

UNIVERZITET CRNE GORE  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

# **RAČUNARSKE MREŽE**

NASTAVNIK: DR UGLJEŠA UROŠEVIĆ  
ugljesa@ucg.ac.me

SARADNIK: MR KOSTA PAVLOVIĆ  
kosta@ucg.ac.me

# Uvod u računarske mreže

# Uvod u računarske mreže

## Šta je Internet?



- ❑ Milioni povezanih računara:

- *host = krajnji sistem*
- Izvršavaju *mrežne aplikacije*

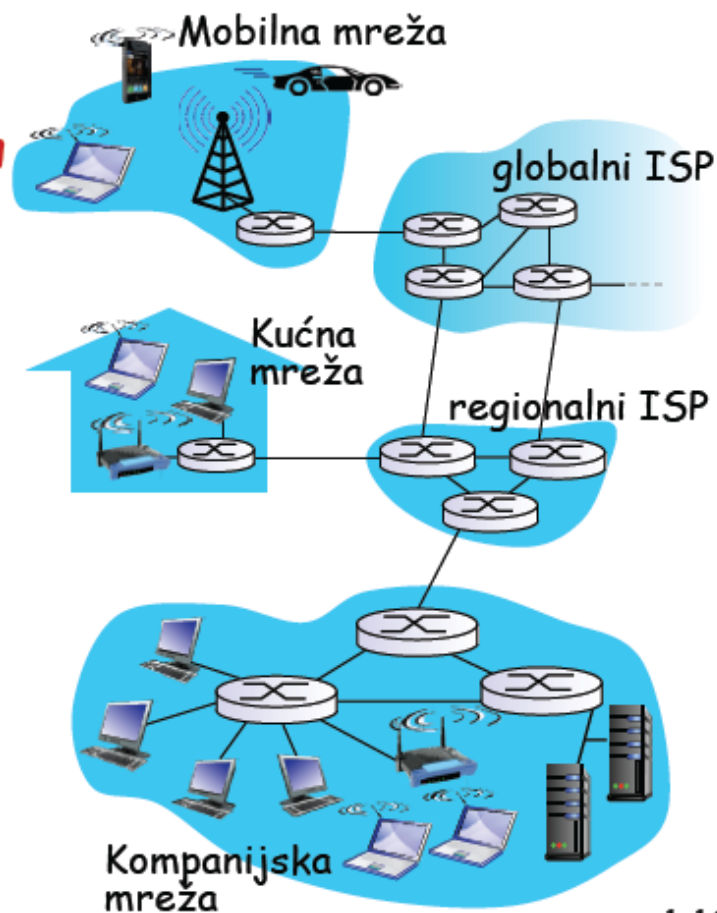


### ❖ *Komunikacioni linkovi*

- Optičko vlakno, bakarna žica, radio, satelit
- Brzina prenosa: *bandwidth*

- ❖ *Komutatori paketa*: prosleđuju pakete (djelove poruka)

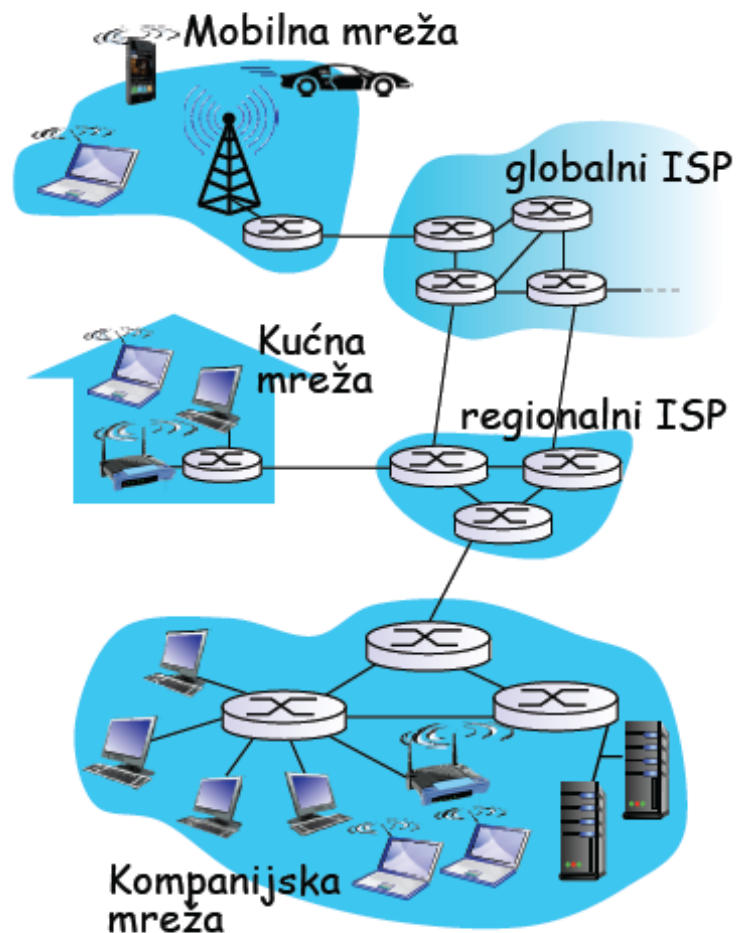
- *ruteri i komutatori*



# Uvod u računarske mreže

Iz čega se sastoji Internet u logičkom smislu?

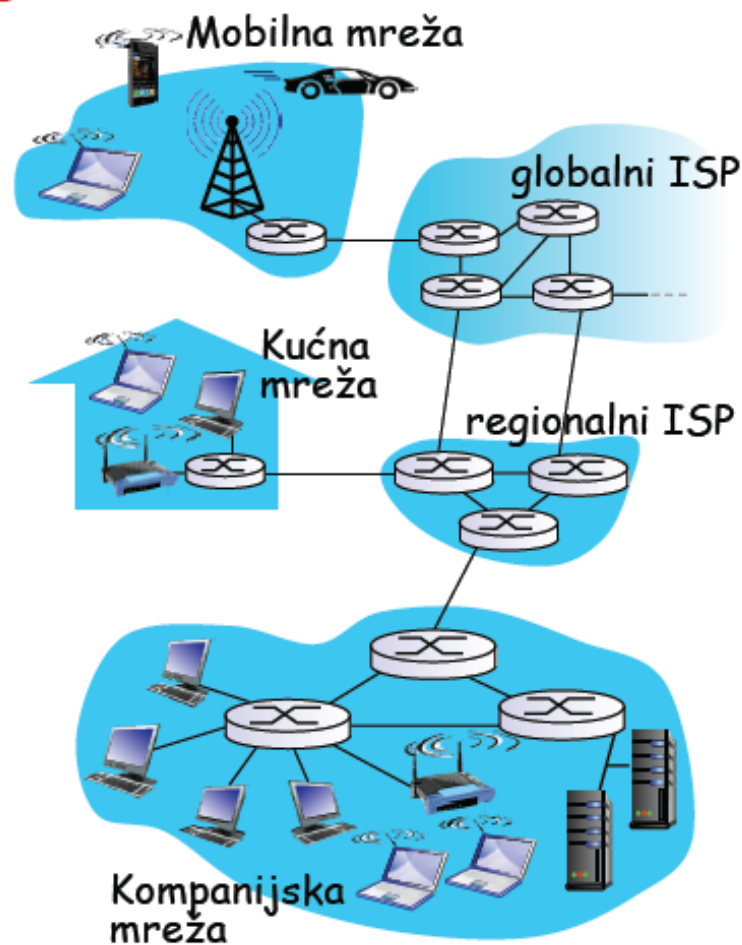
- ❑ *Protokoli* kontrolišu slanje i prijem poruka
  - npr, TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- ❑ *Internet: “mreža svih mreža”*
  - Labava hijerarhija
    - Javni Internet
    - privatni intranet
- ❑ Internet standardi
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



# Uvod u računarske mreže

## Šta je Internet sa stanovišta usluge?

- *Komunikaciona infrastruktura* koja omogućava komunikaciju između distribuiranih aplikacija:
  - Web, email, igrice, e-commerce, baze podataka, društvene mreže, file sharing
- *Omogućava programabilni interfejs do aplikacija*
  - "veza" koja omogućava aplikacijama da šalju i primaju podatke sa Interneta
  - Omogućava opcije servisa, analogne poštanskom servisu



# Uvod u računarske mreže

## Šta je mrežni protokol?

### Ljudski protokoli:

- ❑ “Koliko je sati?”
  - ❑ “Imam pitanje”
  - ❑ “Mogu li da odgovaram za A?”
  - ❑ Ima li skaliranja?
  - ❑ Upoznavanje
- ... šalju se posebne poruke
- ... izvršavaju se različite akcije kada poruka stigne

### Mrežni protokoli:

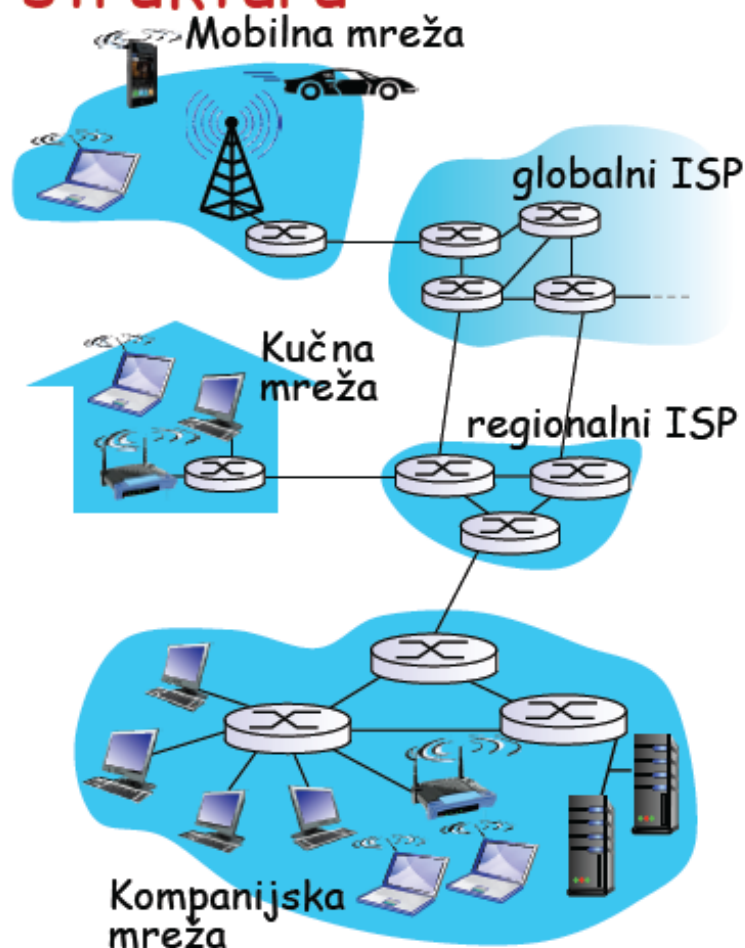
- ❑ Između mašina
- ❑ Sve komunikacione aktivnosti na Internetu definišu protokoli

*Protokoli definišu format, redosled poslatih i primljenih poruka između mrežnih entiteta, i akcije koje se sprovode nakon prijema poslatih poruka*

# Uvod u računarske mreže

## Detaljniji pogled na mrežnu strukturu

- **Mrežna ivica:** aplikacije i hostovi (klijenti i serveri)
- **Mrežna okosnica:**
  - međupovezani ruteri
  - mreža međupovezanih mreža
- **Pristupna mreža, fizički medijum:** komunikacioni linkovi (žični i bežični)

