



# RAČUNALNE MREŽE

---

Uvod

## **Arhitektura računalnih mreža**

Fizička razina

Podatkovna razina

Mrežna razina

Prevozna razina



# RAČUNALNE MREŽE

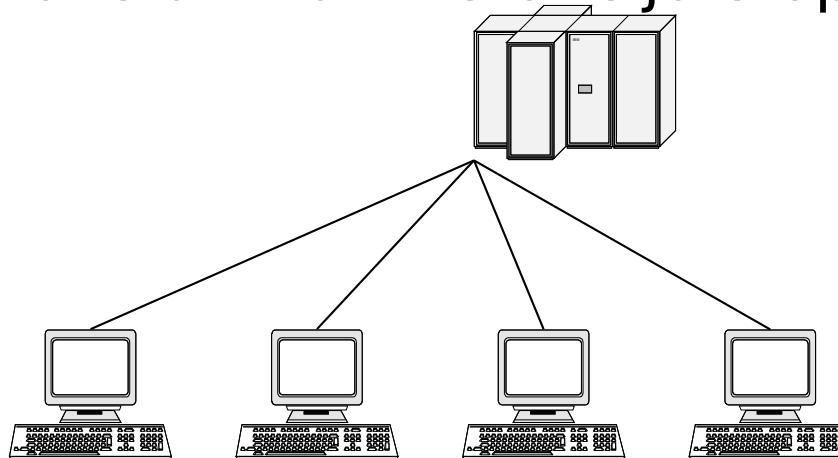
---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - Opća svojstva računalnih mreža
  - Elementi računalnih mreža
  - Hijerarhijski sustavi
  - Komunikacijski protokoli
  - Upravljanje prometom

# Podjela mreža prema elementima

- MREŽE TERMINALA

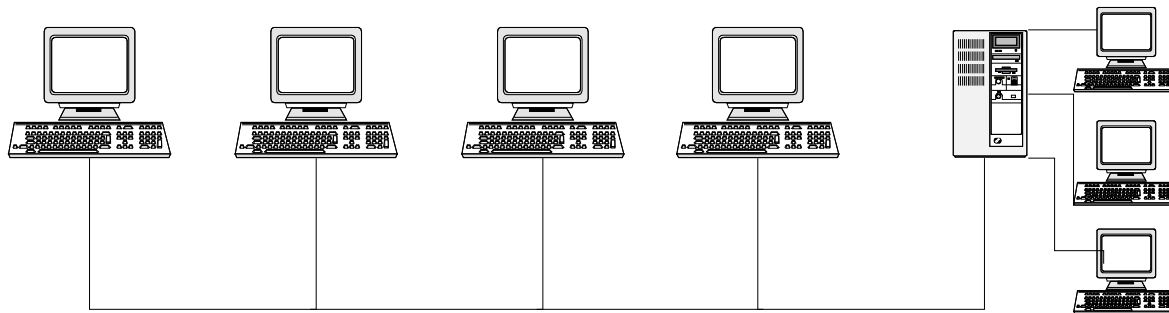
- osiguravaju vezu centralnog računala i terminala.
- sva obrada se obavlja na računalu
- terminal služi za interakciju s operaterom



# Podjela mreža prema elementima

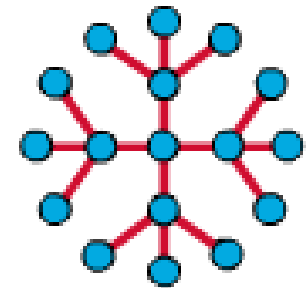
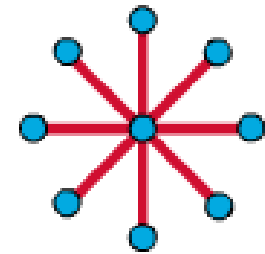
- MREŽE RAČUNALA

- čvorovi ove mreže su računala
- računala su izvorišta i odredišta prometa
- svako računalo uz sebe može imati mrežu terminala



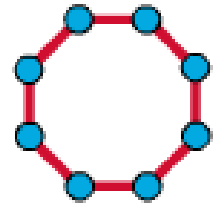
# Podjela mreža prema topologiji

- Zvezdasta mreža
  - Sav promet kroz jedan čvor
  - Osjetljivost na kvar jednog čvora
- Stablasta mreža
  - Hijerarhijska zvezdasta
  - niže zovemo podmrežama



# Podjela mreža prema topologiji

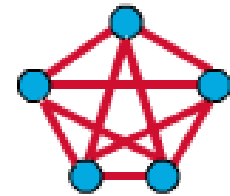
- Prstenasta mreža
  - Svako računalo spojeno na 2 susjeda
  - U modernim arhitekturama zbog otpornost na jednostruki prekid
- Sabirnička mreža
  - Višespojno povezivanje
  - Nema središnjeg čvora



# Podjela mreža prema topologiji

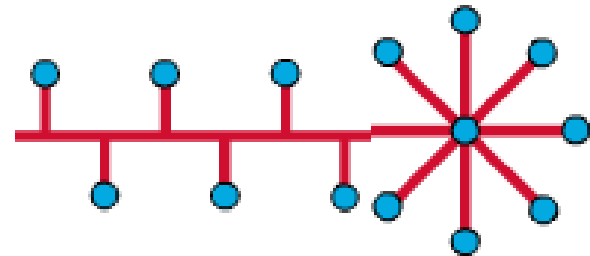
- Povezana (isprepletana) mreža

- Svako računalo spojeno sa svim ostalim
- Vrlo velika otpornost na pogreške



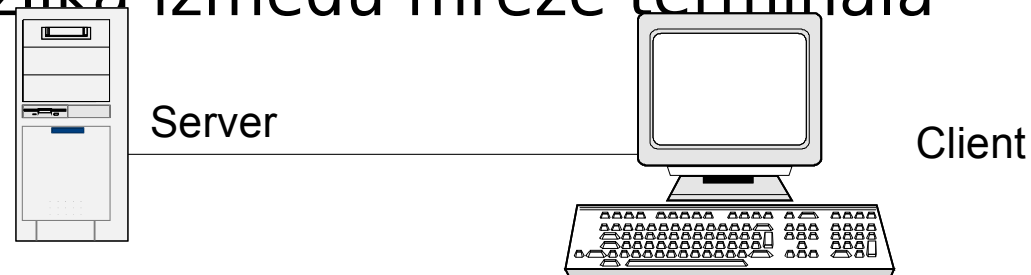
- Mreža mješovite topologije

- Nastaje kombinacijom elementarnih topologija



# Podjela mreža prema korištenju usluga

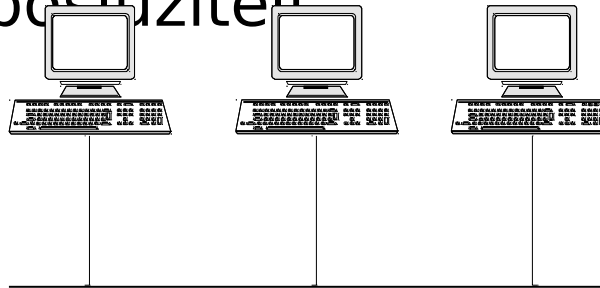
- Korisnik – poslužitelj (client-server)
  - poslužitelj daje uslugu računalu korisnika
  - dio se poslova obavlja na korisničkom računalu
  - Razlika između mreže terminala





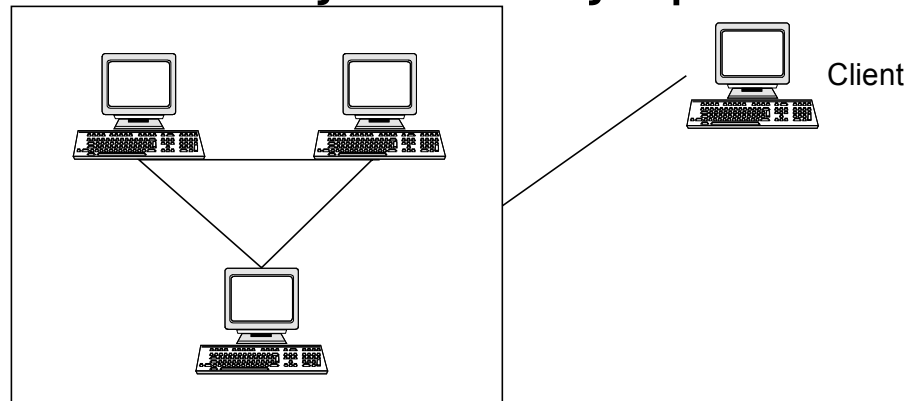
# Podjela mreža prema korištenju usluga

- Mreža sa ravnopravnim poslužiteljima
  - Računala su ravnopravna(peer to peer)
  - Svako računalo može biti istovremeno i korisnik i poslužitelj



# Podjela mreža prema korištenju usluga

- Mreža distribuiranom obradom
  - razvijaju se umjesto velikih centralnih računala
  - mogu biti dio mreže korisnik-poslužitelj ili mreže s ravnopravnim učesnicima
  - kod mreže korisnik-poslužitelj, mreža računala obavlja funkcije poslužitelja





# Podjela prema vlasništvu

---

- Privatne mreže
  - vlasnik samostalno upravlja i gradi mrežu
  - koristi za vlastite potrebe
  - vlasnik je elemenata mreže ili ih uzima u najam



# Podjela prema vlasništvu

---

## ■ Javne mreže

- vlasnik gradi mrežu radi pružanja usluge drugima
- vlasnik je elemenata mreže ili ih uzima u najam
- mora ishoditi koncesiju države
- upravlja mrežom s ciljem optimalnog iskorištenja i pružanja maksimalno moguće kakvoće usluge



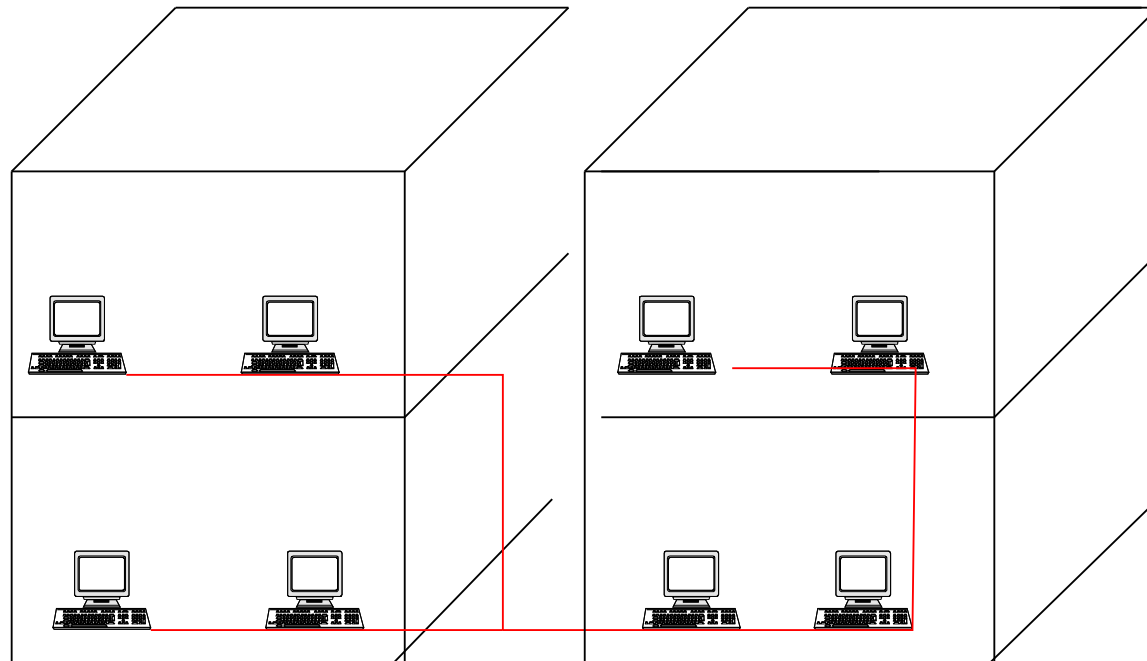
# Podjela prema vlasništvu

---

- Primjeri javnih mreže
  - MetroEthernet
  - Frame-relay
  - javne paketne mreže (X.25)
  - IP-Privatna mreža
  - Internet s ADSL ili MetroEthernet pristupom

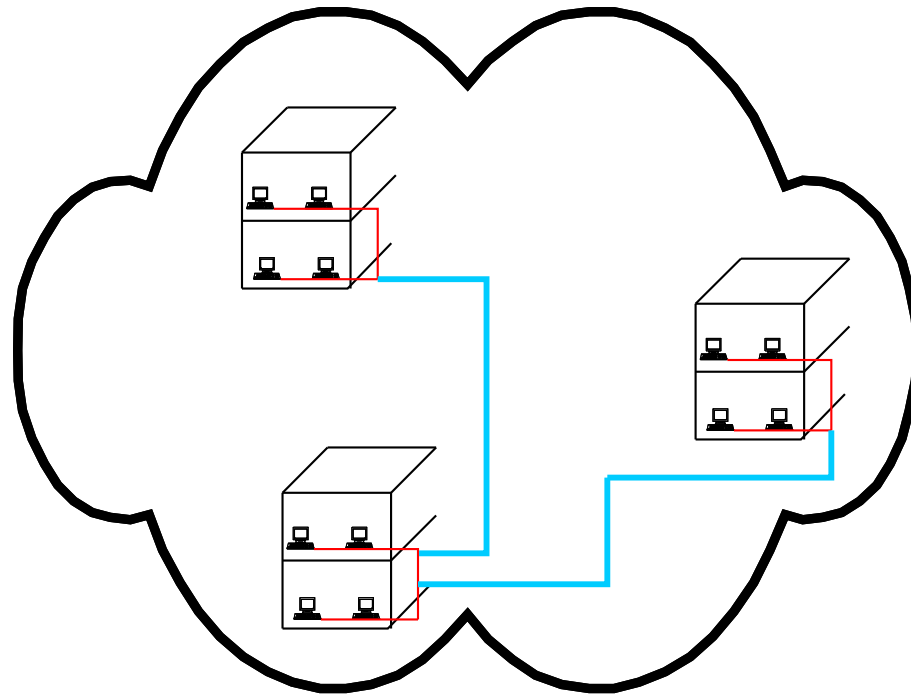
# Podjela prema obuhvatu područja

- Lokalne mreže (LAN)



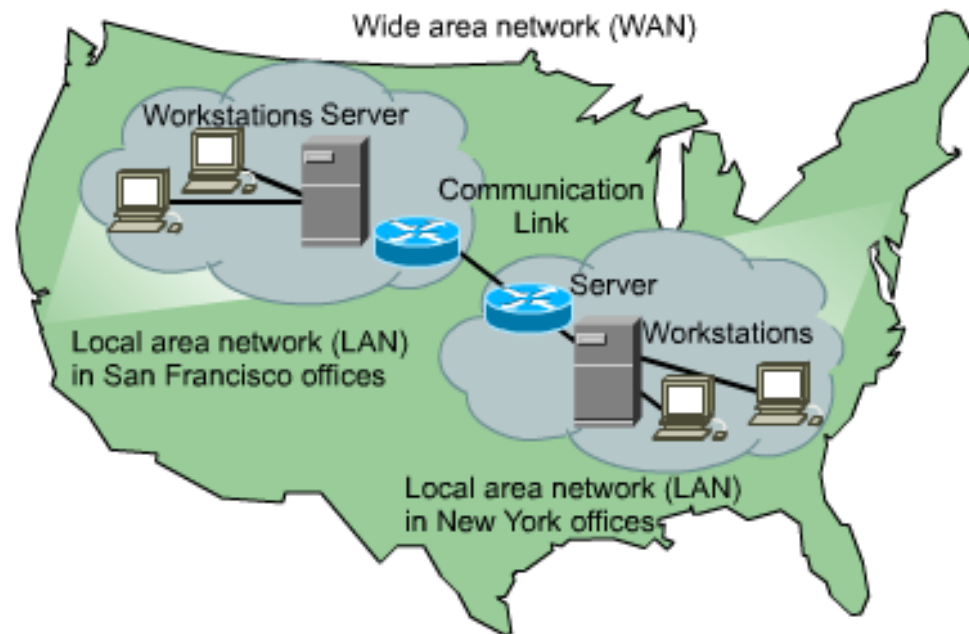
# Podjela prema obuhvatu područja

- Gradske mreže (MAN)



# Podjela prema obuhvatu područja

- Globalne mreže (WAN)







# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - Opća svojstva računalnih mreža
    - Sistematizacija mreža
    - **Osnovna svojstva mreže**
    - Vrste prospajanja (komutacije)
    - Osnovni standardi

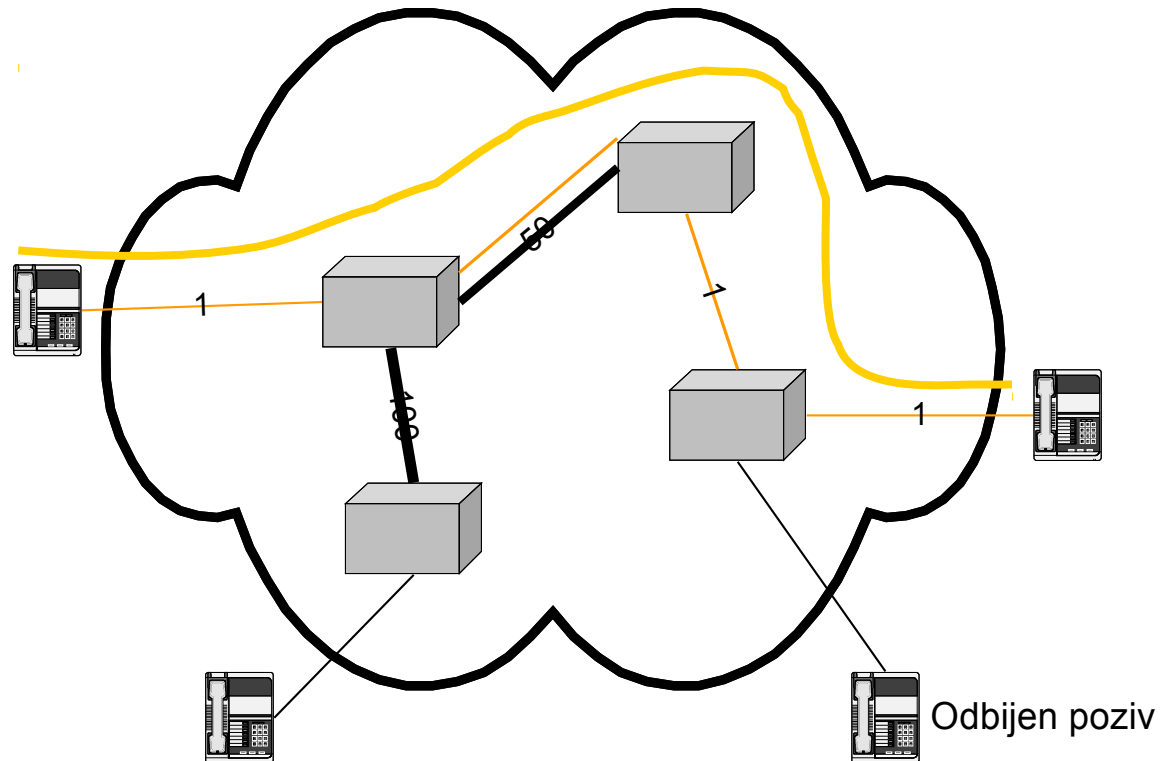


# RAČUNALNE MREŽE

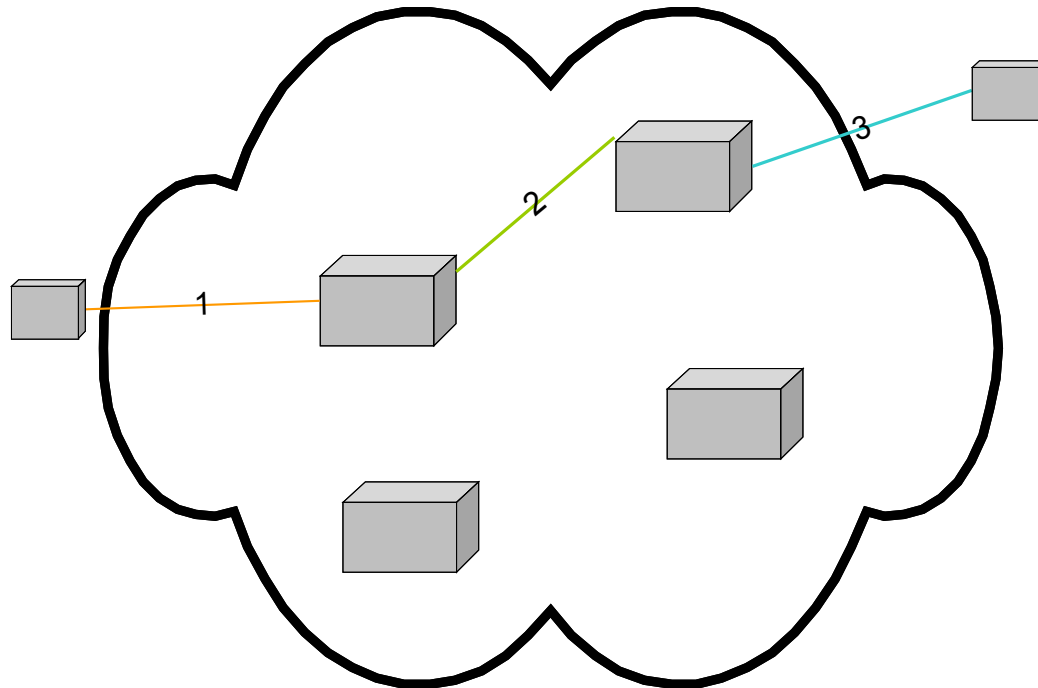
---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - Opća svojstva računalnih mreža
    - Sistematizacija mreža
    - Osnovna svojstva mreže
    - **Vrste prospajanja (komutacije)**
    - Osnovni standardi

