

UNIVERZITET CRNE GORE  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

# **RAČUNARSKE MREŽE**

NASTAVNIK: DOC. DR UGLJEŠA UROŠEVIĆ  
ugljesa@ucg.ac.me

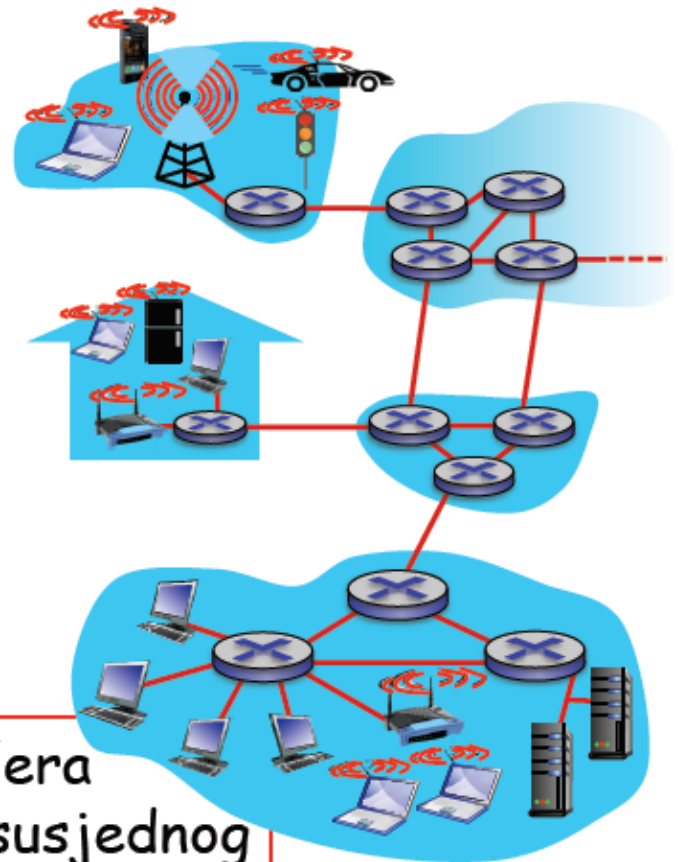
SARADNIK: MR KOSTA PAVLOVIĆ  
kosta@ucg.ac.me

Nivo linka

# 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

# 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

- 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?

# Servisi nivoa linka (više)

## ❑ *Kontrola protoka:*

- Podešavanje brzina rada susjednih čvorišta

## ❑ *Detekcija greške:*

- Greške izazvane slabljenjem signala, šumom.
- Prijemnik detektuje prisustvo grešaka:
  - Signalizira pošiljaocu da odradi retransmisiju i odbacuje frejm

## ❑ *Korekcija greške:*

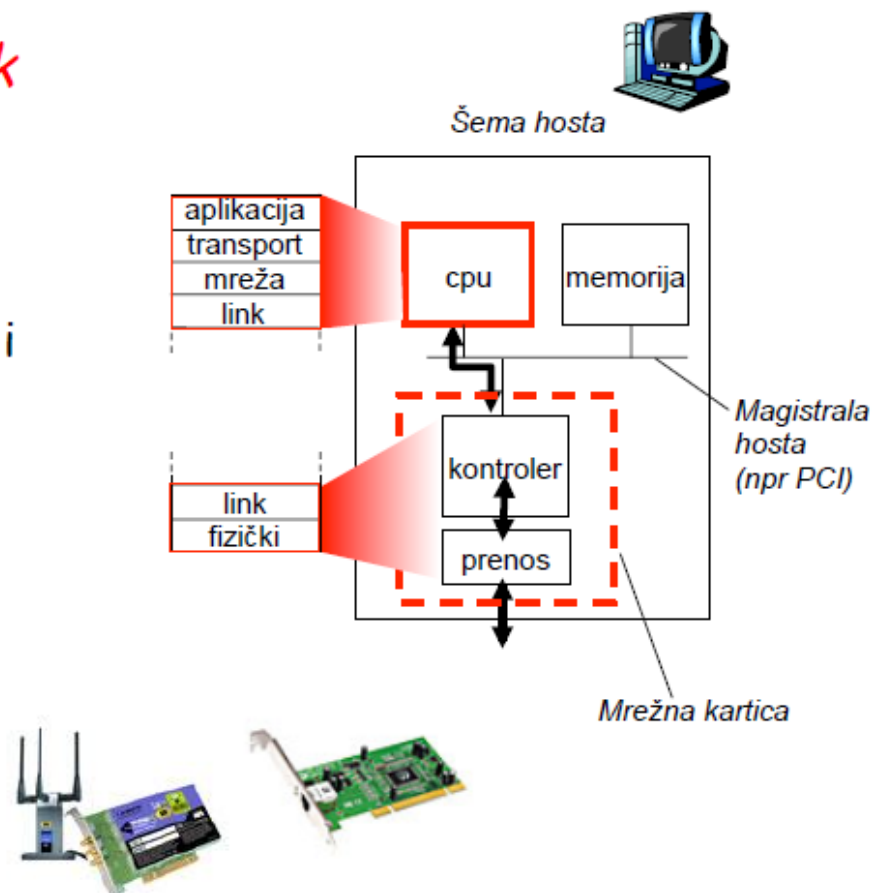
- Prijemnik identifikuje i *koriguje* greške na bit(ima) bez ponovnog sortiranja ili retransmisije