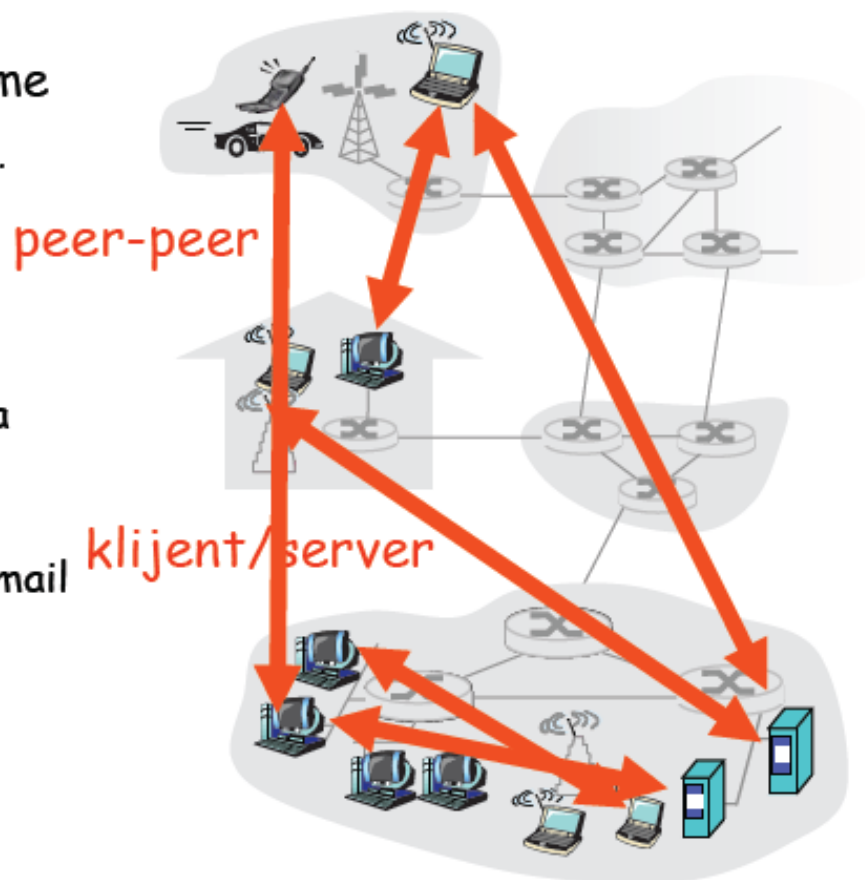




# Uvod u računarske mreže

## Ivica mreže

- **Krajni sistemi (hostovi):**
  - izvršavaju aplikativne programe
  - npr. Opera, Safari, Outlook,...
  - na "ivici mreže"
- **Aplikacije**
  - **klijent/server model**
    - klijent host zahtijeva, dobija servis od "uvijek dostupnog" servera
    - npr. Web browser/server; email klijent/server
  - **peer-peer (P2P) model:**
    - minimalno (ili ne) korišćenje dodijeljenih servera
  - **hibrid**
    - Neke funkcije KS, a neke P2P
    - Skype, BitTorrent





# Uvod u računarske mreže

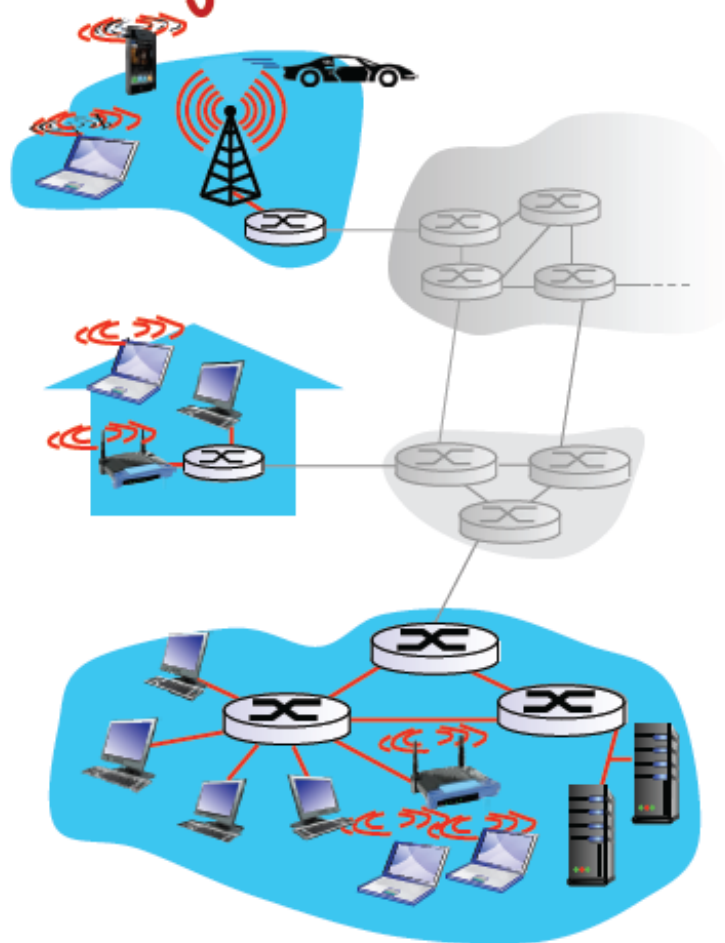
## Pristupne mreže i fizički medijum

*Pitanje: Kako povezati krajnji sistem na edge ruter?*

- ❑ Rezidencijalne pristupne mreže
- ❑ Institucionalne pristupne mreže (kompanije, ustanove,...)
- ❑ Mobilne pristupne mreže

*Važno je obratiti pažnju na*

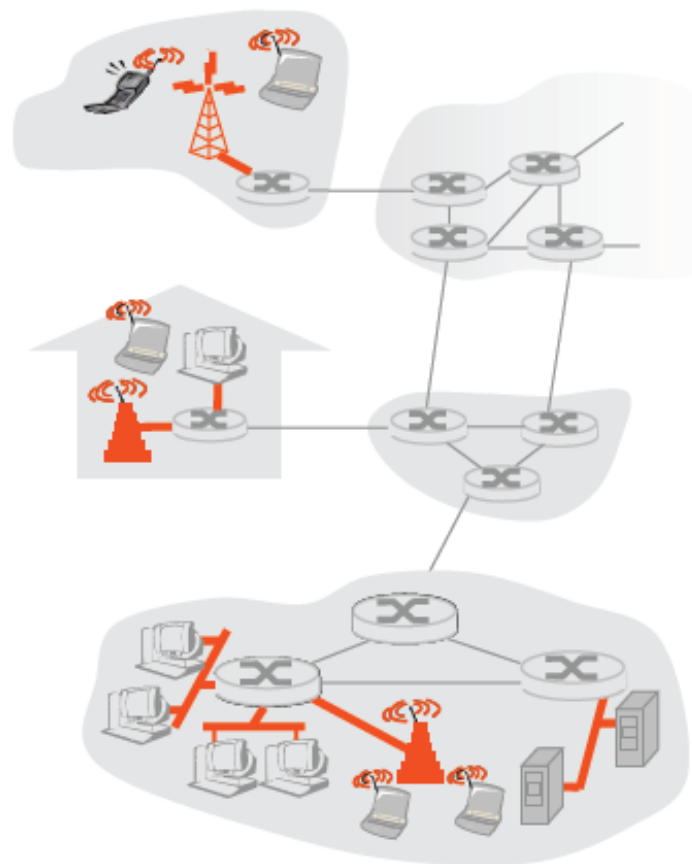
- ❑ kapacitet (b/s) pristupne mreže?
- ❑ zajednički ili dodijeljeni?



# Uvod u računarske mreže

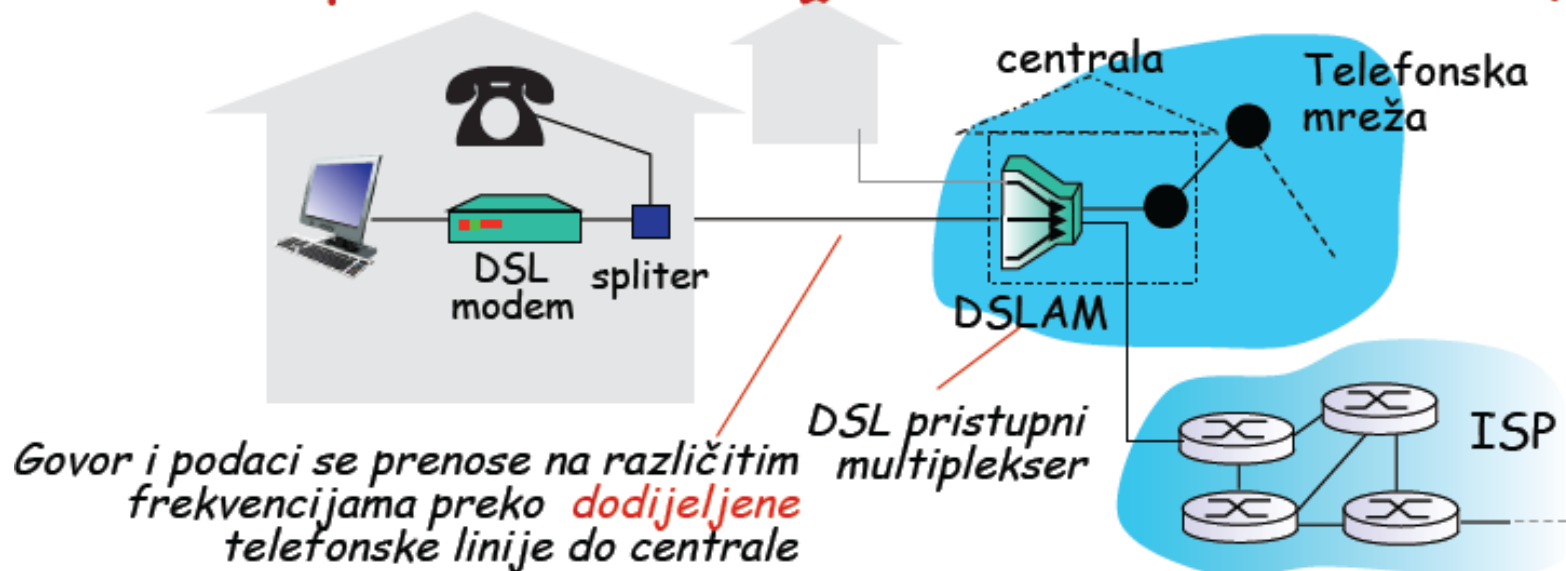
## *Popularni pristupi*

- ❑ DSL
- ❑ Kablovska
- ❑ Optičko vlakno
- ❑ Bežični pristup (UMTS, LTE, LTE-A, WiFi, WiMAX,...)



# Uvod u računarske mreže

## Pristupna mreža: digital subscriber line (DSL)

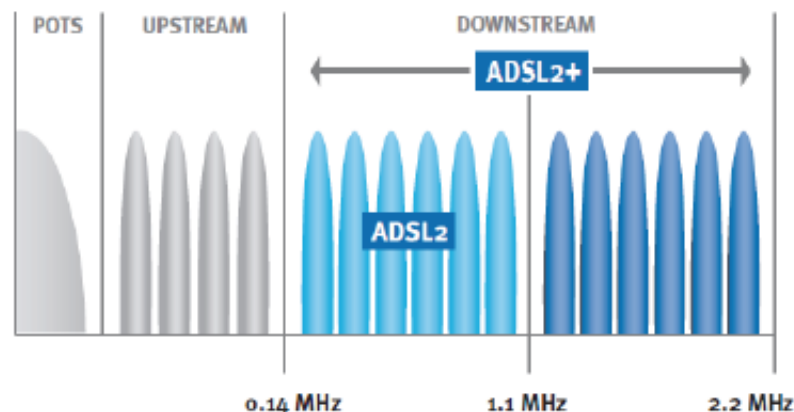


- ❖ koristi **postojeću** telefonsku liniju do DSLAM-a u telefonskoj centrali
  - Podaci se preko DSL linije prenose do Interneta
  - Govor se preko DSL linije prenosi do telefonske mreže

# Uvod u računarske mreže

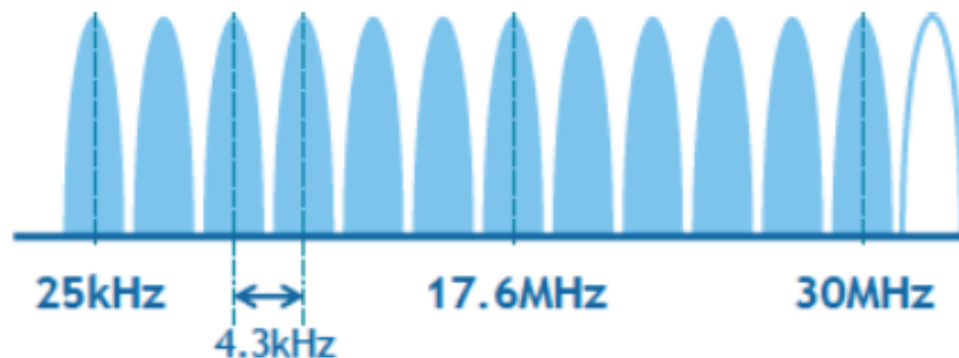
## □ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

- ADSL2+ (ITU G.992.5 Annex M iz 2008. godine)
- do 3.3Mb/s upstream
- do 24Mb/s downstream
- Granica između opsega upstreama i downstreama na 276kHz
- FDM (DMT - Discrete MultiTone):
  - 276kHz - 2208kHz downstream (512 kanala širine 4.3125kHz)
  - 25kHz - 276kHz upstream (64 kanala širine 4.3125kHz)
  - 0 kHz - 4 kHz za telefon