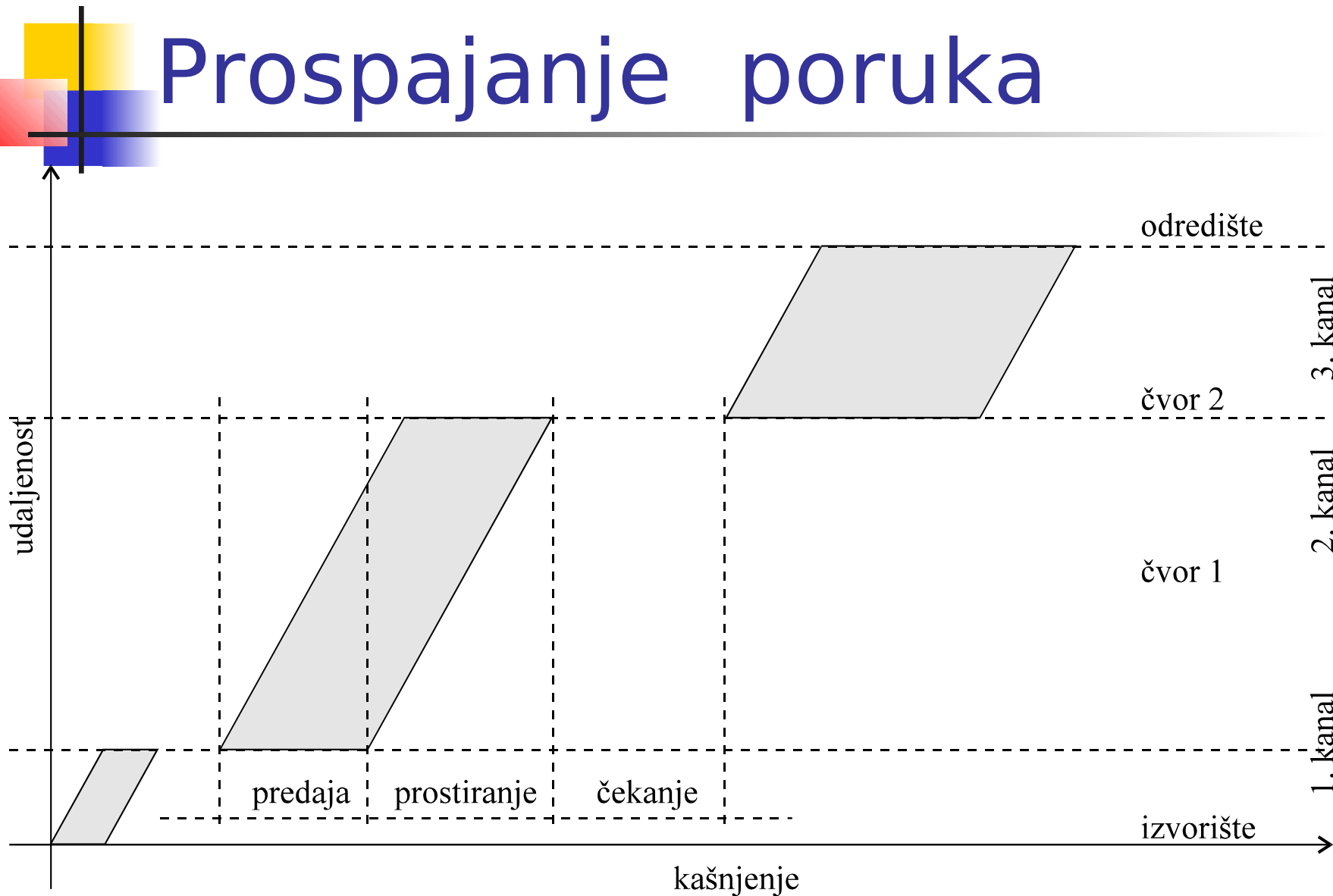
# Prospajanje kanala



# Prospajanje poruka



# Prospajanje poruka

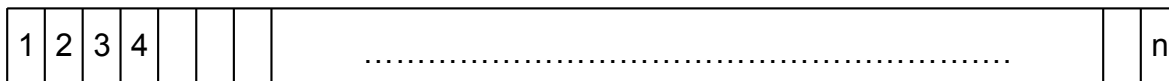




# Prospajanje paketa

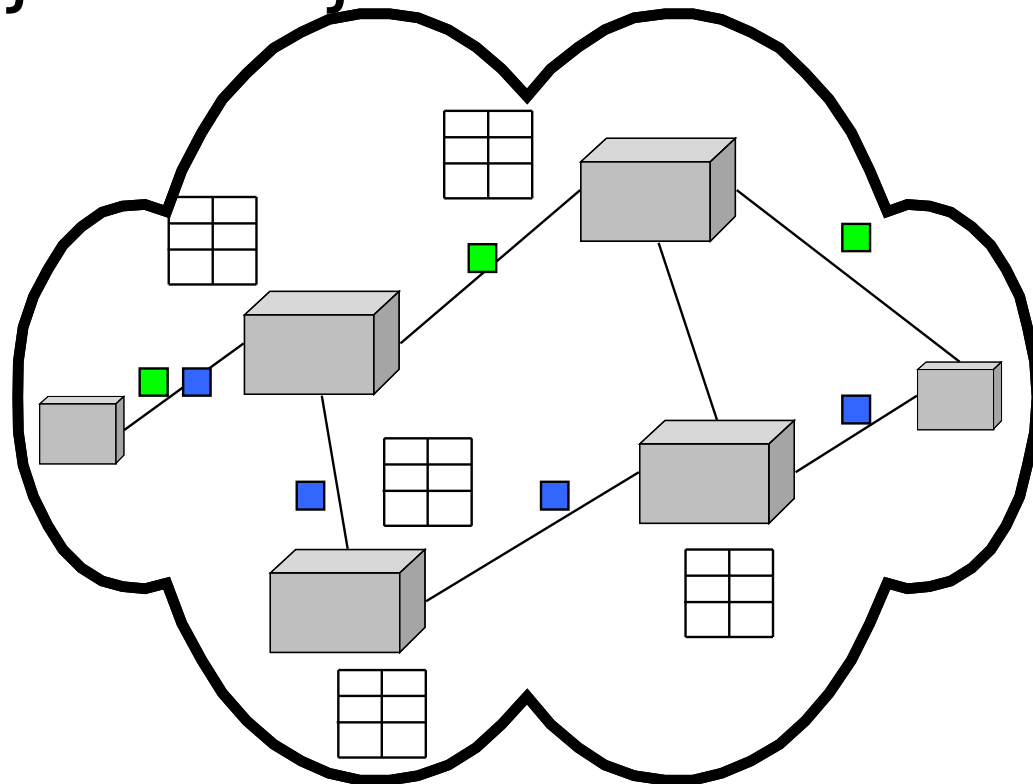
---

- Poruke se razbijaju na manje jedinice, pakete



# Prospajanje paketa

- Usmjeravanjem





# Prospajanje paketa

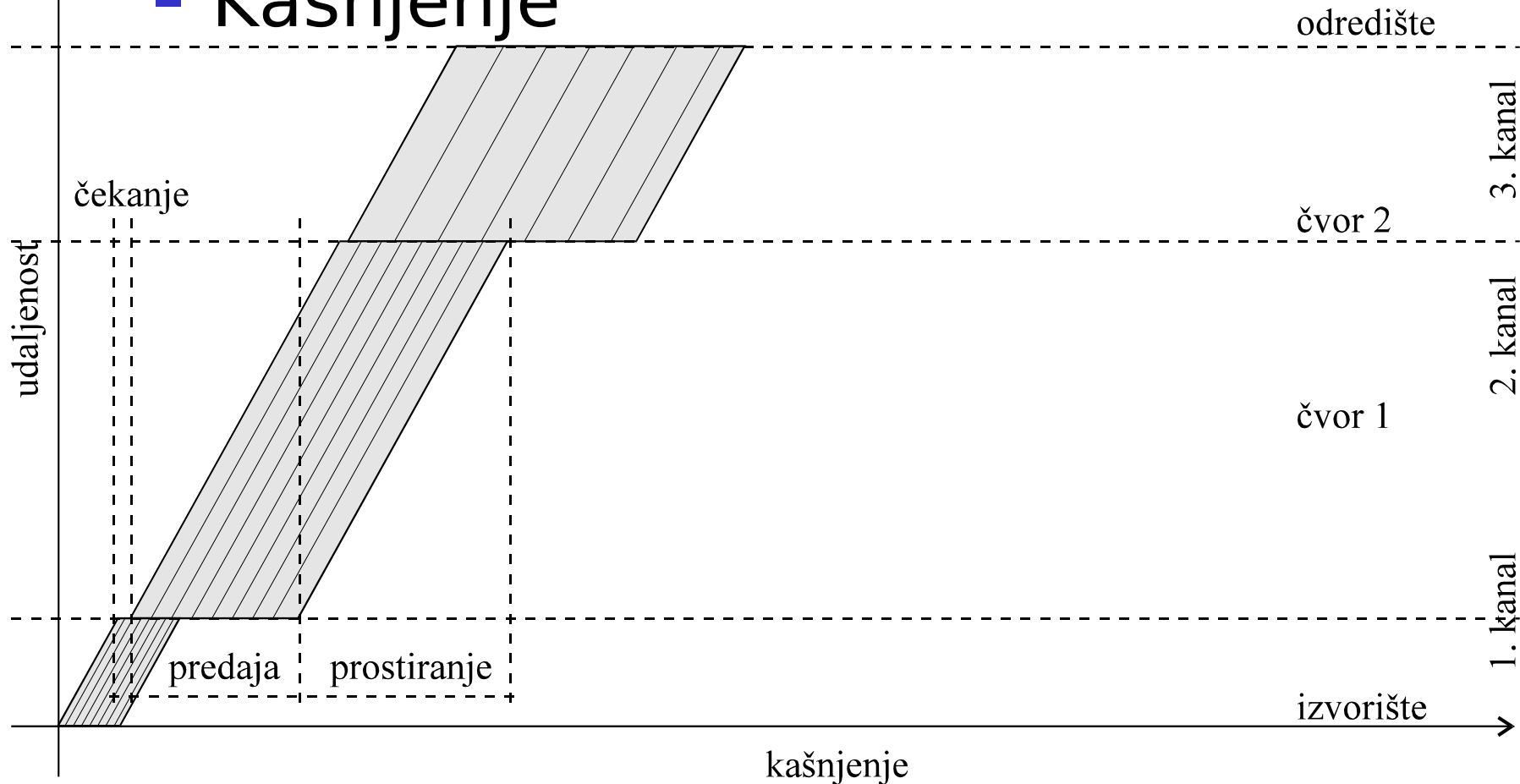
---

- Virtuelnim kanalom



# Prospajanje paketa

## ■ Kašnjenje





# Prospajanje paketa

---

- ATM

- ATM tehnologija se razvijala sa svrhom integracije prijenosa govora, multimedijских signala i podataka
- ATM mreža je zapravo mreža s prospajanjem paketa
- poruke korisnika dijele u male pakete fiksne duljine
- zovemo ih ćelije ili stanice (engl. cell)
- ćelije su dovoljno male (53 okteta = 5 okteta zaglavlja, od čega je 1 zaštite, + 48 okteta podataka)
- prospajanje se obavlja sklopovljem
- početno kašnjenje je maleno
- omogućen je prijenos govora



# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - Opća svojstva računalnih mreža
  - **Elementi računalnih mreža**
  - Hijerarhijski sustavi
  - Komunikacijski protokoli
  - Upravljanje prometom



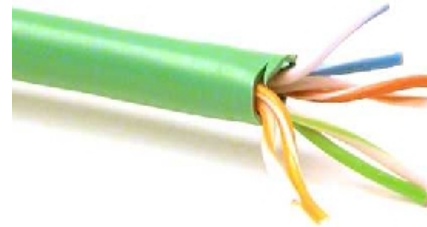
# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Elementi računalnih mreža**
    - **Kanali**

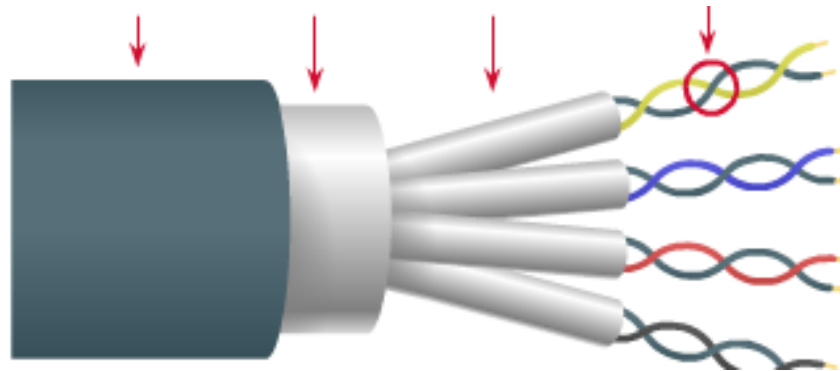
# Kanali

- Podjela kanala prema vrsti fizičkog medija
  - Parica (UTP)
  - Koaksijalni kabe



# Kanali



- Podjela kanala prema vrsti fizičkog medija
  - Oklopljena Parica (STP,FTP)





# Kanali

---

- Podjela kanala prema vrsti fizičkog medija
  - Optički vodovi
    - Jednomodni 
    - Višemodni 
  - Koristi FDDI, ATM, Ethernet



# Kanali

---

- Elektromagnetska zračenja
  - Infracrvena zračenja
  - Radio kanali
  - Satelitske veze





# Kanali

---

- Podjela kanala po načinu korištenja medija
  - Osnovni kanal (zauzeće cjelokupnog kapaciteta fizičkog voda ili medija)



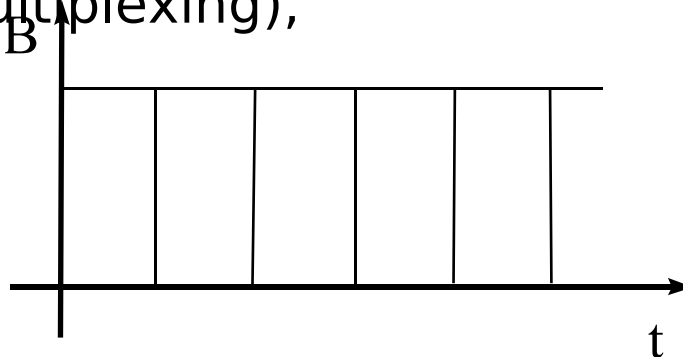
# Kanali

---

- Podjela kanala po načinu korišćenja medija
  - Izvedeni kanal
    - nastaju podjelom informacijskog volumena osnovnih kanala
    - pojedinom korisniku se dio kapaciteta osnovnog kanala može dodijeliti
      - Fiksno
      - varijabilno

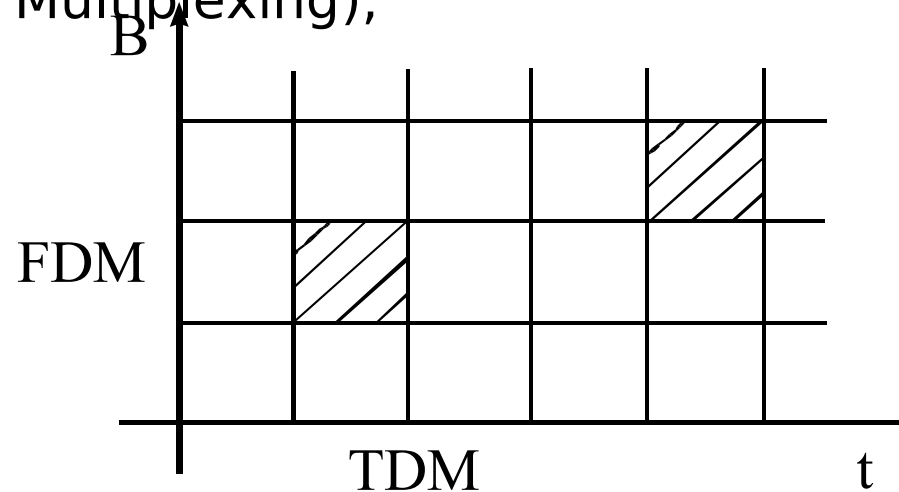
# Kanali

- Podjela kanala po načinu korištenja medija
  - Izvedeni kanal
    - pojedinom korisniku se dio kapaciteta osnovnog kanala može dodijeliti
      - kao dio vremena  $t$  (TDM, Time Domain Multiplexing),



# Kanali

- Podjela kanala po načinu korištenja medija
  - Izvedeni kanal
    - može se dodijeliti i
      - kao dio frekvencijskog opsega (FDM, Frequency Domain Multiplexing),
      - kombinirano





# Kanali

---

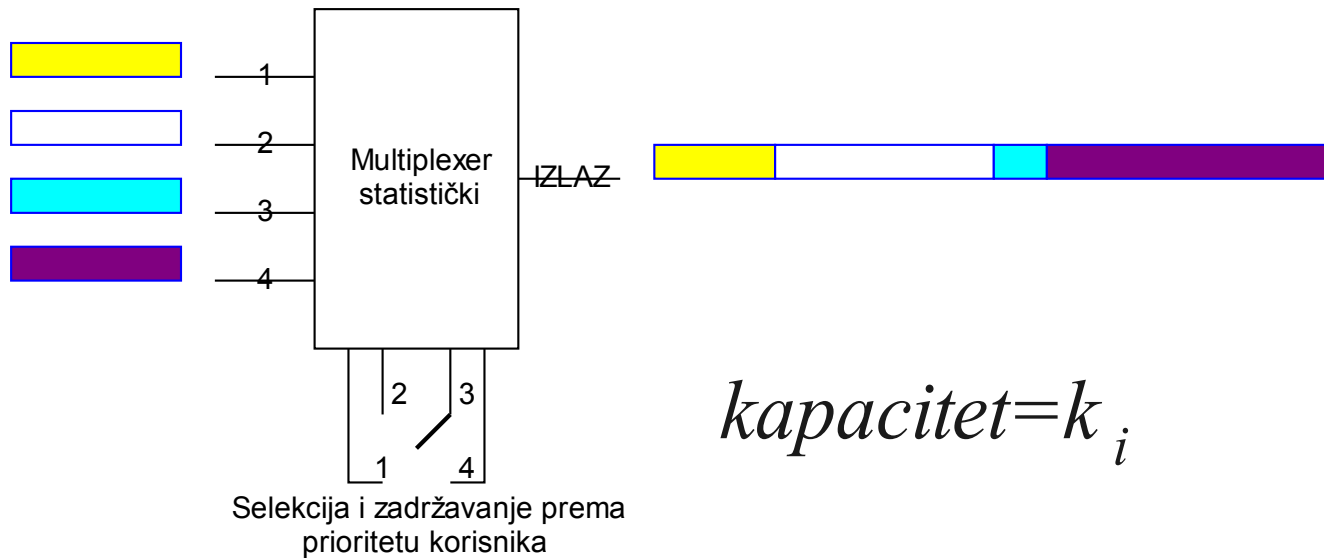
- Fiksno multipleksiranje

$$kapacitet \geq \sum_i k_i$$

- $32 \times 64 \text{ kb/s} = 2,048 \text{ Mb/s}$  (PCM)