## ❑ *Half-duplex i full-duplex*

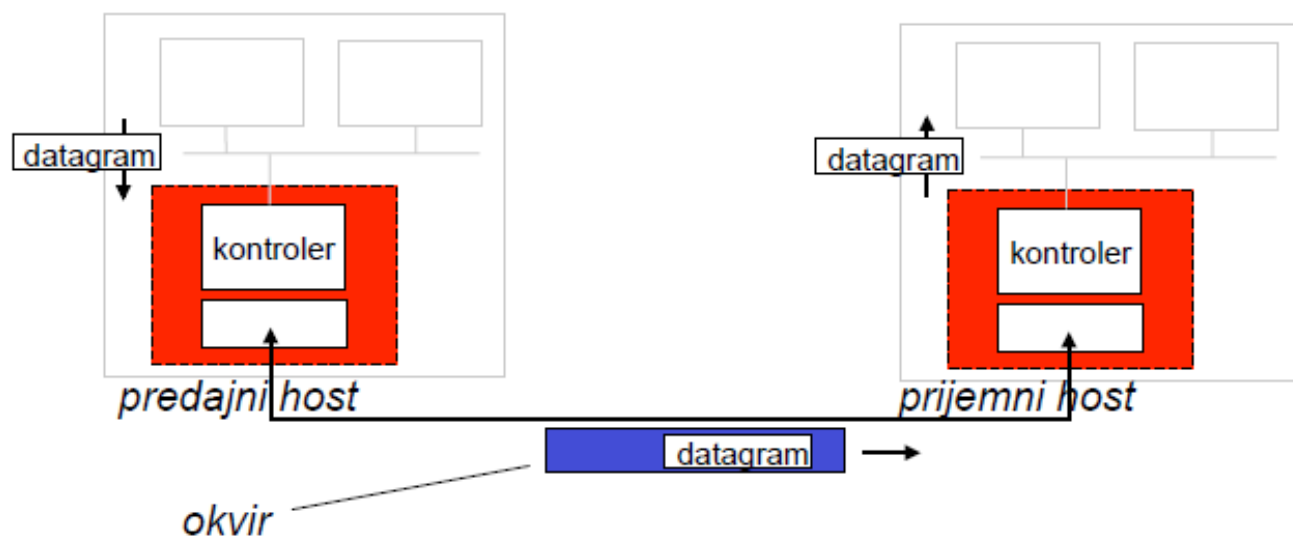
- sa *half duplex*-om, čvorišta na oba kraja linka mogu da šalju podatke, ali ne u isto vrijeme

# Gdje se implementira nivo linka?

- ❑ u svakom hostu
- ❑ 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



# 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

# Detekcija greške

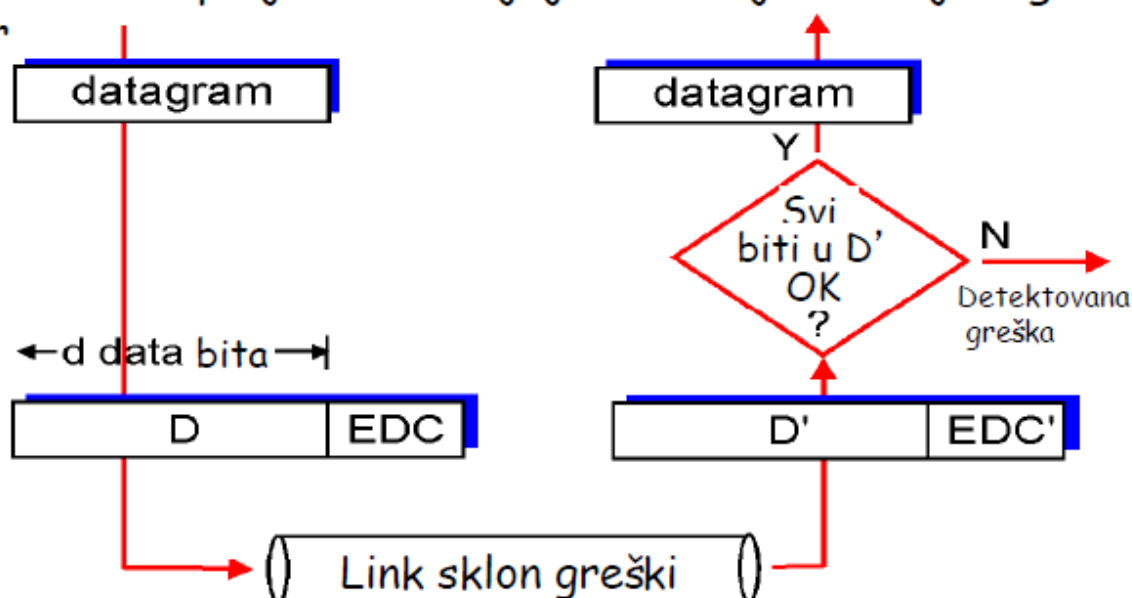
EDC= Biti detekcije i korekcije greške (redundansa)

D = Podaci zaštićeni provjerom greške, mogu uključivati polja zaglavlja

EDC - error detection and correction

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

kor

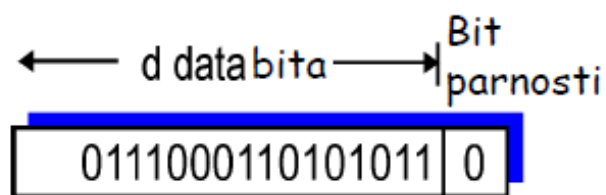




# Provjera parnosti

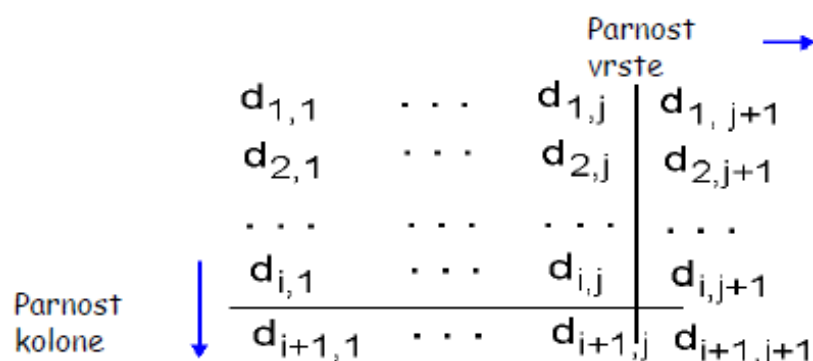
## Jedan bit parnosti:

Detektuje pojedinačne greške



## Dvodimenzionalni bit parnosti:

Detektuje i koriguje pojedinačne greške



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Nema greške

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Greška  
parnosti

Jednostruka greška  
koja se može ispraviti

# Internet checksum-a

Cilj: detektovati “greške” u prenešenom segmentu  
(napomena: koristi se *samo na transportnom I mrežnom nivou*)

## Pošiljalac:

- Tretira sadržaje segmenta kao sekvencu 16-bitnih prirodnih brojeva
- checksum: sabiranje (prvi komplement) sadržaja segmenta
- Pošiljalac upisuje vrijednost checksum u UDP checksum polju

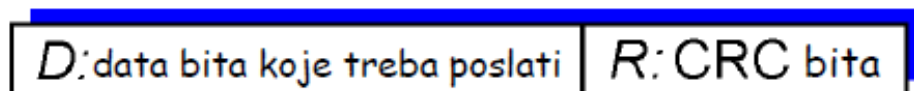
## Prijemnik:

- Izračunava checksum-u primljenog segmenta
- Provjeri da li je izračunata checksum-a jednaka nizu od 16 jedinica:
  - NE - detektovana greška
  - DA - nije detektovana greška. Ali šta ako greška ipak postoji?

