

# 1. RAZVOJ PRIJENOSA PODATAKA

## 1.1. Razvoj telekomunikacijskih sustava

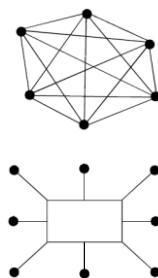
- telegraf, telefon, telefonske mreže
- povezivanje telefonskih centrala
- standardni telefonski kanal, prospajanje
- značaj telefonskih mreža

**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“ je brzo napuštena zbog svoje neekonomičnosti.
- Mreža s prospajanjem kanala - svaki korisnik je vezan na telefonsku centralu, a veza se uspostavlja na njegov zahtjev.



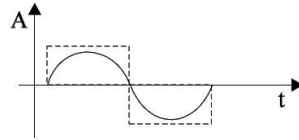
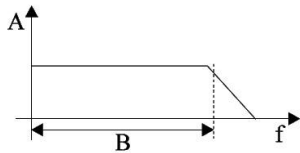
**Povezivanje telefonskih centrala** - Mreže među centralama su ostvarene kroz zvjezdaste hijerarhijske mreže. Broj kanala između dviju centrala je kompromis između cijene usluge i potreba korisnika u satima najvećeg prometa.

**Standardni telefonski kanal** je zapravo fizički vod. **Prospajanje** je uspostava komunikacijskog kanala između korisnika. Na početku se prospajanje obavljalo ručno. Razvojem elektronike prešlo se na automatsko prospajanje. Telefonska mreža je **značajna** zbog toga što omogućava gotovo trenutnu komunikaciju između bilo kojih dijelova svijeta.

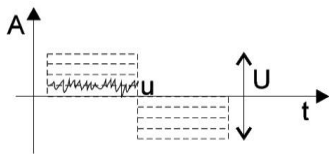
## 1.2. Informacijski volumen i prijenos podataka

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

### SUSTAV S NISKIM PROPUSTOM



Kod sustava s niskim propustom širina pojasa  $B = f_g - f_d = f_g - 0 = f_g$ . U jednom periodu signala  $f_g$  prenesemo dva signalna elementa. Odatle  $2B$  signalnih elemenata u sekundi.



**Broj razina**  $R = U/u$ . Raspon signala ograničen dogovorom, a minimalni signal je ograničen smetnjama.

dogovor:  $D = \lg(R)$  bita/sign. elementu

**KAPACITET SUSTAVA** izražava brzinu obrade, brzinu prijenosa, brzinu pristupa podacima. Kapacitet

$$C = 2B \cdot D \text{ [se/sek} \cdot \text{bit/se} = \text{bit/sek]}$$

### Serijski i paralelni prijenos:

Kod **serijskog prijenosa** podataka jednim kanalom istodobno prenosimo samo jedan bit, dok kod **paralelnog prijenosa** istovremeno, s više kanala, prenosimo više bitova.

### 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  $2^{26}$  kodnih riječi, a treba nam samo 26. Efikasnije je koristiti **koncentrirani kod**. Kodiranjem  $2^5=32$  svaki od 26 simbola je predstavljen kodnom riječi duljine 5 bita. Tako se 26 vodova svede na 5. Preostalih 7 kodnih riječi je redundantno.

**Asinkroni prijenos** – prije kodne riječi se šalje pokretački impuls, nakon toga pet informacijskih impulsa, te na kraju jedan zaustavni impuls.

**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 najčešće se koristi ASCII.

## 2. RAZVOJ TERMINALSKIH MREŽA

### 2.1. Razvoj centralnih računala

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

Prva digitalna računala su komunicirala s operaterom preko konzole sa žaruljama i sklopkama. Osim konzole ta računala su imala i čitač bušenih kartica i linijski pisac -> terminal za unos zadaća (JE- Job entry terminal).

