

Računarske mreže

(Studijski program: Primijenjeno računarstvo)

Igor Radusinović
Slavica Tomović
ETF, UCG

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ac.me

Doc.dr Slavica Tomović

slavicat@ac.me

O čemu se radi?

Kurs u računarskim mrežama nudi:

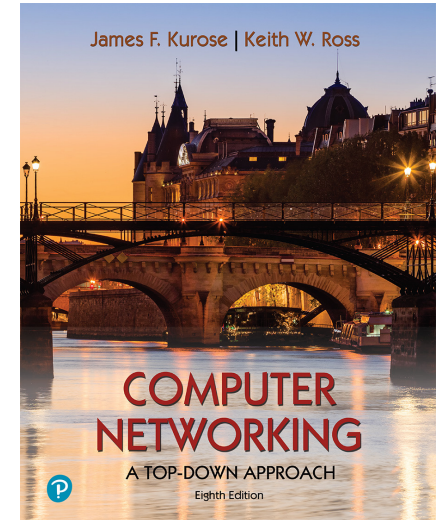
- ❑ Savladavanje **principa** na kojima počivaju računarske mreže
- ❑ Upoznavanje **Internet arhitekture/protokola na osnovnom nivou**
- ❑ Ovladavanje osnovnim analitičkim alatima za opisivanje pojava na Internetu
- ❑ Sticanje osnovnih praktičnih znanja iz ove oblasti

Ciljevi

- ❑ Dostići početno znanje iz računarskih mreža
- ❑ Stvaranje uslova za aktivno učešće polaznika u budućem razvoju Interneta

Informacije o kursu

- ❑ Kome je namijenjen kurs?
 - Studentima osnovnih studija Primijenjenog računarstva
- ❑ Šta je poželjno znati od ranije?
 - Matematičke vještine
- ❑ Fond časova
 - 3P+1V+1L
- ❑ Materijali kursa:
 - Prezentacije urađene od strane autora knjige: *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*, J. Kurose & Keith Ross, Addison Wesley, 8th edition, 2020 (http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/index.php)
 - *Computer Networks: A Systems Approach*, Larry Peterson and Bruce Davie, 2021 (<https://book.systemsapproach.org/index.html>)
 - WWW
 - Zabilježke sa predavanja



Informacije o kursu (više)

Način polaganja:

Rad

Kolokvijum

Završni ispit

broj poena

1 50

1 50

Raspodjela poena

Teorijska pitanja (usmena provjera) 60%

Zadaci (pismena provjera) 20%

Laboratorija 20%

Pregled kursa:

Pripremna nedjelja	Priprema i upis semestra
I nedjelja 25.09.	Uvod u računarske mreže.
II nedjelja 02.10.	Performanse računarskih mreža
III nedjelja 09.10	Principi protokola nivoa aplikacije. HTTP
IV nedjelja 16.10	Principi protokola nivoa transporta.
V nedjelja 23.10.	Nekonektivni transportni servis (UDP). Principi pouzdanog prenosa podataka.
VI nedjelja 30.10.	Konektivni transportni servis (TCP).
VII nedjelja 06.11.	Kolokvijum
VIII nedjelja 13.11.	Nivo mreže. IP protokol.
IX nedjelja 20.11.	IP adresiranje
X nedjelja 27.11.	Rutiranje. Ruter
XI nedjelja 04.12.	Principi nivoa linka. Kontrola greške
XII nedjelja 11.12.	Kontrola višestrukog pristupa medijumu
XIII nedjelja 18.12.	Adresiranje nivoa linka. Ethernet. Switch
XIV nedjelja 25.12.	WiFi. 4G/5G. Osnove zaštite računarskih mreža
XVI nedjelja	Završni ispit
Završna nedjelja	Ovjera semestra i upis ocjena.
XVIII-XXI nedjelja	Dopunska nastava i popravni ispitni rok.

Pregled kursa:

Laboratorija

- ❑ Održavaće se svake druge nedjelje u računarskim salama
- ❑ Cisco Packet Tracer
 - <https://www.netacad.com/courses/packet-tracer>
- ❑ Šest laboratorijskih vježbi
 - Lab 1: Osnovna konfiguracija rutera
 - Lab 2: Osnovna konfiguracija VLAN mreža
 - Lab 3: Osnovna VTP konfiguracija
 - Lab 4: Konfigurisanje IPv4 statičkih i *default* ruta
 - Lab 5: Osnovna OSPF konfiguracija
 - Lab 6: Konfiguracija WLAN pristupa

Pregled kursa:

Glava 1: Uvod

- ❑ Šta je Internet? Šta su protokoli?
- ❑ Ivice mreže, mrežno jezgro, mrežni pristup
- ❑ Performanse računarskih mreža
- ❑ Internet okosnica
- ❑ Internet struktura
- ❑ Sigurnost računarskih mreža

Pregled kursa:

Gava 2: Nivo aplikacije

- Principi protokola nivoa aplikacije
- Web i HTTP

Igor Radusinović
Slavica Tomović
ETF, UCG

Pregled kursa :

Glava 3: Nivo transporta

- Principi protokola nivoa transporta
- Nekonektivni transportni servis: UDP
- Principi pouzdanog prenosa podataka
- Konektivni transportni servis: TCP

Pregled kursa :

Glava 4: Mrežni nivo

- ❑ Principi nivoa mreže
- ❑ IPv4 (Internet Protocol).
- ❑ DHCP. NAT.
- ❑ IPv6
- ❑ Rutiranje na Internet-u
- ❑ Protokoli rutiranja

Tijor Radusinović
Slavica Tomović
ETF, UCG

Pregled kursa :

Glava 5: Nivo linka, LAN-ovi

- ❑ Principi nivoa linka
- ❑ MAC. ARP. Ethernet. VLAN
- ❑ WLAN
- ❑ 4G/5G
- ❑ Mobilnost u računarskim mrežama

Igor Radusinović
Slavica Tomović
ETF, UCG

Pregled kursa :

Glava 6: Zaštita računarskih mreža

- ❑ Principi zaštite računarskih mreža
- ❑ Zaštita e-maila
- ❑ Zaštita TCP konekcije
- ❑ Zaštita nivoa mreže
- ❑ Zaštita u bežičnim računarskim mrežama
- ❑ Firewall i IDS

Igor Radusinović
Jelavica Tomović
ETF, UCG

Uvod u računarske mreže

Šta je Internet?

- ▣ Milijarde povezanih računara:

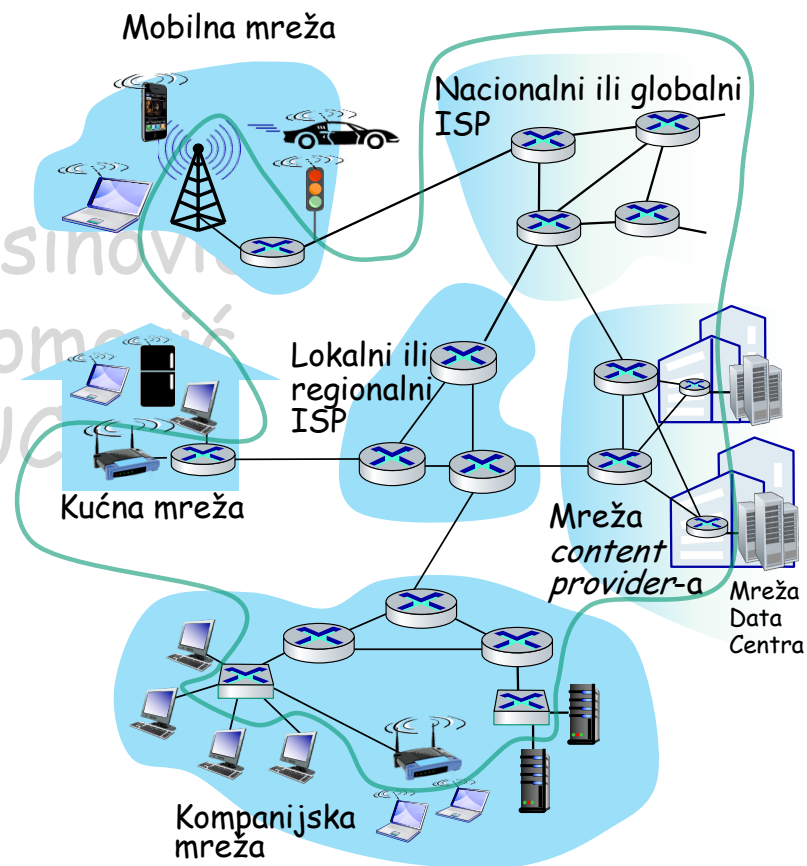
- *Host = krajnji sistem*
- Izvršava *mrežne aplikacije*

- ▣ *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

Iz čega se sastoji Internet u logičkom smislu?

- **Protokoli** kontrolišu slanje i prijem poruka

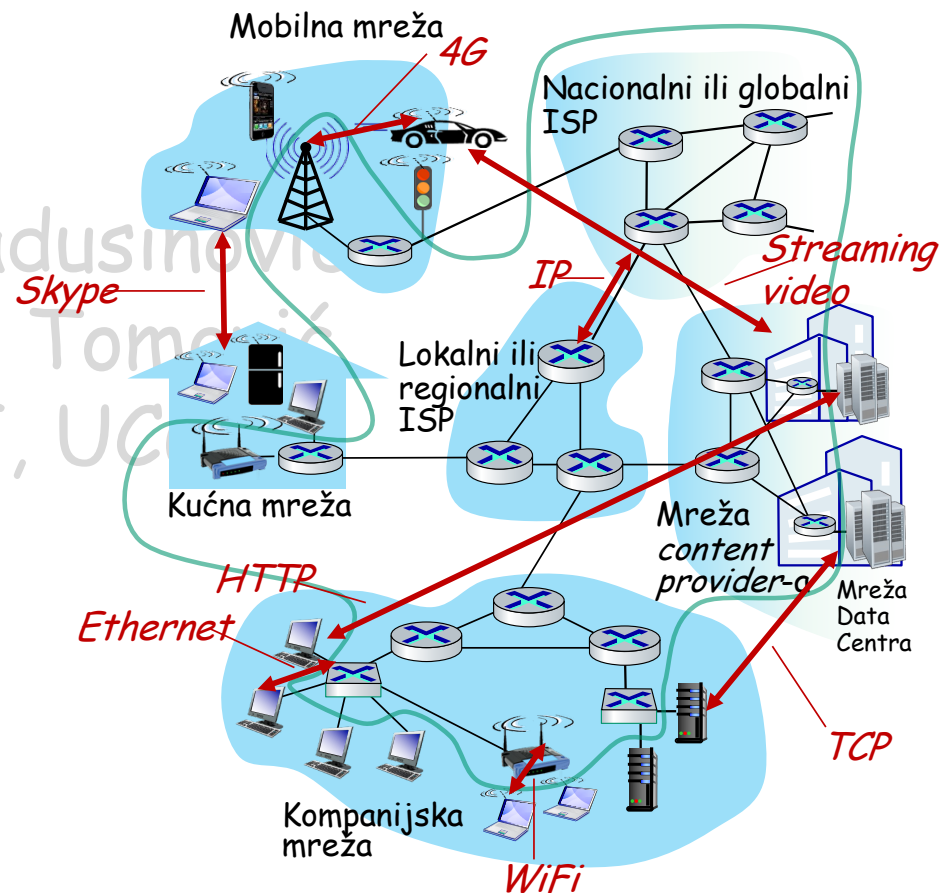
- npr, TCP, IP, HTTP, Ethernet, WiFi, 4G, Skype, streaming video

