

Nivo linka

- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa
- LAN
 - MAC adresiranje
 - Ethernet
 - VLAN
 - Switch
- WiFi
- Mreža data centra

6: Nivo linka 6-29

29

MAC adrese i ARP

- 32-bitna IP adresa:
 - adresa mrežnog nivoa
 - koristi se za prosleđivanje na 3. nivou
- MAC (ili LAN ili fizička ili Ethernet) adresa:
 - funkcija: *koristi se "lokalno" kako bi se frejm proslijedio sa interfejsa na interfejs sa kojim je fizički povezan (u istoj mreži sa stanovišta IP adresiranja)*
 - 48 bitna MAC adresa (za većinu LAN mreža) se upisuje u NIC ROM, mada se može i softverski setovati
 - Heksadecimalni zapis
 - 1A-2F-BB-76-09-AD

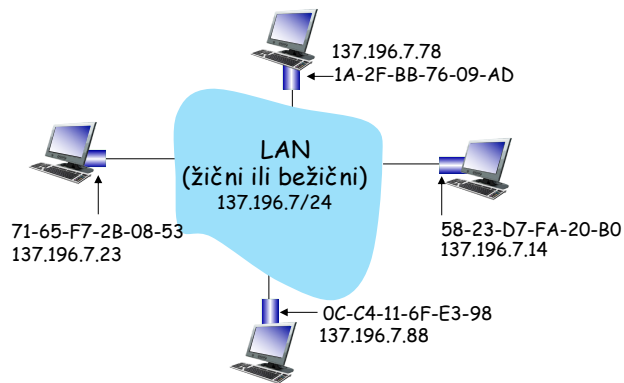
6: Nivo linka 6-30

30

LAN adrese i ARP

Svaki adapter u LAN-u ima jedinstvenu

- ❑ LAN adresu
- ❑ IP adresu



6: Nivo linka 6-31

31

LAN adrese (više)

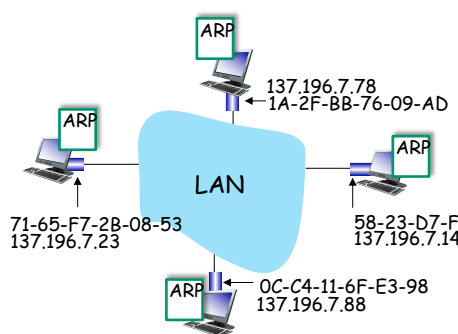
- ❑ Dodjela MAC adrese se vrši od strane IEEE
- ❑ Proizvođači kupuju dio MAC adresnog prostora (da bi obezbijedili jedinstvenost adrese)
- ❑ Analogija:
 - MAC adresa: kao matični broj
 - IP adresa: kao poštanska adresa
- ❑ MAC nehijerarhijska adresa → portabilnost
 - LAN kartica se može seliti iz mreže u mrežu
- ❑ IP hijerarhijska adresa NIJE portabilna
 - zavisi od IP mreže na koju je čvorište vezano

6: Nivo linka 6-32

32

ARP: address resolution protocol

Kako se dobija MAC adresa hosta B ako se zna njegova IP adresa?



- Svako IP čvorište (Host, Ruter) na LAN-u ima svoju **ARP** tabelu
- ARP Tabela: IP/MAC adresno mapiranje za neka LAN čvorišta
 - < IP adresa; MAC adresa; TTL >
 - TTL (Time To Live): vrijeme poslije kojega će adresno mapiranje biti zaboravljeno (obično 20 min)
- komanda arp -a

6: Nivo linka 6-33

33

ARP: isti LAN

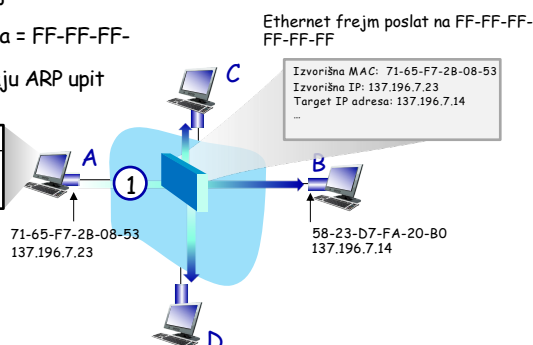
A šalje datagram čvoru B

- MAC adresa čvora B nije u ARP tabeli čvora A, A koristi ARP da pronade MAC adresu čvora B

- ① A broadcastuje ARP upitkoji sadrži IP adresu čvora B
 - destinaciona MAC adresa = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Svi čvorovi u LAN primaju ARP upit

ARP tabela u A

IP adr	MAC addr	TTL



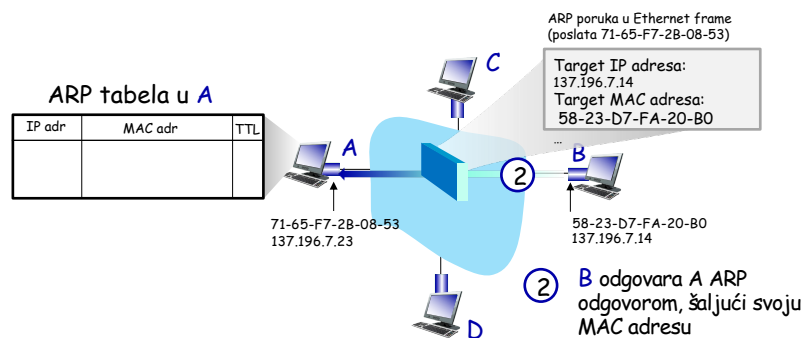
6: Nivo linka 6-34

34

ARP: isti LAN

A šalje datagram čvoru B

- MAC adresa čvora B nije u ARP tabeli čvora A, A koristi ARP da pronade MAC adresu čvora B