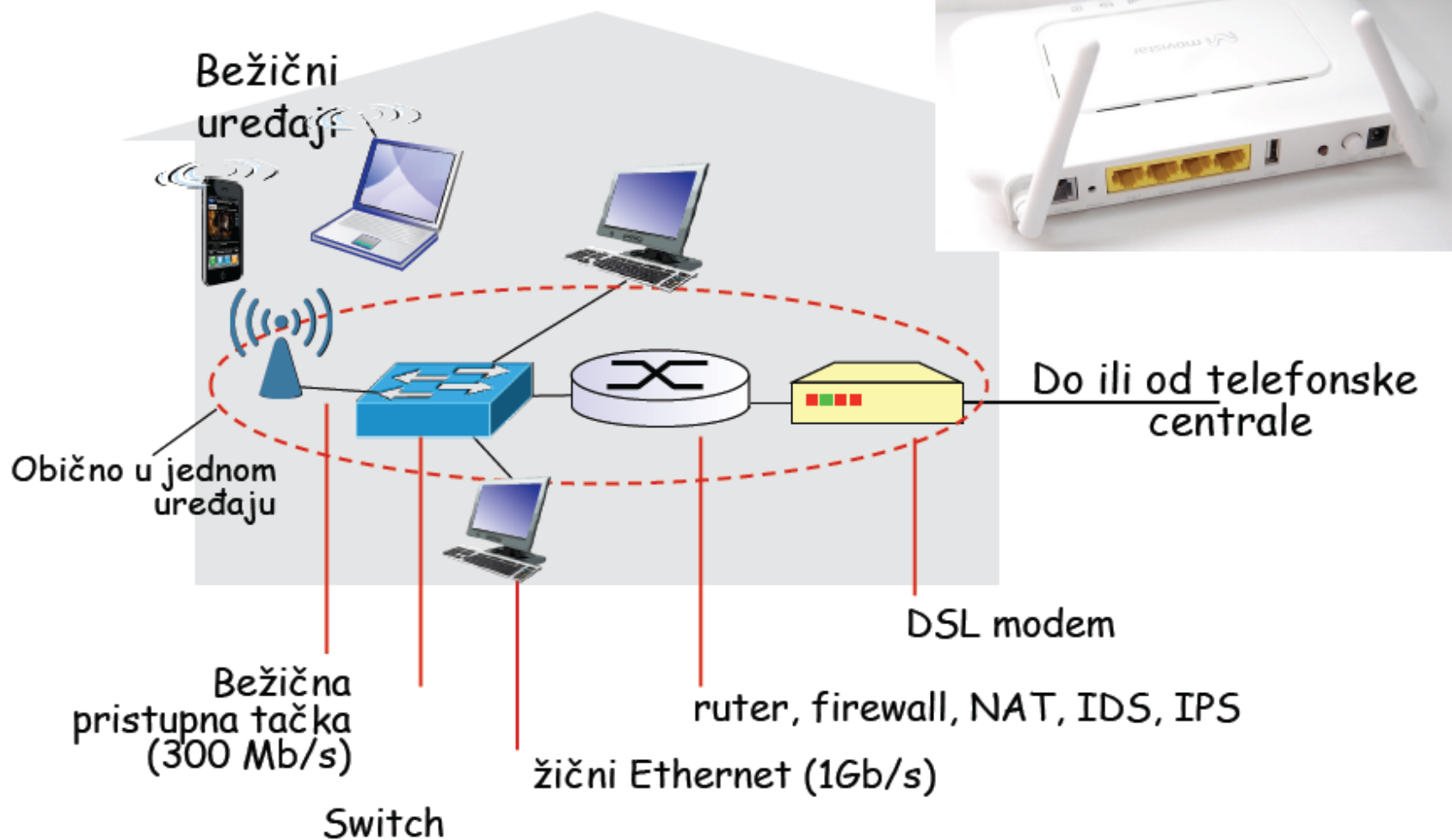
# Uvod u računarske mreže

- ❑ **VDSL (Very high bit rate Digital Subscriber Line)**
  - VDSL2 Annex Q ili Vplus/35b (ITU G.993.2 amandman iz 2015. godine)
  - do 100Mb/s upstream
  - do 300Mb/s downstream
  - 250m
  - VDSL2 Vectoring (ITU-T G.993.5)
  - FDM (DMT - Discrete MultiTone):
    - 25kHz - 35328kHz downstream (8192 kanala širine 4.3125kHz)



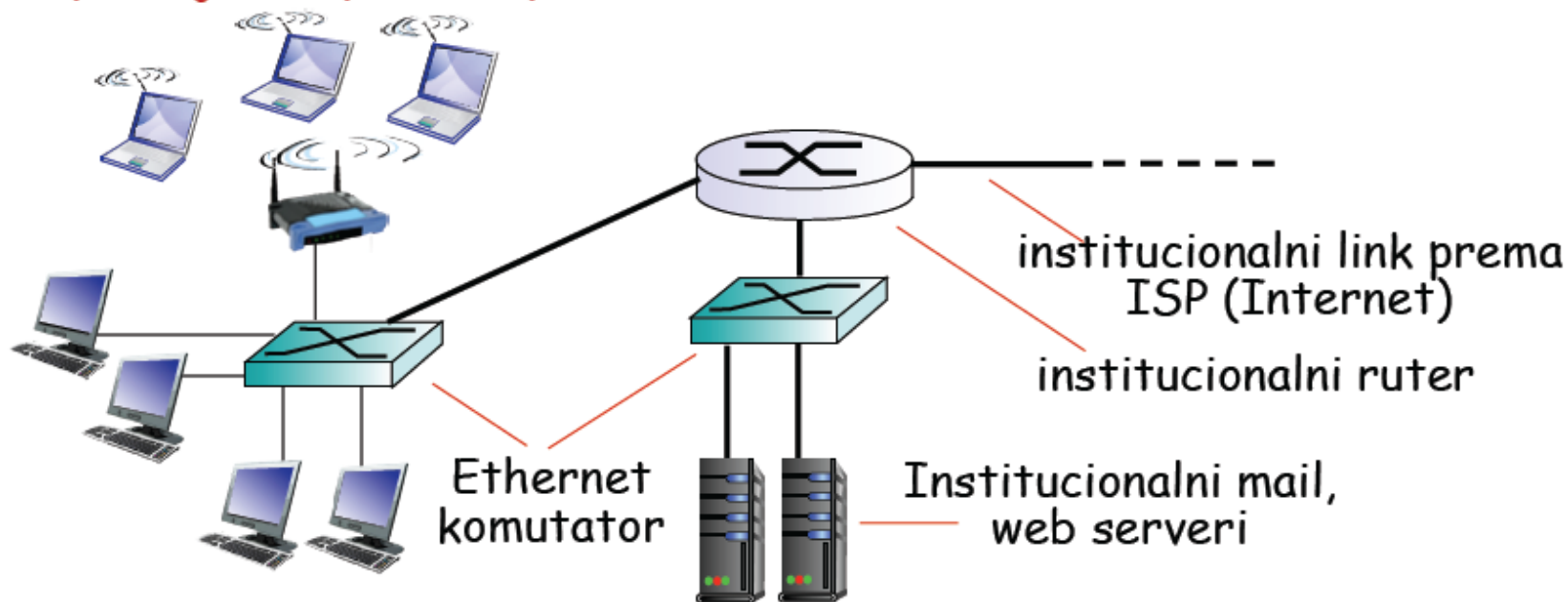
# Uvod u računarske mreže

## Pristupna mreža: kućna mreža



# Uvod u računarske mreže

## Kompanijska pristupna mreža



- Kompanije, univerziteti,...
- ❖ 10 Mb/s, 100Mb/s, 1Gb/s, 10Gb/s
- ❖ Danas se krajnji sistemi tipično povezuju na Ethernet komutator ili WLAN access point



# Bežične pristupne mreže

## □ Dijeljeni *bežični pristup*

- Preko bazne stanice (pristupne tačke) ili adhoc

### wireless LAN:

- Unutar objekata (30m)
- Napolju (stotinak metara)
- 802.11b/g/n (WiFi): 11/54/600

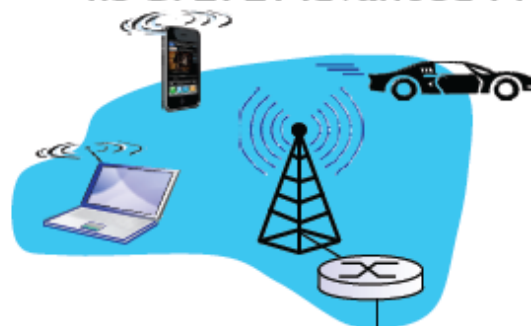


*prema Internetu*

[www.ieee802.org/11/](http://www.ieee802.org/11/)

### WAN *bežični pristup*

- Celularni pristup koji nudi operator, desetine kilometara
- od nekoliko stotina kb/s do nekoliko storina Mb/s
- 3G: UMTS,
- 4G: LTE Advanced
- 4.5G: LTE Advanced Pro

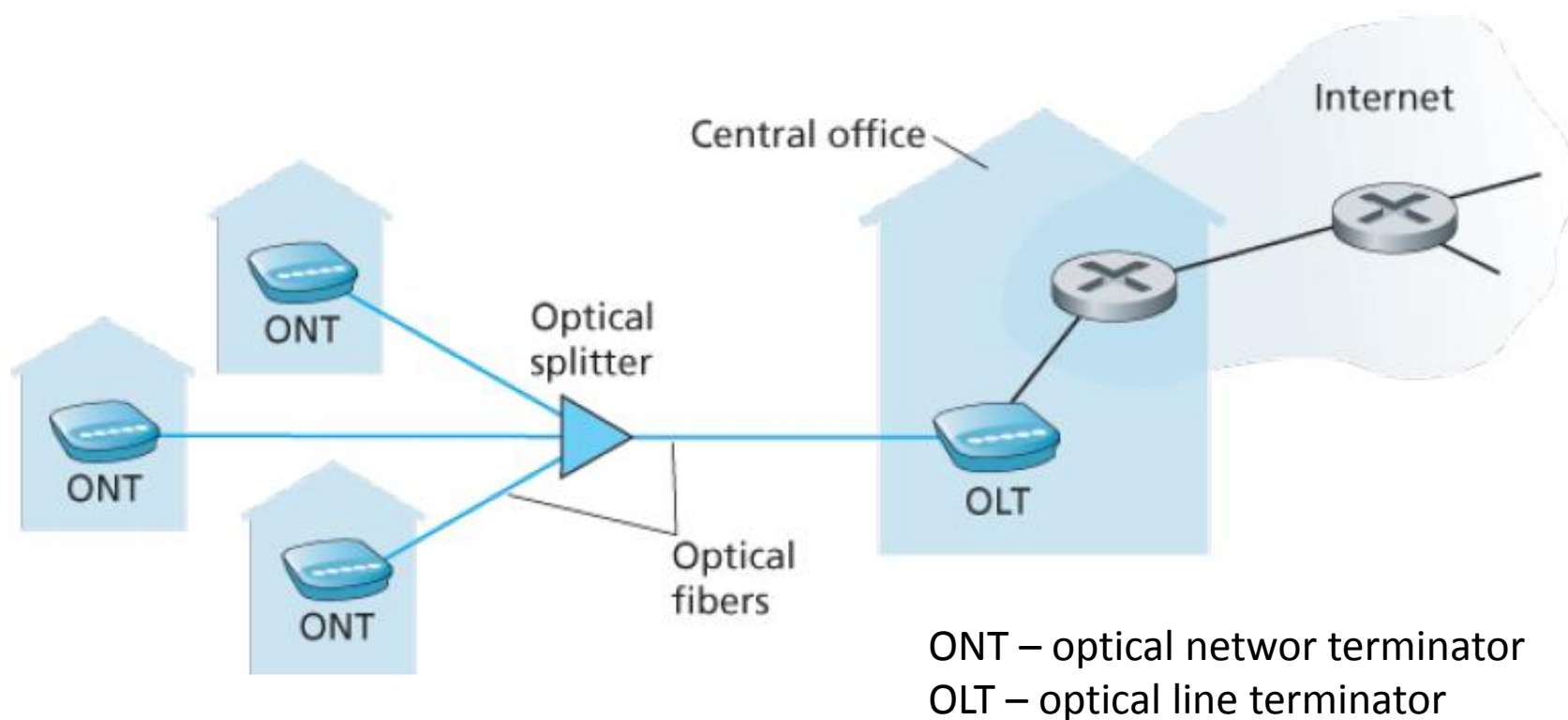


*prema Internetu*

<http://www.3gpp.org>

# Uvod u računarske mreže

FTTH – *fiber to the home* - optika do kuće



# Uvod u računarske mreže

## Fizički medijum

- **Bit:** prenosi se preko predajne/prijemne parice
- **Fizički link:** između predajnika i prijemnika
- **"Vođeni" medijum:**
  - Signali se prenose preko čvrstog medijuma: bakar, optičko vlakno, koaksijalac
- **"Ne vođeni" medijum:**
  - Signali se prostiru slobodno, npr., radio

## Upredena parica

- Dvije izolovane bakarne žice
  - Kategorija 5 : 100Mb/s i 1Gb/s Ethernet
  - Kategorija 6: 10Gb/s Ethernet

<http://www.ansi.org>



# Uvod u računarske mreže

## Koaksijalni kabal:

- Dva koncentrična bakarna provodnika
- bidirekcionni
- Osnovni opseg:
  - jedan kanal na kablju
  - rani Ethernet
- Širokopolasni :
  - više kanala na kablju
  - HFC



## Kabal sa optičkim vlaknima:

- Stakleno vlakno prenosi svjetlosne impulse, svaki impuls jedan bit
- Rad na visokim brzinama:
  - Brzi tačka-tačka prenosi (npr., nekoliko 100Gb/s)
- Nizak nivo greške: veće rastojanje između ripitera i imunitet u odnosu na elektromagnetni šum



# Uvod u rač. mreže

---

- signal se prenosi elektromagnetnim talasom
- nema fizičke “žice”
- bidirekcion
- Efekti propagacije:
  - refleksija
  - difrakcija
  - Interferencija
  - Fading
  - ...

