

# **Računalne mreže – Julije Ožegović**

## **Skripta 2014.**

**2/2 (15-30)**



<b>1. RAZVOJ PRIJENOSA PODATAKA:</b>	<b>1</b>
1.1. Razvoj telekomunikacijskih sustava:	1
1.2. Informacijski volumen i prijenos podataka:	2
1.3. Telegrafske mreže:	3
<b>2. RAZVOJ TERMINALSKIH MREŽA</b>	<b>3</b>
2.1. Razvoj centralnih računala:	3
2.2. Terminalske mreže:	4
2.3. Jednospojno povezivanje:	4
2.4. Višespojno povezivanje:	4
<b>3. RAZVOJ MREŽNIH ARHITEKTURA</b>	<b>5</b>
3.1. Privatne arhitekture:	5
3.3. ARPANet i Internet:	6
<b>4. OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA</b>	<b>7</b>
4.1. Sistematizacija mreža prema elementima i topologiji:	7
4.2. Sistematizacija mreža prema uslugama, vlasništvu i području:	8
4.3. Prospajanje kanala:	8
4.4. Prospajanje poruka:	9
4.5. Prospajanje paketa:	10
4.6. Prospajanje u ATM mreži:	10
<b>5. ELEMENTI RAČUNALNIH MREŽA</b>	<b>11</b>
5.1. Kanali računalnih mreža:	11
5.2. Osnovni i izvedeni kanali:	11
5.3. Karakteristike kanala:	12
5.4. Čvorišta i terminali računalnih mreža	13
<b>6. SLOJEVITI HIJERARHIJSKI SUSTAVI</b>	<b>13</b>
6.1. Koncept razine, protokola i sučelja:	13
6.2. Koncept zaglavlja i umetanje:	14
6.3. Jedinica informacije i fragmentacija:	15
6.4. Referentna ISO/OSI arhitektura:	16
<b>7. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI</b>	<b>17</b>
7.1. Svojstva protokola:	17
7.2. Adresiranje:	18
7.3. Sinkronizacija:	19
<b>8. KONTROLA POGREŠKI</b>	<b>20</b>
8.1. Organizacija kontrole pogreški:	20
8.2. Spojevnici i bespojni protokoli:	20
8.3. Vrste potvrda i algoritmi retransmisije:	21

8.4. Kontrola pogreški po razinama: .....	22
<b>9. KONTROLA ZAGUŠENJA.....</b>	<b>23</b>
9.1. Zagušenje i kontrola zagušenja: .....	23
9.2. Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja:.....	23
9.3. Vrste zagušenja: .....	24
9.4. Kakvoća usluge i kontrola zagušenja:.....	24
<b>10. KONTROLA TOKA.....</b>	<b>25</b>
10.1. Optimalna radna točka mreže:.....	25
10.2. Modeliranje sustavima s posluživanjem: .....	25
10.3. Funkcije čvorišta i terminala mreže: .....	26
10.4. Detekcija zagušenja:.....	27
10.6. Algoritmi predajnika:.....	28
<b>11. SUČELJE DTE-DCE:.....</b>	<b>29</b>
11.1. Fizička razina: .....	29
11.2. Koncept DTE-DCE: .....	29
11.3. Električne karakteristike sučelja:.....	30
11.4. Funkcionalne karakteristike sučelja: .....	31
11.5. Kontrola toka na sučelju DTE-DCE:.....	31
<b>12. KANALI FIZIČKE RAZINE .....</b>	<b>32</b>
12.1. Prijenos podataka telefonskim kanalom: .....	32
12.2. Inteligentni modemi:.....	33
12.3. Upravljanje inteligentnim modemom: .....	34
12.4. Signalni kodovi: .....	35
<b>13. LOKALNE MREŽE - ETHERNET .....</b>	<b>36</b>
13.1. Lokalne računalne mreže: .....	36
13.2. Lokalna mreža Ethernet općenito: .....	37
13.3. Kontrola medija Etherneta:.....	38
13.4. Tehnička svojstva 10Mb/s Etherneta: .....	39
13.5. Tehnička svojstva 100Mb/s Etherneta:.....	40
13.6. Tehnička svojstva 1000Mb/s Etherneta:.....	41
<b>14. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE.....</b>	<b>41</b>
14.1. Opća svojstva bežičnih lokalnih mreža:.....	41
14.2. Upravljanje bežičnim mrežama:.....	42
14.3. Kontrola medija bežičnih lokalnih mreža: .....	46
<b>15. DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE .....</b>	<b>47</b>
15.1. Uskopojasni ISDN: .....	47
15.2. xDSL mreže: .....	48

15.3. Tehnologija xDSL mreža: .....	49
15.4. ATM na fizičkoj razini: .....	49
15.5. Gradske mreže - MAN .....	50
<b>16. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGREŠKI .....</b>	<b>51</b>
16.1. Podatkovna razina i redundantni kodovi: .....	51
16.2. Sistematski blok kodovi sa paritetnim ispitivanjem: .....	52
16.3. Kodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem: .....	52
16.4. Dekodiranje sistematskih blok kodova s paritetnim ispitivanjem: .....	53
<b>17. CIKLIČKI KODOVI .....</b>	<b>54</b>
17.1. Svojstva cikličkih kodova: .....	54
17.2. Kodiranje i dekodiranje cikličkih kodova: .....	55
17.3. Sklopovlje cikličkih kodova: .....	57
<b>18. ZNAKOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI .....</b>	<b>58</b>
18.1. Opća svojstva znakovnih protokola: .....	58
18.2. Znakovni protokoli po ISO 1745: .....	60
18.3. Dijagrami stanja ZO protokola: .....	61
18.4. Znakovno orijentirani protokoli u praksi: .....	62
18.5. PPP protokol Interneta: .....	62
18.6. Protokoli za prijenos datoteka: .....	63
<b>19. BITOVNO ORIJENTIRANI PROTOKOLI .....</b>	<b>64</b>
19.1. Opća svojstva BO protokola: .....	64
19.2. HDLC BO protokoli po ISO 3309: .....	64
19.3. HDLC BO protokoli po ISO4335: .....	65
19.4. Mehanizmi HDLC protokola: .....	65
19.5. HDLC protokol u NRM načinu: .....	66
19.6. HDLC protokol u ARM načinu: .....	67
<b>20. PRIMJENA BITOVNO ORIJENTIRANIH PROTOKOLA .....</b>	<b>67</b>
20.1. LAP-B: .....	67
20.2. LAP-M: .....	68
20.3. Mreže za prijenos okvira (Frame Relay) : .....	69
<b>21. LOKALNE MREŽE NA PODATKOVNOJ RAZINI .....</b>	<b>71</b>
21.1. Organizacija podatkovne razine lokalnih mreža: .....	71
21.2. Protokol podrazine 2.2: .....	71
21.3. ATM tehnologija na podatkovnoj razini: .....	71
21.4. Primjena ATM tehnologije na lokalnim mrežama: .....	72
<b>22. LOKALNE MREŽE ETHERNET .....</b>	<b>73</b>
22.1. Osnovna svojstva MAC podrazine Etherneta: .....	73

22.2. Problemi standardizacije Etherneteta: .....	74
22.3. Varijante okvira Etherneteta: .....	75
<b>23. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE .....</b>	<b>76</b>
23.1. Osnovna svojstva MAC podrazine WLAN.....	76
23.2. MAC okvir WLAN .....	77
<b>24. SVOJSTVA MREŽNE RAZINE .....</b>	<b>78</b>
24.1. Opća svojstva mrežne razine: .....	78
24.2. Deterministički algoritmi usmjeravanja: .....	78
24.3. Algoritmi izbora smjera.....	79
<b>25. MREŽNA RAZINA INTERNETA .....</b>	<b>79</b>
25.1. Protokoli mrežne razine Interneta: .....	80
25.2. Adresiranje na Internetu: .....	80
25.3. IP adresiranje na lokalnoj mreži: .....	81
25.4. Privatne podmreže - intranet: .....	82
<b>26. USMJERAVANJE PROMETA NA INTERNETU .....</b>	<b>82</b>
26.1. IP adresiranje na globalnom Internetu:.....	82
26.2. Usmjeravajući protokoli Interneta: .....	83
<b>27. SVOJSTVA PRIJENOSNE RAZINE.....</b>	<b>83</b>
27.1. Opća svojstva prijenosne razine: .....	83
27.2. UDP protokol Interneta: .....	84
27.3. TCP protokol Interneta: .....	84
<b>28. MEHANIZMI TCP PROTOKOLA .....</b>	<b>85</b>
28.1. Uspostava TCP veze: .....	85
28.2. Kontrola pogreški TCP protokola: .....	87
28.3. Organizacija kontrole toka TCP protokola:.....	87
28.4. Napredni algoritmi kontrole toka TCP protokola:.....	88
<b>29. SUSTAVI S POSLUŽIVANJEM.....</b>	<b>89</b>
29.1. Modeli sustava s posluživanjem: .....	89
29.2. Stohastički procesi: .....	90
29.3. Ostali sustavi s posluživanjem: .....	90
<b>30. M/M/1 SUSTAV S POSLUŽIVANJEM .....</b>	<b>91</b>
30.1. Poissonov proces: .....	91
30.2. Markovljevi procesi - lanci: .....	92
30.3. Svojstva M/M/1 sustava: .....	94

# 1. RAZVOJ PRIJENOSA PODATAKA:

## 1.1. Razvoj telekomunikacijskih sustava:

- telegraf, telefon, telefonske mreže
- povezivanje telefonskih centrala
- standardni telefonski kanal, prospajanje
- značaj telefonskih mreža

**Telegraf:** - (prva polovica 19. st.) podaci su prenošeni jednožilnim vodovima (Zemlja se koristila kao povratni vodič) u obliku dužih i kraćih strujnih impulsa. Od njih su formirani znakovi Morse-ovog koda.

**Telefon:** - (druga polovica 19. st.) karakterizira ga pretvorba zvučnog signala u električni (mikrofon) i električnog u zvučni (slušalica). Zbog jednostavnije uporabe došlo je do bržeg razvoja telefonskih mreža.

### ***Telefonske mreže:***

Mreža „svatko sa svakim“ -brzo je napuštena zbog svoje neekonomičnosti.

Mreža s prospajanjem kanala -svaki korisnik je vezan na telefonski centralu, a veza se uspostavlja na njegov zahtjev.

***Povezivanje telefonskih centrala:*** -mreže me u centralama su ostvarene kroz zvjezdaste hijerarhijske mreže. Broj kanala izme u dviju centrala je kompromis izme u cijene usluge i potreba korisnika u satima najvećeg prometa + kapacitet.

***Standardni telefonski kanal*** je zapravo fizički vod.

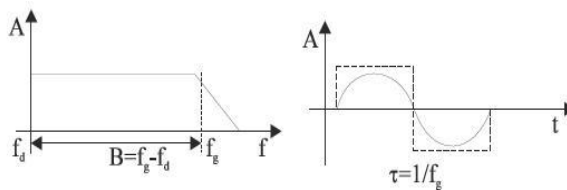
***Prospajanje*** je uspostava komunikacijskog kanala izme u korisnika. Na početku se prospajanje obavljalo ručno. Razvojem elektronike prešlo se na automatsko prospajanje.

***Značaj telefonskih mreža:*** -telefonska mreža je značajna zbog toga što omogućava gotovo trenutačnu komunikaciju izme u bilo kojih dijelova svijeta.

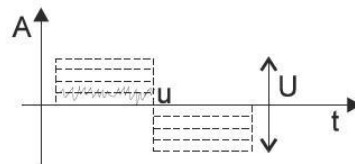
## 1.2. Informacijski volumen i prijenos podataka:

- sustav s niskim propustom, broj razina
- brzina prijenosa (kapacitet)
- paralelni i serijski prijenos
- izvedeni kanali

**Sustav s niskim propustom:** -kod tog sustava širina pojasa je  $B=f_g-f_d=f_g$ . U jednom periodu signala  $f_g$  prenesemo dva signalna elementa. Odatle  $2B$  signalnih elemenata u sekundi.

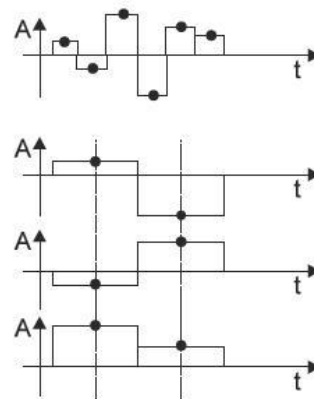


**Broj razina:**  $R=U/u$ . Raspon signala ograničen je dogovorom, a minimalni signal je ograničen smetnjama. Dogovor:  $D=\log_2(R) = \log_2(U/u)$  [bita/sign. elementu]



**Kapacitet sustava:** -izražava brzinu obrade, brzinu prijenosa, brzinu pristupa podacima. Kapacitet  $C=2B \cdot D$  [se/sek·bit/se=bit/sek].

**Serijski i paralelni prijenos:** -paralelni prijenos je prijenos informacije pomoću više kanala, a serijski prijenos je prijenos informacija pomoću jednog kanala. Istu količinu podataka možemo prenijeti serijski jednim kanalom  $k$  puta većom brzinom ili paralelno sa  $k$  kanala jediničnom brzinom.



**Informacijski volumen:**  $V=2BDTK$

Gdje je:  $2B$  – dvostruka širina pojasa,  
 $D$  – dinamika (broj bita po sign. elementu),  
 $T$  – period u kojem je sustav raspoloživ i  
 $K$  – broj paralelnih informacijskih sustava.

**Izvedeni kanali:** -osnovni kanal možemo podijeliti na više izvedenih kanala i to: 1.)

Podjelom frekvencije (FDM) – fizički vodovi imaju puno širi upotrebljivi frekvencijski opseg  $B$  (nego što je potrebno za prijenos glasa 3kHz), pa je moguće istovremeno prenositi više govornih signala.

2.) Podjelom vremena (TDM) – signal se šalje velikom brzinom, uz podjelu kapaciteta kanala po vremenu. Koristi se kod digitalnih sustava.

### 1.3. Telegrafske mreže:

- problem kodiranja, koncentrirani i redundantni kod
- problem prijenosa: asinkroni serijski prijenos
- teleks mreža i mreža s prospajanjem poruka
- kodiranje znakova

**Problem kodiranja:** -kod paralelnog nekodiranog prijenosa je za prijenos 26 znakova potrebno 26 žičanih vodova što je nepraktično. S time možemo kodirati  $2^5$  kodnih riječi, a treba nam samo 26. Efikasnije je koristiti **koncentrirani kod**. Kodiranjem  $2^5=32$  svaki od 26 simbola je predstavljen kodnom riječi duljinom 5 bita. Tako se 26 vodova svede na 5. Preostalih 6 kodnih riječi je redundantno.

**Asinkroni prijenos:** -prije kodne riječi se šalje pokretački impuls, nakon toga pet informacijskih impulsa, te na kraju jedan zaustavni impuls. Mirno stanje je "1".

**Teleks mreža** je javna telegrafska mreža. Prospajanje kanala se obavljalo posredstvom telegrafskih centrala. Postoje američki i europski standard za teleks mreže. Europski 50 b/s i 5 b/znaku, američki 110 b/s i 7 b/znaku (ASCII). Ubrzo je došlo do razvoja telegrafskih centrala s memorijom koje su ubrzo preuzele funkciju prosljeđivanja poruka. Tako je ostvarena **mreža s prospajanjem poruka**, koja je po potrebi obavljala prevođenje s jednog sustava na drugi.

**Za kodiranje znakova** se koristi europski 5 bitni i američki 7 bitni kod (ASCII kod).

## 2. RAZVOJ TERMINALSKIH MREŽA

### 2.1. Razvoj centralnih računala:

- upravljanje konzolom i terminalom
- lokalni i daljinski unos poslova (RJE)
- lokalni i daljinski interaktivni rad

**Upravljanje konzolom i terminalom:** -prva digitalna računala su komunicirala s operaterom preko konzole sa žaruljama i sklopkama. Osim konzole ta računala su imala čitač bušenih kartica i linijski pisač tj. terminal za unos zadaća (JE – Job Entry Terminal).

**Lokalni unos poslova:** -ako je računalno spojeno samo s jednim terminalom. Korisnici unose podatke na bušenima karticama jedan po jedan i čekaju obradu. Razvojem diskova je omogućeno da se podaci i programi spremaju. Ubrzo nakon toga ulazno/izlazne jedinice su udaljene iz prostorije u kojoj se nalazi računalno te je time ostvarena daljinska obrada (RJE – Remote Job Entry).

**Kod interaktivnog rada** računalno se koristi u vremenskoj raspodjeli, pa prividno izvršava više zadaća istovremeno. Korisnici komuniciraju sa računalom posredstvom interaktivnih terminala. Povezivanjem više terminala na računalno nastaju terminalske mreže kod kojih terminali mogu biti priključeni:

- lokalno, ukoliko se nalaze u istoj zgradi u kojoj i računalno,
- daljinski, posredstvom telekomunikacijske mreže.



## 2.2. Terminalske mreže:

- korištenje telefonskih kanala
- povezivanje više terminala
- prijenos podataka telefonskim kanalom

Povećanjem broja terminala koji se spajaju na centralno računalo došlo je do stvaranja terminalskih mreža.

U takvim mrežama **terminali mogu biti spojeni** lokalno i daljinski (posredstvom telekomunikacijske mreže).

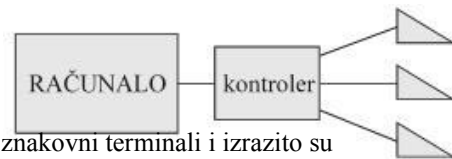
**Prijenos podataka telefonskim kanalom:** -za prijenos podataka najprikladniji su bili telefonski kanali. Korišteni su trajno iznajmljeni telefonski kanali (zakupljeni vodovi) opremljeni modemima. U početku se više terminala povezivalo na isti telefonski kanala koristeći podjelu vremena (TDM). Poslije se koristi statističko multipleksiranje zbog toga što terminali kod interaktivnog načina rada velik dio perioda miruju, a zatim slijedi relativno kratko razdoblje intenzivne aktivnosti. Za vrijeme neaktivnosti jednog terminala drugi terminal može koristiti cijeli kapacitet kanala.

## 2.3. Jednospojno povezivanje:

- definirati jednospojno povezivanje
- opisati rad terminala

**Definirati jednospojno povezivanje:** -kod jednospojnog povezivanja svaki terminal je vezan vlastitim vodom na računalo ili na komunikacijski procesor.

**Opisati rad terminala:** -komunikacijski procesor prihvata podatke s terminala znak po znak istovremeno s tipkanjem i oblikuje ih u poruke terminala te ih šalje računalu koristeći jedan telefonski kanal. Takvi se terminali zbog načina rada zovu znakovni terminali i izrazito su jednostavni. Često se nazivaju neinteligentnim terminalima.



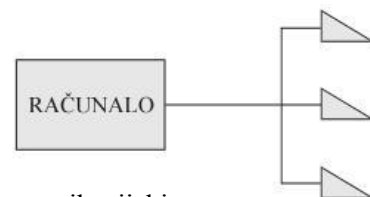
## 2.4. Višespojno povezivanje:

- definirati višespojno povezivanje
- opisati rad terminala

**Definirati višespojno povezivanje:** -kod višespojnog povezivanja je više terminala spojeno na isti kanal.

**Opisati rad terminala:** -centralna stanica vrlo brzo proziva terminal po terminal, a oni koji su spremni šalju već pripremljene poruke. Postupak povezivanja može se prenijeti i na komunikacijski procesor radi rasterećenja računala. Prilikom slanja podataka iz centralnog računala u terminal, računalo ili komunikacijski procesor selektira terminal i šalje mu cjeloviti blok podataka. Takvi se terminali zbog načina rada blok po blok zovu i blok orijentirani terminali.

Blokovni terminali raspolažu složenim funkcijama lokalne pripreme podataka i nazivaju se inteligentnim terminalima.



# 3. RAZVOJ MREŽNIH ARHITEKTURA

## 3.1. Privatne arhitekture:

- motivacija
- zatvorenost
- najpoznatije arhitekture

**Motivacija:** -zbog rasta količine podataka javila se potreba za povećanjem kapaciteta centralnog računala, što je postalo ekonomski neisplativo. Dolazi do distribucije kapaciteta obrade, koja se postigla umrežavanjem manjih računala. Te su mreže bile privatno vlasništvo. Bile su **zatvorene**, pristup im je bio ograničen i imale su primitivne sigurnosne mehanizme.

### **Najpoznatije arhitekture:**

- IBM (SNA)
- DEC (DECNET)
- DARPA (ARPANET), preteča Interneta

## 3.2. Javne arhitekture:

- javne mreže s prospajanjem kanala
- javne mreže s prospajanjem paketa
- razvoj IDN-ISDN-ATM

**Javne mreže s prospajanjem (komutacijom) kanala:** -za sinkroni i asinkroni prijenos po preporukama X.20 i X.21

**Javne mreže s prospajanjem (komutacijom) paketa:** -X.25, od kojih se jedan dio razvija prema frame-relay mrežama.

**Razvoj IDN-ISDN-ATM:** -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 na bazi komutiranih kanala kapaciteta 64 kb/s nije nudila dovoljan kapacitet za potrebe prijenosa podataka, pa je krenuo pokušaj razvoja širokopojasnog (B -ISDN) tako er s komutacijom kanala varijabilnog kapaciteta  $N \cdot 64$  kb/s. Taj koncept je bio neefikasan, pa se ubrzo napustio. Današnja B-ISDN mreža se temelji na tehnologiji asinkronog načina prijenosa (ATM) koji koristi prospajanje paketa.