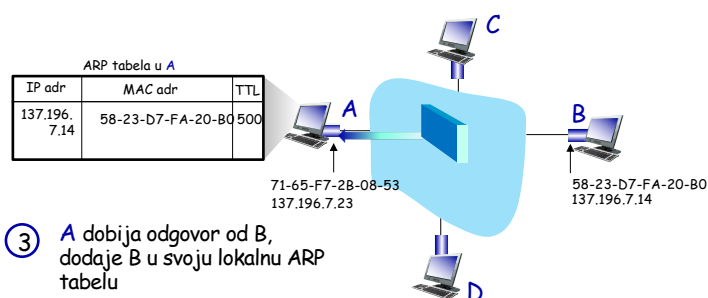
6: Nivo linka 6-35

35

ARP: isti LAN

A šalje datagram čvoru B

- MAC adresa čvora B nije u ARP tabeli čvora A, A koristi ARP da pronade MAC adresu čvora B



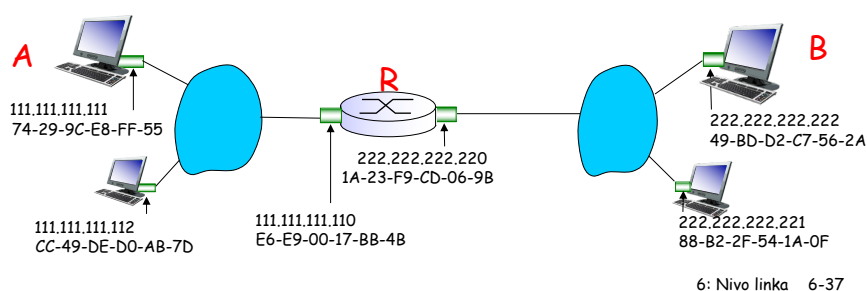
6: Nivo linka 6-36

36

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

Zadatak: poslati datagram od A do B preko R

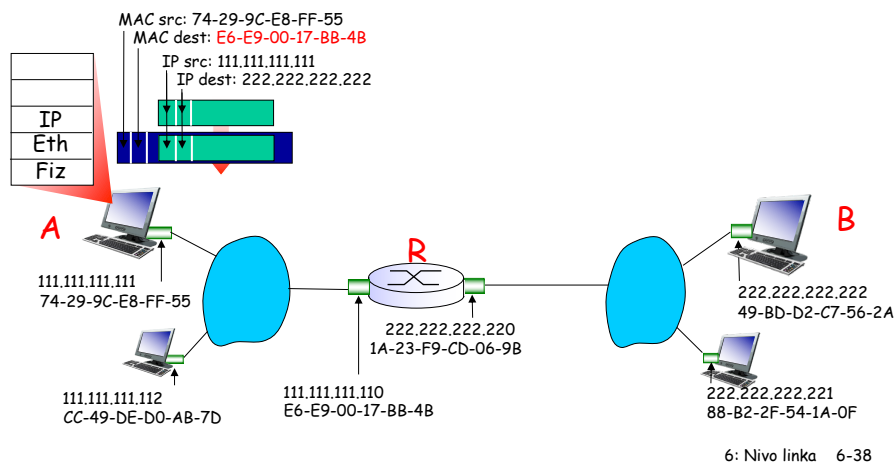
- fokus na adresiranju u IP datagranu i MAC frejmu
- pretpostaviti da A poznaje
 - IP adresu hosta B
 - IP adresu rutera R (kako?)
 - MAC adresu rutera R (kako?)



37

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

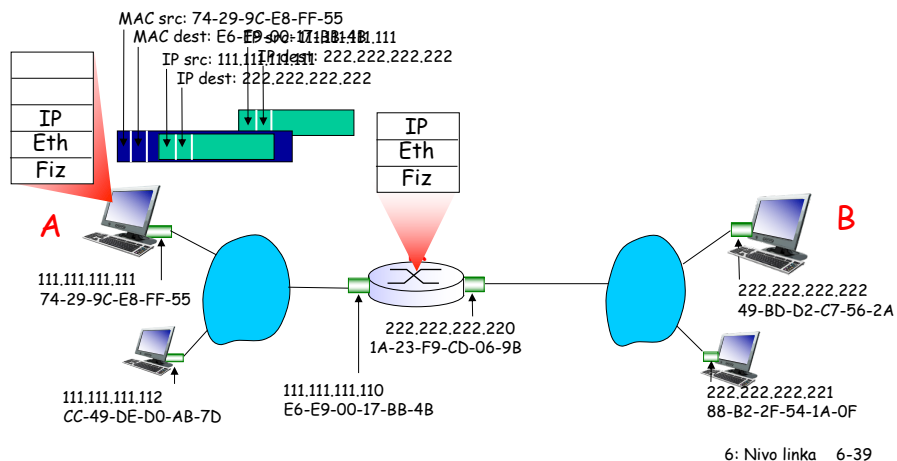
- A kreira IP datagram sa IP izvorišnom adresom A, destinacionom B
- A kreira frejm sa MAC adresom rutera R kao destinacijom, frejm sadrži IP datagram koji treba da se prenese od A do B



38

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

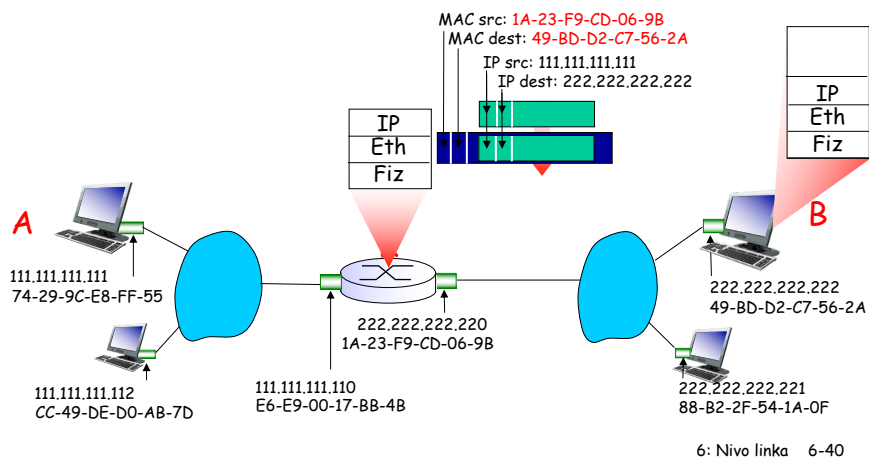
- Frejm se šalje od A do R
- R prima frejm, datagram se prosleđuje IP protokolu na obradu