## Radio link:

- **Zemaljski mikrotalasni**
  - npr. kanali do 45 Mb/s
- **WLAN**
  - 2Mb/s, 11Mb/s, 54Mb/s, 600Mb/s
- **WPAN**
  - ZigBee(IEEE.802.15), Bluetooth
  - 10-100m, 2,4GHZ, 10Mb/s
- **WAN**
  - 3G: stotine kb/s
  - 3.5G nekoliko Mb/s
  - 4G (LTE Advanced i IEEE 802.15m): 1Gb/s (DL), 0.5Gb/s (UL), 10ms
  - 4.5G (LTE Advanced Pro) : 3Gb/s (DL), 1.5Gb/s (UL), 2ms
- **satelitski**
  - do 50Mb/s kanal (ili više užih kanala), RTT= 270 ms, GEO ili LEO?

# Fizički medijum: radio

## Celularni sistemi: Teorijske i stvarne brzine prenosa!

Throughput Format	Occupied Bandwidth	Peak (Single user)	Average (10 users/cell)	Cell Edge (10 users/cell)	Raw Peak/ edge ratio*
GSM (1 slot) (10 users, freq. reuse = 4)	1 MHz	9.6 kbps	9.6 kbps	9.6 kbps	<b>1</b>
GPRS (4 slot)	4 MHz	81.6 kbps	50 kbps	36.2 kbps	<b>2.3</b>
EDGE (4 slot)	4 MHz	236.8 kbps	70 kbps	36.2 kbps	<b>6.5</b>
UMTS (Rel-99)	5 MHz	384 kbps	100 kbps	30 kbps	<b>12.8</b>
HSDPA (Rel-5)	5 MHz	3.6 Mbps	250 kbps	80 kbps	<b>45</b>
HSDPA (Rel-7)	5 MHz	42 Mbps	350 kbps	120 kbps	<b>350</b>
HSDPA (Rel-8)	10 MHz	84 Mbps	800 kbps	240 kbps	<b>350</b>
LTE (Rel-8) 4x4	20 MHz	300 Mbps	5.34 Mbps	1.6 Mbps	<b>187</b>
LTE-A (Rel-10) 4x4	20 MHz	600 Mbps	7.4 Mbps	2.4 Mbps	<b>250</b>

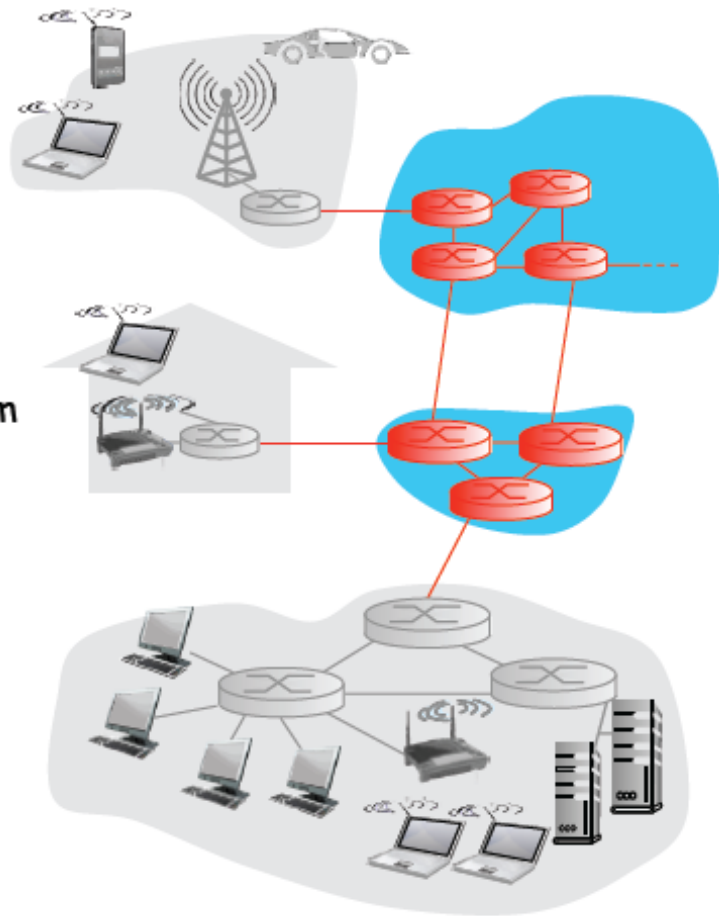
\* Ratio can be reduced at expense of cell capacity with proportional fair scheduling and fractional frequency reuse



# Uvod u računarske mreže

## Okosnica mreže

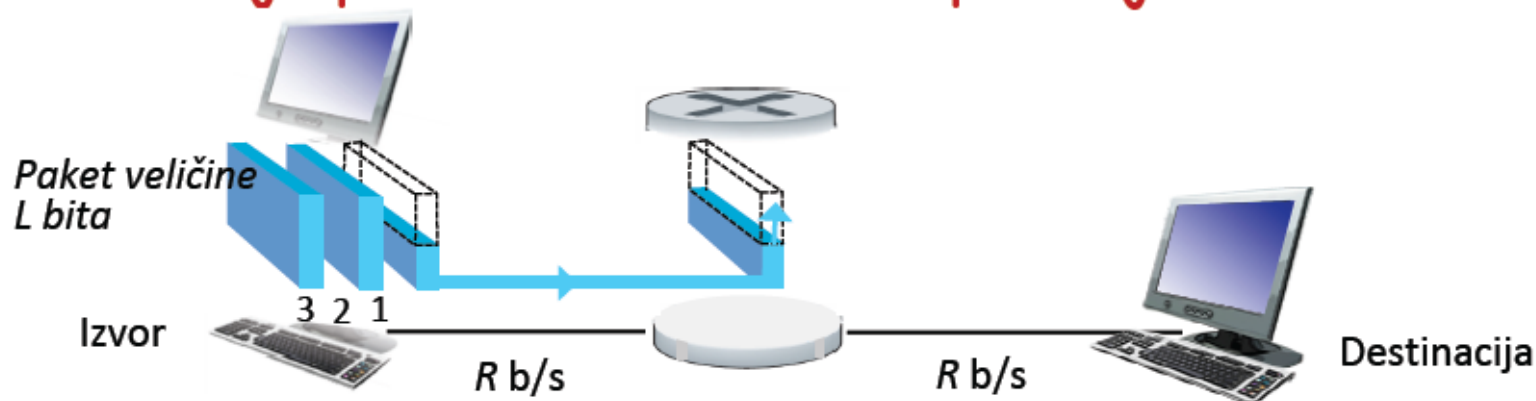
- ❑ Skup međupovezanih rutera
- ❑ Komutacija paketa (packet switching):
  - Poruke se šalju preko mreže u djelovima (paketima) iz kojih se na destinaciji rekonstruiše poruka
  - Poruke se prosleđuju od rutera do rutera
  - Svaki paket se prenosi maksimalnom brzinom prenosa koju obezbeđuje link





# Uvod u računarske mreže

## Komutacija paketa: uskladišti i proslijedi



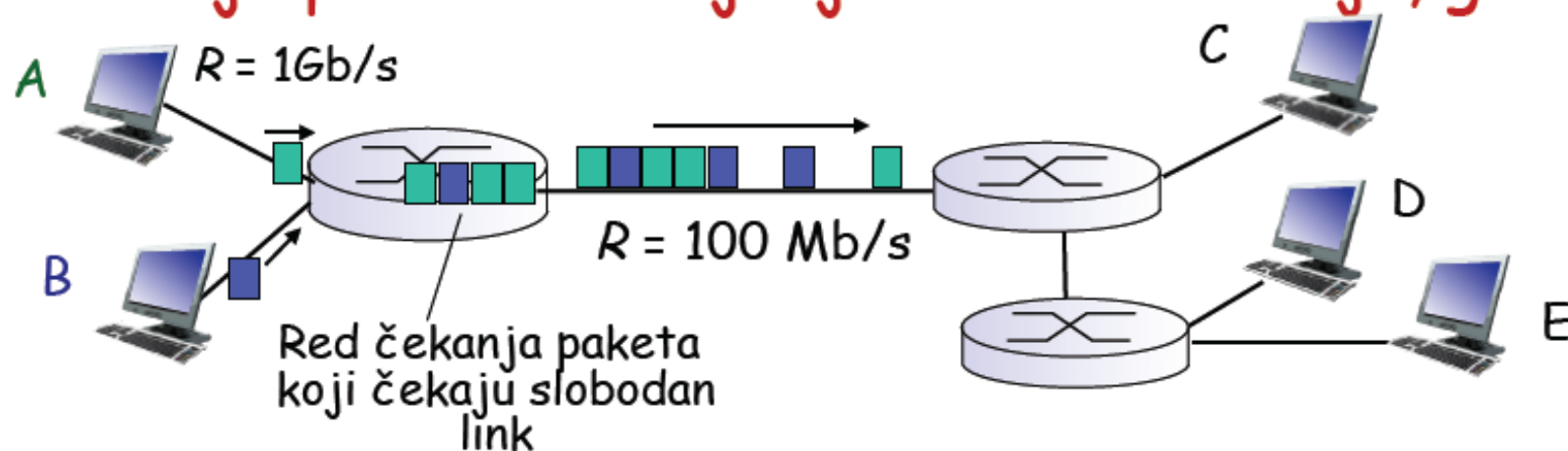
- Potrebno je  $L/R$  sekundi da bi se paket veličine  $L$  bita prenio na link brzine  $R$  b/s
- **Uskladišti i proslijedi:** kompletan paket mora doći do rutera prije nego što se on proslijedi na naredni link
- Kašnjenje od kraja do kraja =  $2L/R$  (ako se zanemari kašnjenje uslijed propagacije)

### Primjer:

- $L = 7.5$  Mb
- $R = 1.5$  Mb/s
- Kašnjenje uslijed prenosa = 5 s

# Uvod u računarske mreže

## Komutacija paketa: kašnjenje u redu čekanja, gubici



### Red čekanja i gubici:

- ❖ Ako je dolazna brzina paketa približna brzini prenosa na linku u određenom intervalu vremena:
  - Paketi se smještaju u red čekanja i čekaju na oslobađanje linka
  - Paketi se odbacuju ako nema dovoljno memorijskog prostora u baferu

# Uvod u računarske mreže

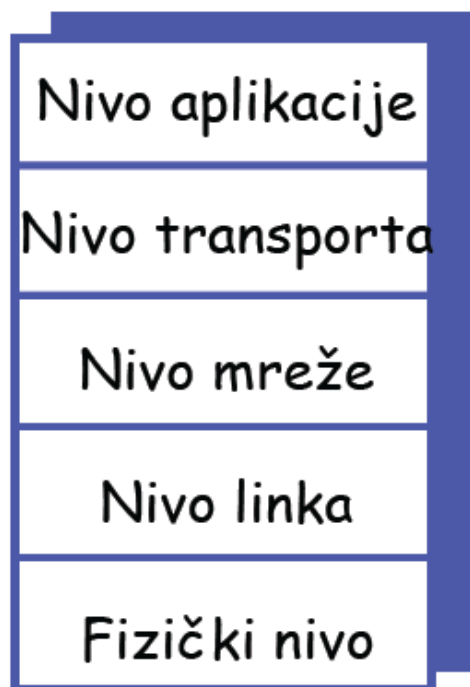
## Mreže sa komutacijom paketa: prosleđivanje

- ❑ **Cilj:** prenos paketa pomoću rutera od izvora do destinacije
  - Razmatraće se kasnije više algoritama za selekciju puta (rutirajućih algoritama)
- ❑ **Datagram mreža:**
  - *adresa destinacije* u paketu određuje naredni hop (skok)
  - rute se mogu mijenjati tokom sesije
  - analogija: vožnja, traženje informacije o željenom pravcu
- ❑ **Mreža virtuelnih kola:**
  - Svaki paket nosi "etiketu" tzv.tag (ID virtuelnog kola), tag određuje naredni hop
  - Fiksna putanja se određuje prilikom *uspostavljanja poziva*, i ostaje nepromijenjena do kraja sesije
  - *ruteri održavaju "per-call" stanje*

# Uvod u računarske mreže

## Internet arhitektura

- ❑ **Aplikacija:** podržava mrežne aplikacije
  - FTP, SMTP, STTP
- ❑ **Transport:** host-host prenos podataka
  - TCP, UDP
- ❑ **Mreža:** rutiranje datagrama od izvora do destinacije
  - Internet Protocol (IP), rutirajući protokoli
- ❑ **Link :** prenos podataka između susjednih mrežnih elemenata
  - PPP, Ethernet
- ❑ **Fizički:** biti “po žici”



