

UNIVERZITET CRNE GORE

RAČUNARSKE MREŽE

Doc. dr Uglješa Urošević

`ugljesa@ucg.ac.me`

Uvod u računarske mreže

Šta je Internet?



□ Milioni povezanih računara:

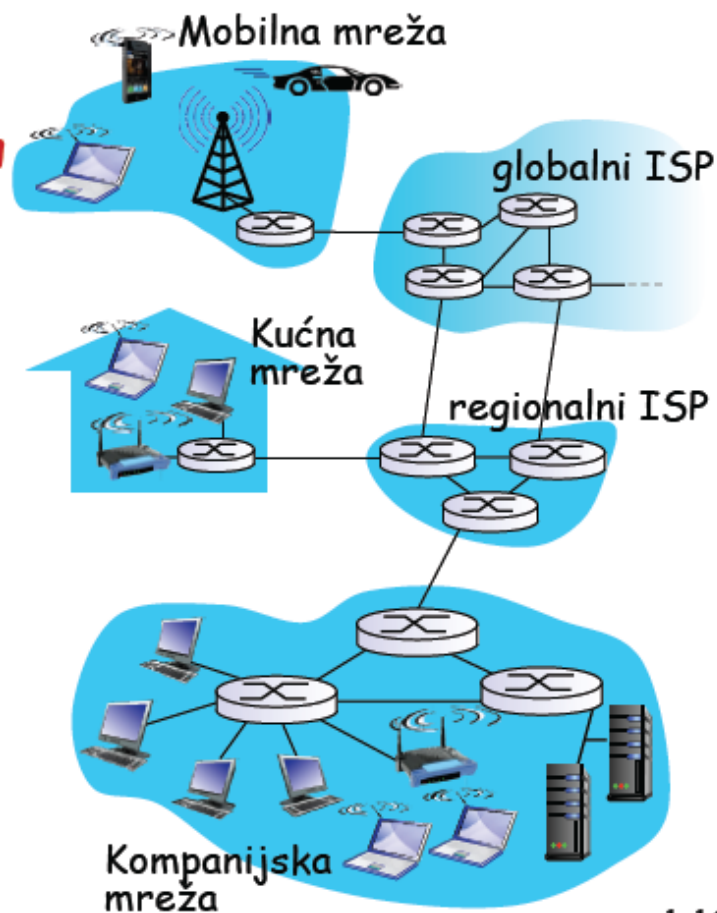
- *host = krajnji sistem*
- Izvršavaju *mrežne aplikacije*

❖ *Komunikacioni linkovi*

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

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

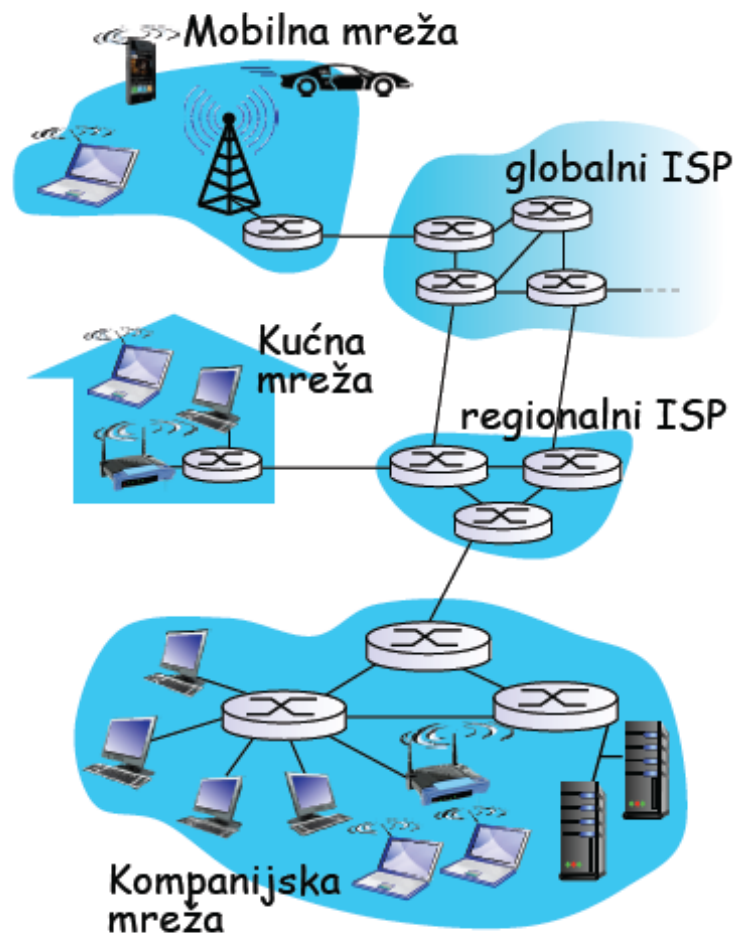
- *ruteri i komutatori*



Uvod u računarske mreže

Iz čega se sastoji Internet u logičkom smislu?

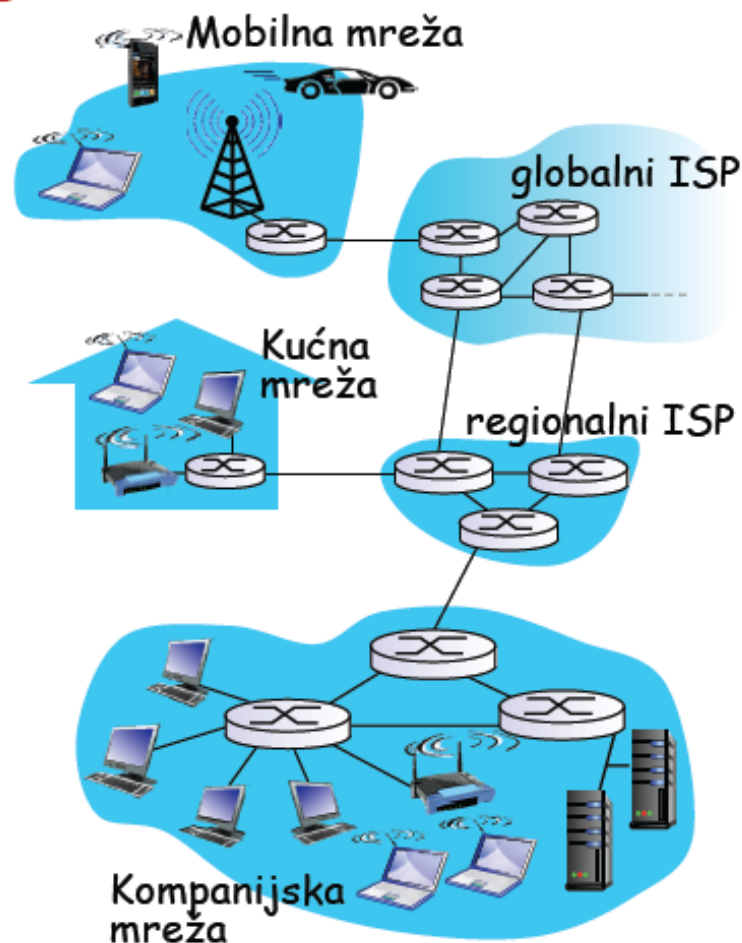
- *Protokoli* kontrolišu slanje i prijem poruka
 - npr, TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- *Internet: “mreža svih mreža”*
 - Labava hijerarhija
 - Javni Internet
 - privatni intranet
- Internet standardi
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



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:

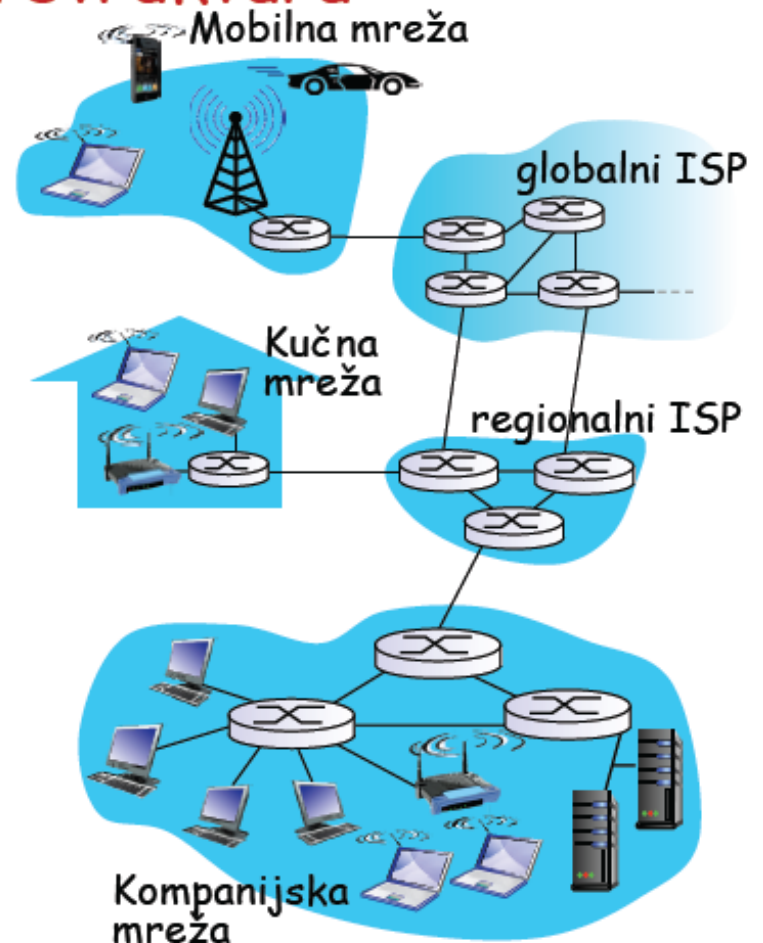
- ❑ Između mašina
- ❑ Sve komunikacione aktivnosti na Internetu definišu protokoli