39

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

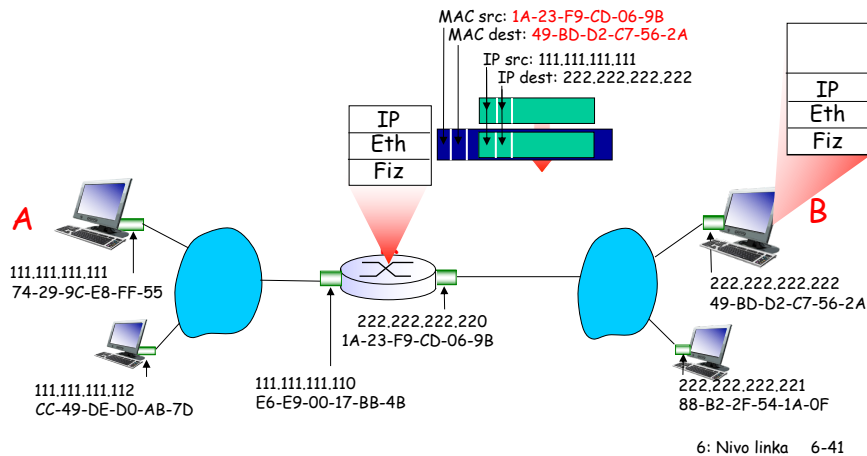
- R prosleđuje datagram sa izvorišnom IP adresom A, destinacijom B
- R kreira frejm nivoa linka sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži IP datagram koji treba da se prenese od A za B



40

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

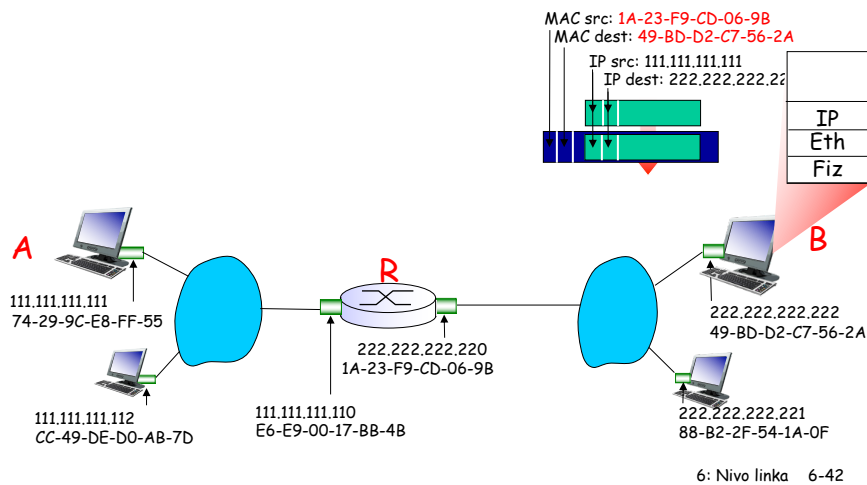
- R prosleđuje datagram sa izvorišnom IP adresom A, i destinacionom B
- R kreira frejm sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži datagram koji treba preneti od A do B



41

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- R prosleđuje datagram sa izvorišnom IP adresom A i destinacijom B
- R kreira frejm sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži IP datagram koji treba preneti od A do B



42

Nivo linka

- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa, LAN-ovi
- MAC adresiranje
- Ethernet
- WiFi
- Switch

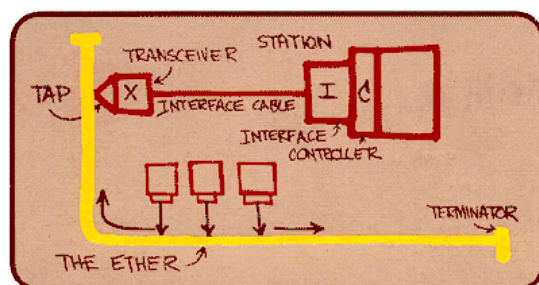
6: Nivo linka 6-43

43

Ethernet

“dominantna” žična LAN tehnologija:

- Prva široko korišćena LAN tehnologija
- Jednostavan i jeftin
- Jedan čip, više brzina prenosa
- Široki opseg brzina prenosa: 10 Mb/s - 400 Gb/s



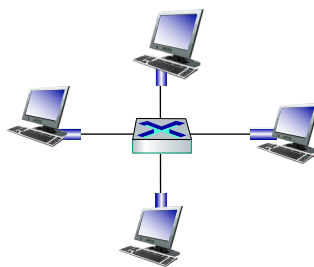
Metcalfe-ova skica
Etherneta

6: Nivo linka 6-44

44

Topologija zvijezda

- Topologija magistrala je bila popularna devedesetih
- Sada se koristi zvijezda topologija
- Switch u centru
- Svaki računar posebno izvršava Ethernet protokol tako da nema kolizije

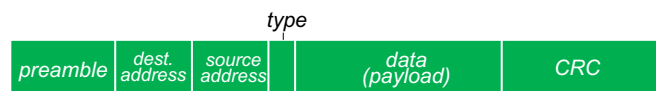


6: Nivo linka 6-45

45

Struktura Ethernet Frejma

Adapter pošiljaoca enkapsulira IP datagram (ili neki drugi paket nivoa mreže) u **Ethernet frejm**



Preamble (8B):

- 7 B sa sadržajem 10101010 praćenim sa 1B sadržaja 10101011
- Služi za sinhronizaciju prijemnika i predajnika

