

Računarske mreže

Studije primijenjenog računarstva

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

1

O čemu se radi?

Kurs Računarske mreže nudi:

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

Ciljevi

- ❑ Steći osnovna znanja iz računarskih mreža
- ❑ Stvoriti uslove za aktivno učešće u budućem razvoju Interneta

2

Informacije o kursu

- **Kome je namijenjen kurs?**
 - Studentima druge godine osnovnih studija na SPR
- **Šta je poželjno znati od ranije?**
 - Matematika
- **Fond časova**
 - 3P+1V+1L
- **Materijali kursa:**
 - Presentacije su napravljene prilagođavnjem prezentacija autora knjige: *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*, J. Kurose & Keith Ross, Addison Wesley, 7th edition, 2017.
 - *Communication Networks: A Concise Introduction*, Jean Walrand and Shyam Parekh, Morgan & Claypool, 2nd edition, 2018
 - *Computer Networking Problems and Solutions: An innovative approach to building resilient, modern networks*, Russ White, Ethan Banks, Addison-Wesley Professional, 2018
 - Zabilježke sa predavanja
 - WWW

3

Informacije o kursu (više)

Način polaganja:

<u>Rad</u>	<u>broj</u>	<u>poena</u>
Kolokvijum	1	50
Završni ispit	1	50

Raspodjela poena

Teorijska pitanja (usmena provjera)	60%
Zadaci (pismena provjera)	20%
Laboratorija	20%

4

Pregled kursa:

Pripremna nedjelja	Priprema i upis semestra
I nedjelja 28.09.	Uvod u računarske mreže.
II nedjelja 05.10.	Performanse računarskih mreža
III nedjelja 12.10.	Principi protokola nivoa aplikacije. HTTP
IV nedjelja 19.10.	Principi protokola nivoa transporta.
V nedjelja 26.10.	Nekonektivni transportni servis (UDP). Konektivni transportni servis (TCP).
VI nedjelja 02.11.	Nivo mreže. IP protokol. IP adresiranje
VII nedjelja 09.11.	Kolokvijum
VIII nedjelja 16.11.	Rutiranje. Ruter
IX nedjelja 23.11.	Principi nivoa linka. Kontrola greške
X nedjelja 30.11.	Višestruki pristup
XI nedjelja 07.12.	Adresiranje nivoa linka. Ethernet. WiFi
XII nedjelja 14.12.	Switch
XIII nedjelja 21.12.	Principi implementacije multimedijalnih računarskih mreža
XIV nedjelja 28.12.	Osnove zaštite računarskih mreža
XV nedjelja 04.01.	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

Pregled kursa:

Laboratorija

- ❑ Održavaće se svake druge nedjelje
- ❑ 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
- ❑ Polaže se u računarskim salama

6

Uvod u računarske mreže

Zadatak:

- ❑ Shvatiti kontekst, pregled, "osjetiti" računarsku mrežu
- ❑ Dublje, detaljnije kasnije
- ❑ Pristup:
 - opisi
 - korišćenje Interneta kao primjera

Pregled:

- ❑ Šta je Internet?
- ❑ Šta je mrežni protokol?
- ❑ Ivice mreže (*network edge*)
- ❑ Pristupna mreža (*access network*)
- ❑ Okosnica mreže (*network core*)
- ❑ Višenivovska arhitektura, mrežni protokoli, modeli servisa
- ❑ Zaštita računarskih mreža

Uvod u računarske mreže 1-7

7

Uvod u računarske mreže

Šta je Internet u fizičkom smislu?

- ❑ Milioni povezanih računara:

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

- ❑ **Komunikacioni linkovi**

- Optičko vlakno, upredena bakarna parica, koaksijalni kabal i radio kanal
- Brzina prenosa (*bandwidth*)

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

- Ruter (*router*)
- Komutator (*switch*)



<https://www.cisco.com/c/en/us/products/index.html#~products-by-technology>

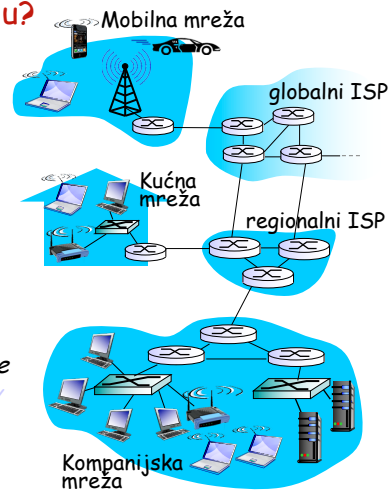
Uvod u računarske mreže 1-8

8

Uvod u računarske mreže

Šta je Internet u logičkom smislu?