**Lokalni unos poslova**- ako je računalo spojeno samo s jednim terminalom. Korisnici unose, jedan po jedan, podatke na bušenim karticama i čekaju obradu. Razvojem diskova je omogućeno da se podaci i programi spremi i ubrzo nakon toga ulazno/izlazne jedinice su udaljene iz prostorije u kojoj se nalazi računalo. Time je ostvarena **daljinska obrada (RJE)**.

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

- **lokalno**, ukoliko se nalaze u istoj zgradi u kojoj i računalo.
- **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 terminalske mreže.

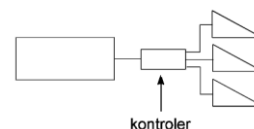
U takvim mrežama terminali mogu biti spojeni: lokalno i daljinski (posredstvom telekomunikacijske mreže).

**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 kanal 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

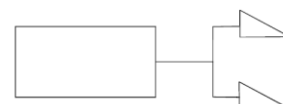
Kod jednospojnog povezivanja svaki terminal je vezan vlastitim vodom na računalo ili na komunikacijski procesor. Komunikacijski procesor prihvata podatke s terminala znak po znak istovremeno s tipkanjem, i oblikuje ih u poruke terminala, te ih šalje računalo koristeći jedan telefonski kanal. Takvi se 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

Kod višespojnog povezivanja više terminala je spojeno na isti kanal. 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 bloka 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 podataka po preporukama X.20 i X.21.

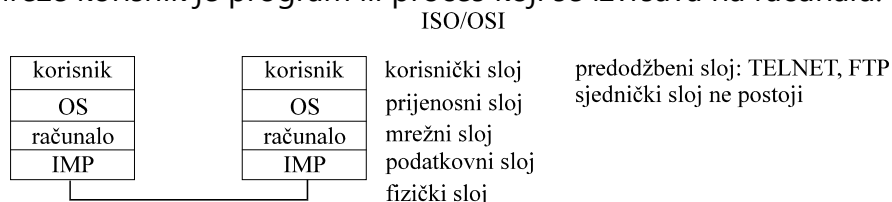
**Javne mreže s prospajanjem (komutacijom) paketa** X.25, od kojih se jedan dio razvija prema frame-relay mrežama.

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 širokopojsnog (B-ISDN) također s komutacijom kanala varijabilnog kapaciteta  $N \times 64$  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

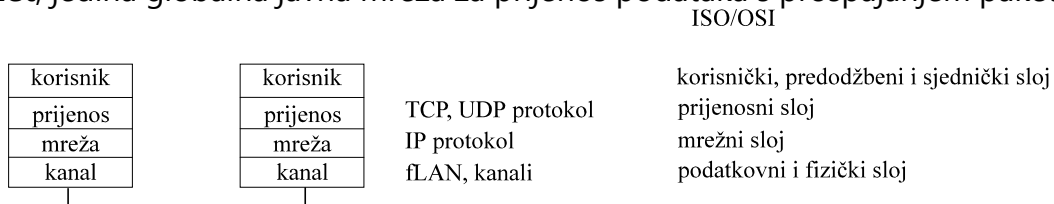
- osnovna arhitektura ARPANeta
- osnovna arhitektura Interneta
- usporedba s ISO/OSI arhitekturom

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 između procesa na dva računala koriste se : OS (operacijski sustav) koji je nadograđen sa NCP (Network Control Program); sklopovlje računala; IMP (Interface Message Processor) koji je čvrsto komunikacijsko računalo.

**Internet**, 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), UDP (User Datagram Protocol) su protokoli koji se koriste na prijenosnoj razini da bi paket stigao od korisnika do korisnika.

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 (www), email-a, ftp...

## 4. OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA

### 4.1. Sistematizacija mreža prema elementima i topologiji

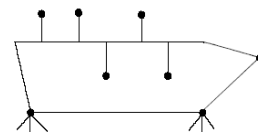
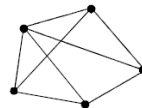
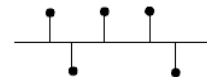
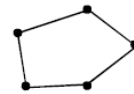
- mreže prema elementima
- mreže prema topologiji

#### 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...

#### Podjela mreže prema topologiji:

- **Zvezdasta mreža** - Cjelokupni promet prolazi kroz jedan čvor koji može biti glavno računalo sustava. Razmjena podataka među terminalima je moguća samo kroz glavno računalo. Problem: kvar glavnog računala.
- **Stablasta mreža** – hijerarhijska mreža više zvjezdastih mreža.
- **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.
- **Isprepletena mreža** – povezivanje svakog sa svakim.
- **Mreža mješovite topologije** - nastaje kombinacijom prethodno navedenih.