6: Nivo linka 6-46

46

Struktura Ethernet Frejma (više)

Adrese (6B):

- Ako adapter primi frejm sa odgovarajućom destinacionom ili broadcast adresom (npr. ARP paket), prosleđuje podatke iz frejma protokolu mrežnog nivoa
- U suprotnom, adapter odbacuje frejm

Type(2B): ukazuje na protokol nivoa mreže (IPv4 (0800) i IPv6 (86DD))

CRC(4B): provjera greške na prijemu, ako je detektovana greška, frejm se odbacuje (CCITT-32 CRC)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + x + 1$$

type



6: Nivo linka 6-47

47

Nepouzdana, nekonektivni servis

- Nekonektivni:** Nema *handshaking* procedure između predajnog i prijemnog adaptera.
- Nepouzdan:** prijemni adapter ne šalje pozitivne ili negativne potvrde prijema predajnom adapteru
 - tok datagrama koji se prosleđuje nivou mreže može imati praznina
 - praznine popunjava TCP, ako se koristi
 - u suprotnom, aplikacija će vidjeti praznine
- Ethernet koristi CSMA/CD kao MAC protokol

6: Nivo linka 6-48

48

Ethernet CSMA/CD algoritam

- nema slotova
- adapter ne prenosi ako osjeti da neki drugi adapter šalje, to je, *carrier sense*
- predajni adapter prekida slanje ako osjeti da i drugi adapter šalje, to je, *collision detection*
- prije pokušaja retransmisije, adapter čeka slučajno vrijeme, to je, *random access*

6: Nivo linka 6-49

49

Ethernet CSMA/CD algoritam

1. Adapter prima datagramsa nivoa mreže i kreira frejm
2. Ako adapter osjeti
 - slobodan kanal (u trajanju od 96 bita), počinje da šalje frejm.
 - zauzet kanal čeka dok se kanal oslobodi i onda šalje
3. Ako adapter pošalje kompletan frejm bez detekcije drugog prenosa, smatra se da je prenos bio uspješan !
4. Ako adapter detektuje drugi prenos dok šalje frejm, prekida slanje frejma i šalje *jam* signal
5. Poslije prekida, adapter ulazi u *eksponencijalni backoff*: poslije m-te kolizije, adapter bira K na slučajan način iz opsega $\{0,1,2,\dots,2^m-1\}$. Adapter čeka u trajanju $K \cdot 512$ bita i vraća se na korak 2.

6: Nivo linka 6-50

50

Ethernet CSMA/CD (više)

Jam Signal: služi da svi interfejsi detektuju koliziju; 48b

Trajanje bita: 0.1 μ s za 10Mb/s Ethernet ;
za K=1023, vrijeme čekanja je oko 50 ms

Eksponencijalni Backoff:

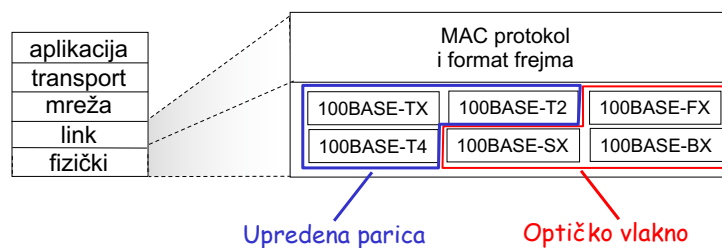
- *Cilj:* adaptirati pokušaje retransmisije kako bi se estimiralo trenutno opterećenje
 - Veliko opterećenje: slučajno kašnjenje će biti duže
- Prva kolizija: izaberi K iz {0,1}; kašnjenje je jednako 0 ili trajanju 512 bita
- Poslije druge kolizije: bira K iz {0,1,2,3}...
- Poslije deset kolizija, nira K iz {0,1,2,3,4,...,1023}
- Nakon 10 kolizija adapter odustaje!

6: Nivo linka 6-51

51

802.3 Ethernet Standardi: fizički nivo i nivo linka

- **mnogo** različitih Ethernet standarda
 - zajednički MAC protokol i format frejma
 - Različite brzine: 2Mb/s, 10Mb/s, 100Mb/s, 1Gb/s, 10Gb/s, 25Gb/s, 40Gb/s, 100Gb/s, 400Gb/s
 - Medijumi za prenos: optičko vlakno, upredena parica



6: Nivo linka 6-52

52

Fast Ethernet

	100baseT4	100baseT	100baseFX
Medium	Upredena parica kategorije 3 UTP 4 parice	Upredena parica kategorije 5 UTP 2 parice	Optičko multimode vlakno Dva vlakna
Maksimalna veličina segmenta	100 m	100 m	2 km
Topologija	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda

Da bi se postigla kompatibilnost sa 10Mb/s Ethernet-om:

- ☐ Isti format frejma, isti interfejs, isti protokoli
- ☐ Hub topologija samo sa upredenom paricom ili vlaknom
- ☐ Magistrala topologija & koaksijalac se ne koriste
- ☐ Kategorija 3 upredena parica (telefonski) zahtijeva 4 parice
- ☐ Kategorija 5 upredena parica zahtijeva 2 parice (najpopularnija)
- ☐ Najčešće korišćeni LAN danas

6: Nivo linka 6-53

53

Gigabit Ethernet

	1000baseSX	1000baseLX	1000baseCX	1000baseT
Medium	Optičko multimodno vlakno Dva vlakna	Optičko monomodno vlakno Dva vlakna	Oklopljena bakarna parica	Upredna parica kategorije 5 UTP
Maksimalna veličina segmenta	550 m	5 km	25 m	100 m
Topologija	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda	Zvijezda

- ☐ Vrijeme slota povećano na 512B
- ☐ Mali frejmovi moraju biti povećani na 512B
- ☐ Grupisanje frejmova kako bi se dozvolilo stanicama da prenose grupe kratkih frejmova
- ☐ Struktura frejma je zadržana ali je CSMA-CD izbjegnuto
- ☐ Intenzivno se primjenjuje na kičmama mreža i za povezivanje servera