- **Mrežni protokoli** su pravila koja kontrolišu slanje i prijem poruka
 - TCP, UDP, IP, HTTP, DNS,...
- **Internet: "mreža svih mreža"**
 - Labava hijerarhija
 - javni Internet
 - privatni intranet
- **Internet "standardi"**
 - RFC: *Request for comments*
 - IETF: *Internet Engineering Task Force*
 - <https://www.ietf.org/standards/rfcs/>



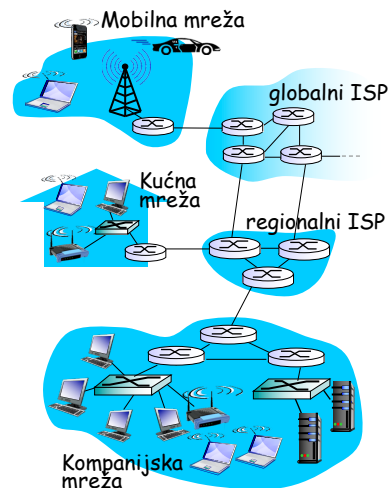
Uvod u računarske mreže 1-9

9

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**
 - Internet omogućava aplikacijama da šalju i primaju podatke
 - Omogućava servis sličan poštanskom



Uvod u računarske mreže 1-10

10

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!

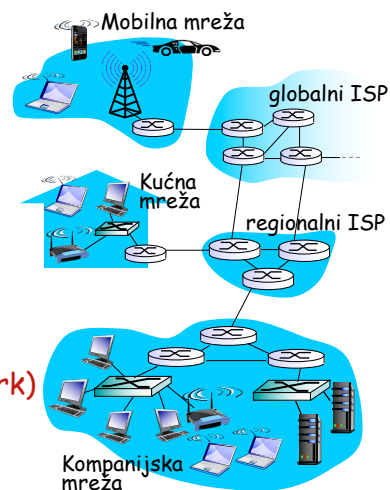
Uvod u računarske mreže 1-11

11

Uvod u računarske mreže

Detaljniji pogled na mrežnu strukturu

- **Mrežna ivica (Network Edge)**
 - Aplikacije
 - Hostovi
- **Pristupna mreža (Access Network)**
 - Žični komunikacioni linkovi
 - Bežični komunikacioni linkovi
 - Switch-evi
 - Access point-i
 - Bazne stanice
- **Mrežna okosnica (Backbone Network)**
 - Ruteri
 - Komunikacioni linkovi



Uvod u računarske mreže 1-12

12

Uvod u računarske mreže

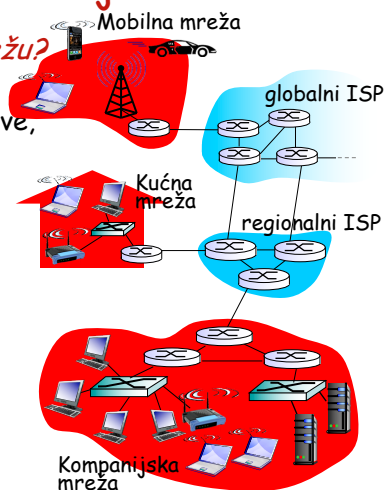
Pristupne mreže i fizički medijum

Kako povezati host na pristupnu mrežu?

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

Važno je obratiti pažnju na

- ❑ Brzinu [b/s] pristupne mreže!
- ❑ Dijeljenje brzine pristupne mreže
 - Dijeljena
 - Dodijeljena

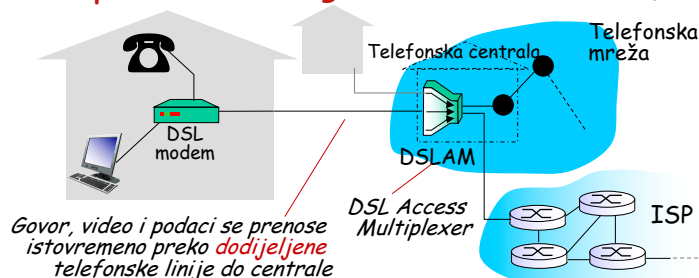


Uvod u računarske mreže 1-13

13

Uvod u računarske mreže

Pristupna mreža: Digital Subscriber Line (DSL)