# Cyclic Redundancy Check

- data biti,  $D$ , kao binarni brojevi
- Izabere se  $r+1$  bita dug generator,  $G$
- cilj: izabrati  $r$  CRC bita,  $R$ , 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, WiFi, ATM,...)

← d bita → ← r bita →



Bitska  
slika

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

Matematička  
formula

# 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)



Satelit



Koktel zabava

# 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

# 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

## Podjela MAC (Medium Access Control) protokola

Tri široke klase:

### ❑ Dijeljenje kanala

- Podijeliti kanal na manje “djeliće” (vremenske slotove, frekvenciju, kod)
- Dodijeliti djeliće čvorištu na ekskluzivno korišćenje

### ❑ Slučajan pristup

- Kanal se ne dodjeljuje, dozvoljava kolizije
- “oporavak” od kolizija

### ❑ “Uzimanje prava slanja”

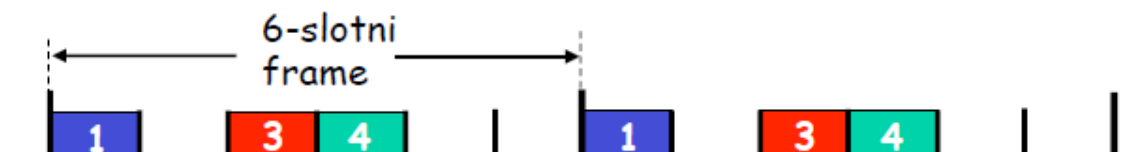
- Čvorišta uzimaju pravo slanja. Čvorišta sa većim potrebama mogu uzimati pravo slanja više puta.



# MAC protokoli dijeljenja kanala: TDMA

## *TDMA: time division multiple access*

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



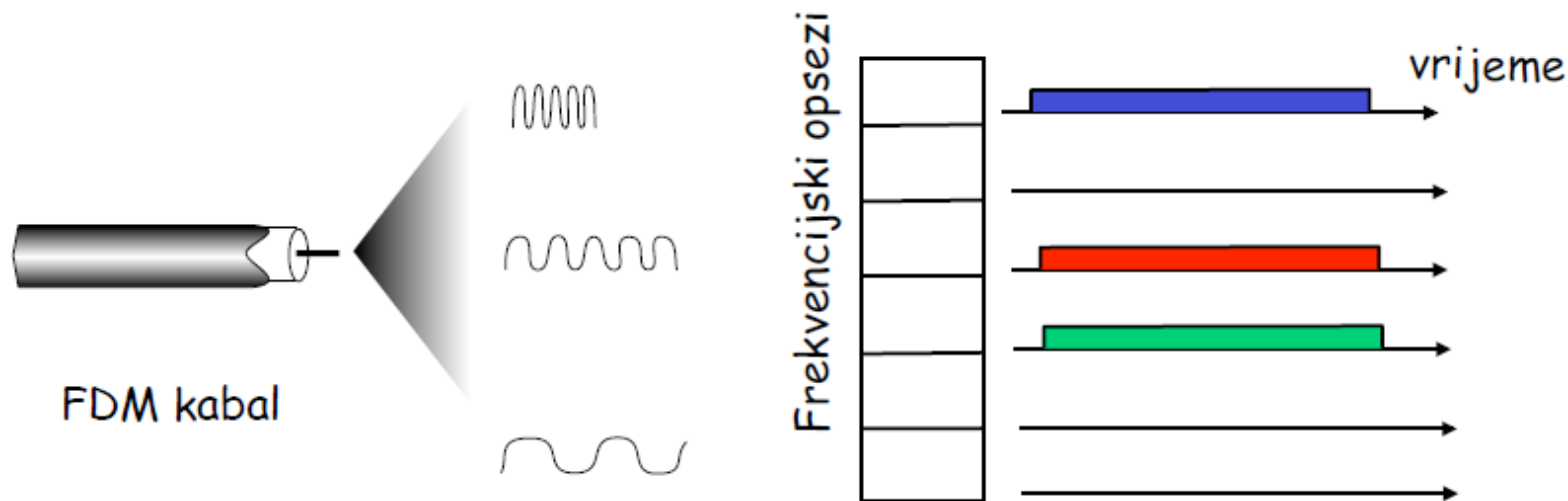
- ❑ TDM (*Time Division Multiplexing*): kanal se dijeli na N vremenskih slotova, po jedan po korisniku; neefikasan za nisko opterećenje i korisnike koji kratko vrijeme zauzimaju resurse



# MAC protokoli dijeljenja kanala: FDMA

*FDMA: frequency division multiple access*

- Opseg kanala se dijeli na podopsege (kanale)
- Svakoj stanici se dodjeljuje fiksni podopseg
- Neiskorišćeno vrijeme prenosa, podopseg je slobodan
- Primjer: LAN sa 6 stanica, 1,3,4 imaju paket, podopsezi 2,5,6 su slobodni



# Protokoli slučajnog pristupa

- ❑ Kada čvorište ima paket za slanje
  - prenosi čitavom 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

# Slotted ALOHA

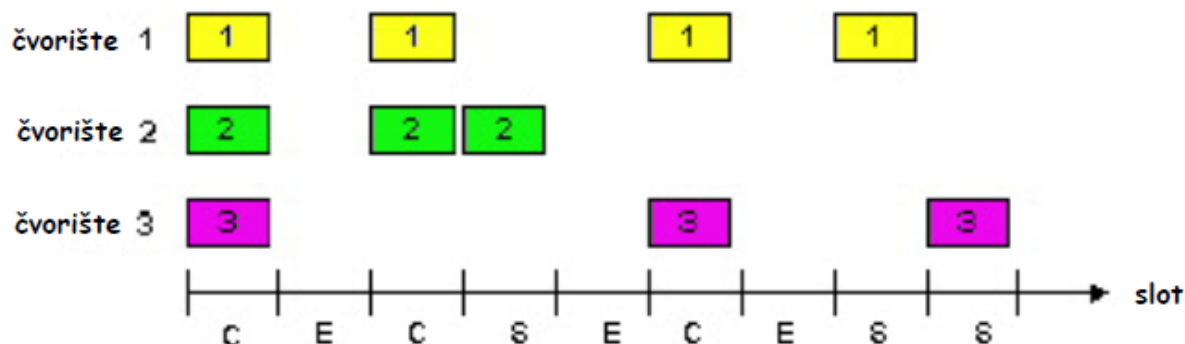
## Pretpostavke

- ❑ Svi frejmovi iste veličine
- ❑ Vrijeme je podijeljeno u slotove jednakih dužina trajanja potrebnog za prenos jednog frejma
- ❑ Čvorišta počinju da šalju odmah na početku slotu
- ❑ 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

