

Glava 6: Nivo linka

Ciljevi:

- ❑ Shvatanje principa servisa nivoa linka:
 - detekcija, korekcija greške
 - dijeljenje zajedničkog kanala: višestruki pristup
 - Adresiranje nivoa linka
 - pouzdani prenos podataka, kontrola protoka: *urađeno!*
- ❑ Upoznavanje sa implementacijom različitih tehnologija nivoa linka

6: Nivo linka 6-1

Nivo linka

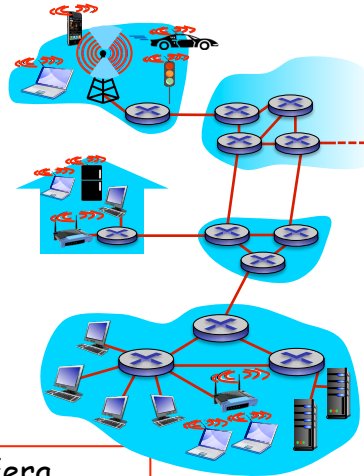
- ❑ **Uvod, servisi**
- ❑ Detekcija i korekcija greške
- ❑ Protokoli višestrukog pristupa, LAN-ovi
- ❑ MAC adresiranje
- ❑ Ethernet
- ❑ WiFi
- ❑ Switch

6: Nivo linka 6-2

Nivo linka: Uvod

Terminologija:

- Hostovi i ruteri su **čvorišta**
- Komunikacioni kanali koji povezuju susjedna čvorišta duž komunikacionih puteva su **linkovi**
 - žični linkovi
 - bežični linkovi
 - LAN-ovi
- Paket nivoa 2 se zove okvir (*frame*), u kome je enkapsuliran datagram



Nivo linka ima odgovornost transfera datagrama od jednog čvorišta do susjednog čvorišta na linku

6: Nivo linka 6-3

Nivo linka: kontekst

- Prenos datagrama različitim protokolima nivoa linka preko različitih linkova:
 - npr., Ethernet na prvom linku, *MPLS* na međulinkovima, 802.11 na poslednjem linku
- Svaki protokol nivoa linka omogućava različite servise
 - npr., može ili ne može obezbijediti pouzdan prenos preko linka

6: Nivo linka 6-4

Servisi nivoa linka

- **Kreiranje frejmova, pristup linku:**
 - Enkapsulacija datagrama u frejm, dodavanje zaglavlja/začelja
 - Pristup kanalu ako je zajednički medijum
 - "MAC" adrese se koriste u zaglavljima frejmova za identifikaciju izvora, destinacije
 - Različito od IP adresa!
- **Pouzdana predaja između susjednih čvorišta**
 - Već smo to radili!
 - Često se ne koriste preko linkova sa niskom vjerovatnoćom greške po bitu (optika, neke bakarne upredene parice)
 - Bežični linkovi: visoke vjerovatnoće greške
 - P: Zašto pouzdanost i na nivou linka i od kraja do kraja?

6: Nivo linka 6-5

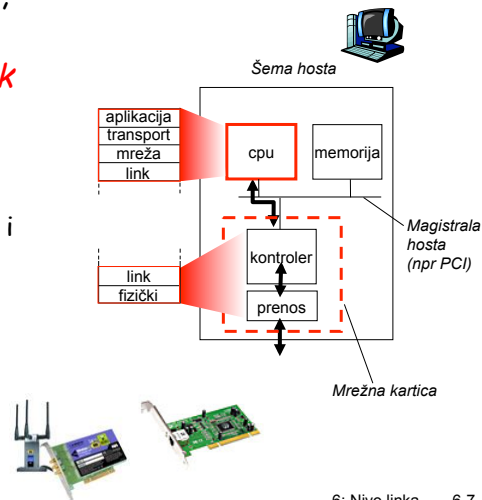
Servisi nivoa linka (više)

- **Kontrola protoka:**
 - Podešavanje brzina rada susjednih čvorišta
- **Detekcija greške:**
 - Greške izazvane slabljenjem signala, šumom.
 - Prijemnik detektuje prisustvo grešaka:
 - Signalizara pošiljaocu da odradi retransmisiju i odbacuje frejm
- **Korekcija greške:**
 - Prijemnik identifikuje i *koriguje* greške na bit(ima) bez ponovnog sortiranja ili retransmisije
- **Half-duplex i full-duplex**
 - sa *half duplex*-om, čvorišta na oba kraja linka mogu da šalju podatke, ali ne u isto vrijeme

6: Nivo linka 6-6

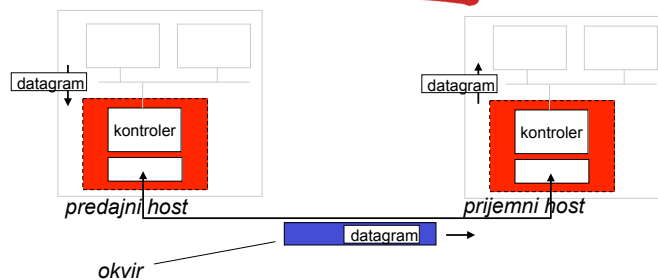
Gdje se implementira nivo linka?

- u svakom hostu, switchu, ruteru, ...
- mrežni adapter (*network interface card* NIC)
 - Ethernet kartica, PCMCIA kartica, 802.11 kartica
 - Implementira fizički nivo i nivo linka
- Povezan na sistemsku magistralu
- kombinacija hardware, software, firmware



6: Nivo linka 6-7

Komunikacija adaptera



- Predajna strana:
 - Pakuje datagram u frejm
 - U zaglavlju dodaje bite za provjeru greške, kontrolu protoka, pouzdani prenos
- Prijemna strana
 - Traži greške, kontrolira sekvencionalnost, ...
 - izvlači datagram, prosleđuje ga višem nivou prijemne strane

6: Nivo linka 6-8

Nivo linka

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

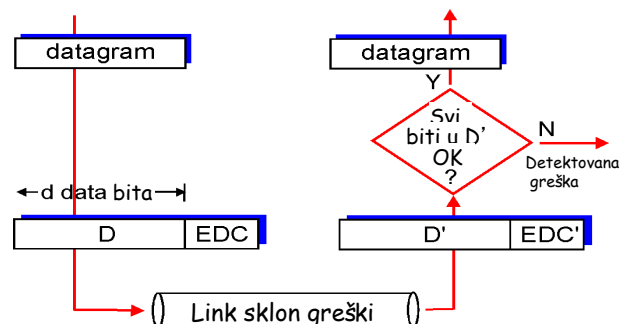
6: Nivo linka 6-9

Detekcija greške

EDC= Biti detekcije i korekcije greške (redundansa)

D = Podaci zaštićeni provjerom greške, mogu uključivati polja zaglavlja

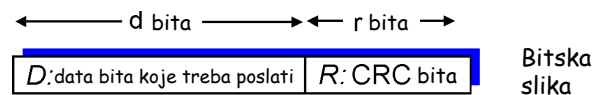
- Detekcija greške nije 100% pouzdana!
 - protokol može propustiti neke greške
 - veće EDC polje vodi boljoj detekciji i većoj mogućnosti korekcije



6: Nivo linka 6-10

Cyclic Redundancy Check

- data biti, D , kao binarni brojevi
- Izabere se $r+1$ bita dug generator, G
- cilj: izabrati R CRC bita, takvih da je
 - $\langle D, R \rangle$ tačno djeljivo sa G (po modulu 2)
 - Prijemniku je poznato G , dijeli $\langle D, R \rangle$ sa G . Ako ostatak nije nula: greška je detektovana!
 - Može detektovati sve grupe grešaka manje od $r+1$ bita
- Vrlo široka primjena u praksi (Ethernet,...)