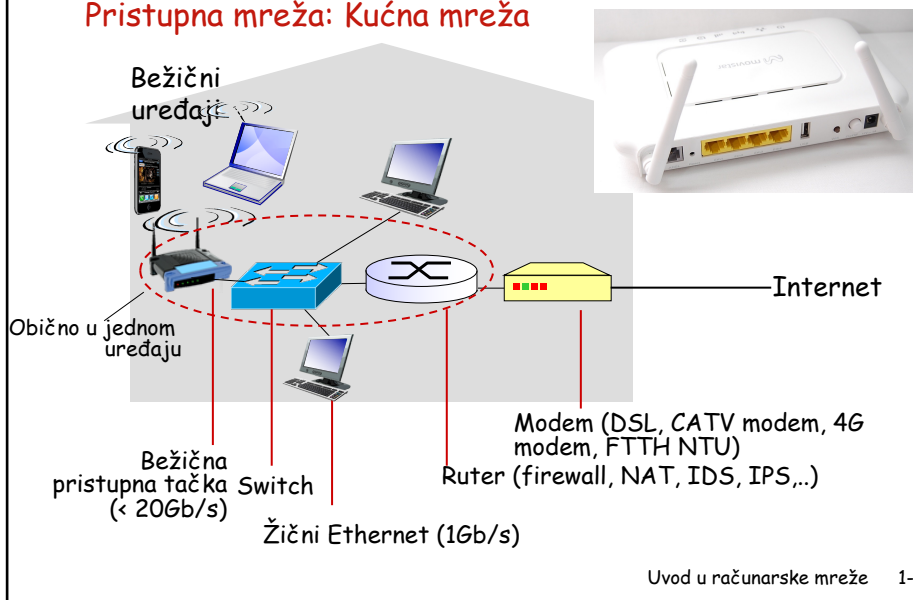
- ❖ koristi **postojeću** telefonsku upređenu bakarnu paricu do DSLAM-a u telefonskoj centrali
 - Podaci se preko DSL linije prenose do Interneta
 - Govor se preko DSL linije prenosi do telefonske mreže
- ❖ < 100 Mb/s brzina prenosa na upstream-u (tipično < nekoliko Mb/s)
- ❖ < 300 Mb/s brzina prenosa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

Uvod u računarske mreže 1-14

14

Uvod u računarske mreže

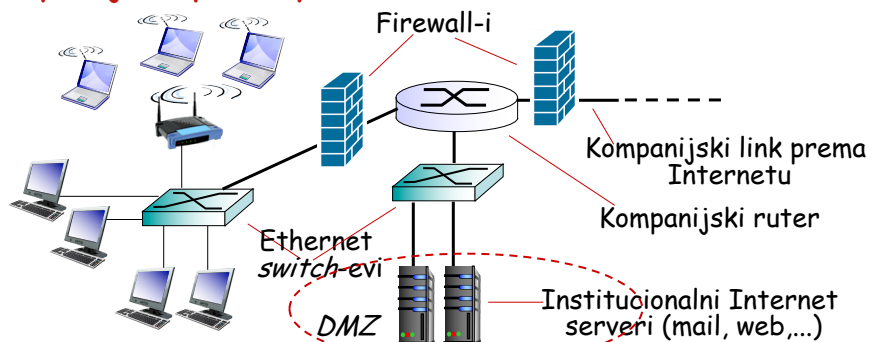
Pristupna mreža: Kućna mreža



15

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 1-16

16

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

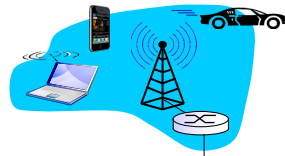


Prema Internetu

<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 1-17

17

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 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 predstavlja 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 uređaja i otpornost 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
 - ...

□ 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/>

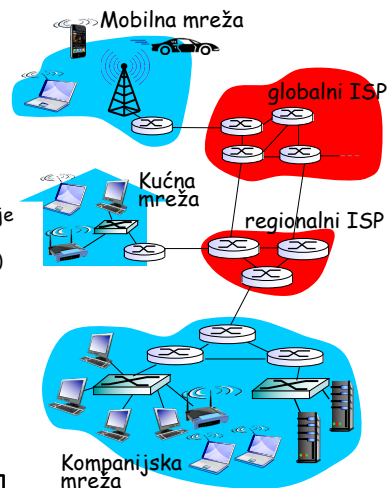
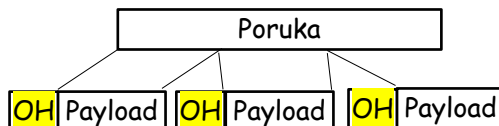
Uvod u računarske mreže 1-20

20

Uvod u računarske mreže

Okosnica mreže

- ❑ Ruteri povezani linkovima
- ❑ 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