- **Internet: “mreža svih mreža”**

- Labava hijerarhija
 - javni Internet
 - privatni intranet

- **Internet standardi**

- RFC: *Request for comments*
- IETF: *Internet Engineering Task Force*

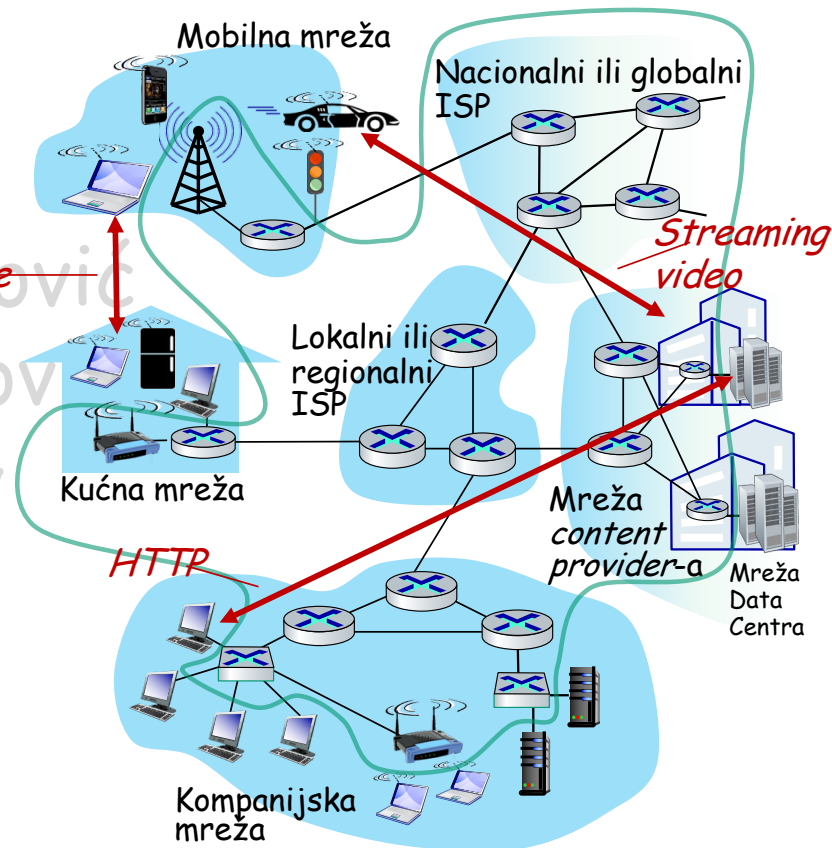


Uvod u računarske mreže

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)
- **programabilni interfejs** do aplikacija
 - Aplikacije 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 10?”
- ❑ Ima li skaliranja?
- ❑ Upoznavanje

... šalju se posebne poruke
... izvršavaju se različite
akcije kada poruka stigne

Mrežni protokoli:

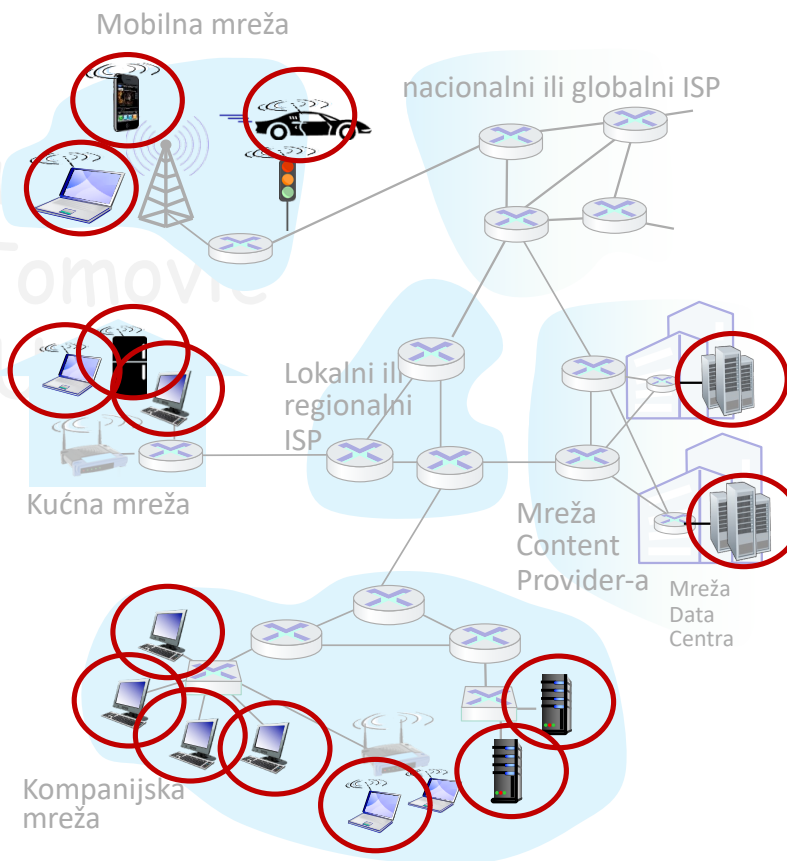
- ❑ Precizno regulišu komunikaciju između mašina putem razmjene poruka
- ❑ Sve komunikacione aktivnosti na Internetu definišu mrežni protokoli

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
 - hostovi (klijenti i serveri)
 - KS, P2P, hibridni model
- **Mrežna okosnica:**
 - međupovezani ruteri
 - mreža međupovezanih mreža
- **Pristupna mreža, fizički medijum:**
 - Žični linkovi
 - Bežični linkovi



Uvod u računarske mreže

Pristupne mreže i fizički medijum

Vrste pristupnih mreža

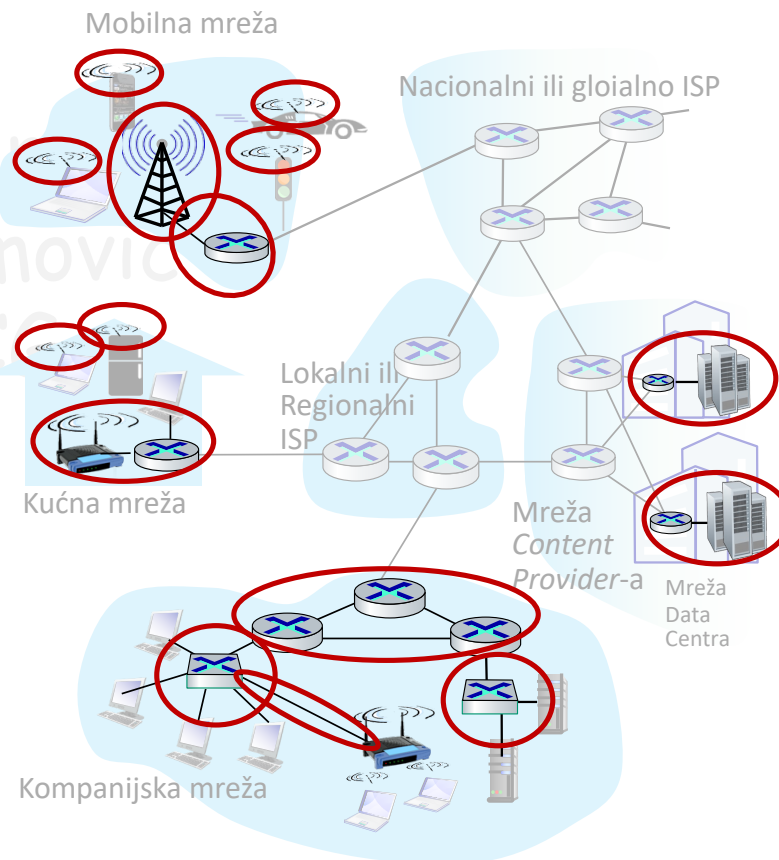
- ❑ Rezidencijalne pristupne mreže
- ❑ Institucionalne pristupne mreže (ustanove, kompanije)
- ❑ Mobilne pristupne mreže

Važno je obratiti pažnju na

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

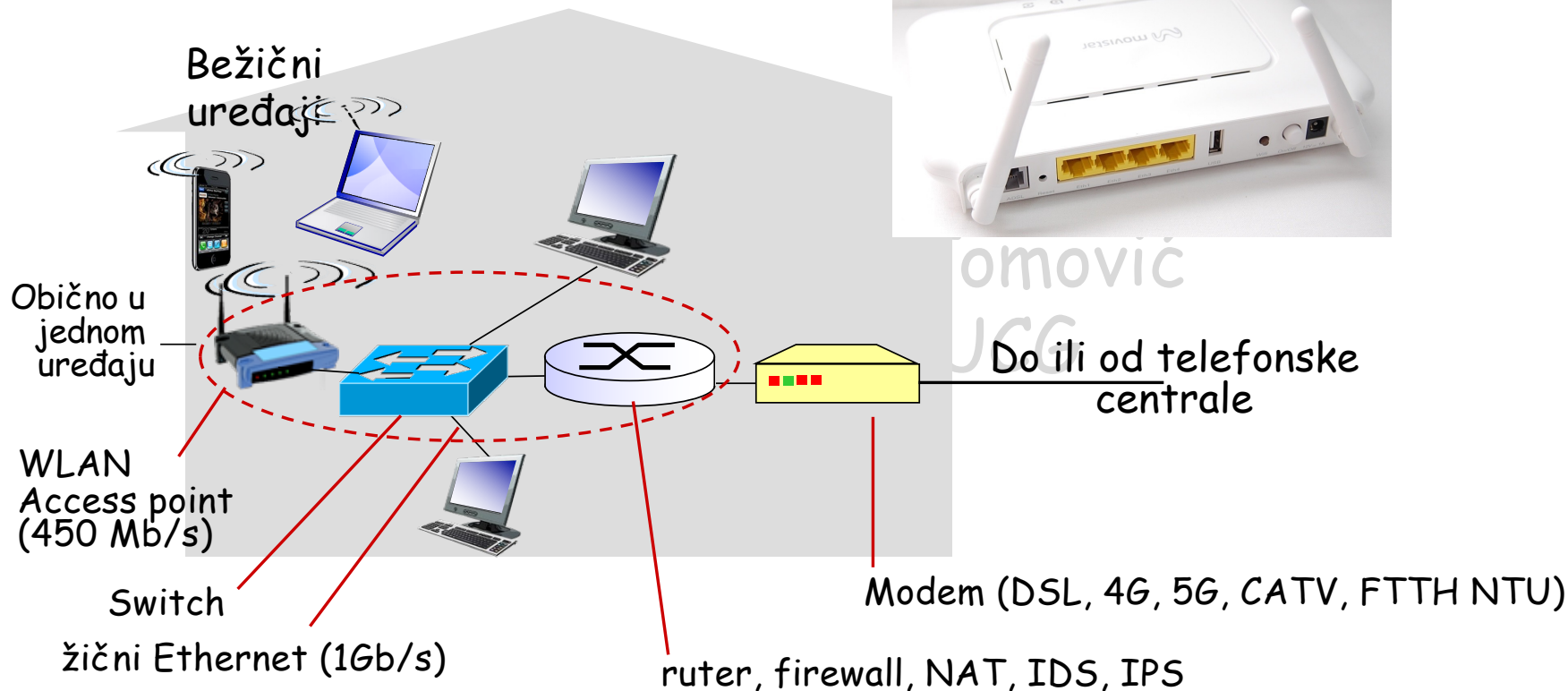
Popularni pristupi

- ❑ DSL
- ❑ Kablovska
- ❑ Optičko vlakno
- ❑ Bežični pristup (WiFi, 4G, 5G...)