$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

Matematička formula

6: Nivo linka 6-11

Nivo linka

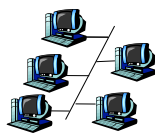
- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa, LAN-ovi
- MAC adresiranje
- Ethernet
- WiFi
- Switch

6: Nivo linka 6-12

Linkovi i protokoli višestrukog pristupa

Dva tipa "linkova":

- *point-to-point*
 - PPP (*Point to Point Protocol*) za dial-up pristup
 - *point-to-point* linkovi između *Ethernet switch*-a i hosta
- *broadcast* (zajednički medijum)
 - tradicionalni *Ethernet*
 - *upstream HFC*
 - 802.11 WLAN



Zajednički medijum
(npr. Ethernet)



Dijeljenje radio kanala
(npr. IEEE 802.11 WiFi)



Dijeljenje radio
kanala (Satelit)



Koktel zabava

6: Nivo linka 6-13

Protokoli višestrukog pristupa

- Jedan dijeljeni kanal
- Dva ili više simultanih prenosa izazivaju interferenciju
 - **kolizija** ako čvorište primi dva ili više signala u istom trenutku

Protokol višestrukog pristupa

- distribuirani algoritam koji utvrđuje kako čvorišta dijele kanal, odnosno koje čvorište može da šalje
- komunikacija oko dijeljenja kanala se prenosi preko samog kanala!
 - nema *out-of-band* kanala za koordinaciju

6: Nivo linka 6-14

Idealni protokol višestrukog pristupa

Difuzni kanal brzine prenosa R b/s

1. Kada čvorište želi da šalje, ono to može brzinom R.
2. Kada M čvorišta žele da šalju, svaki može da šalje prosječnom brzinom R/M
3. Potpuno decentralizovan:
 - nema specijalnog čvorišta za koordinaciju prenosa
 - nema sinhronizacije taktova, slotova
4. Jednostavan

6: Nivo linka 6-15

Podjela MAC (Medium Access Control) protokola

Tri široke klase:

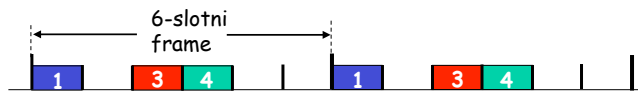
- **Dijeljenje kanala**
 - Podijeliti kanal na manje djelove (vremenske slotove, frekvenciju, kod)
 - Dodijeliti djelove kanala čvorištu na ekskluzivno korišćenje
- **Slučajan pristup**
 - Kanal se ne dodjeljuje, dozvoljava kolizije
 - "oporavak" od kolizija
- **"Uzimanje prava slanja"**
 - Čvorišta uzimaju pravo slanja. Čvorišta sa većim potrebama mogu uzimati pravo slanja više puta.

6: Nivo linka 6-16

MAC protokoli dijeljenja kanala: TDMA

TDMA: *time division multiple access*

- Pristup kanalu u vremenskim "ciklusima"
- Svaka stanica dobija slot fiksne džine (dužina = vremenu prenosa paketa) u svakom krugu
- Neiskorišćeni slotovi su slobodni
- LAN sa 6 stanica: 1,3,4 imaju paket, slotovi 2,5,6 su slobodni



- TDM (*Time Division Multiplexing*): kanal se dijeli na N vremenskih slotova, po jedan po korisniku; neefikasan za nisko opterećenje i korisnike koji kratko vrijeme zauzimaju resurse

6: Nivo linka 6-17

Protokoli slučajnog pristupa

- Kada čvorište ima paket za slanje
 - prenosi punom brzinom prenosa na kanalu R.
 - nema *a priori* koordinacije između čvorišta
- Dva ili više čvorišta šalje → "kolizija",
- **MAC protokol slučajnog pristupa** specificira:
 - Kako detektovati koliziju
 - Kako se oporaviti od kolizije (npr., preko zakašnjelih retransmisija)
- Primjeri ovih MAC protokola:
 - *slotted* ALOHA
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

6: Nivo linka 6-18

Slotted ALOHA

Pretpostavke

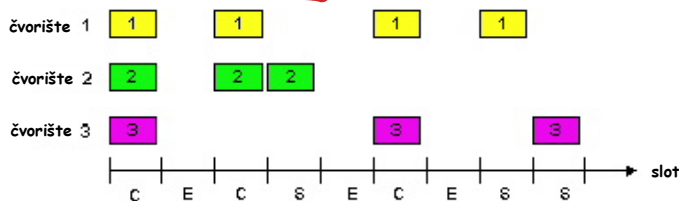
- Svi frejmovi iste veličine
- Vrijeme je podijeljeno u slotove jednakih dužina trajanja potrebnog za prenos jednog frejma
- Čvorišta počinju da šalju odmah na početku slota
- Čvorišta su sinhronizovana
- ako 2 ili više čvorišta šalju u slotu, sva čvorišta detektuju koliziju

Funkcionisanje

- Kada čvorište dobije novi frejm za slanje, šalje ga u narednom slotu
 - nema kolizije, čvorište može slati frejm u narednom slotu
 - Ako se desi kolizija, čvorište ponovo šalje frejm u svakom narednom slotu sa vjerovatnoćom p do uspjeha

6: Nivo linka 6-19

Slotted ALOHA



Za

- jedno aktivno čvorište može kontinualno slati punom brzinom kanala
- visoko decentralizovano: samo slotovi u čvorištima treba da budu sinhronizovani
- jednostavan

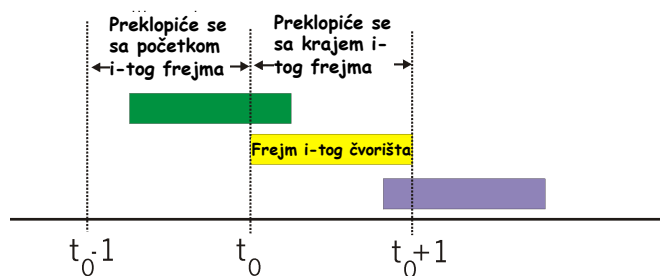
Protiv

- kolizije, gubitak slotova
- slobodni slotovi
- čvorišta moraju biti u mogućnosti da detektuju kolizije u kraćem vremenu od vremena prenosa paketa
- sinhronizacija takta

6: Nivo linka 6-20

Obična (unslotted) ALOHA

- unslotted Aloha: jednostavnija, nema sinhronizacije
- Kada se frejm kreira odmah se šalje
- Vjerovatnoća kolizije raste:
 - Frejm poslat u t_0 ulazi u koliziju sa ostalim frejmovima poslatim u $[t_0-1, t_0+1]$



6: Nivo linka 6-21

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: "slušaj prije nego pošalješ":

- Ako je kanal slobodan: šalji kompletan frejm
- Ako je kanal zauzet, odloži slanje
- Analogija: ne prekidaj nekog dok priča!