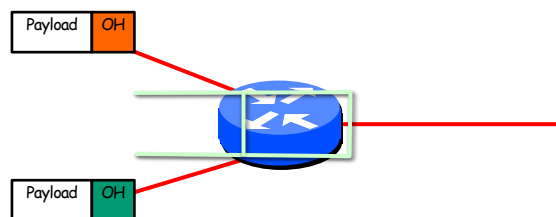
Uvod u računarske mreže 1-21

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

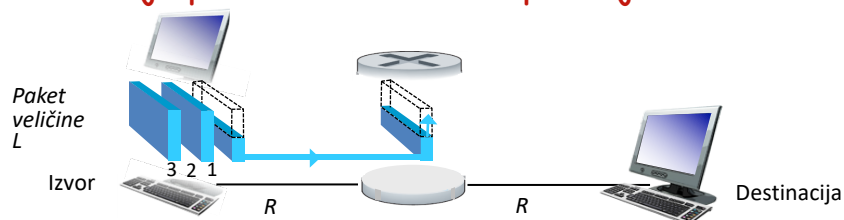


Uvod u računarske mreže 1-22

22

Uvod u računarske mreže

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:

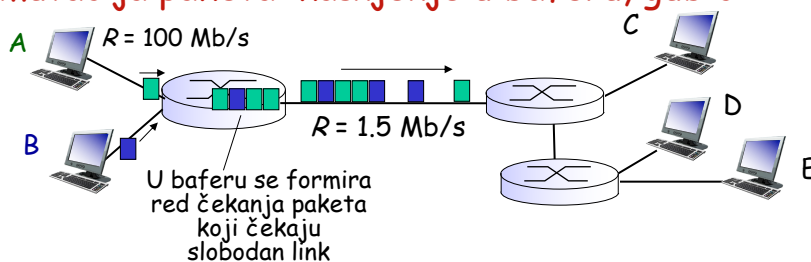
- $L = 7.5 \text{ Mb}$
- $R = 1.5 \text{ Mb/s}$
- Kašnjenje uslijed prenosa = 5 s

Uvod u računarske mreže 1-23

23

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 1-24

24

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

- ❑ Hostovi 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 na planeti mogu razmjenjivati podaci
- ❑ Veoma kompleksna „mreža svih mreža“
 - Evolucija je uzrokovana **ekonomskim razlozima** i **nacionalnim politikama**

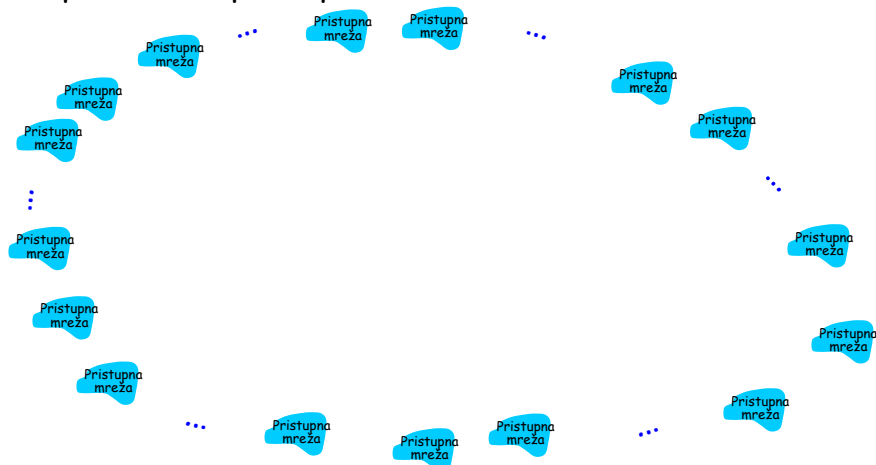
Uvod u računarske mreže 1-25

25

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

Kako povezati N pristupnih mreža?

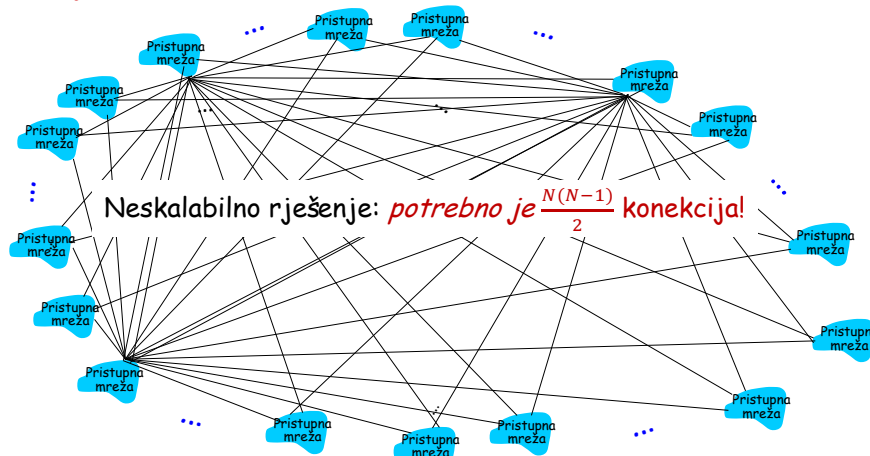


26

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: „Mreža svih mreža“

Opcija 1: Povezati svaku sa svakom?