Uvod u računarske mreže

Pristupna mreža: Kućna mreža



Uvod u računarske mreže

Bežične pristupne mreže

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

Wireless LAN:

- Adhoc ili pristup preko *access point-a*
- Unutar objekata (30m) ili na otvorenom prostoru (100m)
- WiFi: IEEE 802.11 b/g (11/54 Mb/s)
- WiFi4: IEEE 802.11n (600Mb/s)
- WiFi5: IEEE 802.11ac (433Mb/s - 6,77Gb/s)
- WiFi6: IEEE 802.11ax (11Gb/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

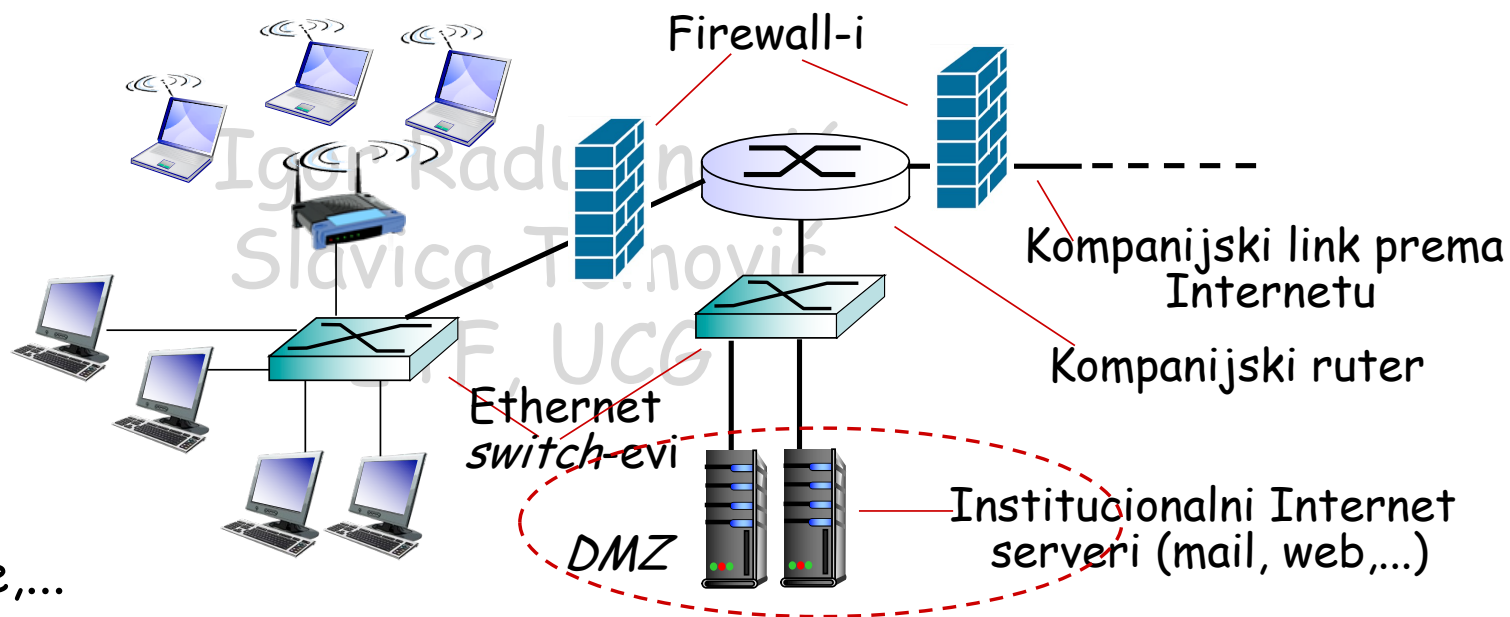
- Pristup preko bazne stanice
- Celularni pristup koji nudi operator
- Pokrivanje bazne stanice može biti od jedne prostorijske do nekoliko kilometara
- 3.9G: LTE (DL-100Mb/s, UL-50Mb/s, 5ms)
- 4G: LTE-A (DL-1Gb/s za stacionarne korisnike)
- 5G: (DL - 5Gb/s u milimetarskom opsegu)



Prema Internetu

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

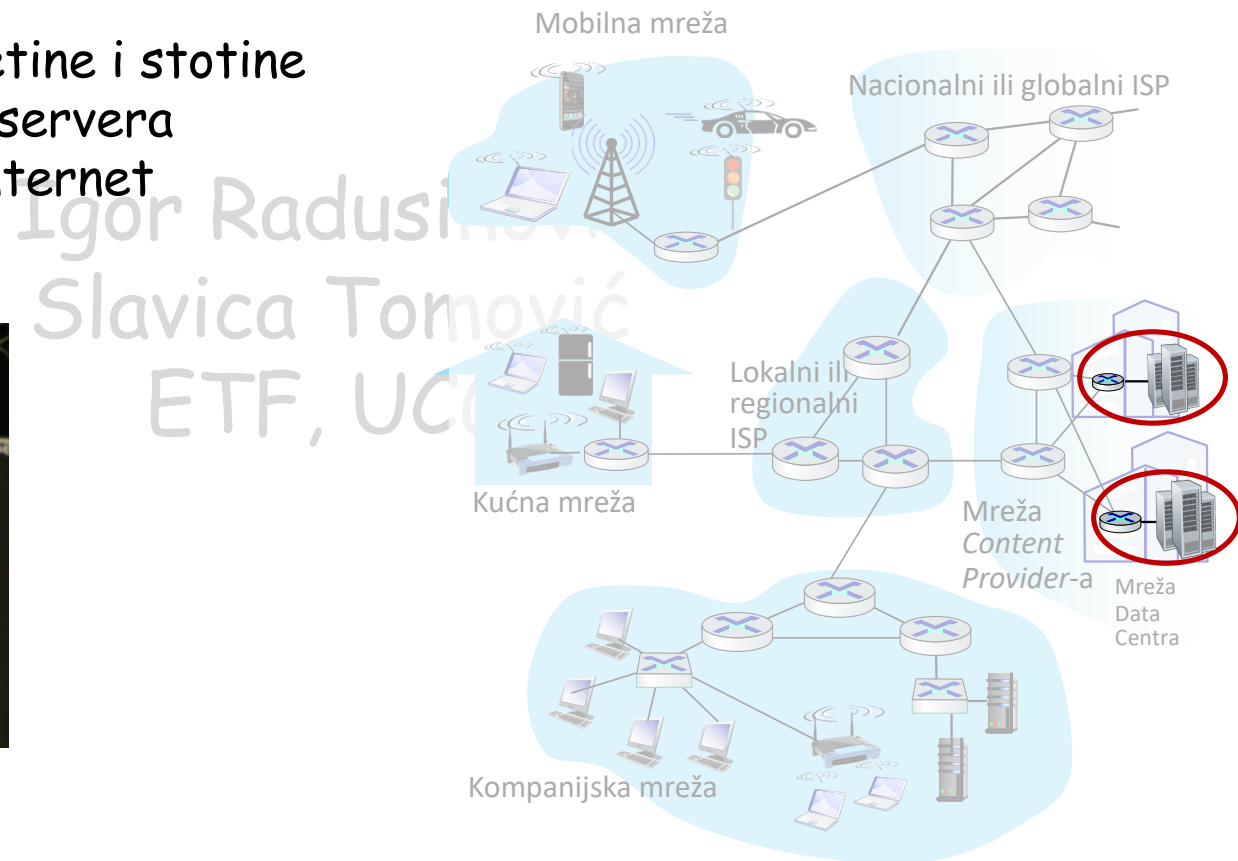
Uvod u računarske mreže

Mreža Data Centra

- Velike brzine prenosa (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

Fizički medijum

- Fizički link: prenos signala između predajnika i prijemnika
- Žičani (vođeni) medijum:
 - Signali se prenose preko čvrstog medijuma: bakarna upredena parica, optičko vlakno, koaksijalni kabal
- Bežični (ne vođeni) medijum:
 - Signali se prostiru u slobodnom prostoru između antena: radio kanal

Upredena bakarna 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

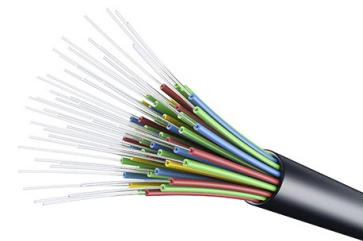
Koaksijalni kabal:

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



Kabal sa optičkim vlaknima:

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



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 bežičnih linkova

□ Podvodni akustični kanal

□ 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

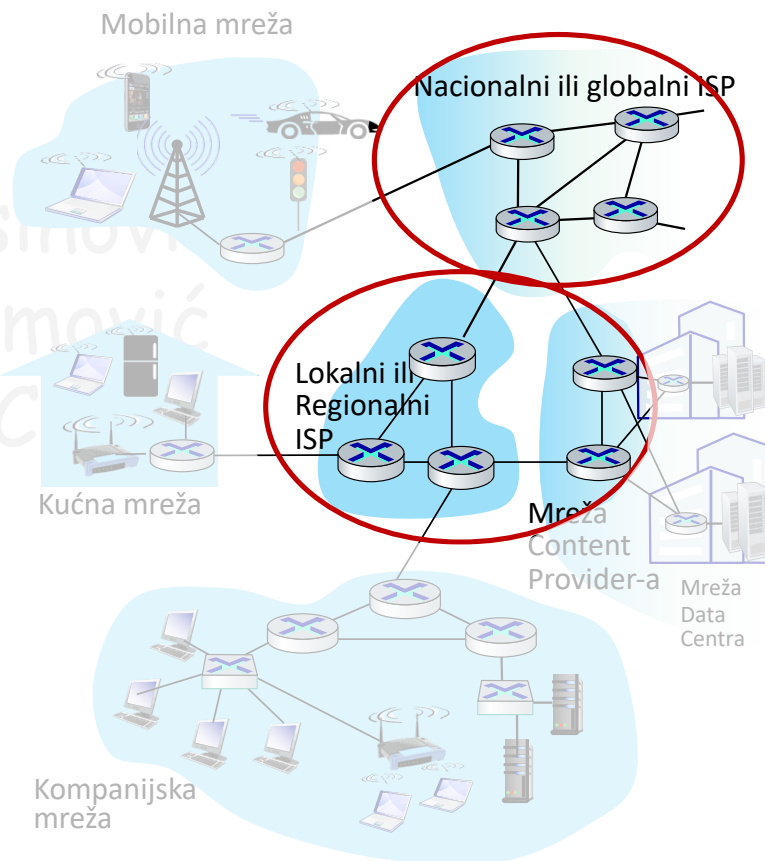
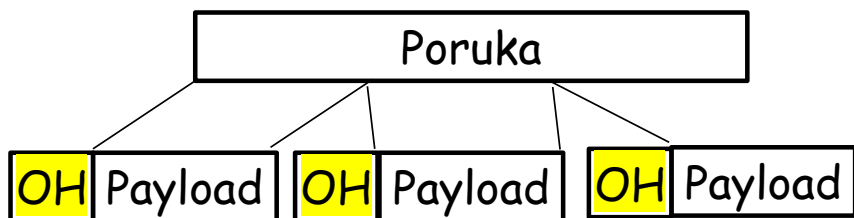
- Od nekoliko Mb/s do nekoliko Gb/s
- Desetine ili stotine ms kašnjenje od kraja do kraja
- Geostacionarni (GEO) vs. niskoorbitni (LEO)?
- <https://www.starlink.com/> (100Mb/s)
- <https://oneweb.world/>