# Slotted ALOHA



## Za

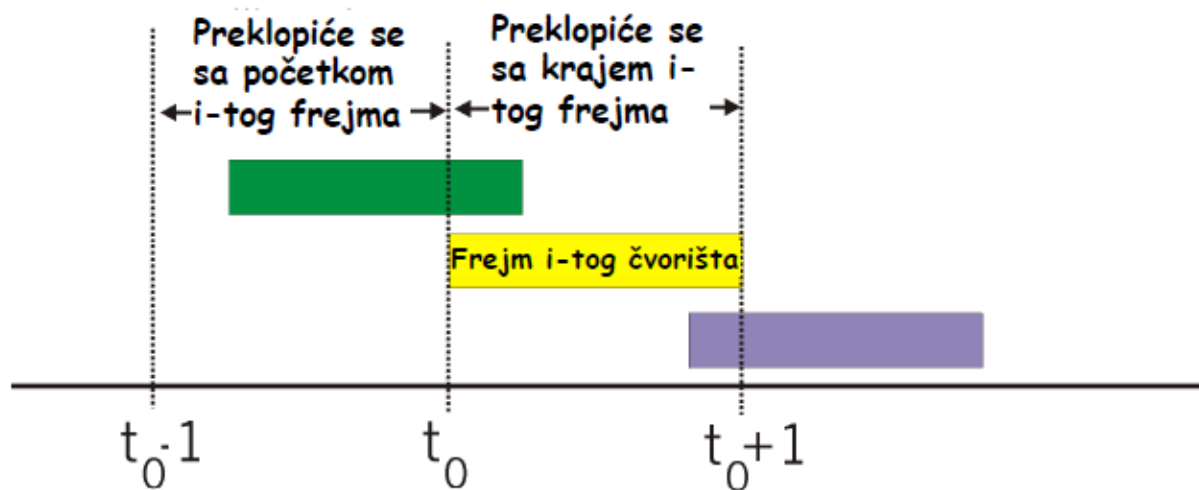
- jedno aktivno čvorište može kontinualno slati punom brzinom kanala
- visoko decentralizovano: samo slotovi u čvorištima treba da budu sinhronizovani
- jednostavan

## Protiv

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

# Obična (*unslotted*) ALOHA

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



## 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 prekidaš nekog dok priča!

# CSMA kolizije

Kolizije se još uvijek mogu pojaviti:

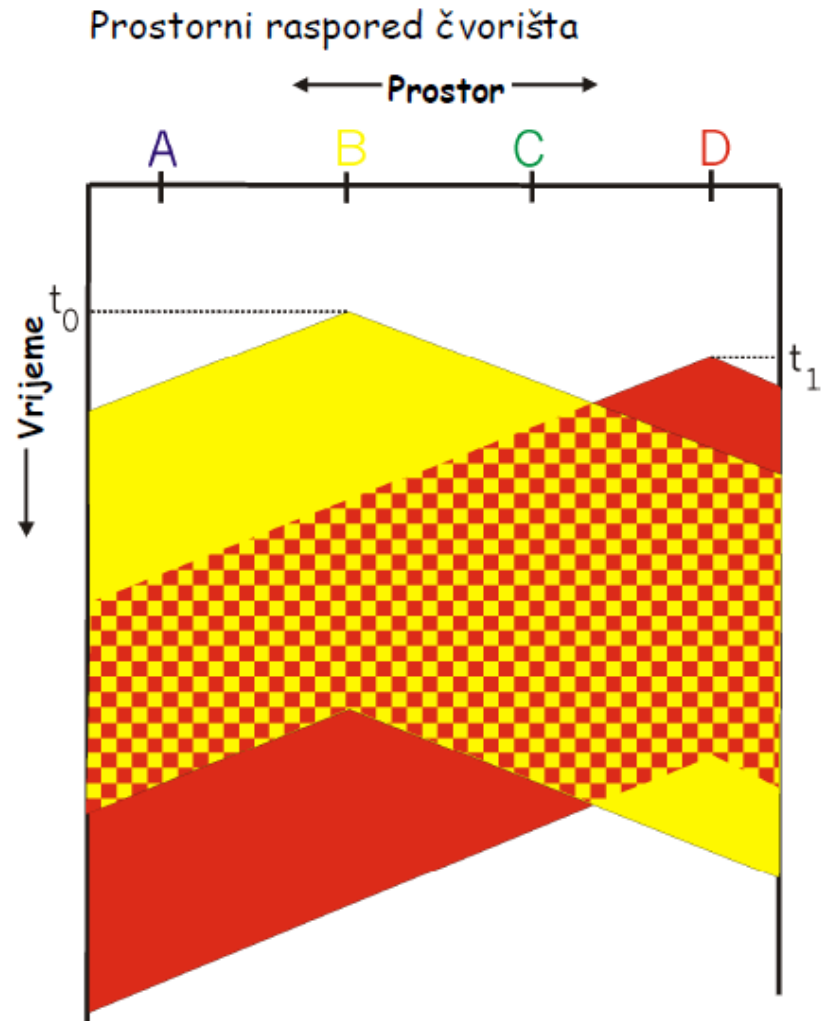
Propagaciono kašnjenje može izazvati da dva čvorišta ne čuju da je ono drugo aktivno

**kolizije:**

Čitavo vrijeme prenosa paketa je izgubljeno

**napomena:**

Uloga rastojanja & kašnjenja uslijed propagacije određuje vjerovatnoću kolizije



## CSMA/CD (Collision Detection)

**CSMA/CD:** "osluškivanje prisustva nosioca"

- Detekcija kolizije u kratkom vremenu
- Prenosi u koliziji se prekidaju tako da se beskorisno korišćenje kanala smanjuje