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

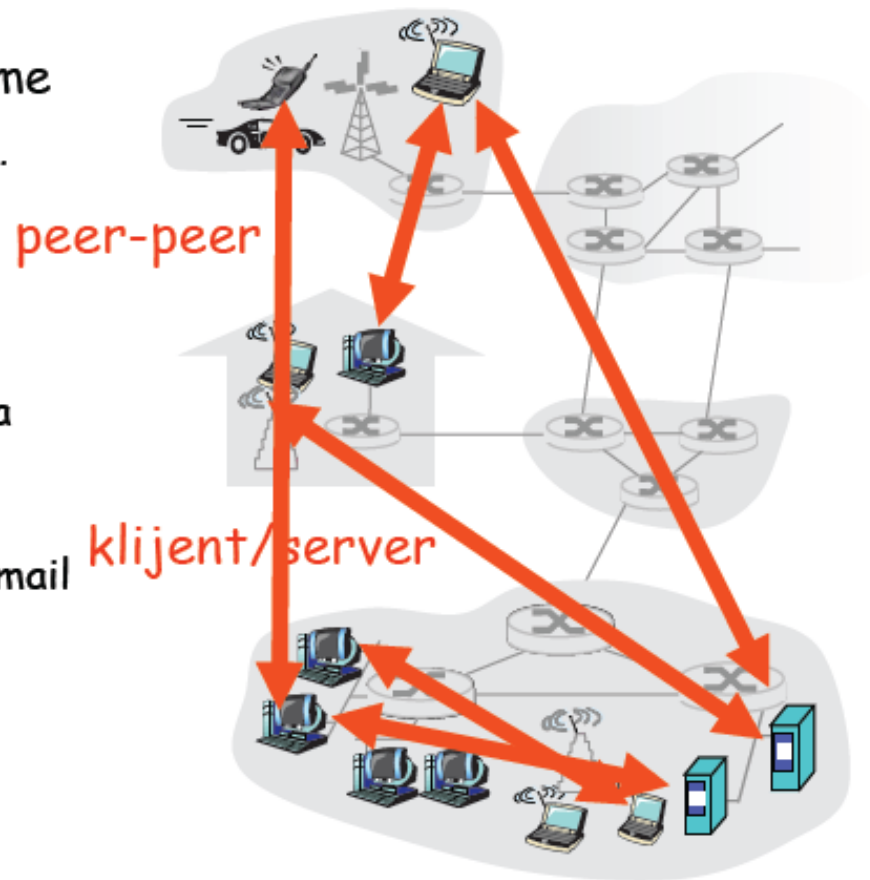
- **Mrežna ivica:** aplikacije i hostovi (klijenti i serveri)
- **Mrežna okosnica:**
 - međupovezani ruteri
 - mreža međupovezanih mreža
- **Pristupna mreža, fizički medijum:** komunikacioni linkovi (žični i bežični)



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

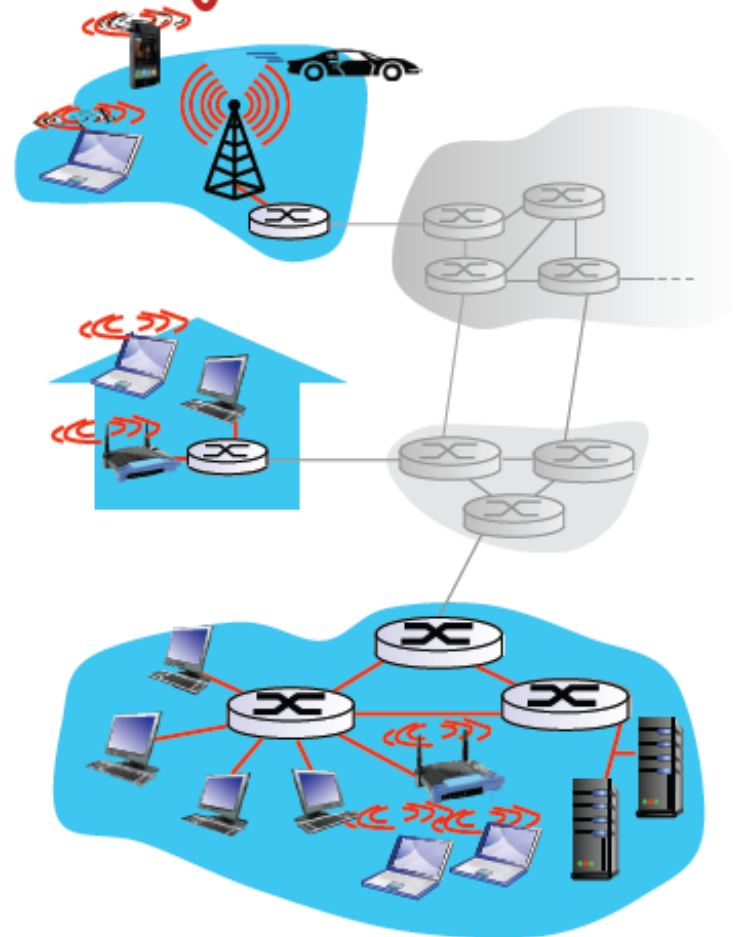
Pristupne mreže i fizički medijum

Pitanje: Kako povezati krajnji sistem na edge ruter?

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

Važno je obratiti pažnju na

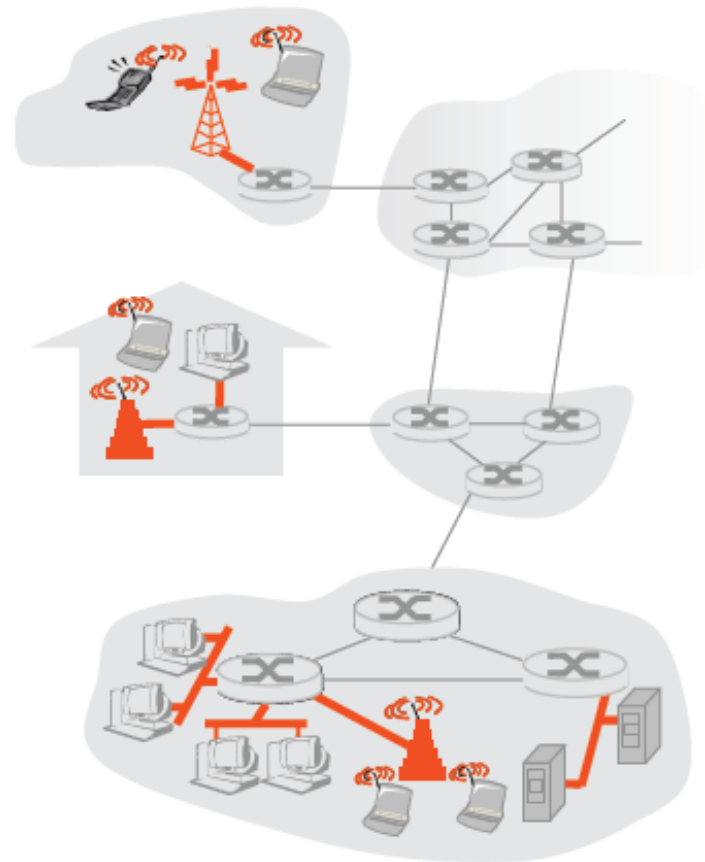
- ❑ kapacitet (b/s) pristupne mreže?
- ❑ zajednički ili dodijeljeni?



Uvod u računarske mreže

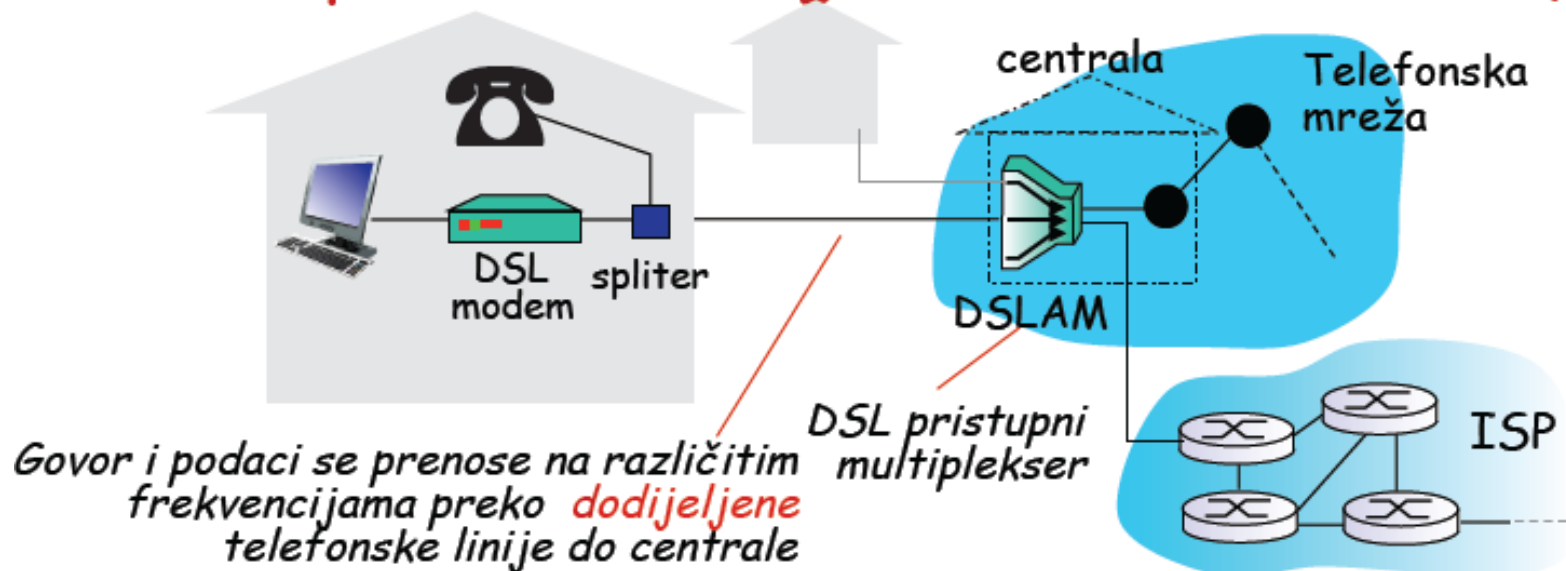
Popularni pristupi

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



Uvod u računarske mreže

Pristupna mreža: digital subscriber line (DSL)

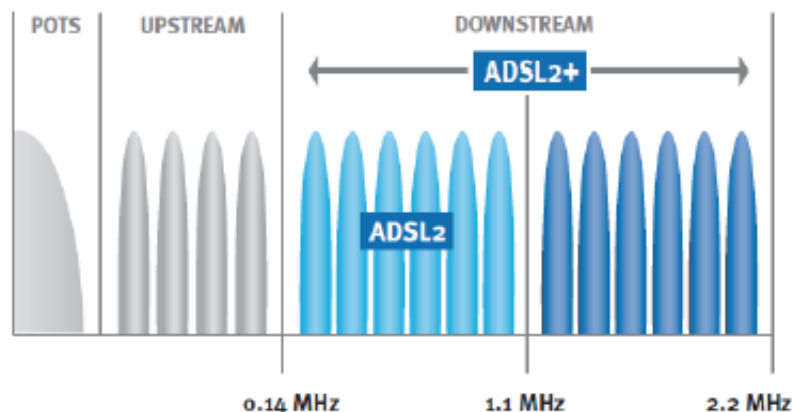


- ❖ koristi **postojeću** telefonsku liniju do DSLAM-a u telefonskoj centrali
 - Podaci se preko DSL linije prenose do Interneta
 - Govor se preko DSL linije prenosi do telefonske mreže

Uvod u računarske mreže

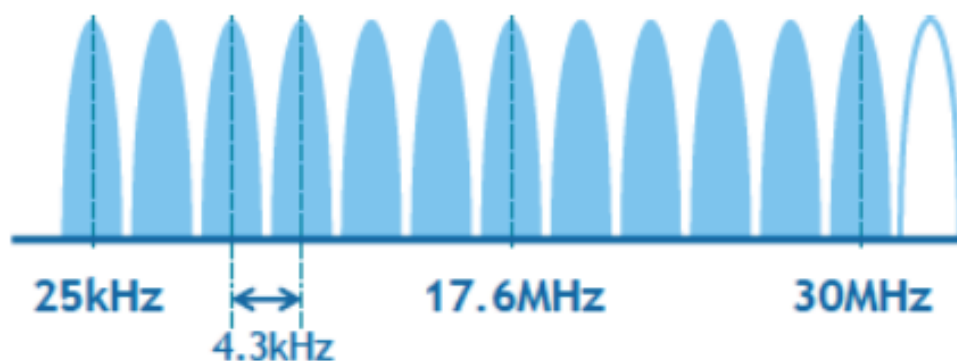
□ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