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

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

### 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.
- **Mreže s distribuiranom obradom** - se razvijaju 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)** 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 LANa.
- **Globalne mreže (WAN)** 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 tel. 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.

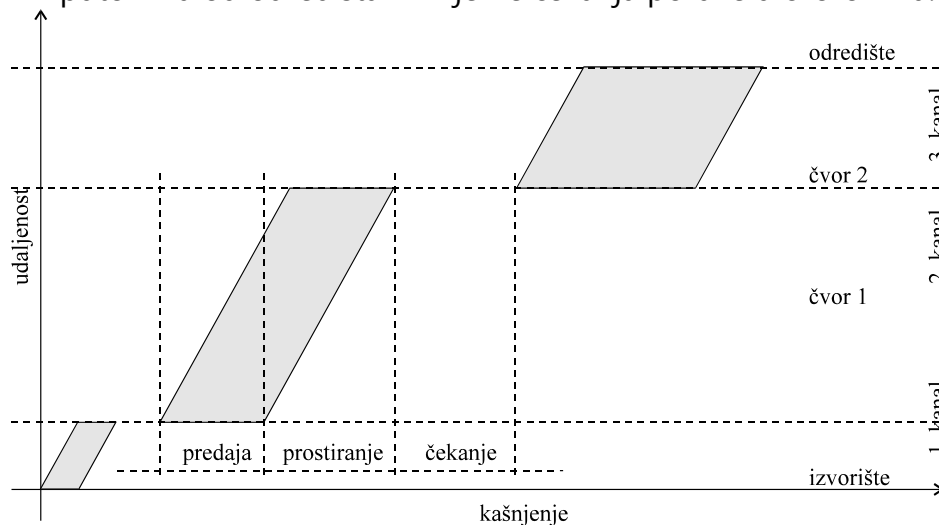
**Vrijeme kašnjenja** je načelno jednako vremenu prostiranja na kanalima, jer je veza direktna. Kod složenih telefonskih mreža, koje koriste izvedene digitalne kanale, postoji još i dodatno kašnjenje potrebno za analog-digit i digit-analog pretvorbu. Kašnjenje, kod govornih komunikacija, mora biti maleno. 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

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. Između 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.



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 prosljeđivanje
- vremensko prostorni dijagram
- primjena u prijenosu podataka

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.

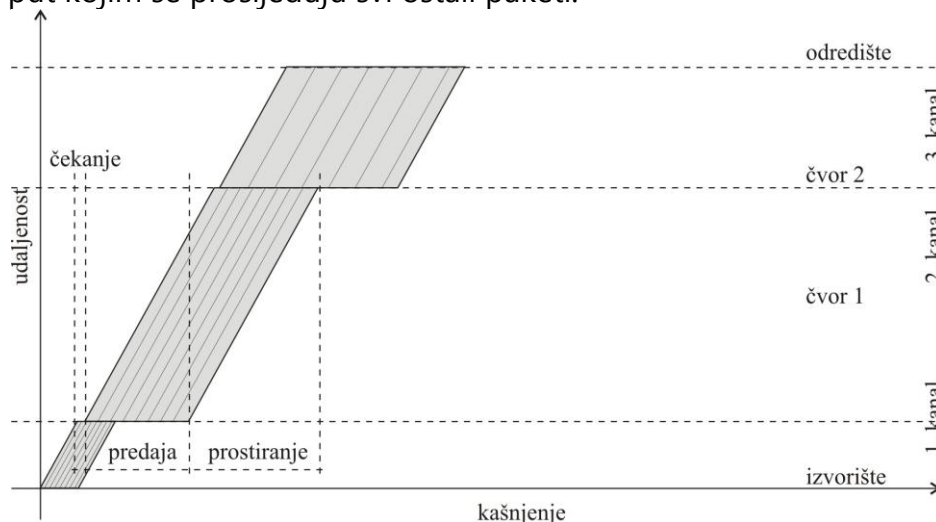
Razlikujemo:

❖ **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 proslijeđuju na osnovu tih tablica.