### 3.3. ARPANet i Internet:

- osnovna arhitektura ARPANet-a
- osnovna arhitektura Interneta
- usporedba s ISO/OSI arhitekturom

Kod *Arpa* mreže korisnik je program ili proces koji se izvršava na računalu.

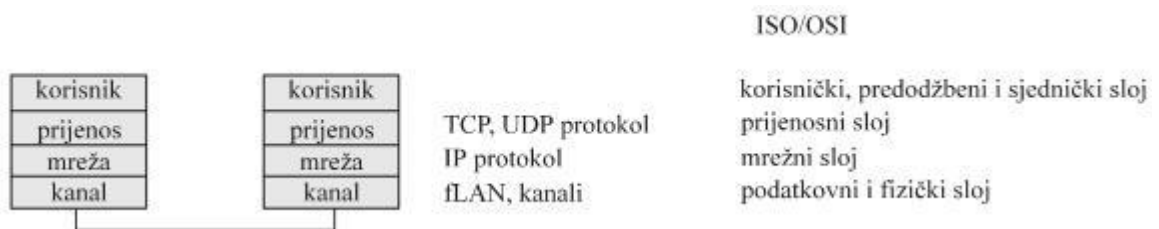


Da bi se posao mogao odvijati na udaljenom računalu i da bi se uspješno održavala veza izme u procesa na dva računala koriste se: OS (operacijski sustav) koji je nadogra en sa NCP (Network Control Program), sklopovlje računala, IMP (Interface Message Protocol) koji je čvrno komunikacijsko računalo.

**Internet** je jedina globalna javna mreža za prijenos podataka s prospajanjem paketa:

IP (Internet Protocol) je protokol koji se koristi na mrežnoj razini da bi paket stigao s kraja na kraj mreže.

TCP (Transmission Control Protocol) i UDO (User Datagram Protocol) su protokoli koji se koriste na prijenosnoj razini da bi paket stigao od korisnika do korisnika.



**Usporedba s ISO/OSI arhitekturom:** -od ISO/OSI modela se razlikuje u jednostavnom sjedničkom sloju (koji je dio prijenosnog), zbog čega se jednom vezom prenosi samo jedan cjeloviti dokument korisnika. Korisnička razina je integrirana sa predodžbenom i pruža usluge interaktivnog dohvata podataka (WEB, E-mail, FTP, TELNET).

# 4. OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA

## 4.1. Sistematizacija mreža prema elementima i topologiji:

- mreže prema elementima
- mreže prema topologiji

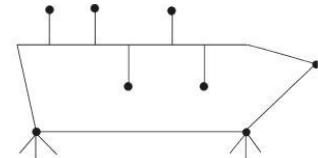
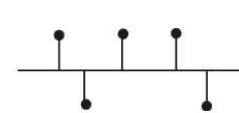
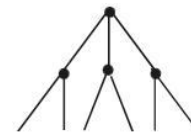
### Podjela mreže prema elementima:

- Mreže terminala – osiguravaju vezu centralnog računala i njegovih terminala. Sva obrada se obavlja na računalu, a terminal služi za interakciju s operaterom.
- Mreže računala – čvorovi ove mreže su računala koja primaju poruke i usmjeravaju ih na odredište. Svako računalo uz sebe može imati mrežu terminala.



### Podjela mreže prema topologiji:

- Zvezdasta mreža – cjelokupni promet prolazi kroz jedan čvor koji može biti glavno računalo sustava. Razmjena podataka me u terminalima je moguća samo kroz glavno računalo. Problem: kvar glavnog računala.
- Stablasta mreža – hijerarhijska mreža više zvjezdastih mreža. Niže mreže zovemo podmrežama. Promet može biti ograničen na podmrežu ili se protezati cijelom mrežom.
- Prstenasta mreža – svako računalo je spojeno sa dva susjedna. U slučaju prekida kanala postoji mogućnost prijenosa podataka obilaznim putem.
- Sabirnička – mreža je ostvarena višespojnim povezivanjem. Upravljanje može biti distribuirano pa postoji mogućnost sudara poruka. Nema središnjeg čvora.
- Isprepletana mreža – svako računalo spojeno sa svima. Neekonomična za terminalske i druge mreže s malim prometom, ali je interesantna za glavnu mrežu.
- Mreža mješovite topologije – nastaje kombinacijom prethodnih po potrebama korisnika.



## 4.2. Sistematizacija mreža prema uslugama, vlasništvu i području:

- mreže prema načinu korištenja usluga
- mreže prema vlasništvu
- mreže prema području

### **Mreže prema načinu korištenja:**

- Mreža korisnik-poslužitelj – poslužitelj daje uslugu računalu korisnika. Dio se poslova obavlja na korisničkom računalu, na kojem se odvija korisnički program.
- Mreža sa ravnopravnim učesnicima (peer-to-peer) – svako računalo u mreži je istodobno i korisnik i poslužitelj.
- Mreža sa distribuiranom obradom – razvija se umjesto velikih centralnih računala. Mogu biti dio prethodnih mreža.

### **Podjela mreža prema vlasništvu:**

- Privatne mreže – korisnik (vlasnik) samostalno upravlja mrežom.
- Javne mreže – vlasnik na komercijalnoj osnovi pruža uslugu prijenosa podataka drugima.

### **Podjela mreža prema području:**

- Lokalne mreže (LAN – Local Area Network) – povezuju računala unutar prostorije, zgrade... Velika brzina prijenosa i malo kašnjenje. Najrašireniji je Ethernet.
- Gradske mreže (MAN – Metropolitan Area Network) – povezuju računala na manjem teritoriju. To su uglavnom javne mreže koje velikom broju korisnika omogućuju pristup internetu. Imaju srednje kašnjenje i manji kapacitet od LAN-a.
- Globalne mreže (WAN – Wide Area Network) – povezuju računala na velikim udaljenostima. To su javne mreže izgrađene telekomunikacijskom tehnologijom. Karakterizira ih manja do velika (ATM) brzina prijenosa i veliko kašnjenje.

## 4.3. Prospajanje kanala:

- svojstva, uspostava i raskid veze
- kašnjenje i kvaliteta kanala

**Prospajanje kanala** se najviše koristi u telefonskim mrežama. U telefonskim centralama vodovi se povezuju tako da se uspostavi cjeloviti komunikacijski kanal s kraja na kraj mreže.

Kada korisnici odluče, veza se **raskida**, spojni putovi se oslobađaju, nove veze mogu koristiti oslobođene kapacitete.

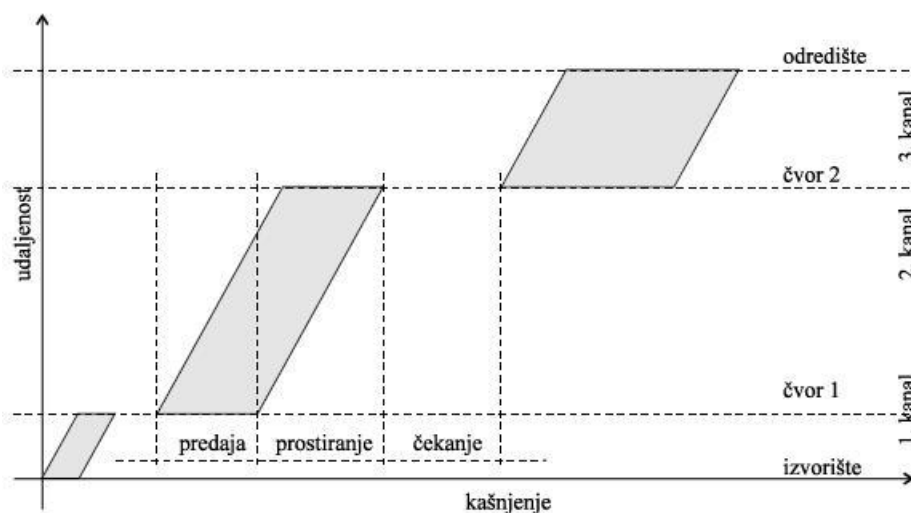
**Vrijeme kašnjenja** je načelno jednako vremenu prostiranja na kanalima, jer je veza direktna. Kod složenih telefonskih mreža, koje koriste izvedene digitalne kanale, postoji još i dodatno kašnjenje potrebno za analogno-digitalnu i digitalno-analognu pretvorbu. Kašnjenje, kod govornih komunikacija, mora biti maleno. Komutacija kanala nije pogodna za prijenos podataka, zbog toga što kapacitet kanala nije dovoljno iskorišten.

## 4.4. Prospajanje poruka:

- svojstva
- vremensko prostorni dijagram
- primjena u prijenosu podataka

**Svojstva:** -mreže s prospajanjem poruka primaju poruke u komutacijskim čvorištima. Tu se poruke privremeno pohrane, a zatim se šalju do odredišta na osnovu podataka koji se nalaze u zaglavlju poruke.

Izme u primatelja i pošiljatelja se ne uspostavlja neposredna veza. Kašnjenje na mrežama s komutacijom poruka je veliko, pa nisu pogodne za prijenos govora. Kašnjenje se sastoji od vremena prijenosa i vremena prostiranja na svim spojnim putovima od odredišta + vrijeme čekanja poruke u čvorovima.



**Primjena u prijenosu podataka:** -mreže s prospajanjem poruka ne grade se kao samostalne mreže, već se prijenos poruka pruža kao jedna od usluga u mrežama s prospajanjem paketa (npr. elektronička pošta).

## 4.5. Prospajanje paketa:

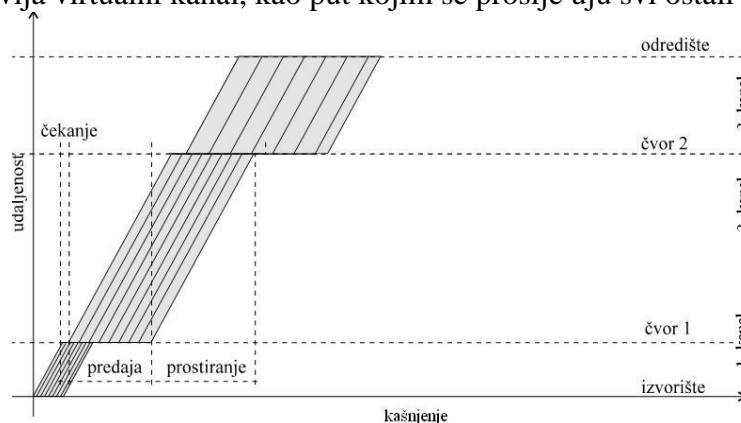
- svojstva
- usmjeravanje i prosljeivanje
- vremensko prostorni dijagram
- primjena u prijenosu podataka

**Svojstva:** -kod prospajanja paketa poruke korisnika se dijele na pakete, koji se zatim prenose mrežom. Da bi kašnjenje bilo minimalno, paket koji dođe u čvor se nastoji što prije poslati prema odredištu.

**Usmjeravanje:** -algoritmima usmjeravanja se određuje optimalan put paketa prema odredištu. Ti algoritmi zahtijevaju veliku količinu obrade, pa se ne primjenjuju na svaki paket, već se proračunavaju tablice usmjeravanja. Pojedinačni paketi se prosljeuju na osnovu tih tablica.

**Prosljeivanje** je moguće organizirati na dva načina:

- Prosljeivanje pojedinačnih paketa – svaki paket u svom zaglavlju nosi globalnu adresu odredišta.
- Korištenjem virtualnog kanala – samo prvi paket u svom zaglavlju nosi globalnu adresu odredišta. Prolaskom tog paketa i njegove potvrde kroz mrežu se uspostavlja virtualni kanal, kao put kojim se prosljeuju svi ostali paketi.



**Primjena u prijenosu podataka:** -kašnjenje se sastoji od vremena čekanja, predaje i prostiranja. Glavna prednost prospajanja paketa je u tome što omogućava da se kapaciteti mreže podjele statističkim multipleksiranjem. Paketi raznih korisnika se šalju naizmjenično, pa je pravednije zajedničko korištenje kapaciteta kanala. Kratki paketi su manje osjetljivi na pogreške u prijenosu.

## 4.6. Prospajanje u ATM mreži:

- svojstva
- opis ćelije ATM mreže
- način prospajanja

**ATM** mreže se razvijaju sa svrhom integracije prijenosa govora, multimedijских signala i podataka. ATM mreža je mreža sa prospajanjem paketa, kod koje se poruke korisnika dijele na male pakete fiksne duljine, koji se zovu **ćelije**. Ćelije su dovoljno male (53 okteta: 5 zaglavlja, 48 podataka) kako bi se **prospajanje** moglo obavljati sklopovljem kako bi kašnjenje bilo maleno, čime je omogućen prijenos govora.

# 5. ELEMENTI RAČUNALNIH MREŽA

## 5.1. Kanali računalnih mreža:

- vodovi
- optički vodovi
- elektromagnetska zračenja

**Vodovi** su strukture sastavljene od dvaju ili više vodiča, npr:

- Parica (UTP) se sastoji od dva prepletena vodiča,
- Koaksijalni kabel se sastoji od centralnog vodiča i cilindričnog opleta. Koristi se kod kabelaške televizije i Etherneta,
- Oklopljena parica se sastoji od dva prepletena vodiča i cilindričnog opleta,
- Twinax kabel se sastoji od dva centralna vodiča i cilindričnog opleta. Koristi se kod prstenastih lokalnih mreža.

**Optičke niti:**

- Jednomodno optičko vlakno omogućava prolaz svjetlosti koja se lomi na samo jedan način. Karakterizira ga manje gušenje i veći doseg signala. Problem je cijena.
- Višemodno optičko vlakno omogućava prolaz svjetlosti koja se lomi na više načina. Problem veće gušenje i manji doseg signala. Prednost je niža cijena.

**Elektromagnetska zračenja:**

- Infracrvena zračenja se koriste za bežično povezivanje unutar jedne prostorije.
- Radio kanali se koriste za prijenos podataka na područjima gdje nije izgrađena telekomunikacijska mreža, kod bežičnih mreža, gsm...
- Satelitske veze se koriste kao medij za izgradnju telekomunikacijskih kanala.

## 5.2. Osnovni i izvedeni kanali:

- osnovni kanali
- izvedeni kanali
- načini i uređaji višestrukog korištenja

**Osnovni kanal** nastaje potpunim korištenjem kapaciteta fizičkog voda ili medija. Najčešće je obuhvaćena i istosmjerna komponenta spektra, pa govorimo o osnovnom frekvencijskom području, od 0 do neke granične frekvencije. Informacijski volumen osnovnog kanala možemo podijeliti na više korisnika, čime dobivamo **izvedene kanale**.

**Za podjelu osnovnog kanala možemo koristiti podjelu po:**

### 1. Vremenu (TDM)

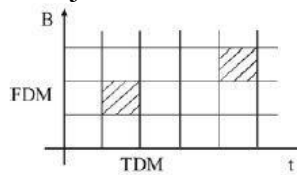
- Fiksno: točno se zna koji je vremenski odsječak predviđen za koji terminal. Mana je u tome što ako terminal ne koristi raspoloživo vrijeme, tada je ono izgubljeno.



- Statističko: vremenski odsječci nisu fiksno dodijeljeni. Stoga, npr. terminal T1 može koristiti vremenski odsječak terminala T2 kad T2 ne radi. Dok jedan terminal radi, drugi čekaju. Zbog toga se poruke razbijaju na manje pakete. Ure aji za multipleksiranje se nazivaju multiplekseri. Razlikujemo obični i statistički.

**2. Frekvenciji (FDM)** – podjela frekvencijskog opsega kanala.

**3. Kombinirano** – koristeći frekvencijsko i vremensko multipleksiranje.



## 5.3. Karakteristike kanala:

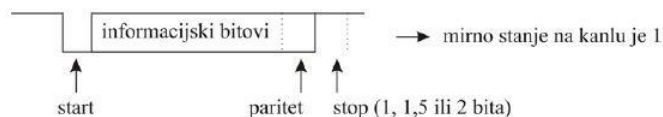
- kapacitet kanala
- sinkronizacija
- smjer prijenosa

**Kapacitet kanala** se najčešće izražava u [b/s] (bita u sek). Ako signal prenosimo na  $R$  diskretnih razina tada vrijedi  $k = B \cdot \log_2(R)$ , gdje je  $B$  brzina signalizacije izražena u simbol/sekunda. Najveći mogući kapacitet kanala širine pojasa  $B$  je  $k_{max} = 2B \cdot \log_2(R)$  [b/s].

**Sinkronizacija** se odnosi na prepoznavanje početka i kraja prijenosa nekog elementa informacije.

*Kanali mogu biti:*

- Asinkroni: Prvo se šalje startni, pokretački bit nakon toga podatak, i na kraju zaustavni (stop) bit. Brzina prijenosa mora biti unaprijed dogovorena, ali je zbog kratkoće poruka dozvoljeno malo odstupanje. Takav način prijenosa istodobno osigurava sinkronizaciju i po bitu i po oktetu.



- Sinkroni: osim samih podataka kanalom se prenosi i takt signala. Tako je definiran trenutak uzorkovanja signalnog elementa, ali ne i početak okteta. Sinkroni prijenos osigurava samo sinkronizaciju po bitu.

**Smjer prijenosa:**

- Dvosmjerni kanal (duplex) omogućava istovremeno slanje podataka u oba smjera u istom trenutku.
- Obosmjerni kanal (half duplex) omogućava slanje podataka u oba smjera, ali ne u istom trenutku.
- Jednosmjerni kanal (simplex) omogućava prijenos podataka samo u jednom smjeru. Za postizanje dvosmjernog prijenosa se koriste dva jednosmjerna kanala.

## 5.4. Čvorišta i terminali računalnih mreža:

- navesti poimence čvorišta i opisati njihovu funkciju
- definirati terminal mreže

**Obnavljač (transceiver)** je uređaj s dva, a **zvjezdište (hub)** s više priključnica, koji samo pojačava signal i obavlja prilagodbu impedancije.

Obnavljač se koristi za proširenje doseg mreže, dok zvjezdište simulira sabirnički medij pojačavanjem signala. Zbog takvog načina rada signal se šalje na sva spojena računala.

**Premosnik (bridge)** je uređaj s dvije, a **prespojnik (switch)** s više priključnica. Switch prima okvir i na osnovu adrese prosljeđuje okvir na podatkovnoj razini prema odredištu, za razliku od hub-a koji podatke prosljeđuje svim računalima, switch šalje samo onom kome je namijenjeno.

**Usmjernik (router)** je uređaj koji prima pakete mrežne razine i algoritmima prosljeđivanja i usmjeravanja ih šalje prema odredištu.

**Poveznik (gateway)** je uređaj koji obavlja posebne zadatke radeći na prijenosnoj i korisničkoj razini.

**Terminal mreže** označava svaki uređaj koji je spojen na mrežu. To mogu biti računala i terminali u užem smislu. Često se računala koriste kao čvorovi, pa takva računala istovremeno obavljaju funkciju čvorišta i terminala mreže.

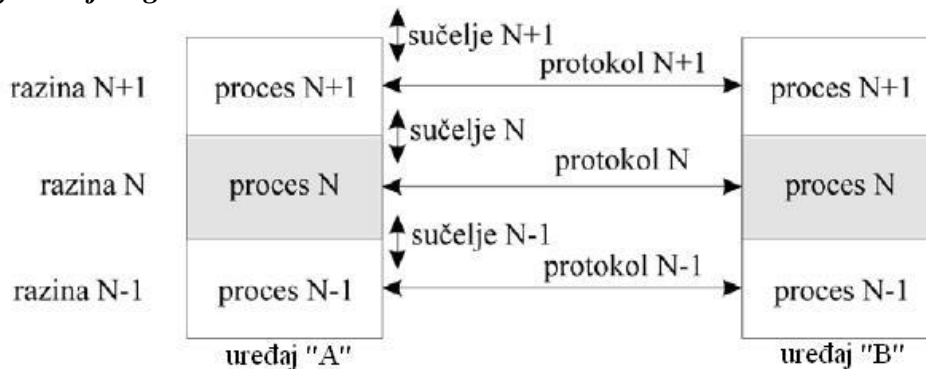
## 6. SLOJEVITI HIJERARHIJSKI SUSTAVI

### 6.1. Koncept razine, protokola i sučelja:

- motivacija
- skica hijerarhijskog sustava
- koncept protokola i koncept sučelja
- standardizacija

**Motivacija:** -današnje mreže imaju slojevitiju hijerarhijsku arhitekturu. Organizirane su po razinama zbog toga što je taj koncept optimalan kod razvoja, realizacije, standardizacije i korištenja. Za svaku razinu se pokreće proces. Proces je program koji je trajno aktivan, i izvršava se u TDI procesora.

**Skica hijerarhijskog sustava:**



**Koncept razine:** -procesi promatrane razine pružaju nadre enoj razini uslugu prijenosa podataka te koriste uslugu podre ene razine. Svaka razina komunicira preko dva različita sučelja prema nadre enoj i podre enoj razini.