6: Nivo linka 6-22

CSMA kolizije

Kolizije se još uvijek mogu pojaviti:

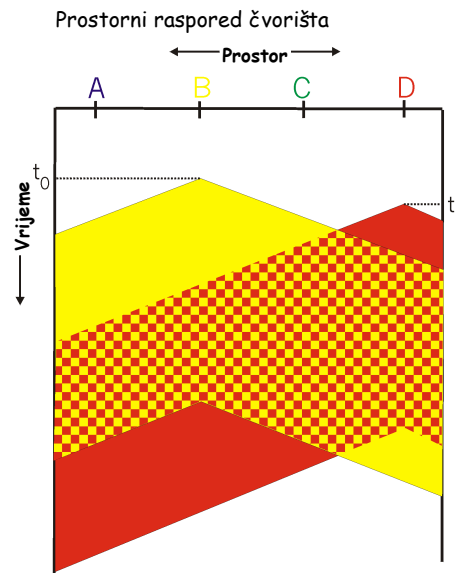
Propagaciono kašnjenje može izazvati da dva čvorišta ne čuju da je ono drugo aktivno

kolizije:

Čitavo vrijeme prenosa paketa je izgubljeno

napomena:

Uloga rastojanja & kašnjenja uslijed propagacije određuje vjerovatnoću kolizije

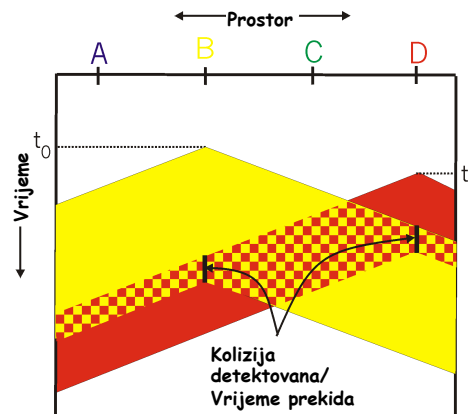


CSMA/CD (Collision Detection)

CSMA/CD: "oslušivanje prisustva nosioca"

- Detekcija kolizije u kratkom vremenu
- Prenosi u koliziji se prekidaju tako da se beskorisno korišćenje kanala smanjuje
- Detekcija kolizije:
 - Laka u žičnim LAN-ovima: mjerenje snage signala, upoređenje poslatih i primljenih signala
 - Teško u WLAN-ovima: prijemnik čuti dok se šalje
- analogija: ljubazna konverzacija

CSMA/CD detekcija kolizije



6: Nivo linka 6-25

MAC protokoli "Uzimanje prava"

MAC protokoli dijeljenja kanala:

- Dije kanal efikasno i fer pri visokim opterećenjima
- Neefikasni na niskim opterećenjima: kašnjenje u pristupu kanala, $1/N$ dio opsega je dodijeljen čak i ako je samo jedno čvorište aktivno!

MAC protokoli slučajnog pristupa

- Efikasni pri niskom opterećenju: jedno čvorište može koristiti kompletan kanal
- Visoko opterećenje: kolizija preovladava

Protokoli "uzimanja prava"

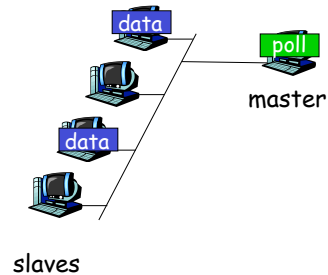
Traže najbolje iz oba prethodna slučaja!

6: Nivo linka 6-26

MAC protokoli "Uzimanje prava"

Polling:

- ❑ master čvorište "proziva" slave čvorišta da šalju
- ❑ problemi:
 - *polling* zaglavlje
 - kašnjenje
 - nepouzdanost zbog otkaza mastera

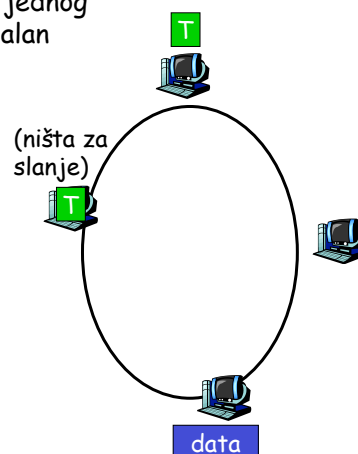


6: Nivo linka 6-27

MAC protokoli "Uzimanje prava"

Prosleđivanje tokena:

- ❑ Kontrolni token se prosleđuje od jednog čvorišta do drugog na sekvencionalan način.
- ❑ token poruke
- ❑ problemi:
 - token zaglavlje
 - kašnjenje
 - nepouzdanost zbog gubitka tokena



6: Nivo linka 6-28

Nivo linka

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

6: Nivo linka 6-29

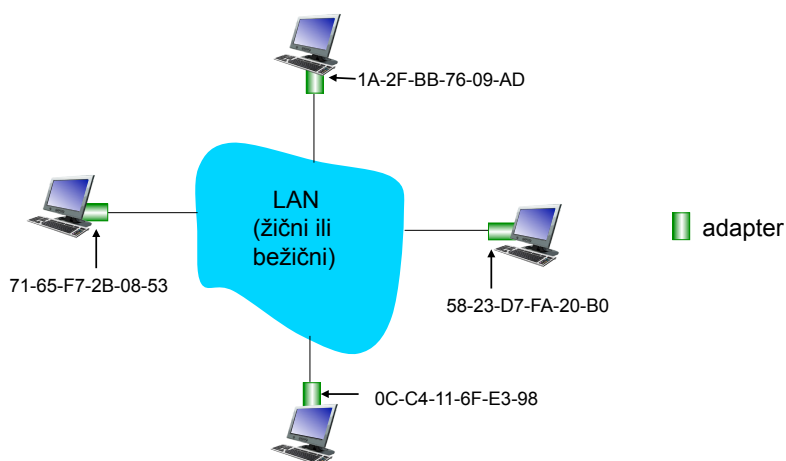
MAC adrese i ARP

- 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 prosljedio 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
 - npr: 1A-2F-BB-76-09-AD

6: Nivo linka 6-30

LAN adrese i ARP

Svaki adapter u LAN-u ima jedinstvenu **LAN** adresu



6: Nivo linka 6-31

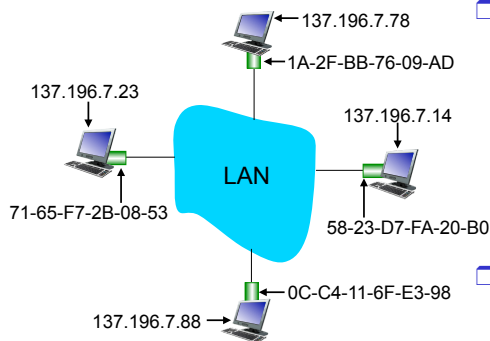
LAN adrese (više)

- 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

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)
- MSDOS komanda arp

6: Nivo linka 6-33

ARP protokol: isti LAN

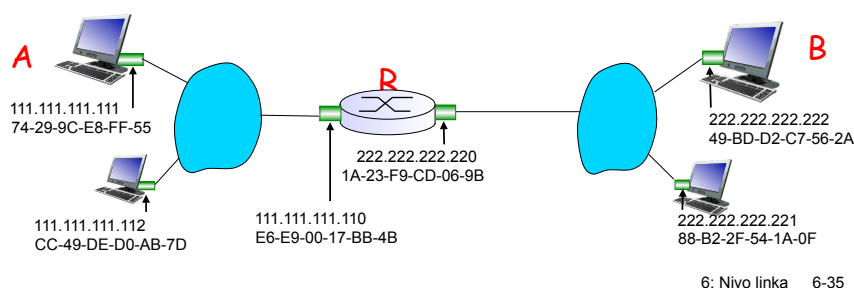
- A želi da pošalje datagram do B, a MAC adrese hosta B nema u ARP tabeli hosta A.
- A **broadcast-uje** ARP paket upita, koji sadrži IP adresu hosta B
 - Destinaciona MAC adresa = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Svi uređaji na LAN-u primaju ARP upit
- B prima ARP paket, odgovara A sa svojom MAC adresom
 - Frejm poslat prema MAC adresi hosta A (*unicast*)
- A čuva IP-to-MAC adresni par u svojoj ARP tabeli dok informacija ne zastari (*times out*)
 - *soft state*: informacija zastarijeva ako se ona u međuvremenu ne obnovi
- ARP je "*plug-and-play*":
 - čvorišta kreiraju svoje ARP tabele bez intervencije administratora mreže