Uvod u računarske mreže

Uvod u računarske mreže

Okosnica mreže

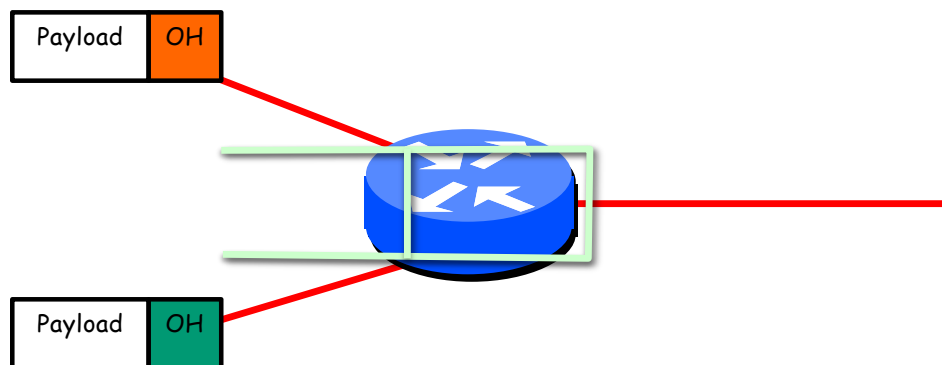
- ❑ Skup međupovezanih rutera
- ❑ Komutacija paketa (*packet switching*):
 - Poruke se šalju preko mreže u djelovima (paketima) iz kojih se na destinaciji rekonstruiše poruka
 - Paket se sastoji od
 - Zaglavlja (*OverHead*) koje sadrže informacije koje su potrebne mreži da prenese paket od izvora do 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

Komutator paketa

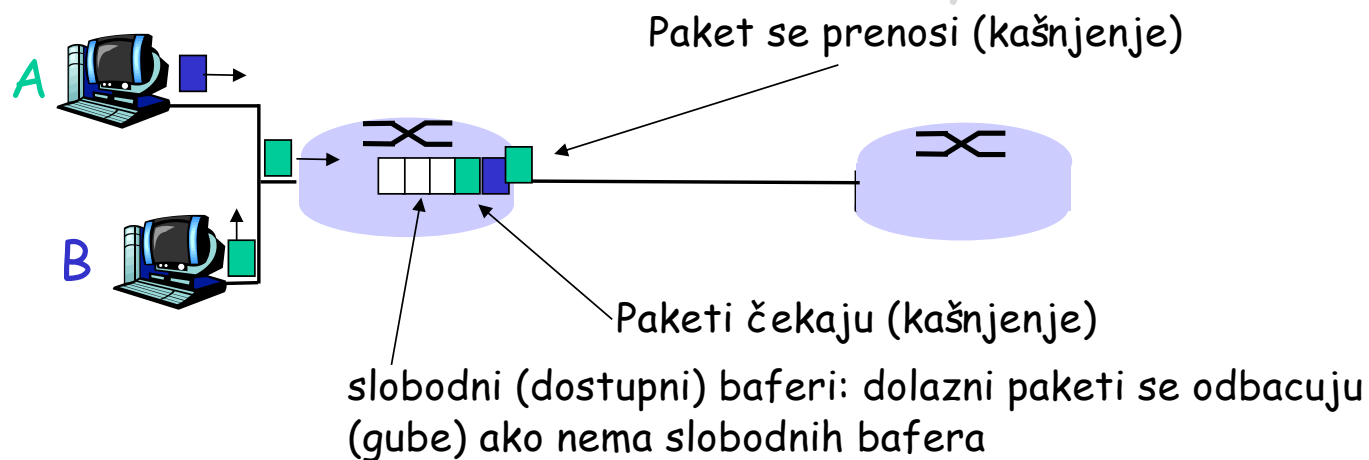
- ❑ Prima pakete i odlučuje na koji će link da ih pošalje
- ❑ Prosleđuju pakete tehnikom uskladišti i proslijedi (*store and forward*)
 - što znači da kompletan paket mora doći do komutatora paketa prije nego što se proslijedi dalje na naredni link
- ❑ Ukoliko link nije slobodan paket se smješta u bafer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



Uvod u računarske mreže

Paketi se smještaju u bafere rutera i formiraju redove čekanja (*queue*)

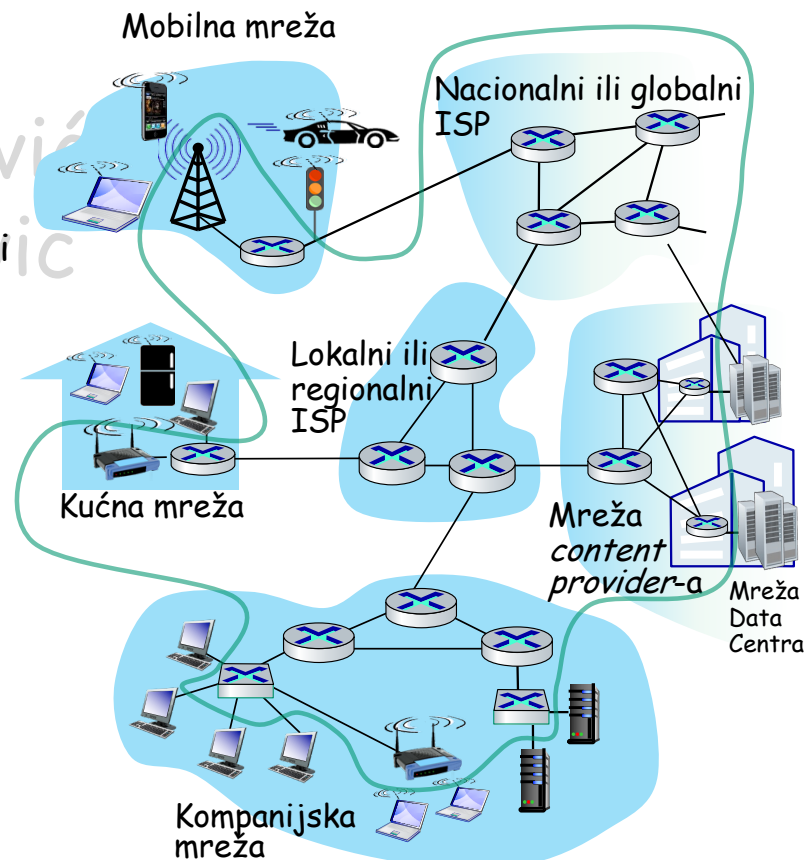
- ❑ Paket se smješta u bafer ako odlazni link nije slobodan
- ❑ Ako je dolazna brzina paketa približna ili prevazilazi brzinu prenosa odlaznog linka bafer počinje da se puni
- ❑ Ako paket koji dolazi zatiče pun bafer onda on, po pravilu, biva odbačen
- ❑ Paket se može izgubiti i na linku.



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

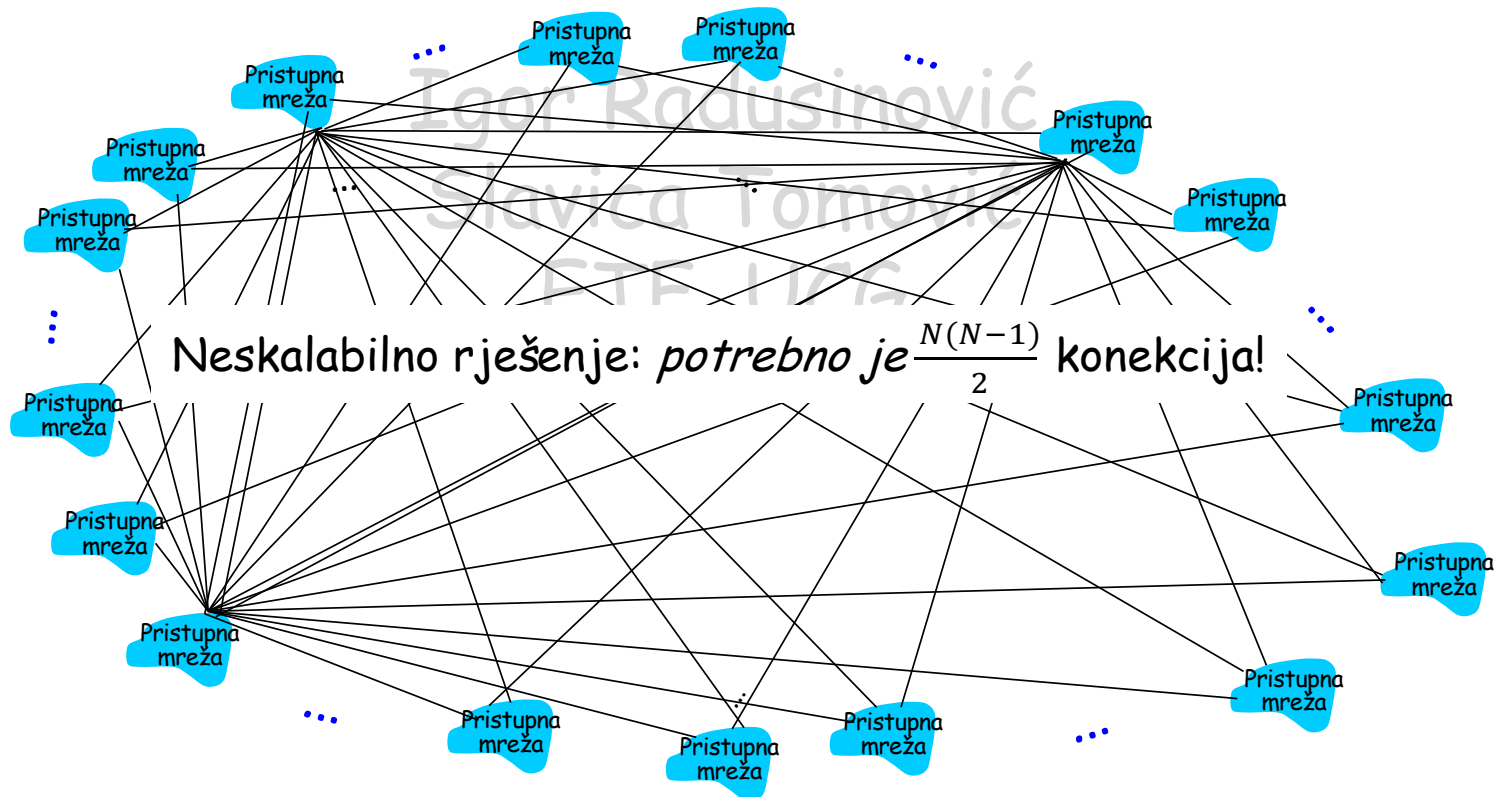
Internet struktura: "Mreža svih mreža"
Kako povezati N pristupnih mreža?