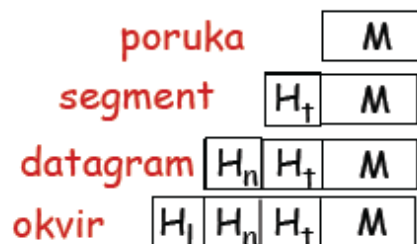
# Uvod u računarske mreže

## Rad sa kompleksnim sistemima:

- ❑ eksplicitna struktura dozvoljava identifikaciju, vezu između elemenata kompleksnih sistema
  - Nivovski (višeslojni) **referentni model**
- ❑ Modularizacija olakšava nadzor, nadogradnju sistema
  - Promjena implementacije višenivovskog servisa je transparentna ostatku sistema
  - npr., promjena procedure ukrcavanja ne utiče na ostatak sistema

# Uvod u računarske mreže

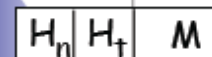
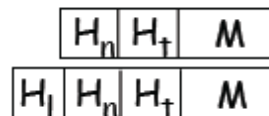
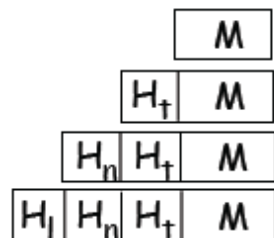
*izvor*



komutator

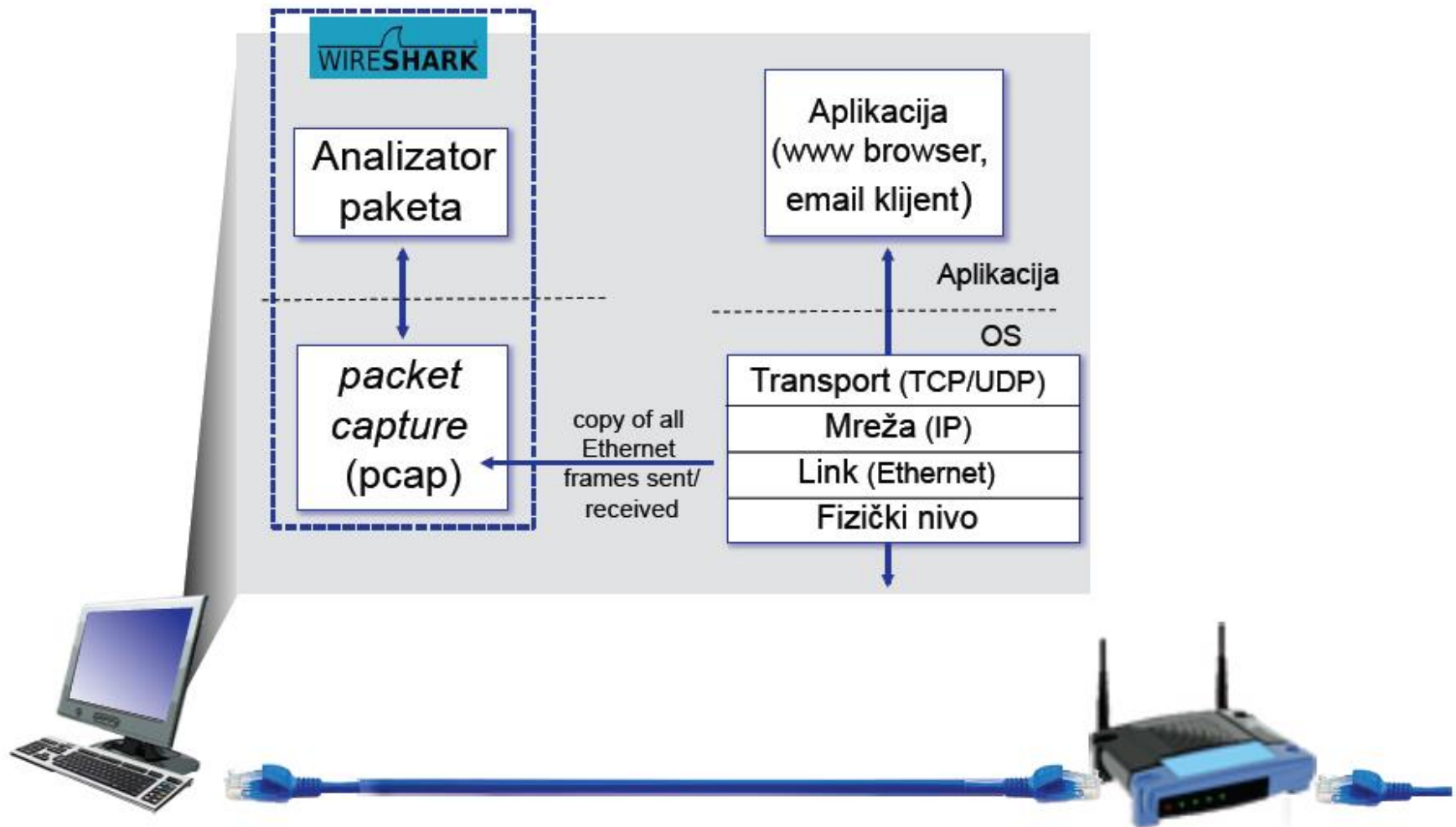
## Enkapsulacija

*destinacija*



ruter

# Uvod u računarske mreže





# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

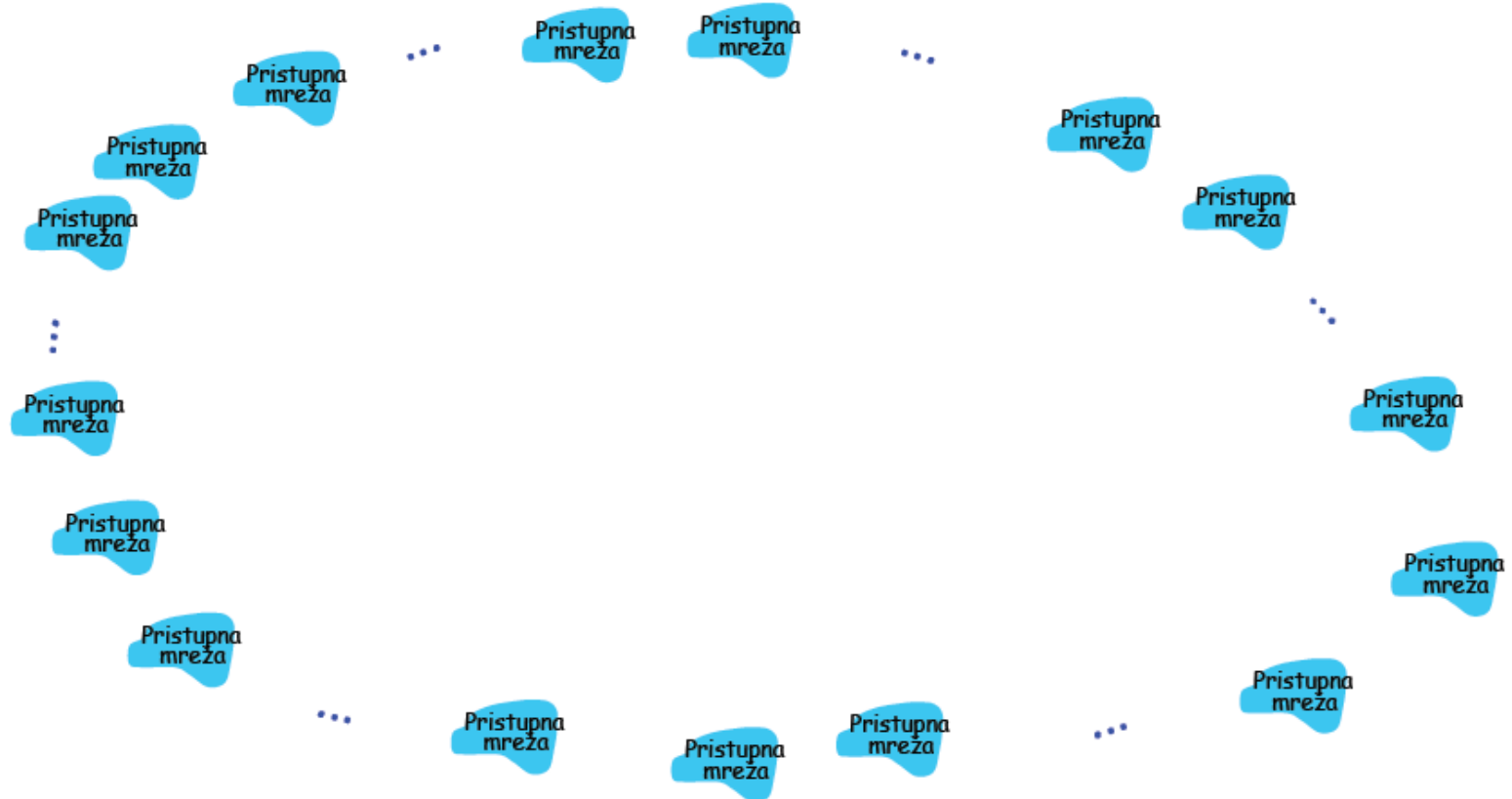
- ❖ Krajnji sistemi se povezuju na Internet preko **ISP-ova** (Internet Service Provider)
  - Rezidencijalni, kompanijski i univerzitetski ISP-ovi
- ❖ Pristupni ISP-ovi moraju biti međupovezani.
  - ❖ Tako da se između bilo koja dva hosta mogu razmjenjivati podaci
- ❖ Veoma kompleksna mreža svih mreža
  - ❖ Evolucija je uzrokovana **ekonomskim razlozima** i **nacionalnim politikama**

# Uvod u računarske mreže

---

## Internet struktura: mreža svih mreža

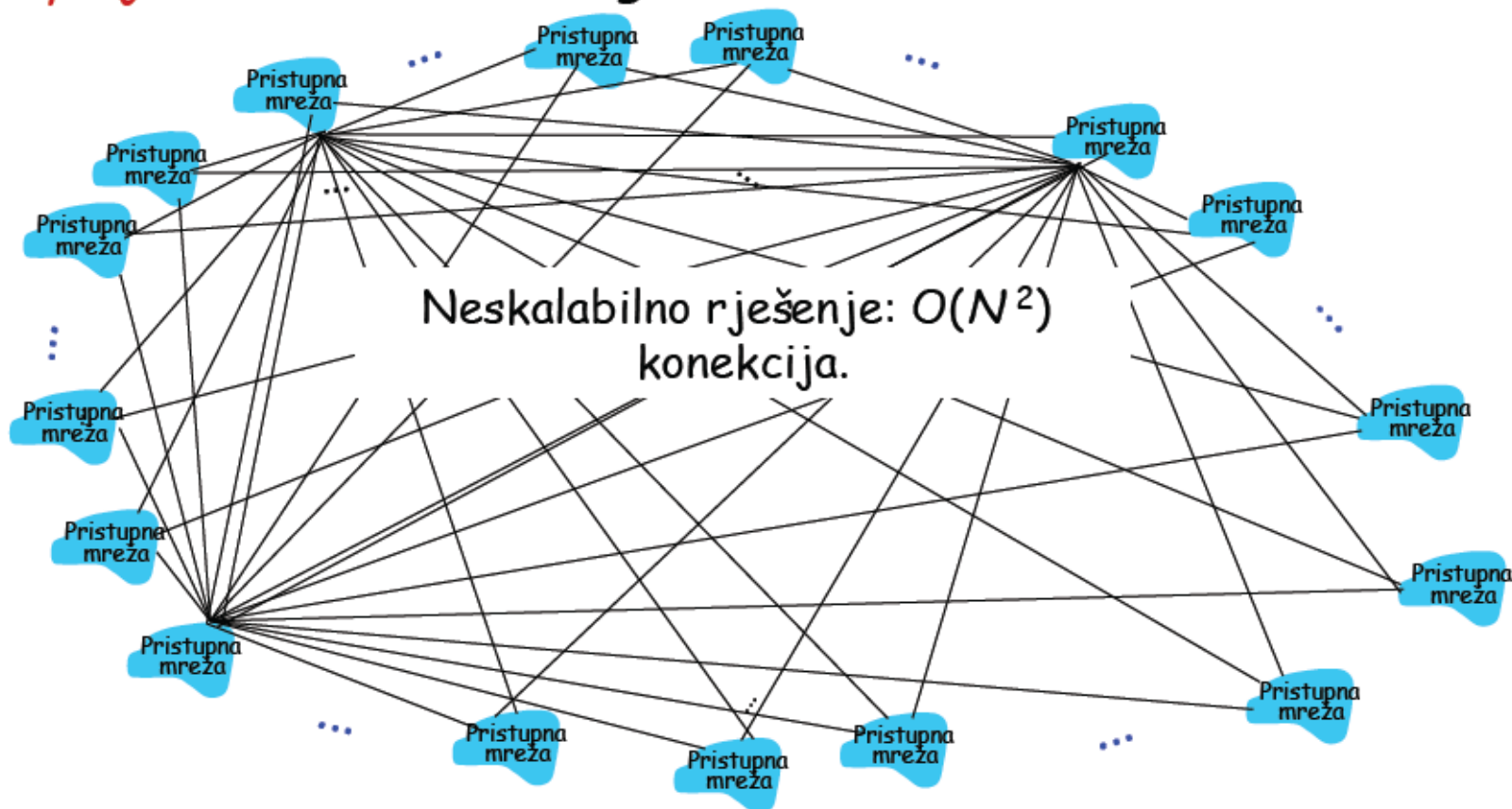
*Pitanja:* kako povezati milione postojećih pristupnih mreža?