# Kanali

- Statističko multipleksiranje





# Kanali

---

## Koncentrator

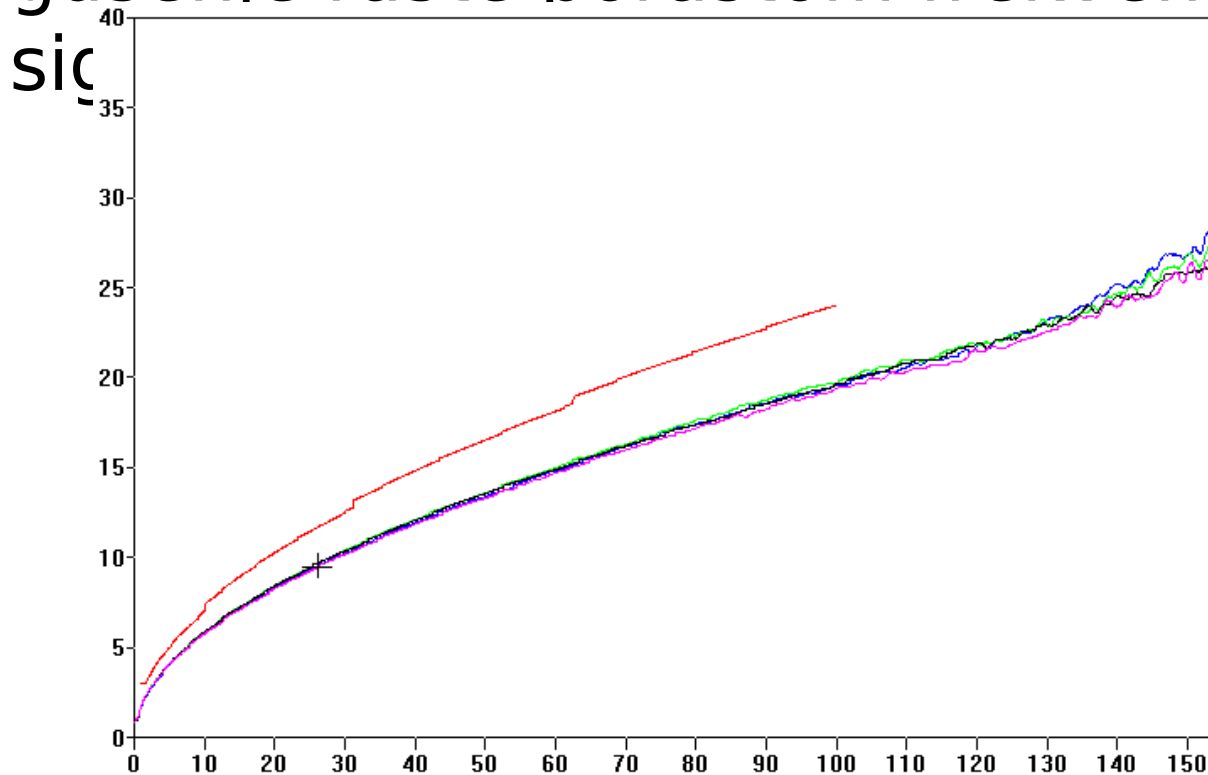
- specifična vrsta statističkog multipleksiranja
- koristi se kod prospajanja kanala
- koncentrator koristi povremenu aktivnost telefona (slično povremenoj aktivnosti terminala)
- kapacitet izlaznog medija je znatno manji od kapaciteta ulaznih medija
- princip "tko prvi dođe, prvi je poslužen"
- nova se veza ne može uspostaviti kad se neki od kanala oslobodi raskidom postojeće

$$kapacitet < \sum_i k_i$$

# Kanali

## ■ Kapaciteti kanala

- gušenje raste porastom frekvencije

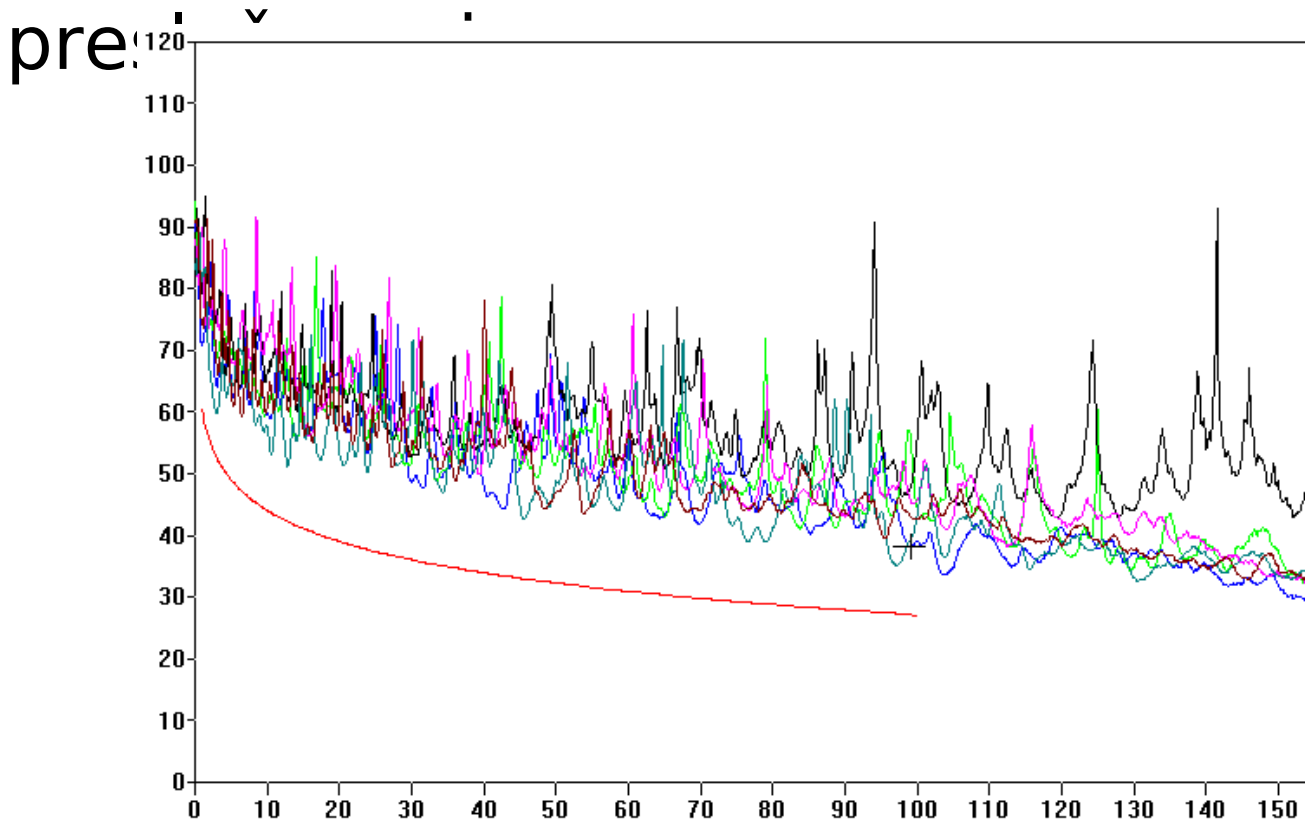




# Kanali

## ■ Kapaciteti kanala

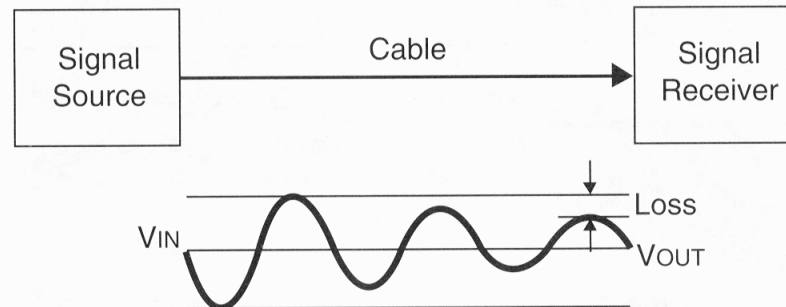
- U realnosti i drugi problemi, kao



# Kanali

## Kapaciteti kanala

- postoji neka gornja upotrebljiva frekvencija  $B$



- Ona se može obnoviti ako postoji  $2B$  uzoraka u sec



# Kanali

---

## Kapaciteti kanala

- Ako se signal prenosi sa R diskretnih razina, vrijedi:

$$k = B \cdot \lg R$$

- najveći mogući kapacitet kanala širine pojasa B iznosi

$$k_{\max} = 2B (\lg R) [b/s]$$

- Za telefonski kanal B=3000 i R=2 (dvorazinski)

$$k = 2 * 3000 * \lg 2 = 6000 [b/s]$$



# Kanali

---

- Kapaciteti kanala

- Kašnjenje

- $0,6 * C + \text{kašnjenja u sustavu (AD pretvorba i sl)} \rightarrow$   
ukupno je to BDP (Bandwidth Delay Product).  
Predstavlja broj bita uskladištenih na kanalu



# Kanali

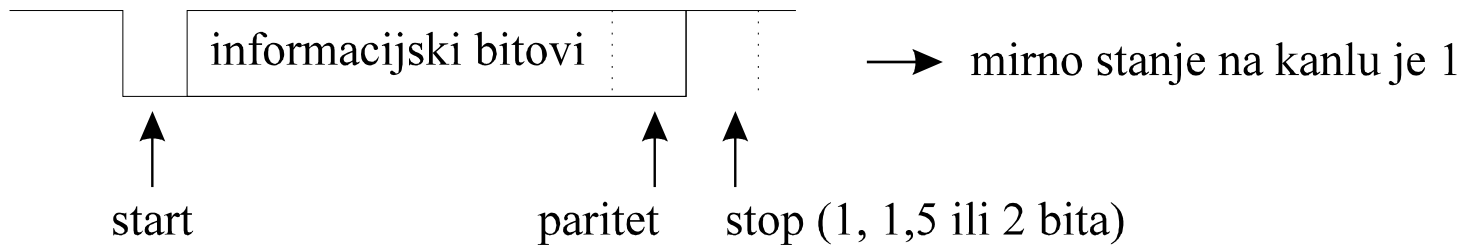
---

- Kapaciteti kanala
  - Sinkronizacija
    - Asinkroni prijenos
    - Sinkroni prijenos

# Kanali

## Kapaciteti kanala

- Sinkronizacija
  - Asinkroni prijenos



- unaprijed se dogovara brzinu prijenosa
- zbog kratkoće poruke dozvoljeno je nekoliko postotaka odstupanja
- istovremeno osigurava sinkronizaciju po bitu i po oktetu (znaku)



# Kanali

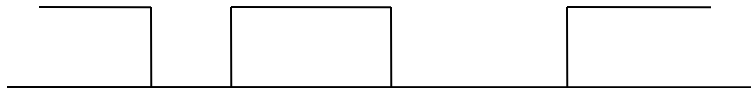
---

- Kapaciteti kanala

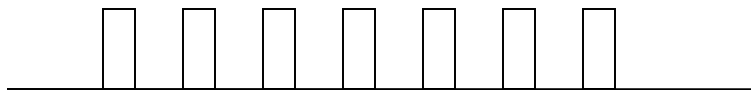
- Sinkronizacija

- Sinkroni prijenos

- sinkroni prijenos osigurava samo sinkronizaciju po bitu



Data



Sinkronizacija



# Kanali

---

- Smijer prijenosa
  - **Dvosmjerni kanal** (duplex)
  - **Obosmjerni kanal** (half duplex)
  - **Jednosmjerni kanal** (simplex)





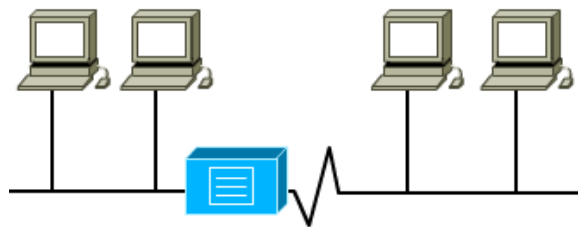
# RAČUNALNE MREŽE\*

---

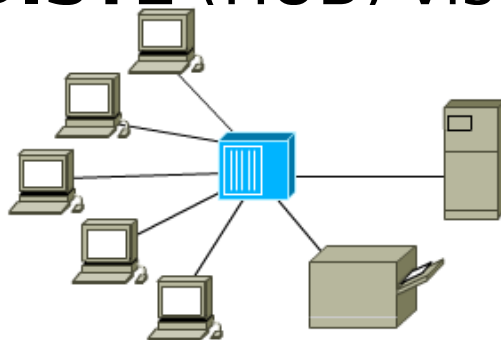
- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Elementi računalnih mreža**
    - **Čvorišta mreža**
      - Obnavljač (Repeater), zvjezdište (HUB)
      - Premosnik (Bridge), prospojnik (Switch)
      - Usmjerenik (Router)
      - Poveznik (Gateway)

# Čvorišta mreža

- Uređaji na fizičkoj razini
  - po razini na kojoj rade
    - **OBNAVLJAČ** (Repeater) dva priključka

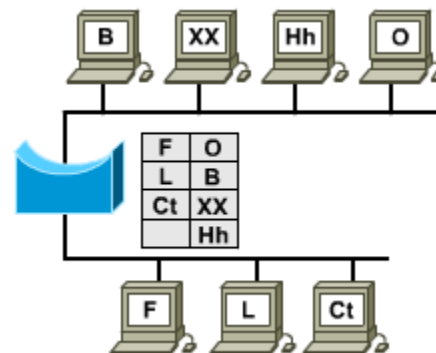


- **ZVJEZDIŠTE** (HUB) više priključaka

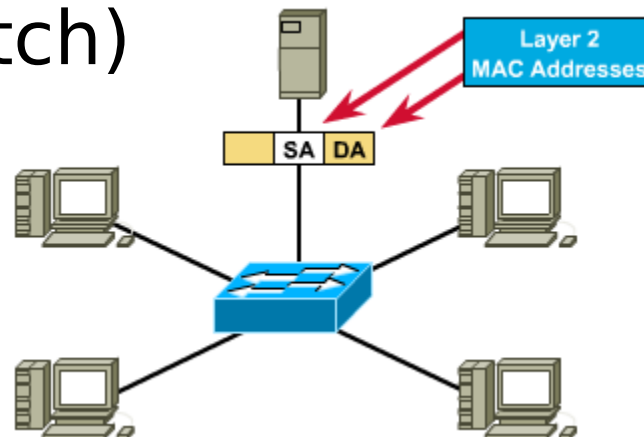


# Čvorišta mreža

- Uređaji na podatkovnoj razini
  - Premosnik (Bridge)



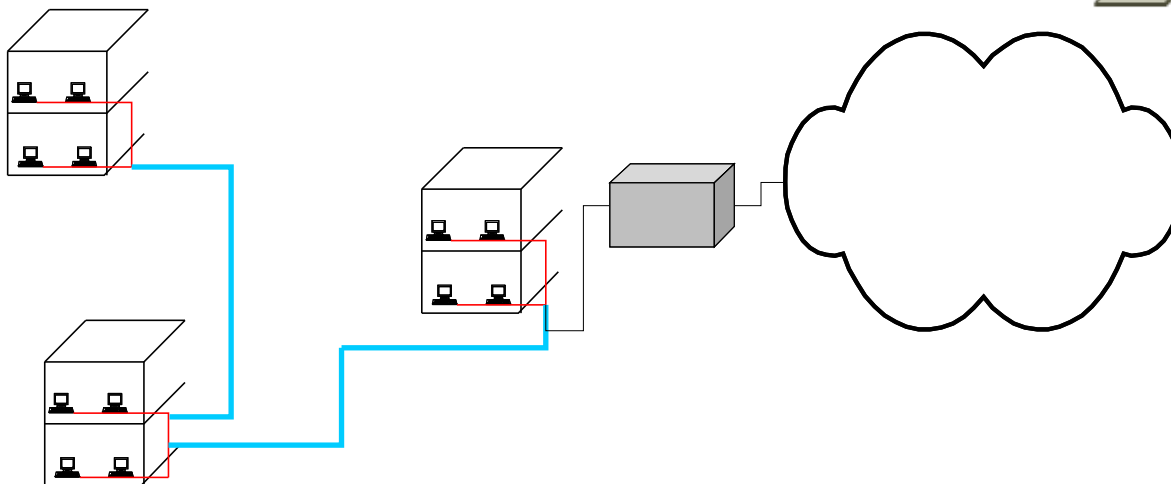
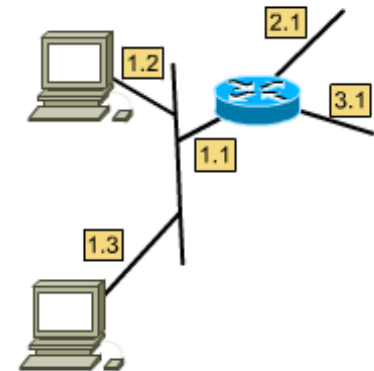
- Prospojnik (Switch)



# Čvorišta mreža

- Uređaj na mrežnoj razini
  - Usmjerenik (Router)
  - Poveznik (Gateway)

Network	Host
1	1
	2
	3
2	1
3	1





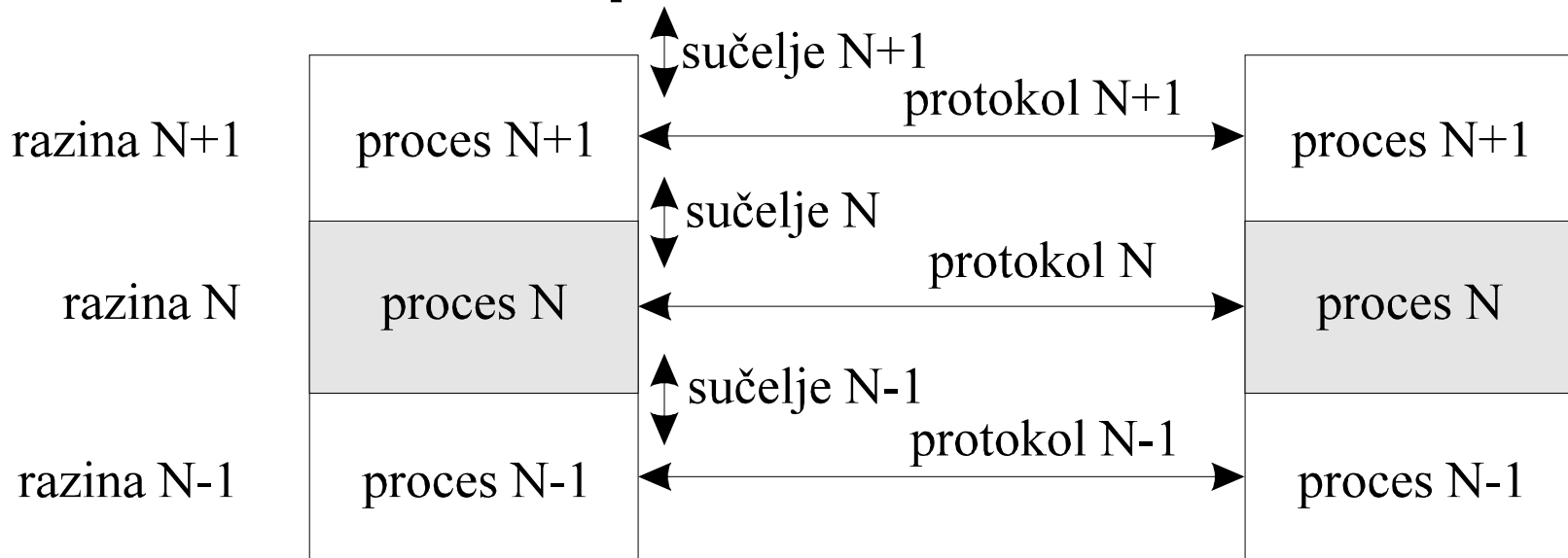
# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Elementi računalnih mreža**
    - **Terminali mreže**
      - **Svaki krajnji mrežni uređaj**
      - **Mogu biti računala i terminali (računala mogu biti i čvorovi)**

# RAČUNALNE MREŽE

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Koncept razine**





# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Koncept Sučelja**



# Koncept sučelja

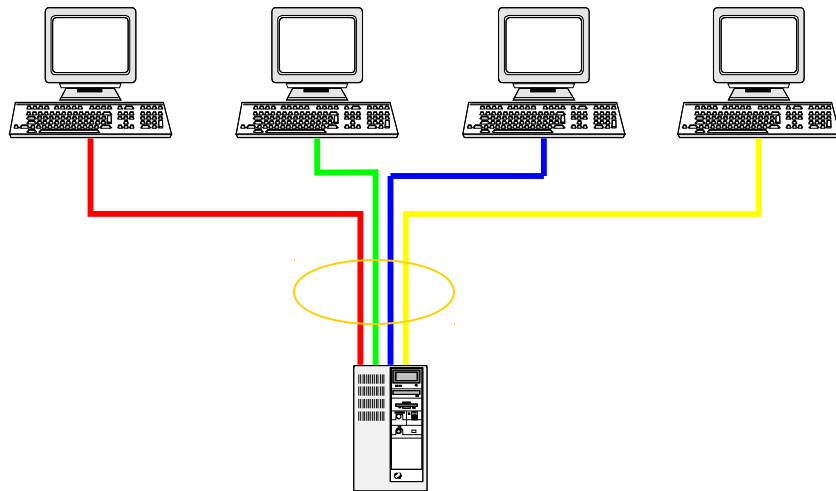
---

- omogućava
  - komunikaciju među procesima susjednih razina
  - unutar istog uređaja
- sučelja su načelno dvosmjerna
- svaka razina komunicira preko dva sučelja
  - preko "gornjeg" prema nadređenoj razini
  - preko "donjeg" prema podređenoj razini



# Koncept sučelja

- Identifikacija tokova preko SAP (service access point)
- Pristupna točka može biti fiksna (HTTP,FTP;....)ili dinamička





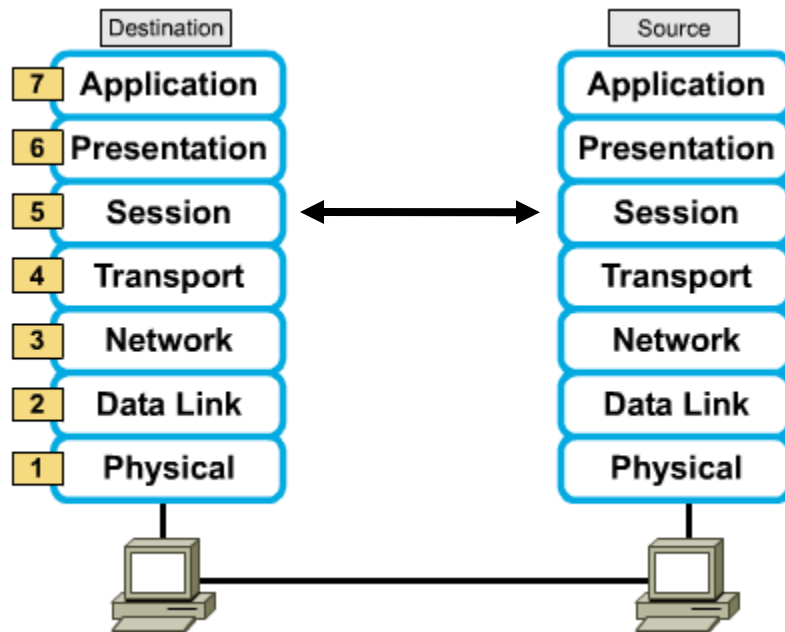
# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Koncept Protokola**

# Koncept Protokola

- osnovni način standardizacije komunikacijskih sustava.