- 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



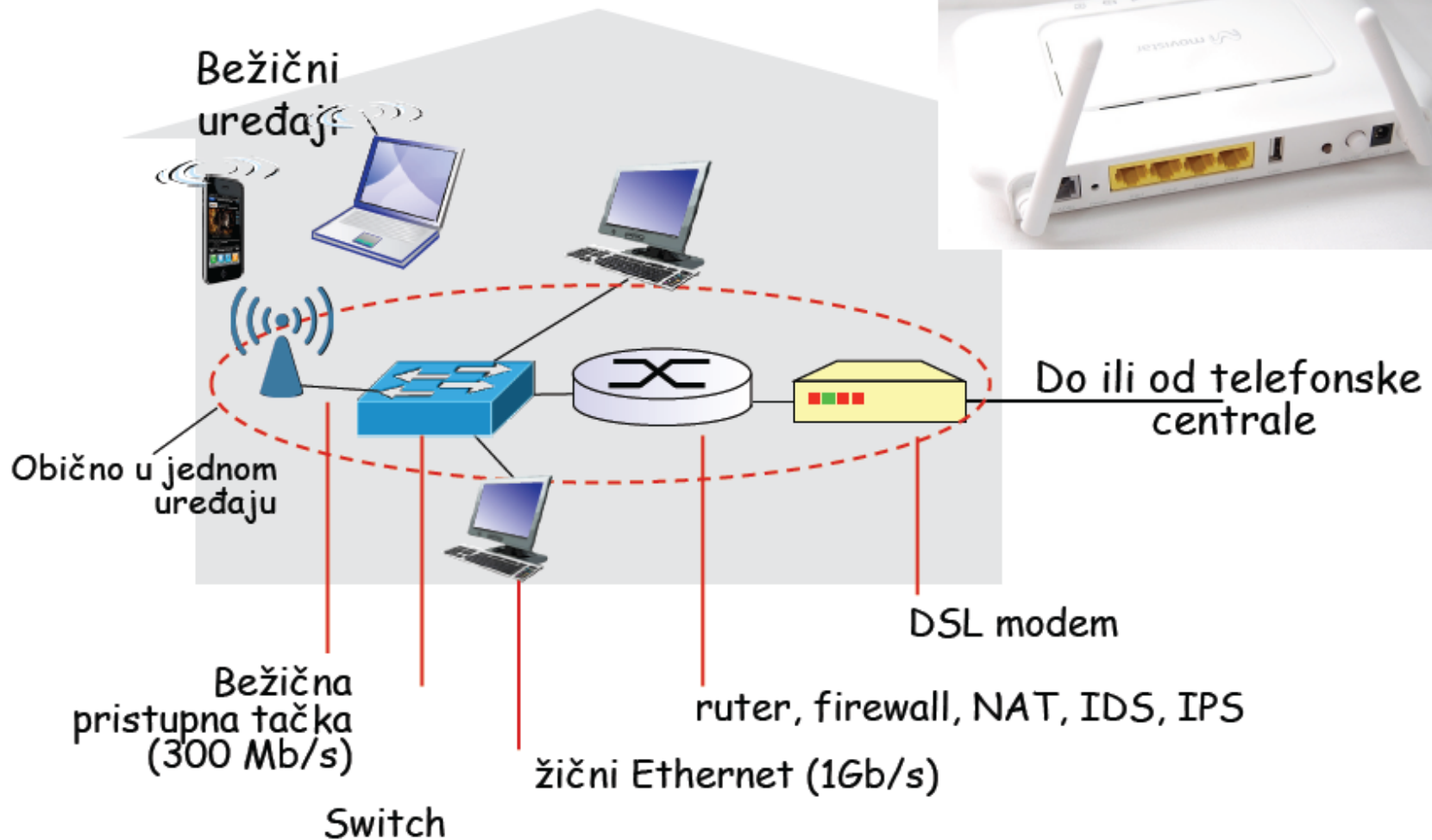
Uvod u računarske mreže

- **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)