Po **konceptu protokola**, na ure ajima koji me usobno razmjenjuju podatke, dva procesa iste razine prividno neposredno komuniciraju po pravilima protokola. U stvarnosti komuniciraju koristeći usluge podre enih slojeva.

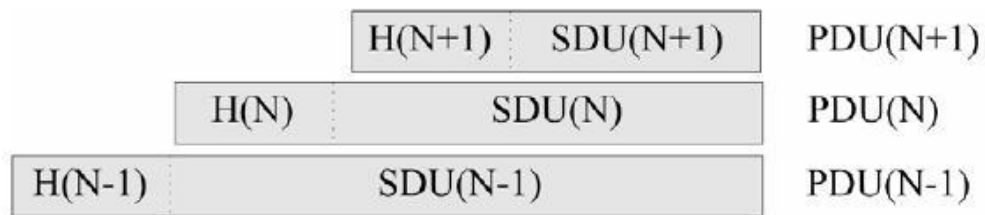
Po **konceptu sučelja** komunikacija me u procesima susjednih razina, unutar istog ure aja se odvija preko sučelja.

**Standardizacija** je potrebna radi različitih proizvo ača opreme. Specificiranje protokola je osnovni način standardizacije komunikacijskih sustava.

## 6.2. Koncept zaglavlja i umetanje:

- definirati zaglavlje
- definirati PDU, SDU
- umetanje PDU, SDU na prijemu i predaji

**Zaglavlje ( $H(N)$ )** sadrži informacije potrebne procesu  $N$  za obavljanje funkcija razine  $N$ .



**PDU (Protocol Data Unit)** je jedinica informacije, a **SDU (Service Data Unit)** je korisnikova informacija.

**Umetanje PDU, SDU na prijemu i predaji:** -svaka razina u postupku predaje uzima preko gornjeg sučelja jedinicu informacije  $PDU(N+1)$  nadre ene razine kao podatke koje treba prenijeti  $\rightarrow SDU(N)$ . Na to dodaje svoje zaglavlje  $H(N)$  i tako formira vlastiti  $PDU(N)$ .

U postupku prijema, razina  $N$  od podre ene razine  $N-1$ , preko donjeg sučelja, dobije njen  $SDU(N-1)$  kao svoj  $PDU(N)$ .

## 6.3. Jedinica informacije i fragmentacija:

- jedinice informacije po razinama
- fragmentacija, segmentacija i P/S pretvorba
- strategija fragmentacije, MSS, MTU

### ***Jedinice informacije po razinama:***

- Bit je najmanja jedinica informacije koju prenosimo na fizičkoj razini.
- Oktet je najmanja kodna riječ, kojom baratamo kao cjelinom.
- Okvir (blok) je osnovni PDU podatkovne razine. Sastoji se od više okteta. Najmanja je jedinica informacije koja ima vlastito zaglavlje.
- Paket je osnovni PDU mrežne razine, a ujedno je i oblik kojim se obavlja promet s kraja na kraj mreže.
- Segment i datagram su osnovni PDU prijenosne razine. Segment je dio veće korisnikove poruke, dok je datagram kratka zasebna poruka.
- Poruka korisnika je najveći PDU, kojeg formira proces korisnik komunikacije. Veće poruke se fragmentiraju na segmente.

**Fragmentacija** je postupak kod kojeg se svaki SDU (N) može u postupku formiranja PDU (N) podijeliti na manje dijelove, tako da od jednog SDU (N) formiramo jedan ili više PDU (N). Pri tome svaki PDU (N) sadrži cjelovito zaglavlje H (N). Fragmentacija izaziva veće opterećenje čvorišta. Gubitak jednog fragmenta može značiti gubitak čitavog PDU-a.

**Segmentacija** označava postupak kada se korisnikova poruka nastoji odmah podijeliti na onolike dijelove, koji nakon uključivanja zaglavlja svih podre enih razina, bez daljnje fragmentacije mogu proći kroz mrežu.

Fragmentacija je nužna kod **paralelno-serijske** pretvorbe na mediju. Predajnik može odrediti maksimalnu duljinu fragmenata (MSS) kao npr. kod interneta.

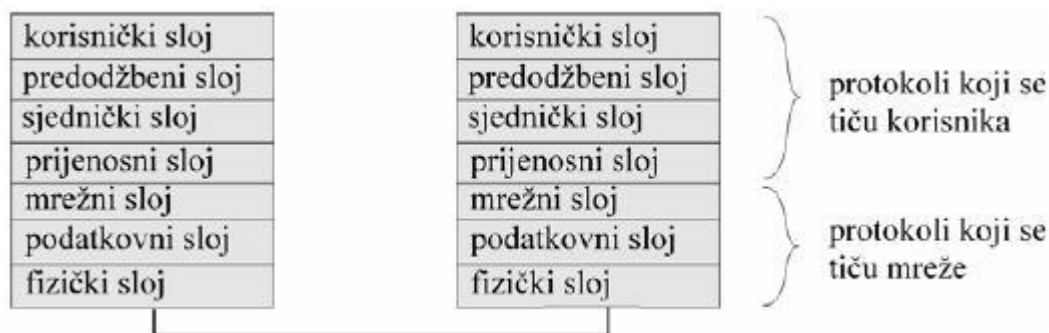
**MSS (Maximum Segment Size)** je najveća količina podataka (u bitima) koji možemo prenijeti u jednom, nefragmentiranom dijelu.

**MTU (Maximum Transmission Unit)** se odnosi na veličinu (u bitima) najvećeg paketa 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

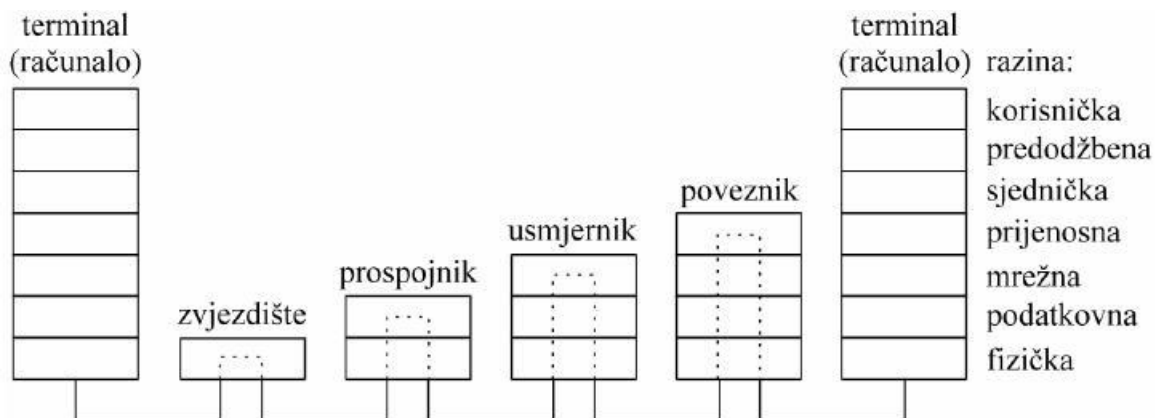
### Definicija ISO/OSI arhitekture:



### Opis razina:

- Fizička razina definira sučelje izme u računala i medija kojeg koristimo za prijenos.
- Podatkovna razina nadzire fizičku razinu tako da upravlja vezom. Ostvaruje se sinkronizacija po okviru ili po oktetu i okviru.
- Mrežna razina osigurava prijenos poruke s kraja na kraj mreže.
- Prijenosna razina osigurava vezu od korisnika do korisnika. Obavlja se kontrola greške i kontrola toka.
- Sjednička razina provjerava cjelovitost poruke. Isporučuje poruku na pravo odredište unutar računala.
- Predodžbena razina obavlja prevo enje informacija sa formata koji su standardni na mreži na format standardan na računalu.
- Korisnička razina poslužuje korisničke procese i mrežne usluge.

### Skica čvorišta s obzirom na razine ISO/OSI modela



# 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.

**Komunikacijski procesi** se odvijaju na odvojenim računalima pa je PDU često jedina informacija o procesu na drugom računalu.

**Značaj i provođenje standardizacije:** -postoji velik broj uređaja različitih proizvođača. Da bi oni mogli uspješno komunicirati potrebno je standardizirati protokole.

**Vanjska specifikacija** protokola odnosi se na format zaglavlja i oblik PDU-a kao cjeline. U zaglavlju se definiraju polja, formati podataka u njima, i značenje koje mora biti jednoznačno za sve uređaje koji koriste protokol. Jednom donesena vanjska specifikacija se teško mijenja.

**Unutrašnja specifikacija** se odnosi na algoritme protokola, kojima se obrađuju informacije iz zaglavlja PDU-a i donose odluke o radu procesa. Algoritmi protokola se mogu naknadno modificirati.

U obavljanju svoje funkcije komunikacijski procesi moraju voditi računa o ispravnom tumačenju, identifikaciji PDU-a, o radu odgovarajućih procesa, o pojavi pogreški, o usklađivanju brzine rada s mogućnostima odgovarajućeg procesa.

**Postoje četiri osnovna mehanizma protokola:** adresiranje, sinkronizacija, kontrola greški i kontrola toka.

## 7.2. Adresiranje:

- svrha adresiranja, prosljeivanje
- objekti i organizacija adresiranja
- vrste adresa
- upravljanje adresama
- adresiranje po razinama

**Svrha adresiranja** je jednoznačna identifikacija korisnika. U zaglavlju PDU je potrebno osigurati polje dovoljne duljine.

### **Objekti adresiranja mogu biti:**

- Fizički uređaji (računala, priključci na mrežu). U većini slučajeva je dovoljno odrediti adresu uređaja na podatkovnoj i mrežnoj razini.
- Procesi koje identificiramo koristeći pristupne točke (SAP) kojima podaci prolaze preko sučelja. Procesima mrežne, prijenosne razine i poslužiteljskim procesima viših razina dodjeljujemo stalne pristupne točke, a općenito procesima viših razina dinamičke pristupne točke.

### **Adresa odredišta može biti:**

- Pojedinačna (unicast) – PDU je namijenjen samo jednom uređaju ili procesu.
- Grupna (multicast) – PDU je namijenjen predefiniranoj grupi procesa ili uređaja.
- Univerzalna (broadcast) – svi procesi i uređaji primaju PDU.

**Upravljanje adresama:** -adrese na pojedinoj razini mreže mogu biti lokalno ili globalno administrirane (postoji ovlašteno tijelo koje administrira adrese).

### **Adresiranje po razinama:**

- Fizička razina – načelno nema potrebe za adresiranjem.
- Podatkovna razina – ovisi o načinu povezivanja.
- Mrežna razina – postoji jedinstvena, globalna adresa korisnika, koja omogućuje usmjeravanje paketa prema odredištu.
- Prijenosna razina – obavlja se identifikacija prijenosnog protokola. Koristi se mehanizam pristupnih točaka s fiksnim identifikatorima.
- Sjednička razina – obavlja se identifikacija procesa korisnika unutar računala. Koristi se mehanizam pristupnih točaka s dinamičkom dodjelom identifikatora.
- Adresiranje na predodžbenoj i korisničkoj razini 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 se odnosi na izdvajanje cjelovitih PDU-a iz beskonačnog niza bitova.

#### ***Sinkronizacija PDU po razinama:***

- Fizička razina – obavlja se ovisno o tome da li je prijenos kanalom sinkron (sinkronizacija po bitu) ili asinkron (sinkronizacija po bitu i oktetu).
- Podatkovna razina – ovisi o načinu prijenosa na fizičkoj razini. Ako je sinkron imamo sinkronizaciju po oktetu i okviru, a ako je asinkron samo po okviru.
- Mrežna razina – sinkronizacija po paketu, ali samo kada je paket podijeljen na više okvira podatkovne razine.
- Prijenosna razina – sinkronizacija po segmentu je rijetka, jer se najčešće cjeloviti PDU prenosi jednim paketom mrežne razine.
- Sjednička razina – obavlja se sinkronizacija po poruci.

Sinkronizacija na višim razinama nije potrebna.

**Sinkronizacija procesa:** -kod sinkronizacije procesa imamo dva istovrsna procesa koji komuniciraju. U nekom promatranom trenutku svaki proces se nalazi u nekom stanju. Taj par stanja predstavlja stanje veze.

Postoje dvije skupine stanja veze:

- *Normalna stanja veze* su stanja veze uzrokovana kašnjenjem u međusobnoj komunikaciji, ili gubitkom PDU-a.
- Ukoliko imamo *neusklađeni rad odgovarajućih procesa*, tada imamo parove stanja koja ne mogu biti normalno stanje veze

Protokol mora imati sposobnost oporavka od nepoželjnih stanja veze.



## 8. KONTROLA POGREŠKI

### 8.1. Organizacija kontrole pogreški:

- kontrola pogreški prema vrsti informacije
- zahtjevi kontrole pogreški kod prijenosa podataka
- organizacija kontrole pogreški kod prijenosa podataka

**Kontrolu pogreški prema vrsti informacije** organiziramo ovisno o:

- Količini redundancije u informaciji
- Ukupnom dozvoljenom kašnjenju
- Dozvoljenom kašnjenju me u dijelovima informacije

Osnovna ideja je da informacija do odredišta stigne cjelovita i neoštećena.

Informacije možemo svrstati u dvije grupe:

- *Prijenos govora* - korekcija samo najčešćih pogreški
- *Prijenos podataka* - korekcija svih pogreški

**Zahtjevi kontrole pogreški kod prijenosa podataka:** -najvažnija je apsolutna točnost prenesene informacije. Dozvoljeno je nešto veće kašnjenje, varijacije kašnjenja i varijacije brzine prijenosa.

Kontrolu pogreški organiziramo korištenjem kodova za detekciju pogreški i mehanizmom ponovnog slanja (retransmisije).

**Organizacija kontrole pogreški kod prijenosa podataka se odvija u dva koraka:**

- Otkrivanje pogreške (zasniva se na kodovima s korištenjem redundancije i kodne udaljenosti).
- Oporavljanje veze od pogreške se provodi nakon gubitka PDU-a s ciljem da se osigura cjelovitost korisnikovih podataka. PDU ponovo šaljemo (retransmitiramo) ukoliko detektiramo da je izgubljen.

### 8.2. Spojevn i bespojni protokoli:

- definirati funkciju kontrole pogreški
- definirati karakteristike bespojnih protokola
- definirati karakteristike spojevnih protokola
- identifikacija PDU i posljedice

**Glavna funkcija kontrole pogreški** je da informacija stigne do odredišta cjelovita i neoštećena.

**Bespojni protokoli** su protokoli koji ne sadrže mehanizam oporavka od pogreške (eventualno samo detektiraju pogrešku i odbacuju PDU). Gubitak PDU-a ne izaziva nikakvu reakciju. Cjelovitost korisnikove poruke osigurava neki od protokola nadre enih razina.

**Spojevni protokoli** su protokoli koji uz mehanizme detekcije sadrže i mehanizme oporavka od pogreški, pa koriste *numeraciju PDU-a*, *detekciju izostanka PDU-a*, *retransmisiju*. Po takvim protokolima procesi na početku prijenosa podataka moraju uskladiti početnu numeraciju PDU-a → uspostava logičkog kanala.

**Identifikacija PDU i posljedice:** -da bi proces razine mogao detektirati gubitak PDU-a, potrebno je pojedine PDU-e identificirati. To se radi numeracijom PDU-a. U zaglavlju se nalaze polja u kojima se šalje redni broj PDU-a. Sama numeracija se radi uštede obavlja po modulu. Da ne bi došlo do miješanja PDU-a predajnik ne smije poslati dva PDU-a s istom numeracijom. Posljedica ovakve identifikacije je u tome što predajnik može maksimalno poslati onoliko PDU-a koliki je modul numeracije. Broj PDU-ova na mreži se naziva prozor.

### 8.3. Vrste potvrda i algoritmi retransmisije:

- podjela potvrda
- potvrde u praksi i TCP Interneta
- detekcija gubitka i vrste retransmisije

#### **Potvrde mogu biti:**

- Pozitivne – eksplicitno potvrđuju prijam PDU-a.
- Negativne – eksplicitno dojavljuju gubitak PDU-a.

#### **Drugi kriterij:**

- Selektivne – potvrđuju prijam, ili gubitak samo označenog PDU-a.
- Kumulativne – potvrđuju prijam, ili gubitak označenog PDU-a i svih prethodnih.

#### **Pa imamo:**

- Pozitivne kumulativne – robusne su jer kompenziraju gubitak neke od ranijih potvrda. Ukoliko se primi prekoredni PDU prijamnik jednostavno šalje posljednju kumulativnu potvrdu što ima značenje dojave gubitka. Mana je što predajnik ne prima informaciju koji su PDU-i primljeni nakon izgubljenog.
- Pozitivne selektivne – rijetko se samostalno koriste zbog osjetljivosti na gubitak potvrde. Koristi se u kombinaciji sa pozitivnim kumulativnim i to tako da se selektivna koristi samo u slučaju gubitka, pa predajnik zna koji su PDU-i stigli nakon izgubljenog.
- Negativne kumulativne – nemaju primjenu.
- Negativne selektivne – koriste se u kombinaciji sa 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 pozitivne kumulativne, te sustavi koji koriste kombinaciju pozitivnih kumulativnih i pozitivnih selektivnih potvrda.

#### **Kod TCP interneta** se koriste:

- ACK – Pozitivne kumulativne potvrde (standardno),
- SACK – Selektivne potvrde (eksperimentalno).

**Detekcija gubitka** je otežana zbog načina prosjele i vanja PDU-a. Kod mrežne razine s pojedinačnim prosjele i vanjem paketi mogu putovati velikim brojem putova do odredišta, pa redosljed pristizanja na odredište nije zagarantiran. Potrebno je odrediti vrijeme čekanja. Ukoliko je premalo, tada možda nepotrebno uzrokuje retransmisiju, a ukoliko je predugo tada pada brzina prijenosa.

#### **Retransmisija može biti:**

- Grupna (go back N) – predajnik šalje izgubljeni PDU, ali i sve ostale koji slijede, bez obzira da li su i oni izgubljeni.
- Selektivna – šalje se samo izgubljeni PDU.

## 8.4. Kontrola pogreški po razinama:

- optimalna organizacija spojevnih i bespojnih protokola
- mogućnost kontrole pogreški po razinama

**Kod spojevnih protokola** podatkovne razine, izostanak okvira se detektira na osnovu numeracije. Retransmisija se aktivira na osnovu zahtjeva prijavnika, ili izostankom potvrde.

Budući da se radi o jednospojnom ili višespojnom mediju, bez čvorišta me u krajnjim stanicama, redosljed poruka će načelno biti očuvan (pa će algoritam detekcije PDU-a biti jednostavan), i kašnjenje će biti malo (pa je moguće neposredno tražiti retransmisiju).

**Kod bespojnih protokola** podatkovne razine oporavak od pogreške se prepušta nadre enoj razini, retransmisiju je lako organizirati, ali se to u praksi ne radi, jer istovremena detekcija izostanka PDU-a na podatkovnoj i mrežnoj ili prijenosnoj razini može izazvati poteškoće.

### ***Kontrola pogreški po razinama:***

Na fizičkoj razini kontrola na razini bita nije isplativa, osim ako linijski kod ne omogućava automatsku detekciju pogreške.

Na podatkovnoj razini kontrola pogreški je jedna od osnovnih funkcija. Okvir se štiti kodom za otkrivanje pogreški. Oštećeni okviri se odbacuju.

Na mrežnoj razini dolazi do gubitaka zbog zagušenja. Protokoli su često bespojni jer je najbolje obaviti kontrolu pogreški *na prijenosnoj razini*.

Optimalno je detekciju pogreški obaviti na podatkovnoj i mrežnoj razini, a detekciju izostanka PDU-a i retransmisiju na prijenosnoj razini.

## 9. KONTROLA ZAGUŠENJA

### 9.1. Zagušenje i kontrola zagušenja:

- definicija zagušenja
- mjere protiv zagušenja

**Do zagušenja dolazi** kada je u promatranom vremenskom intervalu ponu eni promet veći od prijenosnog kapaciteta mreže. Tada dolazi do gubitka prometa i do smanjenja kvalitete usluge.

**Mjere protiv zagušenja su:**

- Izbjegavanje zagušenja – ograničavanjem ulaznog prometa se sprječava zagušenje mreže. Mreža se nastoji održati u optimalnoj radnoj točki (ograničavamo ulazni promet tako da u mreži uvijek imamo optimalan broj PDU-a).
- Otklanjanje zagušenja – ti postupci se aktiviraju kada mreža do e u stanje zagušenja, kako bi posljedice trajale što kraće, i bile ograničene na što manje područje.

Mjere izbjegavanja i otklanjanja zagušenja **se provode** na svim razinama upravljanja i vo enja mreže, te na svim vremenskim razinama.

Kod mreža s prospajanjem paketa značajno mjesto me u mjerama izbjegavanja zagušenja imaju mehanizmi kontrole toka koji imaju zadatak prilago avati brzinu predaje izvorišta tako da dolazni promet bude optimalan po kriterijima kvalitete usluge i korištenja kapaciteta mreže.