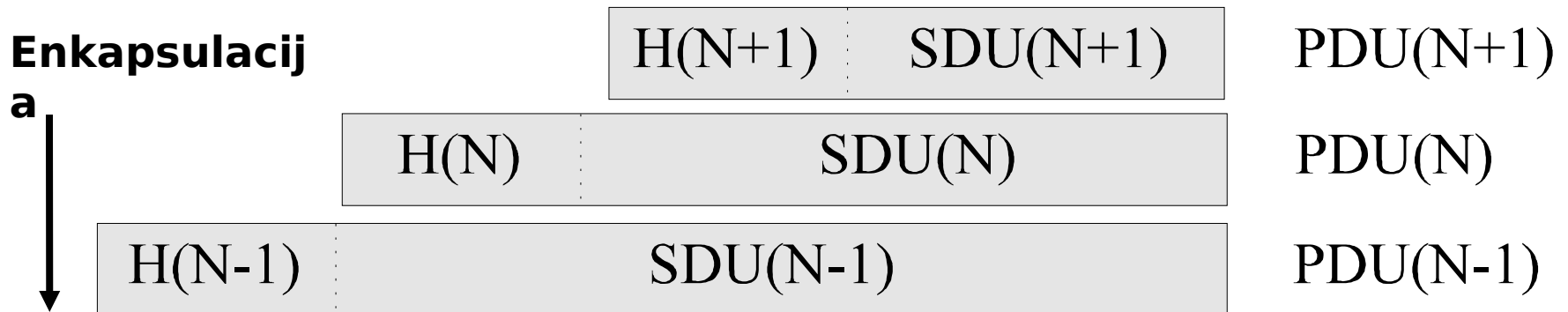




# RAČUNALNE MREŽE

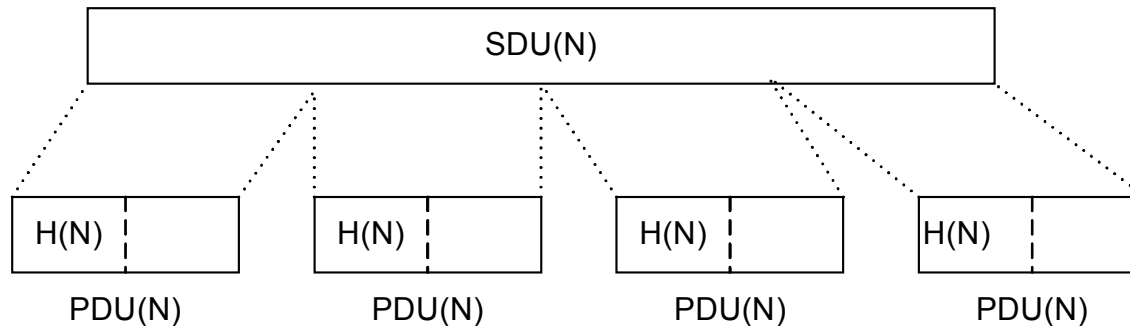
---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Koncept zaglavlja**
      - **SDU - service data unit**
      - **PDU - protocol data unit**



# RAČUNALNE MREŽE

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Fragmentacije**





# Koncept fragmentacije

---

- **Fragmentacija nepoželjna:**
  - dijeljenje PDU povećava opterećenje čvorišta funkcijama usmjeravanja
  - detekcija pogreške i gubitka PDU je otežana
  - gubitak jednog fragmenta može značiti gubitak čitavog PDU
  - kod mreža s pojedinačnim usmjeravanjem paketa
    - redosljed pristizanja nije zagarantiran
    - čvorište mora dosta dugo čekati na izgubljeni fragment
    - tek tada donosi konačnu odluku da je čitavi PDU izgubljen



# Koncept fragmentacije

---

- **Fragmentacija nužna**
  - kod preuzimanja cjelovite poruke korisnika
  - kod paralelno - serijske pretvorbe na mediju
  - korisnikovu poruku nastojimo odmah podijeliti
    - na onolike dijelove koji bez daljnje fragmentacije mogu proći kroz mrežu
  - npr. kod Interneta
    - predajnik pokušava odrediti maksimalnu duljinu fragmenta MSS (Maximum Segment Size)
    - za to se koristi posebni postupak (protokol)

# RAČUNALNE MREŽE



---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Jedinice informacije**
      - bit
      - oktet
      - okvir
      - paket
      - segment, datagram
      - poruka





# Jedinice informacije

---

- **Bit**

- je najmanja jedinica informacije
- prenosimo ga na fizičkoj razini
- Razlika bit – signalni element
- svaki signalni element nosi jedan ili više bita
- signal na kanalu može biti oblikovan tako da osim signalnih elemenata prenosi i taktni signal (sinkroni prijenos).



# Jedinice informacije

---

- **oktet** (znak, bajt)
  - je najmanja kodna riječ, kojom baratamo kao cjelinom
  - sve veće PDU pamtimo u memoriji kao niz okteta
  - danas se je ustalilo korištenje okteta (bajta) zbog organizacije memorije računala
  - kod asinkronog prijenosa, sinkronizacija po oktetu obavlja se na fizičkoj razini
  - kod sinkronog sinkronizacija po oktetu obavlja se na podatkovnoj
  - oktet se nekad obrađuje na fizičkoj, a nekad na podatkovnoj razini,
  - u oba slučaja obrađuje se sklopovljem



# Jedinice informacije

---

- **okvir** (blok)

- je osnovni PDU podatkovne razine
- sastoji se od više okteta (znakova)
- početak okvira je određen sinkronizacijskom sekvencom
- sinkronizacijsku sekvencu zovemo **okvirni znak**
- okvir je najmanji PDU koja ima vlastito zaglavlje
- u procesu predaje,
  - okvir se iz memorije prenosi oktet po oktet na serijski vezni sklop, gdje se obavlja paralelno-serijska pretvorba.
- u prijemnom smjeru
  - postupak je obrnut.
  - obavlja se provjera adrese odredišta i cjelovitosti okvira.
  - u slučaju oštećenja, okvir se odbacuje



# Jedinice informacije

---

## ▪ paket

- je osnovni PDU mrežne razine,
- njime se obavlja promet s kraja na kraj mreže
- obavezno sadrži identifikaciju odredišta
  - bilo njegovu punu (globalnu) globalnu adresu
  - ili indikator virtualnog kanala
- paket se nastoji prenijeti jednim okvirom podatkovne razine (izbjegavanje fragmentacije)
- tada nije potrebna posebna sinkronizacija po paketu
- ukoliko paket fragmentiramo potrebno je označiti okvire koji čine cjeloviti paket



# Jedinice informacije

---

- **segment i datagram**

- su osnovni PDU prijenosne razine.
- termin **segment** koristimo za dio veće korisnikove poruke
- termin **datagram** koristimo za kratku zasebnu poruku
- nastojimo jedan segment ili datagram prenijeti jednim paketom



# Jedinice informacije

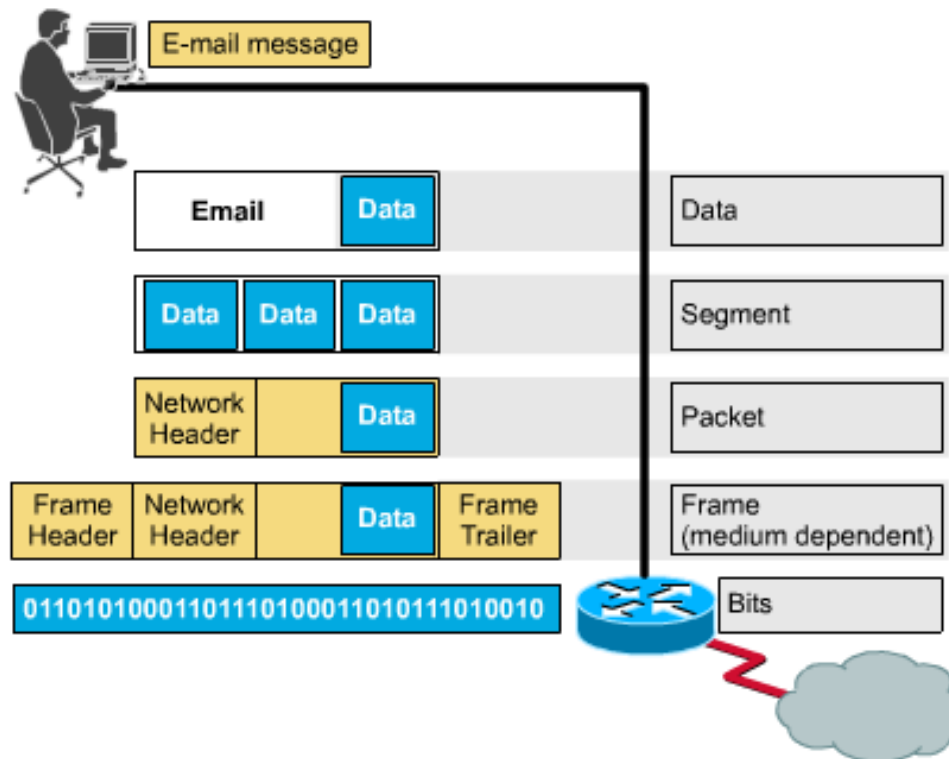
---

- **poruka korisnika**

- je najveći PDU, formira ga proces korisnik komunikacije:
  - kratka poruka u interaktivnom radu
  - blok podataka koji čini odaziv neke baze podataka
  - datoteka s podacima ili programom
  - neki multimedijski element, samostalan ili kao dio WEB stranice
- veće poruke fragmentiramo na segmente
- biramo duljinu segmenta koja prolazi kroz mrežu bez potrebe za daljim fragmentiranjem
- poruka se dostavlja kao cjelina, ili u dijelovima
- veličina dijelova ovisi o kapacitetu memorije, mora biti veća od optimalne veličine segmenta

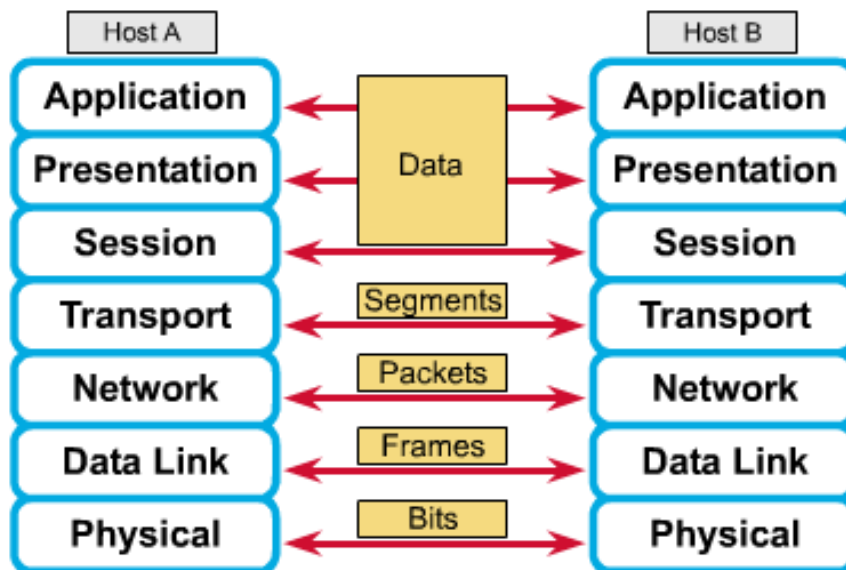
# RAČUNALNE MREŽE

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hiierarhiiski sustavi**



# RAČUNALNE MREŽE

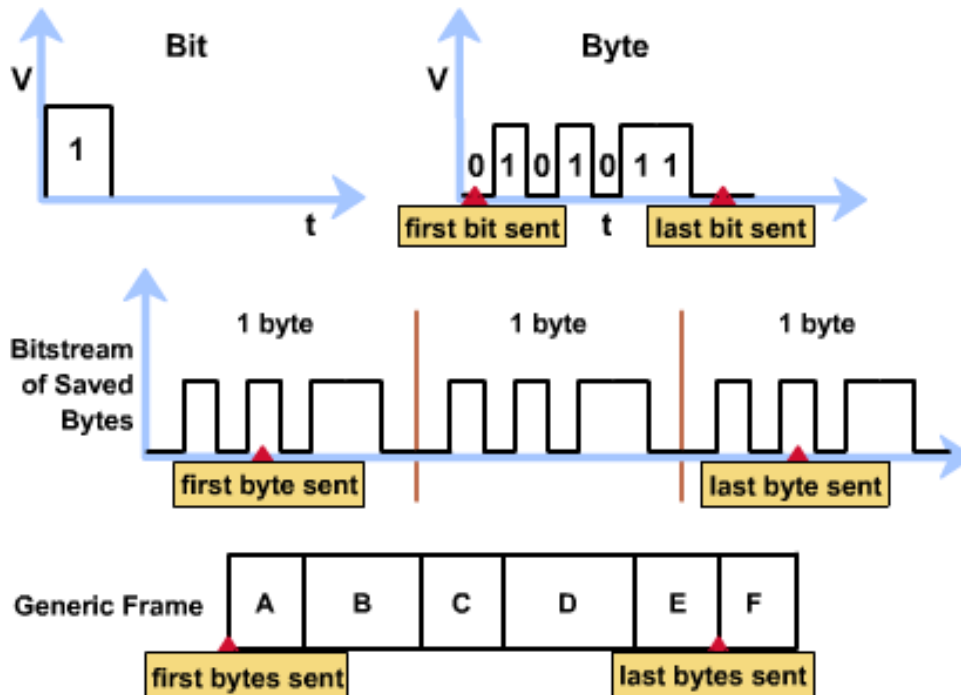
- Arhitektura računalnih mreža
  - Hijerarhijski sustavi





# RAČUNALNE MREŽE

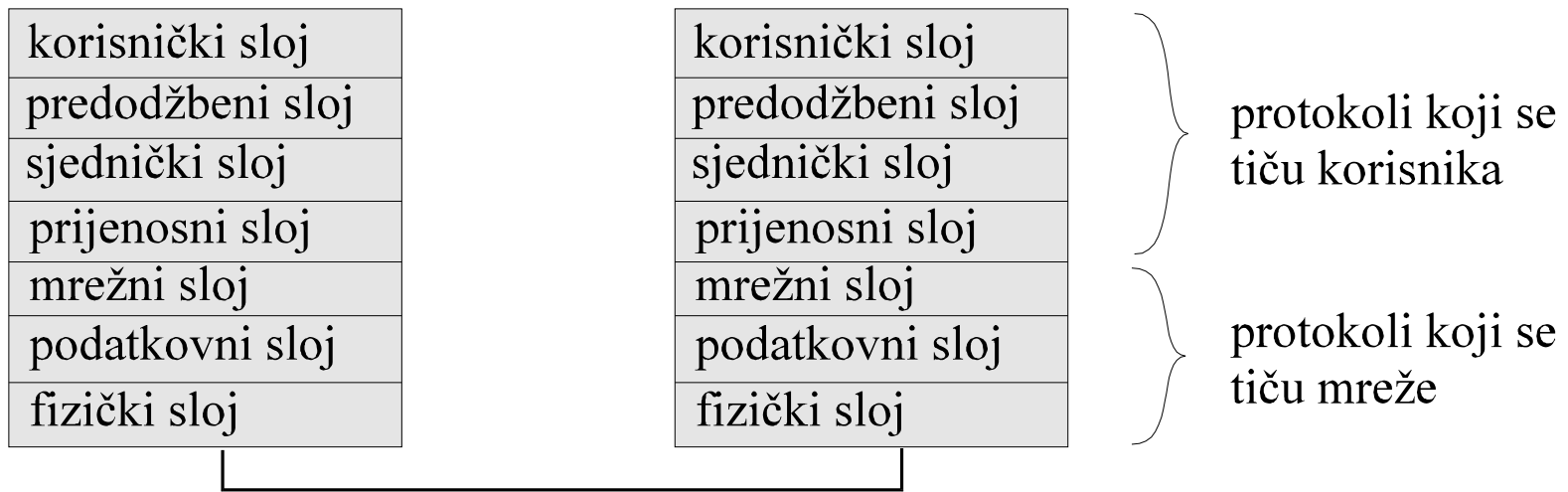
- Arhitektura računalnih mreža
  - Hijerarhijski sustavi
    - Bits - byte





# RAČUNALNE MREŽE

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Hijerarhijski sustavi**
    - **Referentna ISO-OSI arhitektura**





# Referentna ISO-OSI arhitektura

---

- **Fizička razina**

- definira sučelje između računala i medija kojeg koristimo za prijenos
- specificiraju se
  - električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike
  - kabela, konektora i signala,
  - kako bismo uređaj standardno mogli priključiti na kanal
- Ostvaruje se sinkronizacija
  - po bitu (sinkroni prijenos)
  - po bitu i oktetu (asinkroni prijenos)



# Referentna ISO-OSI arhitektura

---

- **Podatkovna razina**
  - neposredno nadzire fizičku razinu
  - upravlja vezom ostvarenom na mediju (jednospojnom ili višespojnom)
  - ostvaruje se sinkronizacija
    - po okviru (sinkroni prijenos)
    - po oktetu i okviru (asinkroni prijenos)



# Referentna ISO-OSI arhitektura

---

- **Mrežna razina**

- osigurava prijenos poruke sa kraja na kraj mreže
- pakete usmjerava i prosljeđuje kroz mrežu

- **Prijenosna razina**

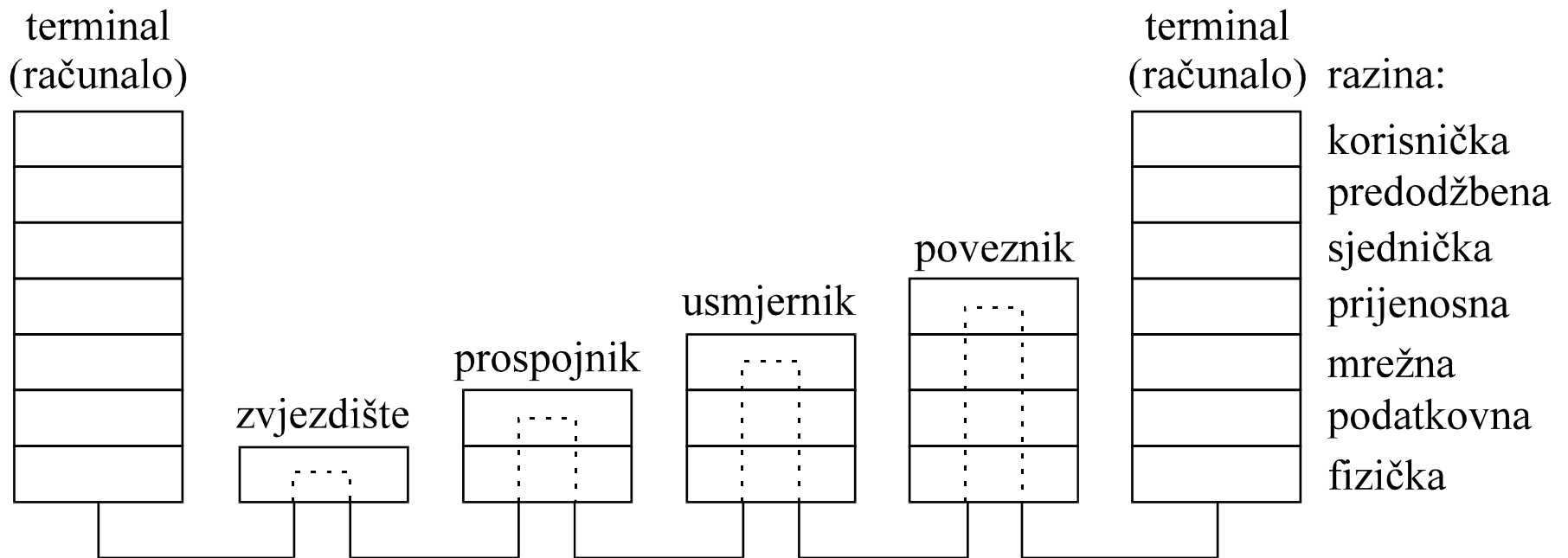
- osigurava vezu od korisnika do korisnika
- obavlja se kontrola pogreški i kontrola toka

- **Sjednička razina**

- provjerava cjelovitost poruke
- isporučuje poruku na pravo odredište unutar računala
- provjerava ovlasti pristupa uslugama (sigurnost)

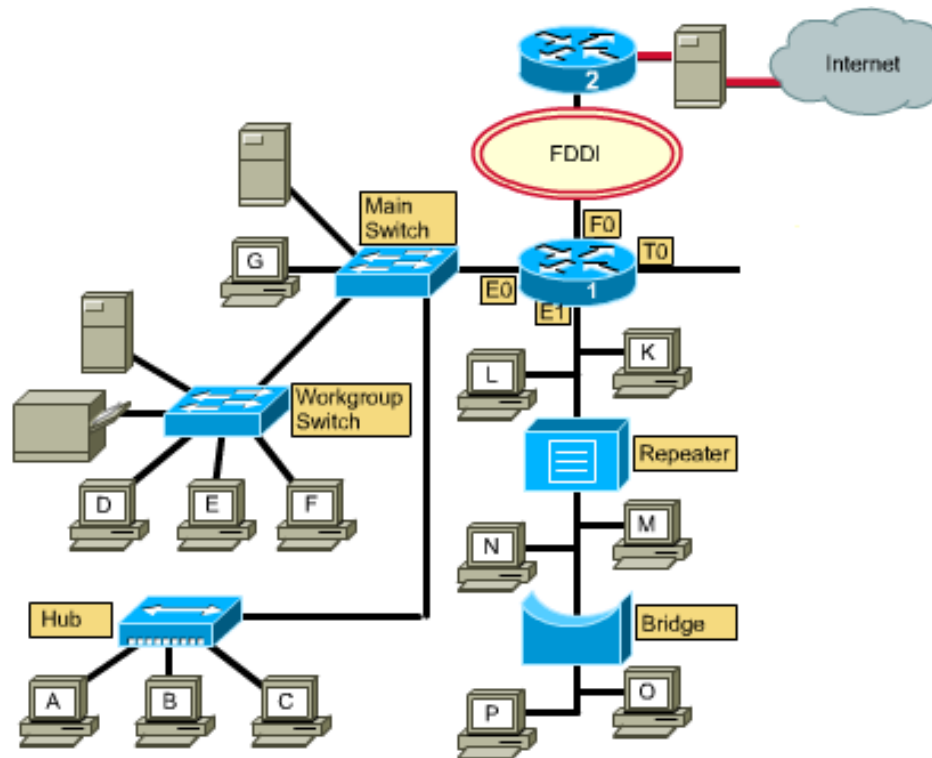
# Referentna ISO-OSI arhitektura

## ▪ Funkcije čvorišta po razinama



# Referentna ISO-OSI arhitektura

- Funkcije čvorišta po razinama





# RAČUNALNE MREŽE

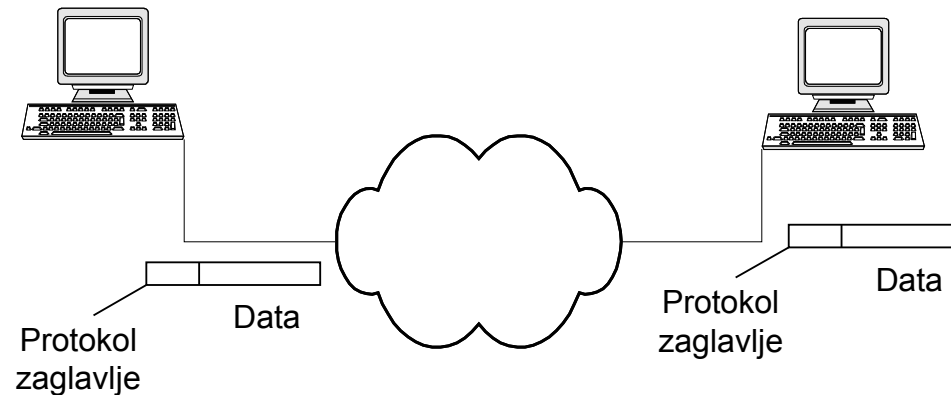
---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Komunikacijski protokoli**
    - **Općenito**
    - **Adresiranje**
    - **Sinkronizacija**
    - **Kontrola pogreški**
    - **Kontrola toka kao mehanizam protokola**



# Komunikacijski protokoli

- skup pravila po kojima procesi iste razine razmjenjuju jedinice informacije, PDU
- u zaglavljima PDU je sadržana kontrolna informacija potrebna za obavljanje funkcije razine





# Komunikacijski protokol

---

- Izvršavanje svih operacija vezanih uz komunikacijski protokol obavlja komunikacijski proces s zadaćom
  - sa što većom točnošću odrediti stanje korespondentnog procesa
  - poduzimati odgovarajuće mjere s ciljem pružanja usluge prijenosa podataka procesu nadređene razine



# Komunikacijski protokol

---

- od vitalnog je značaja
  - za funkcioniranje promatrane razine
  - za funkcioniranje mreže kao cjeline
- provodi se kroz
  - striktno i formalno specificiranje protokola
  - usvajanje industrijskih ili međunarodnih standarda
- Problemi standardizacije



# Komunikacijski protokol

---

- Vanjska Specifikacija
  - odnosi se na oblik PDU kao cjeline,
  - uključuje i format zaglavlja
  - u zaglavlju se definiraju
    - polja i format podataka u njima
    - značenje koje mora biti jednoznačno za sve uređaje sukladne protokolu

IP protokol

4	4	8	16	16	3	13	8	8	16	32	32	var	
VERS	HLEN	Type of service	Total length	Ident-ification	Flags	Frag offset	TTL	Protocol	Header checksum	Source IP address	Destination IP address	IP options	Data...



