Enquiry). Nakon prozivanja sekundarna stanica šalje  
 $a$  negativni odgovor EOT ako nema podataka ili odgovara nizom  
 $k$  informacijskih okvira.

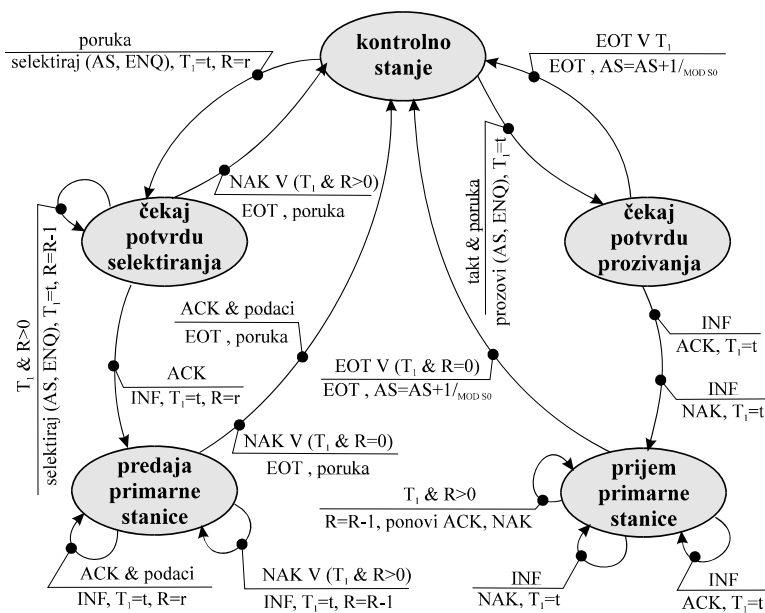
Nakon selektiranja sekundarna stanica šalje NAK ako se nije spremna odazvati, ili prelazi u prijemno stanje i šalje ACK. Sa ACK i NAK prijemna stanica potvrđuje primitak ili gubitak bloka. Predajna stanica raskida logički kanal slanjem EOT ili fizički sa DLE (Data Link Escape) EOT.

**Problem transparentnosti** – kontrolni znakovi se ne smiju pojaviti u korisnikovoj poruci. Uvodi se posebni znak DLE (npr. sa DLE STX više nema značenje "početak teksta", to je sada korisnikov podatak).

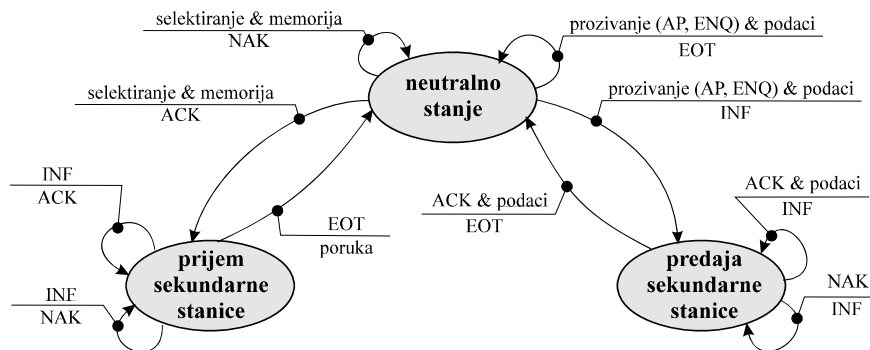
### 18.3. Dijagrami stanja ZO protokola

- upotreba okvira-blokova
- dijagram stanja primarne stanice
- dijagram stanja sekundarne stanice

**Primarna stanica:**



## Sekundarna stanica:



## 18.4. Znakovno orijentirani protokoli u praksi

- korištenje znakovnih protokola
- samoodredni protokoli
- SLIP

Masovno se koriste zbog sposobnosti korištenja asinkronih kanala. Osobna računala raspolažu asinkronim veznim sklopom zbog čega se prijenos podataka telefonskim kanalom ograničava na znakovno orijentirane protokole. Čak i interni modemi prividno s terminalom komuniciraju asinkrono.

**Samoodredni protokoli** – znakovno orijentirani protokoli čije zaglavlje sadrži podatak o duljini poruke LEN čime je riješen problem transparentnosti (protokol je postao osjetljiviji na pogreške zaglavlja pa je uveden zaštitni znak za detekciju pogreški zaglavlja). Koriste se za asinkroni i za sinkroni prijenos (npr. DDCMP protokol u DNA arhitekturi).

**SLIP** (Serial Line Internet Protocol) – stanard za modemski prijenos IP paketa preko telefonskih kanala (nije prihvaćen kao službeni standard).