### 9.2. Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja:

- kod prospajanja kanala
- prospajanja paketa
- kod ATM mreža

**Kontrola zagušenja u mrežama s prospajanjem kanala** se provodi odbacivanjem zahtjeva za prospajanjem (kontrola pristupa mreži). Korisnik može, nakon nekog vremena, ponoviti svoj zahtjev, i ukoliko tada ostvari vezu kvaliteta usluge mu je zagarantirana.

**Kod mreža s prospajanjem paketa** raspoloživi kapacitet kanala se dijeli na više korisnika vremenskom razdiobom, odnosno statističkim multipleksiranjem paketa. Kontrola zagušenja mora održati broj paketa u mreži na optimalnoj razini kontrolom brzine predaje paketa izvorišta. Manjak paketa znači neiskorištavanje kapaciteta mreže, a višak znači smanjenje kvalitete usluge i gubljenje paketa.

**Kod ATM mreža** kontrola zagušenja je slična kao i kod mreža s prospajanjem paketa. Kontrola zagušenja nastoji održati broj ćelija u mreži na optimalnoj razini. Razlikujemo četiri kategorije korisnika:

- CBR (Constant Bit Rate) – kod takvog tipa koristi se ograničenje pristupa,
- VBR (Variable Bit Rate) – koristi se uobličavanje prometa izvorišta,
- ABR (Available Bit Rate) – uobličavanjem prometa s dinamičkom promjenom brzine,
- UBR (Unspecified Bit Rate) – pristupa se preostalom dijelu kapaciteta mreže, ali bez ikakve garancije kvalitete usluge, tako da mreža jednostavno odbacuje višak ćelija.

### 9.3. Vrste zagušenja:

- definirati vrste
- definirati mjere po vrstama

#### ***Vrste zagušenja:***

- Trajno zagušenje je zagušenje koje se javlja zbog povećanih potreba korisnika i nedovoljnog proširenja kapaciteta mreže. *Izbjegava se* pravovremenim planiranjem razvoja, *a otklanja* izgradnjom i zakupom vodova.
- Periodička zagušenja rezultat su ritma korisnika, koji istu uslugu traže istovremeno. *Izbjegavaju se* korištenjem više tarifnih modela, kontrolom pristupa i usmjeravanjem prometa, *a otklanjaju se* korištenjem kapaciteta drugih mreža (naročito onih koje imaju drugačiji profil korisnika ili onih iz drugih vremenskih zona).
- Privremena zagušenja su ona čije je trajanje reda veličine minuta i sekunda. Nastaje i nestaje unutar vremena trajanja pojedine veze me u korisnicima, ali traje duže od vremena obilaska na mreži. *Izbjegava se* kontrolom toka, *a otklanja* odbacivanjem viška prometa.
- Trenutno zagušenje ima trajanje reda veličine desetinke sekunde, i kraće je od vremena obilaska na mreži. Rezultat su nejednolikog intenziteta ponu enog prometa izvorišta i kašnjenja mehanizma kontrole toka. Manifestiraju se praskovima paketa. *Izbjegavaju se* uobličavanjem prometa, *a otklanjaju* osiguravanjem dovoljnog kapaciteta memorije čvorišta.

### 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

Kvaliteta se, kod **analognih** sustava, mjeri kvalitetom kanala, tj. širinom pojasa i SNR-om, a kod **digitalnih** sustava se mjeri brzinom prijenosa i vjerojatnošću pogreške.

Kod promatranja kvalitete usluge kod mreža sa prospajanjem paketa promatramo dvije skupine:

**Mreže s prospajanjem paketa bez rezervacije kapaciteta** (npr. Internet) – kod takvih mreža usluga se pruža po principu najbolje moguće usluge, bez ikakvih garancija za točnost (na mrežnoj razini), brzinu i kašnjenje. Paketi se usmjeravaju na osnovi težine putova, višak paketa se odbacuje, a korisnici samo moraju nadzirati integritet podataka i obavljati kontrolu toka na prijenosnoj razini. Mreža je efikasna za prijenos podataka.

**Mreže s prospajanjem paketa koje rezerviraju kapacitet** (npr. ATM) – paketi se usmjeravaju virtualnim kanalom. Mreža garantira kvalitetu usluge, ali korisnici trebaju nadzirati integritet podataka. ATM mreža je mreža čiji je cilj integracija svih vrsta prometa, pa za svaku vrstu prometa mora garantirati specifičnu kvalitetu usluge.

Usluge koje su za sada predviđene su:

Prijenos nekomprimiranog govora i videa (CBR), komprimiranog govora, videa i multimedije (VBR), prijenos podataka (ABR i UBR).

# 10. KONTROLA TOKA

## 10.1. Optimalna radna točka mreže:

- definicija i kriterij optimalnosti
- kriterij kašnjenja
- stanje elemenata mreže
- jednakost korisnika i pravednost

**Definicija i kriterij optimalnosti:** -optimalna radna točka mreže je vektor stanja svih elemenata mreže, koji omogućava optimalan odnos iskorištenja mreže i kakvoće usluge. Cilj je da se ponu eni promet posluži što prije, s minimalnim kašnjenjem. To vrijedi i za korisnika i za mrežu (zbog toga što želimo da sav trenutno raspoloživi kapacitet ponudimo korisnicima, osloba ajući time kapacitet za buduće zahtjeve). Potrebno je održati broj paketa u redu takvim da kašnjenje bude optimalno, a iskorištenje mreže visoko.

**Stanje elemenata paketne mreže** je broj paketa u redu čekanja na prijenos.

**Pravednost** osigurava da svi korisnici dobiju na raspolaganje podjednak dio kapaciteta mreže.

Razlikujemo:

- *Mreže bez rezervacije kapaciteta* – pravednost teži za dodjelom jednakog dijela prijenosnog kapaciteta mreže svakom korisniku.
- *Mreže s rezervacijom kapaciteta* – prednost se daje korisniku koji je prvi zatražio uslugu, a ako mreža nije u stanju ispuniti uslugu, zahtjev se odbacuje.

## 10.2. Modeliranje sustavima s posluživanjem:

- motivacija
- definirati propusnost i snagu mreže
- prikazati karakteristike M/M/1 sustava
- prikazati karakteristike D/D/1 sustava

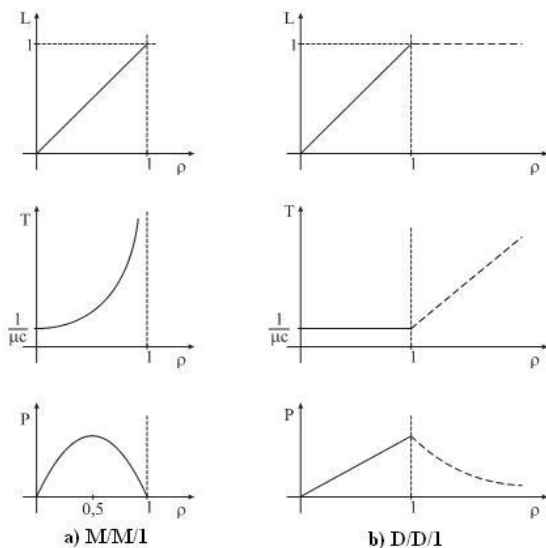
**Motivacija** je održati broj paketa u redu takvim da kašnjenje bude optimalno, a iskorištenje mreže visoko. Za analizu najčešće koristimo Markovljev (M/M/1) ili generalan (G/G/1) model. Značajan je D/D/1 (determinirani) model kao slučaj generalnog. Zbog velike varijance, M/M/1 model može poslužiti kao "najgori slučaj". D/D/1 je u praksi primjenjiv za model posluživanja kod ATM mreža (konstantna duljina čelije).

**Propusnost mreže ( $L$ )** je broj paketa u jedinci vremena  $L \approx \frac{W}{RTT} \approx \frac{W}{T}$ . To je

zapravo efektivna brzina veze. Kod kontrole toka mehanizmom kontrole prozora, predajnik šalje onoliko paketa koliko mu dozvoljava širina prozora ( $W$ ), a potvrdu za neki paket će primiti tek nakon vremena obilaska ( $RTT$ ).

**Snaga mreže** se definira kao omjer propusnosti i vremena kašnjenja  $P \approx \frac{L}{T} \approx b \cdot s^2 \cdot \frac{1}{T} ./$

Optimalna radna točka se nalazi kao maksimum snage mreže.



Optimalna radna točka za M/M/1 model je prosječnoj duljini reda od jednog paketa, uz iskorištenje mreže od 50%, a optimalna radna točka za D/D/1 model je pri opterećenju mreže od 100%.

### 10.3. Funkcije čvorišta i terminala mreže:

- algoritmi posluživanja
- FIFO, RED, FQ
- razlučivanje tokova
- funkcije izvorišta i odredišta

Čvorišta primaju pakete s dolaznih i usmjeravaju ih prema odlaznim kanalima i pri tome pakete spremaju u redove čekanja za odlazne kanale. Paketi se iz reda čekanja na kanal šalju prema **algoritmima posluživanja** koji trebaju osigurati kvalitetu posluživanja, te razdvajati tokove pojedinih korisnika.

#### Razlikujemo:

- **FIFO** – poslužuje korisnika čiji je zahtjev prvi pristigao, a u slučaju popunjenosti odbacuje paket koji je posljednji stigao.
- **RED (Random Early Detection)** – zasniva se na pretpostavci da korisnik koji šalje više paketa od optimalnog ima više paketa u redu, pa je vjerojatnost odbacivanja njegovih paketa veća. To je stohastički algoritam i najviše se koristi.
- **FQ (Fair Queuing)** – vodi računa o svim tokovima podataka, te na osnovu tih podataka odlučuje se o redoslijedu posluživanja.

Tok podataka je niz PDU-a koje čvorište smatra jednom cjelinom. **Razlučivanje tokova** ovisi o rezoluciji čvorišta. Rezolucija čvorišta je sposobnost čvorišta da ukupni tok podataka, kroz neki kanal, dijeli (finije, ili grublje) na individualne tokove. **Rezolucije:** *niska* – razlikujemo izvorišnu i odredišnu podmrežu; *srednja* – razlikujemo parove terminala; *visoka* – identificiramo parove korisničkih procesa.

**Izvorište** prima podatke s nadre ene razine, segmentacijom formira pakete, te donosi odluku o trenutku slanja tih paketa. Obavlja algoritme kontrole toka donoseći odluku o brzini slanja paketa i širini prozora.

**Odredište** prima pakete i šalje potvrde kao odvojene kratke pakete. Tako er donosi odluku o trenutku slanja potvrde i pomaku gornje granice prijemnog prozora radi izbjegavanja segmentacije korisnikovih podataka na male pakete.



## 10.4. Detekcija zagušenja:

- zagušenje kod paketnih mreža
- detekcija zagušenja u čvorištima
- rad predajnika

**Posljedica zagušenja kod paketnih mreža** je gomilanje paketa u memoriji čvorišta. Zbog toga raste kašnjenje na mreži, te nakon popune memorije dolazi do gubitka paketa.

**Detekcija zagušenja u čvorištima:** -čvorišta raspolažu s podacima o trenutnoj duljini redova na izlaznim kanalima, vremenu kašnjenja pojedinih paketa, te o učestalosti gubitka paketa zbog popunjenosti redova čekanja. Na osnovu toga dojavljuju izvoru da je došlo do zagušenja. Čvorište može, unaprijednim selektivnim ili slučajnim odbacivanjem paketa potencirati zagušenje i time ostvariti funkciju kontrole toka mrežne razine.

**Rad predajnika:** -predajnici pojavu zagušenja mogu detektirati eksplicitno (dojavom čvorišta) ili implicitno (mjeranjem parametara prijenosa). Nakon detekcije zagušenja predajnik mora smanjiti brzinu predaje koristeći algoritme predajnika.

## 10.5. Dojava zagušenja:

- eksplicitna dojava
- implicitna dojava
- mjerenje RTT i W
- problem fluktuacije i reda veličine
- algoritam eksponencijalnog usrednjavanja

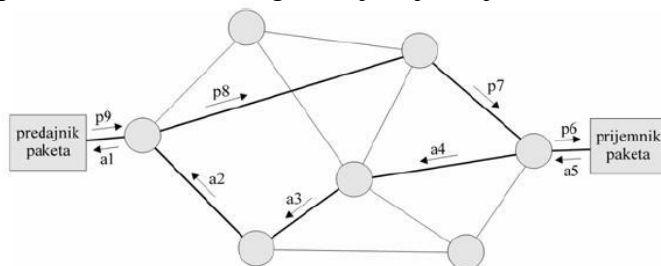
Algoritam može detektirati zagušenje na dva načina:

**Eksplicitnom dojavom** – čvorovi nakon detekcije mogućeg zagušenja koriste rezervirana polja u zaglavlju PDU-a ili posebne PDU-e za dojavu zagušenja izvoru.

Mehanizmi eksplicitne dojave zagušenja su:

- *povratno korištenje kontrolnih poruka* – ne koristi se često jer kontrolne poruke doprinose zagušenju.
- *povratni indikatori* – bitovi u zaglavlju PDU-a suprotnog smjera koje čvorište postavlja u 1 kada otkrije zagušenje. Kada predajnik primi indikator smanjiva brzinu na pola.
- *unaprijedni indikatori* – koriste se paketi koji putuju prema odredištu.

**Implicitnom dojavom** – predajnik mjeri kašnjenje potvrde (RTT), širinu prozora (W), učestalost gubitka paketa i na osnovu toga zaključuje da je došlo do zagušenja.





**Mjerenje RTT i W:** -predajnik šalje na mrežu prozor paketa, koji se rasporede po stazi. Paketi stižu do prijemnika, koji odmah, ili s malim zakašnjenjem šalju potvrde. Kad primi potvrdu  $a_j$  predajnik zna da je paket izašao iz mreže, te da smije poslati sljedeći paket  $p_k$ . Pri tome predajnik izmjeri trenutni prozor

$$W = k - p_k - j - a_j.$$

U trenutku prijema potvrde predajnik izračuna i vrijeme obilaska iz poznatih trenutaka predaje paketa i prijama njegove potvrde  $T = t - a_j - t - p_j$ .

**Problem fluktuacije:** -kod eksplicitnih i implicitnih metoda dojava zagušenja pojavljuje se problem trenutnih promjena mjernih veličina (u vremenu kraćem od vremena kašnjenja na mreži). Zbog toga moramo trenutno mjerene vrijednosti filtrirati. Fluktuacije su kraće od vremena kašnjenja na mreži (trenutno zagušenje).

**Algoritam eksponencijalnog usrednjavanja** je najčešće korišten algoritam filtriranja.

$$x(n) = 1 - \alpha \cdot x(n) + \alpha \cdot m(n); \quad m(n) - \text{trenutna}$$

izmjerena vrijednost,  $x(n)$  - stara vrijednost,  $x(n+1)$  - sljedeća vrijednost

## 10.6. Algoritmi predajnika:

- strategija kontrole toka
- prozorska kontrola toka i karakteristike
- kontrola brzine i karakteristike

**Strategija kontrole toka:** -nakon dojava zagušenja, predajnik treba uskladiti brzinu predaje. Postupak usklađivanja (kontrole) brzine predaje nazivamo algoritmom predajnika. Kod eksplicitne ili implicitne dojava zagušenja korekcija brzine se odvija na osnovu ugrađenih algoritama predajnika. Optimalan algoritam predajnika je onaj koji koristi aditivan porast brzine kod podopterećene mreže i multiplikativno smanjenje brzine kod pojave zagušenja.

Postoje dvije grupe mehanizama kontrole toka predajnika:

**Prozorska kontrola:** -zasniva se na ograničenju broja paketa (ili ćelija) u mreži. Najveći dozvoljeni prozor ima vrijednost slobodnog dijela memorije prijemnika. Prozorska kontrola se koristi kada je kapacitet kojim se upravlja ograničen količinom memorije u čvorištima. Prozorska kontrola efikasno nadzire broj paketa u mreži. Mana je u tome što efikasno ne nadzire ulazni promet, pa izvorišta često generiraju praskove podataka.

**Kontrola brzine predaje:** -zasniva se na mijenjanju perioda emitiranja paketa. Predajnik smanjuje brzinu predaje radi izbjegavanja zagušenja. Prednost metode je u izbjegavanju praskova paketa, a mana je što ne ograničava broj paketa u mreži.

Teži se ujedinjavanju ovih mehanizama kontrole tako da bi kontrola brzine predaje sprječavala praskove paketa, dok bi prozorska kontrola kontrolirala broj paketa u mreži.

# 11. SUČELJE DTE-DCE:

## 11.1. Fizička razina:

- uloga fizičke razine
- što se specificira
- jedinice informacije

**Fizička razina** definira sučelje izme u računala i medija kojeg koristimo za prijenos.

**Specificiraju se** električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike kabela, konektora i signala kako bismo ure aj (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).

### **Mehaničke karakteristike sučelja i standardi:**

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.

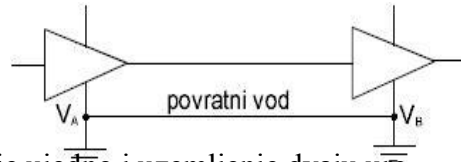
## **11.3. Električne karakteristike sučelja:**

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

### **Nebalansirano povezivanje i standard:**

DTE i DCE se, prema standardu V.28, povezuju nebalansiranim (nesimetričnim) signalom. S jedne strane imamo predajna, a s druge prijemna pojačala.

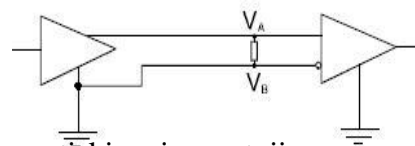
Referentna točka je zajednički povratni vod, koji je ujedno i uzemljenje dvaju uređaja.



### **Polubalansirano povezivanje i standard:**

Kod V.10 (RS 423) koristi se polubalansirano (polusimetrično) povezivanje kod kojeg je prijemnik simetričan, a predajnik nesimetričan. Prijemnik mjeri razliku potencijala izme u

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

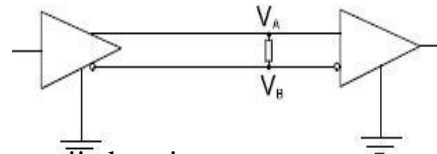


### **Balansirano povezivanje i standard:**

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

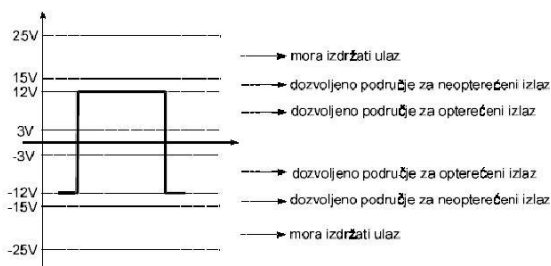
Prijemnik i predajnik su simetrični. Kod predajnika je jedan izlaz nenegiran, a drugi negiran.  $V_A - V_B = V$

Prijemnik mjeri razliku dvaju signala umjesto apsolutne vrijednosti prema uzemljenju, što je povoljno u slučaju smetnji i preslušavanja.

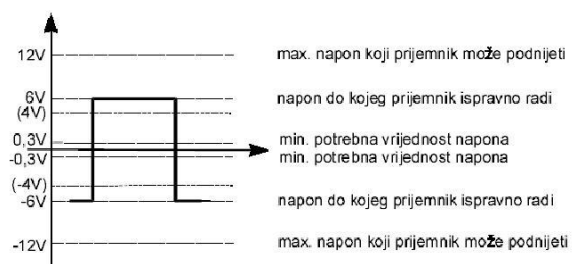


### **V.11 i V.10 su identični po električnim karakteristikama:**

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

### Osnovno povezivanje po RS232/V.24:

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

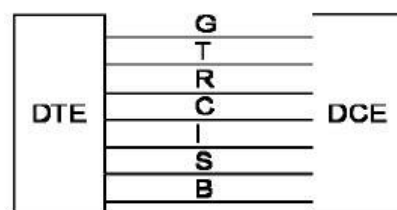
Priključci A i B prenose podatke

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 me usustav ne koristi.



### Povezivanje po X.24:

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

### Primjena kontrole toka na sučelju DTE-DCE:

Na fizičkoj razini kontrolu toka obavljamo na sučelju DTE-DCE. Kontrola toka se odvija izme u dva neposredno povezana fizička ure aja. Brzina prijenosa se uskla uje asinkrono, na principu "uključiti – isključiti". Kada 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 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 izme u DTE i DCE, a 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

**Karakteristike telefonskog kanala, uloga modema:** -računala šalju podatke u obliku niza impulsa. Takav signal nije moguće neposredno prenijeti telefonskim kanalom koji propušta frekvencije izme u 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 odreivanju 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).
- Kvadratura amplitudna modulacija QAM – 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 i odzivni način rada:**

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).

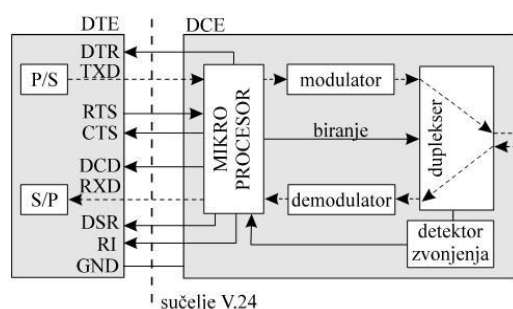
## 12.2. Inteligentni modemi:

- 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.