# Komunikacijski protokol

---

- Unutarnja specifikacija
  - odnosi se na pravila rada procesa
  - to su **algoritmi protokola**
  - njima se obrađuju informacije iz zaglavlja PDU i donose odluke o radu procesa.
  - algoritmi se mogu naknadno modificirati,
    - pod uvjetom da je vanjska specifikacija očuvana
    - treba očuvati funkcionalnost protokola u cjelini
  - primjer: TCP protokol Interneta



# Komunikacijski protokol

---

- Formalna specifikacija
  - nužno je osigurati jednoznačno tumačenje protokola
  - da bi različiti proizvođači uspješno uskladili rad svojih proizvoda s usvojenim standardima
  - jednoznačnost se osigurava
    - formalnim specificiranjem protokola
    - uz korištenje posebnih formalnih jezika.
  - To može biti
    - govorni jezik
    - neki stvarni ili formalni programski jezik
    - grafički jezik dijagrama stanja na osnovi konačnog automata



# Komunikacijski protokol

---

- Mehanizmi protokola
  - funkcije pojedinih razina hijerarhijske strukture
    - znatno se razlikuju
    - načelno su definirane ISO-OSI specifikacijom
  - komunicirajući procesi moraju voditi računa
    - o ispravnom tumačenju primljenih PDU
    - o radu korespondentnih procesa
    - o identifikaciji PDU
    - o pojavi pogreški
    - o usklađivanju brzine rada s mogućnostima procesa i mreže u cjelini.
  - četiri osnovna mehanizma protokola
    - adresiranje
    - sinkronizacija
    - kontrola pogrešaka
    - kontrola toka



# RAČUNALNE MREŽE

---

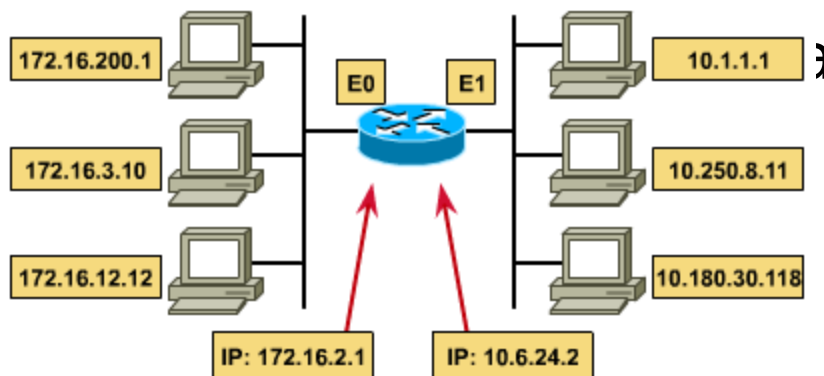
- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Komunikacijski protokoli**
    - **Adresiranje**
      - **Mehanizam adresiranja**
      - **Organizacija adresiranja**
      - **Objekti adresiranja**
      - **Vrste adresa**
      - **Upravljanje adresama**
      - **Adresiranje po razinama**



# Adresiranje

## Mehanizam adresiranja

- jednoznačno identificira korisnika informacije
- Problem duljine adrese
- format zaglavlja u cjelosti između



0	4	8	16	19	24	31	
VERS		HLEN		Service Type		Total Length	
Identification				Flags		Fragment Offset	
Time to Live			Protocol		Header Checksum		
Source IP Address							
Destination IP Address							
IP Options (If Any)					Padding		
Data							
...							



# Adresiranje

---

- Organizacija adresiranja

- Striktno

- kada adresa nadređene razine implicira stvarne adrese svih podređenih razina
    - takvo adresiranje doprinosi potpunom odvajanju funkcija pojedinih razina.

- Distribuirano

- kada ukupnu adresu čine adrese svih razina
    - ovaj pristup zahtijeva čvršću povezanost među razinama
    - omogućuje lakše upravljanje adresama
    - moguće su poznate adrese za pojedine mrežne usluge



# Adresiranje

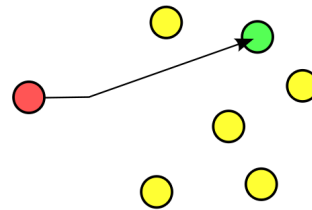
---

- Objekti adresiranja
  - Fizički uređaji
    - Na podatkovnom sloju
  - Prosesi
    - Na mrežnom sloju
    - Kombinacija adresa – pristupna točka (port)
      - Fiksna pristupna točka
      - Dinamička pristupna točka

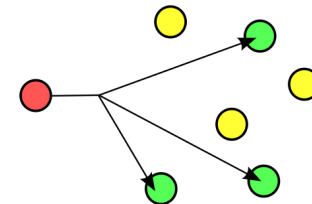
# Adresiranje

- Vrste adresa

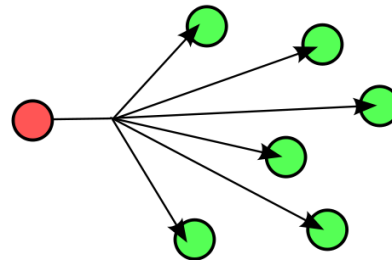
- **pojedinačna**  
(unicast)



- **grupna** (multicast)



- **univerzalna**  
(broadcast)





# Adresiranje

---

- Upravljanje adresama

- na pojedinoj razini neke mreže adrese mogu biti određene (administrirane)

- **Lokalno**

- adrese na privatnoj mreži
- Intranet adrese (poseban slučaj)

- **Globalno** dijana.vest.hr **161.53.165.130**
  - određene od strane ovlaštenog tijela u upravi mreže kao organizacije

- dijana.vest.hr **161.53.165.130**



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - Fizička razina
    - Nema potrebe za adresiranjem
    - Iznimka npr. Uspostava kanala u javnoj telefonskoj mreži



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - Na podatkovnoj razini
    - Jednospojno povezivanje (veza između 2 točke)
      - Adresiranje se koristi za virtuelne kanale
    - Višespojno povezivanje
      - Pravi proces adresiranja sa svim pravilima i tipovima
      - Primjer MAC adresa u etheret uređajima (jedinstvena ali ne može biti konačna na javnoj mreži)
      - doseg univerzalnih adresa podatkovne razine ograničen je dosegom višespojnog medija (domena prostiranja)



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - Na **mrežnoj razini** (ako ima više protokola na ovoj razini, podatkovni sloj mora imati identifikator mrežnog protokola)
    - mora postojati jedinstvena globalna adresa korisnika
    - ona omogućuje usmjeravanje paketa ka odredištu
    - pakete u paketnim mrežama prosljeđujemo pojedinačno ili po virtualnom kanalu.
    - kod slučaju pojedinačnog prosljeđivanja, svaki paket mora nositi globalnu adresu odredišta
    - kod slučaju prosljeđivanja po virtualnom kanalu, samo prvi paket nosi globalnu adresu
    - ostali paketi moraju nositi samo kratki identifikator virtualnog kanala

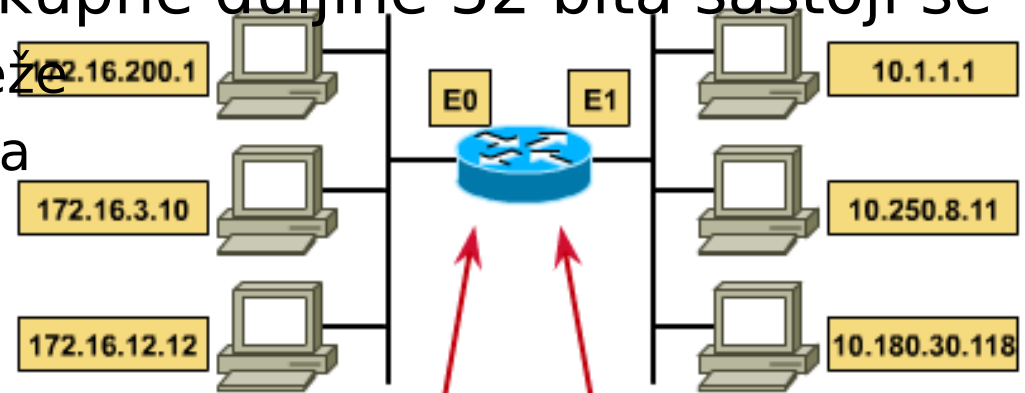


# Adresiranje 20111017

- Adresiranje po razinama

- Na **mrežnoj razini (IP protokol)**

- globalna adresa ukupne duljine 32 bita sastoji se
      - od adrese podmreže
      - od adrese računala



172.16	.	12.12
Network		Host

Routing Table	
Network	Interface
172.16.0.0	E0
10.0.0.0	E1



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - Na prijenosnoj razini
    - obavlja se identifikacija prijenosnog protokola.
    - koristi se mehanizam pristupnih točaka s fiksnim identifikatorom
  - Na sjedničkoj razini
    - obavlja se identifikacija procesa korisnika unutar računala.
    - Koristi se mehanizam pristupnih točaka s dinamičkom dodjelom identifikatora.
    - Iznimka su poslužiteljski procesi, npr. HTTP (Web) poslužitelj, koji koriste fiksne identifikatore  
Primjer: WEB server 161.53.165.130, port **80**



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - ISO-OSI i Internet
    - ISO-OSI razdvaja prijenosnu od sjedničke razine
    - Internet spaja prijenosnu i sjedničku
    - kod Interneta nedostaje razlučivanje tokova po vezama
    - Internet spaja predodžbenu i korisničku razinu
    - tu je Internet u prednosti, jer podaci imaju značenje za pojedinu aplikaciju
    - prirodno je da prevođenje sa formata mreže na format računala obavlja proces koji pruža ili koristi promatranu mrežnu uslugu



# Adresiranje

---

- Adresiranje po razinama
  - na predodžbenoj i korisničkoj razini
    - nije potrebno
    - procesi su već identificirani kroz sjedničku razinu



# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Komunikacijski protokoli**
    - **Sinkronizacija**
      - **Sinkronizacija PDU**
      - **Sinkronizacija rada procesa**



# Sinkronizacija

---

- **Sinkronizacija PDU**

- Na fizičkoj razini - bit ili byte (sinkrono asinkrono)
- Na podatkovnoj razini - ovisno o sink na fizičkoj razini
- Na mrežnoj razini- paket
- Na prijenosnoj razini - sinkronizacija po segmentu ili datagramu ako nije cjeloviti PDU
- Na sjedničkoj razini - sinkronizacija po poruci
- Sinkronizacija PDU na višim razinama - nije potrebna



# Sinkronizacija

---

- **Sinkronizacija rada procesa**

- na osnovi pretpostavljenog poznavanja stanja korespondentnog procesa na udaljenom računalu
- jedina informacija o udaljenom procesu su primljeni PDU
- algoritmi rada procesa N trebaju biti takvi da omogućće prijenos podataka u uvjetima
  - gubitaka PDU i
  - pogrešnih pretpostavki o stanju korespondentnog procesa.
- takav proces može se smatrati automatom (pamti prethodna stanja)
- Automat treba prepoznati neregularna stanja i znati izvući se iz njih



# RAČUNALNE MREŽE22.10

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Komunikacijski protokoli**
    - **Kontrola pogreški**
      - Prema vrsti informacije
      - Kod prijenosa podataka
      - Vrste potvrda
      - Spojevni i bespojevni protokoli
      - Algoritam retransmisije
      - Kontrola pogreški po razinama





# Kontrola pogreški

---

- Prema vrsti informacije
  - **Prijenos govora**
    - Bitno interaktivno neinteraktivno
    - ukupno kašnjenje mora biti malo
    - razlika kašnjenja po dijelovima mora biti mala
    - velika redundancija sadržana u govoru omogućava
      - zadovoljavajuću razumljivost
      - u uvjetima umjerene količine pogreški
    - nema mogućnosti retransmisije
    - kontrolu pogreški organiziramo korištenjem kodova za korekciju pogreški na strani prijemnika
      - trebaju biti ekonomični
      - osiguravaju korekciju samo najčešćih pogreški (npr. jednostrukih)



# Kontrola pogreški

---

- Prema vrsti informacije
  - **Prijenos podataka**
    - najvažniji zahtjev je
      - apsolutna točnost prenesene informacije
    - dozvoljeni su
      - veće kašnjenje,
      - varijacije kašnjenja i
      - varijacije brzine prijenosa.
    - kontrolu pogreški organiziramo
      - korištenjem kodova za detekciju pogreški
      - i mehanizmom ponovnog slanja (retransmisije)



# Kontrola pogreški

---

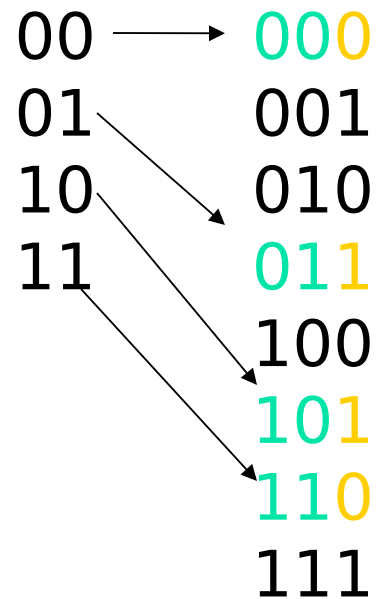
- Kod prijenosa podataka
  - Detekcija pogreške korištenjem redudancije i kodne udaljenosti
  - za iskorištene kodne riječi biramo one, koje odgovaraju kriteriju minimalne distance

# Kontrola pogreški

- Kod prijenosa podataka
  - Detekcija pogreške (jednostruke)



kontrolni bitovi





# Kontrola pogreški

---

- Statistika pogreški
  - vjerojatnost višestrukih pogreški je manja
  - za konstrukciju koda važna je distanca
    - ukoliko je minimalna distanca  $d$ 
      - potrebna je  $d$ -struka pogreška da bi jednu ispravnu kodnu riječ pretvorila u drugu ispravnu
      - moguće je otkriti sve pogreške do uključivo  $d-1$ -struke



# Kontrola pogreški

---

- Problem oštećenog PDU
  - kod za detekciju pogreški
    - ne daje nam informaciju gdje je unutar PDU nastupila pogreška
    - ne znamo da li je PDU namijenjen promatranom procesu (pogreška na adresi)
    - koji mu je točno redni broj (pogreška na numeraciji)
    - ili je oštećen neki drugi vitalni dio zaglavlja.
  - Odbacivanje PDU zbog pogreške  
1%,zagušenje 99%



# Kontrola pogreški

---

- Oporavak veze
  - provodi se nakon gubitka PDU
  - cilj je osiguranje cjelovitost korisnikovih podataka
  - potrebno je detektirati da je PDU izgubljen (pomoću numeracij PDU)
  - Broj PDU-a ovisi o prozoru
  - Prozor ne veći od modula moduracije
  - nakon detekcije gubitka PDU treba ponovno poslati (retransmisija)

# Kontrola pogreški

- Oporavak veze

- Prozor

```
TCP: Source Port = Telnet
TCP: Destination Port = 0x0411
TCP: Sequence Number = 4046013737 (0xF1294529)
TCP: Acknowledgement Number = 1997567527 (0x77107627)
TCP: Data Offset = 20 (0x14)
TCP: Reserved = 0 (0x0000)
=TCP: Flags = 0x10 : .A....
    TCP: ..0..... = No urgent data
    TCP: ...1.... = Acknowledgement field significant
    TCP: ....0... = No Push function
    TCP: .....0.. = No Reset
    TCP: .....0. = No Synchronize
    TCP: .....0 = No Fin
TCP: Window = 16384 (0x4000)
```

```
00 A0 24 A7 F1 06 00 02 17 64 25 2D 08 00 45 00
00 28 21 07 40 00 38 06 70 10 C0 A8 3D 43 AC 13
07 BA 00 17 04 11 F1 29 45 29 77 10 76 27 50 10
40 00 96 68 00 00 00 00 00 00 00 00
```



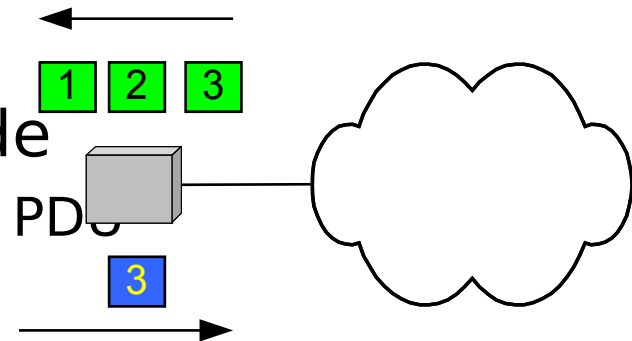
# Kontrola pogreški

- Oporavak veze

- Vrste potvrda

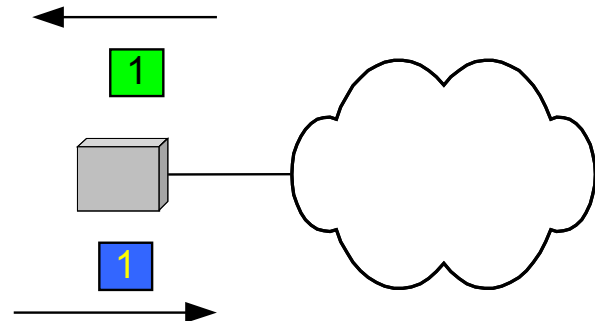
- **Pozitivne kumulativne** potvrde

- eksplicitno potvrđuju prijem grupe PDU



- **Pozitivne selektivne** potvrde

- eksplicitno potvrđuju prijem PDU



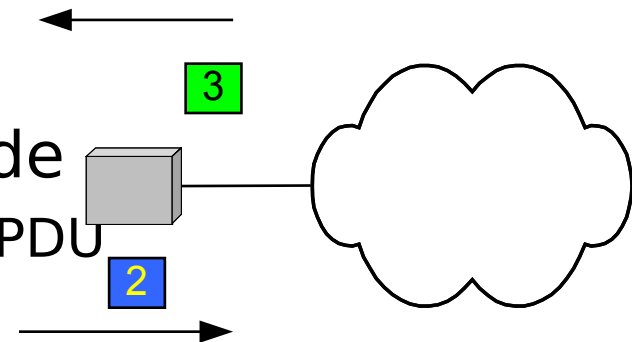
# Kontrola pogreški

- Oporavak veze

- Vrste potvrda

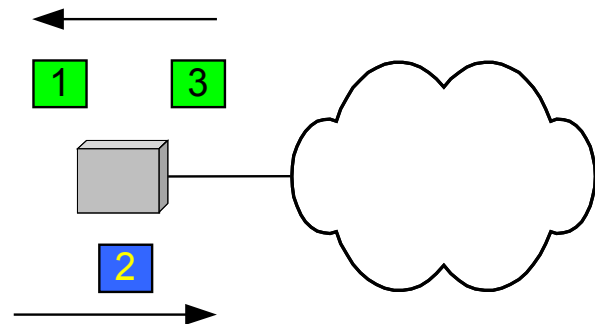
- **Negativne kumulativne** potvrde

- eksplicitno potvrđuju gubitak više PDU



- **Negativne selektivne** potvrde

- eksplicitno potvrđuju gubitak PDU





# Kontrola pogreški

---

- Oporavak veze
  - Vrste potvrda
    - Potvrde u praksi
      - najefikasniji su sustavi
      - s pozitivnim kumulativnim potvrdama
      - s kombinacijom pozitivnih kumulativnih i selektivnih potvrda
    - TCP Interneta
      - pozitivne kumulativne potvrde standardno (ACK)
      - pozitivne selektivne potvrde eksperimentalno (SACK)

# Kontrola pogreški

## Spojevni i bespojevni protokoli

---

- Spojevni protokoli (connection oriented)
  - protokoli koji sadrže mehanizam kontrole pogreški
    - numeraciju PDU
    - detekcije izostanka PDU
    - retransmisiju PDU
  - kod spojevnih protokola, procesi na početku prijenosa podataka
    - moraju uskladiti početnu numeraciju PDU
    - to se zove uspostavom logičkog kanala
    - TCP protokol Interneta je spojevni protokol

# Kontrola pogreški

## Spojevni i bespojevni protokoli

---

- Bespojni protokoli (connectionless)
  - protokoli koji ne sadrže mehanizme oporavka od pogreške
    - samo otkrivaju pogreške
    - odbacuju PDU
  - gubitak PDU ne izaziva nikakvu reakciju
  - konzistentnost korisnikove poruke treba osigurati neki od protokola nadređenih razina
  - primjer bespojnog protokola
    - IP protokol mrežne razine Interneta
    - često se koristi u kombinaciji s nadređenim spojevnim TCP protokolom (otud kovanica TCP/IP).