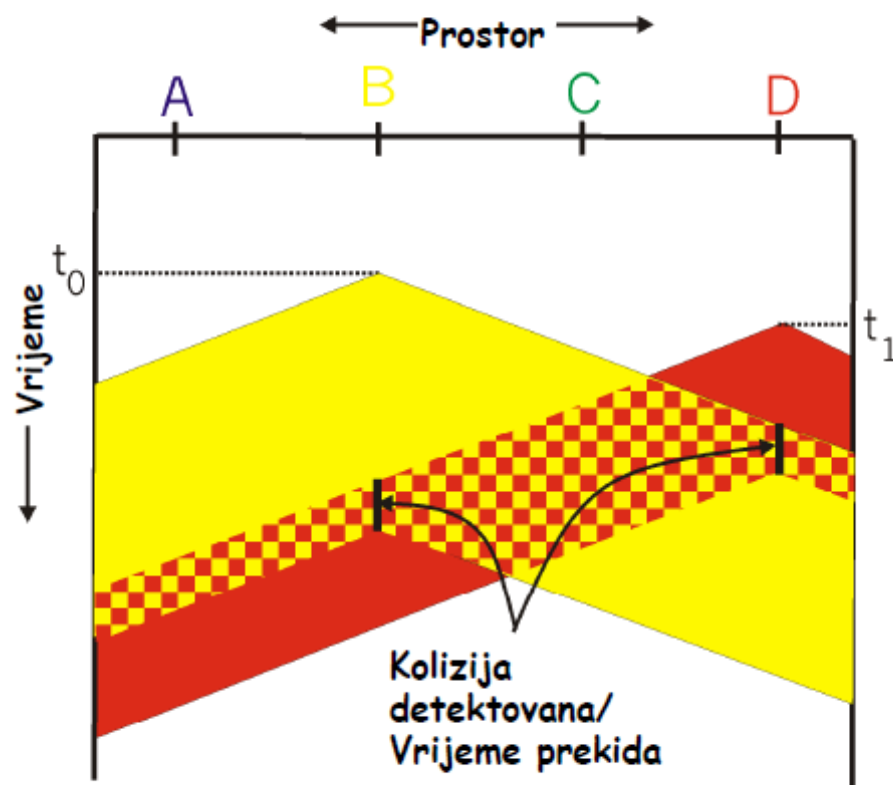
### □ Detekcija kolizije:

- 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



# MAC protokoli “Uzimanje prava”

## MAC protokoli dijeljenja kanala:

- Dije le 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

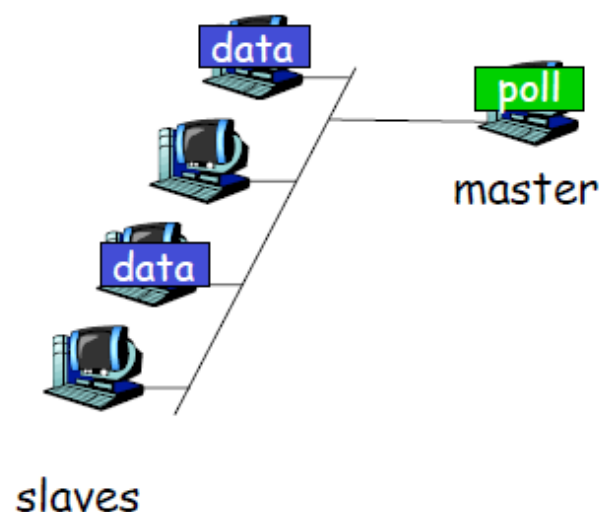
## Protokoli “uzimanja prava”

Traže najbolje iz oba prethodna slučaja!

# MAC protokoli “Uzimanje prava”

## *Polling:*

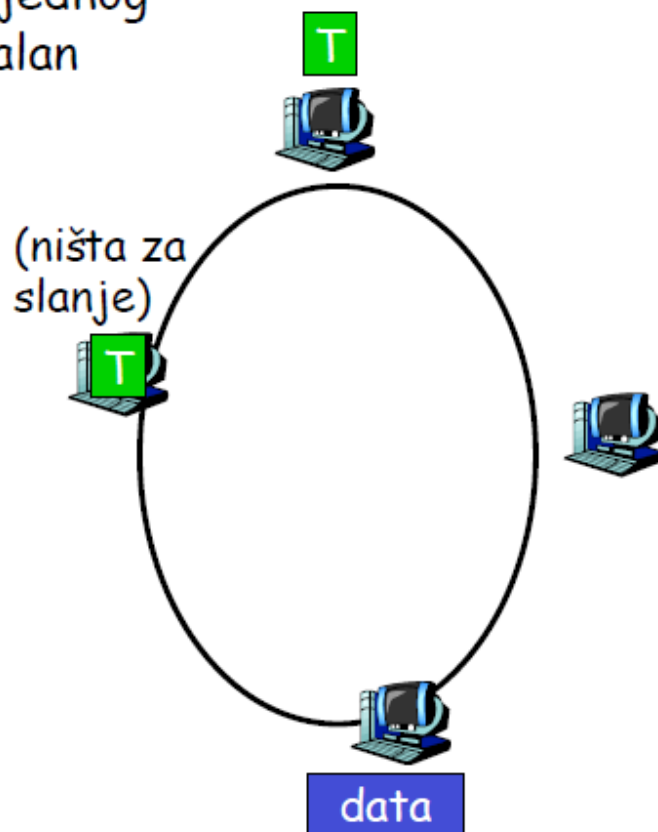
- ❑ master čvorište “proziva” slave čvorišta da šalju
- ❑ problemi:
  - *polling* zaglavlje
  - kašnjenje
  - nepouzdanost zbog otkaza mastera