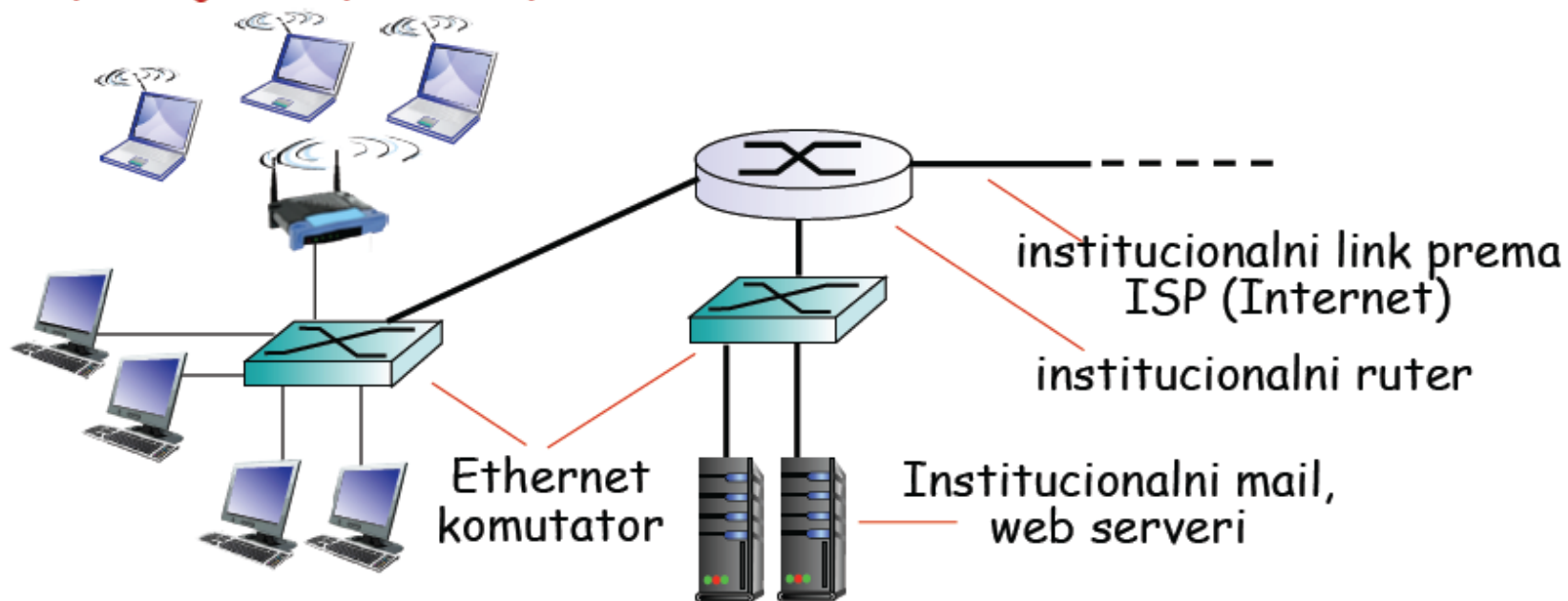
Uvod u računarske mreže

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/

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

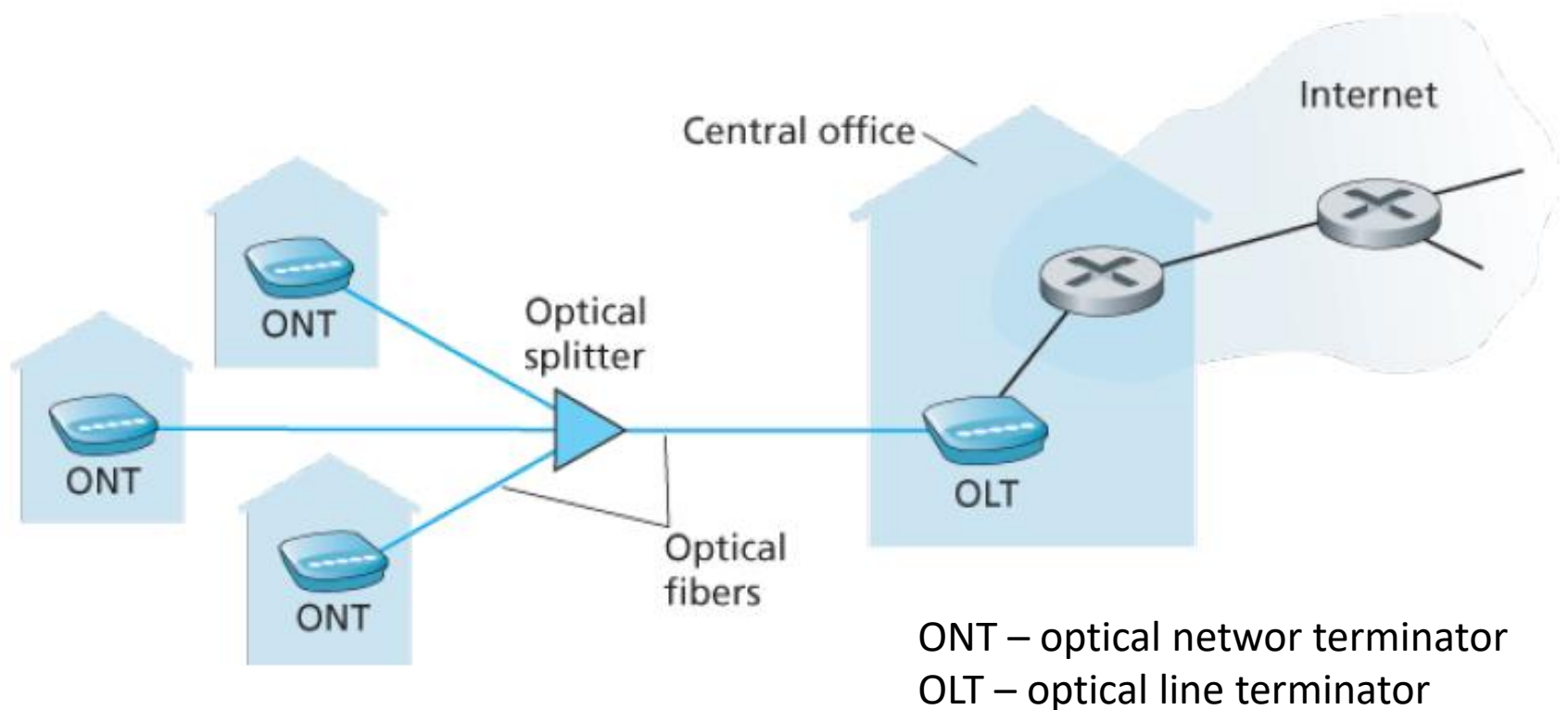


prema Internetu

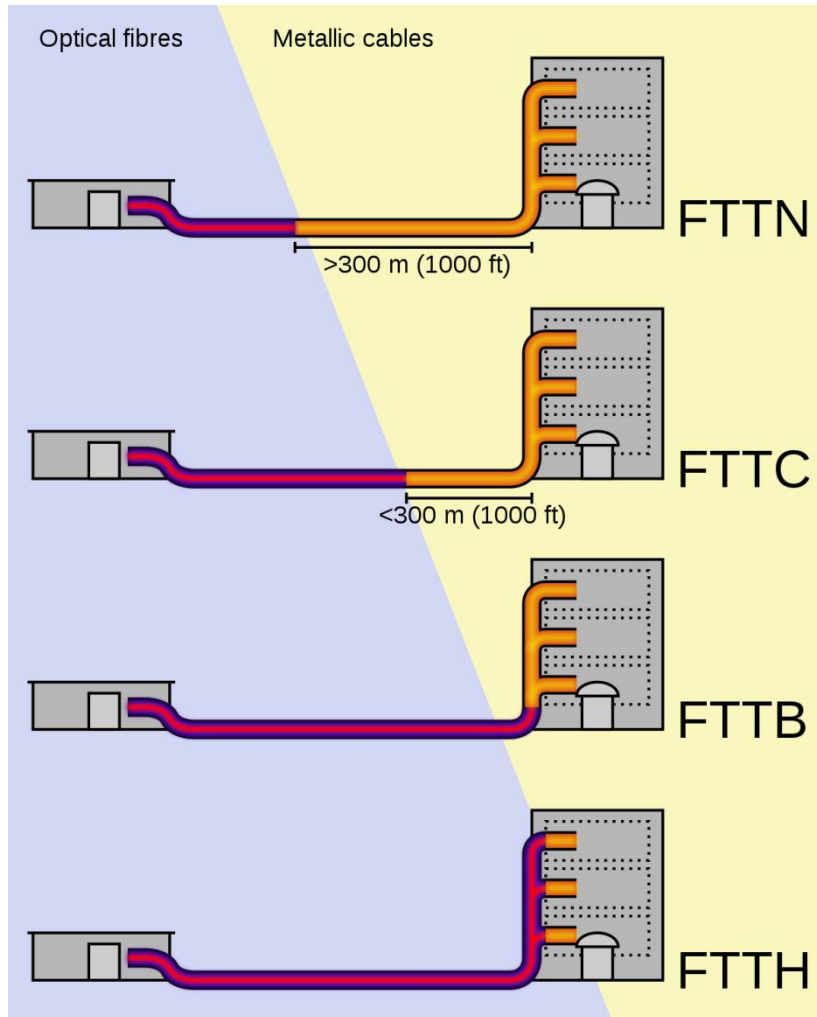
<http://www.3gpp.org>

Uvod u računarske mreže

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



Uvod u računarske mreže



Fiber to the Node (FTN)

Fiber to the Curb (FTC)

Fiber to the building (FTTB)

Fiber to the home (FTTH)

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
- Širokopoljasni :
 - 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!

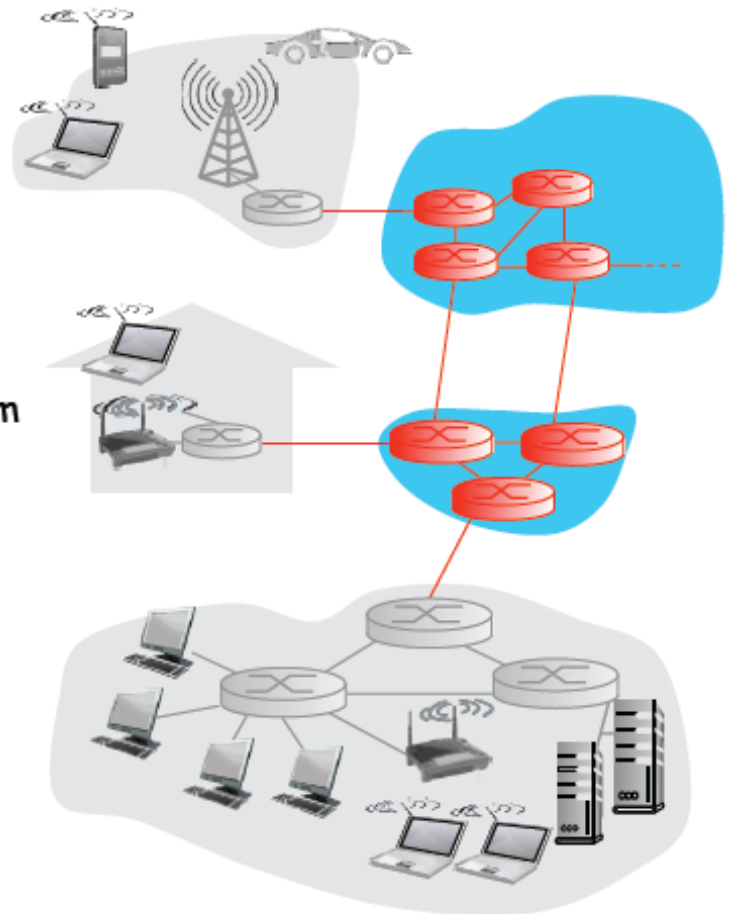
Throughput Format	Occupied Bandwidth	Peak (Single user)	Average (10 users/cell)	Cell Edge (10 users/cell)	Raw Peak/ edge ratio*
GSM (1 slot) (10 users, freq. reuse = 4)	1 MHz	9.6 kbps	9.6 kbps	9.6 kbps	1
GPRS (4 slot)	4 MHz	81.6 kbps	50 kbps	36.2 kbps	2.3
EDGE (4 slot)	4 MHz	236.8 kbps	70 kbps	36.2 kbps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

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

Uvod u računarske mreže

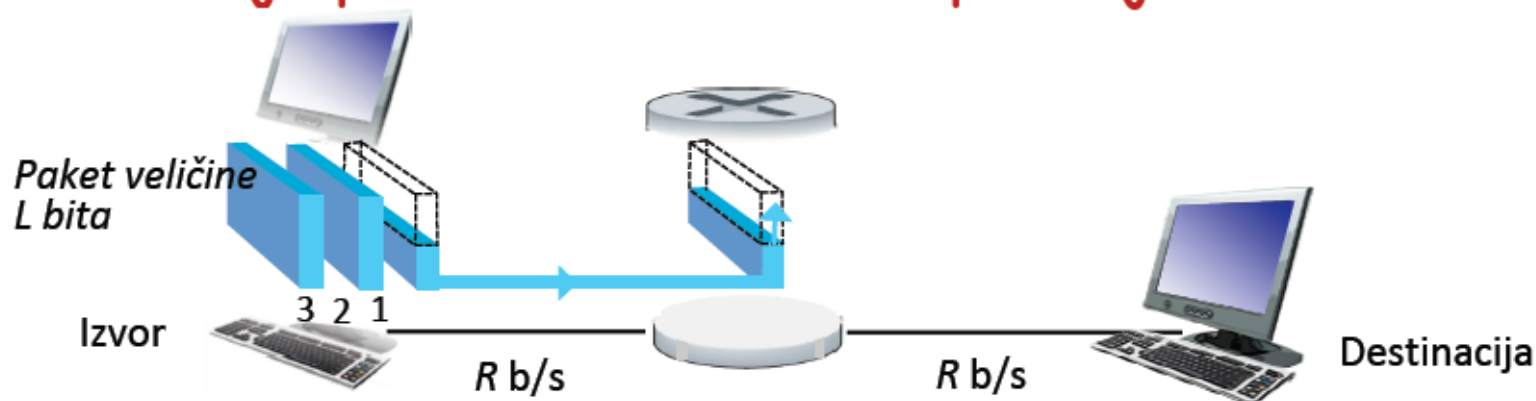
Okosnica mreže

- 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



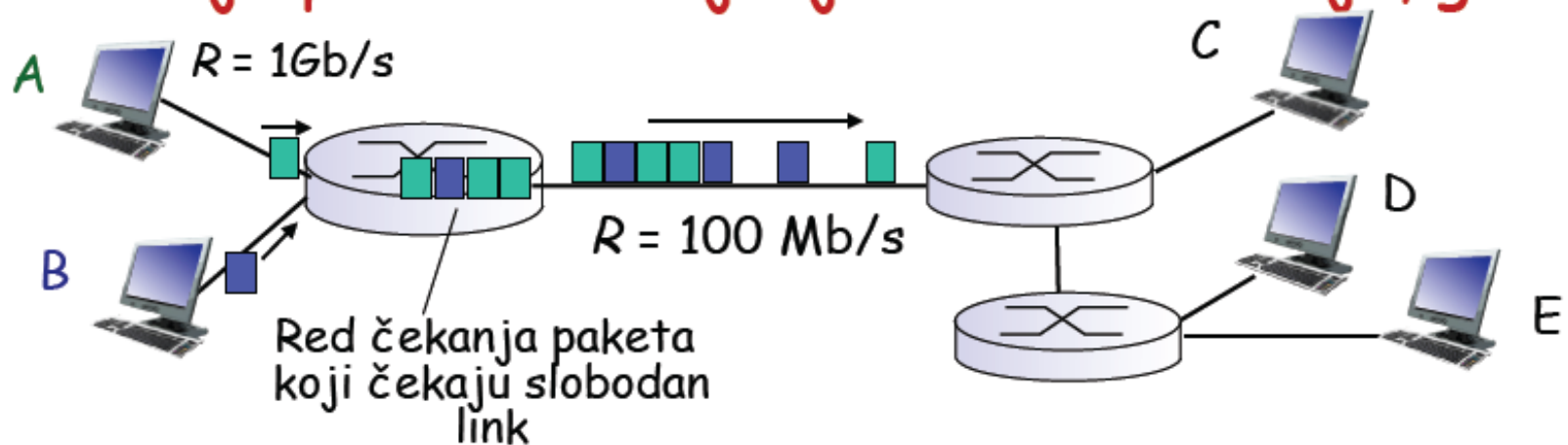
- Potrebno je L/R sekundi da bi se paket veličine L bita prenio na link brzine R b/s
- **Uskladišti i proslijedi:** kompletan paket mora doći do rutera prije nego što se on proslijedi na naredni link
- Kašnjenje od kraja do kraja = $2L/R$ (ako se zanemari kašnjenje uslijed propagacije)

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

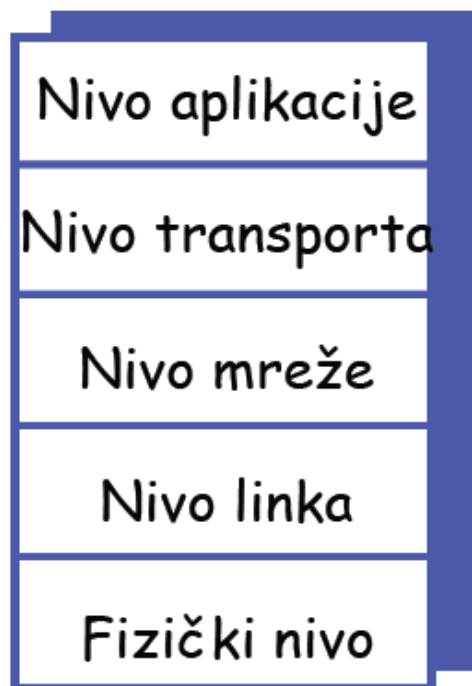
Mreže sa komutacijom paketa: prosleđivanje

- ❑ **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”