❖ **Prosljeđivanje** je moguće organizirati na dva načina:

- Prosljeđivanjem 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 proslijeđuju svi ostali paketi.



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, te 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 kableske 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 cijena.
- **višemodno** optičko vlakno omogućava prolaz svjetlosti koja se lomi na više načina. Problem veće gušenje i manji doseg signala; prednost: 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:

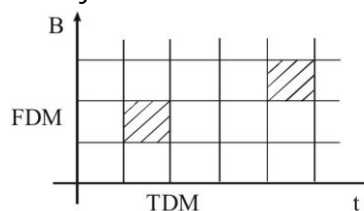
1. **Vremenu (TDM)**

- **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 poruke se razbijaju na manje pakete. **Uređaji** 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

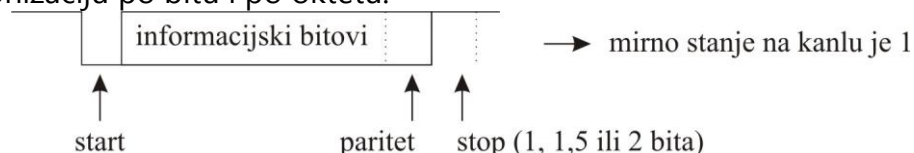
- kapacitet kanala
- sinkronizacija
- smjer prijenosa

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

## 5.4. Čvorišta i terminali računalnih mreža

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

**Obnavljač (transceiver)** je uređaj s dvije, a **zvjezdište (hub)** s više priključnica.

**Obnavljač** pojačava signal i obavlja prilagodbu impedancije, 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 ga prosljeđuje na podatkovnoj razini prema odredištu. *(Za razliku od huba 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 zadaće radeći na prijenosnoj i korisničkoj razini.

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

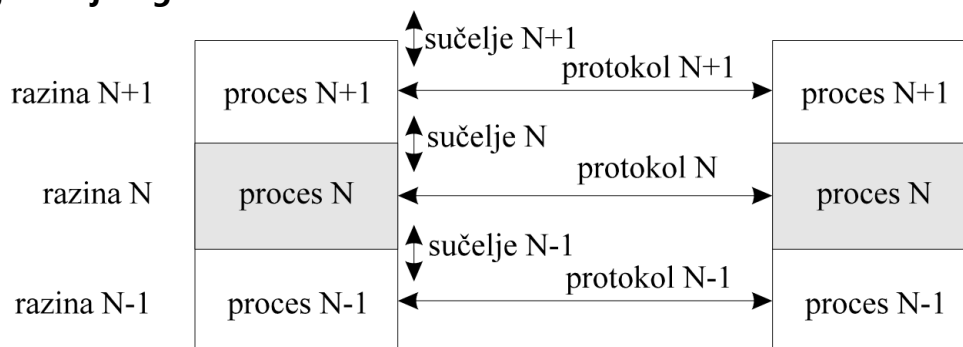
## 6. SLOJEVITI HIJERARHIJSKI SUSTAVI

### 6.1. Koncept razine, protokola i sučelja

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

Današnje mreže imaju slojevitú hijerarhijsku arhitekturu. Organizirane su po razinama zbog toga što je taj koncept optimalan kod razvoja, realizacije, standardizacije i korištenja.

### Skica hijerarhijskog sustava:



**Koncept razine** – procesi promatrane razine pružaju nadređenoj razini uslugu prijenosa podataka, te koriste uslugu podređene razine. Svaka razina komunicira preko dva različita sučelja prema nadređenoj i podređenoj razini.