6: Nivo linka 6-54

54

10 Gigabit Ethernet

	10GbaseSR	10GBaseLR	10GbaseEW	10GbaseLX4
Medium	Dva optička vlakna Multimodna na 850 nm 64B66B kod	Dva optička vlakna Monomodna na 1310 nm 64B66B	Dva optička vlakna Monomodna na 1550 nm SONET kompatibilna	Dva optička vlakna multimodna/monomodna sa četiri talasne dužine na 1310 nm opsegu 8B10B kod
Maksimalna veličina segmenta	300 m	10 km	40 km	300 m - 10 km

- ❑ Zadržana struktura frejma
- ❑ CSMA-CD protokol zvanično napušten
- ❑ LAN fizički nivo za primjenu u lokalnim mrežama
- ❑ WAN fizički nivo za primjenu korišćenjem SONET OC-192c
- ❑ Intenzivna primjena u gradskim mrežama

6: Nivo linka 6-55

55

40GEthernet i 100GEthernet

- ❑ IEEE 802.3-15
- ❑ Identičan format Ethernet frejma kao kod prethodnih verzija
- ❑ Identična minimalna i maksimalna veličina Ethernet frejma
- ❑ BER na MAC podnivou manji od 10^{-12}
- ❑ Podrška za OTN (optičke transportne mreže)
- ❑ Brzine prenosa na MAC podnivou od 40 i 100Gb/s

Physical layer	40 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet
Backplane		100GBASE-KP4
Improved Backplane	40GBASE-KR4	100GBASE-KR4
7 m over <i>twinax</i> copper cable	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10 100GBASE-CR4
30 m over "Cat.8" twisted pair	40GBASE-T	
100 m over OM3 MMF	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
125 m over OM4 MMF ^[18]		100GBASE-SR4
2 km over SMF, serial	40GBASE-FR	100GBASE-CWDM4 ^[21]
10 km over SMF	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
40 km over SMF	40GBASE-ER4	100GBASE-ER4

6: Nivo linka 6-56

56

Nivo linka

- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa, LAN-ovi
- MAC adresiranje
- Ethernet
- WiFi
- Switch

6: Nivo linka 6-57

57

WiFi

Motivacija:

- Zainteresovanost korisnika za pristup Internetu bilo gdje i bilo kada!
- Postići približne brzine prenosa i nivoa kašnjenja u bežičnom pristupu kao kod žičnog pristupa
- Podržati što je veću moguću pokretljivost uz veliku brzinu prenosa.
- Obzirom na veliku zainteresovanost tržišta primijeniti trenutno najmodernija i najbolja tehnološka rješenja.