6: Nivo linka 6-34

Adresiranje: rutiranje do druge LAN

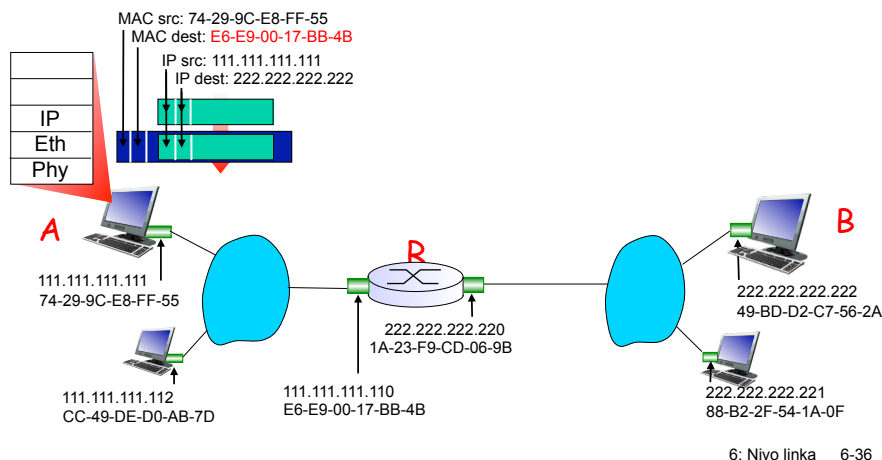
Zadatak: poslati datagram od A do B preko R

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



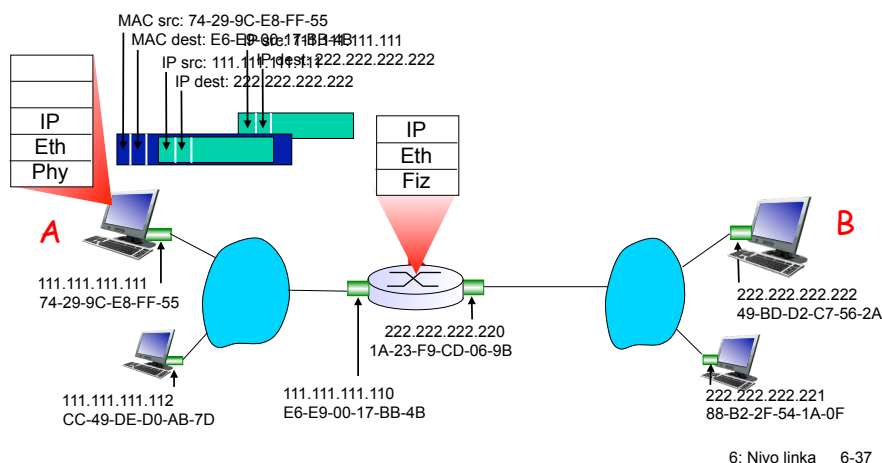
Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- ❖ A kreira IP datagram sa IP izvorišnom adresom A, destinacionom B
- ❖ A kreira frejm sa MAC adresom rutera R kao destinacijom, frejm sadrži od A do B IP datagram



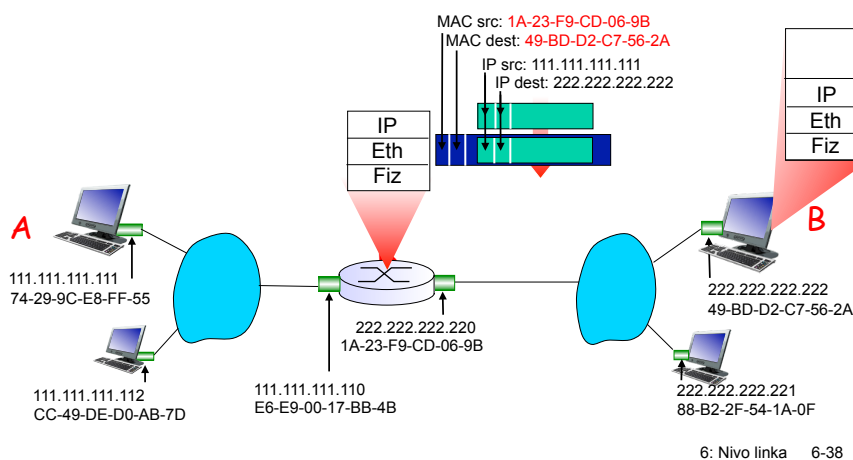
Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- ❖ Frejms poslat od A do R
- ❖ Frejm se prima na R, datagram se uklanja i prosleđuje IP



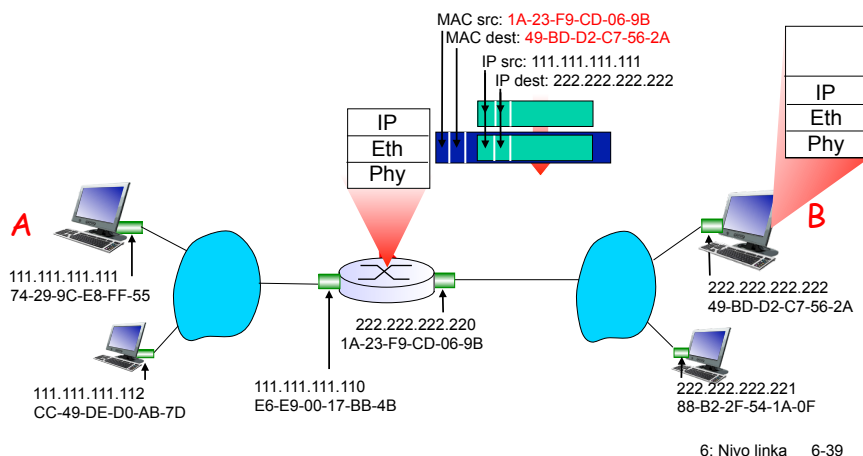
Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- ❖ R prosleđuje datagram sa IP izvorišnom adresom A, destinacijom B
- ❖ R kreira frejm nivoa linka sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži IP datagram od A za B