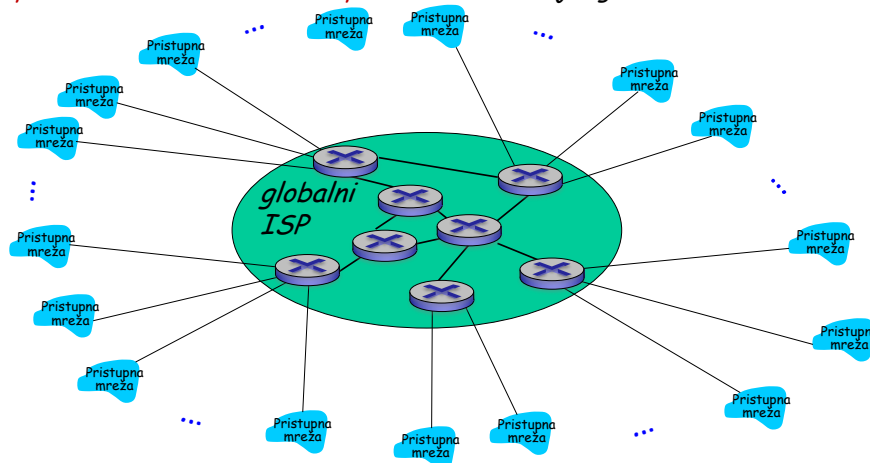
Uvod u računarske mreže 1-27

27

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.



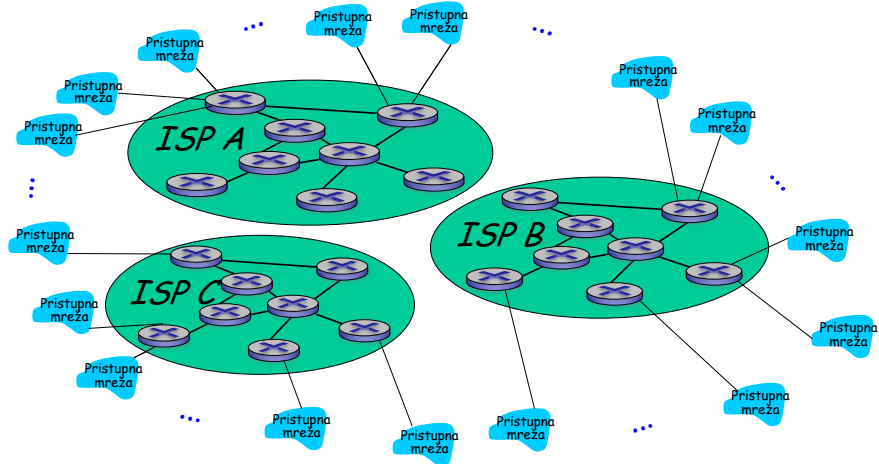
Uvod u računarske mreže 1-28

28

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

ISP je primamljiv biznis koji privlači konkurenciju....



Uvod u računarske mreže 1-29

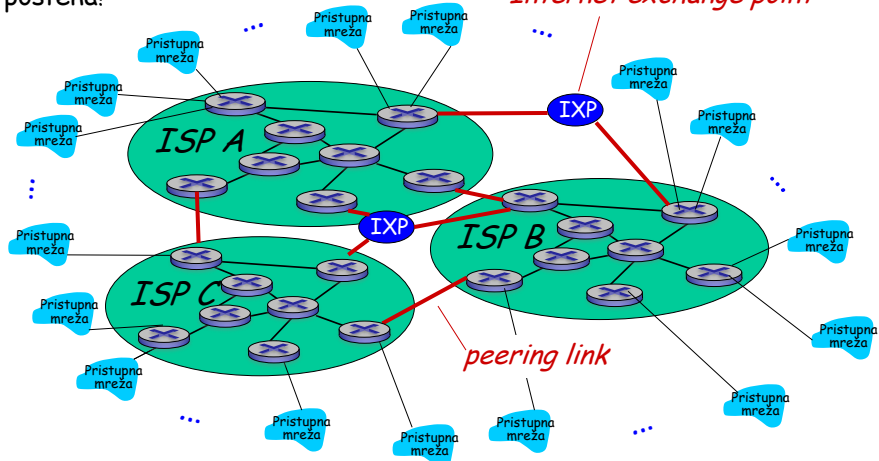
29

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

Konkurenti moraju biti povezani kako bi tržišna utakmica bila poštena!