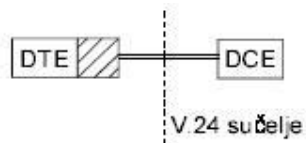
### ***Blok shema inteligentnog modema:***



### ***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:

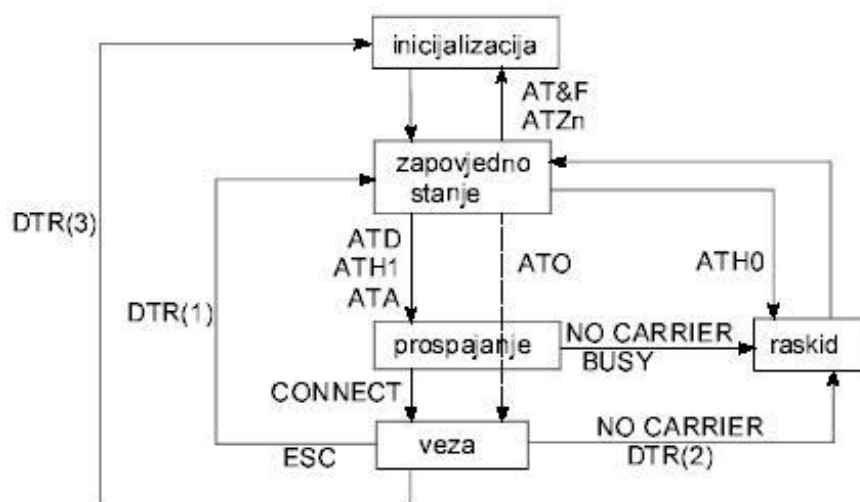
- koncept upravljanja inteligentnim modemom
- dijagram stanja modema
- upravljanje modemom
- osnovne naredbe AT jezika

### **Koncept upravljanja inteligentnim modemom:**

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.

### **Dijagram stanja modema:**



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).

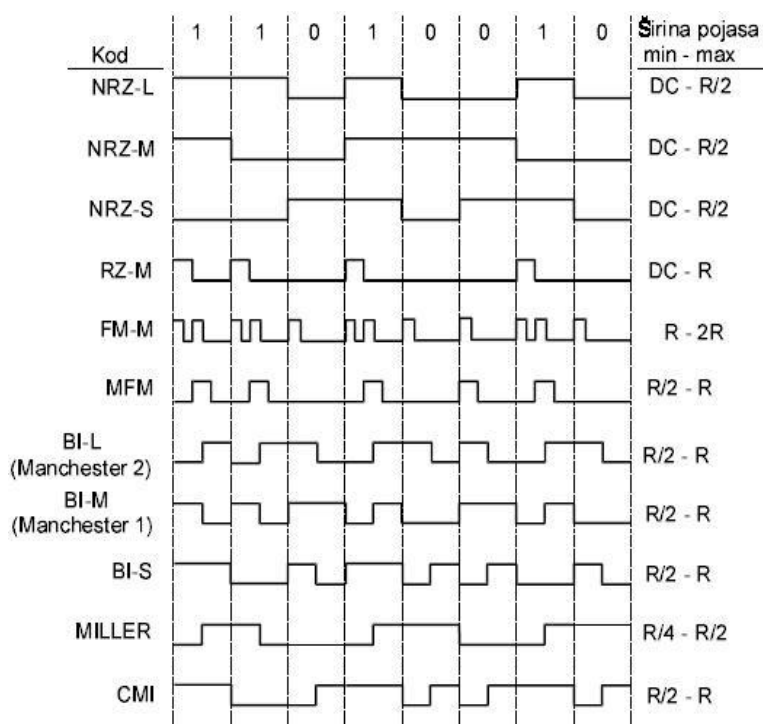


## 12.4. Signalni kodovi:

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

**Namjena signalnih kodova:** -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 takti 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 izme u 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.

### ***Strukturno kabliranje:***

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 prespojnim 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 (širokopolasni mreže koje koriste tehnologiju kablarske televizije).

## 13.2. Lokalna mreža Ethernet općenito:

- svojstva i razvoj Etherneteta
- pregled standarda Etherneteta
- 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 Etherneteta 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, a to je 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.

Premosnicima - 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 (zvjezdštima)*** – 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 premosnik pristupa segmentu (kao i svaki drugi uređaj na mreži). Segment spojen premosnikom za sebe čini domenu kolizije. Budući da premosnik prosljeđuje okvire s univerzalnom adresom svi segmenti povezani premosnikom 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 je „debeli“ koaksijalni kabel ) – računala se na kabel povezuju preko MAU (Media Attachment Unit).
- 10Base-2 (medij je „tanki“ koaksijalni kabel) – MAU je na istom modulu sa DCE.
- 10Base-T (medij je 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 je 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:

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

### ***Osnove projektiranja:***

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  $\mu$ s.

Kod složenih mreža s prospojnicima način rada prenosnika ili prospojnika dijeli mrežu na više zona kolizije, te tako omogućava efikasno prekrivanje većeg prostora. Kašnjenje izme u 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 Etherneta (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 izme u dva prospojnika (premosnika) se ne smatraju zonom kolizije i njihova maksimalna duljina ovisi o vrsti medija.

## 13.6. Tehnička svojstva 1000Mb/s Etherneta:

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

### **Standardi:**

- 802.3z: – kodiraju podatke 8b/10b kodom (kodna riječ duljine 8b se zamjenjuje kodnom riječi duljine 10b).
  - 1.) 1000Base-CX.
  - 2.) 1000Base-LX i SX. SX koristi višemodno optičko vlakno, a LX jednomodno i višemodno optičko vlakno.
- 802.3 ab:
  - 1.) 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 me u okvirima). Kod jednospojnih medija izme u dvaju ure aja s prospajanjem, ili izme u 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 predviđena 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 bežičnom 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 me u stanicama nije obavezna, dovoljna je čujnost izme u AP i svake stanice. Kod FHSS procedura se mora završiti unutar jednog skoka frekvencije.



# 15. DIGITALNE PRETPLATNIČKE MREŽE

## 15.1. Uskopojasni ISDN:

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

### **Pregled pretplatničkih mreža:**

Pretplatničke mreže povezuju korisnike javnih mreža s najbližim čvorištem javne mreže. Pretplatničke mreže su izgranene korištenjem bakrenih parica niske kvalitete, prilagone su prijenosu niskofrekvencijskog govornog signala.

- Tehnologije digitalnih pretplatničkih mreža
  - za uskopojasne ISDN mreže : specificirano je osnovno sučelje (BRI) za male korisnike i primarno sučelje (PRI) za srednje korisnike
  - širokopojasne B-ISDN mreže se zasnivaju na ATM tehnologiji
  - danas se masovno koristi ADSL
  - očekuje se izgradnja optičkih gradskih mreža, korištenje tehnologije Etherneta

### **Namjena i razvoj ISDN:**

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) tako da s komutacijom kanala varijabilnog kapaciteta  $N \cdot 64$  kb/s. Taj koncept je bio neefikasan, pa se ubrzo napustio.

### **Osnovni kanali:**

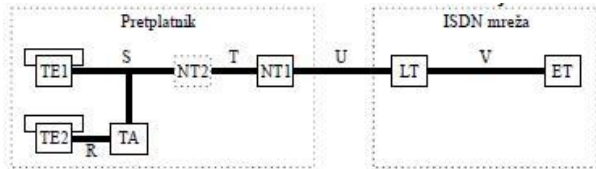
Osim osnovnog B kanala kapaciteta 64 kb/s, koristi se signalizacijski D kanal kapaciteta 16 kb/s i različiti H kanali (H0 384 kb/s, H12 (30B) ).

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

- Osnovni BRI (Basic Rate Interface) – raspolaže 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 raspolažu čvornom opremom za prijenos podataka velikog kapaciteta (npr. ATM prospojnice). 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.
- ISDN (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 ure aji automatski prilago avaju 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 nadogra uje STM (Synchronous Transfer Mode) način prijenosa koji simulira PCM sustave, te ATM. ATM tehnologija predvi a izgradnju homogene globalne mreže, te dovo enje ATM priključka do svakog korisničkog terminala.

#### ***Standardizacija ATM priključaka:***

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

## 15.5. Gradske mreže - MAN

- problemi razvoja gradskih mreža
- optičke tehnologije gradskih mreža
- bežične tehnologije gradskih mreža
- Metro Ethernet

### Problemi razvoja gradskih mreža:

**privatni korisnici:** žele minimizirati troškove, svoje interese ostvaruju kroz lokalnu zajednicu, se pitanje vlasništva nad infrastrukturom

**telekomunikacijska kompanija:** optimizira svoj profit, daje prednost svojim servisima

**lokalna zajednica:** želi upravljati mrežom, osigurati infrastrukturu kao preduvjet razvoja

**država:** regulira zakonima i pravilnicima, potiče razlaganje sustava na operatore infrastructure, pružatelja usluga

### optičke tehnologije gradskih mreža:

FTTH – home, neprekinuto vlakno do svakog korisnika

- FTTB – building, vlakno do ormara u zgradi, grananje
- FTTC – curb, vlakno do zajedničkog ormara kvarta, grananje
- FTTN – node, vlakno do zajedničkog ormara kvarta, grananje

*načini grananja:*

- pasivni (PON –passive optical network)
  - optički spreznici, zona kolizije
- aktivni – sadrži aktivne prospojne urenanje
  - ponaša se kao prospojeni Ethernet

### bežične tehnologije gradskih mreža:

#### WiMax

- bežična zamjena za ADSL i kabelski pristup
- standardizira IEEE 802.16
- 2 to 66 GHz
- OFDM, 40 Mb/s => 1Gb/s
- stablata i samoorganizirajuća topologija
- mobilni i stacionarni korisnici

#### Metro Ethernet:

MAN zasnovan na Ethernet standardu (IEEE 802.11)

- koristi postojeće Ethernet standarde
- uvodi tehniku dvostrukog označivanja
- VLAN unutar VLAN-a
- za povezivanje udaljenih lokacija istog vlasnika
- podržava bežični pristup (WiMAN)
- veza prema glavnoj mreži (WAN) – sve tehnologije

# 16. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGREŠKI

## 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

### **funkcionalnost podatkovne razine:**

Podatkovna razina obavlja poslove potrebne za prijenos korisnikovih podataka između dva čvora i neposredno povezana fizičkim kanalom

Dijelimo je na podrazinu 2.1 i podrazinu 2.2

#### **• Funkcije podrazine 2.1:**

- sastavljanje i rastavljanje okvira ili bloka (PDU);
- sinkronizacija po PDU i po oktetu;
- detekcija pogreške i odbacivanje neispravnog okvira

#### **• Funkcije podrazine 2.2:**

- kontrola toka zbog usklađivanja brzine prijenosa između prijemnika i predajnika;
- kontrola pogreški u smislu retransmisije, ovisno da li je protokol spojevni ili bespojevni

### **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:**

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

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

- Vertikalna zaštita VRC
- Dužinska zaštita LRC
- 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

### *Sistematizacija:*

- 1) po načinu dodavanja redundancije na systemske/nesystemske
- 2) po načinu izračunavanja redundantnih bita na blok/konvolucijske kodove
- 3) po algebarskim operacijama

### *Podjela po načinu dodavanja redundancije:*

- Sistematski kodovi – originalnoj poruci se dodaju redundantni bitovi.
- Nesistematski kodovi – neki općeniti kodovi.

### *Podjela po načinu izračuna redundantnih bita:*

- 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.
- 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 koda
- 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  $c$  nastaje tako da na originalnu kompleksiju  $d$  djelujemo

generator matricom  $G$ :  $c = d \cdot G$

$c$  – kodna kompleksija koja ima  $n$  bita, iz skupa  $2^k$  ispravnih  $n$ -torki  $d$  – originalna kompleksija koja ima  $k$  bita  
 $G$  – generirajuća matrica veličine  $k \times n$

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

**Vrijedi:**  $c_{1,j} = d_{1,1} \cdot p_{1,j} + \dots + d_{1,k} \cdot p_{1,k}$ .

Za svaki  $c_{1,j}$  imamo posebnu formulu koje čine sustav jednačbi koji koristimo za izračunavanje vektora  $c$  – sustav jednačbi kodera. Pojedini bit vektora  $c$  nastao je sumacijom onih bitova vektora  $d$  za koje je bit stupca matrice  $G$  jednak jedinici.

**Svojstva matrice  $P$ :**

- Ne smije imati dva ista stupca
- Ne smije imati dva jednaka retka
- Ni jedan stupac ne smije sadržavati same nule
- Ni jedan redak ne smije sadržavati same nule
- Za detekciju  $n$ -terostrukih pogreški, 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 sindroma

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

$$[P^T \ I]^T; H^T = [P/I]^T$$

Svojstvo matrice  $H^T$ :  $G \cdot H^T = 0$

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

$$\begin{aligned} \forall c' \cdot H^T = 0 &\Rightarrow c' \in C \\ \forall c' \cdot H^T \neq 0 &\Rightarrow c' \notin C \end{aligned}$$

Množenjem općenitog vektora  $c$  sa  $H^T$  dobijemo sustav jednačbi koje nazivamo jednačbe dekodera.

Sindrom  $s$  je rezultat paritetnog ispitivanja. Za sindrom vrijedi:  $c' \cdot H^T = s$

Sindrom ovisi o karakteru pogreške  $s = e \cdot H^T$

# 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 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  $c$  možemo zapisati kao polinom:**

$c_{n-1}x^{n-1} \oplus c_{n-2}x^{n-2} \oplus \dots \oplus c_1x^1 \oplus c_0x^0$   
 $x^{n-k}$  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:

$G = [IP]$ .

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

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

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

**Vrijedi:**

$$r_{j-1} \cdot x \oplus r_j \cdot x^k \oplus r_{j+k-1} \cdot x^{k-1} = 1$$

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

Posljednji redak matrice  $G$  je polinom stupnja  $n-k$  i naziva se generirajući polinom  $g(x)$ .

On mora biti divizor od  $x^n \oplus 1$  da bi matrica  $G$  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  $G$  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 dobivenog polinoma  $c(x)$  sa unaprijed poznatim generirajućim polinomom. Ako  $c(x)$  nije djeljiv sa  $g(x)$ , u prijenosu je nastupila pogreška.

**Vrijedi:**

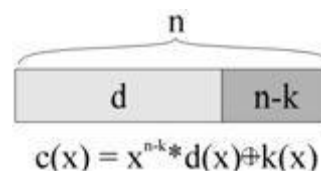
$$c(x) = q(x) * g(x) \oplus r(x) \quad r(x) : g(x)$$

**Slijedi:**

$$\begin{array}{r} c(x) = q(x) * g(x) \oplus r(x) \\ \underline{g(x)} \quad x \oplus \quad \underline{r(x)} \\ g(x) \quad x \end{array}$$

Gdje je  $q(x)$  kvocijent stupnja  $n-k$ , a  $r(x)$  ostatak dijeljenja stupnja manjeg od  $n-k$ .  $r(x) = 0$  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  $g(x)$  :

$$\begin{array}{r} x^{n-k} * d(x) = q(x) * g(x) + r(x) \\ \underline{g(x)} \quad x \oplus \quad \underline{r(x)} \\ g(x) \quad x \end{array}$$

$$* d(x) = q(x) * g(x) \oplus r(x) \quad r(x) : g(x)$$

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

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

$$\begin{array}{|c|c|} \hline d & r \\ \hline \end{array}$$

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

$$\begin{array}{r} r(x) = \text{rem } x^{n-k} d \\ \underline{g(x)} \\ g(x) \end{array}$$

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

$$\begin{array}{r} c'(x) = e(x) \oplus c(x) \\ \underline{g(x)} \quad x \oplus \quad \underline{c(x)} \\ g(x) \quad x \oplus \quad \underline{c(x)} \end{array}$$

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



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

$$rem \frac{x^m}{g(x)} = s(x)$$

Ako je ostatak dijeljenja  $s(x) = 0$ , vektor  $e$  je ili iz skupa ispravnih kompleksija ili je 0. 0 znači da nije bilo pogriješke, a  $e$  iz skupa  $C$  znači da pogriješku nije moguće detektirati.

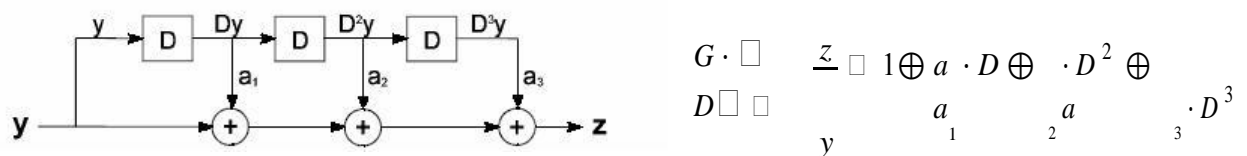
### 17.3. Sklopovlje cikličkih kodova:

- operator kašnjenja
- prijenosna funkcija digitalnog filtra
- digitalni filter s povratnom vezom
- sklop za kodiranje i dekodiranje
- polinomi i primjena cikličkih kodova u praksi

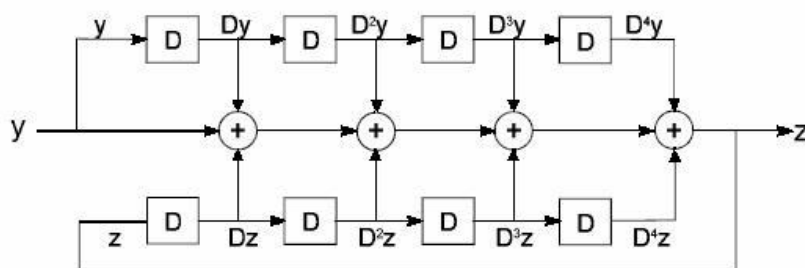
**Kašnjenje** u digitalnoj tehnici možemo realizirati korištenjem D bistabila.

$z = D \cdot y$   $z$  - izlazna varijabla;  $y$  - ulazna varijabla;  $D$  - operator kašnjenja.

**Digitalni filter se realizira pomoću više bistabila:**



**Digitalni filter s povratnom vezom:**



**Kodiranje:**

Na predajnoj strani bistabili se postave 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.

### polinomi i primjena cikličkih kodova u praksi:

CRC (Cyclic Redundancy Check)

– koristi se kod suvremenih protokola

– definirano je više različitih cikličkih kodova ovisno o korištenom generirajućem polinomu

• **CRC-12** je kod za IBM-ova stara računala. Polinom je:

$$x^{12} \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1 = (x \oplus 1)(x^{11} \oplus x^2 \oplus 1)$$

• **CRC-16**, također IBM

$$x^{16} \oplus x^{15} \oplus x^2 \oplus 1 = (x \oplus 1)(x^{15} \oplus x \oplus 1)$$

• **CRC-CCITT** se koristi kod svih bitovno-orijentiranih protokola koji imaju 16-bitnu zaštitu

$$x^{16} \oplus x^{12} \oplus x^5 \oplus 1 = (x \oplus 1)(x^{15} \oplus x^{14} \oplus x^{13} \oplus x^{12} \oplus x^4 \oplus x^3 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1)$$

• **CRC-32** se danas upotrebljava kod lokalnih mreža

$$x^{32} \oplus x^{26} \oplus x^{23} \oplus x^{22} \oplus x^{16} \oplus x^{12} \oplus x^{11} \oplus x^{10} \oplus x^8 \oplus x^7 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^2 \oplus x \oplus 1$$

## 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 izme u 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 (usklađivanje 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, a 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  
*n* znak sa ENQ (Enquiry). Nakon prozivanja sekundarna stanica šalje

*prefix*

*a* negativni odgovor EOT ako nema podataka ili odgovara nizom  
informacijskih okvira.

*k*

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.

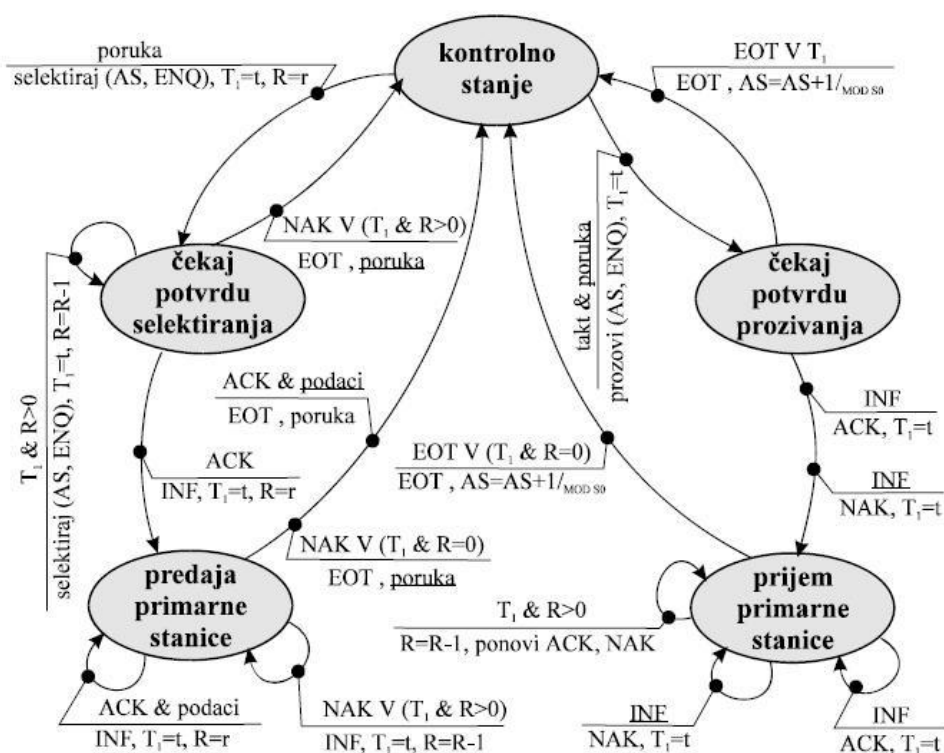
***Problem transparentnosti:*** -kontrolni znakovi se ne smiju pojaviti u korisnikovoj poruci. Uvodi se posebni znak DLE (npr. sa DLE STX više nema značenje “početak teksta”, to je sada korisnikov podatak).