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

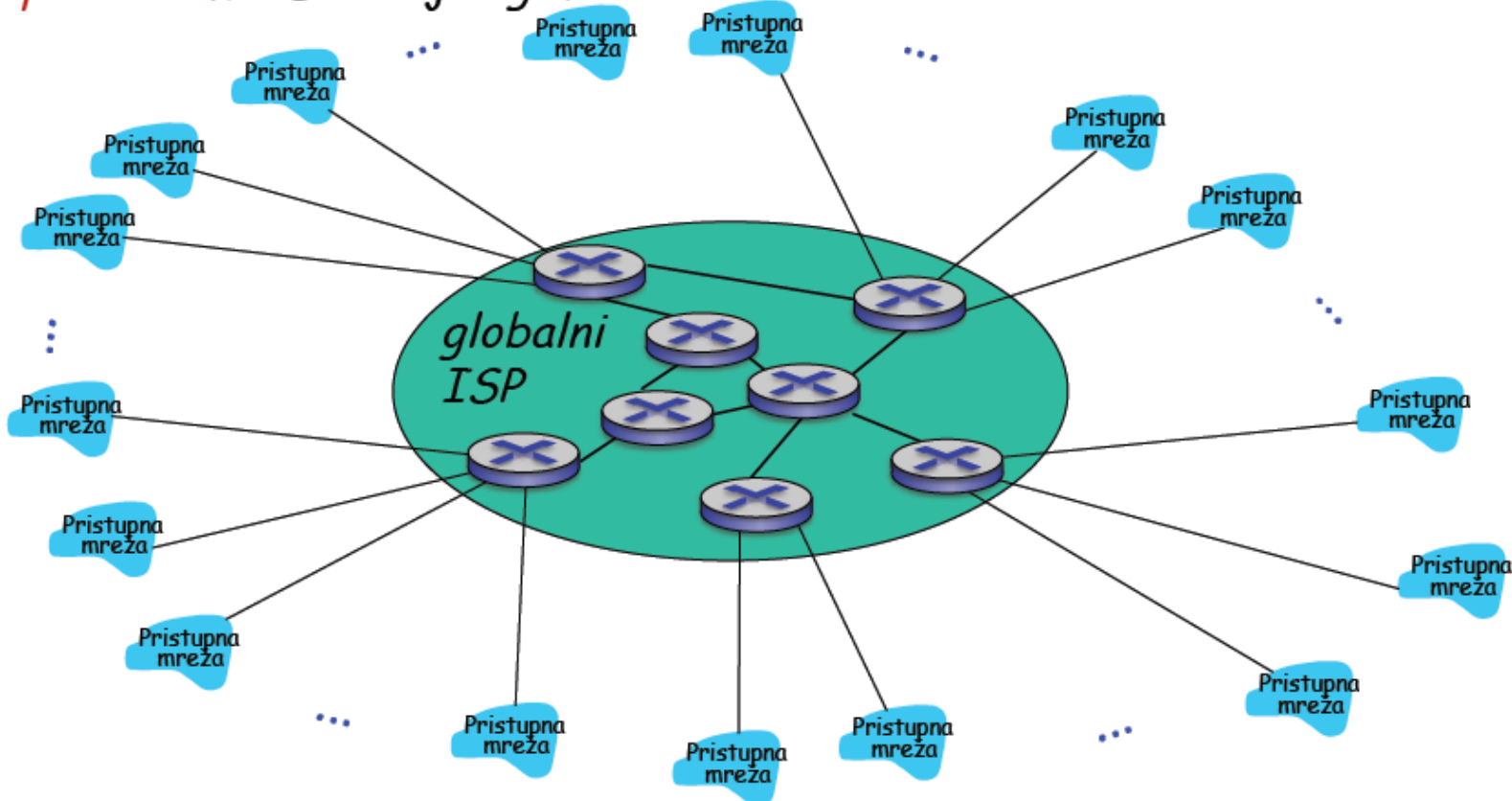
*Opcija 1: Povezati svakog sa svakim!?*



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

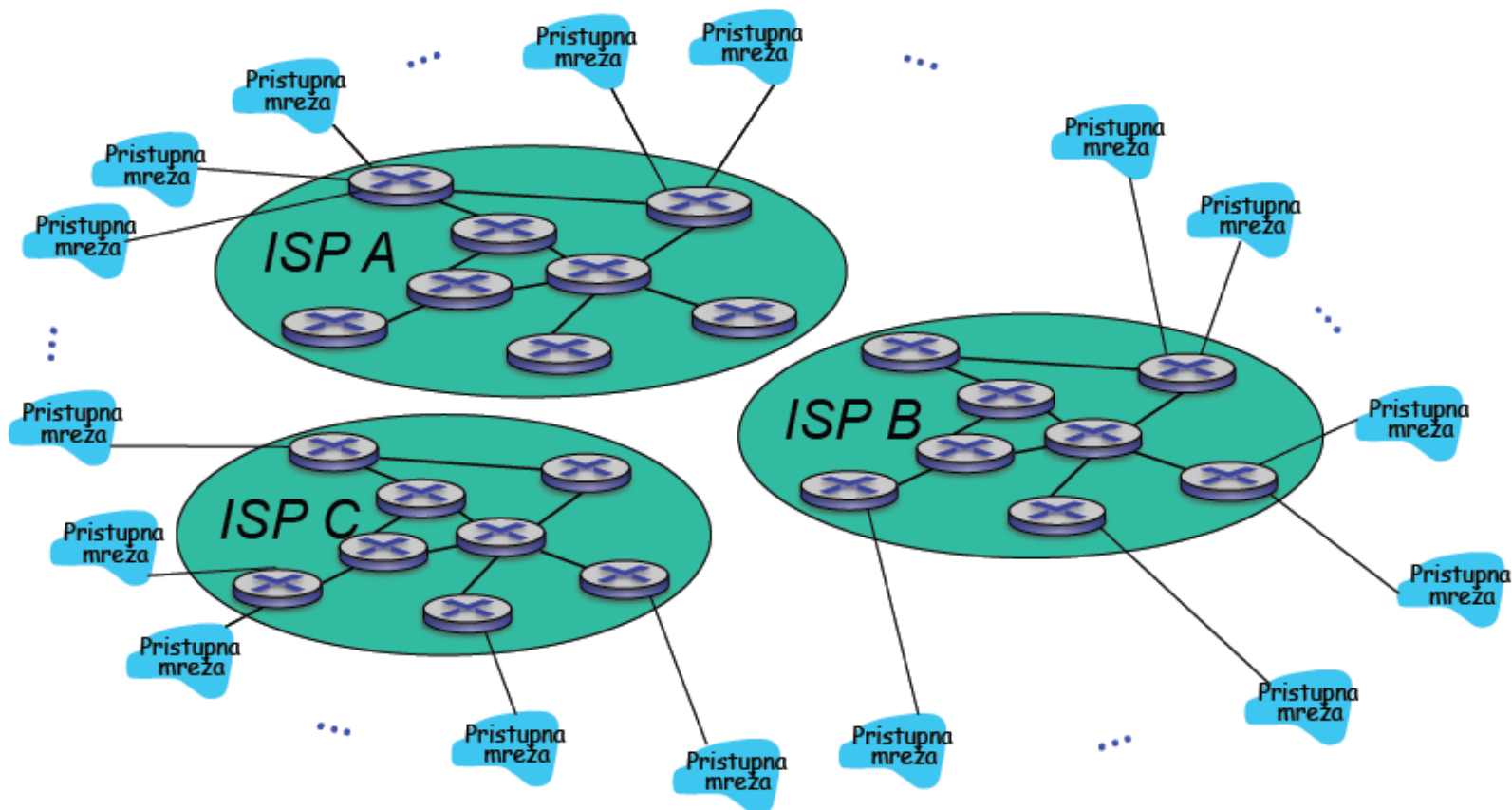
*Opcija 2: povezati sve pristupne ISP na globalni tranzitni ISP? Korisnički i operatorski ISP imaju ugovoreni odnos.*



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

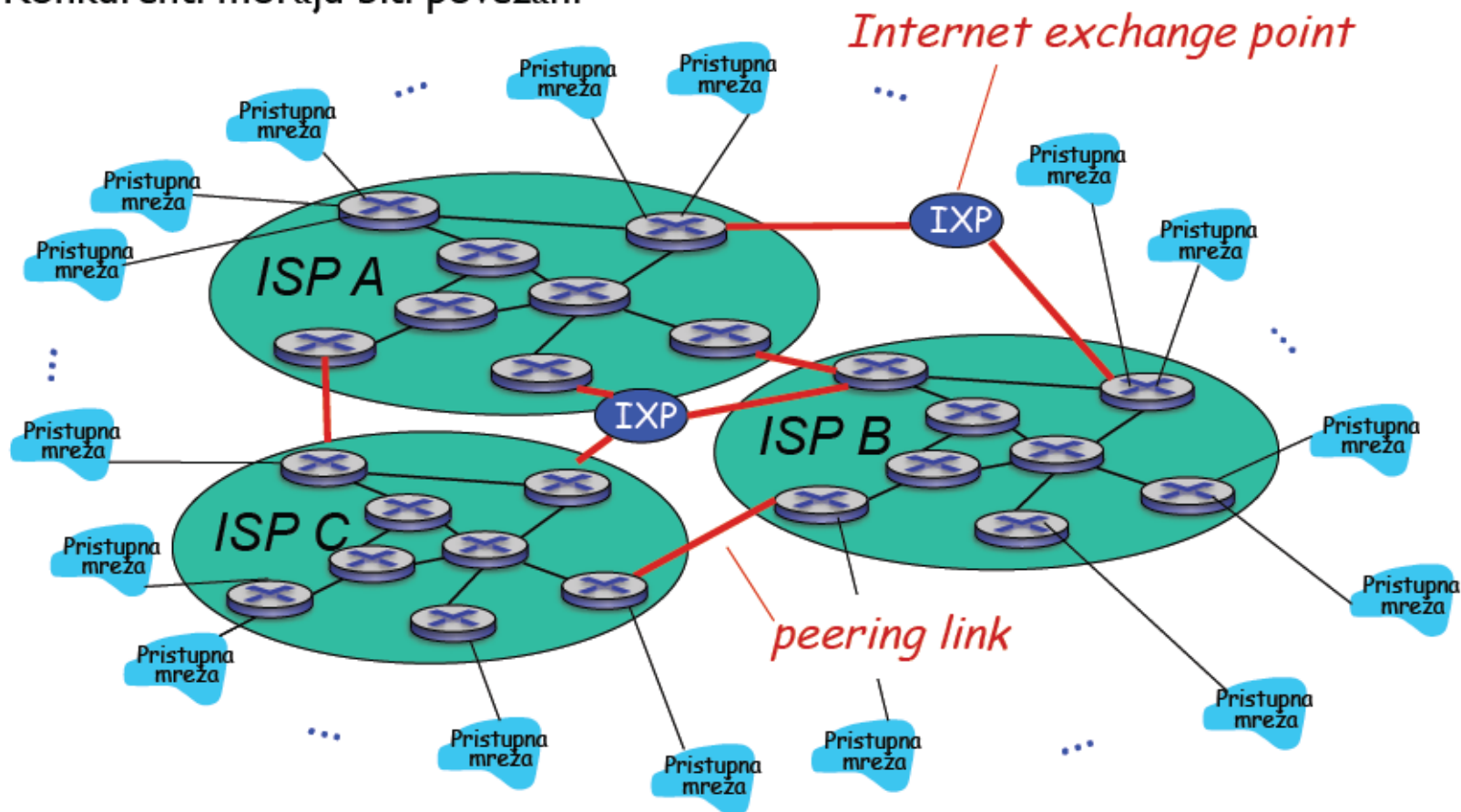
ISP je primamljiv biznis koji privlači konkurenciju....



