

# Računarske mreže (napredni kurs) SPR

Prof.dr Igor Radusinović

[igorr@ucg.ac.me](mailto:igorr@ucg.ac.me)

dr Slavica Tomović

[slavicat@ucg.ac.me](mailto:slavicat@ucg.ac.me)

1

## O čemu se radi?

Kurs Računarske mreže (napredni kurs) nudi:

- ❑ Sistematizaciju znanja stečenih o **principima** na kojima počivaju računarske mreže
- ❑ upoznavanje Internet arhitekture/protokola na osnovnom nivou
- ❑ Ovladavanje osnovnim analitičkim mehanizmima za opisivanje pojava na Internetu

### *Ciljevi*

- ❑ Unaprijediti znanje iz računarskih mreža
- ❑ Stvoriti uslove za aktivno učešće polaznika u budućem razvoju Interneta

2

## Informacije o kursu

- **Kome je namijenjen kurs?**
  - Studentima specijalističkih studija na SPR
- **Šta je poželjno znati od ranije?**
  - Računarske mreže i komunikacije, Poslovne računarske mreže, Internet tehnologije
- **Materijali kursa:**
  - Prezentacije su napravljene prilagođavnjem prezentacija autora knjige: *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*, J. Kurose & Keith Ross, Addison Wesley, 8<sup>th</sup> edition, 2020.
  - Zabilježke sa predavanja
  - WWW

3

## Informacije o kursu (više)

- **Način polaganja:**

<u>Rad</u>	<u>broj</u>	<u>% ocjene</u>
Kolokvijum	1	50%
Završni ispit	1	50%

4

## Pregled kursa:

Pripremna nedjelja	Priprema i upis semestra
I nedjelja	Uvod u računarske mreže.
II nedjelja	Performanse računarskih mreža
III nedjelja	Principi protokola nivoa aplikacije. HTTP
IV nedjelja	Principi protokola nivoa transporta.
V nedjelja	Nekonektivni transportni servis (UDP). Konektivni transportni servis (TCP).
VI nedjelja	Nivo mreže. IP protokol
VII nedjelja	Kolokvijum
VIII nedjelja	IP adresiranje. Rutiranje. Ruter.
IX nedjelja	Principi nivoa linka. Kontrola greške.
X nedjelja	Višestruki pristup
XI nedjelja	Adresiranje nivoa linka. Ethernet. Switch.
XII nedjelja	WiFi
XIII nedjelja	Principi implementacije multimedijalnih računarskih mreža
XIV nedjelja	Osnove zaštite računarskih mreža
XV nedjelja	Principi menadžmeta računarskih mreža
XVI nedjelja	Završni ispit
Završna nedjelja	Ovjera semestra i upis ocjena.
XVIII-XXI nedjelja	Dopunska nastava i popravni ispitni rok.

5

## Uvod u računarske mreže

### Zadatak:

- Shvatiti kontekst, pregled, "osjetiti" računarsku mrežu
- dublje, detaljnije kasnije
- pristup:
  - opisni
  - korišćenje Interneta kao primjera

### Pregled:

- Šta je Internet?
- Šta je protokol?
- Ivice mreže (*network edge*)
- Okosnica mreže (*network core*)
- Višenivovska arhitektura, mrežni protokoli, modeli servisa

Uvod u računarske mreže 1-6

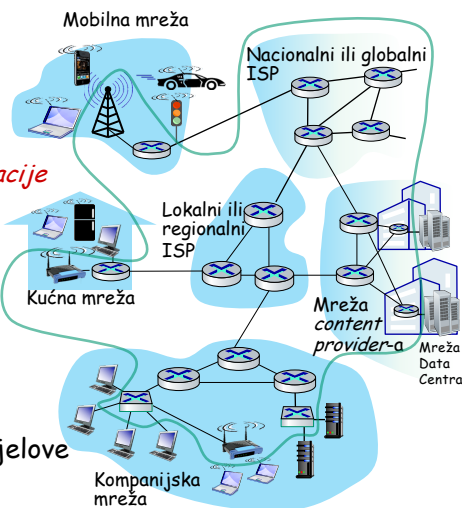
6

# Uvod u računarske mreže

## Šta je Internet?



- Milijarde povezanih računara:
  - Host = krajnji sistem
  - Izvršava mrežne aplikacije
- Komunikacioni linkovi
  - Optičko vlakno, bakarna upredena parica, koaksijalni kabal, radio, ...
  - Brzina prenosa: *bandwidth*
- Komutatori paketa: prosleđuju pakete (djelove poruka)
  - ruteri
  - komutatori



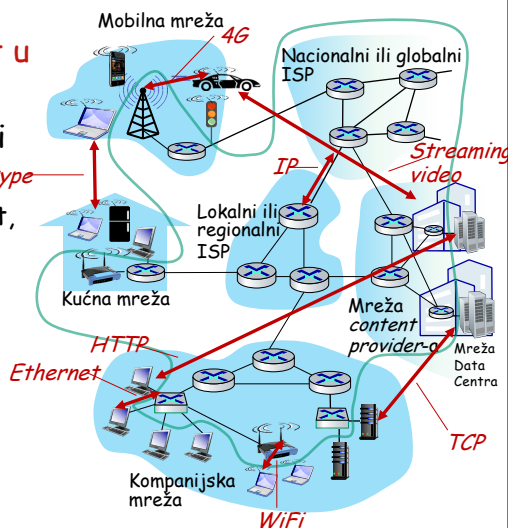
Uvod u računarske mreže 1-7

7

# Uvod u računarske mreže

## Iz čega se sastoji Internet u logičkom smislu?

- Protokoli kontrolišu slanje i prijem poruka
  - npr, TCP, IP, HTTP, Ethernet, WiFi, 4G, Skype, streaming video
- 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 1-8