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: „Mreža svih mreža“

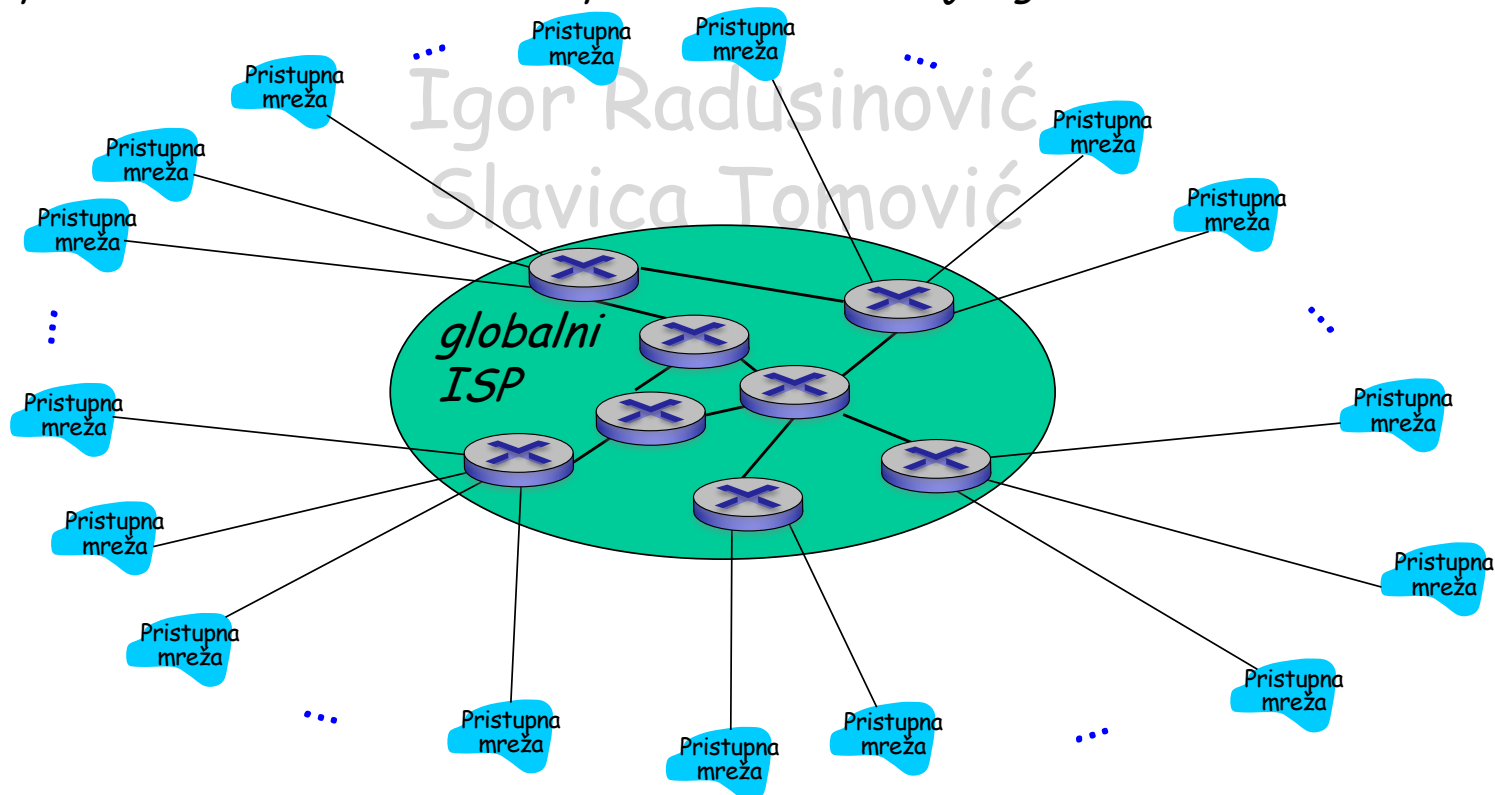
Opcija 1: Povezati svaku sa svakom?



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

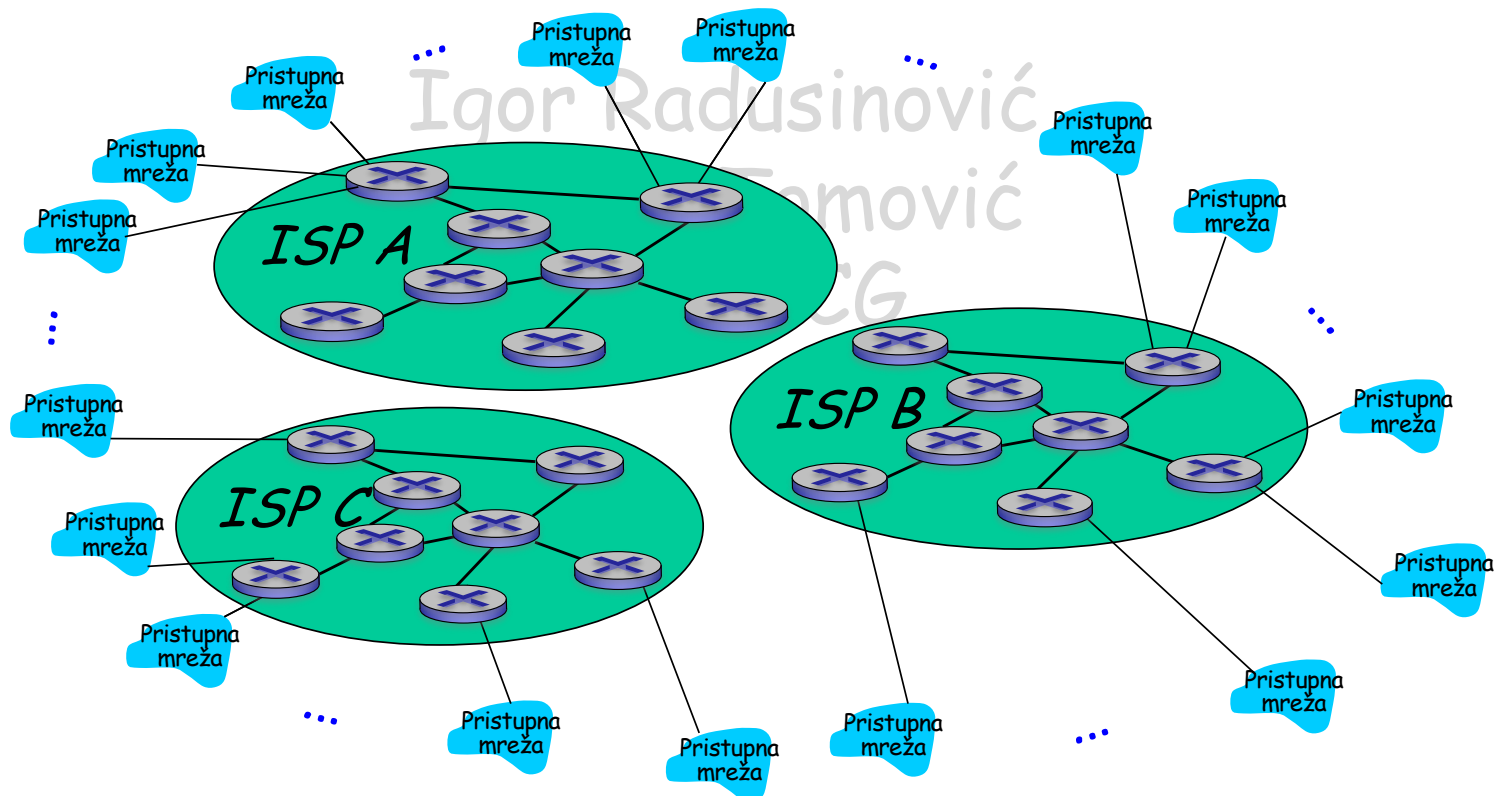
Opcija 2: Povezati sve pristupne korisničke ISP na globalni tranzitni operatorski ISP? Korisnički i operatorski ISP imaju ugovoreni odnos.



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

ISP je primamljiv biznis koji privlači konkurenciju...