Specifikacija definira oblik okvira u kojem je sadržan IP paket, s mogućnošću kompresije IP zaglavlja. SLIP koristi 4 posebna znaka:

<END>, <ESC>, <hexDC> i <hexDD>. Specifikacija predviđa slanje niza znakova koji završava <END> znakom:

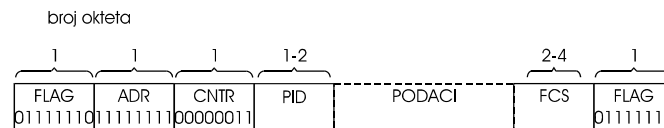
<p>broj okteta</p>  <p>The diagram illustrates the structure of a SLIP packet. It consists of a frame bounded by two &lt;END&gt; flags. Each flag is represented by a box containing the text '&lt;END&gt;'. Above each flag box is a bracket with the number '1' above it, indicating the length of the flag in octets. Between the two flag boxes is a dashed line with the word 'PODACI' (Data) written above it, representing the payload. The entire frame is enclosed in a solid rectangular border.</p>	<p>Standardno se koristi dužina SLIP paketa od najmanje 1006 okteta. Mane SLIPA su nedostatak mehanizma adresiranja, kompresije podataka i identifikacije mrežnog protokola.</p>
---	--

## 18.5. PPP protokol Interneta

- osnovna svojstva PPP
- oblik okvira
- uloga LCP i NCP

**PPP** (Point to Point Protocol) je bespojan 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.

### Oblik okvira:



Sastoji se od okvirnog znaka koji se šalje na početku i na kraju okvira, adresnog i kontrolnog polja koji su fiksni, PID polja koji identificira protokol mrežne razine i podatkovnog polja čija max. duljina iznosi 1500 okteta. Zaštitno polje FCS izračunava se po polinomu CRC-CCITT ili CRC-32.

**LCP** (Link Control Protocol) omogućava ugovaranje parametara (duljina okvira, kompresija PPP zaglavlja), funkciju kontrole kvalitete i funkciju provjere identiteta korisnika (lozinke).

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

## 18.6. Protokoli za prijenos datoteka

- osnovna svojstva i primjena
- XMODEM, YMODEM, ZMODEM

Prije masovne pojave Interneta modemi su se najčešće koristili za povezivanje dvaju računala radi razmjene datoteka i poruka preko sustava za prijenos poruka BBS. Koristili su se različiti komunikacijski programi koji su omogućavali terminalski pristup drugom računalu i razmjenu datoteka (koristeći XMODEM, YMODEM i ZMODEM protokole). BBS sustavi omogućuju čitanje oglasa, sudjelovanje u raspravama, razmjenu pošte, prijem i slanje datoteka (povezani su u svjetsku mrežu FidoNet).

**XMODEM** – protokol ugrađen u svim komunikacijskim programima. Služi za asinkroni prijenos datoteka sa 8 podatkovnih i jednim stop bitom (bez paritetnog bita). Podaci se prenose u numeriranim blokovima veličine 128 okteta:



<SOH><broj bloka><255-broj bloka><128 okteta podataka><checksum>
--

Prijenos je obosmjernan, predajna i prijemna stanica moraju biti sinkronizirane. Mane: nedovoljna veličina bloka, mogućnost prenošenja samo jedne datoteke za vrijeme jedne veze, slaba zaštita od pogreški zbog korištenja checksum metode (riješeno XMODEM/CRC proširenjem), ne prenosi se ime datoteke.

**YMODEM** – proširenje XMODEM/CRC protokola koji koristi poseban blok rednog broja nula za slanje imena, veličine i datuma posljednje izmjene datoteke. Omogućuje slanje većeg broja datoteka u jednom prijenosu, a povećanje veličine bloka na 1024 okteta povećava brzinu prijenosa.

**ZMODEM** – prenosi podatke u okvirima sa zaglavljem (5 okteta) i proizvoljnim brojem okteta podataka. Umjesto numeracije koristi pomak od početka datoteke pa je moguć nastavak prijenosa nakon prekida i ponovne uspostave veze. Brzina prijenosa je veća zahvaljujući većim paketima podataka i streaming načinu prijenosa (slanje niza okvira bez čekanja na potvrdu). Zaglavlje okvira:

ili:

tip okvira	F3	F2	F1	F0
tip okvira	P0	P1	P2	P3

F0, F1, F2 i F3 , te P0, P1, P2 i P3 su po 4 okteta koji predstavljaju zastavice ili pomak od početka datoteke.