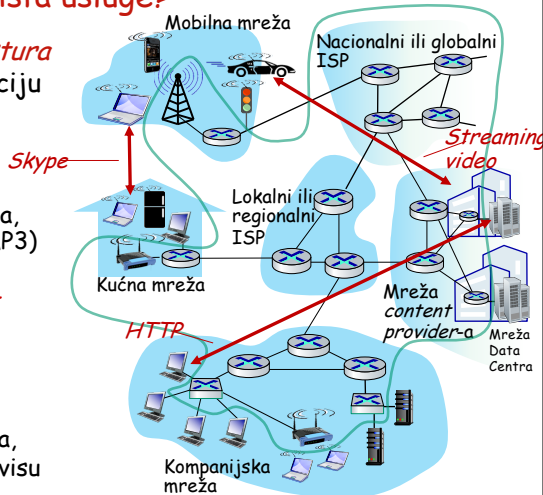
8



## 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 (MP3) sharing
- **Omogućava programabilni interfejs do aplikacija**
  - Aplikacije šalju i primaju podatke sa Interneta
  - Omogućava opcije servisa, analogne poštanskom servisu



Uvod u računarske mreže 1-9

9

## Uvod u računarske mreže

### Šta je mrežni protokol?

#### Ljudski protokoli:

- "Koliko je sati?"
- "Imam pitanje"
- "Mogu li da odgovaram za 10?"
- 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 1-10

10

# Uvod u računarske mreže

## Detaljniji pogled na mrežnu strukturu

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



Uvod u računarske mreže 1-11

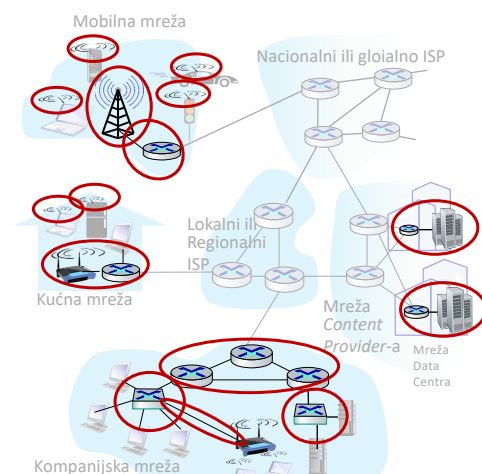
11

# Uvod u računarske mreže

## Pristupne mreže i fizički medijum

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

- Rezidencijalne pristupne mreže
  - Institucionalne pristupne mreže (ustanove, kompanije)
  - Mobilne pristupne mreže
- Važno je obratiti pažnju na*
- kapacitet (b/s) pristupne mreže?
  - zajednički ili dodijeljeni?

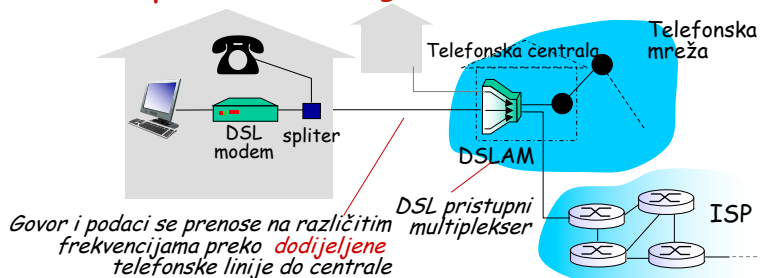


Uvod u računarske mreže 1-12

12

## Uvod u računarske mreže

### Pristupna mreža: Digital Subscriber Line (DSL)



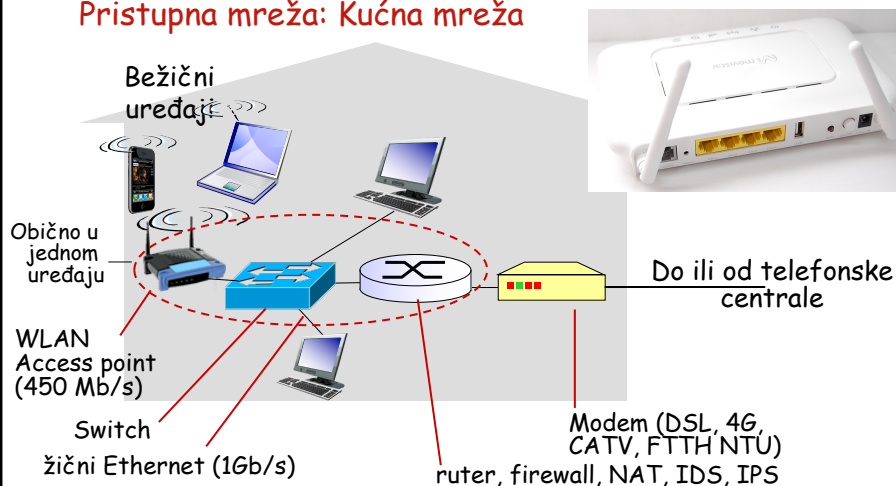
- koristi *postojeću* telefonsku liniju do DSLAM-a u telefonskoj centrali
  - Podaci se preko DSL linije prenose do Interneta
  - Govor se preko DSL linije prenosi do telefonske mreže
- < 100 Mb/s brzina prenosa na upstream-u (tipično < nekoliko Mb/s)
- < 300 Mb/s brzina prenosa na downstream-u (tipično < nekoliko desetina Mb/s)
- ADSL, VDSL,...