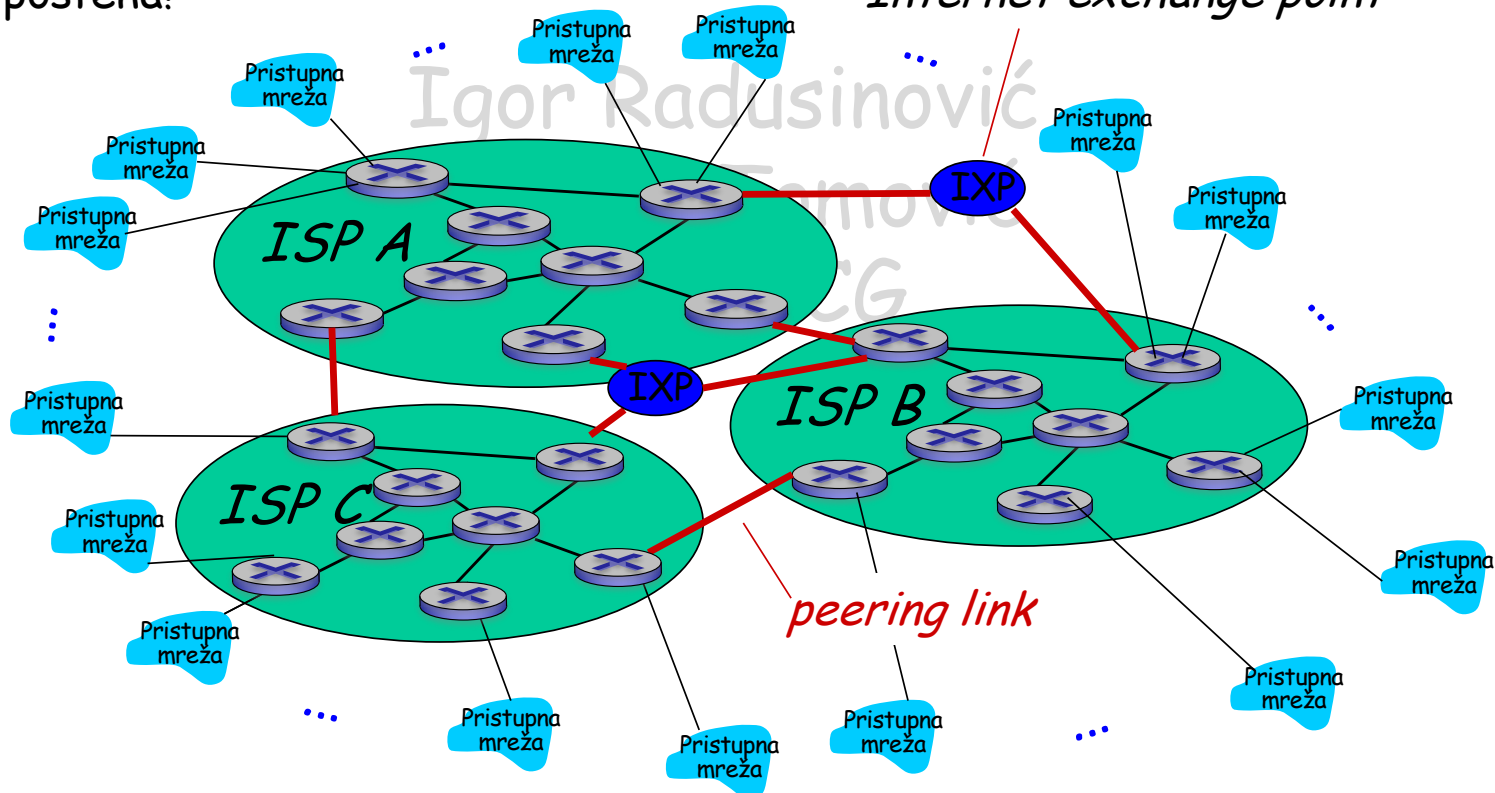


Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

Konkurenti moraju biti povezani kako bi tržišna utakmica bila poštena!