Internet exchange point



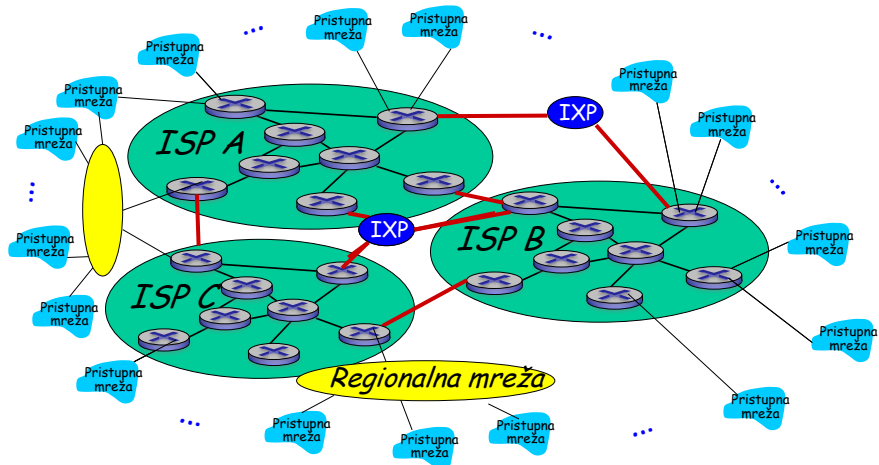
Uvod u računarske mreže 1-30

30

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: "Mreža svih mreža"

... pojavljuju se i regionalni ISP-ovi

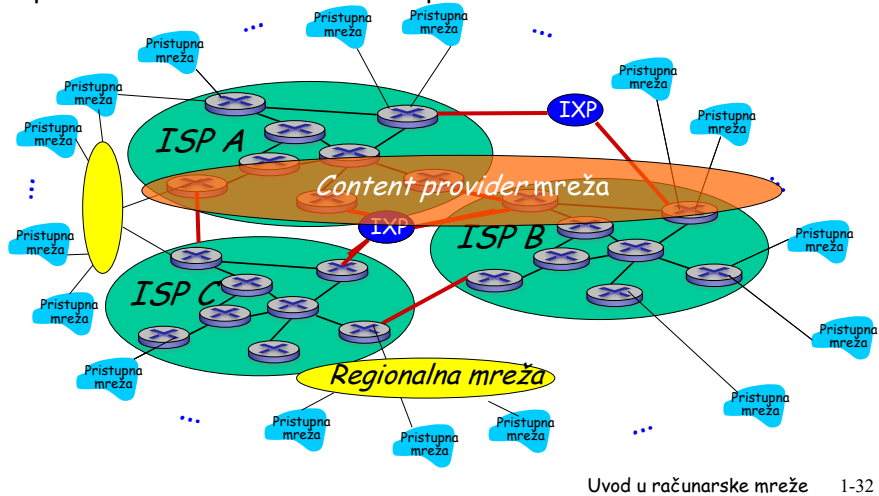


31

Uvod u računarske mreže

Internet struktura: mreža svih mreža

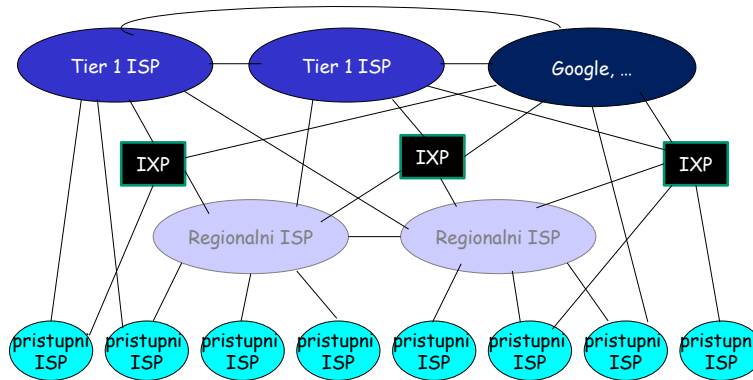
... i Content provider mreže (Google, Microsoft, Akamai,...) grade sopstvene mreže kako bi servise "primakle" korisnicima



32

Uvod u računarske mreže

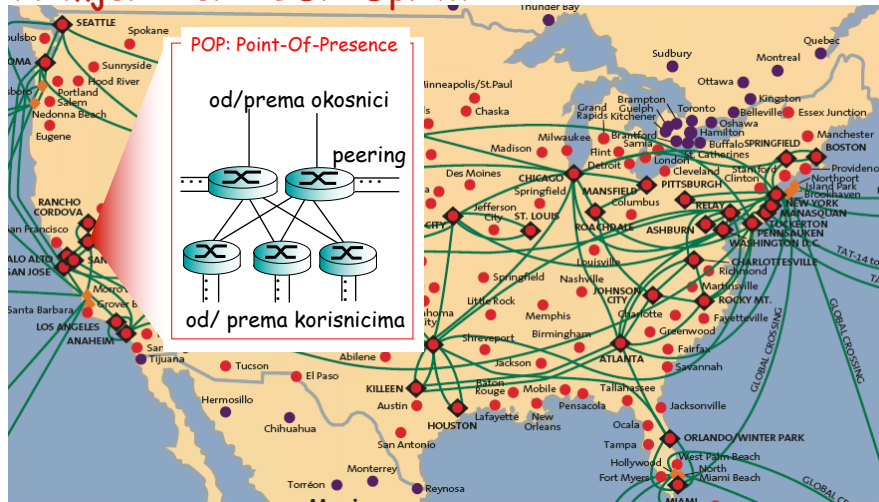
Internet struktura: "Mreža svih mreža"