Uvod u računarske mreže 1-13

13

## Uvod u računarske mreže

### Pristupna mreža: Kućna mreža

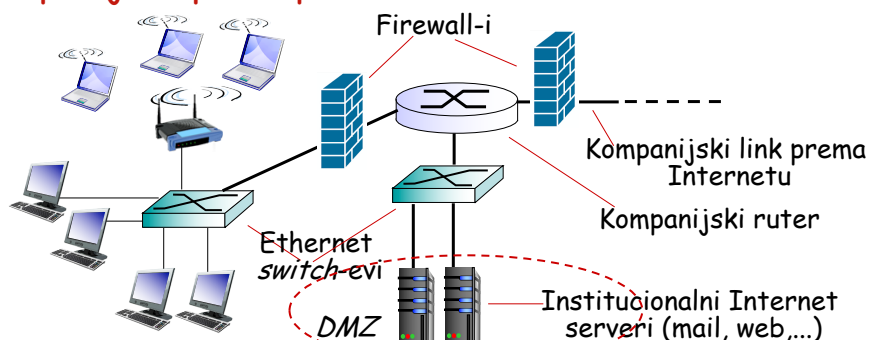


Uvod u računarske mreže 1-14

14

## Uvod u računarske mreže

### Kompanijska pristupna mreža



#### □ Institucije, ustanove,...

- 10 Mb/s, 100Mb/s, 1Gb/s, 10Gb/s
- Danas se krajnji sistemi tipično povezuju na Ethernet switch ili WLAN Access Point
- DMZ (DeMilitarized Zone)
- Tronivovska hijerarhijska mreža

Uvod u računarske mreže 1-15

15

## Uvod u računarske mreže

### Bežične pristupne mreže

- Dijeljeni *bežični pristup preko access point-a* ili bazne stanice

#### Wireless LAN:

- Pristup preko *access point-a*
- Unutar objekata (30m) ili na malom otvorenom prostoru (100m)
- IEEE 802.11 b/g/n/ad/ac/aj/ax/ay (WiFi standardi)
- Teorijske brzine prenosa 11/54/600/6700/3466.8/15000/9608/20000 Mb/s



Prema Internetu

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/catalyst-9100ax-access-points/nb-06-cat-9130-ser-ap-ds-cte-en.html>

#### Wireless WAN

- Pristup preko bazne stanice
- Celularni pristup koji nudi operator
- Pokrivanje bazne stanice može biti od jedne sobe do nekoliko kilometara
- 3.9G: LTE (DL-100Mb/s, UL-50Mb/s, 5ms)
- 4G: LTE-A (DL-1Gb/s za stacionarne korisnike)



Prema Internetu

Uvod u računarske mreže 1-16

16

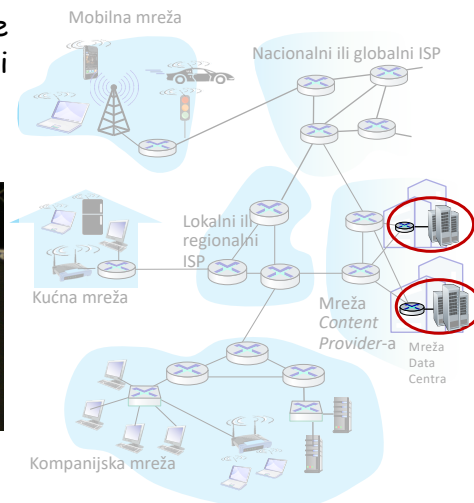
# Uvod u računarske mreže

## Mreža Data Centra

- Veoma brzi linkovi (desetine i stotine Gb/s) koji stotine i hiljade servera povezuju međusobno i na Internet



Massachusetts Green High Performance Computing Center (mghpcc.org)



Uvod u računarske mreže 1-17

17

# 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: bakarna upredena parica, optičko vlakno, koaksijalni kabal
- **"Ne vođeni" medijum:**
  - Signali se prostiru slobodno između antena (radio kanala,...)

## Bakarna upredena parica

- Dvije izolovane bakarne žice
  - Kategorija 5 : 100Mb/s i 1Gb/s Ethernet
  - Kategorija 6: 10Gb/s Ethernet
  - Kategorija 8: 40Gb/s Ethernet



Uvod u računarske mreže 1-18

18

## Uvod u računarske mreže

### Koaksijalni kabal:

- Dva koncentrična bakarna provodnika
- Bidirekcionni prenos
- Osnovni opseg:
  - jedan kanal na kablju
  - rani Ethernet
- Širokopoljasni :
  - više kanala na kablju
  - HFC



### Kabal sa optičkim vlaknima:

- Stakleno (rijetko plastično) vlakno prenosi svjetlosne impulse, svaki impuls jedan bit
- Vrlo visoka brzina prenosa koja je tipično nekoliko Gb/s (Postignuta brzina od  $100 \cdot 10^{15}$  b/s)
- Nizak nivo greške: veće rastojanje između ripitera i imunitet u odnosu na elektromagnetni šum



Uvod u računarske mreže 1-19

19

## Uvod u računarske mreže

### Radio

- Signal se prenosi elektromagnetnim talasom koji se u slobodnom prostoru prostire između antena
- Nema fizičke "žice"
- Bidirekcionni prenos
- Efekti propagacije:
  - Refleksija
  - Difrakcija
  - Interferencija
  - Fading
  - ...

### Tipovi radio linkova

- Zemaljski mikrotalasni linkovi
  - Desetine Gb/s
- WLAN
  - 2Mb/s do 20Gb/s
- WWAN
  - 3G(UMTS): stotine kb/s
  - 3.5G (HSxPA) nekoliko Mb/s
  - 3.9G: LTE (DL-100Mb/s, UL-50Mb/s, 5ms)
  - 4G (LTE Advanced i IEEE 802.15m): 1Gb/s (DL), 500Mb/s (UL)
  - 5G (1-10Gb/s)!!!!
- Satelitske mreže
  - Od nekoliko Mb/s do nekoliko Gb/s
  - Desetine ili stotine ms kašnjenje od kraja do kraja
  - Geostacionarni (GEO) vs. niskoorbitni (LEO)?
  - <https://www.starlink.com/>
  - <https://oneweb.world/>