## 19. BITOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI

### 19.1. Opća svojstva BO protokola

- razvoj i standardizacija
- mogućnosti primjene
- podjela na podrazine

Znakovno-orijentirani protokoli su bili spori i neprikladni, jer se svaki put trebalo okretati smjer komuniciranja, te čekati vrijeme kašnjenja na kanalu. Zbog toga su se razvili novi protokoli kod kojih se *unutar teksta smiju prenositi bilo koje kombinacije korisnikovih bitova*. Prvi takav protokol je bio IBM-ov SLDC (Synchronous Data Link Control) koji je standardiziran kao ANSI protokol **ADCCP** (ANSI Data Communications Control Protokol), **ISO 3309/4335 HDLC** (High-speed Data Link Control), te protokol prema ITU-T preporuci X.25 **LAP-B** (Link Access Protokol Balanced). BO se još koristi kod lokalnih mreža kao **MAC** i **LLC**, te kod sinkronih komunikacija kod inteligentnih modema pod nazivom **LAP-M** (Link Access Protokol for Modems).

Jedina mana bitovno-orijentiranih protokola jest da se isključivo koriste na *sinkronim kanalima*.

Podatkovni sloj se dijeli na dva dijela: 2.1 i 2.2.

Oba imaju definirane osnovne oblike okvira prema ISO standardu; 2.1. prema **ISO 3309**, 2.2 prema **ISO 4335**.

## 19.2. HDLC BO protokoli po ISO 3309

- osnovni oblik okvira
- sinkronizacija po okviru
- svojstva adresnog polja
- mehanizam transparentnosti

Osnovni oblik okvira je:



**F** - okvirni znak, označava početak i kraj okvira; **A** - adresno polje; **C** - kontrolno (upravljačko) polje, sadrži parametre koji određuju vrstu okvira, numeraciju blokova i retransmisiju; **I** - informacijsko polje, korisnikove informacije; **FCS** - zaštitno polje, koristi se 16-bitna ciklička zaštita (CRC-CCITT) koja djeluje na cijeli okvir (A, C, I).

**Sinkronizacija** po okviru se vrši tako da prijemnik kad naiđe na kontrolni znak provjerava da li je okvir ispravan. Ako je okvir ispravan, cijeli se okvir proslijeđuje razini 2.2. Ako je detektirana pogreška, okvir se odbacuje. **Adresno polje** sadrži adresu podatkovne razine. Njegova duljina iznosi jedan ili više okteta ovisno o upotrijebljenom protokolu. Popunjeno jedincima poruku primaju sve stanice, popunjeno nulama, poruku neće primiti nijedna stanica. **Transparentnost** korisnikove poruke postiže se ubacivanjem nule nakon svakih 5 jedinica.

## 19.3. HDLC BO protokoli po ISO4335

- funkcija i uređaji
- osnovni načini prijenosa podataka
- C polje i grupe okvira

Po standardu ISO 4335 postoje primarne i sekundarne stanice. Primarna stanica šalje komandne okvire (command) prema sekundarnim stanicama i od njih prima odgovore, odzivne okvire (response). Sekundarna stanica može održavati komunikaciju sa samo jednom primarnom stanicom.

Osnovni načini prijenosa podataka su:

- Normalni odzivni način rada (NRM), namijenjen obosmjernim (half duplex) vezama;
- Asinkroni odzivni način rada (ARM), namijenjen dvosmjernim (full duplex) vezama.

**C polje** je kontrolno (upravljačko) polje. Ima tri različite grupe okvira:

I - informacijski okvir (*information*),      S - nadzorni okvir (*supervision*),

U - nenumerirani okvir (*unnumbered*)

## 19.4. Mehanizmi HDLC protokola

- numeracija, polja i varijable
- P/F mehanizam u NRM i ARM načinu rada
- vrste i upotreba S okvira

Blokove korisnikovih informacija **numeriramo** po modulu  $m=2^n$ , gdje je **n** broj bitova podataka u C-polju, a **m** širina prozora. Numeraciju koristimo istovremeno za kontrolu toka i kontrolu pogreški.

8-bitno C-polje sadrži sljedeće podatke (**polja**):

- N(S) (Send Sequence Number) - redni broj odaslanog okvira
- N(R) (Receive Sequence Number) - redni broj okvira kojeg stanica očekuje
- S (Supervisory function bit) - bitovi nadzorne funkcije
- M (Modifier function bit) - bitovi modifikatorske funkcije
- P/F (Poll / Final) - prozivani bit

Svaka stanica na vezi održava dvije **varijable**: V(S) Send State Variable i V(R) Receive State Variable.