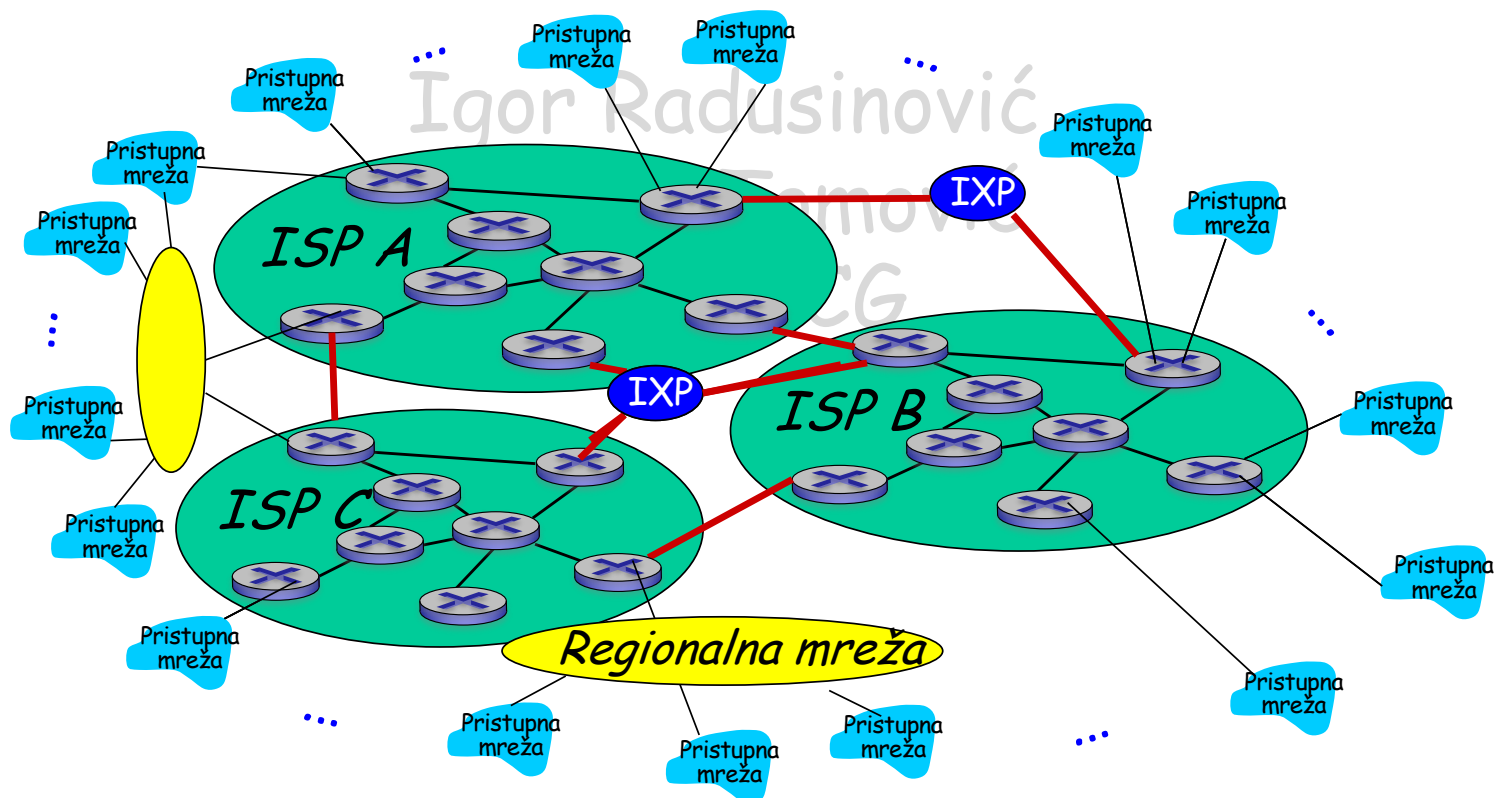
Internet exchange point



Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

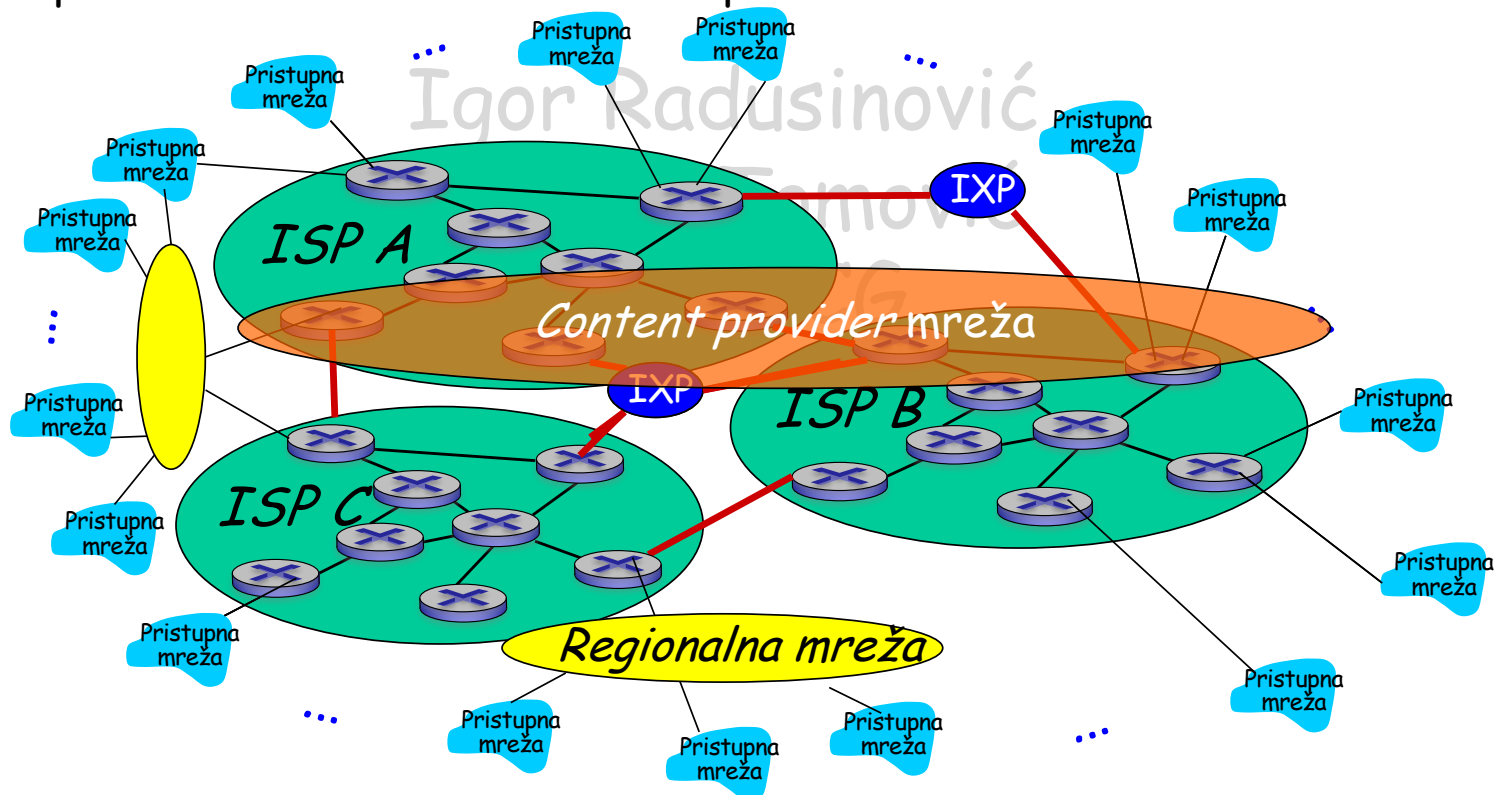
... pojavljuju se i regionalni ISP-ovi



Uvod u računarske mreže

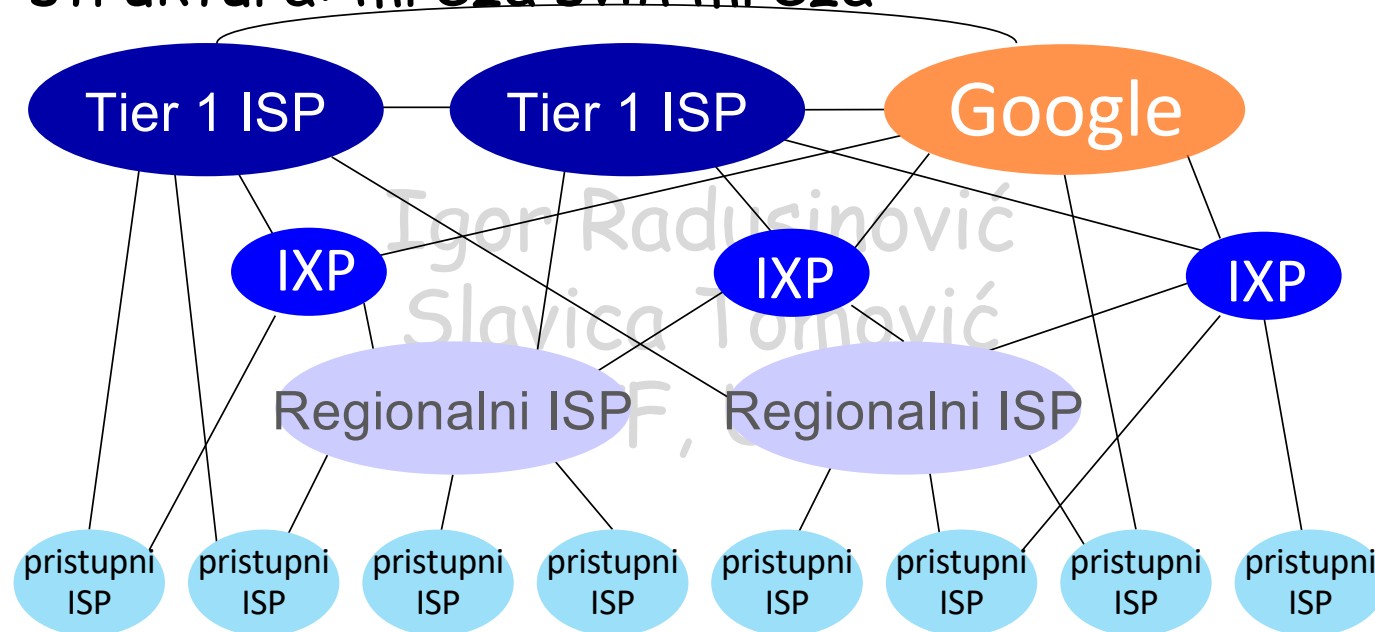
Internet struktura: mreža svih mreža

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



Uvod u računarske mreže

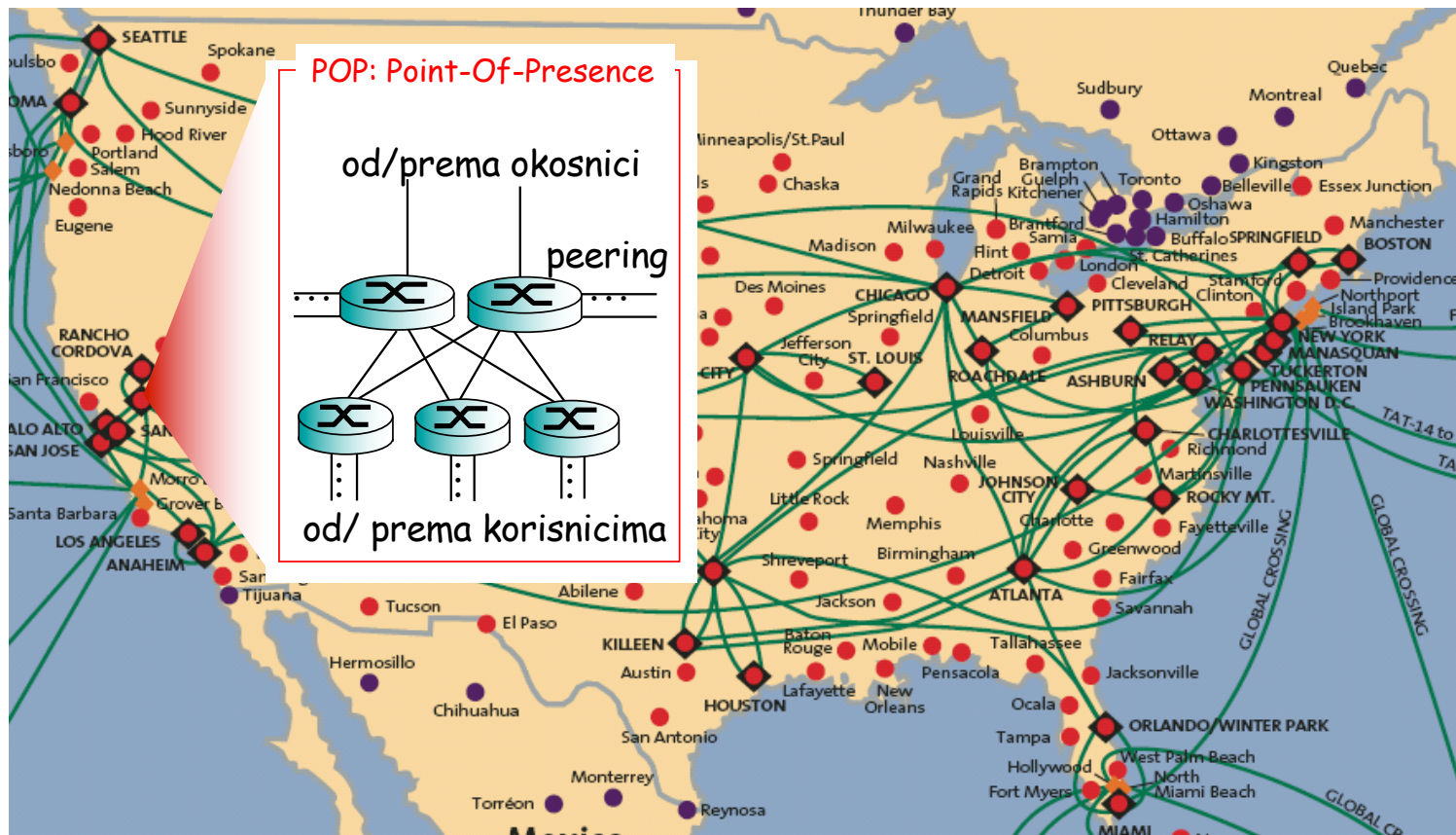
Internet struktura: mreža svih mreža



- U centru: mali broj veoma dobro povezanih velikih mreža
 - “tier-1” komercijalni ISP-ovi (npr. Level 3, Sprint, AT&T, NTT, 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

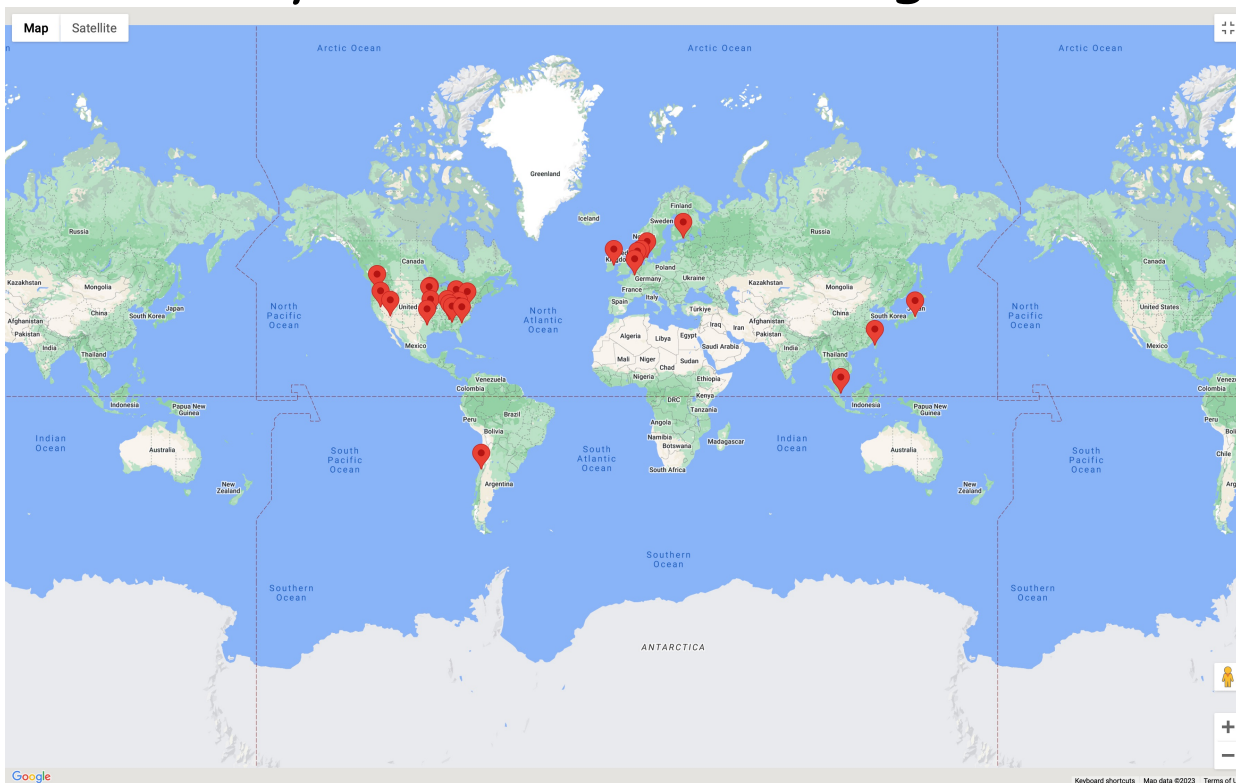
Uvod u računarske mreže

Tier-1 ISP: npr. Sprint



Uvod u računarske mreže

Content provider mreža: Google



<https://www.google.com/about/datacenters/locations/>

North America

Berkeley County, South Carolina

Council Bluffs, Iowa

The Dalles, Oregon

Douglas County, Georgia

Henderson, Nevada

Jackson County, Alabama

Lenoir, North Carolina

Loudoun County, Virginia

Mayes County, Oklahoma

Midlothian, Texas

Montgomery County, Tennessee

New Albany, Ohio

Papillion, Nebraska

Storey County, Nevada

South America

Quilicura, Chile

Europe

Dublin, Ireland

Eemshaven, Netherlands

Fredericia, Denmark

Hamina, Finland

Middenmeer, Netherlands

St. Ghislain, Belgium

Asia

Changhua County, Taiwan

Inzai, Japan

Singapore

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



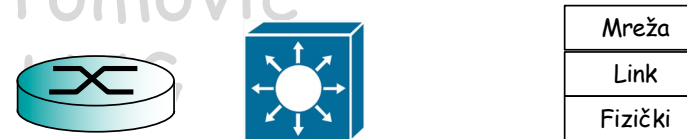
Uvod u računarske mreže

Internet arhitektura

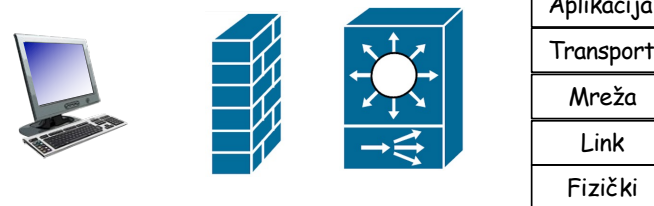
- U *switch*-evima, *access point*-ima i baznim stanicama su implementirani fizički nivo i nivo linka