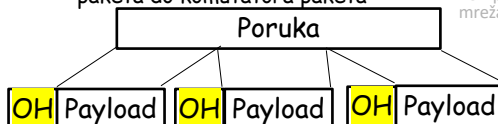
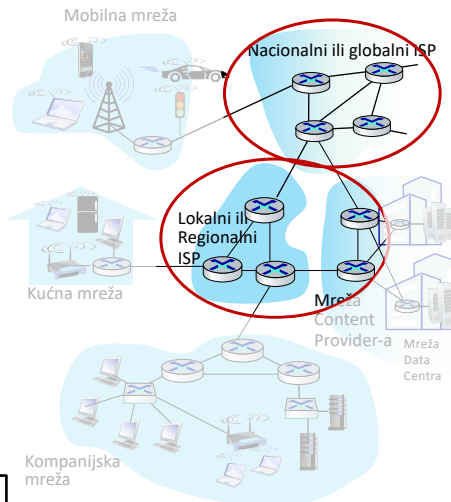
Uvod u računarske mreže 1-20

20

# 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
  - Paket se sastoji od
    - Zaglavlja (*OverHead*) koje sadrže informacije koje su potrebne mreži da prenese paket od izvora do destinacije (*kontrolne informacije*)
    - Korisnog dijela (*Payload*) koji sadrži dio poruke (*korisničke informacije*)
  - Paketi se prosleđuju od komutatora paketa do komutatora paketa



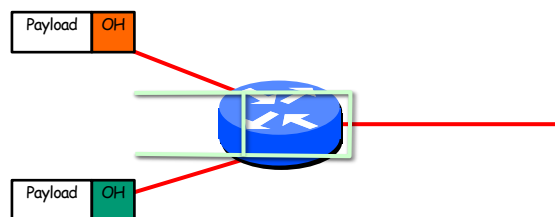
Uvod u računarske mreže 1-21

21

# Uvod u računarske mreže

## Komutator paketa

- ❑ Prima pakete i odlučuje na koji će link da ih pošalje
- ❑ Prosleđuju pakete tehnikom uskladišti i prosljedi (*store and forward*)
  - što znači da kompletan paket mora doći do komutatora paketa prije nego što se prosljedi dalje na naredni link
- ❑ Ukoliko link nije slobodan paket se smješta u bafer
- ❑ Svaki paket se, kada dođe na red za slanje, prenosi maksimalnom brzinom prenosa linka

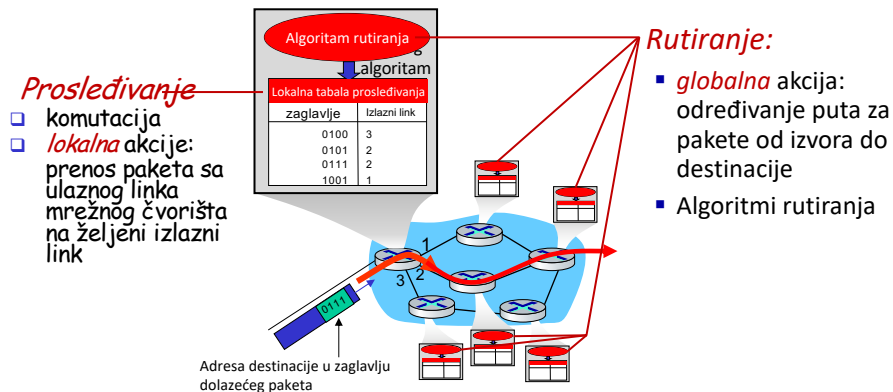


Uvod u računarske mreže 1-22

22

# Uvod u računarske mreže

## Dvije ključne funkcije mreže

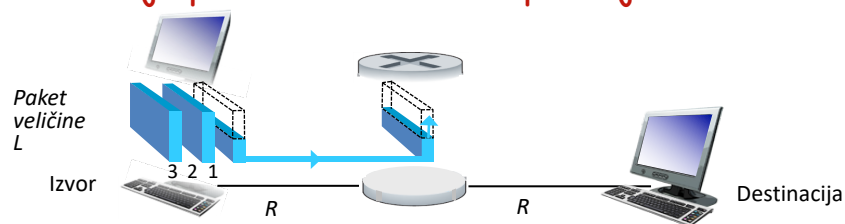


Uvod u računarske mreže 1-23

23

# Uvod u računarske mreže

## Komutacija paketa: uskladišti i proslijedi



- Komutacija paketa unosi kašnjenje u prenosu paketa
- Na primjer potrebno je  $\frac{L}{R}$  sekundi da bi se paket veličine  $L$  bita "iznio" na link brzine  $R$  (kašnjenje uslijed prenosa)
- Ako se zanemare ostala kašnjenja, kašnjenje od kraja do kraja iznosi  $2\frac{L}{R}$

### Primjer:

- $L = 7.5 \text{ Mb}$
- $R = 1.5 \text{ Mb/s}$
- Kašnjenje uslijed prenosa = 5 s

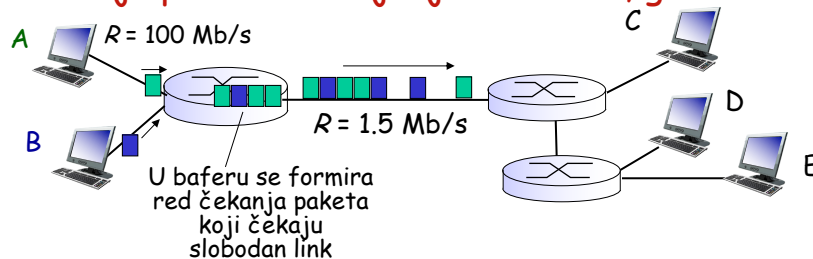
Uvod u računarske mreže 1-24

24



## Uvod u računarske mreže

### Komutacija paketa: kašnjenje u baferu, gubici



#### Bafer i gubici:

- Ako je dolazna brzina paketa približna brzini prenosa na linku u dovoljno dugom intervalu vremena:
  - Paketi se smještaju u bafer čekajući oslobađanje linka i prenos
  - Paketi se odbacuju ako nema dovoljno memorijskog prostora u baferu



Uvod u računarske mreže 1-25

25

## Uvod u računarske mreže

### Internet struktura: mreža svih mreža

- Krajnji sistemi se povezuju na Internet preko **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**