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

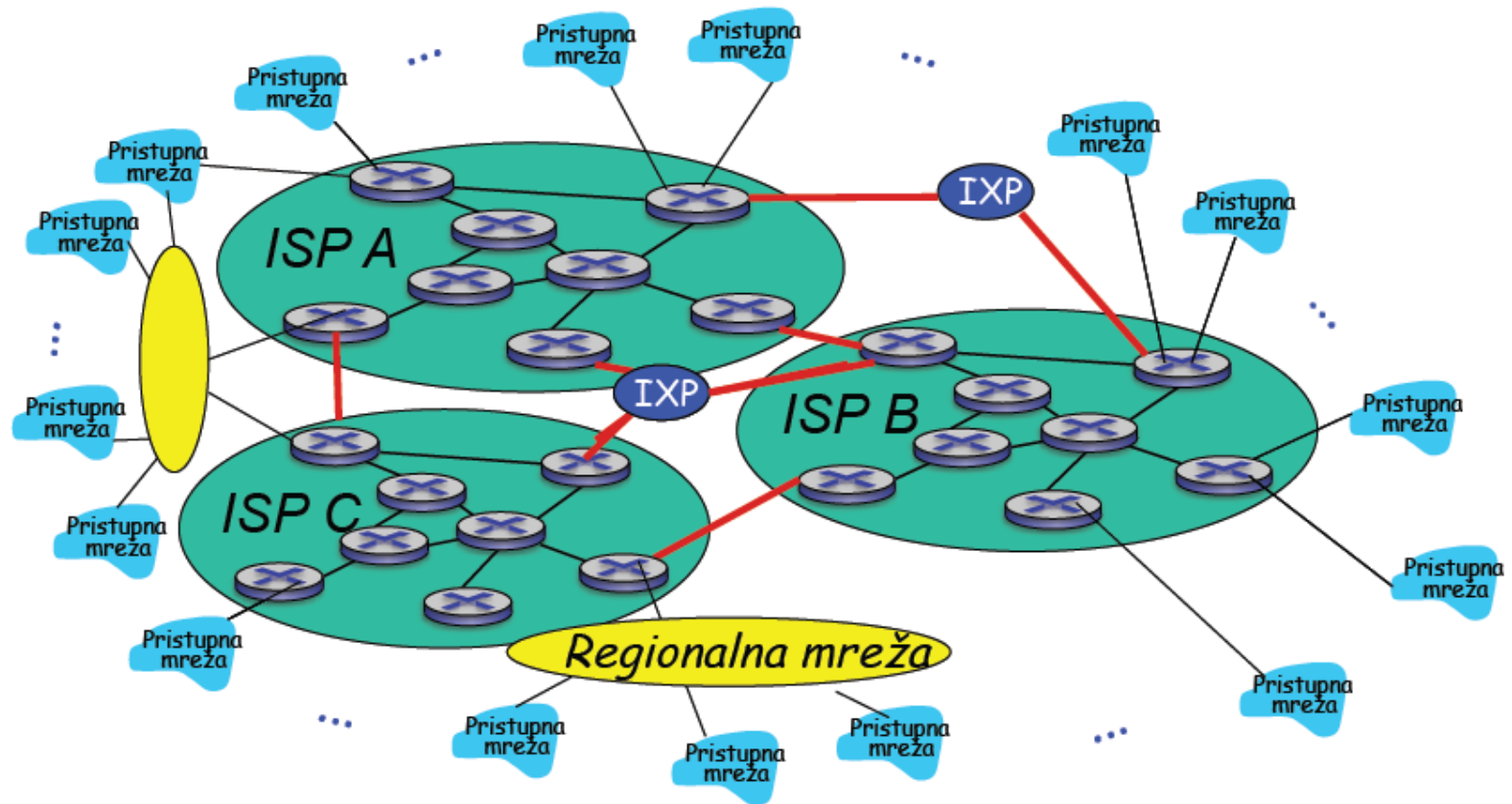
Konkurenti moraju biti povezani



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

... pojavljuju se i regionalni ISP-ovi

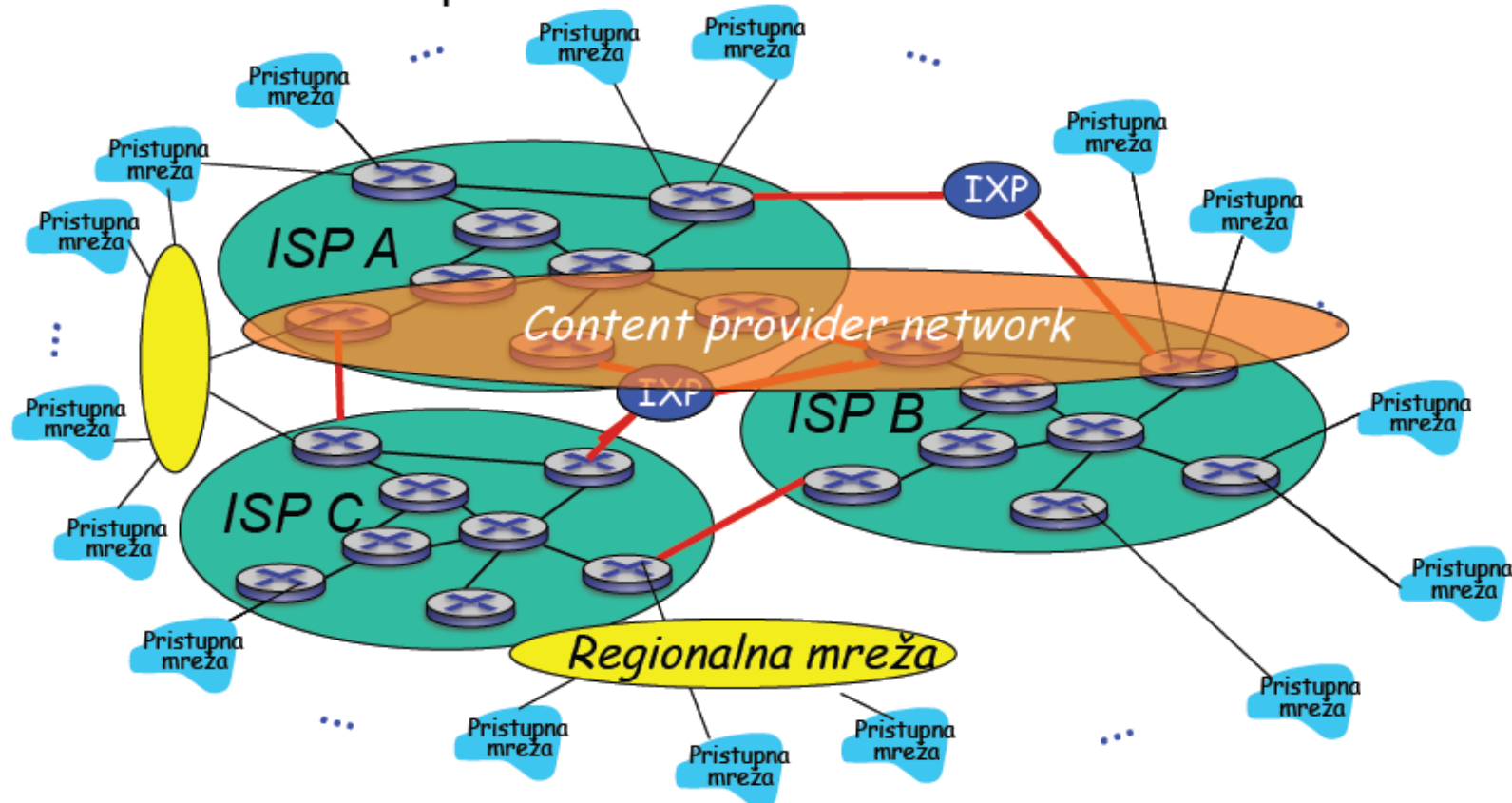




# Uvod u računarske mreže

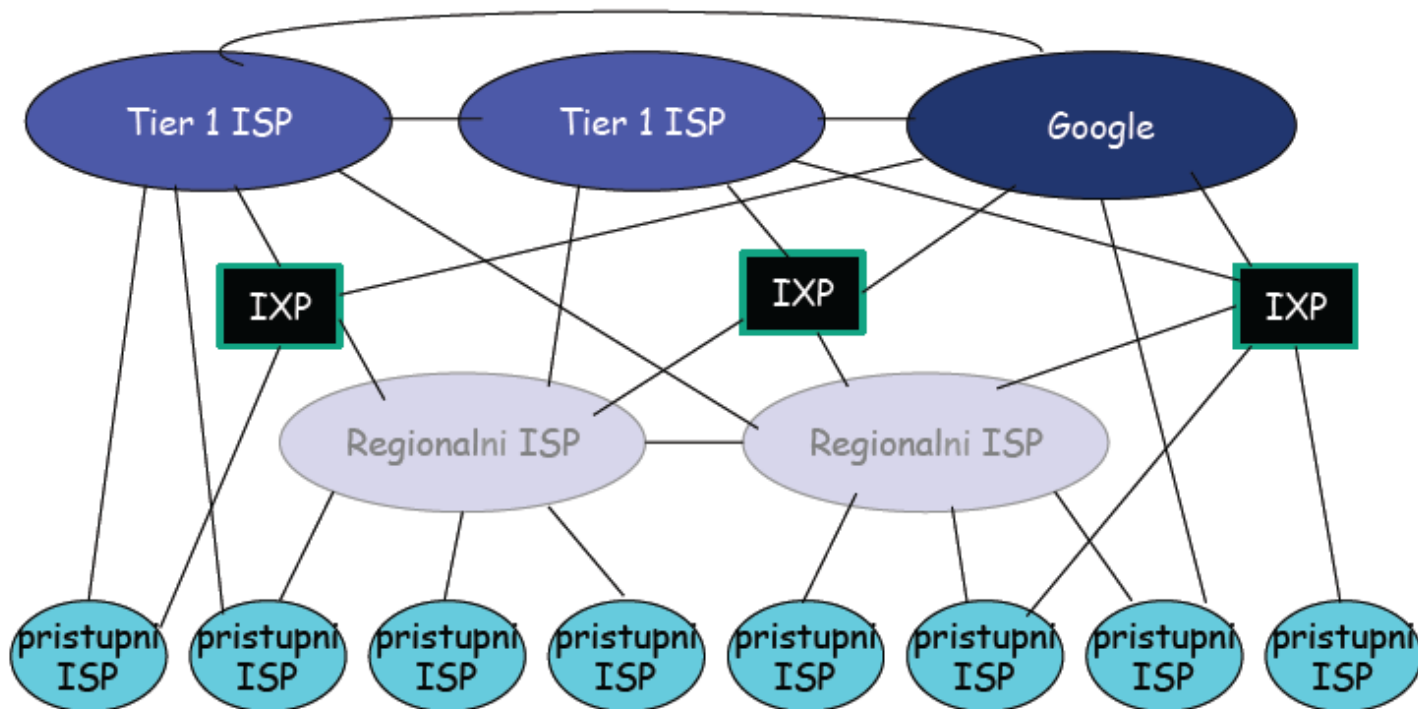
## Internet struktura: mreža svih mreža

... i content provider mreže (Google, Microsoft, Akamai,... ) grade sopstvene mreže kako bi servise “primakle” korisnicima



# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

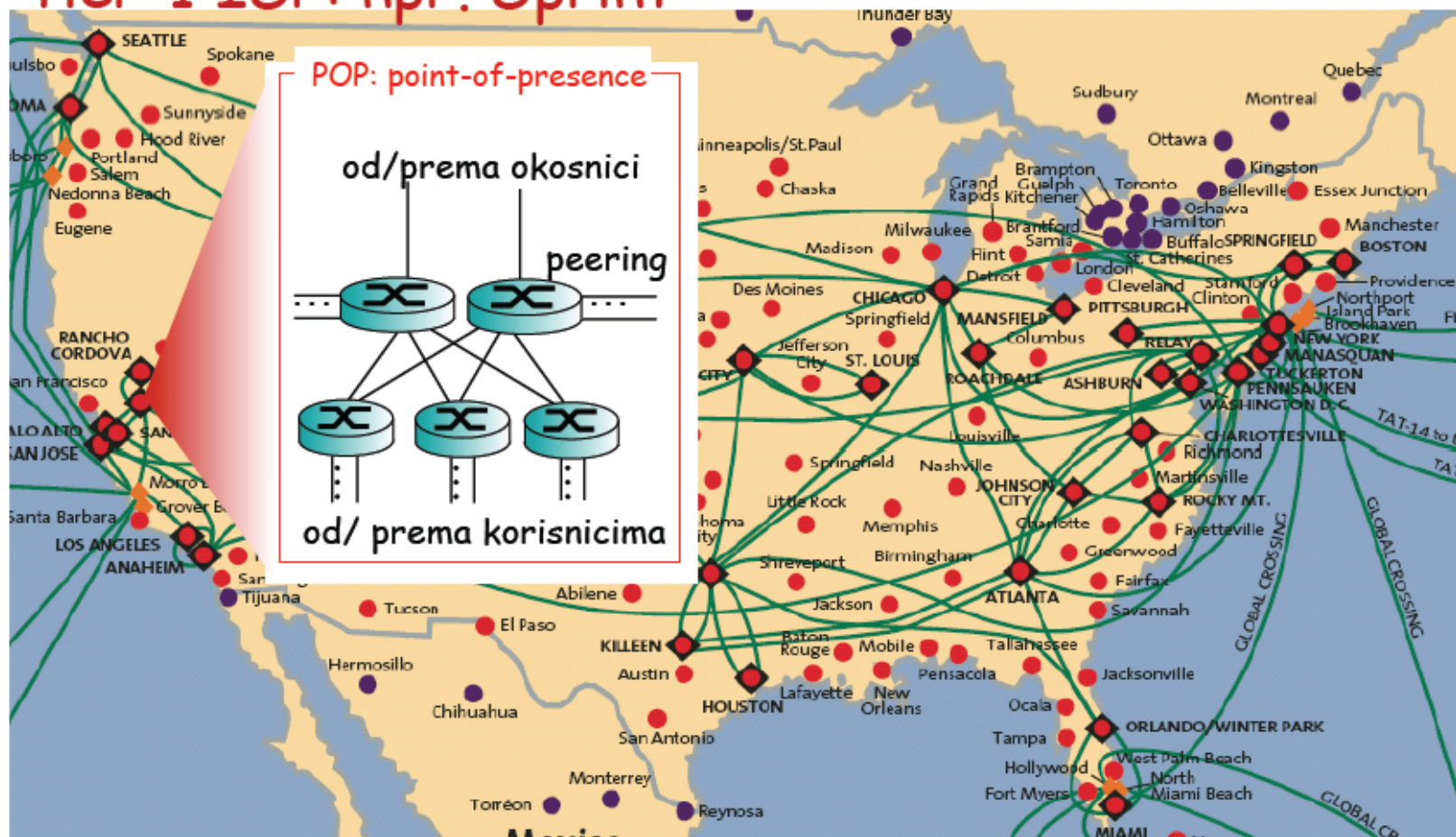


U centru: mali broj veoma dobro povezanih velikih mreža

- “tier-1” komercijalni ISP-ovi (npr. Level 3, Sprint, AT&T, NTT), nacionalno & međunarodno pokrivanje
- content provider mreža (npr. Google): privatna mreža koja povezuje data centre na Internet, obično zaobilazeći tier-1 i regionalne ISPove