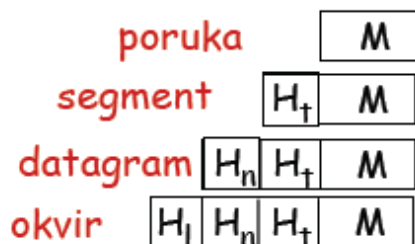
Uvod u računarske mreže

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

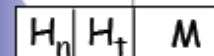
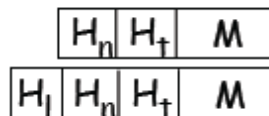
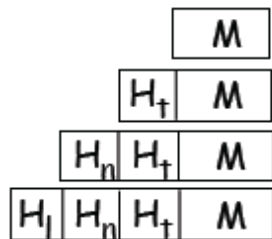
izvor



komutator

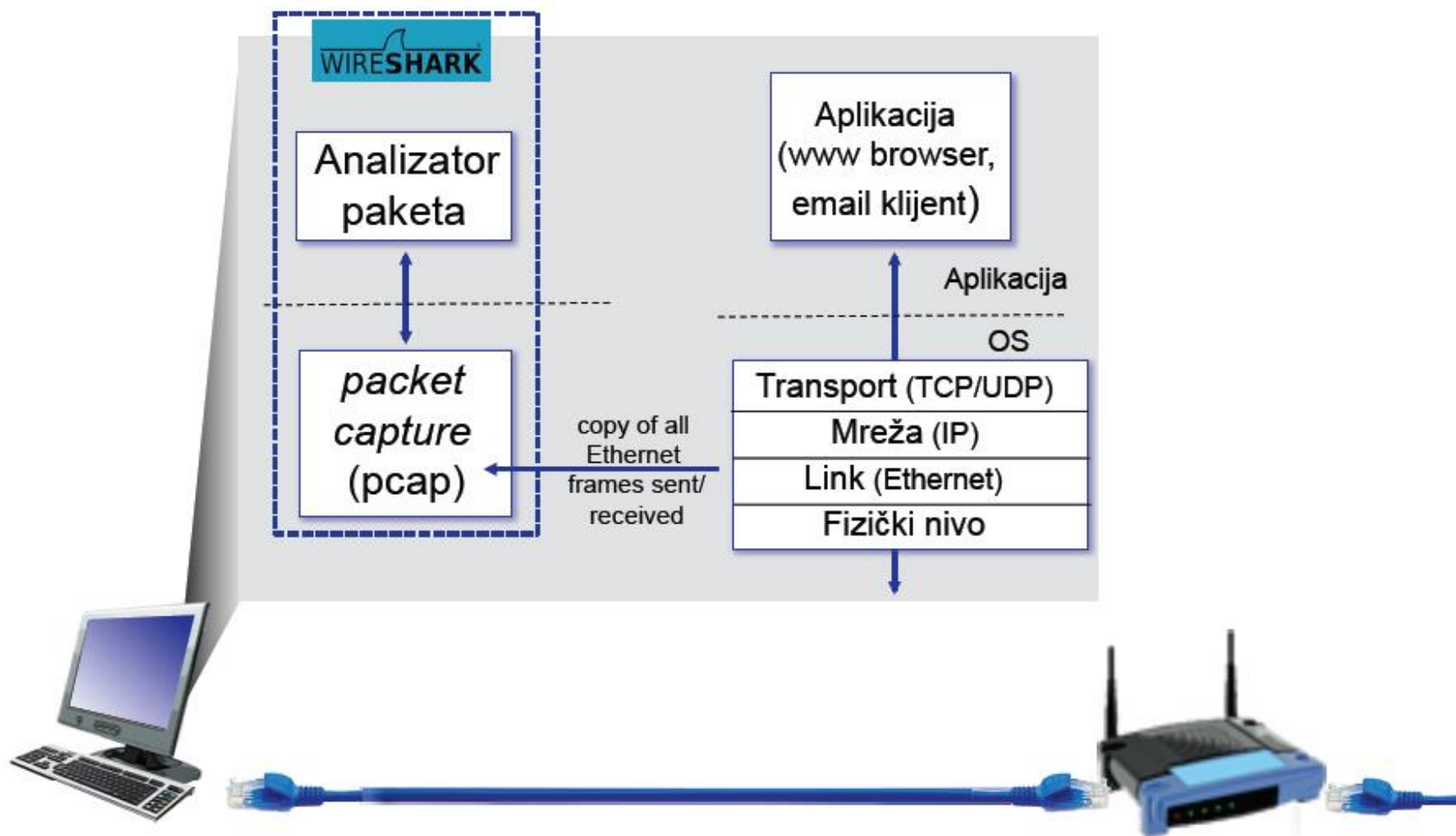
Enkapsulacija

destinacija



ruter

Uvod u računarske mreže



Uvod u računarske mreže

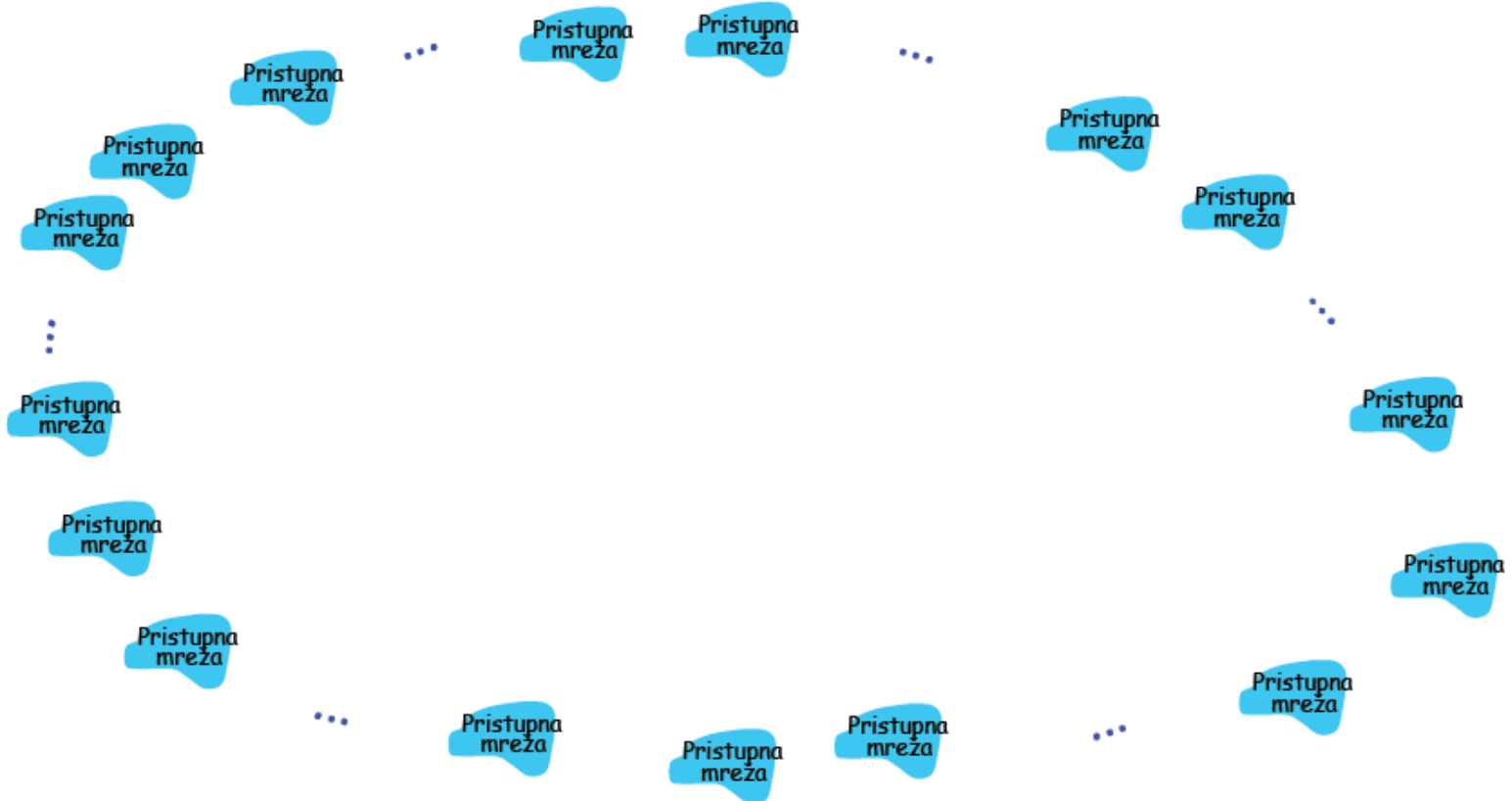
Internet struktura: mreža svih mreža

- ❖ 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

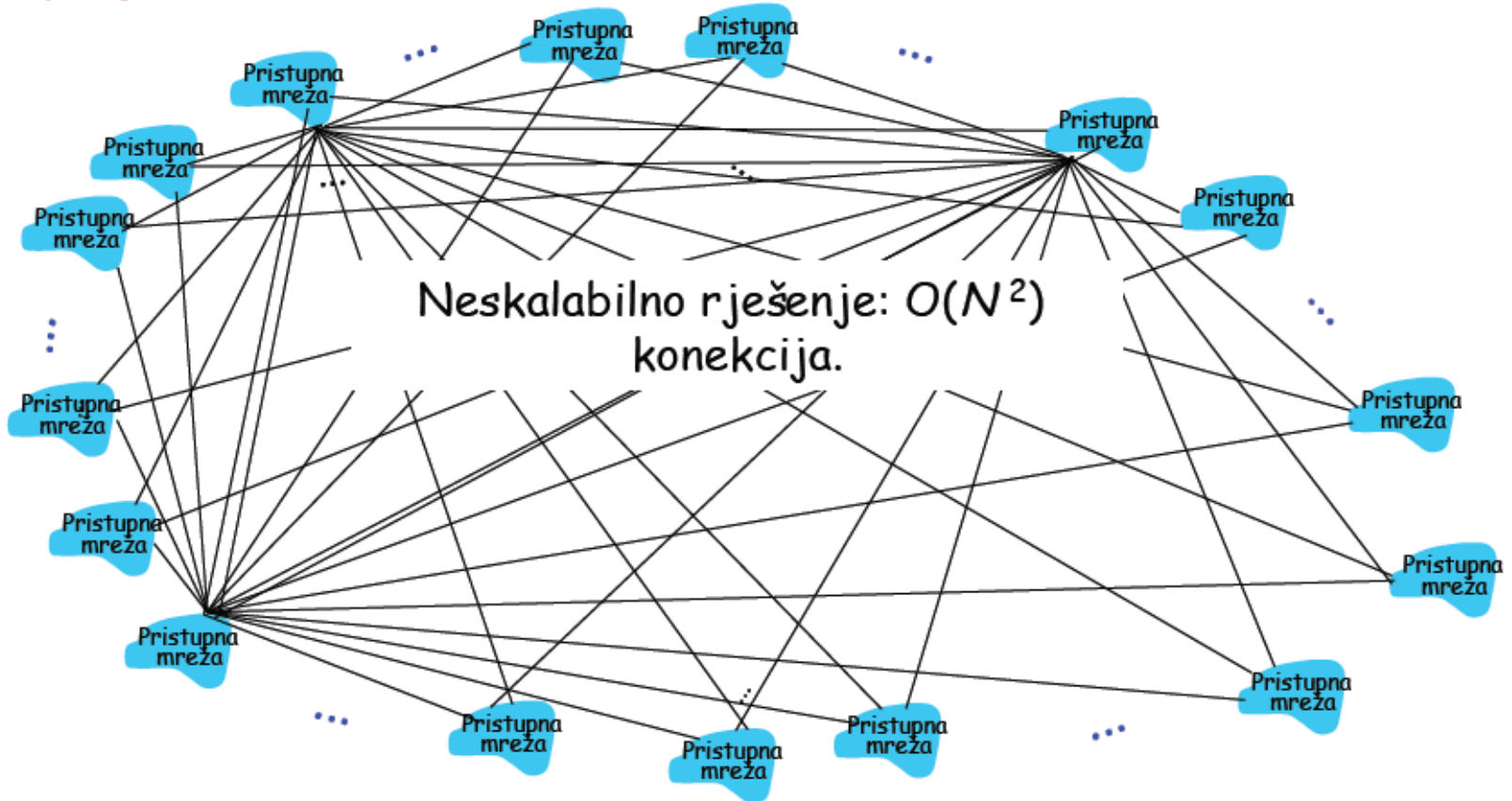
Pitanja: kako povezati milione postojećih pristupnih mreža?