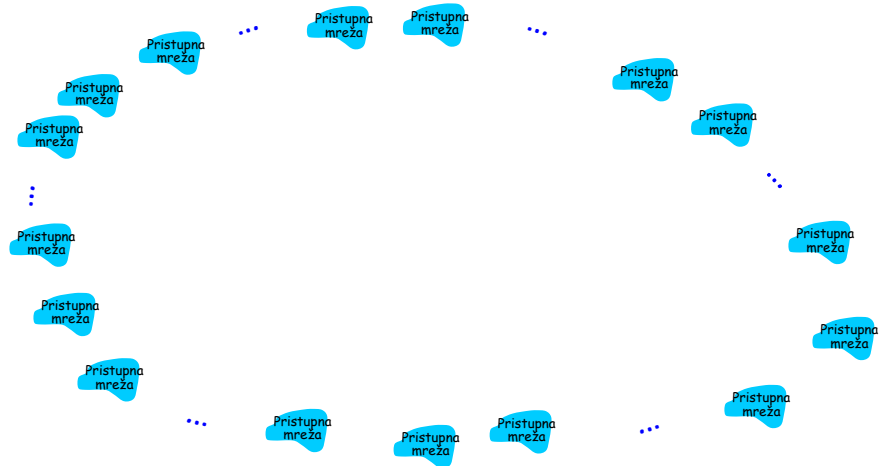
Uvod u računarske mreže 1-26

26

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

*Pitanja:* kako povezati milione postojećih pristupnih mreža?



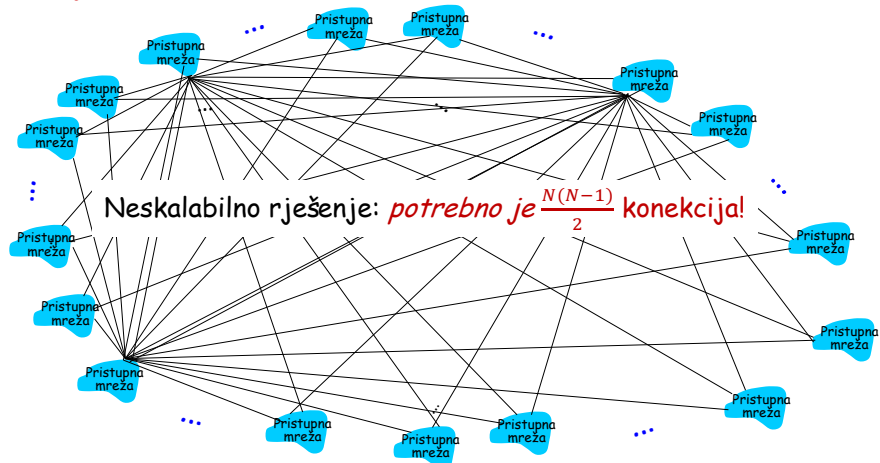
Uvod u računarske mreže 1-27

27

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: „Mreža svih mreža“

*Opcija 1:* Povezati svaku sa svakom?



Neskalabilno rješenje: *potrebno je*  $\frac{N(N-1)}{2}$  *konekcija!*

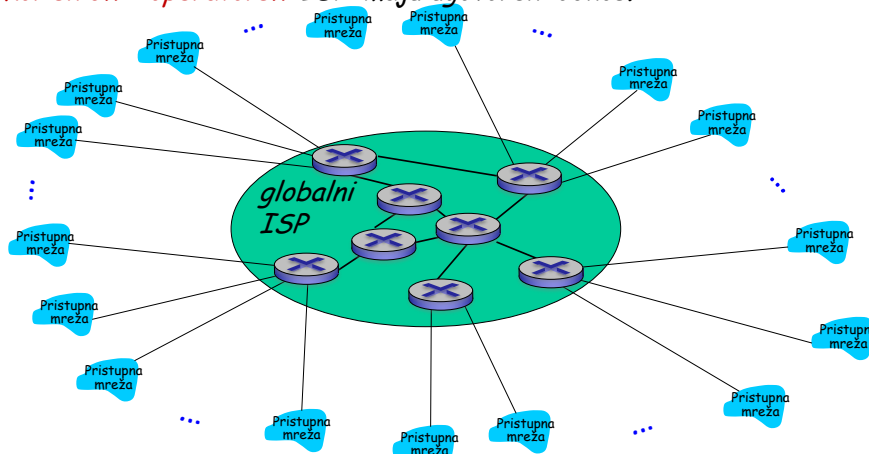
Uvod u računarske mreže 1-28

28

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

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



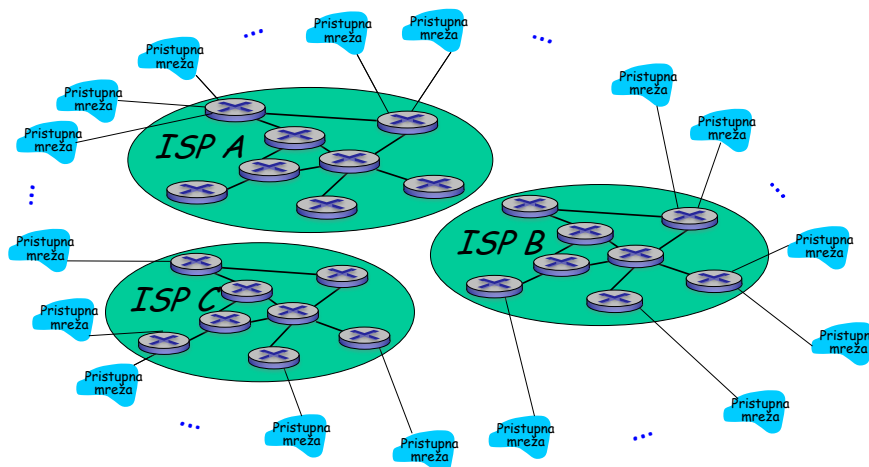
Uvod u računarske mreže 1-29

29

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

ISP je primamljiv biznis koji privlači konkurenciju...