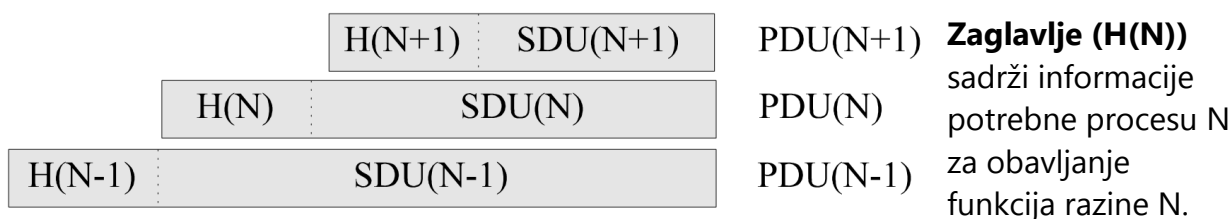
Po **konceptu protokola**, na uređajima koji međusobno razmjenjuju podatke, dva procesa iste razine prividno neposredno komuniciraju po pravilima protokola. U stvarnosti komuniciraju koristeći usluge podređenih slojeva.

Po **konceptu sučelja** komunikacija među procesima susjednih razina, unutar istog uređaja, se odvija preko sučelja.

**Standardizacija** je potrebna radi postojanja velikog broja različitih proizvođača 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



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

Svaka razina u postupku **predaje** uzima preko gornjeg sučelja jedinicu informacije **PDU(N+1)** nadređene razine kao podatke koje treba prenijeti → **SDU(N)**. Na to dodaje svoje **zaglavlje** **H(N)** i tako formira vlastiti **PDU(N)**.

U postupku **prijema**, razina N od podređene 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** – najmanja jedinica informacije koju prenosimo na fizičkoj razini.
- **Oktet** – najmanja kodna riječ, kojom baratamo kao cjelinom.
- **Okvir(blok)** je osnovni PDU podatkovne razine. Sastoji se od više okteta.
- **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-i 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 podređenih razina, bez daljnje fragmentacije mogu proći kroz mrežu. Fragmentacija je nužna kod paralelno serijske pretvorbe na mediju.

Predajnik (izvorište) može odrediti maksimalnu duljinu fragmenata (MSS) kao npr. kod Interneta.

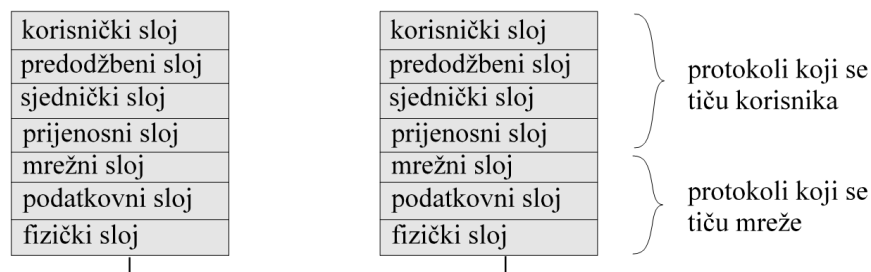
**MSS (Maximum segment size)** je najveća količina podataka (u bitovima) koji možemo prenijeti u jednom, nefragmentiranom dijelu.

**MTU (Maximum Transmission Unit)** se odnosi na veličinu (u bitovima) 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