# Uvod u računarske mreže

## Tier-1 ISP: npr. Sprint



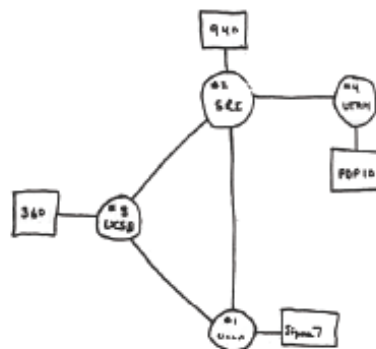
# Uvod u računarske mreže

## 1961-1972: Prvi principi komutacije paketa

- 1961: Kleinrock – teorija redova čekanja je pokazala efikasnost komutacije paketa
- 1964: Baran – komutacija paketa u vojnim mrežama
- 1967: ARPAnet je zamišljena od strane Advanced Research Projects Agency
- 1969: prvi ARPAnet čvor je pušten u rad

### □ 1972:

- ARPAnet je javno prezentovan
- NCP (Network Control Protocol) je prvi host-host protokol
- prvi e-mail program
- ARPAnet ima 15 čvorišta



THE ARPA NETWORK

# Uvod u računarske mreže



Advanced Research Projects Agency Network  
(ARPANET)

- University of California, Los Angeles (UCLA),
- The Augmentation Research Center at Stanford Research Institute (now SRI International),
- University of California, Santa Barbara (UCSB),
- The University of Utah School of Computing.

The ARPANET in December 1969



# Uvod u računarske mreže

## *1972-1980: Međupovezivanje, nove i privatne mreže*

- ❑ 1970: ALOHAnet satelitska mreža na Havajima
- ❑ 1973: Metcalfe u doktorskoj tezi predlaže Ethernet
- ❑ 1974: Cerf i Kahn - arhitektura za međupovezivanje mreža
- ❑ Kasne 70-te: sopstvene arhitekture: DECnet, SNA, XNA
- ❑ Kasne 70-te : komutacija paketa fiksne dužine (preteča ATM tehnologije)
- ❑ 1979: ARPAnet ima 200 čvorišta

### *Cerf and Kahn principi međupovezivanja:*

- minimalizam, autonomija - nikakve interne promjene nijesu potrebne za međupovezivanje mreža
- "best effort" model servisa
- "stateless" ruteri
- decentralizovana kontrola

*U osnovi definiše današnju Internet arhitekturu*

# Uvod u računarske mreže

*1980-1990: novi protokoli, umnožavanje mreža*

- ❑ 1983: primjena TCP/IP
- ❑ 1982: definisan SMTP e-mail protokol
- ❑ 1983: definisan DNS za "ime-u-IP adresu" translaciju
- ❑ 1985: definisan FTP protokol
- ❑ 1988: TCP kontrola zagušenja
- ❑ nove nacionalne mreže: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100,000 hostova povezanih u "konfederaciju" mreža



# Uvod u računarske mreže

---

## *1990, 2000's: komercijalizacija, Web, nove aplikacije*

- Rane 1990-te: gašenje ARPAneta
- 1991: NSF skida restrikcije na komercijalno korišćenje NSFnet (ugašena, 1995)
- rane 1990-te: Web
  - hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, kasnije Netscape
  - kasne 1990-te: komercijalizacija Web-a
- Kasne 90-te - 2000te:
  - više "killer" aplikacija: instant messaging (ICQ), *peer2peer file sharing* (npr., Napster)
  - zaštita
  - oko 50 miliona hostova, preko 100 miliona korisnika
  - linkovi okosnice funkcionišu na Gb/s

# Uvod u računarske mreže

---

## Internet danas

### *2005-danas*

- ❑ ~ 5 milijardi povezanih hostova
  - Pametni telefoni i tableti
- ❑ Agresivna implementacija širokopojasnog pristupa
- ❑ Povećanje sveprisutnosti veoma brzog bežičnog pristupa
- ❑ Ekspanzija društvenih mreža:
  - Facebook: milijarda korisnika
- ❑ Provajderi servisa (Google, Microsoft) kreiraju sopstvene mreže
  - zaobilaze Internet, obezbjeđuju “trenutni” pristup pretraživanju, email,...
- ❑ E-commerce, univerziteti, kompanije implementiraju sopstvene servise u “cloud” (npr, Amazon EC2)
- ❑ Sve izraženiji sigurnosni problemi!!!!!!

# Uvod u računarske mreže

---

## Zaštita računarskih mreža

- **Oblasti zaštite:**
  - Kako se mreža napada?
  - Kako se mreža može odbraniti?
  - Kako napraviti mrežu imunu na napade?
- **Na početku Internet nije dizajniran sa zaštitom u fokusu**
  - *Originalna vizija Interneta:* “grupa uzajamno pouzdanih korisnika povezanih na transparentnu mrežu”
  - Dizajneri Internet protokola pokušavaju da prestignu bezbjedonosne izazove
  - Zaštita na svim nivoima!

# Uvod u računarske mreže

## Malware

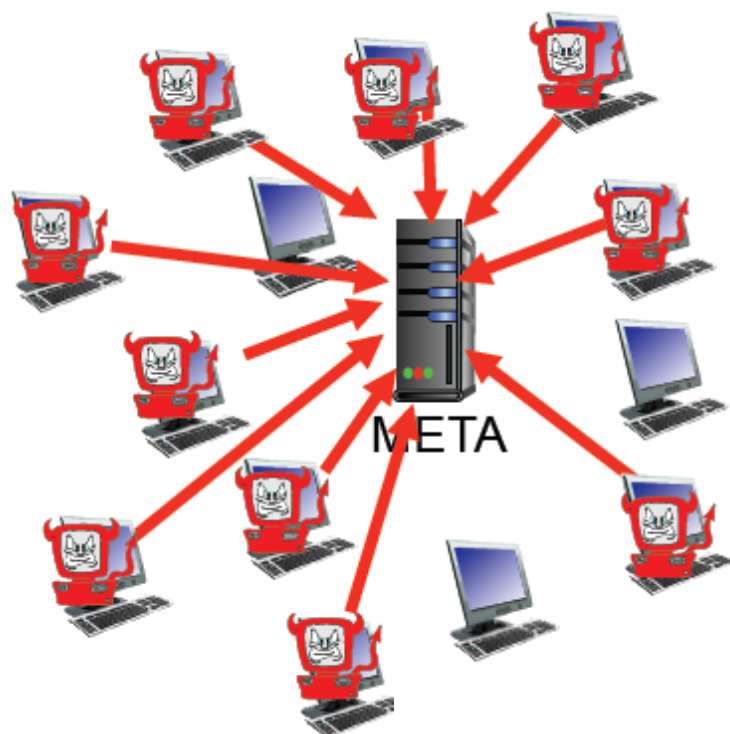
- ❑ Može sa Internetu dospjeti u host pomoću:
  - *virusa*: samo-replicirajuća “zaraza” prijemom/izvršavanjem programa (npr. e-mail attachment)
  - *worm*: samo-replicirajuća “zaraza” pasivnim prijemom objekta koji se samoizvršava
- ❑ *spyware malware* može evidentirati unos sa tastature, posjećene web sajtove, slati prikupljene informacije
- ❑ inficirani host može postati *botnet*, koji se koristi za spamovanje ili DDoS napade

# Uvod u računarske mreže

## Napad na server ili mrežnu infrastrukturu

*Denial of Service (DoS)*: napadači resurse mreže (serveri ili mrežni kapaciteti) čine nedostupnim legitimnim korisnicima preopterećenjem vještački generisanim saobraćajem

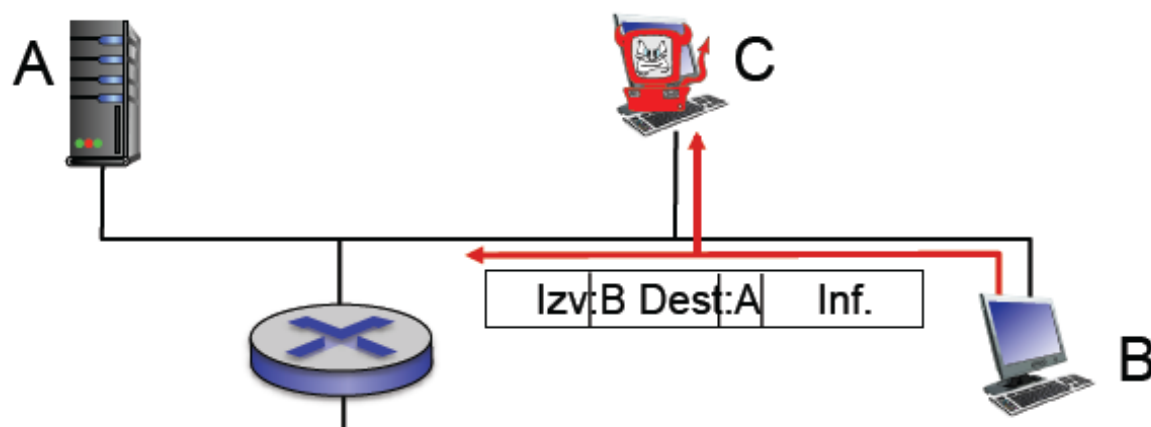
1. Izbor mete
2. Upad u hostove oko mete (botnet)
3. Slanje paketa meti od strane kompromitovanih hostova



# Uvod u računarske mreže

## *Packet “sniffing”:*

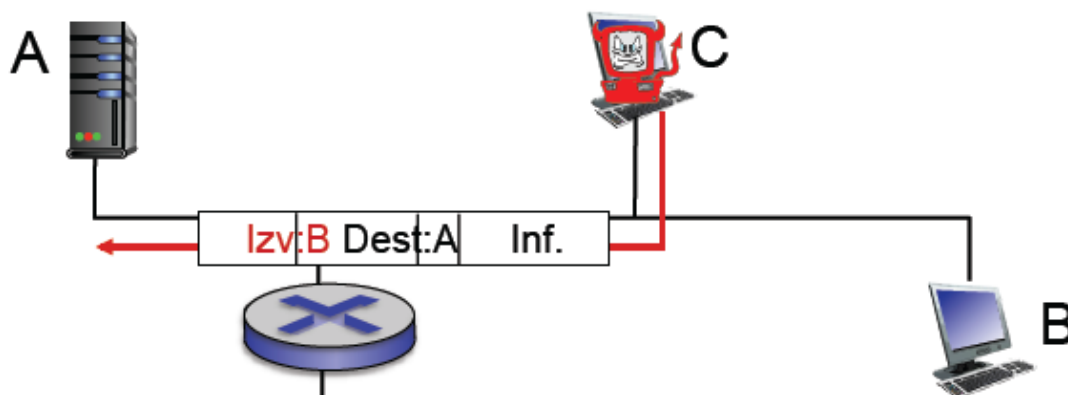
- Zajednički medijum za prenos (dijeljeni Ethernet, bežični link)
- Promiskuitetni mrežni interfejs analizira sve pakete koji se prenose



- Wireshark software je primjer bezplatnog packet-sniffera

# Uvod u računarske mreže

*IP spoofing*: slanje paketa sa netačnom izvorišnom adresom





# Uvod u računarske mreže

**IP spoofing:** slanje paketa sa netačnom izvorišnom adresom