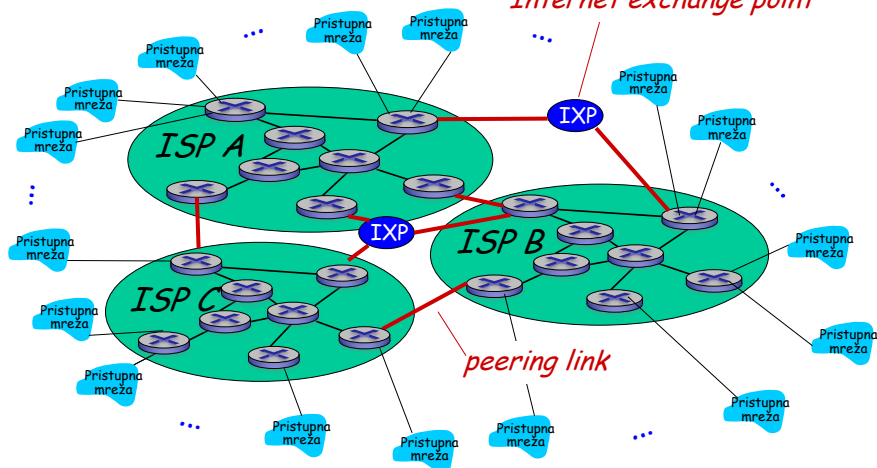
Uvod u računarske mreže 1-30

30

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

Konkurenti moraju biti povezani kako bi tržišna utakmica bila fer!  
*Internet exchange point*