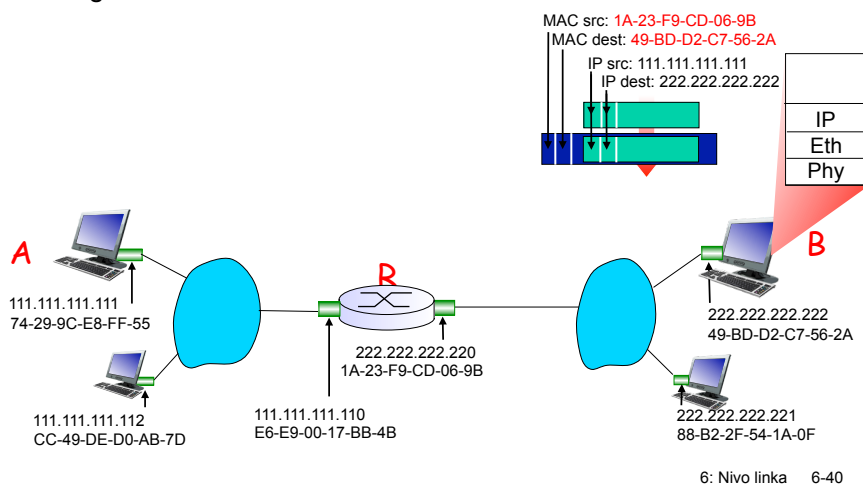
Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- ❖ R prosleđuje datagram sa izvorišnom IP adresom A, destinacijom B
- ❖ R kreira frejm sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži datagram od A do B



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 datagram od A do B



Nivo linka

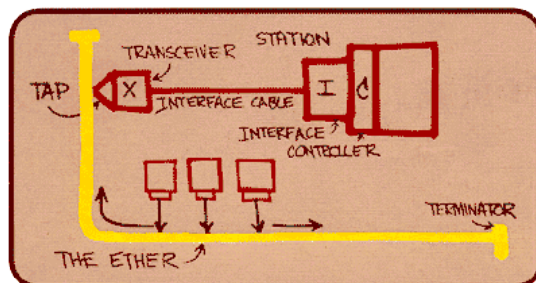
- Uvod, servisi
- Detekcija i korekcija greške
- Protokoli višestrukog pristupa, LAN-ovi
- MAC adresiranje
- Ethernet
- WiFi
- Switch

6: Nivo linka 6-41

Ethernet

“dominantna” žična LAN tehnologija:

- nekoliko € za 100Mb/s!
- Prva široko korišćena LAN tehnologija
- Jednostavnija, jeftinija od token LANova i ATM
- Široki opseg brzina prenosa: 10 Mb/s - 100 Gb/s

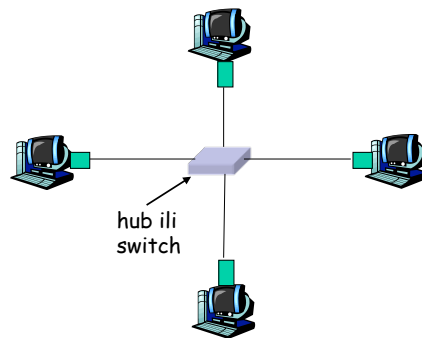


Metcalfe-ova skica Etherneta

6: Nivo linka 6-42

Topologija zvijezda

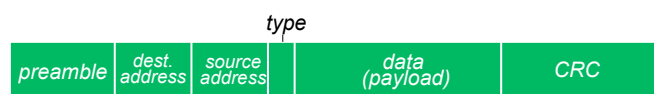
- Topologija magistrala je bila popularna devedesetih
- Sada topologija zvijezda preovlađuje
- Izbor čvorišta: hub ili switch



6: Nivo linka 6-43

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 6-44

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 (najčešće IPv4 (0800) i IPv6 (86DD), ali nekad i Novell IPX i AppleTalk)
- **CRC(4B):** provjera na prijemu, ako je detektovana greška, frejm se odbacuje (CCITT-32 CRC)

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



6: Nivo linka 6-45

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 6-46

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 6-47

Ethernet CSMA/CD algoritam

1. Adapter prima datagram & kreira frejm
2. Ako adapter osjeti slobodan kanal (u trajanju od 96 bita), počinje da šalje frejm. Ako osjeti da je kanal zauzet, čeka dok kanal oslobodi i 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, prekida 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 6-48

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

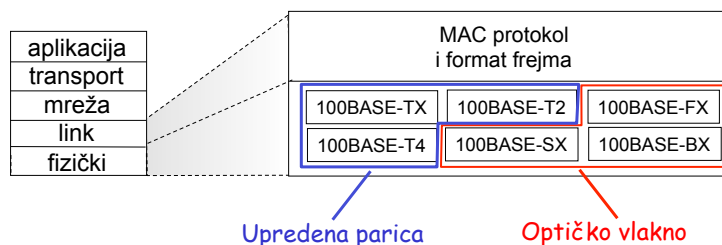
Eksponencijalni Backoff:

- **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: izaberi K iz {0,1,2,3}...
- Poslije deset kolizija, izaberi K iz {0,1,2,3,4,...,1023}
- Nakon 10 kolizija adapter odustaje!

6: Nivo linka 6-49

802.3 Ethernet Standardi: fizički nivo i nivo linka

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



6: Nivo linka 6-50

Fast Ethernet

Tabela IEEE 802.3 100 Mb/s Ethernet medium alternative

	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 10 Mb/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 6-51

Gigabit Ethernet

Tabela IEEE 802.3 1 Gb/s Gigabit Ethernet medium alternative

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

- Vrijeme slota povećano na 512 B
- Mali frejmovi moraju biti povećani na 512 B
- 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 6-52

10 Gigabit Ethernet

Tabela IEEE 802.3 10 Gb/s Ethernet medium alternative

	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
- ❑ W- WAN fizički nivo za primjenu korišćenjem SONET OC-192c
- ❑ Intenzivna primjena u gradskim mrežama

6: Nivo linka 6-53

40GEthernet i 100GEthernet

- ❑ IEEE 802.3-15
- ❑ Identičan format Ethernet frame 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 100 Gb/s

Physical layer	40 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet
Backplane		100GBASE-KP4
Improved Backplane	40GBASE-KR4	100GBASE-KR4
7 m over twinax 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 6-54

Nivo linka

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

6: Nivo linka 6-55

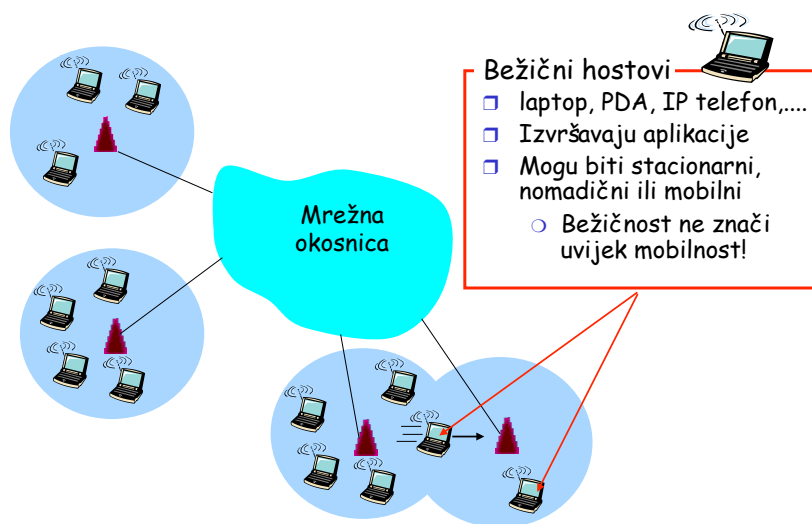
WiFi

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 mobilnost uz veliku brzinu prenosa.
- Obzirom na veliku zainteresovanost tržišta primijeniti trenutno najmodernija i najbolja tehnološka rješenja.