**P/F mehanizam kod NRM načina rada** primarna stanica šalje niz okvira i u zadnjem okviru pošalje P bit u jedinici, čime želi dozvoliti sekundarnoj stanici da šalje svoje okvire. Sekundarna stanica na to odgovara svojim nizom okvira, i u zadnjem sa F=1. **Kod ARM načina rada** primarna stanica u svakom trenutku može sa P=1 zahtijevati odziv sekundarne stanice. Sekundarna stanica se na to mora odazvati sa F=1 što je prije moguće. Ako stanica trenutno nema podataka, poslat će nadzorni S okvir. **Nadzorni S-okvir** ima dva S-bita, pa imamo četiri različita nadzorna okvira:

SS=00 → **RR** (Receiver Ready) - prijemnik spreman;

SS=01 → **RNR** (Receiver Not Ready) - prijemnik nije spreman;

SS=10 → **REJ** (Reject) - odbacivanje okvira (zahtjev za ponovnim slanjem);

SS=11 → **SREJ** (Selective Reject) - selektivno odbacivanje okvira.

## 19.5. HDLC protokol u NRM načinu

- namjena NRM načina
- U okviri za NRM
- primjeri prijenosa i oporavka za NRM

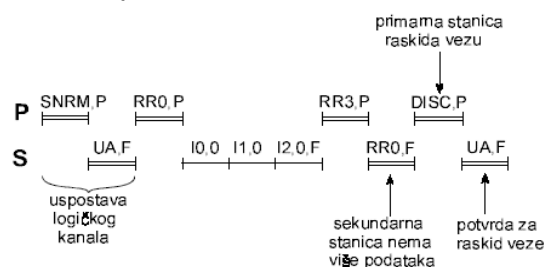
NRM način rada **namijenjen** je obosmjernim (half duplex) vezama.

**Kontrolni U-okvir** ima 5 M-bitova, pa imamo 32 različita U okvira. Po ISO 4335, komande koje šalje primarna stanica:

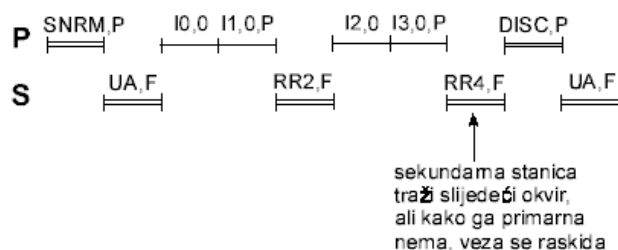
00 001 → SNRM (Set NRM) - podstavi normalni odzivni mod;

11 011 → SNRME (Set NRM Extended) - podstavi normalni odzivni mod s proširenim zaglavljem.

### prozivanje u NRM modu



### selektiranje u NRM modu



Ako se smetnja pojavi na **SNRM,P** okviru, sekundarna stanica se ne odaziva, nakon određenog vremena primarna stanica shvati da mora ponoviti poziv. Smetnja na **UA,F** okviru, postupak je isti. Pogreška na **informacijskom okviru** se obavlja retransmisijom s RR i REJ i bez RR i REJ.

## 19.6. HDLC protokol u ARM načinu

- namjena ARM načina
- U okviri za ARM
- primjeri prijenosa i oporavka za ARM

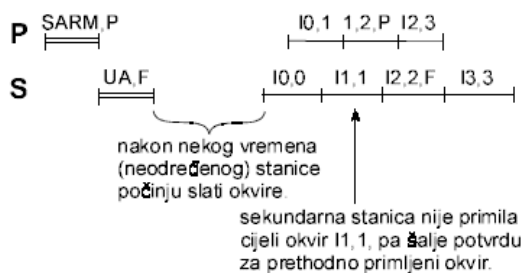
ARM način rada namijenjen je dvosmjernim (full duplex) vezama.

**Kontrolni U-okvir** ima 5 M-bitova, pa imamo 32 različita U okvira. Po ISO 4335, komande koje šalje primarna stanica:

11 000 → SARM (Set ARM) - podstavi asinkroni odzivni mod;

11 010 → SARME (Set NRM Extended) - podstavi asinkroni odzivni mod s proširenim zaglavljem.