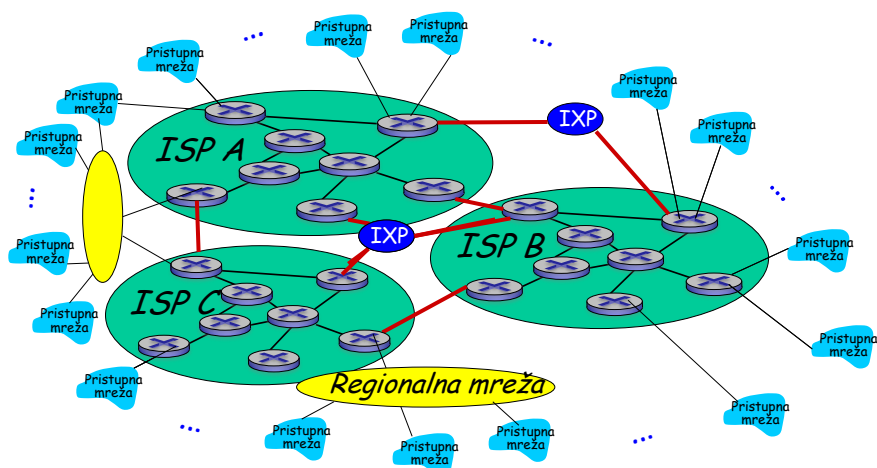
Uvod u računarske mreže 1-31

31

# Uvod u računarske mreže

## Internet struktura: mreža svih mreža

... pojavljuju se i regionalni ISP-ovi



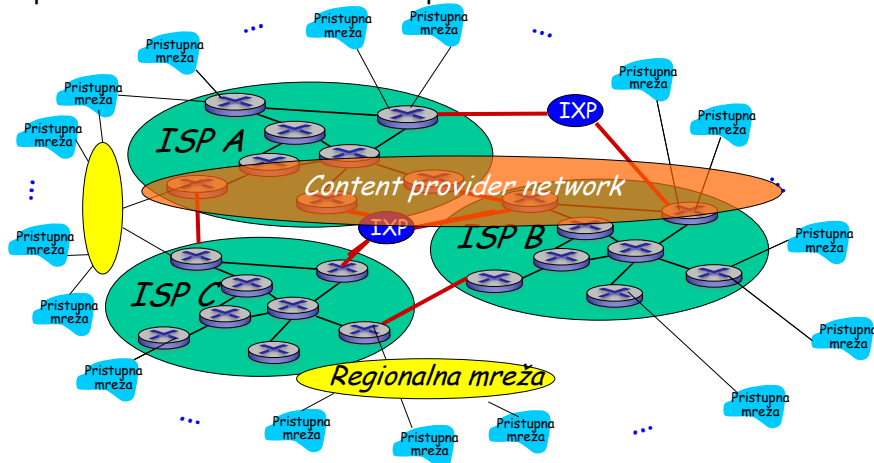
Uvod u računarske mreže 1-32

32

## Uvod u računarske mreže

### Internet struktura: mreža svih mreža

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

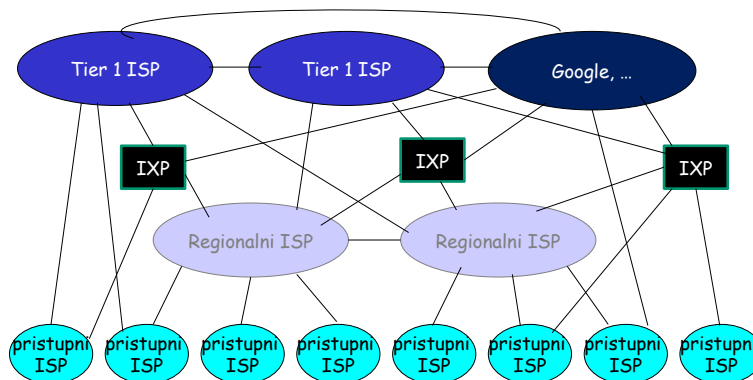


Uvod u računarske mreže 1-33

33

## Uvod u računarske mreže

### Internet struktura: mreža svih mreža



□ U centru: mali broj veoma dobro povezanih velikih mreža

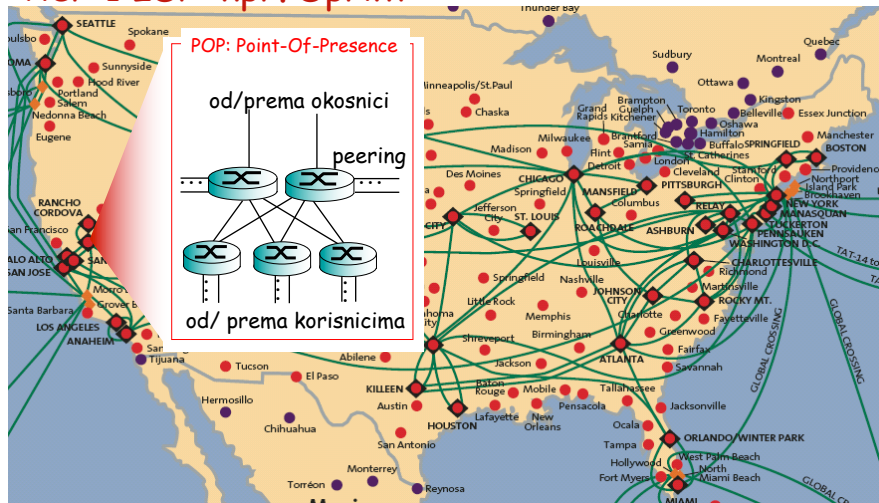
- "tier-1" komercijalni ISP-ovi (npr. Level 3, Sprint, AT&T, NTT, Deutsche Telekom,...), nacionalno i međunarodno pokrivanje
- *Content provider* mreža (Google, Facebook,...): privatna mreža koja povezuje data centre na Internet, obično zaobilazeći tier-1 i regionalne ISP-ove

Uvod u računarske mreže 1-34

34

# Uvod u računarske mreže

## Tier-1 ISP: npr. Sprint

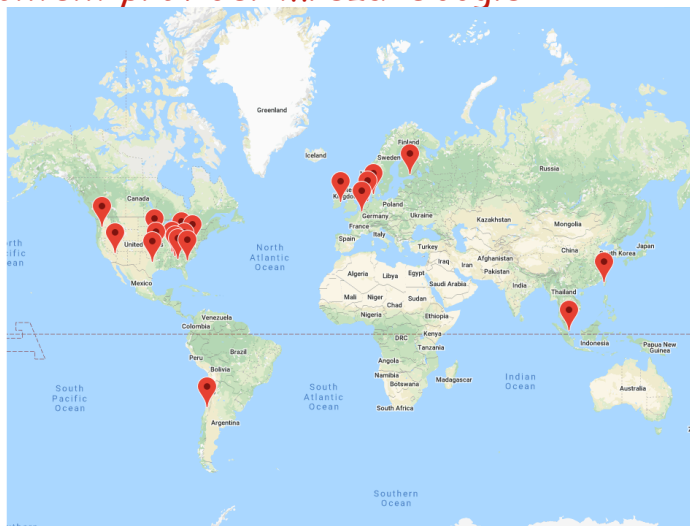


Uvod u računarske mreže 1-35

35

# Uvod u računarske mreže

## Content provider mreža: Google



Uvod u računarske mreže 1-36

36

# Uvod u računarske mreže

## Internet arhitektura

- **Nivo aplikacije:** aplikacijama daje komunikacione mogućnosti
  - HTTP, FTP, SMTP, STTP
- **Nivo transporta:** obezbeđuje prenos podataka od hosta do hosta bez učešća komutatora paketa
  - TCP, UDP
- **Nivo mreže:** rutiranje paketa od izvorišnog hosta do destinacionog hosta preko jedne ili više mreža
  - IP, protokoli rutiranja (OSPF, IS-IS, BGP)
- **Nivo linka:** prenos paketa između direktno povezanih uređaja
  - Ethernet, WiFi, 4G,...
- **Fizički nivo:** prenos bita u formi signala preko medijuma za prenos



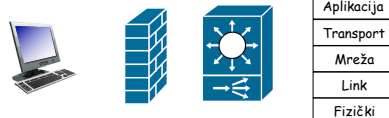
Uvod u računarske mreže 1-37

37

# Uvod u računarske mreže

## Internet arhitektura

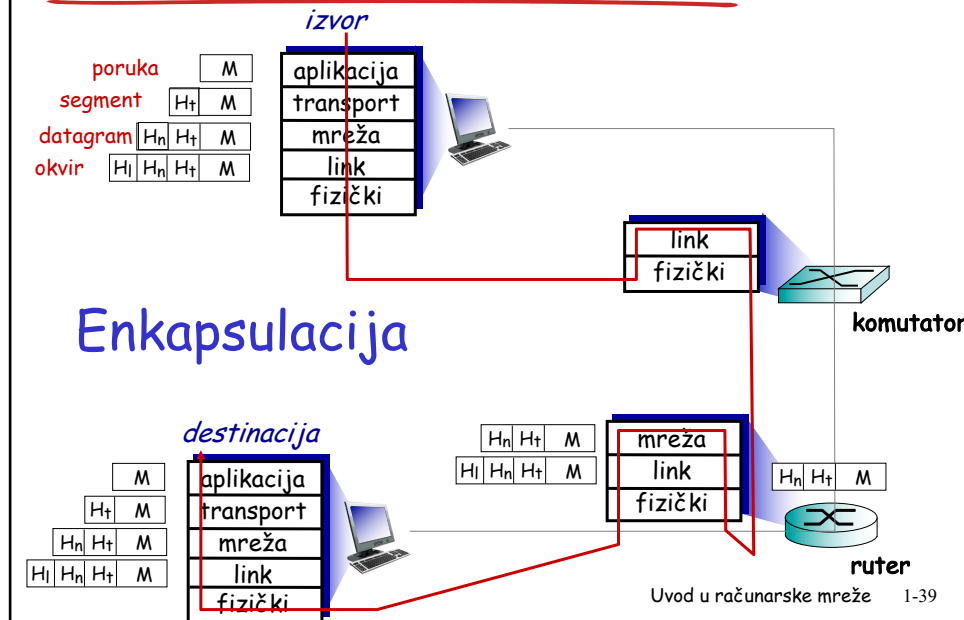
- U hostovima, *firewall*-ima i *content layer switch*-evima su implementirani svi nivoi
- U *switch*-evima, *access point*-ima i baznim stanicama su implementirani fizički nivo i nivo linka
- U ruterima i L3 *switch*-evima su implementirani fizički nivo, nivo linka i nivo mreže