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

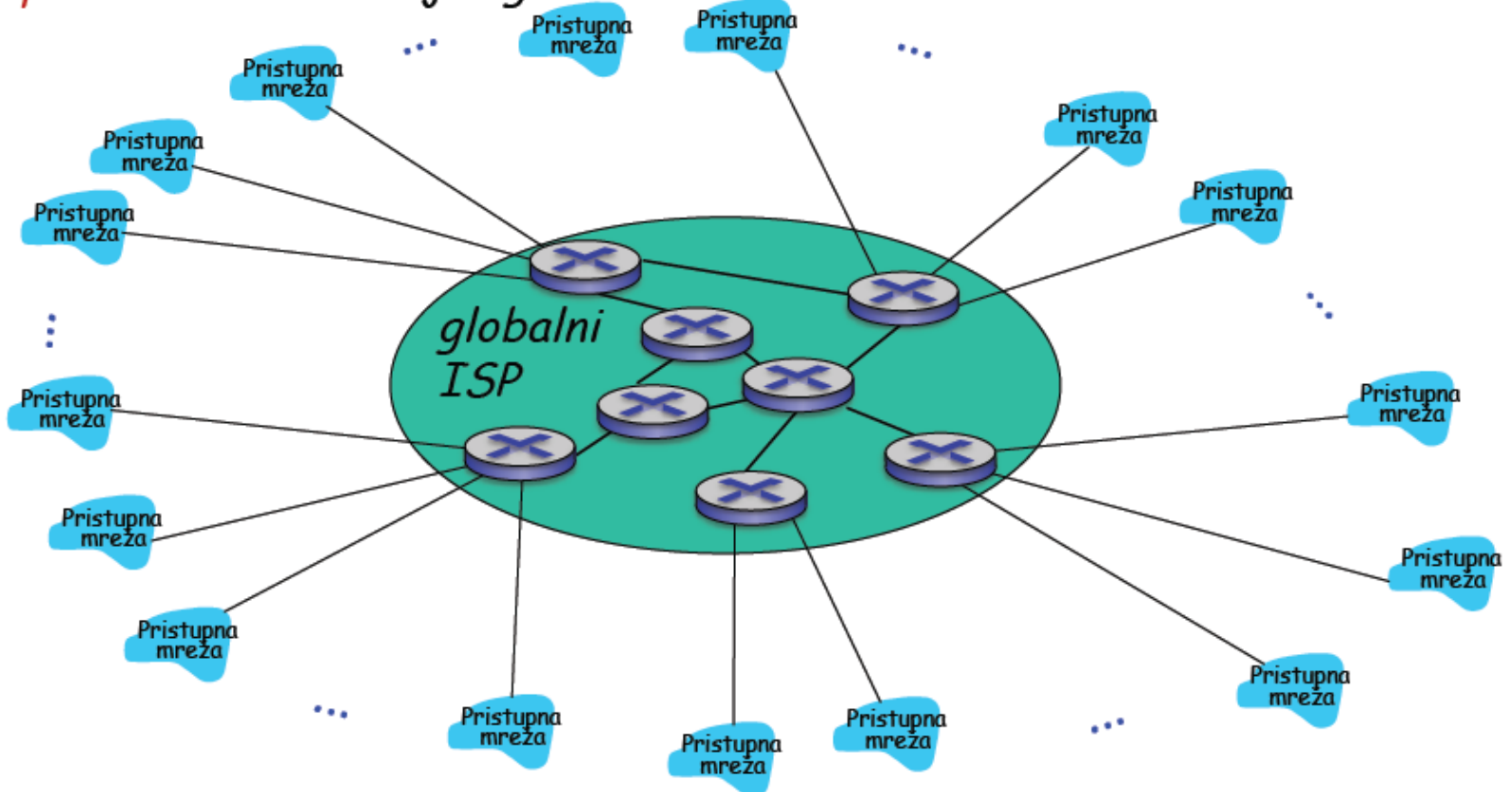
Opcija 1: Povezati svakog sa svakim!?



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

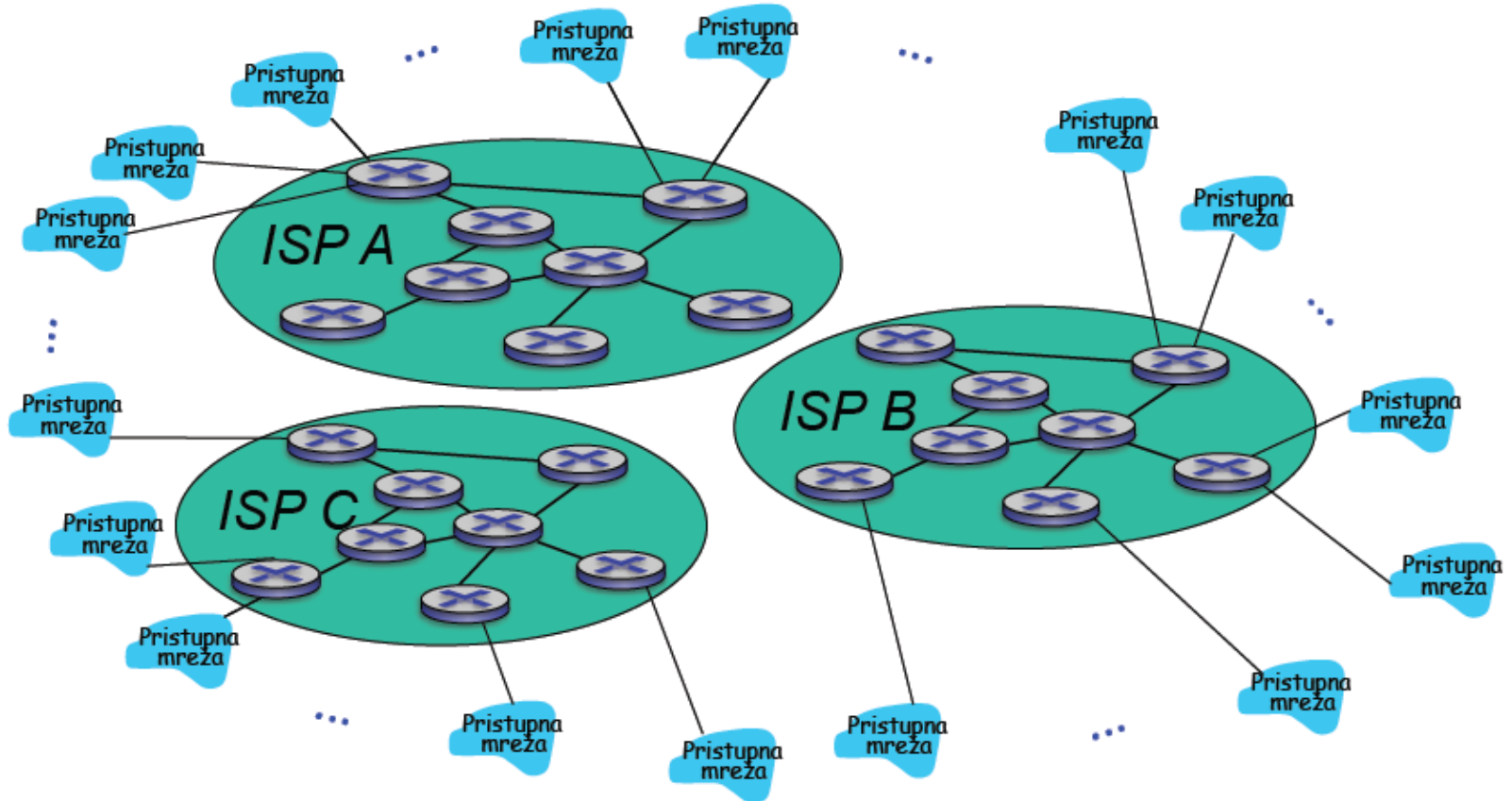
Opcija 2: povezati sve pristupne ISP na globalni tranzitni ISP? Korisnički i operatorski ISP imaju ugovoreni odnos.



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

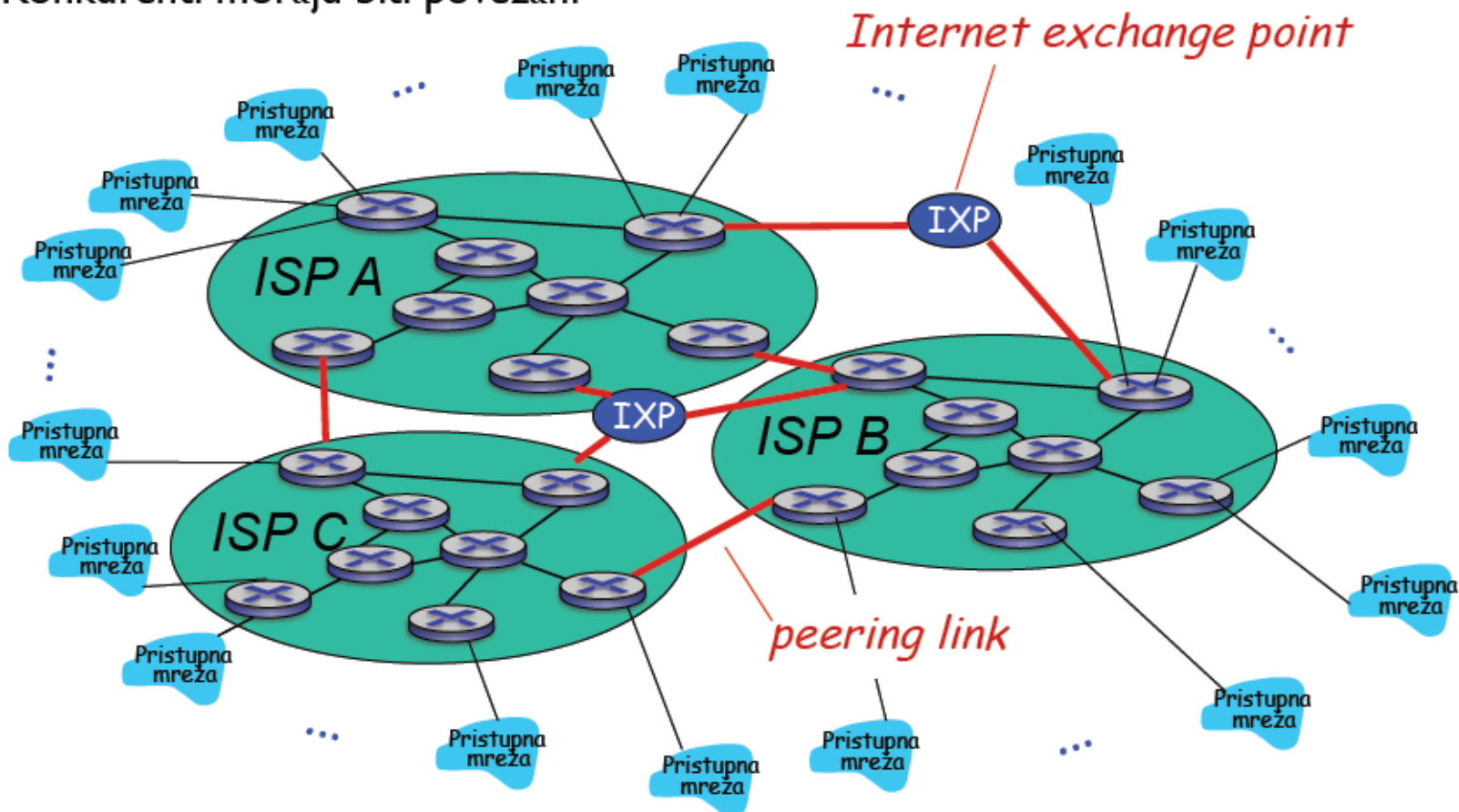
ISP je primamljiv biznis koji privlači konkurenciju....