# Kontrola pogreški

# Algoritam retransmisije

---

- kod mrežne razine s pojedinačnim prosljeđivanjem
  - dio paketa može ići alternativnim putovima
  - redoslijed pristizanja paketa na odredište nije zagarantiran
  - potrebno je adaptivno odrediti vrijeme čekanja da zakašnjeli PDU stigne
    - Premalo vrijeme - nepotrebne retransmisije
    - Predugo - nepotrebna degradacija performansi



# Kontrola pogreški

# Algoritam retransmisije

---

- Kod TCP protokola
  - predajnik mjeri
    - vrijeme obilaska i
    - varijancu vremena obilaska
    - izračunava optimalno vrijeme čekanja da PDU pristigne (RTO, retransmission timeout)
  - proces retransmisije se može ubrzati
    - ako prijemnik za prekoredne PDU šalje ponovljene (duplicirane) potvrde
    - ako predajnik primi tri uzastopne ponovljene potvrde (algoritam **brze retransmisije** - fast retransmit)



# Kontrola pogreški

# Algoritam retransmisije

---

- **grupna retransmisija**, (go-back-N)
  - jednostavna i često korištena
  - predajnik ponovno šalje izgubljeni PDU i sve ostale koji slijede bez obzira da li su stvarno i oni izgubljeni ili ne
- **selektivna retransmisija**
  - složenija je
  - ponovo se šalje samo izgubljeni PDU
  - funkcionira na osnovu selektivnih pozitivnih ili negativnih potvrda (dojava prijema ili dojava gubitka)



# Kontrola pogreški

## Kontrola pogreški po razinama

---

- **fizička razina**

- kontrola pogreški na razini bita nije isplativa

- **Podatkovna razina**

- kontrola pogreški je jedna od osnovnih funkcija
- Oštećeni okviri se odbacuju (bespojni) ili retransmitiraju (spojevni protokoli podatkovne razine)
- Kod **spojevnih** protokola podatkovne razine
  - izostanak okvira detektira se na osnovu numeracije
  - aktivira retransmisiju na osnovu zahtjeva prijemnika
  - ili aktivira retransmisiju izostankom potvrde
  - redoslijed isporuke okvira očuvan
  - kašnjenje malo (s iznimkom satelitskih kanala)

# Kontrola pogreški

## Kontrola pogreški po razinama

---

### ■ Mrežna razina

- često dolazi do gubitaka zbog zagušenja
- protokoli su i ovdje često bespojni
- kontrolu pogreški je optimalno obaviti na prijenosnoj razini
- poznato je da je spojevni protokol mrežne razine po X.25 preporuci
  - daleko kompliciraniji od IP protokola Interneta
  - to je doprinijelo velikoj razlici u cijenama usmjernika

# Kontrola pogreški

## Kontrola pogreški po razinama

---

### ▪ Prijenosna razina

- optimalno je obaviti kontrolu pogreški
- prijemnik ionako bezuvjetno mora kontrolirati cjelovitost primljenih podataka
- na složenim mrežama s komutacijom paketa kašnjenje može biti veliko
- kod pojedinačnog prosljeđivanja na mrežnoj razini redoslijed pristizanja paketa nije zagarantiran
- detekcija gubitka PDU je otežana
- neposredna dojava gubitka nije efikasna
- analizom pristizanja potvrda
  - predajnik će detektirati gubitak PDU
  - donijeti odluku o retransmisiji

# Kontrola pogreški

## Kontrola pogreški po razinama

---

- Optimalno je
  - detekciju pogreški obaviti na podatkovnoj i mrežnoj razini
  - detekciju izostanka PDU i retransmisiju na prijenosnoj razini, npr. kao kod Interneta



# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Komunikacijski protokoli**
    - **Kontrola toka kao mehanizam protokola**



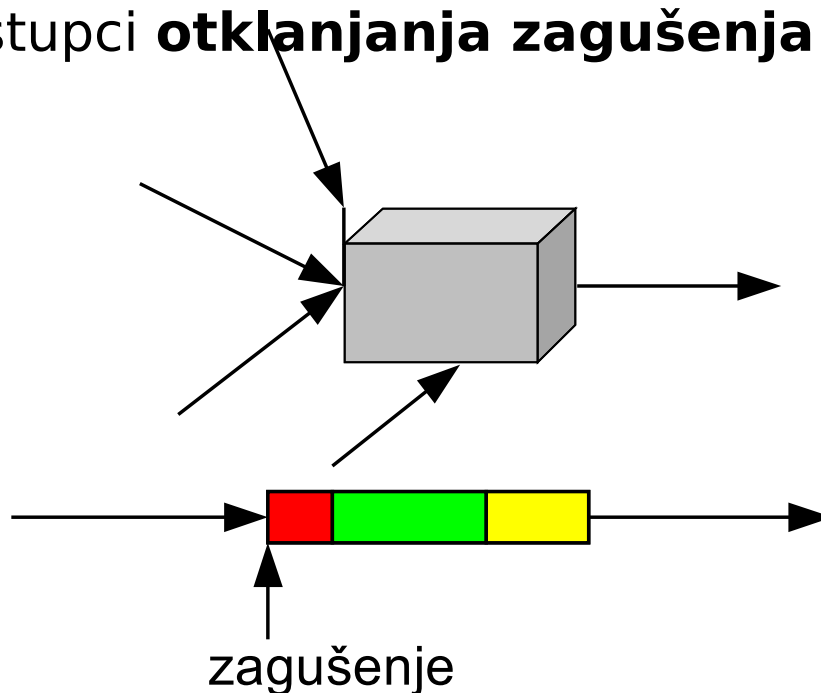
# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Upravljanje prometom**
    - **Kontrola zagušenja**
    - **Kontrola toka**

# Kontrola zagušenja

- Zagušenje - ponuđeni promet veći od prijenosnog kapaciteta mreže
  - Postupci **izbjegavanja zagušenja**
  - Postupci **otklanjanja zagušenja**





# Kontrola zagušenja

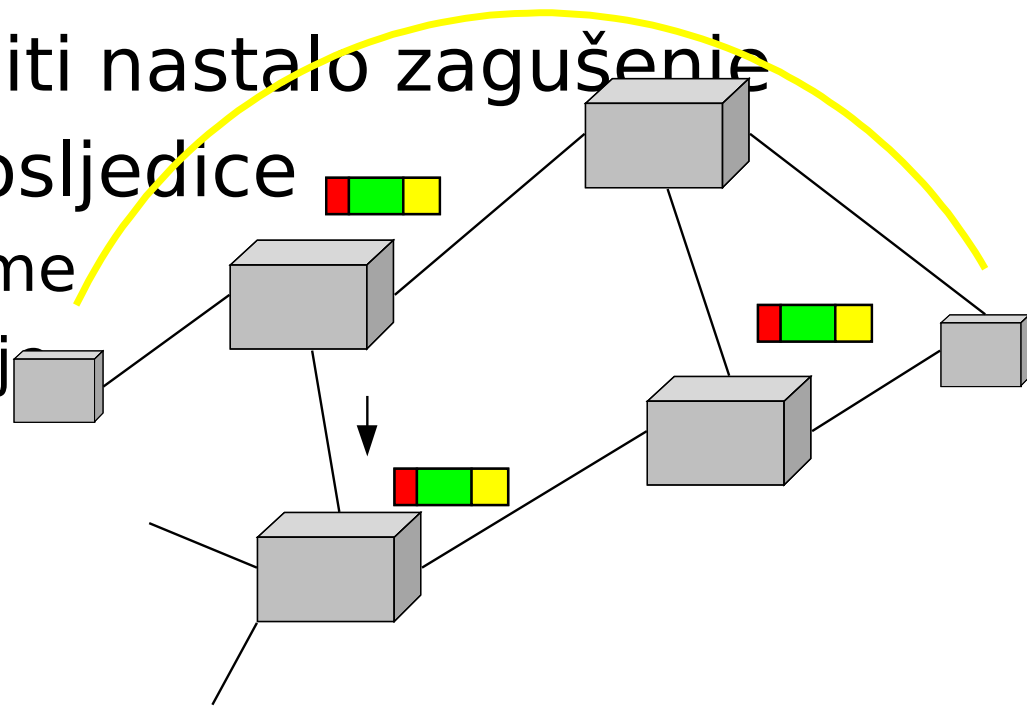
---

- Postupci **izbjegavanja zagušenja**
  - provode se dok mreža još nije zagušena
  - ograničavaju ulazni promet
  - održavaju mrežu u optimalnoj radnoj točki
    - Osigurava optimalnu ekonomičnost rada mreže



# Kontrola zagušenja

- Postupci **otklanjanja zagušenja**
  - aktiviraju se kada mreža dođe u stanje zagušenja
  - svrha im je otkloniti nastalo zagušenje
  - cilj je ograničiti posljedice
    - na što kraće vrijeme
    - na što uže područje





# Kontrola zagušenja

---

- **Kontrola toka -> definicija**
  - najznačajnija mjera izbjegavanja zagušenja kod mreža s prospajanjem paketa
  - zadatak je regulirati brzinu predaje izvorišta
    - tako da dolazni promet bude optimalan
      - po kriterijima kakvoće usluge
      - po kriteriju iskorištenja kapaciteta mreže
  - kontrola toka se ostvaruje unutar vremena trajanja logičkog kanala (toka podataka)
  - kontrola toka u stvarnom vremenu, s obzirom na kašnjenja u mreži, održava mrežu u optimalnoj radnoj točki.



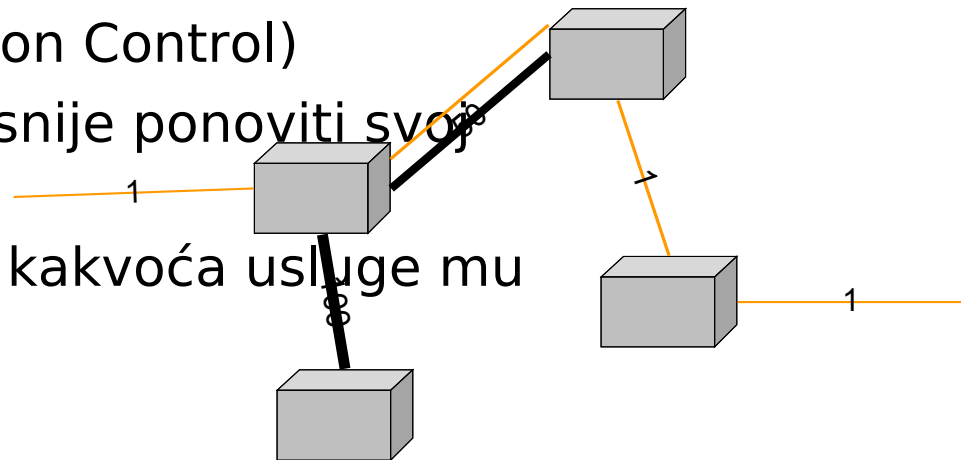
# Kontrola zagušenja

---

- Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja
  - u mrežama s prospajanjem kanala
  - u mrežama s prospajanjem paketa
  - u mrežama s prospajanjem ćelija (ATM)

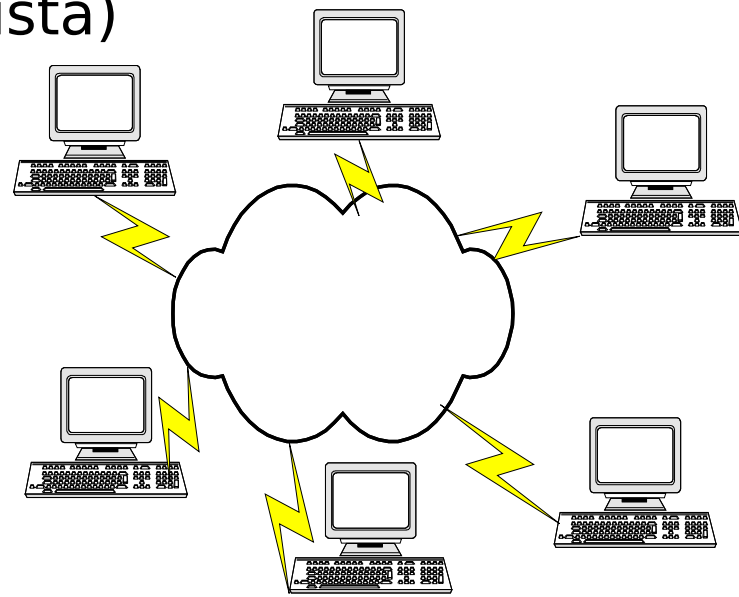
# Kontrola zagušenja

- Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja
  - u mrežama s prospajanjem kanala
    - provodi se odbacivanjem zahtjeva za prospajanjem
    - to je **kontrola pristupa mreži** (CAC, Connection Admission Control)
    - korisnik će eventualno kasnije ponoviti svoj zahtjev
    - kad konačno ostvari vezu kakvoća usluge mu je zagwarantirana



# Kontrola zagušenja

- Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja
  - **u mrežama prospajanjem paketa**
    - raspoloživi kapacitet kanala dijeli se na mnogo korisnika tehnikom vremenske razdiobe
    - kontrola zagušenja treba održati broj paketa u mreži (u prijenosu i memorijama čvorišta)  
na optimalnoj razini
      - Manjak paketa - neiskorištenost
      - Višak paketa - zagušenje
      - Regulira predajna strana





# Kontrola zagušenja

---

- Kontrola zagušenja prema vrsti prospajanja
  - **u ATM mrežama**
    - trebaju omogućiti integraciju svih vrsta prometa
    - kontrola zagušenja slična kontroli kod paketnih mreža
    - treba održati **broj ćelija u mreži na optimalnoj** razini
      - razlikujemo četiri kategorije korisnika:
        - CBR (Constant Bit Rate): ograničenje pristupa
        - VBR (Variable Bit Rate): uobličivanje prometa
        - ABR (Available Bit Rate) uobličivanjem s dinamičkom promjenom brzine (kontrola toka)
        - UBR (Unspecified Bit Rate) bez garancija, mreža odbacuje višak ćelija



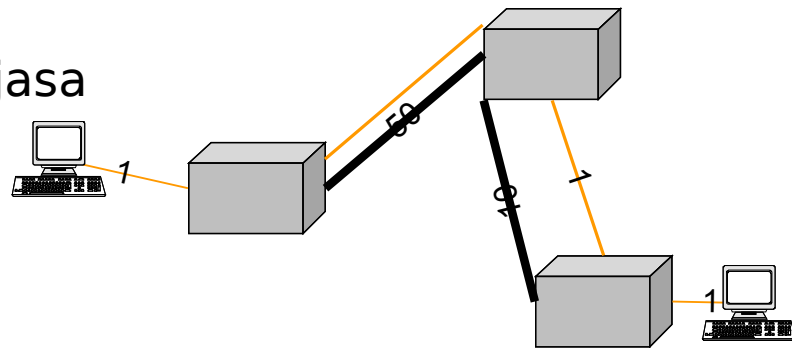
# Kontrola zagušenja

- Vrste zagušenja

vrsta zagušenja:	postupci izbjegavanja	postupci otklanjanja
TRAJNO	pravovremeno planiranje razvoja i izgradnja potrebnih kapaciteta	izgradnja i zakup vodova
PERIODIČKO (SEZONSKO)	tarifna politika, kontrola pristupa, usmjeravanje prometa	korištenje kapaciteta mreža s drugim profilom korisnika ili iz drugih vremenskih zona
PRIVREMENO	kontrola toka	odbacivanje viška prometa
TRENUTNO	uobličivanje prometa	osiguranje dovoljnog kapaciteta memorije čvorišta

# Kontrola zagušenja

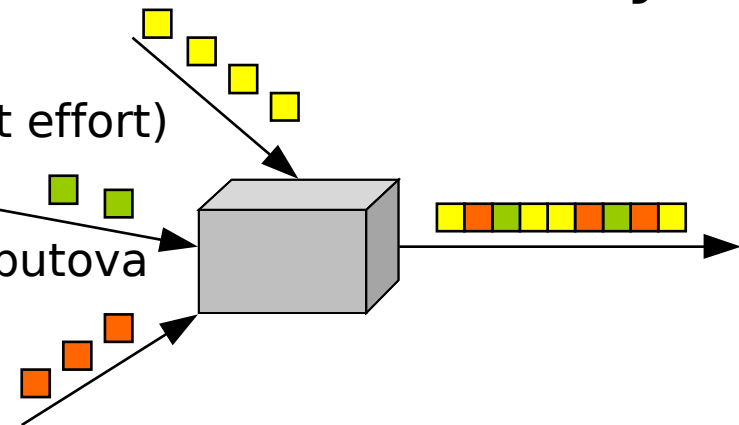
- Kakvoća usluge i kontrola zagušenja
  - **Kod mreža s prospajanjem kanala**
    - korisnik raspolaže s cijelim kapacitetom prospojenog kanala
    - kakvoća usluge zagarantirana
      - za analogne kanale
        - širinom frekvencijskog pojasa
        - odnosom signala i šuma
      - za digitalne kanale
        - brzinom prijenosa
        - vjerojatnošću pogriješke
    - korisnici su dužni nadzirati integritet vlastitih prenesenih podataka.





# Kontrola zagušenja

- Kakvoća usluge i kontrola zagušenja
  - **Kod mreža s prospajanjem paketa bez rezervacije kapaciteta ( Internet )**
    - po principu najbolje moguće usluge (best effort)
    - bez ikakvih garancija (na mrežnoj razini)
    - paketi se usmjeravaju na osnovu težine putova
    - višak paketa se odbacuje
    - mreža je efikasna za prijenos podataka
    - neprimjerena je za prijenos informacija u stvarnom vremenu (govor i slika).
    - eksperimentalni mehanizmi rezervacije kapaciteta ispituju se na Internetu (RSVP, Reservation Protocol).





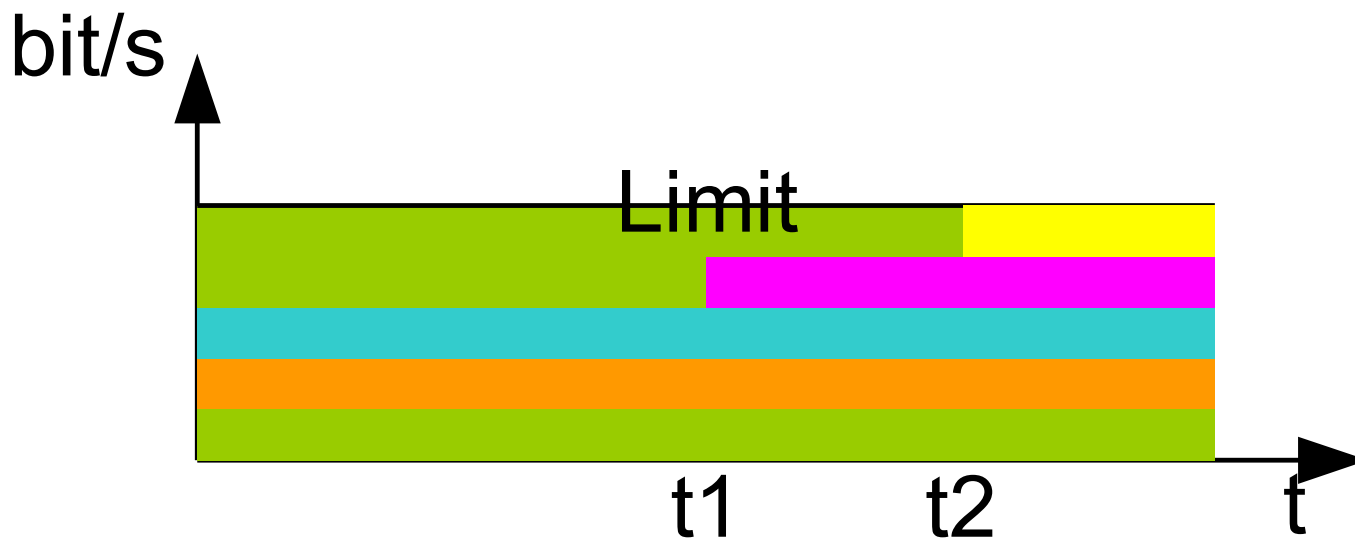
# Kontrola zagušenja

---

- Kakvoća usluge i kontrola zagušenja
  - Kod paketnih mreža koje **rezerviraju kapacitet (ATM )**
    - paketi se usmjeravaju virtualnim kanalom
    - garantira kakvoću usluge
    - potrebno je za svaku vrstu garantirati specifičnu kakvoću usluge
    - usluge koje su za sada predviđene za ATM mreže su:
      - prijenos nekomprimiranog govora i video signala (CBR)
      - komprimiranog govora, video i multimedijских signala (VBR), s varijantama za rad u i izvan stvarnog vremena
      - prijenos podataka s garantiranom (ABR) kakvoćom prijenosa
      - prijenos podataka negarantiranom (UBR) kakvoćom prijenosa od prometa izvora koji rade većom brzinom od ugovorene

# Kontrola zagušenja

- Kakvoća usluge i kontrola zagušenja
  - Kod paketnih mreža koje **rezerviraju kapacitet (ATM)**





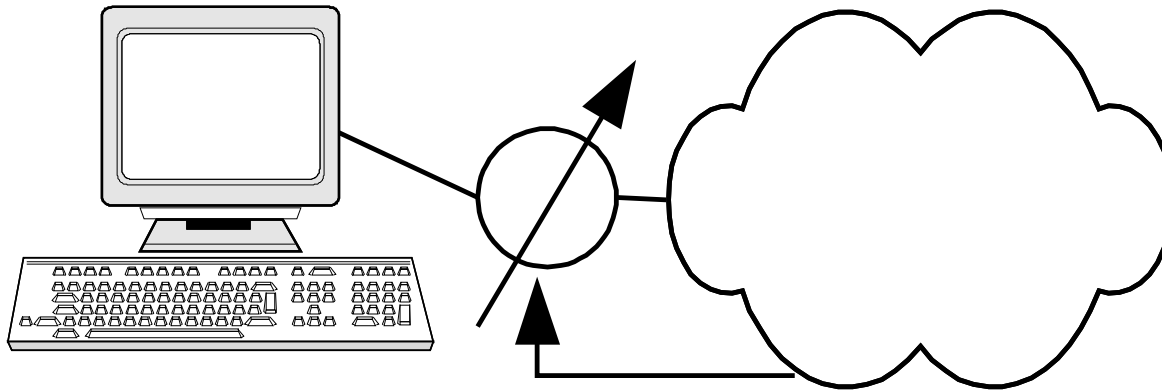
# RAČUNALNE MREŽE

---

- **Arhitektura računalnih mreža**
  - **Upravljanje prometom**
    - Kontrola zagušenja
    - **Kontrola toka**

# Kontrola toka

- Održava mrežu u optimalnoj radnoj točki





# Kontrola toka kao mehanizam protokola

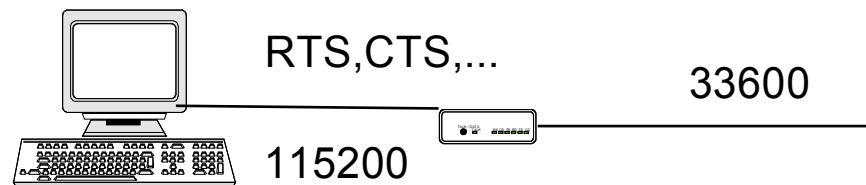
---

- usklađuje brzine prijenosa podataka među učesnicima
- dio je upravljanja prometom
- dio je njegovog dijela, kontrole zagušenja

# Kontrola toka kao mehanizam protokola

## ■ Na fizičkoj razini

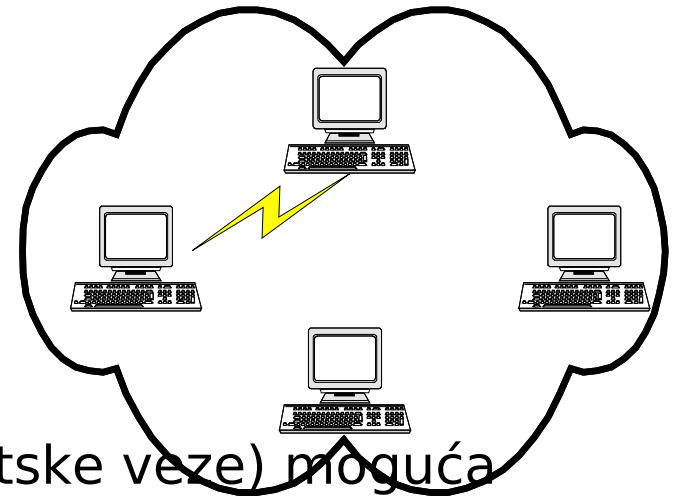
- kontrola toka ostvaruje se na sučelju DTE-DCE
- koriste se posebni signali sučelja
- **Primjer:** inteligentni modemi raspolažu s funkcijama
  - sažimanja podataka
  - kontrole pogreški
  - izbora optimalne brzine prijenosa
- Vežu terminal-modem
  - ostvarimo maksimalnom brzinom
  - eventualne zastoje razriješimo kontrolom toka.