- U centru: mali broj dobro povezanih velikih globalnih tranzitnih mreža
 - "Tier-1" komercijalni ISP-ovi (npr. Level 3, Sprint, AT&T, NTT, Deutsche Telekom,...), nacionalno i međunarodno pokrivanje
 - *Content provider mreža* (Google, Microsoft,...): privatna mreža koja povezuje data centre posredstvom Interneta, obično zaobilazeći tier-1 i regionalne ISP-ove

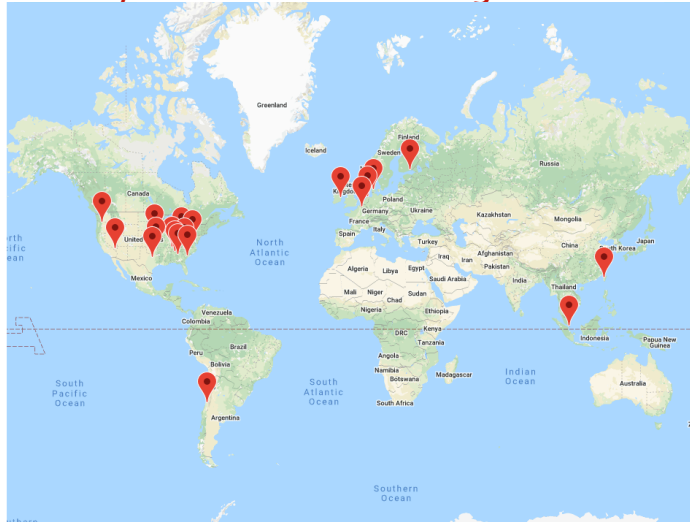
Uvod u računarske mreže

Primjer Tier-1 ISP: Sprint



Uvod u računarske mreže

Content provider mreža: Google



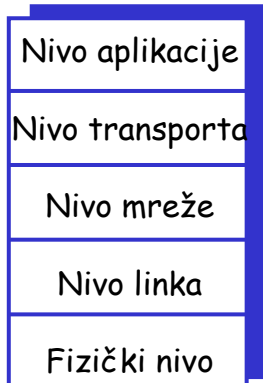
Uvod u računarske mreže 1-35

35

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



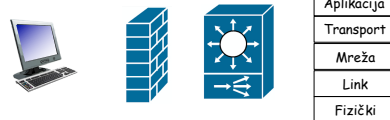
Uvod u računarske mreže 1-36

36

Uvod u računarske mreže

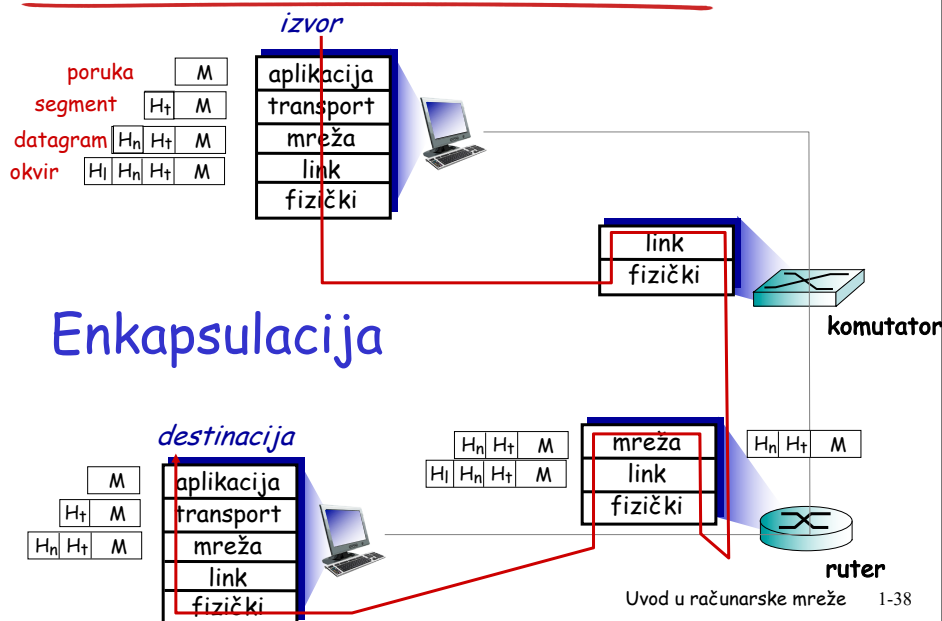
Internet arhitektura

- 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



37

Uvod u računarske mreže



38

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 zmajac u razvoju Interneta