## 18.3. Dijagrami stanja ZO protokola:

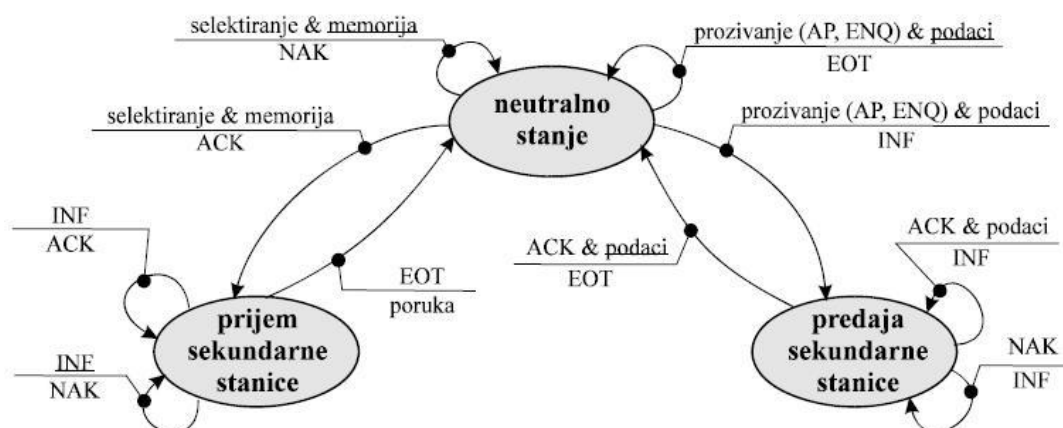
- upotreba okvira-blokova
- dijagram stanja primarne stanice
- dijagram stanja sekundarne stanice

Dijagrami stanja se koriste za formalnu specifikaciju protokola, koristi se model konačnog diskretnog automata

**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):** -standard 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:



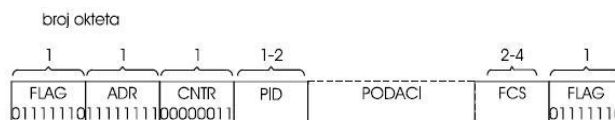
Standardno se koristi dužina SLIP paketa od najmanje 1006 okteta. Mane SLIP-a su nedostatak mehanizma adresiranja, kompresije podataka i identifikacije mrežnog protokola.

## 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 identifikira 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	A	C	I	FCS	F
---	---	---	---	-----	---

**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 prosljeđuje 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

#### **Funkcija i uređaji:**

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

#### **Numeracija, polja i varijable:**

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.

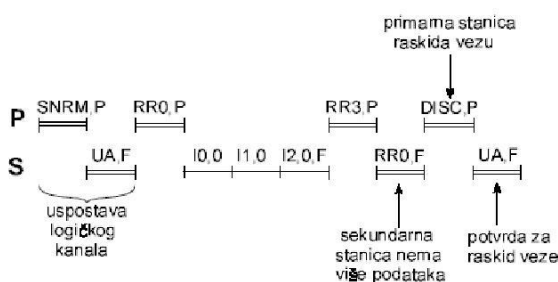
**Kontrolni U-okvir** ima 5 M-bitova, pa imamo 32 različita U okvira.

Po ISO 4335, komande koje šalje primarna stanica:

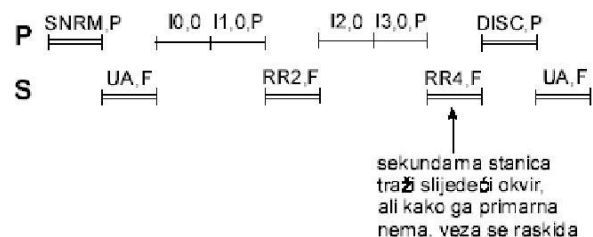
00 001 – SNRM (Set NRM) → podstavi normalni odzivni mod;

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 te nakon određenog vremena primarna stanica shvati da mora ponoviti poziv. Kod smetnje 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 te nakon određenog vremena primarna stanica shvati da mora ponoviti poziv. Kod smetnje na **UA, F** okviru postupak je isti. Pogreška na informacijskom okviru se obavlja retransmisijom P/F mehanizmom te **REJ** ili **SREJ** okvirom.

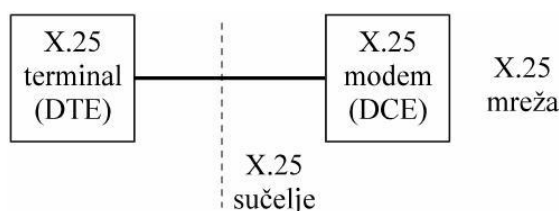
## 20. PRIMJENA BITOVNO ORIJENTIRANIH PROTOKOLA

### 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, a **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
- usluge po LAP-F protokolu

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.

### Usluge po LAP-F protokolu

#### Usluga prijenosa okvira

- koristi samo UI okvir
- osigurava bespojni prijenos podataka korisnika

#### • Usluga prospajanja okvira

- koristi asinkroni balansni način rada s numeracijom PDU i retransmisijom
- osigurava spojevni prijenos podataka korisnika.

	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.



# 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. Od LAN tehnologije najčešće se koristi ETHERNET, a poznate su i TOKEN RING, TOKEN BUS, WLAN (Wireless LAN).

Za lokalne mreže se najčešće koristi standard **IEEE 802.x**, kojim su definirane podrazine:

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

## 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

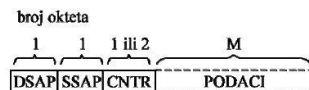
**LLC** je bitovno orijentirani protokol, zajednički za sve 802 lokalne mreže, specificiran je **IEEE 802.2** standardom.

*Pružna mogućnost prijenosa podataka u dvije klase usluga:*

- *I. Klasa omogućuje bespojini prijenos korištenjem UI (Unnumbered Information) okvira.*
- *II. Klasa omogućuje spojevni prijenos. Sadrži klasične okvire HDLC protokola.*

Od svih naredbi u obje klase u praksi se najčešće koristi naredba UI.

**LLC okvir:**



DSAP je adresa odredišne, a SSAP izvorišne priključne točke. **C (kontrolno)** polje određuje vrstu okvira. Za S i I okvire koristi se 16 bitno, a za U okvire 8 bitno C polje.

**Tipovi okvira su:** -S okviri (RR, RNR, REJ) i U okviri.

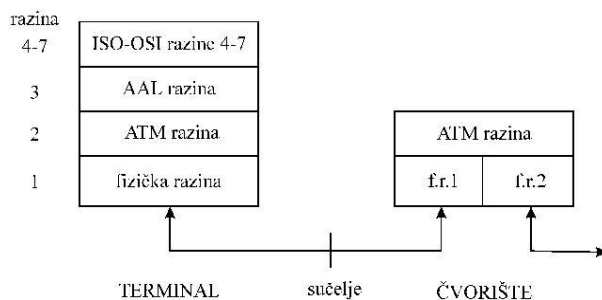
Pomoću DSAP i SSAP se identificiraju korisnici logičkog kanala i te se adrese koriste dinamički u trenutku uspostave veze. Nedostatak koncepta priključnih točaka je u nepostojanju standardne identifikacije mrežnih protokola.

## 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 kod koje se u čvorištima nalaze ATM prospojnici. Kod ATM mreže su definirana dva sučelja UNI (User Network Interface) i NNI (Network Node Interface).

### Referentna ATM arhitektura:



- 1.) Fizička razina omogućava prijenos ćelija različitim medijima
- 2.) ATM razina je odgovorna za uspostavu i raskid virtualnih kanala, te za proslje i vanje ćelija.
- 3.) AAL prilagodna razina ostvaruje vezu između većih jedinica podataka (SDU) i ćelija.

**AAL5 razina** osigurava prijenos podataka bespojnim protokolom. SDU korisnika se nadopunjuje AAL5 CS-SDU dodatkom, te se tako formirani CS-SDU segmentira na ćelije (SAR-PDU).

### Parametri kvalitete usluge:

- CDV (Cell Delay Variation) – varijacija kašnjenja na mreži.
- CTD (Cell Transfer Delay) – prijenosno kašnjenje ćelija.
- CLR (Cell Loss Ratio) – 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)** je skup protokola koji omogućavaju korištenje ATM tehnologije za izgradnju bespojnih lokalnih mreža čija je funkcionalnost usporediva s Ethernet mrežom. Takva lokalna mreža predstavlja domenu prostiranja (broadcast) i može se kao podmreža povezati na Internet. Sastoji se od LANE korisnika, LANE poslužitelja, LANE konfiguracijskog poslužitelja, LAN prospojnika...

Klasični IP/ATM (**CIPOA**, Classical IP over ATM) omogućava prijenos IP paketa preko ATM mreže uz korištenje specifičnog ATMARP (ATM Address Resolution Protocol) sustava. Na ovaj način je moguće koristiti ATM mrežu kao izravnu zamjenu za lokalne mreže.

**NHRP** (Next Hop Resolution Protocol) je modifikacija IPOA na način da se veza najprije ostvari me u usmjernicima (NHS Next Hop Server). Na taj način se dozna ATM adresa odredišnog računala. **MPOA** (Multi Protocol Over ATM) povezuje virtualne podmreže različitih tehnologija ATM virtualnim kanalima.

## 22. LOKALNE MREŽE ETHERNET

### 22.1. Osnovna svojstva MAC podrazine Etherneta:

- osnovna struktura MAC okvira Etherneta
- arhitektura adresiranja Etherneta
- struktura i svojstva MAC adresa

#### MAC okvir:

SY	SFD	DA	SA	LEN	LLC	PAD	FCS
7 okteta	1 oktet	6(2) okteta	6(2) okteta	2 okteta	LEN okteta		4 okteta

SY – uspostava sinkronizacije

SFD – okvirni znak

DA, SA – odredišna i izvorišna adresa

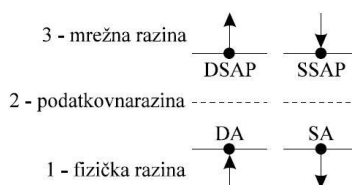
LEN – duljina korisnikove informacije u oktetima

LLC – informacijsko polje koje sadrži korisnikove podatke

PAD – nadopuna okvira na minimalnu duljinu

FCS – polje zaštite

#### Arhitektura adresiranja:



DA i SA su adrese fizičkog uređaja na fizičkom mediju (fizička razina), dok DSAP i SSAP LLC adrese identificiraju korisnika (protokol) na mrežnoj razini. DA i SA mogu biti 48-bitna i 16-bitna adresna polja.

#### 48-bitno adresno polje:

I/G	U/L	46 bitna adresa
-----	-----	-----------------

#### 16-bitno adresno polje:

I/G	15 bitna adresa
-----	-----------------

I/G = 0 – individualna adresa

I/G = 1 – grupna adresa

U/L = 0 – globalno administrirana adresa

U/L = 1 – lokalno administrirana adresa

## 22.2. Problemi standardizacije Etherneta:

- problem minimalne duljine okvira
- problem identifikatora protokola mrežne razine
- primjena Ethernet okvira u praksi

### ***Problem minimalne duljine okvira:***

Zbog kašnjenja informacije i mogućnosti kolizije, predviđeno je da okvir ima minimalnu duljinu da bi se mogao prenijeti. Radi toga se u MAC okviru nalazi dodatni PAD okvir za nadopunu okvira. Ako je dužina okvira manja od minimalne, izmeđ u LLC i FCS se mogu ubaciti dodatni okteti.

### ***Problem identifikatora protokola mrežne razine:***

Okvir za Ethernet je propisan IEEE 802.3 standardom. Problem ovog standarda je u tome što nije adekvatno riješena identifikacija protokola na mrežnoj razini. Da bi se riješio taj problem, definirane su nove vrste okvira. Danas se u praksi na Ethernet mrežama koriste ukupno 4 različita okvira: Ethernet II, 802.3, 802.2 LLC, SNAP.

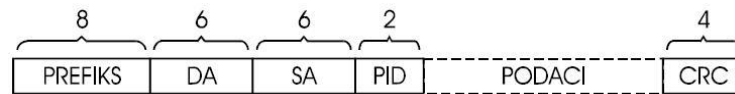
### ***Primjena Ethernet okvira u praksi:***

Danas se lokalnim ETHERNET mrežama mogu se naći sva 4 okvira. Zbog toga se na podatkovnoj razini koristi sustav za multipleksiranje koji će prepoznati vrstu okvira i uputiti je 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

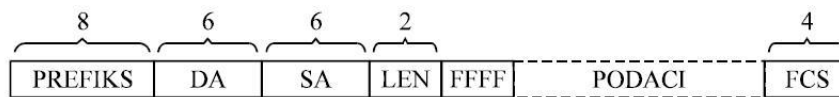
### *Ethernet II okvir:*



Osnovna razlika je u odnosu na 802.3 okvir je u tome što Ethernet okvir ima PID polje za identifikaciju protokola mrežne razine

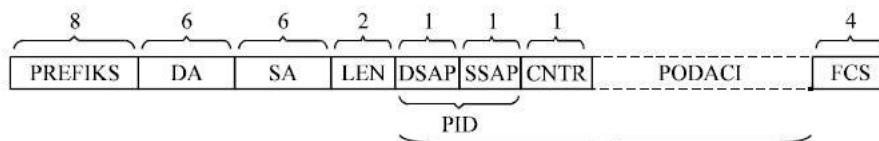
Polje podaci sadrži kao SDU paket mrežne razine, Ethernet II pruža uslugu bespojnog prijenosa lokalnom mrežom.

### *802.3 okvir:*



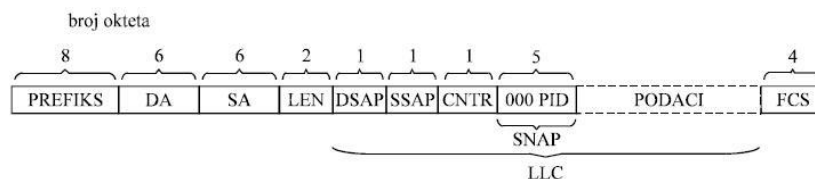
Polje PID zamijenjeno je poljem LEN, a umjesto DSAP i SSAP se umeće 0xFFFF iza LEN polja

### *802.2 LLC okvir:*



Pokušava se iskoristiti originalna specifikacija 802.3 sa uključenim LLC okvirom. Polja SSAP i DSAP zajedno služe kao identifikator protokola mrežne razine - PID. Problem ovog okvira je u tome što DSAP i SSAP imaju fiksne vrijednosti.

### *802.2 SNAP okvir:*



Zajednički je za sve vrste lokalnih mreža, zadovoljava sve standarde.

## 23. BEŽIČNE LOKALNE MREŽE

### 23.1. Osnovna svojstva MAC podrazine WLAN

- osnovna arhitektura WLAN
- osnovna struktura okvira
- PLCP protokol
- koncept prilagodbavanja brzine

*Osnovna arhitektura WLAN-a:*

802.2			Podatkovna razina
802.11MAC			
FH	DS	IR	Fizička razina

#### Osnovna struktura okvira

Prijenos podataka prenosi se korištenjem tri vrste okvira: podatkovnih, nadzornih i upravljačkih.

Početni	PLCP	MAC	PODACI	CRC
niz	zaglavlje	zaglavlje		

Početni niz se sastoji od sinkronizacijske sekvence i okvirnog znaka.

PLCP – određuje duljinu okvira i brzinu emitiranja.

MAC – određuje vrstu okvira, adrese odredišta i izvorišta i relejne stanice, smjer, fragmentaciju, zaštita.

PODACI – korisnikovi podaci.

CRC – 32-bitna ciklička zaštita čitavog okvira.

#### PLCP protokol (Physical Layer Convergence Protocol)

- omogućuje kompatibilnost s prethodnim standardima
- određuje duljinu okvira i
- brzinu emitiranja
- zaštićeno je 16 bitnom CRC zaštitom

#### 802.11 b PLCP

##### – dugački početni niz

- SYN 128 bita i SFD 16 bita (svega 144 bita)
- PLCP zaglavlje 48 bita
- sve se emitira 1 Mb/s DBPSK modulacijom

##### – kratki početni niz

SYN 56 bita i SFD 16 bita (svega 72 bita)

- emitira se 1 Mb/s DBPSK modulacijom
- PLCP zaglavlje 48 bita emitira se 2 Mb/s DQPSK modulacijom

802.11 g PLCP

- **dugački ili kratki početni niz**
- održava kompatibilnost sa b standardom
- standardno PLCP zaglavlje

802.11 n PLCP

- **samostalni (greenfield) rad**
- nema kompatibilnosti sa b standardom
- koristi vlastiti OFDM format PLCP
- slično kao g, samo bez PLCP zaglavlja

**koncept prilagodbavanja brzine: NEMAN POJMA!!**

## 23.2. MAC okvir WLAN

- struktura MAC okvira WLAN
- fragmentacija i ulančavanje
- upravljački, nadzorni i podatkovni okviri

**Struktura MAC okvira WLAN:**

Prijenos podataka prenosi se korištenjem tri vrste okvira: podatkovnih, nadzornih i upravljačkih.

Početni niz	PLCP zaglavlje	MAC zaglavlje	PODACI	CRC
-------------	----------------	---------------	--------	-----

Početni niz se sastoji od sinkronizacijske sekvence i okvirnog znaka.

PLCP – određuje duljinu okvira i brzinu emitiranja.

MAC – određuje vrstu okvira, adrese odredišta izvorišta i relejne stanice, smjer, fragmentaciju, zaštitu.

PODACI – korisnikovi podaci.

CRC – 32-bitna ciklička zaštita čitavog okvira.

Radio prijenos je izložen smetnjama, pa se očekuje visoka učestalost pogreški. Zbog toga je optimalno slati okvire manje duljine, pa se koristi **fragmentacija**. MSDU (informacijsko polje) se fragmentira na dijelove optimalne duljine.

Nakon toga zbog niskih iskoristivosti modulacije, dolazi do **ulančavanja** više PDU. Time se virtualno povećava PDU.

dva načina ulančavanja: A-MPDU(kompletni MPDU) i A-MPSU(Ethernet okviri)

**upravljački, nadzorni i podatkovni okviri:**

**Upravljački:** koriste se za pridruživanje na BSS, ima ih 12

**Nadzorni:** koriste se za nadzor prijenosa podataka, ima ih 6

**Podatkovni:** koriste se za prijenos podataka, ima ih 8

## 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. Problemi ovog sloja su adresiranje i usmjeravanje. To se nastoji riješiti na način optimalan za korisnika (da podaci stižu sa minimalnim kašnjenjem i s najvećom mogućom točnošću) i za mrežu (da se izbjegne zagušenje i da se maksimalno iskoristi mreža). Na mrežnoj razini nalazimo spojevne ili bespojne protokole.

Internet koristi zasebno proslje ivanje i bespojni protokol, dok X.25 paketna mreža koristi proslje ivanje virtualnim kanalom i spojevni protokol. ATM s AAL5 koristi proslje ivanje virtualnim kanalom i bespojni protokol.

Na mrežnoj razini treba koristiti prozorsku kontrolu, kontrolu brzine ili kombinaciju za kontrolu toka. X.25 koristi neposrednu kontrolu toka dok IP ne predvi a kontrolu toka koja se obavlja na prijenosnoj razini (TCP).

### 24.2. Deterministički algoritmi usmjeravanja:

- teorijske i praktične mogućnosti usmjeravanja, proslje ivanje
- pregled determinističkih algoritama usmjeravanja
- pregled stohastičkih algoritama usmjeravanja

**Usmjeravanje prometa** je postupak otkrivanja optimalnog puta izme u izvorišta i odredišta toka podataka.

**Proslje ivanje paketa** odnosno odre ivanje virtualnog kanala obavlja se prema tablicama usmjeravanja koje se izračunavaju korištenjem algoritama usmjeravanja. Kod determinističkih algoritama usmjeravanja odluku o usmjeravanju donosimo pomoću nekih čvrstih pravila. Svrha ovih algoritama je da mreža bude optimalno iskorištena, da se maksimalno iskoristi kapacitet te da se korisniku pruži odre ena kvaliteta usluge.