# Kontrola toka kao mehanizam protokola

- Na **podatkovnoj razini**

- imamo neposrednu vezu dvaju uređaja



- na vezama s velikim kašnjenjem (satelitske veze) moguća je i prozorska kontrola toka po pravilima iste:
  - numeracija je jedino moguća po modulu
  - modul numeracije je implicitno i maksimalni prozor
  - potvrdom prijemnika oslobađaju se brojevi za slanje sljedećih okvira.





# Kontrola toka kao mehanizam protokola

---

## ■ Na mrežnoj razini

- pojavljuju se kašnjenja zbog velikog broja čvorova kojima paket prolazi do odredišta
- kasni i potvrda natrag do izvorišta
- mjerimo **vrijeme obilaska** (RTT, Round Trip Time)
- neposredna kontrola toka je neefikasna
- moguća je prozorska ili kontrola brzine predaje
- brzina se usklađuje s propusnim kapacitetom mreže
- mreža u slučaju zagušenja najčešće može samo odbaciti prekobrojne pakete



# Kontrola toka kao mehanizam protokola

---

- Na **prijenosnoj razini**

- optimalno je organizirati kontrolu toka
- neposlani paketi ne opterećuju zagušenu mrežu
- obzirom na kašnjenje, sve što vrijedi za mrežnu razinu, vrijedi i za prienosnu
- predajnik određuje optimalnu brzinu slanja ili optimalni prozor
- na osnovu mjerenja vremena obilaska (RTT) ili intenziteta gubitaka paketa predajnik na mrežu šalje
  - optimalni prozor paketa
  - ne više od prozora prijemnika



# Kontrola toka kao mehanizam protokola

---

- **Na višim razinama**

- klasične kontrole toka nema
- ograničenje prozora prijemnika garantira da će u memoriji prijemnika biti dovoljno prostora za sve pakete koje predajnik smije poslati



# Kontrola toka

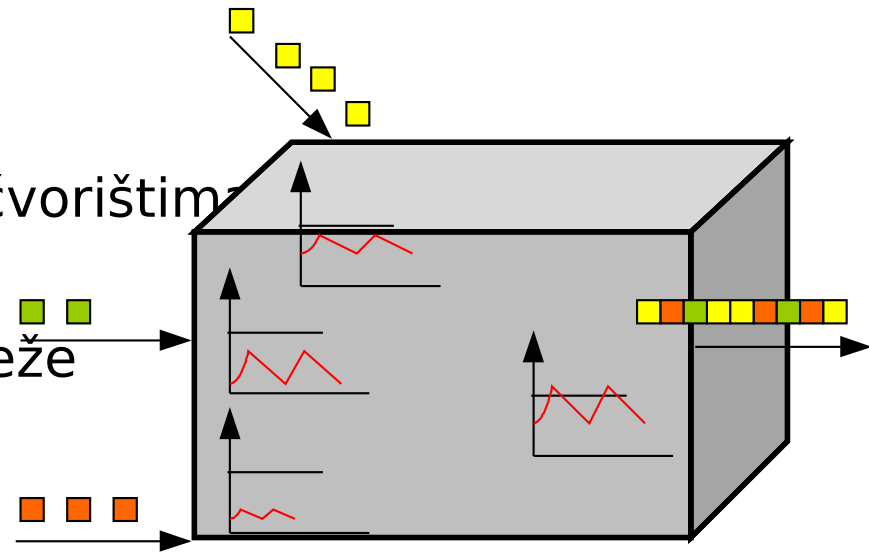
---

- Optimalna radna točka
  - je vektor stanja svih elemenata mreže koji omogućava optimalan odnos iskorištenja mreže i kakvoće usluge
  - to su dva suprotna kriterija
    - stanovišta vlasnika mreže
      - sav trenutno raspoloživi kapacitet ponudi korisnicima
      - posluži njihove zahtjeve
      - osloboditi kapacitet za buduće zahtjeve
      - Izbjegavati zagušenja
    - stanovište korisnika mreže
      - “što prije i što brže”

# Kontrola toka

## Optimalna radna točka

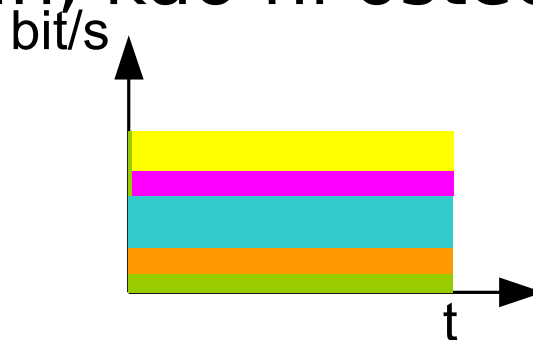
- Stanje elementa paketne mreže
  - broj paketa u redu čekanja za predaju
    - Problem zagušenja
    - Problem praznih redova
    - Optimalan broj paketa u čvorištima
      - Optimalno kašnjenje
      - Veliko iskorištenje mreže



# Kontrola toka

## Pravednost (Fairness)

- pravednost je drugi elementarni cilj kontrole toka
- osigurava da svi korisnici dobiju na raspolaganje podjednak dio kapaciteta mreže
- da ne bude privilegiranih, kao ni oštećenih korisnika





# Kontrola toka

---

- Pravednost (Fairness)
  - Kod mreža bez rezervacije kapaciteta
    - pravednost bi trebala težiti
      - dodjelom jednakog dijela prijenosnog kapaciteta mreže svakom korisniku
      - Ili max zatraženom propusnošću ako je manja od trenutno moguće po korisniku



# Kontrola toka

---

- Pravednost (Fairness)
  - Kod mreža s rezervacijom kapaciteta
    - prednost se daje korisniku koji je prvi zatražio uslugu
    - ukoliko mreža nije u stanju ispuniti traženu uslugu, zahtjev korisnika se odbacuje (kontrola pristupa)





# Kontrola toka

---

## ■ Optimalna radna točka

### ■ Snaga mreže

- optimalna radna točka najčešće se nalazi kao maksimum "**snaga mreže**" (Power)
- snaga mreže  $P$  definirana je kroz omjer
  - propusnosti  $L$ , a to je korisni promet (bita/s)
  - i vremena kašnjenja  $T$ , a to je vrijeme obilaska (s)

$$P=L/T \left[ b/s^2 \right]$$



# Kontrola toka

---

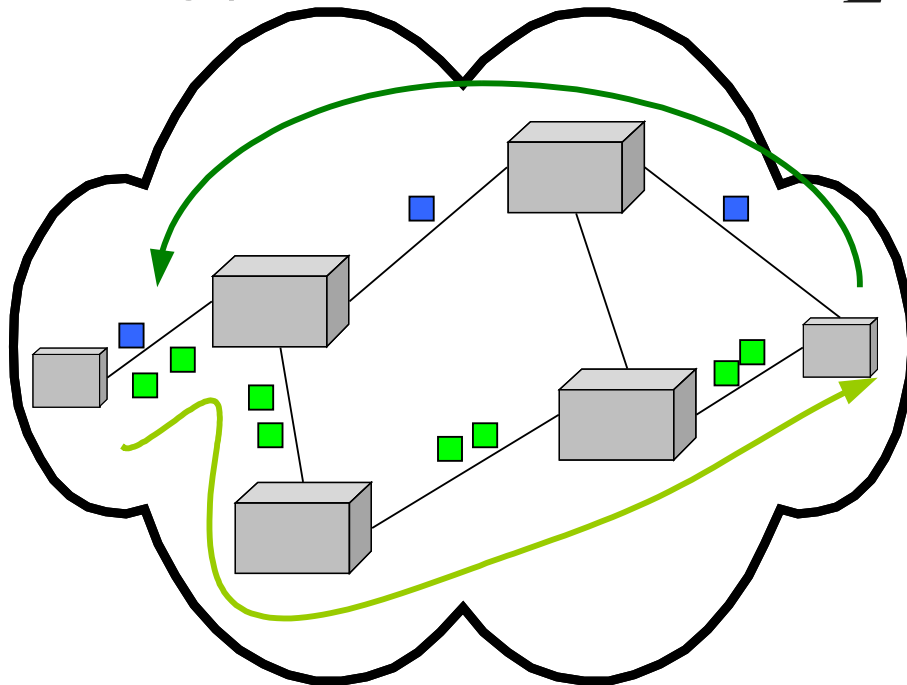
- Optimalna radna točka
  - Sustavi s posluživanjem
    - Matematička analiza opisanog fizičkog modela
    - za analizu se najčešće koriste sustavi s modelima
      - Markovljevimi (Poissonovimi, M/M/1)
      - generalnim (G/G/1)
      - determinirani (D/D/1) model kao posebni slučaj generalnog

# Kontrola toka

## Optimalna radna točka

- Korisni promet  $L$ 
  - Kod širine prozora  $W$
  - Uz slanje novog prozora nakon  $RTT$

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



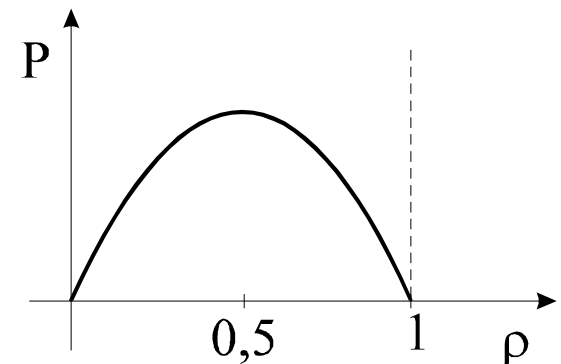
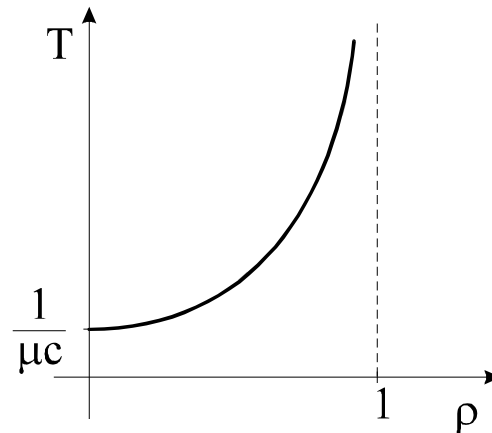
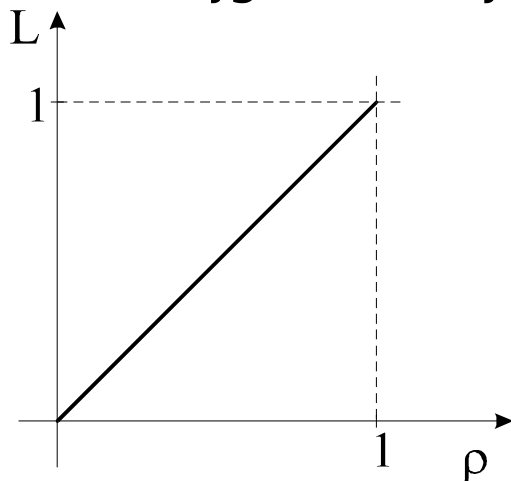
# Kontrola toka

## Optimalna radna točka

### Optimalna radna točka za M/M/1 model

$$\rho = \frac{L}{L_{uk}}$$

- pri prosječnoj duljini reda od jednog paketa
- uz iskorištenje mreže od 50%
- zbog velike varijance, M/M/1 model može poslužiti kao "najgori slučaj"





# Kontrola toka

---

## Optimalna radna točka

- Za determinirani model izvorišta i posluživanja (npr. ATM)
  - opravdan je kada sva izvorišta šalju pakete
    - približno iste duljine (podjednako vrijeme predaje)
    - jednolikim ritmom (konstantna brzina predaje)
  - to je specijalni slučaj G/G/1 modela (konst. Dolazak i posluživanje paketa)
  - u svakom ciklusu posluživanja red će se isprazniti
  - slijedeći paket nailazi na prazan red čekanja
  - D/D/1 model nije dovoljno precizan
  - ne može biti osnova za mehanizam kontrole toka

# Kontrola toka

## ■ Optimalna radna točka

- Za determinirani model izvorišta i posluživanja (npr. ATM)
  - D/D/1 model daje kašnjenje



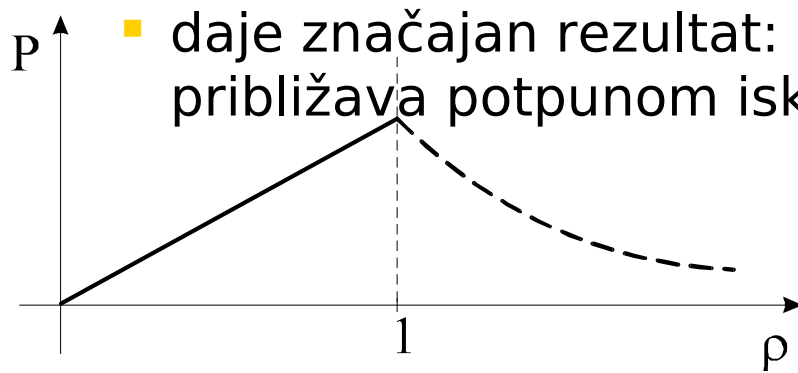
$$\rho = \frac{L}{L_{uk}}$$

- za podopterećenu mrežu: konstantno, jednako vremenu posluživanja
- za mrežu opterećenu preko nazivnog kapaciteta: beskonačno
- za konstantan broj paketa u mreži (prozorska kontrola toka): model daje linearni porast kašnjenja proporcionalan širini prozora
- u trenutku popune memorije čvorišta dolazi do gubitaka

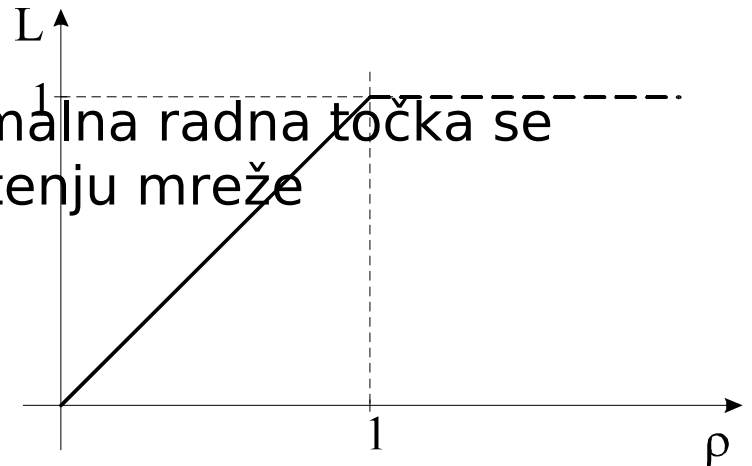
# Kontrola toka

## Optimalna radna točka

- Za determinirani model izvorišta i posluživanja (npr. ATM)
  - optimalna radna točka za D/D/1 model je pri P+100%



- daje značajan rezultat: optimalna radna točka se približava potpunom iskorištenju mreže



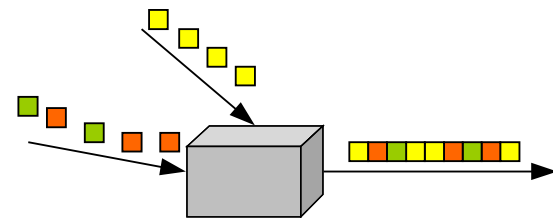
$$\rho = \frac{L}{L_{uk}}$$

# Kontrola toka

- Funkcije elemenata mreže

- **Čvorišta**

- primaju pakete s dolaznih i usmjeravaju ih ka odlaznim kanalima
    - pakete spremaju u redove čekanja za odlazne kanale
    - paketi se iz reda čekanja šalju na kanal prema algoritmu posluživanja
    - algoritam posluživanja treba
      - osigurati ugovorenu kakvoću posluživanja
      - razdvajati tokove pojedinih korisnika radi zaštite od onih koji ne poštuju ugovorene parametre
    - razlikujemo posluživanje
      - bez posebnog algoritma (FIFO, First in First out)
      - stohastičke i determinističke algoritme.







# Kontrola toka

---

- Funkcije elemenata mreže
  - **Čvorišta**
    - **FIFO**
      - poslužuje se korisnika čiji je zahtjev prvi pristigao
      - U slučaju popunjenosti memorije odbacuje se paket koji je posljednji stigao (drop-tail)

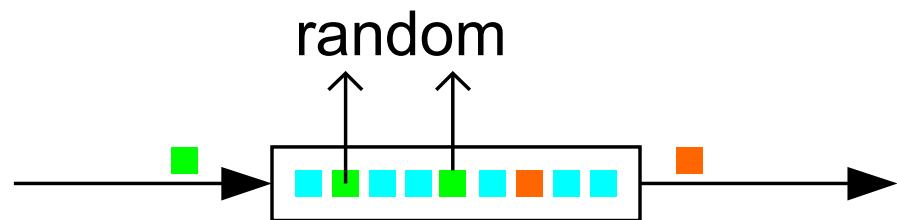
# Kontrola toka

- Funkcije elemenata mreže

## ▪ Čvorišta

### ▪ Stohastički

- odbacuje pakete slučajno (npr. RED, Random Early Detection)
- zasniva se na pretpostavci da korisnik koji šalje više paketa od optimalnog, ima veći broj paketa u redu
- vjerojatnost odbacivanja njegovih paketa je veća
- funkcionira u uvjetima jako opterećene mreže
- optimalan u režimu rada s dugačkim redovima čekanja





# Kontrola toka

---

- Funkcije elemenata mreže
  - **Čvorišta**
    - **Deterministički**
      - vodi računa o svim tokovima podataka
        - tok podataka je svaki niz podataka (PDU) koji čvorište smatra jedinstvenom cjelinom (podjela ovisi o rezoluciji - mreza,host,tok)
        - nad tokom obavlja funkcije kontrole toka
      - donosi odluku o individualnom posluživanju svakog paketa
      - npr. FQ, Fair Queuing pokušava simulirati fiksno multipleksiranje na razini okteta
        - postupak kojim se više tokova nadređene razine šalje istim tokom promatrane razine
      - mana je velika potrebna količina rada procesora kod posluživanja svakog paketa



# Kontrola toka

---

- Funkcije elemenata mreže
  - **Čvorišta**
    - **Tok podataka**
      - tok podataka je svaki niz podataka (PDU) koji čvorište smatra jedinstvenom cjelinom
      - nad tokom obavlja funkcije kontrole toka
    - **Multipleksiranje**
      - je postupak kojim se više tokova nadređene razine šalje istim tokom promatrane razine



# Kontrola toka

---

- **Funkcije elemenata mreže**

- **Izvorišta** (predajnici paketa u terminalima)

- primaju podatke s nadređene razine i formiraju pakete (segmentacija, fragmentacija)
- donose odluku o trenutku slanja paketa
- poslani paket se čuva do prijema potvrde radi eventualnog ponovnog slanja (retransmisije)
- ako je detektiran gubitak paketa, npr. izostankom potvrde u predviđenom vremenu ili prijemom dupliciranih potvrda, paket se ponovo šalje na mrežu
- izvorište obavlja algoritme kontrole toka donoseći odluku o brzini slanja paketa i širini prozora



# Kontrola toka

---

- **Funkcije elemenata mreže**

- **Odredišta** (prijemnici paketa u terminalima)

- primaju pakete
    - šalju potvrde
      - kao odvojene kratke pakete
      - uključene u pakete toka podataka suprotnog smjera
    - donose odluku
      - o trenutku slanja potvrde
      - o pomaku gornje granice prijemnog prozora radi izbjegavanja segmentacije korisnikovih podataka na male pakete
    - za potrebe kontrole toka bitno je
      - da se potvrda šalje za svaki primljeni paket
      - da kasni što manje
    - za slučaj poremećaja redoslijeda pristizanja paketa, odredište može ponoviti posljednju potvrdu (duplicirane potvrde).