Uvod u računarske mreže 1-38

38

# Uvod u računarske mreže



39

# Uvod u računarske mreže

## Internet danas

### 2005-danas

- ~ desetak milijardi povezanih hostova
  - Pametni telefoni i tableti
- Agresivna implementacija širokopojsnog pristupa
- Povećanje sveprisutnosti veoma brzog bežičnog pristupa
- Ekspanzija društvenih mreža:
  - Facebook, Instagram, Tic Toc,...
  - Provajderi servisa (Google, Microsoft,...) kreiraju sopstvene mreže zaobilazeći Internet, obezbeđuju "trenutni" pristup pretraživanju, email,...
- E-commerce, univerziteti, kompanije implementiraju sopstvene servise u "cloud" (npr, Amazon EC2)
- Sve izraženiji sigurnosni problemi
- M2M komunikacije (autonomna vozila, četvrta industrijska revolucija,...) donose novi zmac u razvoju Interneta

Uvod u računarske mreže 1-40

40



## 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: grupa uzajamno pouzdanih korisnika povezanih na "nevidljivu" mrežu ☺
  - Dizajneri Internet protokola neprekidno pokušavaju da prestignu bezbjedonosne izazove
  - Zaštita na svim nivoima!

Uvod u računarske mreže 1-41

41

## Uvod u računarske mreže

### Malware

- Može sa Interneta 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,
  - evidentirati posjećene web sajtove,
  - slati prikupljene informacije,...
- Inficirani host može postati dio **botnet-a**, koji se koristi za spamovanje ili DDoS napade
  - Mirai (na japanskom "za budućnost") pretvara Linuxov host u BOT koji se može koristiti za napade velikih razmjera

Uvod u računarske mreže 1-42

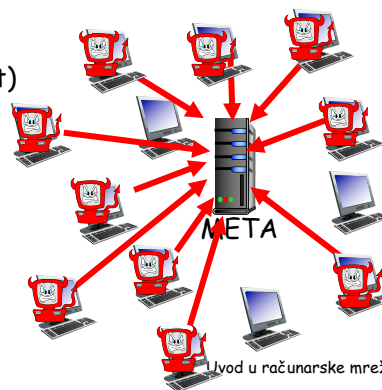
42

## 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 velikog broja paketa meti od strane kompromitovanih hostova



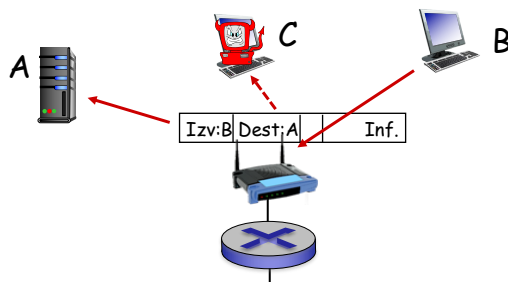
Uvod u računarske mreže 1-43

43

## Uvod u računarske mreže

### Packet "sniffing":

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



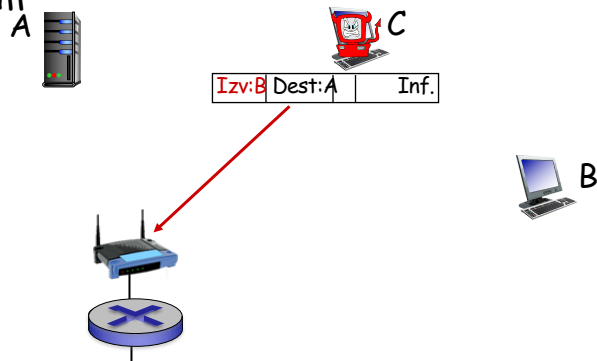
- Wireshark software je primjer bezplatnog *packet sniffer* programa

Uvod u računarske mreže 1-44

44

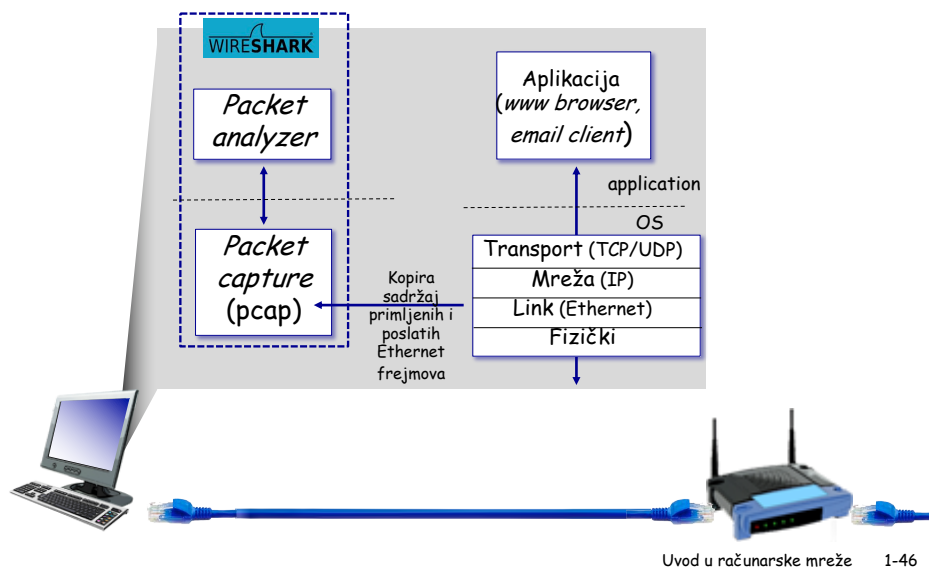
# Uvod u računarske mreže

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



45

# Uvod u računarske mreže



46