6: Nivo linka 6-58

58

Elementi bežične računarske mreže



6: Nivo linka 6-59

59

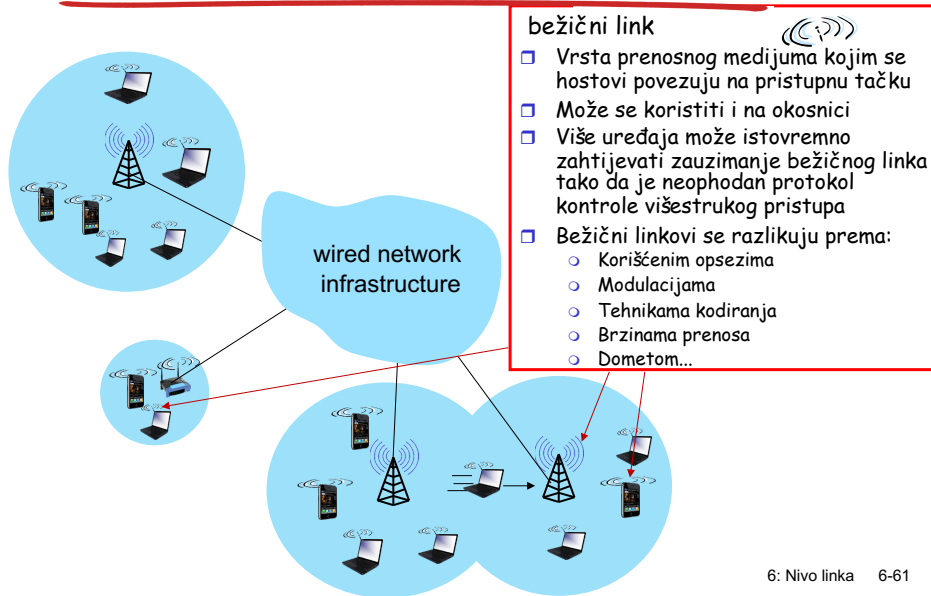
Elementi bežične mreže



6: Nivo linka 6-60

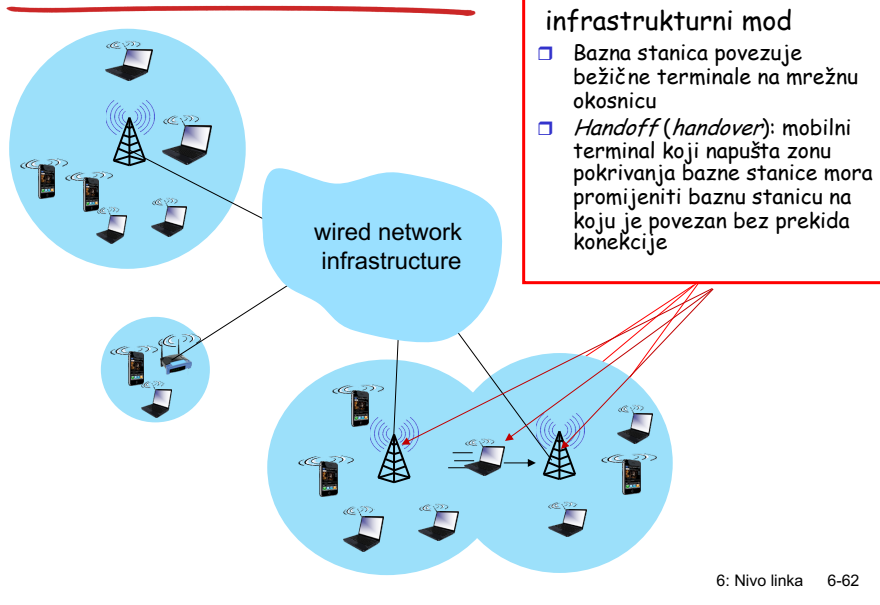
60

Elementi bežične računarske mreže



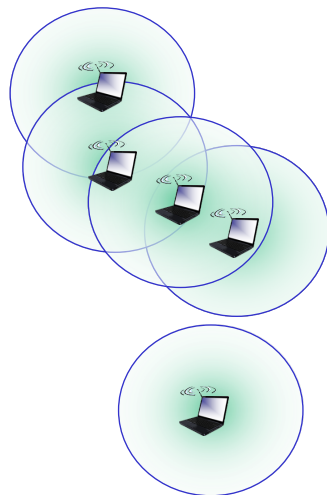
61

Elementi bežične mreže



62

Elementi bežične mreže



ad hoc mod

- ☐ Nema baznih stanica
- ☐ Čvorišta mogu prenositi frejmove samo do drugih čvorišta koji su u zoni pokrivanja
- ☐ Čvorišta se samoorganizuju u mrežu

6: Nivo linka 6-63

63

Elementi bežične mreže

	jedan hop	multiple hop-ovi
infrastrukturne (npr, AP)	host se povezuje na baznu stanicu (WiFi, celularnu) koja ga povezuje na mrežnu okosnicu	Host se često mora preko više čvorišta povezati na okosnicu: <i>mesh mreža</i>
bez infrastrukture	nema bazne stanice, nema konekcije na mrežnu okosnicu (Bluetooth, ad hoc mreže)	Nekada mora da se poveže preko više čvorišta da bi dosegao željeni čvor. MANET, VANET

6: Nivo linka 6-64

64

Karakteristike bežičnog linka (1)

Razlikuje se od žičnog linka ...

- Slabljenje nivoa signala: radio signal više slabi tokom prostiranja (gubitak uslijed propagacije)
- Interferencija sa drugim izvorima: frekvencije dijele bežični terminali između sebe ili sa drugim uređajima
- Multipath propagacija: radio signal se reflektuje od zemlje i objekata tako da u istu tačku dolazi u različitim trenucima



Projektovanje bežičnih linkova i zona pokrivanja je izuzetno komplikovano!!!!!!!!!!!!

6: Nivo linka 6-65

65

IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN, WiFi) standardi

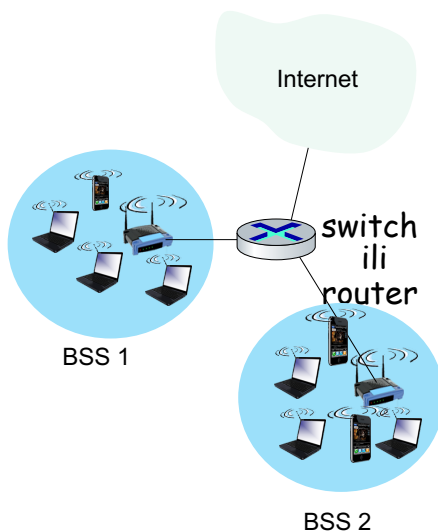
IEEE 802.11 standard	Godina	Maksimalna brzina	Domet	Frekvencijski opseg
802.11b	1999	11 Mb/s	30 m	2.4 GHz
802.11g	2003	54 Mb/s	30m	2.4 GHz
802.11n (WiFi 4)	2009	600 Mb/s	70m	2.4 i 5 GHz
802.11ac (WiFi 5)	2013	3.47Gb/s	70m	5 GHz
802.11ax (WiFi 6)	2020 (exp.)	14 Gb/s	70m	2.4, 5 GHz
802.11af	2014	35 - 560 Mb/s	1 Km	oslobodeni TV opsezi (54-790 MHz)
802.11ah	2017	347Mb/s	1 Km	900 MHz

- Svi koriste CSMA/CA tehniku za kontrolu višestrukog pristupa
- Infrastrukturni ili ad-hoc mod

6: Nivo linka 6-66

66

802.11 LAN arhitektura

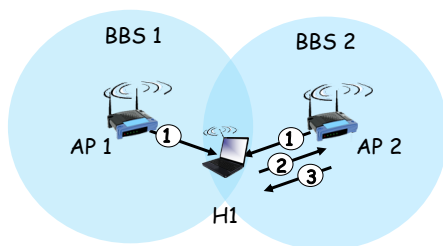


- Bežični host komunicira sa baznom stanicom
 - Bazna stanica = access point (AP)
- Basic Service Set (BSS) (ili "cell") u infrastrukturnom modu sadrži:
 - Bežične hostove
 - access point (AP)
- ad hoc mod sadrži samo hostove

6: Nivo linka 6-67

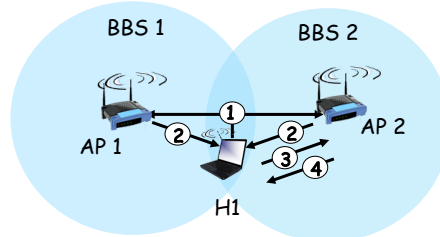
67

802.11: pasivno/aktivno skeniranje



Pasivno skeniranje:

- (1) AP šalje *beacon* frejmove
- (2) Host šalje *Association Request* frejm izabranom AP
- (3) AP šalje *Association Response* frejm odgovarajućem hostu



Aktivno skeniranje:

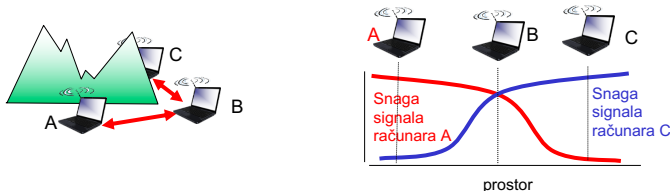
- (1) Host šalje *Probe Request* frejm svim prisutnim AP
- (2) AP šalju *Probes response* frejm
- (3) Host šalje izabranom AP *Association Request* frejm
- (4) Izabrani AP šalje *Association Response* frejm hostu

6: Nivo linka 6-68

68

IEEE 802.11: višestruki pristup

- ❑ izbjegavanje kolizije koja nastaje kada 2 i više čvorišta emituju
- ❑ 802.11: CSMA - osluškivanje prije slanja
 - Nema kolizije sa komunikacijom koja je u toku
- ❑ 802.11: *nema detekcije kolizije*
 - Teško je detektovati koliziju prilikom emitovanja zbog
 - niskog nivoa prijemnog signala
 - sakrivenog terminala
 - Cilj je pokušati izbjeći koliziju (*avoid collisions*)
CSMA/C(ollision)A(voidance)



6: Nivo linka 6-69

69

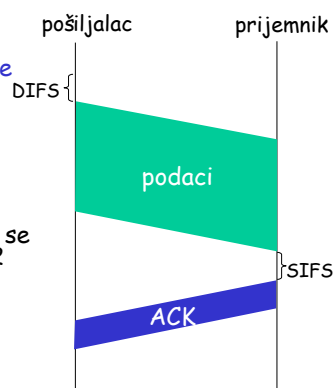
IEEE 802.11 MAC Protokol: CSMA/CA

802.11 pošiljalac

1. ako pošiljalac detektuje slobodan kanal tokom trajanja intervala **DIFS** (Distributed Interframe Space) tada se šalje cijeli frejm (nema detekcije kolizije)
2. ako se tokom DIFS detektuje zauzeti kanal tada se
 - Izračunava slučajno *backoff* vrijeme tajmera
 - Dok je kanal zauzet tajmer se zaustavlja
 - Nakon oslobađanja kanala timer odbrojava
 - Kada istekne tajmer, ako je kanal slobodan počinje slanje frejma
 - Ako nakon slanja nema potvrde ACK, povećava se slučajni backoff interval, i ponavlja se korak 2

802.11 prijemnik

- ❑ Ako je primljeni frejm ispravan
 - šalje ACK poslije isteka **SIFS** (Short Interframe Space)
 - ACK je potreban zbog problema skriveni terminal
- ❑ Ako primljeni frejm nije ispravan prijemnik odbacuje frejm



6: Nivo linka 6-70

70

Izbjegavanje kolizije (više)

IDEJA! dozvoliti korisniku da “rezerviše” kanal duže nego što mu je potrebno za slanje jednog frejma: izbjeći kolizije za velike frejmove

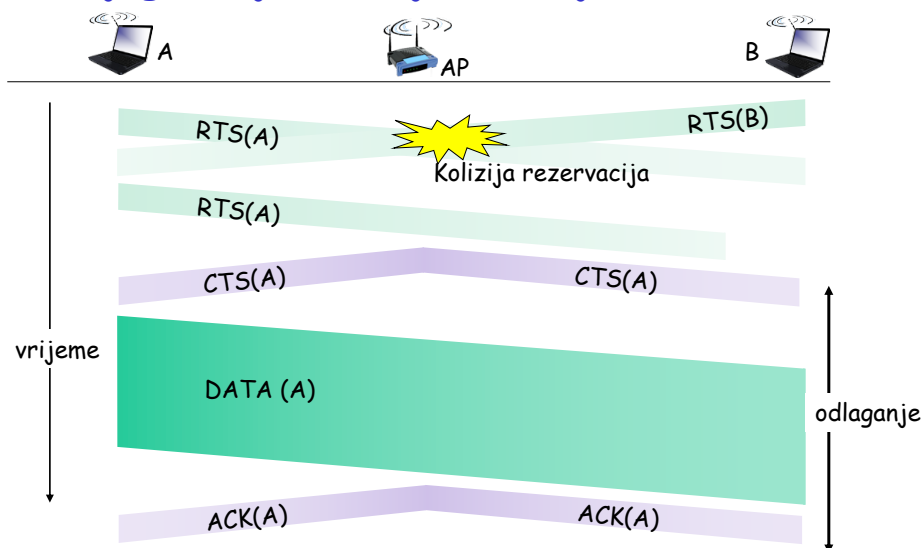
- Pošiljalac prvo šalje mali *request-to-send* (RTS) frejm pristupnoj tački korišćenjem CSMA
 - RTS frejmovi mogu zapasti u koliziju sa drugim frejmovima (što nije veliki problem jer su kratki)
- Pristupna tačka šalje svima *clear-to-send* CTS frejm kao odgovor na RTS frejmove
- CTS frejm primaju sva čvorišta ali ga koristi samo onaj pošiljalac kojemu je namijenjen
 - Pošiljalac počinje slanje frejma sa podacima
 - Druge stanice ne šalju

Korišćenjem malih rezervacionih frejmova
izbjeva se kolizija velikih frejmova !