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**

- Problem otkrivanja zagušenja

- čvorišta i terminali mreže će na različite načine otkrivati pojavu zagušenja
- **čvorišta** raspolažu s podatkom
  - o trenutnoj dužini redova na izlaznim kanalima
  - mogu voditi računa i o vremenu zadržavanja (kašnjenja) pojedinog paketa u čvorištu
  - mogu pratiti učestalost gubitaka paketa zbog popunjenosti redova čekanja
- na osnovu toga će
  - započeti s nekim od postupaka dojava izvorištima
  - koristit će podatke za potrebe algoritama usmjeravanja i odbacivanja paketa



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**

- Posljedica zagušenja kod paketnih mreža
  - gomilanje paketa u memoriji čvorišta
  - raste kašnjenje na mreži
  - nakon popune memorije dolazi do gubitaka paketa
  - nestanak paketa izaziva istek vremenskih sklopova predajnika, koji u predviđenom vremenu ne primi potvrdu prijema
  - istek vremena retransmisije (RTO) i povećano kašnjenje su implicitne indikacije zagušenja
  - **čvorišta** mogu načinom rada potencirati ove indikacije
  - unaprijednim selektivnim ili slučajnim odbacivanjem paketa (RED)
  - time ostvariti funkcije kontrole toka mrežne razine
  - **izvorišta** nakon detekcije zagušenja trebaju smanjiti brzinu predaje i pri tome koriste neki od **algoritama predajnika**





# Kontrola toka 24.10

---

- **Detekcija zagušenja**

- otkrivanje zagušenja

- eksplicitno, dojavom sa čvorišta

- šalje se indikacija zagušenja

- ili podatak o maksimalnoj dozvoljenoj brzini predaje

- implicitno, mjerenjem parametara prijenosa

- prozor

- kašnjenje

- gubici



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**
  - otkrivanje zagušenja
    - **Eksplicitno**
      - čvorovi nakon detekcije mogućeg zagušenja koriste
        - rezervirana polja u zaglavljima PDU
        - posebne PDU za dojavu zagušenja izvorištu
      - izvorište koristi primljenu indikaciju na mrežnoj ili prijenosnoj razini
      - poznat je niz konkretnih mehanizama eksplicitne dojave zagušenja.
        - povratno korištenje kontrolnih poruka
        - povratno ili unaprijedno korištenje indikatora
        - eksplicitna dojava optimalne brzine predaje.



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**

- Explicitna dojava

- **Povratne kontrolne poruke**

- npr. Source Quench kod ICMP protokola Interneta
- čvorište šalje izvorištu kada odbaci paket zbog zagušenja
- izvorište treba smanjiti brzinu predaje
- u praksi se je pokazalo - povratne kontrolne poruke su **štetne**



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**

- Explicitna dojava

- Povratni indikatori

- su bitovi u zaglavlju PDU suprotnog smjera koje
- **čvorište** ih postavlja u jedinicu kada otkrije zagušenje (BCN, Backward Congestion Notification)
- Brzina predaje u ovisnosti o vrijednostima indikatora
- prednost metode je u skraćenom vremenu odziva.



# Kontrola toka

---

- **Detekcija zagušenja**

- Explicitna dojava

- Unaprijedni indikatori

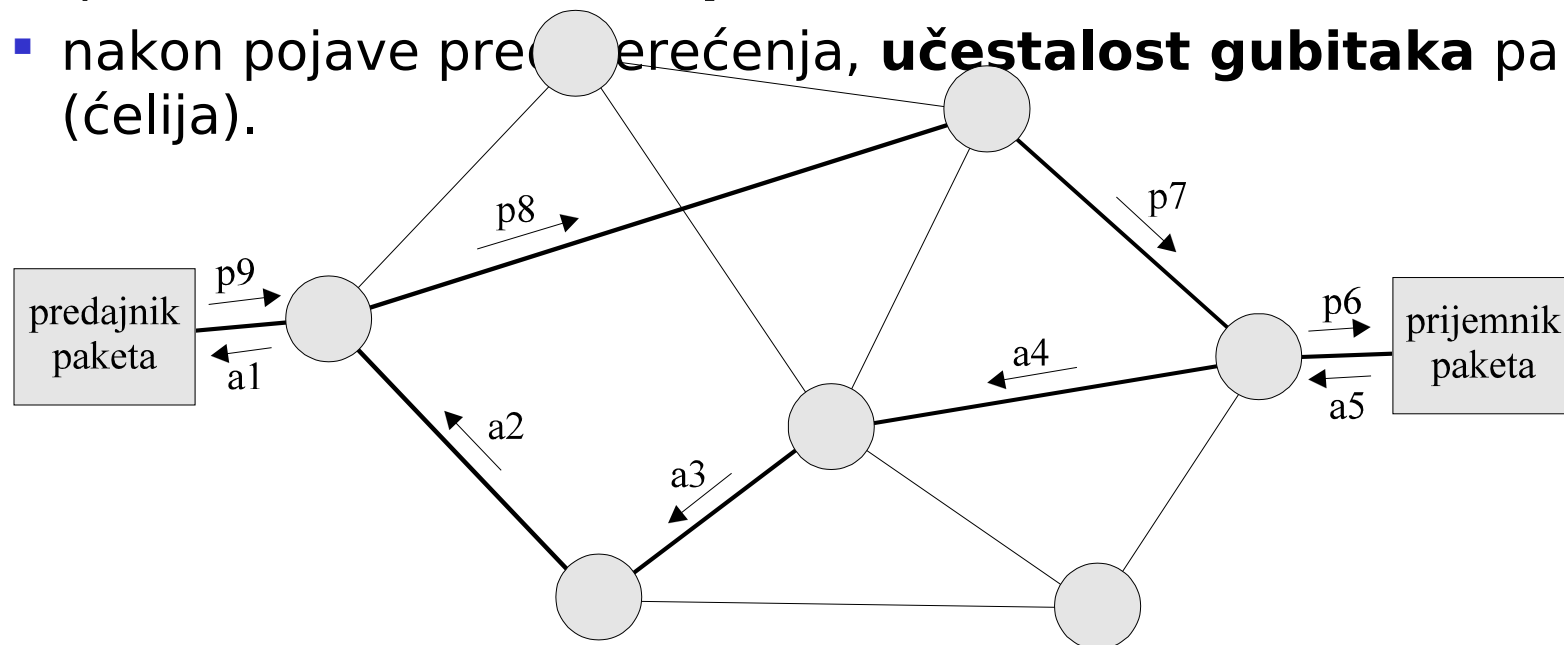
- koriste se paketi koji putuju prema odredištu (EFCI, Explicit Forward Congestion Indication)
- **odredište** kopira indikatore u pakete povratnog prometa
- time se rješava problem razdvojenog usmjeravanja
- **izvorište** usklađuje brzinu predaje ovisno o indikatorima
- druga je mogućnost da **odredište** na osnovu indikacije zagušenja korigira parametre kontrole toka (npr. širinu prozora) koji inače služe za usklađenje brzine među korisnicima
- to je **odredišno upravljanje tokom (u praksi bolje od BCN)**
- složeniji algoritmi omogućavaju
  - dojavu mjere zagušenja,
  - dojavu optimalne brzine slanja paketa

# Kontrola toka

## ■ Detekcija zagušenja

### ■ ImPLICITNA DOJAVA

- predajnik mjeri **kašnjenju potvrde (vrijeme obilaska RTT)**
- podatak o **trenutnom prozoru W** (window)
- nakon pojave preopterećenja, **učestalost gubitaka paketa** (ćelija).





# Kontrola toka

---

## ■ Detekcija zagušenja

### ■ Mjerenje RTT i W (prozora)

- Predajnik zna broj paketa u mreži od slanja do potvrde (prozor)
- kad primi potvrdu  $a_j$ , predajnik zna
  - da je paket izašao iz mreže
  - da smije poslati slijedeći paket  $p_k$

$$W = k(p_k) - j(a_j)$$

- u trenutku prijema potvrde  $a_j$ , predajnik izračuna i vrijeme obilaska iz poznatih
  - trenutaka predaje paketa
  - prijema njegovi potvrde

$$T = t(a_j) - t(p_j)$$

- vrijeme obilaska treba računati s oprezom (ponovljeni paketi)
- kod TCP protokola Interneta, vrijeme obilaska za ponovljene pakete se ne računa.



# Kontrola toka

---

## ■ Filtriranje informacije

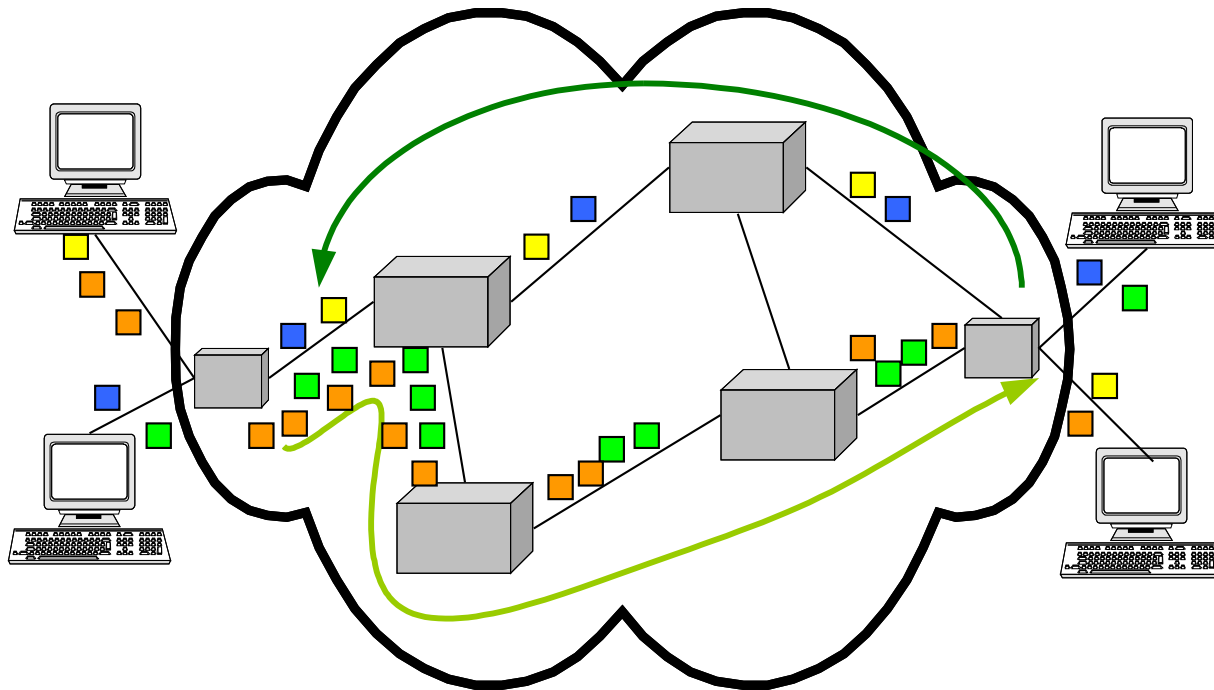
- Problem fluktuacije mjernih veličina
  - pojavljuje se problem trenutnih promjena mjernih veličina (unutar RTT)
    - kraće su od vremena kašnjenja na mreži (trenutno zagušenje)
    - nužno je trenutne mjerene vrijednosti filtrirati
    - iz niza mjerenih vrijednosti dobiti traženu informaciju za višu vremensku razinu.



# Kontrola toka

## ■ Filtriranje informacije

- Problem fluktuacije mjernih veličina

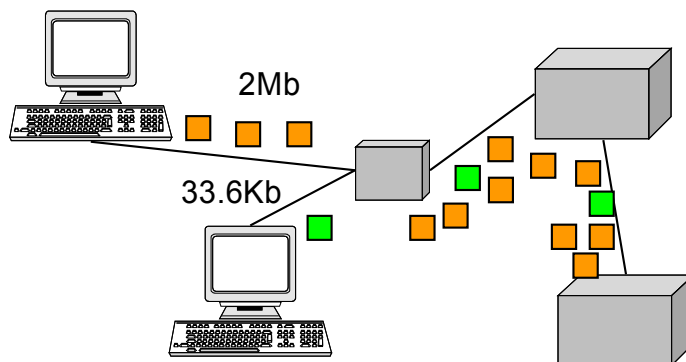


# Kontrola toka

## ■ Filtriranje informacije

### ■ Problem filtriranja

- frekvencija uzorkovanja često varijabilna
- da mjerni podaci kasne
- da je podataka nekad premalo (frekvencija uzorkovanja preniska, naročito u uvjetima zagušenja)
- da isti algoritam protokola koristimo za različite RTT





# Kontrola toka

---

## ■ Filtriranje informacije

- Algoritam - eksponencijalno uprosječivanje
  - udio i-tog prošlog uzorka proporcionalan s  $\alpha^i$
  - prednost metode je u tome što ne zavisi o vremenu
  - pogodnim izborom pojačanja realizira se cjelobrojnom aritmetikom.

$$x(n+1) = (1 - \alpha)x(n) + \alpha m(n)$$



# Kontrola toka

---

## ■ Algoritmi predajnika

- Postupak usklađivanja brzine predaje nakon detekcije zagušenja (ili dojave za explicitne mehanizme dojave zagušenja)
  - postavlja se problem određivanja nove brzine predaje
  - cilj je postići kakvoću usluge i pravednost
  - nemoguće je računati na centralizirane algoritme predajnika (one, gdje bi se brzine centralno izračunavale)
  - treba se osloniti na distribuirane algoritme predajnika (one, gdje svaki predajnik računa brzinu za sebe)



# Kontrola toka

---

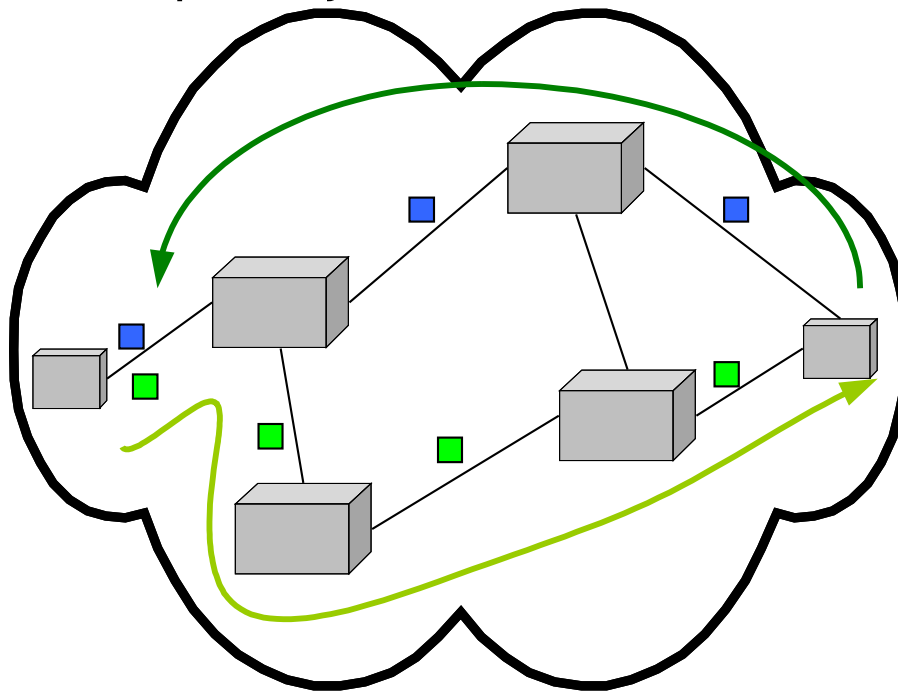
## ■ Algoritmi predajnika

- Kod eksplicitnih dojava raspoloživog kapaciteta
  - predajnik nastavlja odašiljanje novom dozvoljenom brzinom
- Kod eksplicitne ili implicitne dojave zagušenja
  - podatak o raspoloživom kapacitetu nije poznat
  - za slučaj zagušenja predajnik će smanjiti brzinu predaje
  - za slučaj podopterećenja mreže, povećat će brzinu predaje
  - optimalan algoritam predajnika koji koristi
    - aditivni porast kod podopterećene mreže
    - multiplikativno smanjenje brzine kod pojave zagušenja
  - korisnici koji nepravedno koriste veći dio kapaciteta brže smanjuju svoju brzinu
  - kod podjele novooslobođenog kapaciteta svi imaju podjednaku šansu.

# Kontrola toka

## ■ Algoritmi predajnika

- Mehanizami kontrole toka predajnika
  - prozorska kontrola (window control)
  - kontrola brzine predaje (rate control)





# Kontrola toka

---

## ■ Algoritmi predajnika

### ■ Prozorska kontrola

- zasniva se na ograničenju broja paketa (ćelija) koje predajnik smije poslati prije nego dobije potvrdu prijema od odredišta
- prozor je apsolutno ograničen modulom numeracije PDU
- najveći dozvoljeni prozor ima vrijednost slobodnog dijela memorije prijemnika
- predajnik šalje maksimalnom brzinom koja ovisi o
  - širini prozora prijemnika RWIN (Receiver Window)
  - i vremenu obilaska T:

$$L_{\max} = \frac{RWIN}{T}$$



# Kontrola toka

---

## ■ Algoritmi predajnika

### ■ Prozorska kontrola

- isti mehanizam moguće je koristiti za izbjegavanje zagušenja
- korigiramo širinu prozora zagušenja CWND (Congestion Window)
- predajnik šalje na mrežu
  - onoliko paketa koliko je dozvoljeno prozorom zagušenja
  - a najviše onoliko koliko je dozvoljeno prozorom prijemnika:
- prozorska kontrola je prirodan način kontrole toka kada je kapacitet kojim se upravlja ograničen količinom memorije u čvorištima
- prozorska kontrola efikasno nadzire broj paketa u mreži
- mana je prozorske kontrole što ne nadzire efikasno ulazni promet
- izvorišta često generiraju praskove (burst) paketa

$$L = \frac{\min(RWIN, CWIND)}{T}$$





# Kontrola toka

---

## ■ Algoritmi predajnika

### ■ Kontrola brzine predaje

$$L = \frac{1}{\tau}$$

- zasniva se na korekciji perioda emitiranja paketa
- propusnost je obrnuto proporcionalna periodu emitiranja paketa  $\tau$ :
- predajnik smanjuje brzinu predaje radi izbjegavanja zagušenja
- prednost metode je u izbjegavanju praskova paketa
- karakteristike predajnika približavaju se determiniranom modelu izvorišta
- mana metode je što ne ograničava broj paketa u mreži
- ne štiti spremnike čvorišta od popunjenosti
- kontrola brzine predaje je prirodan način kontrole toka kada je upravljani kapacitet ograničen brzinom prijenosa (komunikacijski kanal) ili obrade (usmjernik)
- ona efikasno nadzire ulazni promet.



# Kontrola toka

---

## ■ Algoritmi predajnika

### ■ Hibridne metode

- zbog prednosti i mana dvaju pristupa optimalno kombinacija
  - prozorske kontrole
  - kontrole brzine predaje
- kontrola brzine treba spriječiti pojavu praskova prometa
- prozorska kontrola treba spriječiti nekontrolirano popunjavanje redova u usmjernicima



# Osnovni standardi

---

- **Donošenje standarda**
  - standarde donose nacionalne ili međunarodne organizacije za standardizaciju
  - napredak tehnologije je često brži od formalna procedure standardizacije
  - sami proizvođači opreme novim produktima postavljaju de-fakto, interne ili industrijske standarde.
  - nakon početne faze burnog razvoja, nova tehnologija se naknadno formalno standardizira.



# Osnovni standardi

---

- Interne standarde donose tvrtke ili udruženja:
  - **EIA** (Electronics Industries Association USA), standardizira sučelje RS232
  - **LIM** (Lotus Intel Microsoft USA), poznata specifikacija proširenja memorije PC-XT računala
  - **ATM** - Forum, udruženje proizvođača ATM opreme, aktivno u donošenju niza standarda
  - **VESA**, udruga proizvođača grafičkih kartica
  - **ISA** (Industry Standard Organization), standardizira sabirnicu PC-AT računala umjesto IBM-a



# Osnovni standardi

---

- **PCMCIA**, konzorcij koji donosi standarde za povezivanje perifernih uređaja u obliku kartica
- **INTEL**, proizvođač 80x86 procesora, standardizira PCI sabirnicu PC računala
- **IEEE** (Institute of Electrical and Electronic Engineering), institut udruženja elektrotehničara čiji su standardi prihvaćeni kao međunarodni, standardizira lokalne mreže (802.x).



# Osnovni standardi

---

- Formalne standarde donose međunarodne i nacionalne organizacije:
  - **ISO** (International Standardization organization)
    - često formalno prihvaća ranije postavljene interne standarde
    - poznata specifikacija ISO-OSI referentnog modela mrežne arhitekture
  - **ANSI** (American National Standardization Institute)
    - donio niz standarda sa područja računarstva
  - **NBS** (National Bureau of Standardization)
    - federalna organizacija za standarde USA



# Osnovni standardi

---

- ITU - T (International Telecommunications Union - Telecommunications, ranije CCITT), donio niz važnih preporuka s područja telekomunikacija
  - V preporuke za prijenos podataka preko analogne mreže (modemi),
  - X preporuke za prijenos podataka preko digitalne mreže (X.25 paketna mreža),
  - I preporuke za integrirane mreže (ISDN, među njima i ATM)



# Kontrola toka kao mehanizam protokola

---

- usklađuje brzine da će u memoriji prijemnika biti dovoljno prostora za sve pakete koje predajnik smije poslati