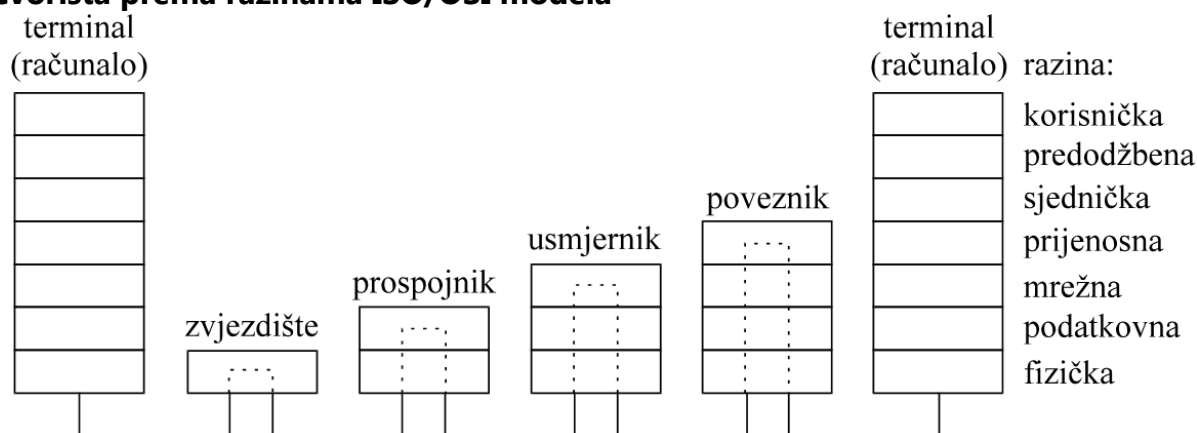
### Definicija ISO/OSI arhitekture



### Opis razina:

- **Fizička razina** definira sučelje između 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 prevođenje informacija s formata koji su standardni na mreži na format standardan na računalu.
- **Korisnička razina** poslužuje korisničke procese i mrežne usluge

### Čvorišta prema razinama ISO/OSI modela





## 7. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI

### 7.1. Svojstva protokola

- definicija komunicirajućeg 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.

Postoji velik broj uređaja različitih proizvođača. Da bi oni mogli uspješno komunicirati potrebno je **standardizirati** protokole.

**Vanjska specifikacija protokola** se odnosi 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 komunicirajući 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, prosljeđivanje
- objekti i organizacija adresiranja
- vrste adresa
- upravljanje adresama
- adresiranje po razinama

**Svrha adresiranja** je jednoznačna identifikacija korisnika. U zaglavlju PDU-a 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 i 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, 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 omogućava 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 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 koja 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 među 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.

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). Kontrola pogreški 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 nadređenih razina.

**Spojevn 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.

Da bi proces 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. Koriste se u kombinaciji s 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. 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 selektivnih potvrda. Kod **TCP interneta** se koriste

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

**Detekcija gubitka** je otežana zbog načina prosljeđivanja PDU-a. Kod mrežne razine s pojedinačnim prosljeđivanjem paketi mogu putovati velikim brojem puteva do odredišta, pa redoslijed 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 ili na osnovu zahtjeva prijavnika ili izostankom potvrde.

Kod **bespojnih** protokola podatkovne razine oporavak od pogreške se prepušta nadređenoj 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 ponuđeni promet veći od prijenosnog kapaciteta mreže. Tada dolazi do gubitka prometa i do smanjenja kvalitete usluge.

**Kontrolu zagušenja** provodimo kroz postupke:

- **Izbjegavanja 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).
- **Otklanjanja zagušenja** – ti postupci se aktiviraju kada mreža dođe u stanje zagušenja. Želimo da posljedice traju što kraće i da su ograničene na što manje područje.

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

Kod mreža s prospajanjem paketa značajno mjesto među mjerama izbjegavanja zagušenja imaju mehanizmi **kontrole toka** koji imaju zadatak prilagođavati 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).

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 među 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 je nejednolikog intenziteta ponuđenog prometa izvorišta i kašnjenja mehanizma kontrole toka. Manifestira se praskovima paketa. Izbjegava se uobličavanjem prometa, a uklanja 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

Kod mreža s prospajanjem kanala korisnik raspolaže s cijelim kapacitetom prospojenog kanala, pa je s te strane kvaliteta usluge zagwarantirana. Kvaliteta se, kod **analognih** sustava, mjeri kvalitetom kanala, tj. širinom pojasa i SNR-om, a kod **digitalnih** sustava brzinom prijenosa i vjerojatnošću pogreške.