# 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

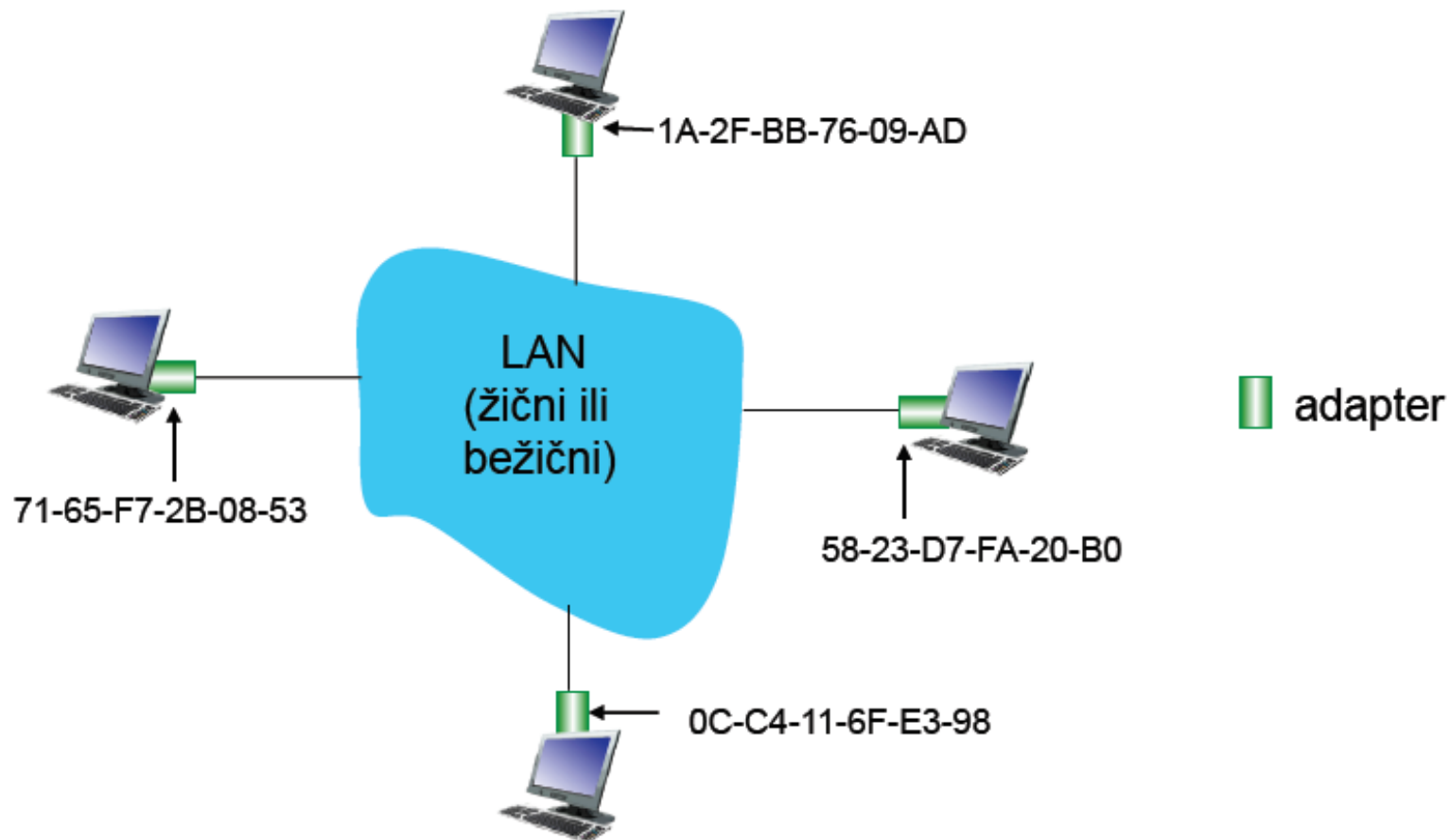


# MAC adrese i ARP

- ❑ 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
  - npr: 1A-2F-BB-76-09-AD

# LAN adrese i ARP

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

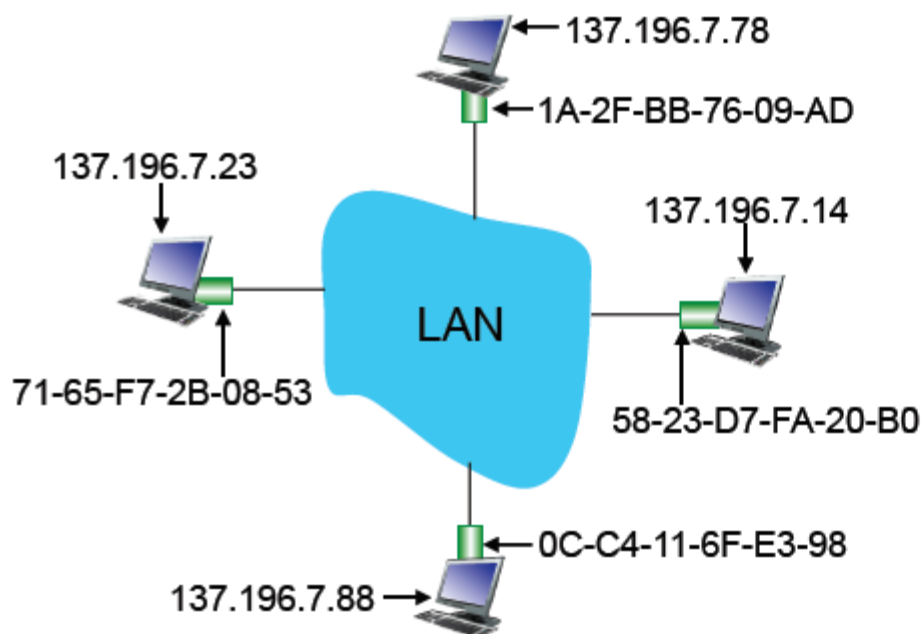


## LAN adrese (više)

- ❑ Dodjela MAC adrese se vrši od strane IEEE
- ❑ Proizvođači kupuju dio MAC adresnog prostora (da bi obezbijedili jedinstvenost adrese)
- ❑ Analogija:
  - (a) MAC adresa: kao matični broj
  - (b) 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