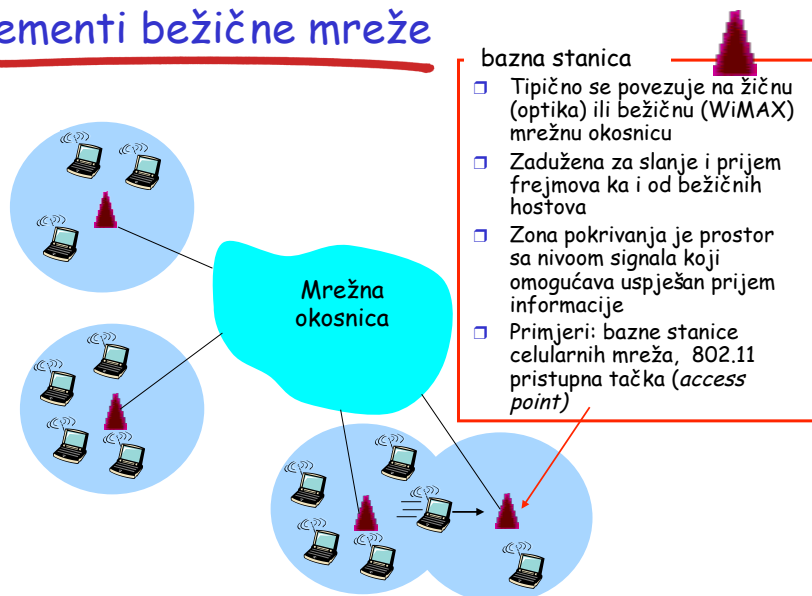
6: Nivo linka 6-56

Elementi bežične računarske mreže



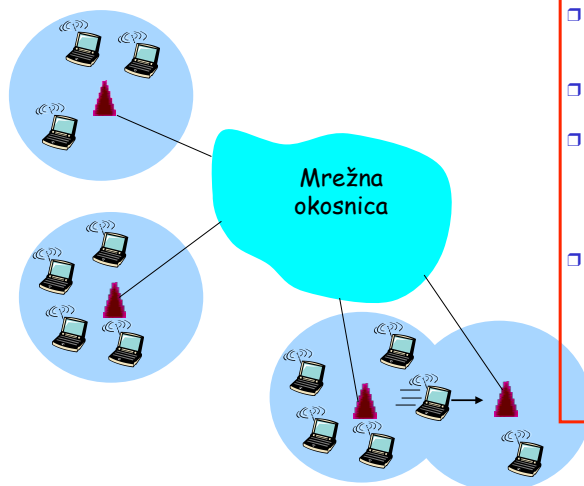
6: Nivo linka 6-57

Elementi bežične mreže



6: Nivo linka 6-58

Elementi bežične računarske mreže

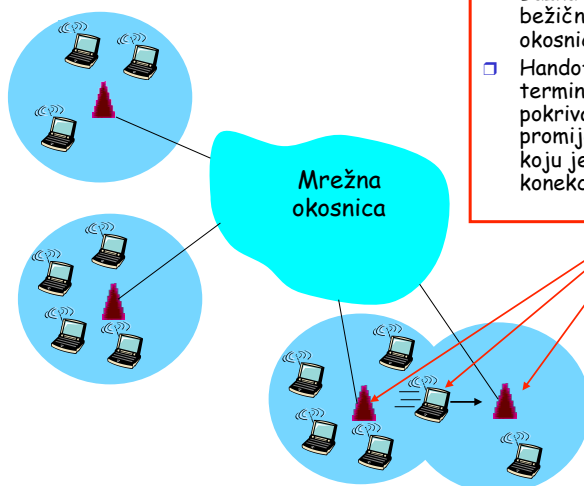


bežični link

- Vrsta prenosnog medijuma kojima se hostovi povezuju na pristupnu tačku
- Može se koristiti i za linkove na okosnici
- Više uređaja može istovremno zahtijevati zauzimanje bežičnog linka tako da je neophodan protokol kontrole višestrukog pristupa
- Bežični linkovi se razlikuju prema:
 - Korišćenim opsezima
 - Modulacijama
 - Tehnikama kodiranja
 - Brzinama prenosa
 - Dometom...

6: Nivo linka 6-59

Elementi bežične mreže

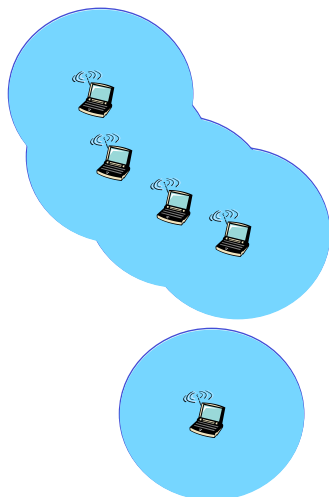


infrastrukturni mod

- Bazna stanica povezuje bežične terminale na mrežnu okosnicu
- Handoff (handover): mobilni terminal koji napušta zonu pokrivanja bazne stanice mora promijeniti baznu stanicu na koju je povezan bez prekida konekcije

6: Nivo linka 6-60

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 6-61

Elementi bežične mreže

	jedan hop	multiple hop-ovi
infrastrukturne (npr. AP)	host se povezuje na baznu stanicu (WiFi, WiMAX, 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 6-62

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!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

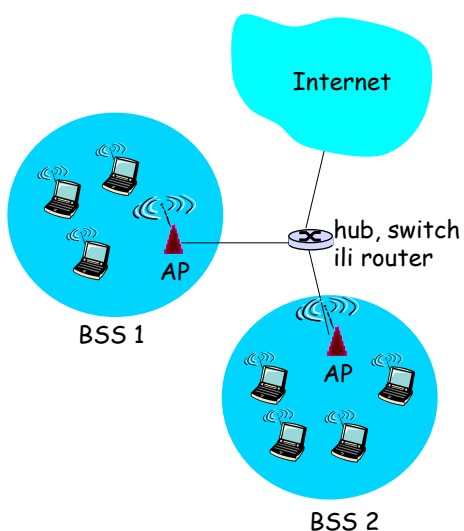
6: Nivo linka 6-63

IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN,WiFi) standardi

- **802.11b**
 - Ratifikovan 1999
 - 2.4-2.5 GHz nelicencirani opseg
 - Širina kanala 20MHz
 - Kapacitet do 11 Mb/s (dijeljeno između korisnika)
 - Domet 38m (unutar objekta) - 140m (van objekta)
 - Domet 5000m (van objekta) ako se koristi licencirani opseg 3.7GHz (SAD)
 - Stvarni kapacitet 6.5Mb/s
 - DSSS (*direct sequence spread spectrum*) na fizičkom nivou
- **802.11a**
 - Ratifikovan 1999
 - Nelicencirani opseg 5.75-5.875 GHz
 - Širina kanala 20MHz
 - Domet 35m (unutar objekta) - 120m (van objekta)
 - Dijeljeni kapacitet do 54 Mb/s (stvarni kapacitet do 25Mb/s)
 - OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*)
- **802.11g**
 - Ratifikovan 2003
 - 2.4-2.5 GHz nelicencirani opseg
 - Širina kanala 20MHz
 - Dijeljeni kapacitet do 54 Mb/s (stvarni kapacitet do 25Mb/s)
 - Domet 35m (unutar objekta) - 120m (van objekta)
 - OFDM ili DSSS
- **802.11n**
 - Ratifikovan 2009
 - 2.4-2.5 GHz i/ili 5.75-5.875 GHz nelicencirani opsezi
 - Širina kanala 20 ili 40 Mhz
 - Dijeljeni kapacitet do 600Mb/s (stvarni ispod 200Mb/s)
 - Domet 70m (unutar objekta) - 250m (van objekta)
 - OFDM
 - MIMO (multiple input multiple out)
 - 4 toka podataka istovremeno
- Svi koriste CSMA/CA tehniku za kontrolu višestrukog pristupa
- Infrastrukturni ili ad-hoc mod