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

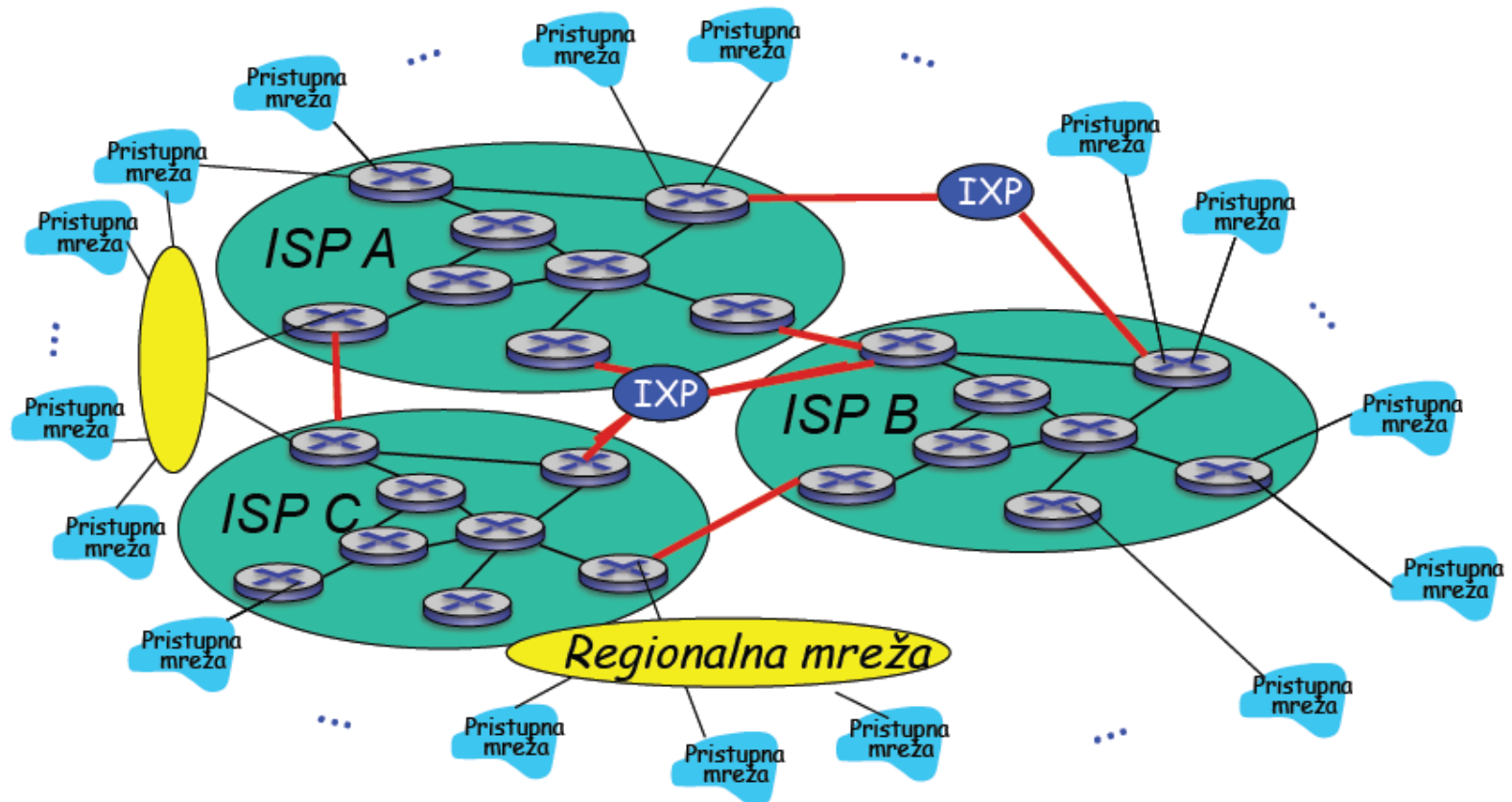
Konkurenti moraju biti povezani



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

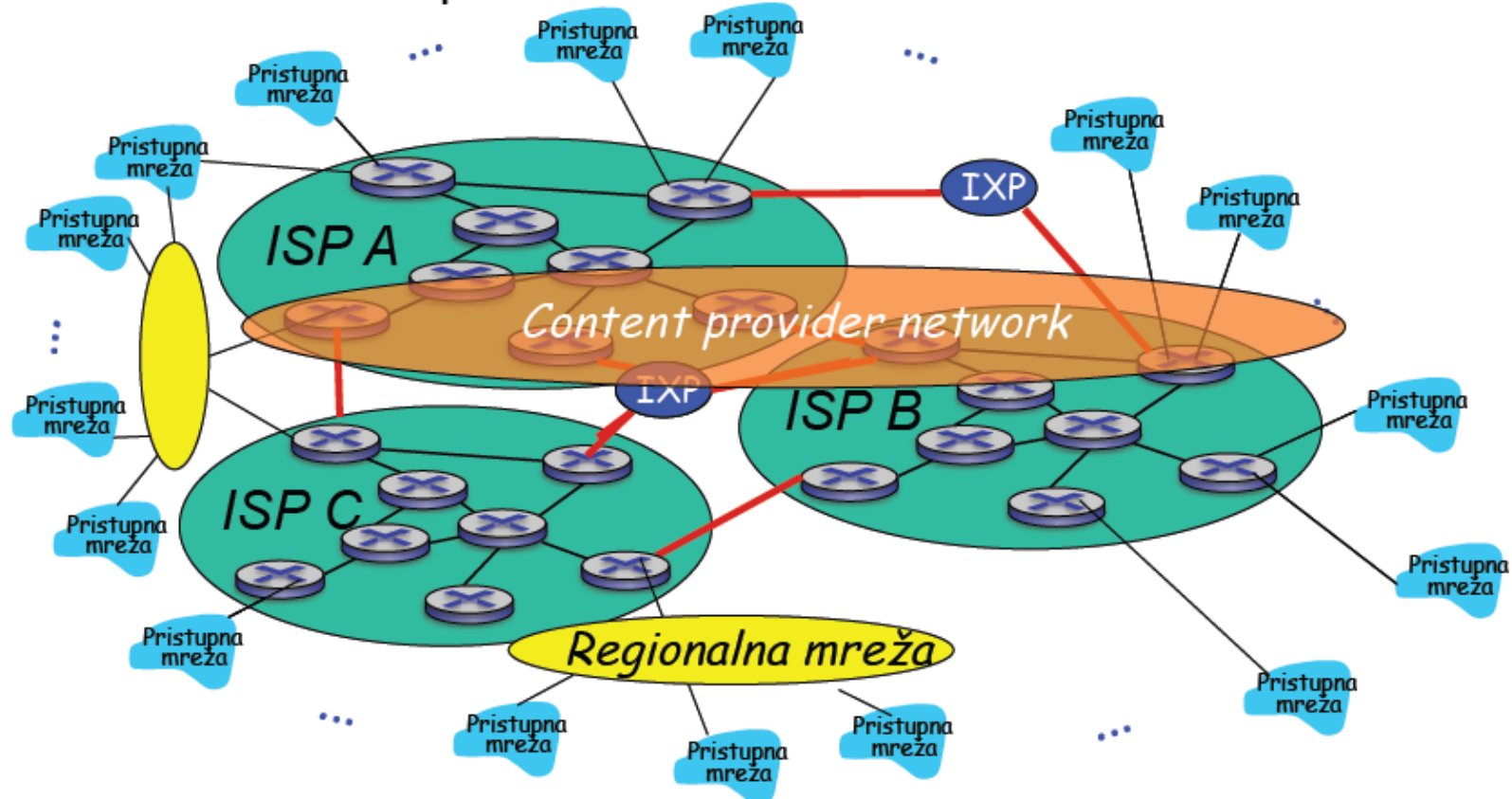
... pojavljuju se i regionalni ISP-ovi



Uvod u računarske mreže

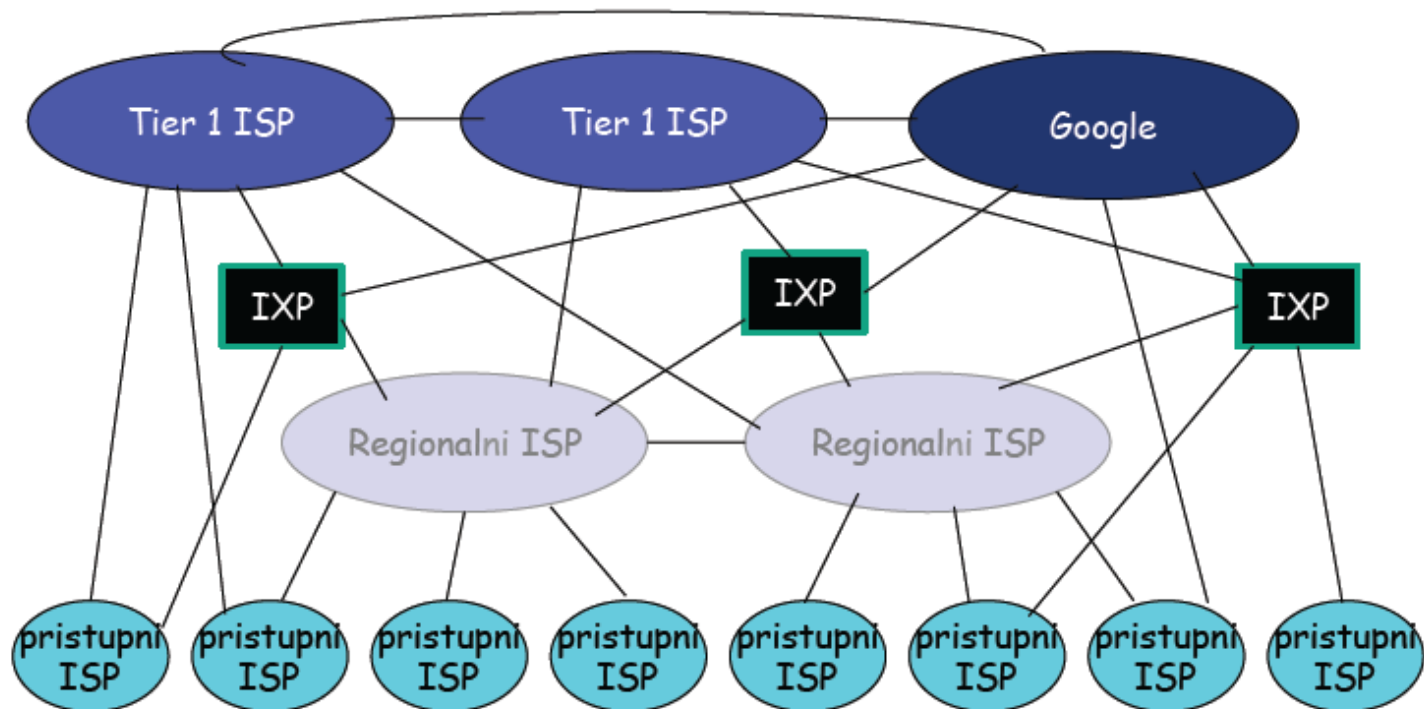
Internet struktura: mreža svih mreža

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



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

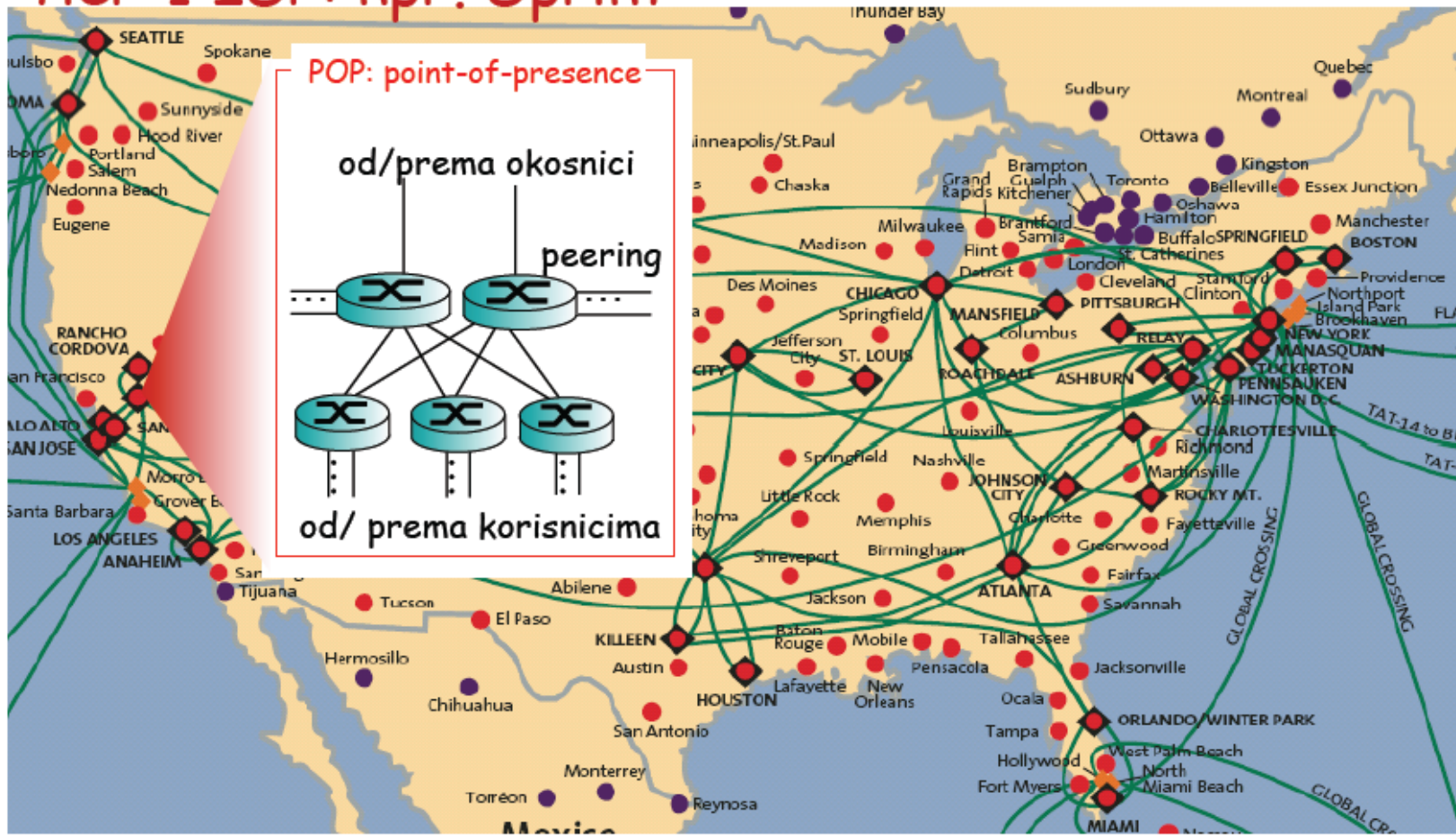


U centru: mali broj veoma dobro povezanih velikih mreža

- “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

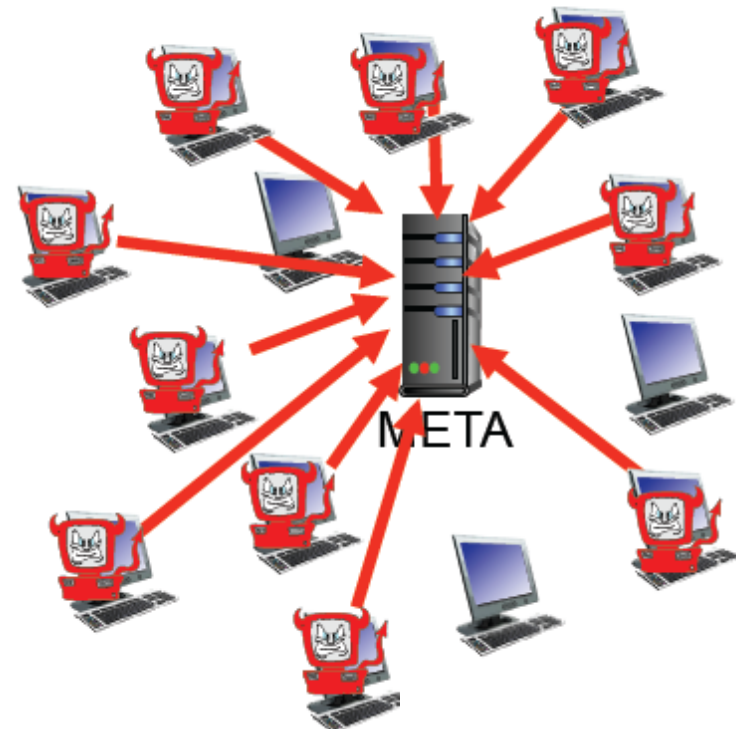
- ❑ Može sa Internetete dospjeti u host pomoću:
 - *virusa*: samo-replicirajuća “zaraza” prijemom/ izvršavanjem programa (npr. e-mail attachment)
 - *worm*: samo-replicirajuća “zaraza” pasivnim prijemom objekta koji se samoizvršava
- ❑ **spyware malware** može evidentirati unos sa tastature, posjećene 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

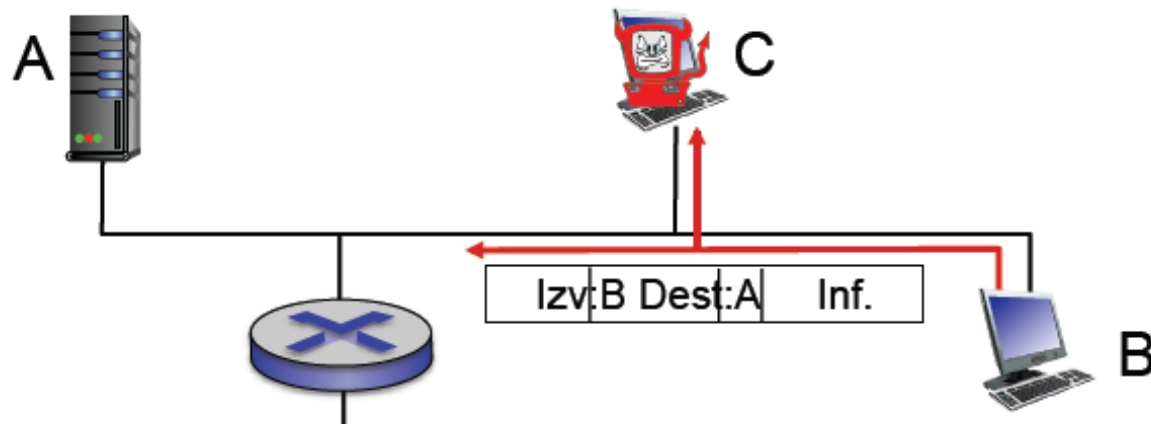
1. Izbor mete
2. Upad u hostove oko mete (botnet)
3. Slanje paketa meti od strane kompromitovanih hostova



Uvod u računarske mreže

Packet “sniffing”:

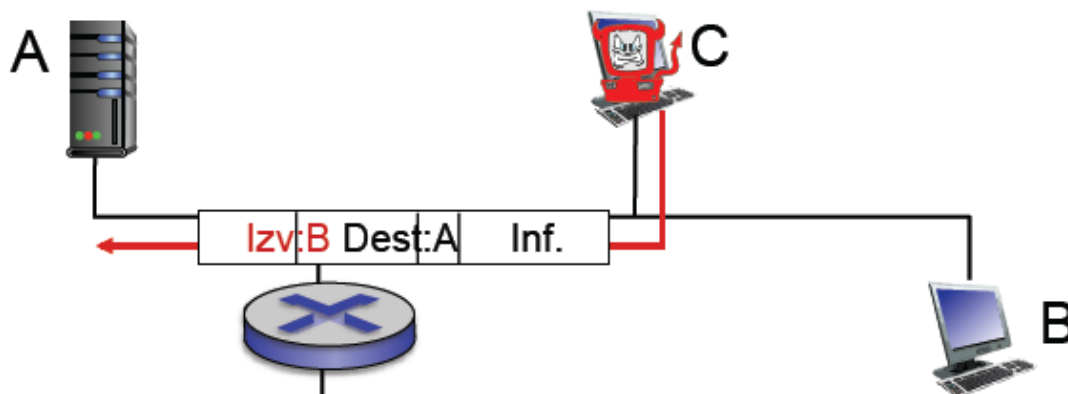
- Zajednički medijum za prenos (dijeljeni Ethernet, bežični link)
- Promiskuitetni mrežni interfejs analizira sve pakete koji se prenose



- 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