**Deterministički algoritmi usmjeravanja su:**

- 1.) Algoritam poplave – primljeni paket šaljemo na sve kanale, osim na onaj s kojeg je došao.
- 2.) Algoritam stalnog usmjeravanja – za svaki par odredišta i izvorišta postoje unaprijed odre eni putovi tako da na osnovu adresa možemo znati kojim je putem paket došao te unaprijed znamo kamo treba krenuti.
- 3.) Algoritam razdvojenog prometa – promet se šalje po više kanala prema istom odredištu, s tim da se odredi koji će postotak ići kojim kanalom.
- 4.) Algoritam idealnog opažača – pretpostavlja se da svako čvorište u trenutku usmjeravanja ima sve informacije o stanju mreže, ali čvorišta zapravo imaju samo djelomičnu informaciju o stanju mreže.

**Stohastički algoritmi usmjeravanja su:**

- 1.) Usmjeravanje nasumce – čvorište koje dobije paket otprilike zna odakle je paket došao i neće ga vratiti natrag nego ga pošalje nasumce u smjeru odredišta.
- 2.) Algoritam izoliranog usmjeravanja – pojedini čvor nema informaciju o stanju na mreži već na osnovu opterećenja na izlaznim kanalima donosi odluku o usmjeravanju.
- 3.) Algoritam raspodijeljenog prometa – povezuje algoritam razdvojenog prometa (deterministički) i algoritam izoliranog usmjeravanja tako da sada imamo točnu informaciju o strukturi mreže, te od mogućih putova prema lokalnoj procjeni biramo optimalan put.



## 24.3. Algoritmi izbora smjera

- teorija grafova
- algoritam Bellman-Ford
- algoritam Dijkstra

graf je ureneni par  $G = (V, E)$

- $V$  (Vertices) = čvorovi
- $E$  (Edges) = grane, mogu biti neusmjerene i usmjerene
- matrica susjedstva 1: grana postoji, 0: ne postoji

– težinski graf – u matricu susjedstva upisane su težine

traži se staza između čvorova  $i, j$  obzirom na metriku

- najmanje duljine - koristi se matrica susjedstva
- najmanje težine ili cijene - koristi se matrica težina

– na temelju teorije grafova izračunavanju optimalne staze

### Algoritam Bellman Ford

procedura BellmanFord(čvorovi  $V$ , grane  $E$ , težine  $W$ , korijen  $r \in V$ )

za svaki  $v$ : //inicijalizacija

ako je  $v = r$ : tada je:  $udaljenost[v] = 0$ ; //udaljenost od korijena

inače:  $udaljenost[v] = \infty$ ; //inicijalno nedostupno

$prednik[v] = \text{nedefiniran}$ ;

odradi  $|V|$  puta: //sigurno konvergira u  $|V|$  koraka

za svaki  $e(u, v)$ : // PO SVIM GRANAMA

ako je  $(w(u, v) > 0 \text{ i } w(u, v) < \infty)$ : // ako grana  $e(u, v)$  postoji

ako je  $udaljenost[u] + w(u, v) < udaljenost[v]$ :

tada je:  $udaljenost[v] = udaljenost[u] + w$ ;  $prednik[v] = u$  //relaksacija

za svaki  $e(u, v)$ : // provjera petlji negativne težine

ako je  $(w(u, v) > 0 \text{ i } w(u, v) < \infty)$ :

ako je  $udaljenost[u] + w(u, v) < udaljenost[v]$ :

pogrješka: "Graf sadrži petlje s negativnom težinom"

### Algoritam Dijkstra

procedura Dijkstra(čvorovi  $V$ , grane  $E$ , težine  $W$ , korijen  $r \in V$ )

za svaki  $v$ :  $prednik[v] = \text{nedefiniran}$ ; //inicijalizacija ista kao BF

ako je  $v = r$ : tada je:  $udaljenost[v] = 0$ ; inače:  $udaljenost[v] := \infty$ ;

$Q = V$ ;  $q = r$ ; //Q=lista neobranjenih čvorova, q=izabrani čvor, počinjemo s korijenom

dok je  $|Q| > 0$ : // PO SVIM ČVOROVIMA - dok ima neobranjenih čvorova

za svaki  $e(q, v)$ : // po svim čvorovima koji su susjedni s izabranim čvorom  $q$

ako je  $(w(u, v) > 0 \text{ i } w(u, v) < \infty)$ : // ako grana  $e(u, v)$  postoji

ako je  $udaljenost[u] + w(u, v) < udaljenost[v]$ :

tada je:  $udaljenost[v] = udaljenost[u] + w$ ;  $prednik[v] = u$  //relaksacija

izbriši  $q$  iz  $Q$ ;

izaberi  $\min(udaljenost(v), v \in Q)$ ;

postavi  $q = v$ ; //pohlepni "greedy" izbor sljedećeg čvora za obradu

## 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

**Internet protokol (IP)** je protokol mrežne razine kojem je namjena osigurati prijenos podataka izme u raznorodnih mreža, što uključuje adresiranje i usmjeravanje. Trenutno se koristi **IPv4** koji koristi 32-bitno adresiranje, a rje e **IPv6** koji koristi 128-bitno adresiranje.

**Mehanizmi IP protokola** omogućuju adresiranje i dostupnost do svakog računala priključenog na internet.

**Zaglavlje paketa IP protokola:**

16 b				3 b		16 b			32 b		32 b	
VER	IHL	TOS	TL	ID	Flags	Fragment offset	TTL	Protokol	Header checksum	Source IP	Destination IP	Padding

### IPV4

**Polja zaglavlja IP paketa:**

IHL (Internet Header Length): – duljina zaglavlja

TOS (Type Of Service): – definira kvalitetu usluge TL

(total length): – duljina paketa u oktetima

ID: – 16-bitna riječ neodre enog sadržaja, služi za identifikaciju paketa Flags

(indikator): – da li ili ne fragmentirati

Fragment Offset (pomak fragmenta): – određuje na kom se mjestu originalnog paketa nalazi početak primljenoga

TTL (Time To Live): – koliko sekunda paket smije biti na mreži

Protokol: – definira protokol prijenosne razine (TCP ili UDP)

Nadopuna (Padding): – nadopuna zaglavlja do pune riječi duljine 32 bita

### IPV6

4 bits	8 bits	20 bits	16 bits	8 bits	8 bits	128 bits	120 bits
Version	Priority	Flow Label	Play Load Length	Next Header	Hop Limit	Source Address	Destination

**Priority:** 6 bita = DSCP, označava klasu QoS + 2 bita = ECN

– **Flow Label** - pomoćna informacija kod prosljenivanja (redoslijed)

– **Payload Length** = dužina podataka u oktetima

– **Next Header** = Protocol ID

– **Hop Limit** = maksimalni broj prosljenivanja

– **Adrese:** izvorišna i odredišna 128-bitna adresa

## 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 mrežne adrese i adrese

računala (mrežnog priključka). Klasa određuje broj bitova adrese podmreže i adrese računala.

Specificirane su **3 korisničke klase** adresa A, B i C, a klasa D je rezervirana za grupne adrese i klasa E koja je rezervirana za proširenja.

Klasa A omogućuje  $(2^7-2)$  mreža i  $(2^{24}-2)$  računala.

Klasa B omogućuje  $(2^{14}-2)$  mreža i  $(2^{16}-2)$  računala.

Klasa C omogućuje  $(2^{21}-2)$  mreža i  $(2^8-2)$  računala.

**Kod pod mrežavanja** za podjelu na podmreže se koristi adresna maska. Adresna maska je 32-bitna varijabla koja se sastoji od bloka jedinica i nula – dio s jedinicama definira dio IP adrese koji definira mrežu i podmrežu, a dio s nulama adresu računala.

**Kod nad mrežavanja** klase C se ujedinjuju u superklase. Time smo na globalnoj razini smanjili broj subjekata.

### 25.3. IP adresiranje na lokalnoj mreži:

- preslikavanje IP adrese u MAC adresu
- obrada dolaznog paketa
- obrada odlaznog paketa za lokalno i udaljeno odredište

**Za prevođenje IP adrese u MAC adresu** se koristi ARP protokol.

**Pakete koji dolaze** na podmrežu osnovni usmjernik pakira u okvire s MAC adresom odredišta i proslje uje ih lokalnom mrežom.

**Pakete koji idu van** iz podmreže, izvorište pakira u okvire s MAC adresom osnovnog usmjernika, koji ih proslje uje dalje kroz osnovnu podmrežu. Paketi kojima je izvorište i odredište na istoj podmreži, izvorište pakira u okvir s MAC adresom odredišta i šalje ga direktno odredištu.

U sva tri slučaja, pripadnost paketa podmreži se određuje na osnovu mrežnog dijela IP adrese, a pretvorba IP adrese odredišta ili usmjernika u MAC adresu obavlja se korištenjem ARP protokola. Ako odredišna stanica nije na istoj mreži paket se šalje usmjerniku (default gateway), a put paketa se dalje određuje prema tablicama usmjeravanja.

## 25.4. Privatne pod mreže - intranet:

- motivacija i razvoj
- privatne adrese
- povezivanje privatne pod mreže na Internet
- tehnike prevo enja adresa

**Privatne mreže (Intranet)** su mreže organizirane na TCP/IP tehnologiji, ali ne koriste javne, već privatne IP adrese.

Postojanje Intranet mreža ima jedno od tri opravdanja:

- 1.) Mreža nije povezana na Internet
- 2.) Mreža je povezana ali zbog sigurnosti koristi privatne adrese
- 3.) Mreža je povezana, ali zbog nedostatka IP adresa koristi privatne adrese.

**Za privatne mreže rezervirane su** jedna A, jedna B i blok od 256 uzastopnih C klasa. Pakete s ovim IP adresama usmjernici Interneta odbacuju bez pokušaja daljnjeg usmjeravanja. Privatne adrese koriste se kod nepovezanih i sigurnih pod mreža.

Sigurne pod mreže (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 pod mreže.

**Proces prevo enja adresa** (NAT, Network Address Translation) obavlja se tehnikama:

- Maskerade – obavlja se na mrežnoj razini tako da usmjernik priključne točke i IP adrese mijenja vlastitim.

Uslužne veze (proxy) – usmjernik ih ostvaruje za potrebe i za račun korisnika na sigurnom dijelu mreže. Radi se o prenošenju segmenata na prijenosnoj razini sa vanjske veze na unutrašnju.

## 26. USMJERAVANJE PROMETA NA INTERNETU

### 26.1. IP adresiranje na globalnom Internetu:

- struktura i razvoj usmjeravanja na Internetu
- koncept autonomnih sustava
- korištenje pod mreža i nad mreža

Primarna uloga usmjeravanja je osigurati dostupnost od izvorišta do odredišta toka podataka, a sekundarna pri tome utjecati na optimalno iskorištenje mreže i kvalitetu usluge. Te funkcije ostvaruju usmjernici Interneta (IP usmjernici).

Prvi su usmjernici interneta bili organizirani hijerarhijski. Postojao je centralni sustav kroz čije su usmjernike prolazile informacije o usmjeravanju me u svim mrežama interneta. Novi model usmjeravanja se zasniva na **autonomnim sustavima**, koji se sastoji od grupe mreža koje su pod istom administrativnom upravom. S obzirom na takvu podjelu razlikujemo različite vrste usmjernika (vanjske i unutarnje) i različite dijelove mreže.

Osnovna mreža (Backbone): – povezuje vanjske usmjernike i predstavlja najvišu razinu usmjeravanja.

Osnovna pod mreža (Autonomous system): – karakterizirana je vlastitom administracijom adresa. Najčešće je ostvarena jednostavnom do srednje složenom mrežom unutrašnjih usmjernika, na koje su povezane pod mreže.

Pod mreža (Subnetwork): – obuhvaća jednu zonu prostiranja lokalne mreže i sa

osnovnom podmrežom je najčešće povezana samo jednim usmjernikom koji za računala podmreže predstavlja osnovni usmjernik (Default Gateway).

## 26.2. Usmjeravajući protokoli Interneta:

- definirati ulogu usmjeravajućih protokola
- opća svojstva usmjeravajućih protokola
- tablice usmjeravanja
- RIP protokoli RIP i OSPF

**Uloga usmjeravajućih protokola** je osiguranje optimalnog puta od izvorišta do odredišta, uz zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Usmjernici ne drže informacije o potpunom putu paketa, već imaju samo prvi slijedeći korak na tom putu. Paketi za koje se ne može pronaći odredište unutar tablice usmjeravanja se šalju na osnovni smjer tj. default route.

**Tablice usmjeravanja** služe za određivanje optimalnog puta i sadrže podatak o prvom usmjerniku na optimalnom putu, mrežnu masku pojedinog odredišta, podatak o ispravnosti pojedinog smjera...

**RIP (Routing Information Protocol)** je unutrašnji protokol za usmjeravanje koji usmjernicima i radnim stanicama omogućuje razmjenu informacije o usmjerivačkim smjerovima unutar Internet mreže. Zasniva se na algoritmu vektora udaljenosti: - najboljim proglašava smjer s najmanjim brojem usmjernika koje paket treba proći na putu do odredišta. RIP pamti samo najbolji put do odredišta.

**OSPF (Open Shortest Path First)** je vrlo popularan unutrašnji protokol za usmjeravanje. Koristi se na razini ISP-AS.

Koristi Dijkstra algoritam tako da dijeli mrežnu topologiju na područja (OSPF 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

Osigurava prijenos poruke me u krajnjim korisnicima. Na ovoj razini optimalno je organizirati kontrolu pogreški i kontrolu toka. Standardizacija protokola se sastoji od vanjske (definira oblik i značenje pojedinih dijelova PDU-a) i unutarnje specifikacije (definira postupke na osnovi primljenih PDU-a).

Protokoli prijenosne razine mogu biti spojevni i bespojni. Bespojni mogu samo detektirati greške, a spojevni protokoli uz detekciju grešaka mogu obaviti i korekciju.

**Na prijenosnoj razini koristimo:**

- Bespojni UDP protokol za usluge kod kojih je bitnija jednostavnost rukovanja i brzina od pouzdanosti prijenosa (audio–video prijenos).
- Spojevni TCP protokol za pouzdanu komunikaciju Internet aplikacija korištenjem nepouzdanog (best–effort) IP protokola mrežne razine.

Zaglavlje protokola prijenosne razine sadrži port izvorišta i odredišta. IP adresa i port čine socket. Veza između dva računala na Internetu jedinstveno je određena parom socketa.

Uspostava veze s kraja na kraj mreže moguća je na principu unaprijed poznatih

portova. U sustavu korisnik–poslužitelj, korisnik uvijek traži uslugu od poslužitelja, pa se poslužiteljskim procesima mogu dodijeliti unaprijed poznati portovi.

## 27.2. UDP protokol Interneta:

- namjena UDP protokola i mehanizmi
- zaglavlje UDP protokola
- polja zaglavlja UDP protokola

**UDP** je bespojni protokol. Omogućuje slanje podataka bez uspostave logičke veze izme u dva računala koja komuniciraju. Koristi za usluge kod kojih je bitnija jednostavnost rukovanja i brzina od pouzdanosti prijenosa (audio–video prijenos). Podaci se tretiraju kao kratke poruke (datagrami), a korisnik treba osigurati konzistentnost poruke.

### Zaglavlje UDP protokola:

16	16	16	16	Variable
Source Port	Destination	Message	Checksum	Data
Adress	Port Adress	Length		

Source Port Address: – označava proces koji šalje datagram

Destination Port Address: – označava proces koji prima datagram

Message Length: – označava duljinu datagrama u oktetima, uključujući zaglavlje i podatke (minimalna duljina je 8 okteta)

Checksum: – služi za

kontrolu Data: – podaci

korisnika.

## 27.3. TCP protokol Interneta:

- namjena TCP protokola i mehanizmi
- zaglavlje TCP protokola
- polja zaglavlja TCP protokola

**TCP (Transmission Control Protocol)** je spojevni protokol koji omogućuje pouzdanu komunikaciju Internet aplikacija korištenjem nepouzdanog (best–effort) IP protokola. Podaci se tretiraju kao segmenti poruke, a korisniku se isporučuje cjelovita poruka. TCP je spojevni protokol pa koristi mehanizam retransmisije kako bi osigurao dostavu svakog segmenta.

### Zaglavlje TCP protokola:

16	16	32	32	4	6	6	16	16	16	24	8	Variable
Source	Destination	Sequen	ACK	Header	Reserved	Code	Window	Checksum	Urgent	Options	Padding	Data
Port	Port	No.	No.	length		bits			Pointer			

Source Port: – označava proces koji šalje podatke

Destination Port: – označava proces koji prima podatke

Sequence No.: – redni broj početnog okteta segmenta u odnosu na početak poruke

Ack No.: – redni broj sljedećeg okteta segmenta poruke i ima značenje kumulativne potvrde

Header length: – predstavlja duljinu TCP zaglavlja u 32-bitnim riječima; Code

bits (flags): URG (hitna poruka); ACK (potvrđni broj); PSH (zahtjev za trenutnu isporuku podataka); RST (resetiranje); SYN (uspostava veze); FIN (zahtjev za raskid veze).

Checksum: – služi za kontrolu

Urgent Pointer: - pokazuje gdje se nalaze hitni podaci unutar segmenta

Options: – se ugovaraju kod uspostave veze

Padding: – popunjava nulama zaglavlje do pune širene 32-bitne riječi

Data: – podaci pripadaju korisniku.

## 28. MEHANIZMI TCP PROTOKOLA

### 28.1. Uspostava TCP veze:

- vrste TCP priključaka
- sinkronizacija u 3 koraka
- dijagram stanja TCP priključka
- određivanje početnog rednog broja

**TCP protokol** koriste korisnički procesi koji zahtijevaju siguran prijenos kao što su Telnet, FTP, WWW i SMTP.

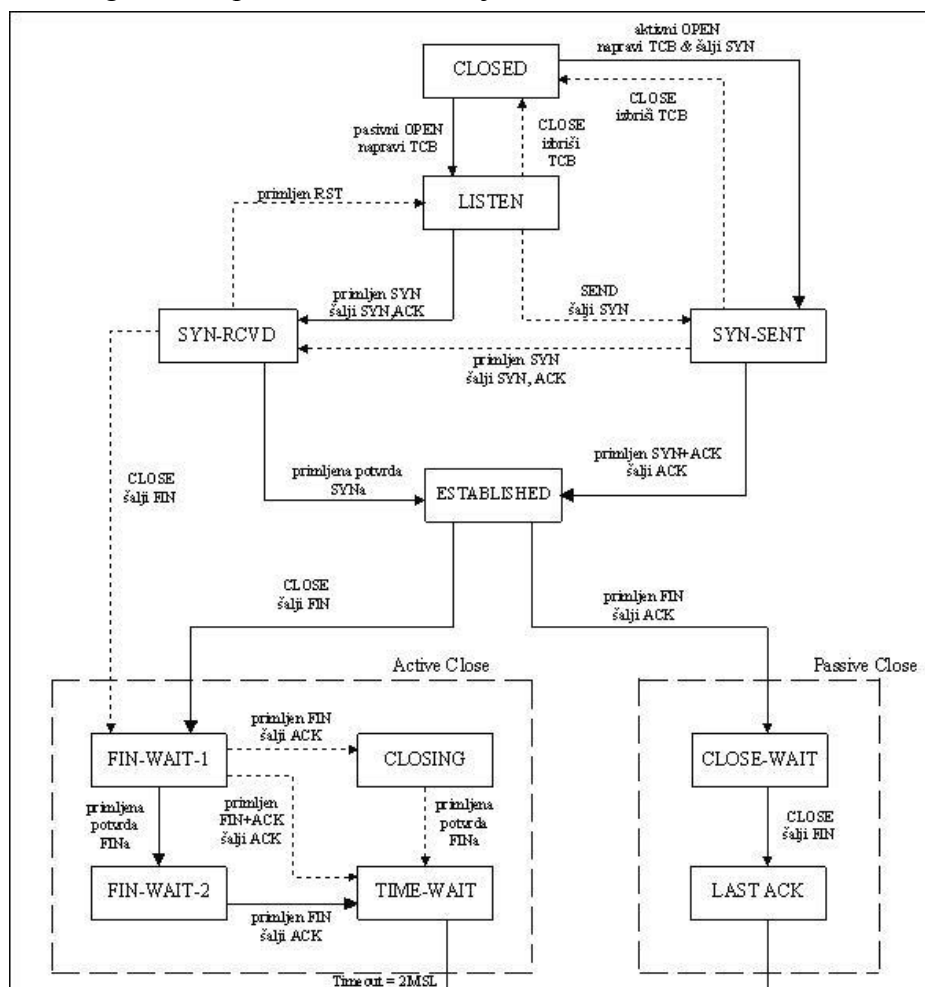
Prilikom uspostave veze koristi se proces sinkronizacije u tri koraka (**three-way handshake**), koji pokreće korisničko računalo aktivnim otvaranjem veze (OPEN) i upućuje poziv ka poznatoj priključnoj točki poslužiteljskog procesa. Poslužiteljsko računalo odgovara na poziv koji stiže na priključnu točku otvorenu u pasivnom načinu rada (LISTEN).