6: Nivo linka 6-64

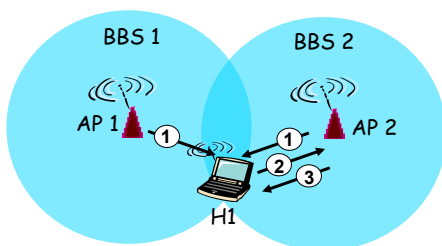
802.11 LAN arhitektura



- 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

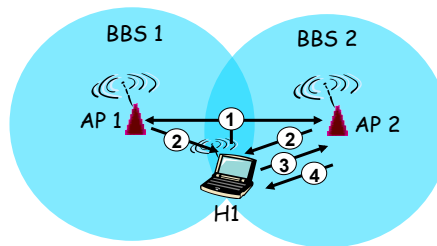
6: Nivo linka 6-65

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



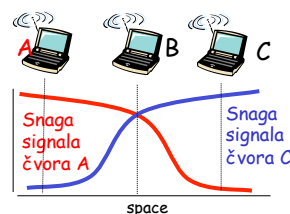
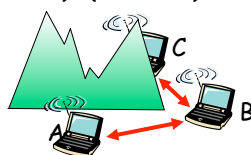
Aktivno skeniranje:

- (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 6-66

IEEE 802.11: višestruki pristup

- ❑ *avoid collisions* - izbjegavanje kolizije koja nastaje kada 2 i više čvorišta emituju
- ❑ 802.11: CSMA - oslušivanje 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/CA (Collision Avoidance)



6: Nivo linka 6-67

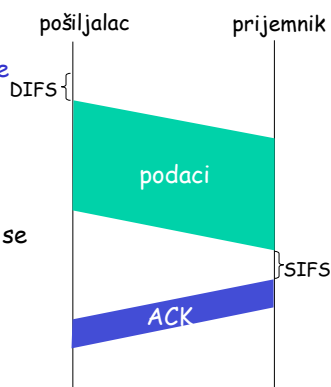
IEEE 802.11 MAC Protokol: CSMA/CA

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 6-68

Izbjegavanje kolizije (više)

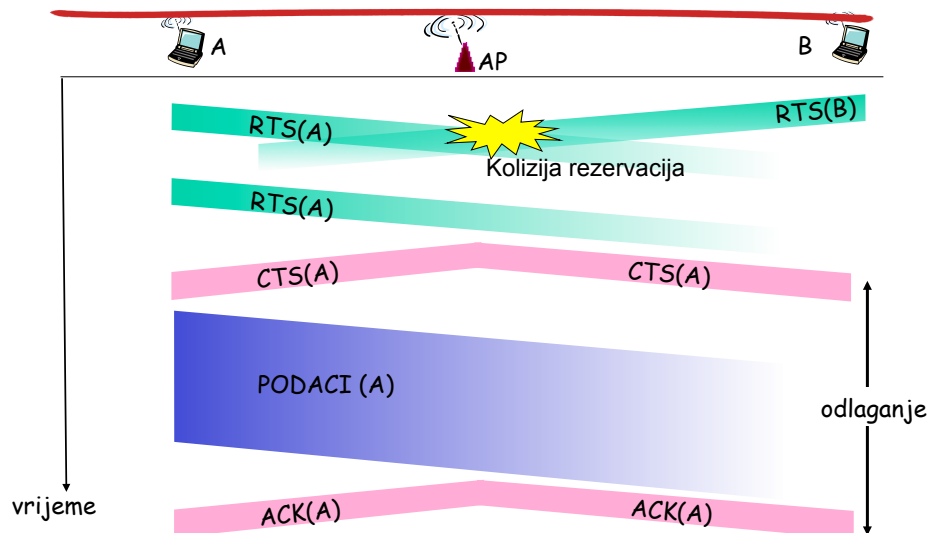
IDEJA! dozvoliti korisniku da “rezerviše” kanal duže nego što mu je potrebno za slanje jednog frejma: izbjeći kolizije za velike frejmove

- 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 korsiti samo onaj pošiljalac kojemu je namijenjen
 - Pošiljalac počinje slanje frejma sa podacima
 - Druge stanice ne šalju

Korišćenjem malih rezervacionih frejmova izbjegava se kolizija velikih frejmova !

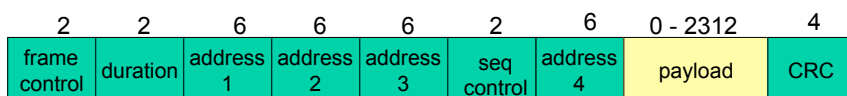
6: Nivo linka 6-69

Izbjegavanje kolizije: razmjena RTS-CTS



6: Nivo linka 6-70

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

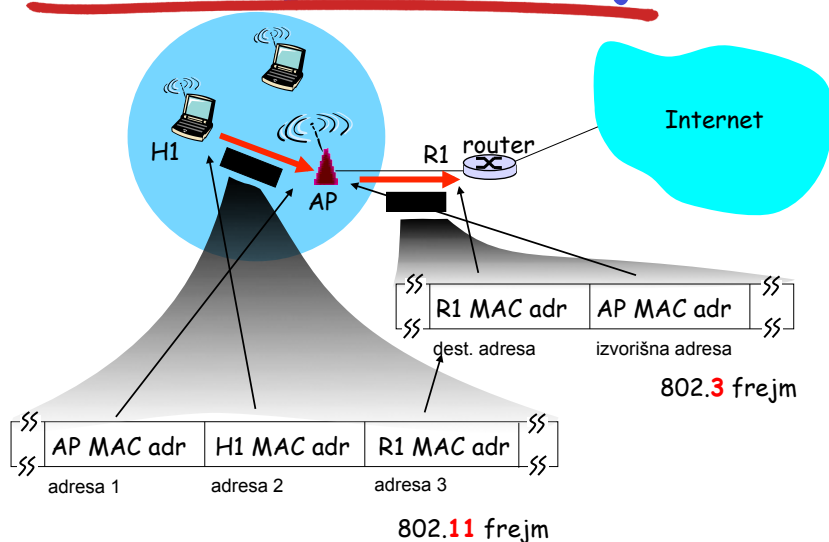
Adresa 3: MAC adresa interfejsa uređaja okosnice na koji je AP povezan