# ARP: address resolution protocol

Pitanje: 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



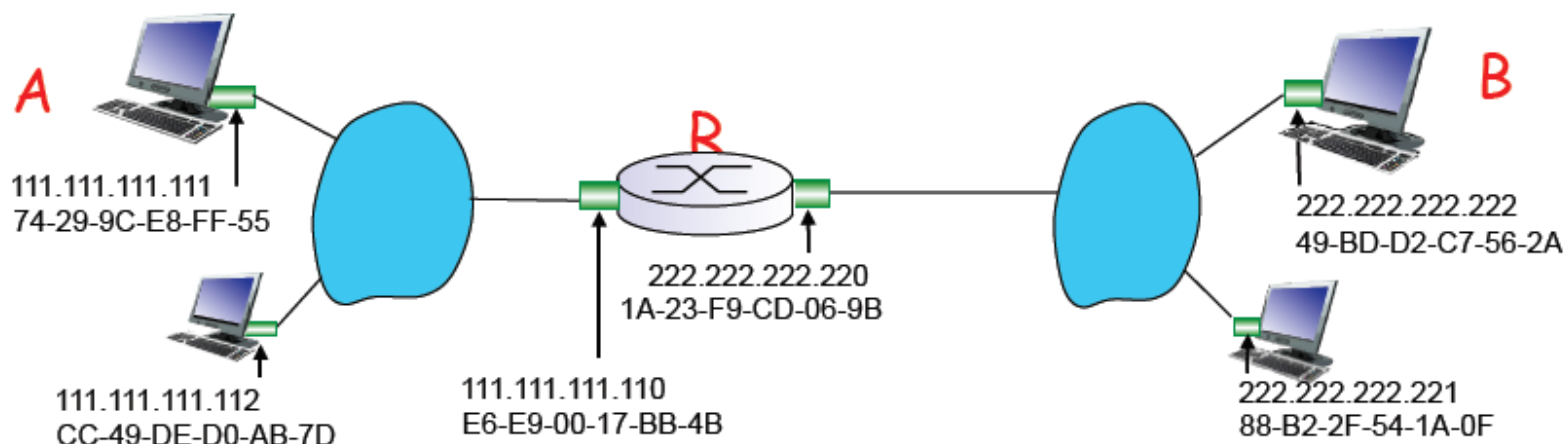
# ARP protokol: isti LAN

- 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

# Adresiranje: rutiranje do druge LAN

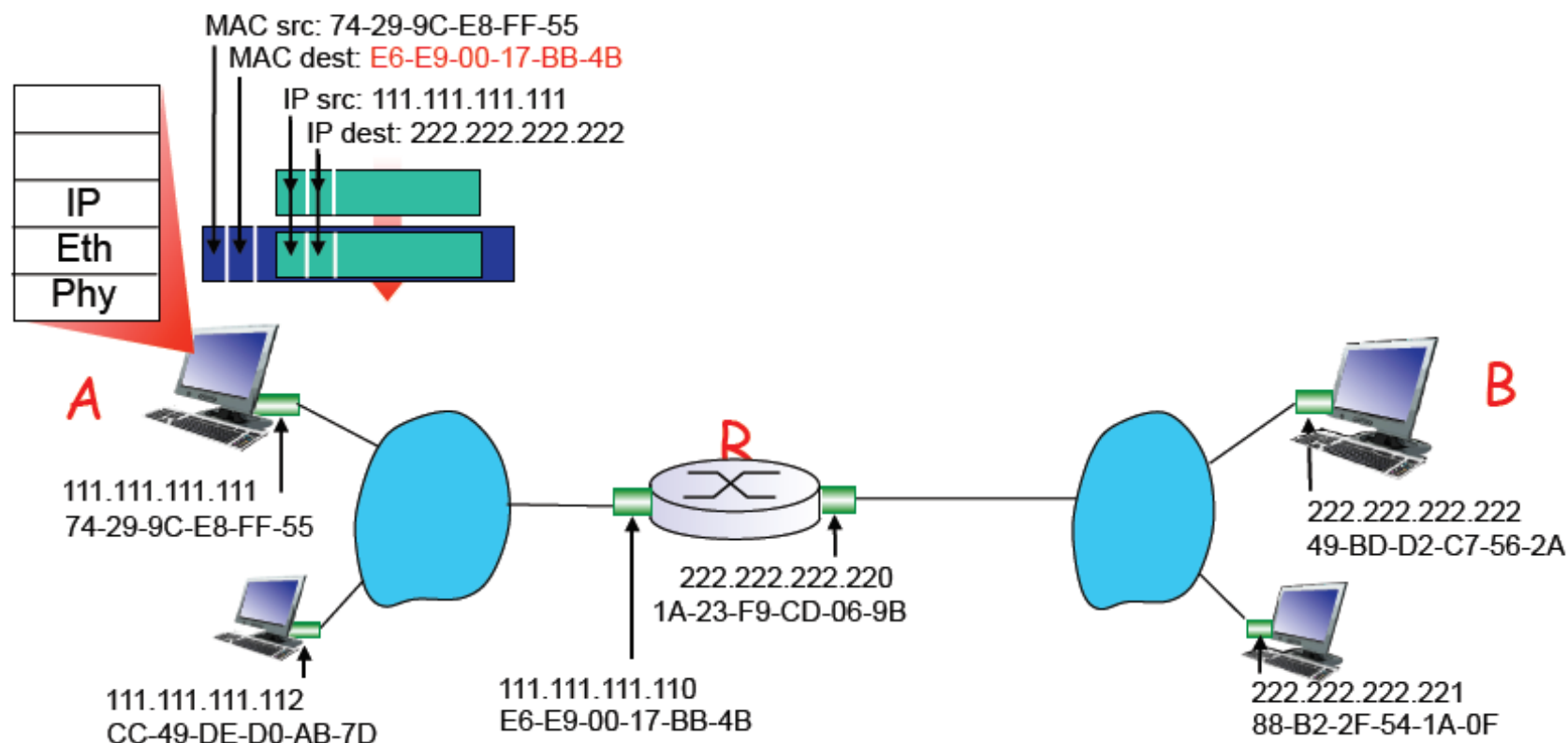
Zadatak: poslati datagram od A do B preko R