Kod promatranja kvalitete usluge kod mreža sa prospajanjem paketa imamo 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 sami 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 mora za svaku vrstu prometa garantirati specifičnu kvalitetu usluge.

## 10. KONTROLA TOKA

### 10.1. Optimalna radna točka mreže

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

**Optimalna radna točka mreže** je vektor stanja svih elemenata mreže, koji omogućava optimalan odnos iskorištenja mreže i kakvoće usluge. Cilj je da se ponuđeni 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, oslobađajući 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

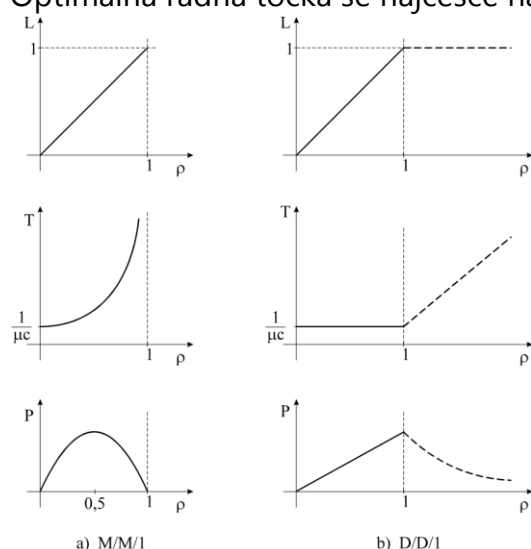
Motivacija je održati broj paketa u redu takvim da kašnjenje bude optimalno, a iskorištenje mreže visoko. Za analizu najčešće koristimo Markovljev (M/M/1) ili generalan (G/G/1) model. Značajan je D/D/1 (determinirani) model kao slučaj generalnog. Zbog velike varijance, M/M/1 model može poslužiti kao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

**Propusnost mreže** ( $L$ ) je broj paketa u jedinci vremena  $L = \frac{W}{RTT} = \frac{W}{T}$ . 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  $P = L/T$  [ $b / s^2$ ].

Optimalna radna točka se najčešće nalazi kao maksimum snage mreže.



Optimalna radna točka za M/M/1 je 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.
- **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 nadređene 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. Također 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.

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 izvorištu da je došlo do **zagušenja**. Čvorište može, unaprijednim selektivnim ili slučajnim odbacivanjem paketa, potencirati zagušenje i time obaviti funkciju kontrole toka mrežne razine.

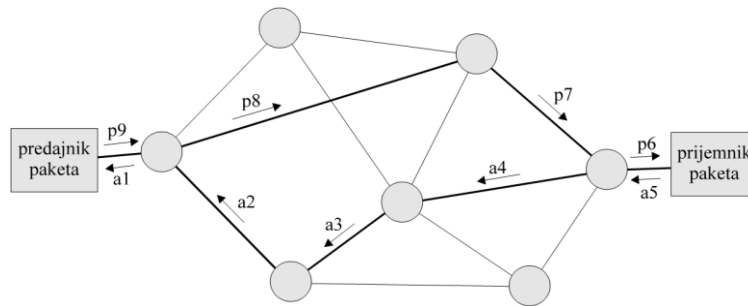
**Predajnici** pojavu zagušenja mogu detektirati eksplicitno (dojavom čvorišta) ili implicitno (mjerenjem parametara prijenosa). Nakon detekcije zagušenja predajnik mora smanjiti brzinu predaje koristeći algoritme predajnika.

#### 10.5. Dojava zagušenja

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

Predajnik 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 izvorištu. 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.



Predajnik šalje na mrežu prozor paketa, koji se rasporede po stazi. Paketi stižu do prijemnika, koji odmah, ili s malim zakašnjenjem šalje 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.  $W = k - j$

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.

$x_{n+1} = \alpha x_n + (1 - \alpha) m(n)$ ;  $m(n)$  trenutna izmjerena,  $x(n)$  stara vrijednost,  $x(n+1)$  sljedeća vrijednost.

## 10.6. Algoritmi predajnika

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

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.