### prijenos okvira u ARM modu



Ako se smetnja pojavi na **SNRM,P** okviru, sekundarna stanica se ne odaziva, nakon određenog vremena primarna stanica shvati da mora ponoviti poziv. Kod smetnje na **UA,F** okviru, postupak je isti. Nakon detekcije pogreške **informacijskog okvira** koristimo nekoliko načina oporavka:

- retransmisija P/F mehanizmom,
- retransmisija REJ okvirom

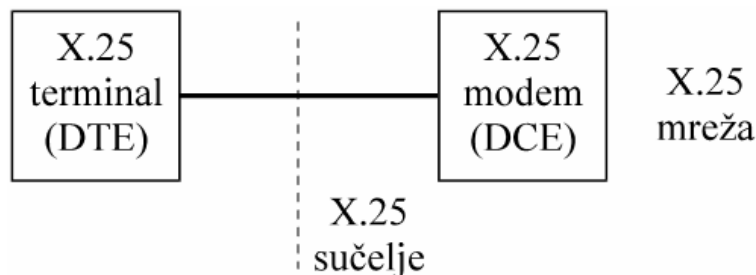
retransmisija SREJ okvirom.

## 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 **asinkroni balansni mod** kod kojeg je napuštena striktna podjela na primarne i sekundarne stanice i uveden je pojam kombinirane stanice (koja po potrebi izvršava funkcije ili primarne ili sekundarne stanice). Nije predviđeno višespojno povezivanje korisnika već samo povezivanje DTE-DCE. **X.25** je specifikacija **sučelja** - terminal - javna mreža (zaključena s X.25 DCE)



Definirane su **dvije 8-bitne adrese**: A - 1100 0000 B - 1000 0000.

**Adresa A** (DCE primarna) – kada komanda putuje do DCE prema DTE, a odziv od DTE prema DCE.

**Adresa B** (DTE primarna) – kada komanda putuje od DTE prema DCE, a odziv od DCE prema DTE.

	DTE	DCE
K	B	A
O	A	B

**LAP-B S (nadzorni) okviri:**

RR (Receive Ready) - prijem spreman;

RNR (Receive Not Ready) - prijem nije spreman;

REJ (Reject) - 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 (Disconnected) - raskid veze

**odazivi:**

UA (Unnumbered Acknowledgment) - 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; MNP-10 kompresiju korisnikovih podataka.

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

**V.42** – specificira upotrebu **LAP-M** (Link Access Protocol for Modems) bitovno orijentiranog protokola, uključivo kontrolu pogreški.

**V.42bis** – specificira pravila kompresije korisnikovih podataka.

**LAP-M** (Link Access Protocol for Modems) koristi asinkroni balansni mod kao kod X.25, kojemu je vrlo sličan.

Specificira uporabu SREJ okvira, te **dvaju** novih **U okvira**:

**XID** se koristi za razmjenu identifikacijskih podataka

**TEST** se koristi 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

Mreže za prijenos okvira (Frame Relay) razvijene su s namjenom povezivanja udaljenih lokalnih mreža radnih organizacija. Nakon inicijative zainteresiranih kompanija standardizaciju je obavio ITU-T. Na fizičkoj razini koristi se osnovni ili primarni ISDN priključak.

Na podatkovnoj razini koristi se bitovno orijentirani protokol gotovo identičan HDLC protokolu nazvan **LAP-F** (Link Access Protocol for Frame Relay). Predviđene su dvije vrste usluge, bespojni prijenos (prijenos okvira, **Frame Relay**) i spojevni prijenos (prospajanje okvira, **Frame Switching**).

Specifikaciju LAP-F protokola možemo podijeliti na **podrazine 2-1** i **2-2**. Usluga prijenos okvira koristi samo podrazinu 2.1, dok usluga prospajanja okvira koristi obje podrazine (cjeloviti protokol).

Na **podrazini 2-1** nailazimo na standardni okvir bitovno orijentiranog protokola, koji se sastoji od okvirnog znaka (01111110), modificiranog adresnog polja, polja podrazine 2-2, zaštitnog znaka i ponovnog okvirnog znaka.

Jedina je razlika u **adresnom polju**, koje sadrži niz podataka potrebnih za prijenos okvira.

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

- LAP-F polja
  - **EA** (Address field extension bit), indicira kraj zaglavlja.
  - **C/R** (Command response bit), komanda ili odazivu
  - **FECN** (Forward explicit congestion notification), indicira zagušenje preko prijemnika
  - **BECN** (Backward explicit congestion notification) indicira zagušenje povratno
  - **DLCI** (Data link connection identifier), identifikator virtualnog kanala
  - **DE** (Discard eligibility indicator), indikator niskog prioriteta, okvir za odbacivanje
  - **D/C** (DLCI or DL-CORE control indicator), indicira DLCI ili DL-CORE format
  - **DL-CORE** (Data Link Core), kontrolne poruke za održavanje virtualnog kanala