**Tri koraka su:**

- 1.) Računalo B se nalazi u stanju osluškivanja i čeka na zahtjev za uspostavom veze, a računalo A šalje zahtjev za uspostavom veze (SYN=1, ACK=0 i redni broj od kojeg želi započeti prijenos, ISN=X),
- 2.) Računalo B šalje SYN=1, potvrdu ACK=1, potvrdni broj X+1 te redni broj ISN=Y,
- 3.) Računalo A odašilje segment ACK=1 s potvrdnim brojem Y+1 i veza je uspostavljena.

**Dijagram stanja TCP priključka:**

Da bi uspostavila vezu, dva TCP procesa moraju sinkronizirati početne redne brojeve. To se radi razmjenom segmenata za uspostavom veze koji nose kontrolni bit SYN i ISN (Initial Sequence Number). Prilikom sinkronizacije obje strane moraju poslati svoj ISN, te primiti potvrdu za to od druge strane. TCP protokol koristi slučajno izabrani ISN. Kod uspostave veze, generator početnih rednih brojeva odabire 32-bitni ISN.







## 28.2. Kontrola pogreški TCP protokola:

- vrste potvrda TCP protokola i detekcija gubitka
- izračun vremena obilaska i devijacije
- izračun vremena retransmisije

Na mrežnoj razini IP proslje uje svaki paket zasebno pa može doći do izmjene redoslijeda pristizanja na odredište. Ako u RTO vremenu (Retransmission Timeout) ne dobije potvrdu, TCP ponovo šalje segment računajući da je izgubljen. RTO se računa dinamički zbog raznolikosti mreža (kratki RTO izaziva nepotrebne retransmisije, a predugački usporava oporavak od pogreške i produljuje ukupno vrijeme prijenosa podataka).

**RTT (Round Trip Time) - vrijeme obilaska** 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.  $\alpha$  je faktor koji odlučuje kolika će se težina pridati starom vremenu.

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

Da bi se spriječile neželjene retransmisije i predugo čekanje na detekciju gubitka, računa se **devijacija D**, kod koje  $\alpha$  može, ali i ne mora imati istu vrijednost kao i kod proračuna RTT:

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

**Vrijeme retransmisije** (čekanja na potvrdu) se računa po formuli:

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

## 28.3. Organizacija kontrole toka TCP protokola:

- algoritmi segmentacije
- varijable kontrole toka
- usporeni start i izbjegavanje zagušenja

Kod nekih aplikacija uočeno je vrlo neučinkovito iskorištenje kanala zbog slanja vrlo kratkih segmenata, a često se doga da u suprotnom smjeru posebno putuje potvrda pa koristimo **algoritme segmentacije**:

- Nagle-ov algoritam
- Algoritam izbjegavanja besmislenih prozora

**Varijable kontrole toka su:**

SSTHRESH: – prag usporenog starta (Slow Start Threshold),

CWND: – prozor zagušenja (Congestion Window).

**Usporeni start (Slow Start)** služi za otkrivanje raspoloživog kapaciteta mreže, a koristi se na početku prijenosa ili kod oporavka od gubitka.

**Izbjegavanje zagušenja (Congestion Avoidance)** je faza u kojoj TCP treba ispitivati mogućnost povećanja prozora kako bi iskoristio kapacitet mreže oslobodivši eventualnim završetkom prijenosa drugih korisnika.

## 28.4. Napredni algoritmi kontrole toka TCP protokola:

- algoritam brze retransmisije
- algoritam brzog oporavka
- algoritam djelomičnih potvrda

**Algoritam brze retransmisije:** -čekanje na istek RTO je dugotrajno i traje  $RTT+4D$ . Brza detekcija gubitka je moguća ako prijemnik za svaki prekoredno primljeni segment (nakon gubitka) ponavlja posljednju poslanu kumulativnu potvrdu. Nakon što primi tri duplicirane potvrde, predajnik zaključuje da je došlo do gubitka segmenta i obavlja ponovno slanje prije isteka RTO.

**Algoritam brzog oporavka (Fast Recovery):** -nakon gubitka paketa, TCP normalno mora ići u fazu usporenog starta. Algoritam brzog oporavka ovu fazu izbjegava tako da se kod brze retransmisije parametri postave na:

$$\begin{aligned}SSTHRESH &= CWND/2 \\CWND &= SSTHRESH+3\end{aligned}$$

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

$$CWND = SSTHRESH$$

**Algoritam djelomičnih potvrda (Partial Acknowledgement):** -koristi se da bi se ubrzao izlazak iz faze brzog oporavka za slučaj višestrukog gubitka segmenta. Ukoliko prijemnik potvrdi samo dio podataka, predajnik može zaključiti da se radi o višestrukom gubitku segmenta. Takva potvrda se zove djelomična potvrda. Ona istovremeno znači da je odre eni broj segmenata izašao iz mreže te da je još neki od ranije poslanih segmenata izgubljen. Taj segment je moguće odmah poslati.

## 29. SUSTAVI S POSLUŽIVANJEM

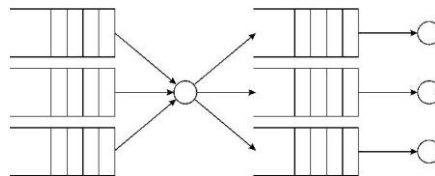
### 29.1. Modeli sustava s posluživanjem:

- 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. Najčešće mora čekati dok ne budu poslani paketi prije njega. Dok čeka, paket treba zapamtiti. Paketi koji čekaju na predaju (posluživanje) pamte se u spremniku. Spremnik se formira ispred predajnika (poslužitelja), s kojim čini sustav s posluživanjem s jednim redom čekanja i jednim poslužiteljem. Isti princip se koristi i kod više redova čekanja i više poslužitelja.

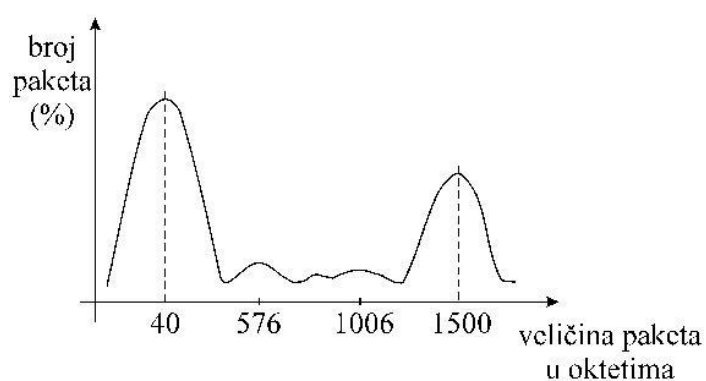
#### **Model usmjernika kao sustav s posluživanjem:**

- Paketi stižu na ulazne redove čekanja
- Sustav prospajanja: – jedan od poslužitelja šalje pakete sa dolaznih kanala na odlazne kanale.



**Vrijeme kašnjenja paketa** se sastoji od vremena čekanja u izlaznom redu, vremena predaje na medij i vremena prostiranja  $T_d = T_q + T_s + T_p$ .

**Razdioba duljine paketa na Internetu:** -vrijeme posluživanja ovisi o duljini paketa, a vrijeme čekanja ovisi o duljini paketa u redu.



## 29.2. Stohastički procesi:

- opis procesa dolazaka zahtjeva
- opis procesa posluživanja
- Kendallova notacija
- najčešće korišteni stohastički modeli

**Proces dolazaka ovisi o:** populaciji generatora zahtjeva (paketa), intenzitetu pojedinog generatora, statističkoj zavisnosti uzastopnih paketa. Iskazuje se kroz statistička svojstva vremenskog perioda izme u dva zahtjeva. Mjeri se kao srednji intenzitet dolazaka  $\lambda$  [paketa/s].

**Proces posluživanja ovisi o:** statističkim svojstvima duljine paketa, brzini kanala. Iskazuje se kroz srednje vrijeme posluživanja. To je srednje vrijeme predaje paketa na kanal. Mjeri se kao srednji intenzitet posluživanja  $\mu$  [paketa/s].

**Kendallova notacija** standardizira zapisivanje sustava s posluživanjem.

Specificira 6 parametara: z

– disciplina,

N - broj izvorišta,

K - kapacitet spremnika,

C - broj poslužitelja,

A - statistički izražena raspodjela vremena izme u 2 dolaska zahtjeva, B -

statistički izražena raspodjela vremena izme u 2 posluživanja.

**Najčešće korišteni stohastički modeli** su M/M/1, M/M/1/N.

## 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. Opisan je srednjom vrijednosti  $\mu$ , i varijancom  $\sigma$ .

srednjom vrijednosti  $\mu$ , i varijancom  $\sigma$ .

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

**Pollachek-Khintchine** formula je primjenjiva na razne sustave promjenom varijance  $\sigma$ .

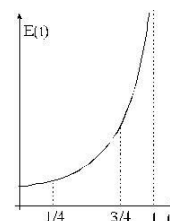
$$E(T) = \frac{1}{\lambda} E(n) = \frac{1}{2\mu(1-\rho)} [2 - \rho(1 - \mu^2 \sigma^2)]$$

**Primjenjiva veza M/G/1 prema M/M/1 i M/D/1:**

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

za  $\sigma = 1/\mu$  dobijemo M/M/1  $\rightarrow$

- za  $\sigma = 0$  dobijemo M/D/1 (za ATM sustave)



## 30. M/M/1 SUSTAV S POSLUŽIVANJEM

### 30.1. Poissonov proces:

- Korištenje i svojstva Poissonovog procesa
- vjerojatnost događaja Poissonovog procesa
- razdioba vremena između dolazaka
- funkcije gustoće i kumulativne vjerojatnosti

**Poissonov proces** koristimo radi jednostavnosti. To su procesi kod kojih događaji (pakete) generira beskonačna populacija predajnika, i ti događaji su potpuno nezavisni.

#### **Vjerojatnost događaja Poissonovog procesa:**

Vjerojatnost  $k$  događaja je proporcionalna je broju kombinacija s kojima se desi upravo  $k$  događaja u  $n$  perioda  $t$ , a u odnosu na sve moguće brojeve događaja.

Pustimo li da  $n \rightarrow \infty$  dobijemo:

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

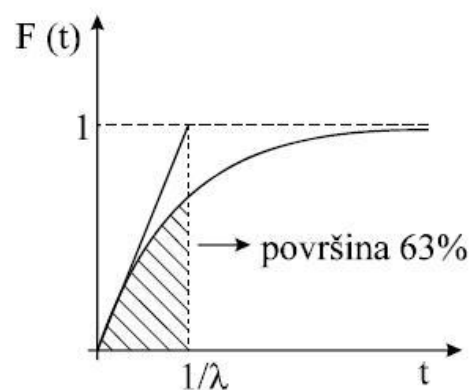
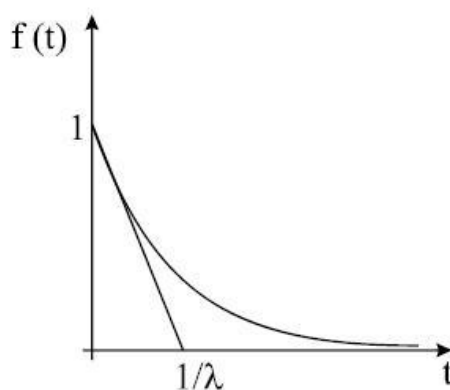
#### **Razdioba vremena između dolazaka:**

Nas interesira razdioba gustoće vjerojatnosti vremena između dva dolaska paketa. To je vjerojatnost da u promatranom periodu neće stići niti jedan zahtjev:

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

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

#### **Funkcije gustoće i kumulativne vjerojatnosti:**



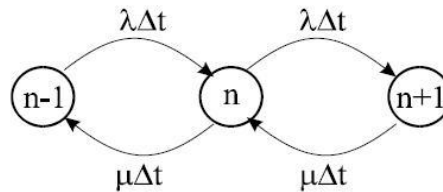
## 30.2. Markovljevi procesi - lanci:

- svojstva eksponencijalne razdiobe
- sustavi ra anja i umiranja i Markovljevi lanci
- izvod vjerojatnosti  $p(n)$  i očekivanja  $E(n)$

**Svojstva eksponencijalne razdiobe:** -ako uzmemo dovoljno mali period, tada vjerojatnost jednog dolaska prelazi u  $\lambda\Delta t$ , a vjerojatnost posluživanja prelazi u  $\mu\Delta t$ , dok je vjerojatnost višestrukih dolazaka/posluživanja zanemariva.

Procesi dolazaka i posluživanja prelaze u **proces ra anja i umiranja** i nazivaju se Markovljevi procesi. Sustav iz stanja  $n$  može prijeći samo u stanje  $n-1$  ili u  $n+1$ .

Dakle, moguć je prijelaz samo u susjedno stanje:

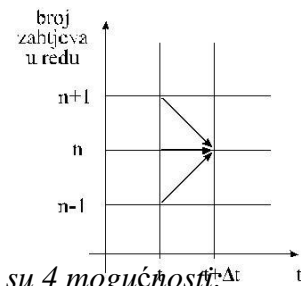


**Izvod vjerojatnosti  $p(n)$  i očekivanja  $E(n)$ :**

Vremensko-prostorni dijagram za Markovljev lanac:

Pokušajmo izračunati vjerojatnost da se u trenutku  $t = \Delta t$  u redu čekanja na e upravo **n** paketa.

0



Ta vjerojatnost jednaka je vjerojatnosti postizanja stanja **n**, a to su 4 mogućnosti:

- 1.) Ako je broj zahtjeva u trenutku **t** jednak **n**, a nije se desio niti jedan dolazak i niti jedno posluživanje:  $\square 1 - \lambda\Delta t \square \square 1 - \mu\Delta t \square$
- 2.) Ako je broj zahtjeva u trenutku **t** jednak **n**, a desio se jedan dolazak i jedno posluživanje:  $\square \lambda\Delta t \square \square \mu\Delta t \square$
- 3.) Ako je broj zahtjeva u trenutku **t** jednak **n+1**, a nije se desio niti jedan dolazak i jedno posluživanje:  $\square 1 - \lambda\Delta t \square \square \mu\Delta t \square$
- 4.) Ako je broj zahtjeva u trenutku **t** jednak **n-1**, a desio se jedan dolazak i niti jedno posluživanje:  $\square \lambda\Delta t \square \square 1 - \mu\Delta t \square$

Vjerojatnost da se sustav nalazi u **n** stanja u trenutku  $t + \Delta t$  **jednak je sumi gornjih događaja:**

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

za  $t \ll \Delta t$  slijedi stacionarno stanje:  $p_n(t + \Delta t) \square \square p_n(t) \square$

pa nakon množenja slijedi:

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

ako je  $t \ll$  slijedi da je  $t^2$  zanemarivo (jednako 0) pa dobivamo:

$$p_n \square t \square p_n \square t \square \square \vdash \lambda \Delta t - \mu \Delta t \square p_{n-1} \square t \square \square \lambda \Delta t \square$$

$$p_{n-1} \square t \square \square \mu \Delta t \square$$

$$p_n \square t \square p_n \square t \square \square \vdash \Delta t \square \mu \square \lambda \square p_{n-1} \square t \square \square \cdot \lambda \Delta t \square$$

$$p_{n-1} \square t \square \square \cdot \mu \Delta t$$

$$p_n \square t \square p_n \square t \square - p_{n-1} \square t \square \cdot \Delta t \square \mu \square \lambda \square p_{n-1} \square t \square \cdot \lambda \Delta t \square p_{n-1} \square t \square \cdot \mu \Delta t \quad / : t$$

$$\boxed{p_n \square t \square \square \mu \square \lambda \square p_{n-1} \square t \square \square \lambda \square p_{n-1} \square t \square \square \mu} \text{ — jednađba ravnoteŹe vjerojatnosti}$$

**Granični slućajevi su:**

$$1.) \sum p_n \square 1 \quad p_n \rightarrow 0; n \rightarrow \infty \quad p \square \infty \square \square \square$$

$$2.) p_n \square p_{n-1} \square 0$$

kada slućaj 2. primijenimo na gornju relaciju, slijedi:

$$p_0 \cdot \square \mu \square \lambda \square p_1 \cdot \mu$$

$$p_0 \cdot \mu \square p_0 \cdot \lambda \square p_1 \cdot \mu$$

$$\boxed{p_1 p_0 \cdot \frac{\lambda}{\mu}}$$

za  $n=0$  nema zahtjeva tj. nema posluŹivanja:  $p_0 \cdot \lambda \square p_1 \cdot \mu \Rightarrow$

$\frac{\lambda}{\mu}$  — odnos izme u intenziteta dolazaka i odlazaka, predstavlja faktor opterećenja  $\rho \square \frac{\lambda}{\mu}$

MoŹe se pisati:

$$p_n \cdot \square \mu \square \lambda \square p_{n-1} \cdot \lambda \square p_{n-1} \cdot \mu \quad / : \mu$$

$$p_n \cdot \square 1 \square \rho \square p_{n-1} \cdot \rho \square p_{n-1}$$

$$p_1 \square p_0 \cdot \rho$$

$$\boxed{p_n \square p_0 \cdot \rho^n}$$

Iz slućaja 1 za  $\rho < 1$  slijedi:

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n \square p_0 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \rho^n \square \frac{p_0}{1-\rho}$$

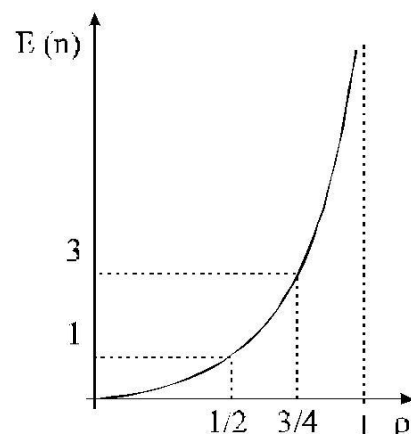
$$\frac{p_0}{1-\rho} \square 1 \Rightarrow p_0 \square 1-\rho \Rightarrow p_n \square 1-\rho \square \cdot \rho^n$$

pa je oćekivanje  $E(n)$ :

$$E \square n \square \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p_n \square \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot 1-\rho \square \cdot \rho^n$$

za  $\rho < 1$  vrijedi:  $E \square n \square$

$$\square \frac{\rho}{1-\rho} \quad \blacktriangleright$$



### 30.3. Svojstva M/M/1 sustava:

- izračun očekivanja  $E(t)$
- Littleova formula
- utjecaj konačnosti spremnika i vjerojatnost gubitka
- primjena M/M/1 sustava

#### ***Izračun očekivanja $E(t)$ :***

Prosječno očekivano vrijeme čekanja je jednako nekom očekivanom vremenu posluživanja i prosječnom vremenu čekanja tog istog zahtjeva na posluživanje prethodnih paketa:

$$E(T) = \frac{1}{\mu} + \frac{E(n)}{\mu} = \frac{1}{\mu} [1 + E(n)] = \frac{1}{\mu} \left[ 1 + \frac{\rho}{1-\rho} \right] = \frac{1}{\mu} \left[ \frac{1-\rho + \rho}{1-\rho} \right] = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{1-\rho}$$

$$\rho \cdot \mu = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \mu = \lambda$$

$$\boxed{E(T) = \frac{1}{\mu - \lambda}}$$

$$\Rightarrow E(T) = \frac{1}{\mu} + \frac{E(n)}{\mu} \quad / \cdot \mu$$

$$E(n) = \mu \cdot E(T) - 1 = \frac{\mu}{\mu - \lambda} - \frac{\mu - \lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \lambda \cdot \frac{1}{\mu - \lambda} = \lambda \cdot E(T)$$

$$\boxed{E(n) = \lambda \cdot E(T)} - \text{Littleova formula}$$

***Utjecaj konačnosti spremnika i vjerojatnost gubitka:*** -u realnim sustavima spremnik je konačnog kapaciteta, te je vjerojatnost da u spremniku imamo odre en broj poruka iznad predvi enog kapaciteta jednak nuli. Takav sustav se naziva sustav s gubicima, jer zahtjevi koji su došli, a nisu imali mjesta u spremniku se smatraju izgubljenima.



$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n = p_0 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \rho^n = p_0 \cdot \frac{1 - \rho^{N+1}}{1 - \rho} = 1$$

$$p_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}}$$

Korištenjem jednadžbe ravnoteže za beskonačni spremnik dobije se:

$$p_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \cdot \rho^n$$

Vjerojatnost punog spremnika:

Vjerojatnost da do e do gubitka  $p_B$  jednaka je vjerojatnosti da je red pun  $n=N$  i da u tom trenutku do e jedan zahtjev, a ne izvrši nijedno posluživanje:

$$p_B = p_N \cdot \lambda \Delta t = (1 - \rho) \Delta t$$

Ovu vjerojatnost izračunavamo iz jednadžbe ravnoteže za cijeli sustav:

$$\lambda \cdot (1 - p_B) = \mu \cdot (1 - p_0)$$

pa je

$$p_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \cdot \rho^n$$

vjerojatnost gubitaka:

$$p_B = \frac{\lambda^N (1 - \rho)}{\mu (1 - \rho^{N+1})}$$

***M/M/1 služi za*** procjenu rada mreže. Zbog visoke varijance približan je najgorem slučaju.