Uvod u računarske mreže 1-39

39

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 1-40

40

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 1-41

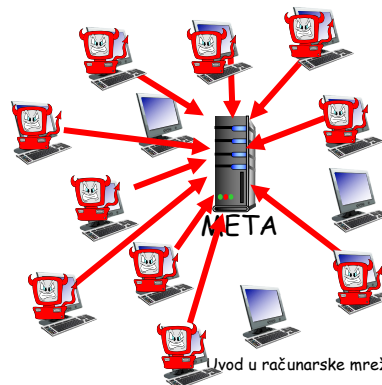
41

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



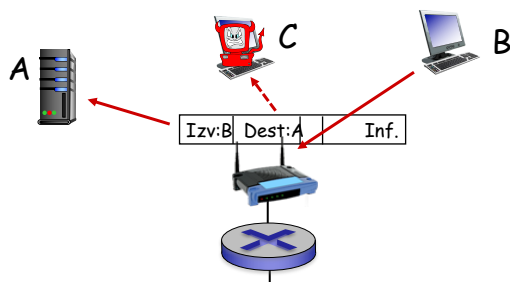
Uvod u računarske mreže 1-42

42

Uvod u računarske mreže

Packet "sniffing":

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



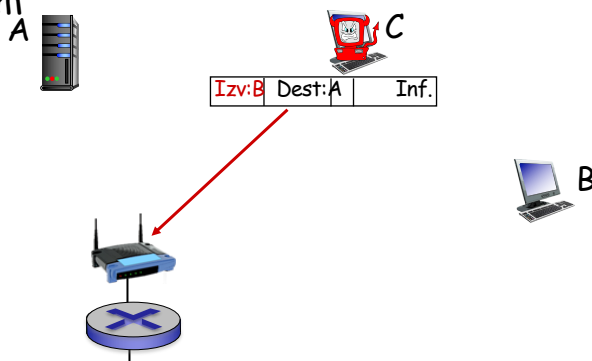
- Wireshark software je primjer bezplatnog *packet sniffer* programa

Uvod u računarske mreže 1-43

43

Uvod u računarske mreže

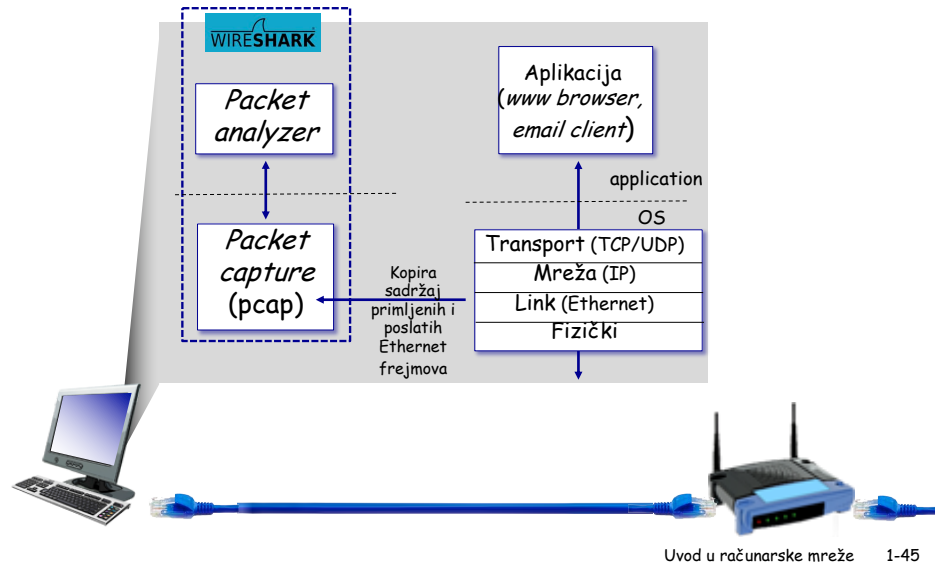
IP spoofing: slanje paketa sa netačnom izvorišnom adresom



Uvod u računarske mreže 1-44

44

Uvod u računarske mreže



45

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 navesti funkcije njenih uređaja.
5. Nacrtati kompanijsku računarsku mrežu i navesti 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.

Uvod u računarske mreže 1-46

46