6: Nivo linka 6-71

71

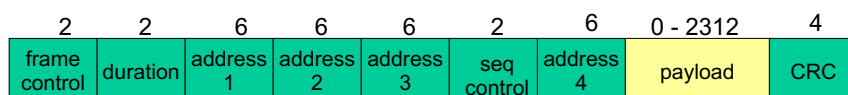
Izbjegavanje kolizije: razmjena RTS-CTS



6: Nivo linka 6-72

72

802.11 frejm: adresiranje



Adresa 1: MAC adresa bežičnog hosta ili AP kojem je namijenjen frejm

Adresa 2: MAC adresa bežičnog hosta ili AP koji šalje frejm

Adresa 3: MAC adresa interfejsa uređaja okosnice na koji je AP povezan

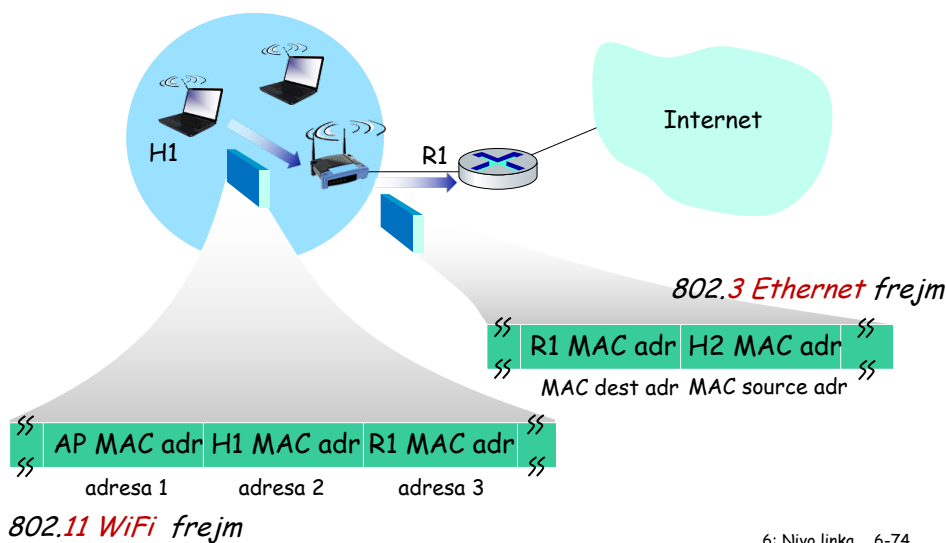
Adresa 4: samo se koristi u ad hoc modu

Payload je najčešće 1500B koji nosi IP datagram ili ARP paket.

6: Nivo linka 6-73

73

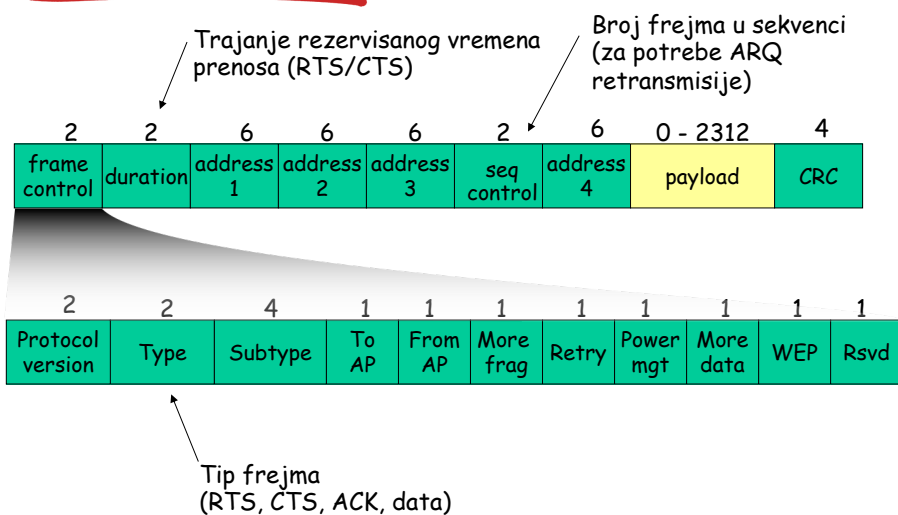
802.11 frejm: adresiranje



6: Nivo linka 6-74

74

802.11 frejm

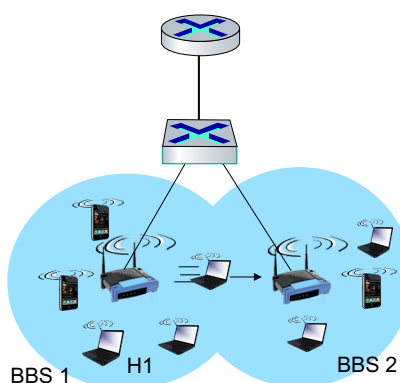


6: Nivo linka 6-75

75

802.11: mobilnost unutar iste mreže

- Ukoliko H1 prelaskom iz zone pokrivanja jedne AP u zonu drugog AP ostaje u istoj IP mreži: IP adresa može ostati ista
- U suprotnom H1 mora dobiti novu IP adresu
- LAN *switch* metodom *self-learning* otkriva prelazak H1 na novi AP i ažurira svoju tabelu prosleđivanja na nivou linka



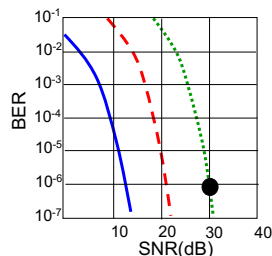
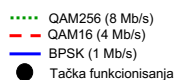
6: Nivo linka 6-76

76

802.11: napredne mogućnosti

Adaptacija brzina

- AP i host dinamički mijenjanju brzine prenosa (promjenom vrste modulacije na fizičkom nivou)
- Kako se host pomjera, SNR se mijenja



1. SNR opada, BER raste dok se host udaljava od AP

2. Kada BER postane previsok, odnosno SNR nedovoljan, stanice prelaze na novu modulacionu tehniku što znači nižu brzinu prenosa ali i na niži BER

6: Nivo linka 6-77

77

802.11: napredne mogućnosti

Power Management

- Host obavještava AP: "Idem da spavam do sledećeg *beacon* frejma"
 - AP zna da ne treba da šalje frejmove ovom hostu
 - Host se "budi" prije sledećeg *beacon* frejma (100ms sna) pri čemu buđenje traje 250μs
- *beacon* frejm: sadrži listu hostova za koje AP posjeduje frejmove
 - Host ostaje "budan" ako u *beacon* frejmu uoči svoju MAC adresu; u suprotnom ponovo ide na spavanje do narednog *beacon* frejma

6: Nivo linka 6-78

78