Adresa 4: samo se koristi u ad hoc modu

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

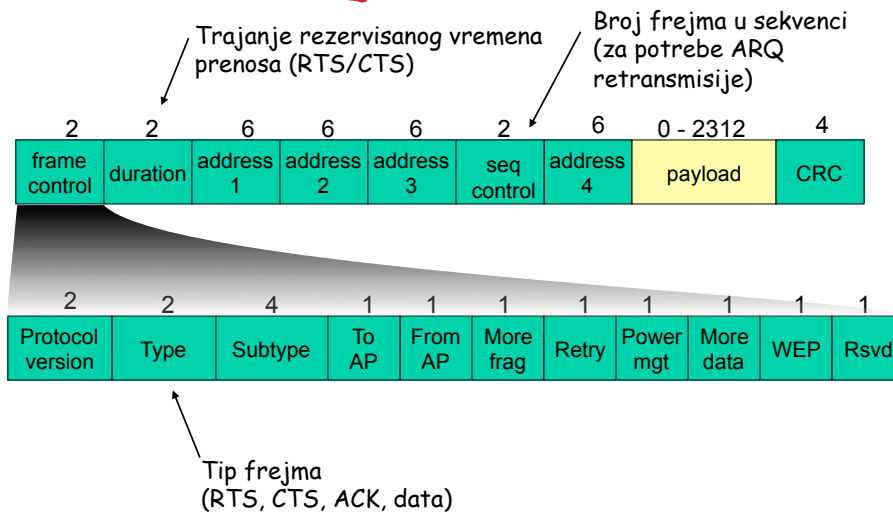
6: Nivo linka 6-71

802.11 frejm: adresiranje



6: Nivo linka 6-72

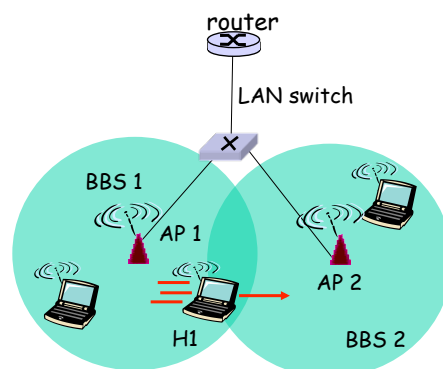
802.11 frejm



6: Nivo linka 6-73

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

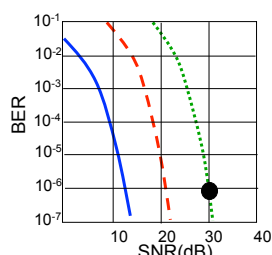
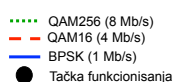


6: Nivo linka 6-74

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 6-75

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 6-76

Nivo linka

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

6: Nivo linka 6-77

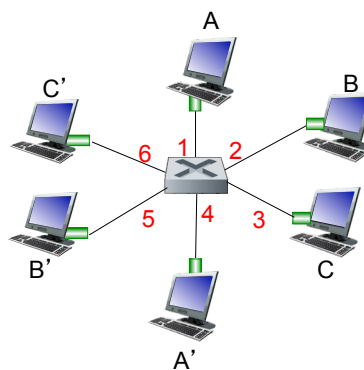
Ethernet switch

- Uređaj nivoa linka
 - Prihvata i prosleđuje Ethernet frejmove
 - Ispituje zaglavlje frejma i **selektivno** prosleđuje frejm na bazi MAC destinacione adrese
 - Kada se frejm prosleđuje na lokalnu mrežu, koristi se CSMA/CD za pristup lokalnoj mreži
- Transparento
 - Hostovi ne osjećaju prisustvo switch-e-va
- Plug-and-play, samouki
 - Switch-evi ne moraju da se konfiguriraju

6: Nivo linka 6-78

Switch: više istovremenih prenosa

- Hostovi su direktno povezani na switch
- Switchevi baferuju frejmove
- Ethernet protokol se koristi na interfejsima ali nema kolizije zbog full duplexa
 - Svaki link je poseban kolizioni domen
- **komutacija**: od A do A' i od B do B' se prenos obavlja simultano bez kolizija



Komutator sa 6 interfejsa (1,2,3,4,5,6)

6: Nivo linka 6-79

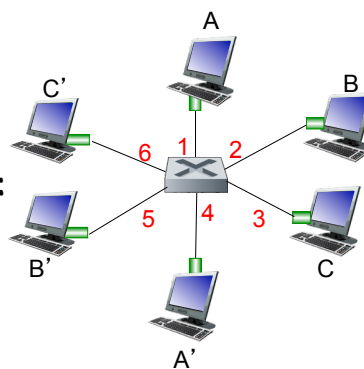
Switch forwarding table

Kako switch zna da se A' može doseći preko interfejsa 4, a B' preko interfejsa 5?

- ❖ Svaki switch ima **tabelu prosleđivanja**, koja sadrži:
 - (MAC adresu hosta, identifikator interfejsa preko kojeg se može doseći, time stamp)
 - Liči na tabelu rutiranja!

Kako se kreira ova tabela?

- Nešto slično protokolu rutiranja?

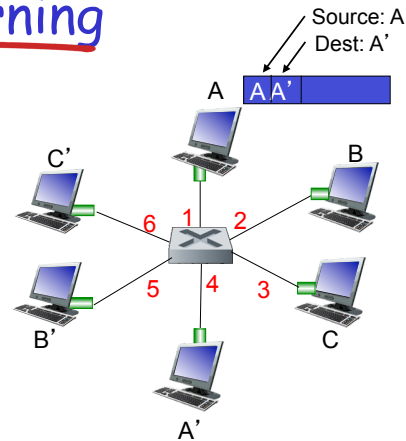


switch sa 6 interfejsa (1,2,3,4,5,6)

6: Nivo linka 6-80

Switch: self-learning

- switch *uči* koji hostovi se mogu doseći preko kojih interfejsa
 - Kada frejm stigne, switch “nauči” lokaciju pošiljaoca
 - Upisuje par pošiljalac/lokacija u tabelu



MAC addr	interface	TTL
A	1	60

Tabela prosleđivanja
(prazna na početku)

6: Nivo linka 6-81

Switch: filtriranje/prosleđivanje frejma

Kada switch primi frejm:

Indeksira tabelu komutiranja koristeći MAC
destinacionu adresu

if je sadržaj pronađen za destinaciju
then{

if destinacija na mreži sa koje je došao frejm
 then odbaci frejm

else proslijedi frejm na odgovarajući interfejs

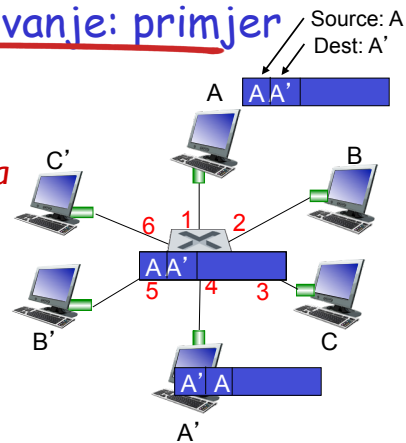
}

else šalji na sve mreže, sem na onu odakle je frejm
stigao

6: Nivo linka 6-82

Self-learning, prosleđivanje: primjer

- Destinacija frejma, A', nepoznata: *Šalji svima*
- ❖ Destinacija frejma A: poznata *selektivno šalji na jedan link*



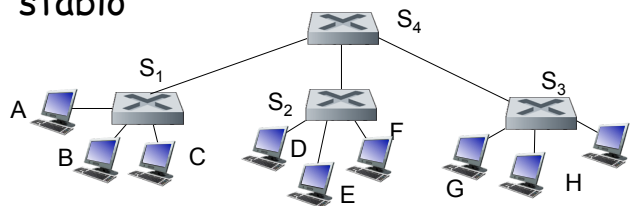
MAC adr.	interfejs	TTL
A	1	60
A'	4	60

Tabela

6: Nivo linka 6-83

Povezivanje switcheva

- ❖ Switchevi se povezuju u mreže topologije stablo



Slanje od A do G - kako S₁ zna da proslijedi frejm adresiran za G preko S₄ i S₃?

- ❖ Self learning! (na isti način kao za jedan switch!)

6: Nivo linka 6-84