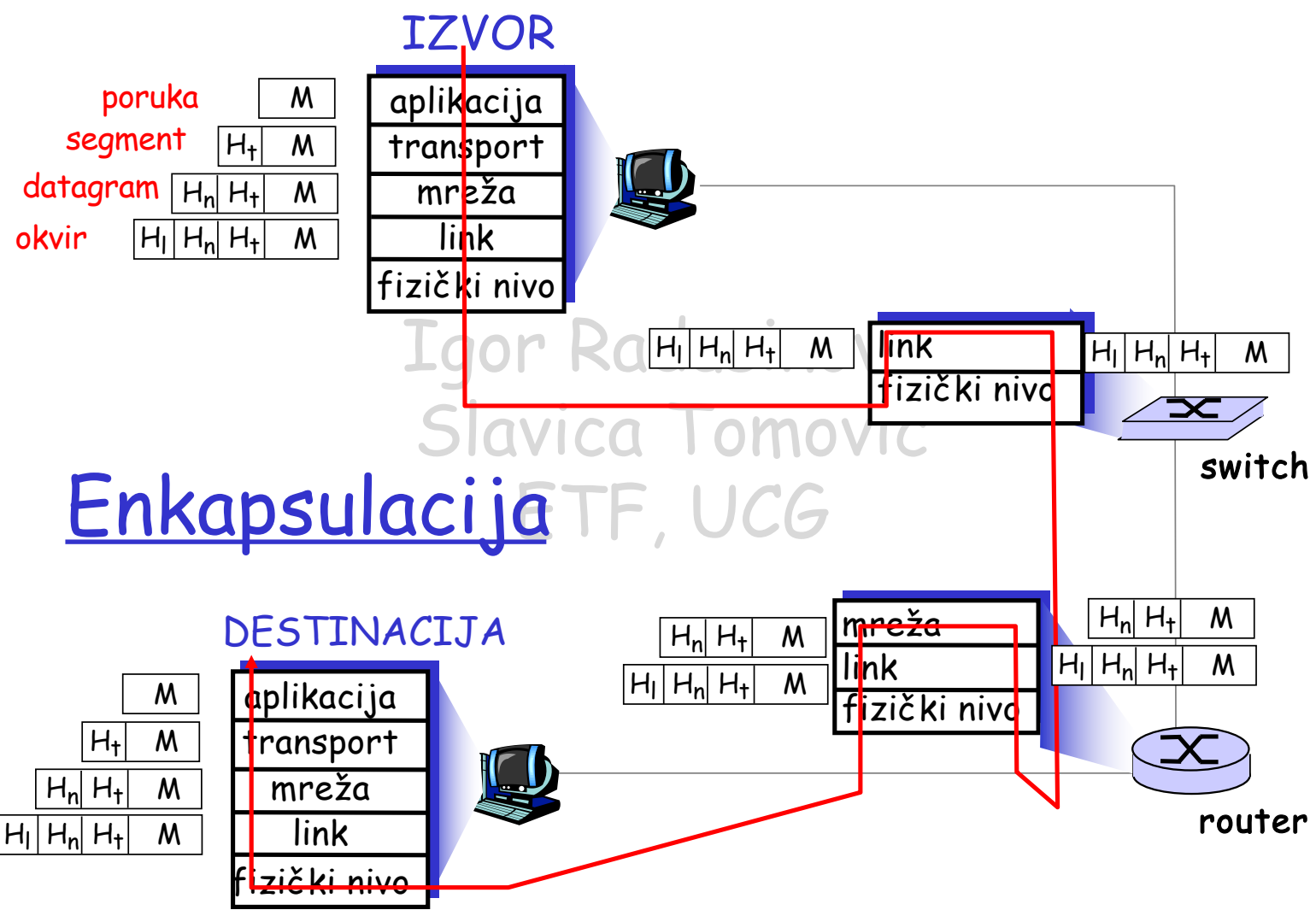


- U ruterima i *L3 switch*-evima su implementirani fizički nivo, nivo linka i nivo mreže



- U hostovima, *firewall*-ima i *content layer switch*-evima su implementirani svi nivoi





Enkapsulacija

Igor Radović
 Slavica Tomović
 ETF, UCG

Wireshark

Igor Radusinović
Sla



Uvod u računarske mreže

Internet danas

2005-danas

- ❑ ~ desetak milijardi povezanih hostova
 - Pametni telefoni i tableti
- ❑ Agresivna implementacija širokopojasnog pristupa
- ❑ Povećanje sveprisutnosti veoma brzog bežičnog pristupa
- ❑ Ekspanzija društvenih mreža:
 - Facebook, Instagram, Tic Toc,...
 - Provajderi servisa (Google, Microsoft,...) kreiraju sopstvene mreže zaobilazeći Internet, obezbjeđuju “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 zamac u razvoju Interneta
- ❑ 15 milijardi uređaja povezanih na Internet (2023, statista.com)

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

Malware

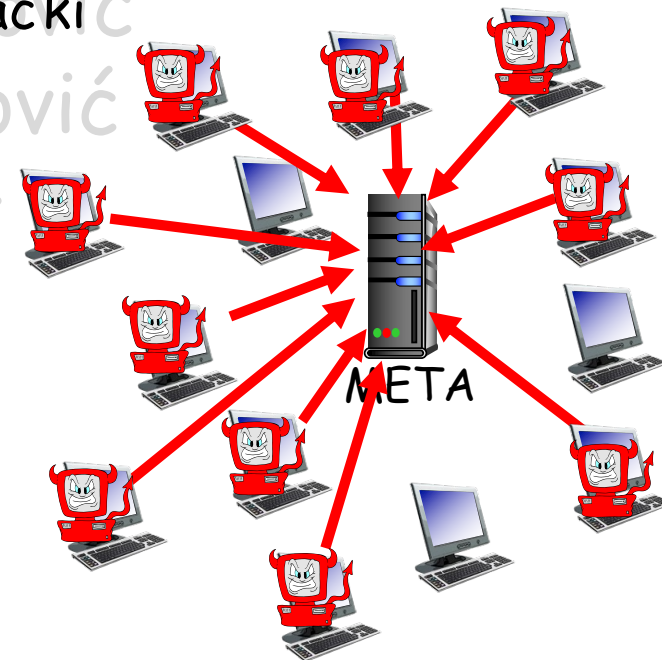
- ❑ Može sa Interneta dospjeti u host pomoću:
 - *virusa*: samo-replicirajuća "zaraza" prijemom/izvršavanjem programa (npr. *e-mail attachment*)
 - *worm*: samo-replicirajuća "zaraza" pasivnim prijemom objekta koji se samoizvršava
- ❑ *Spyware malware* može
 - evidentirati unos sa tastature,
 - evidentirati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

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

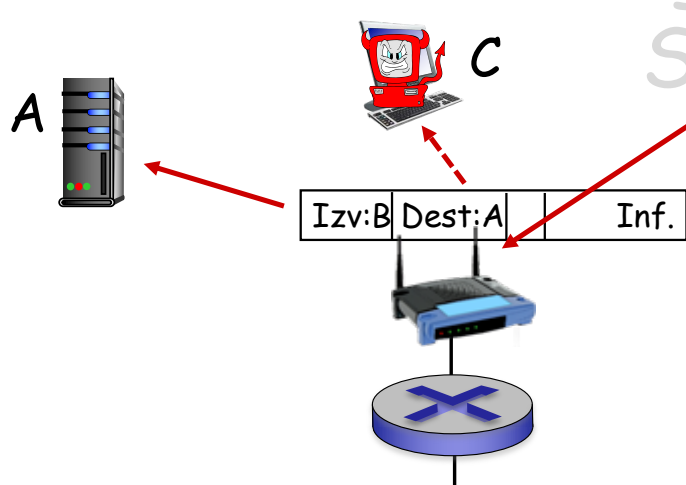
1. Izbor mete
2. Upad u hostove oko mete (botnet)
3. Slanje velikog broja paketa meti od strane kompromitovanih hostova



Uvod u računarske mreže

Packet “sniffing”:

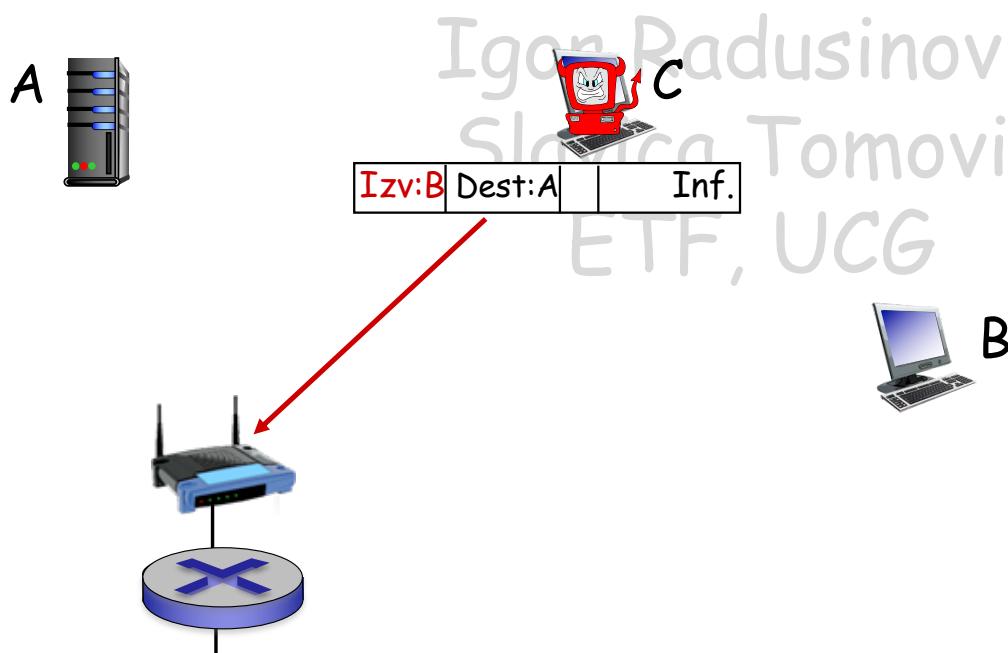
- Zajednički medijum za prenos (dijeljeni Ethernet, WiFi)
- Promiskuitetni mrežni interfejs analizira sve pakete koji se prenose



- Wireshark software je primjer bezplatnog *packet sniffer* programa

Uvod u računarske mreže

IP spoofing: slanje paketa sa netačnom izvorišnom adresom



Linije odbrane:

- ❑ **autentikacija:** dokazivanje identiteta
- ❑ **povjerljivost:** enkripcija
- ❑ **provjera integriteta:** digitalni potpis/detekcija mijenjanja podataka
- ❑ **restrikcije pristupa:** passwordom zaštićeni VPN
- ❑ **firewall:** specializovani hardver koji filtrira dolazne pakete uvodeći ograničenje pošiljaocu, prijemnoj strani i aplikacijama

Uvod u računarske mreže

Ispitna pitanja

1. Šta je Internet?
2. Šta je mrežni protokol?
3. Objasniti šta čini mrežnu strukturu i grafički je ilustrovati.
4. Nacrtati kućnu računarsku mrežu i objasniti funkcije njenih uređaja.
5. Nacrtati kompanijsku računarsku mrežu i objasniti funkcije njenih uređaja.
6. Nacrtati bežične računarske mreže i navesti funkcije njihovih uređaja.
7. Navesti karakteristike vođenih medijuma koji se koriste u računarskim mrežama.
8. Objasniti šta je komutacija paketa i kako ona utiče na performanse računarske mreže.
9. Nacrtati strukturu Interneta i objasniti uloge različitih vrsta ISP.
10. Nacrtati arhitekturu Interneta i navesti ključne funkcije njenih nivoa.
11. Navesti i objasniti ključne bezbjedonosne prijetnje na Internetu.