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



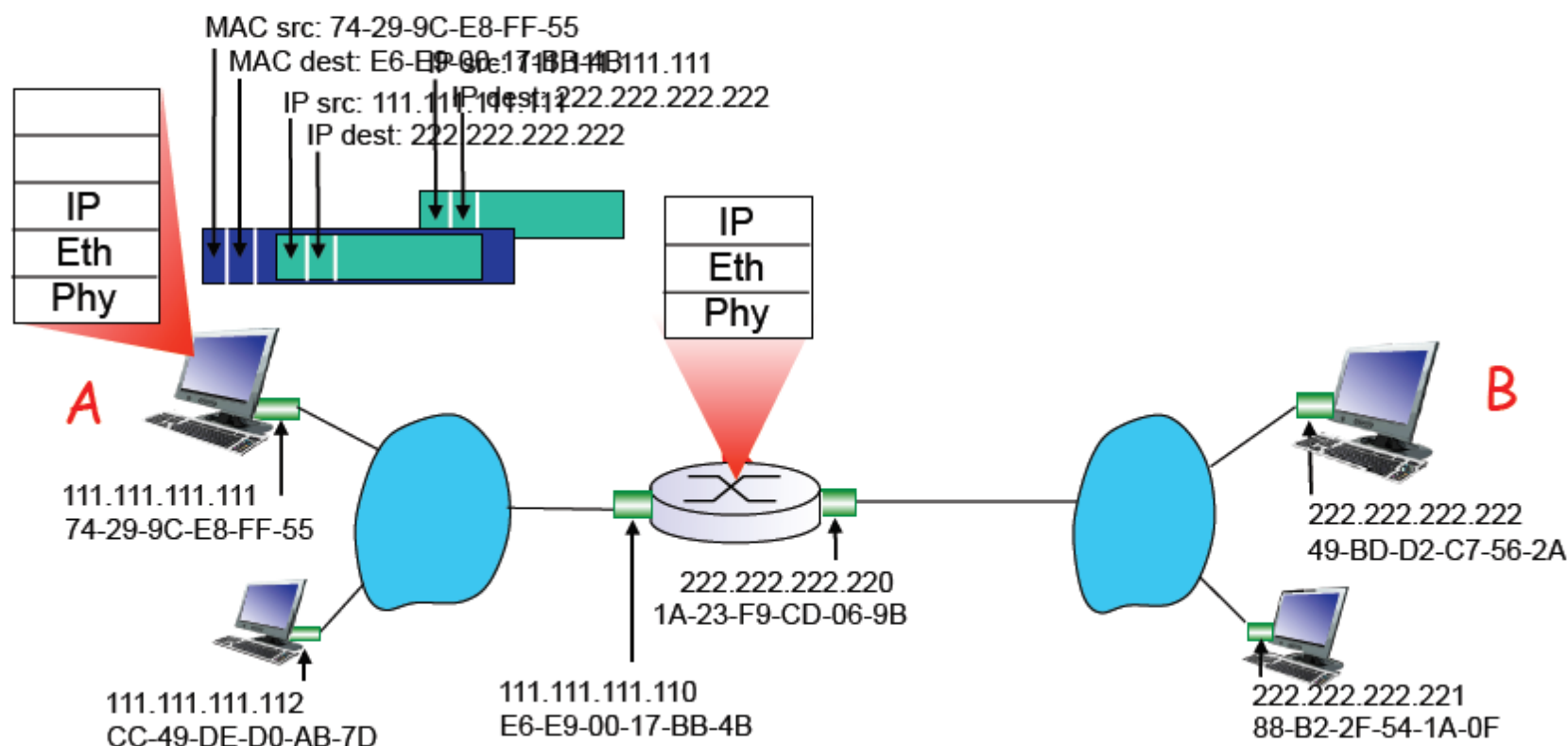
# Adresiranje: rutiranje do druge LAN

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



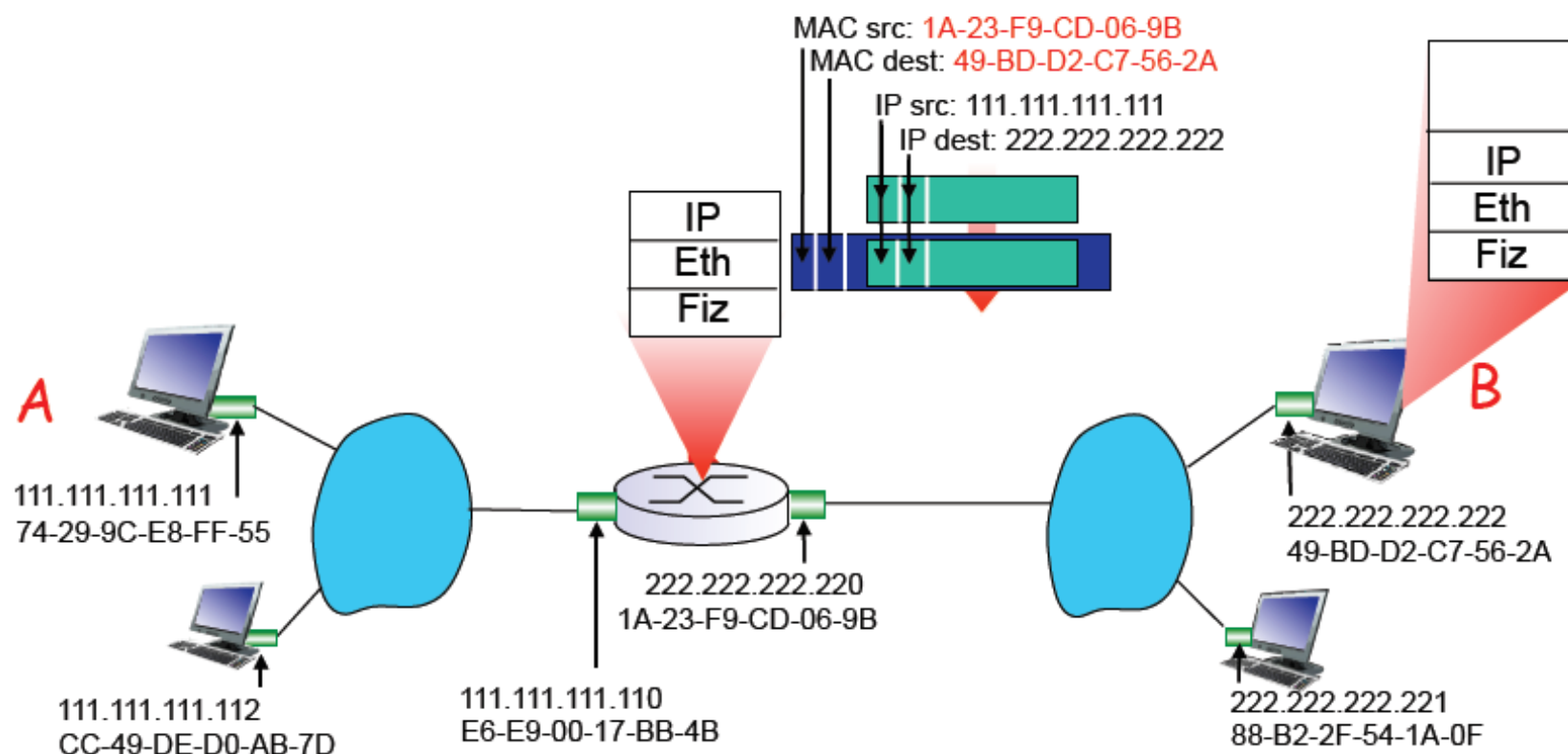
# Adresiranje: rutiranje do druge LAN

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



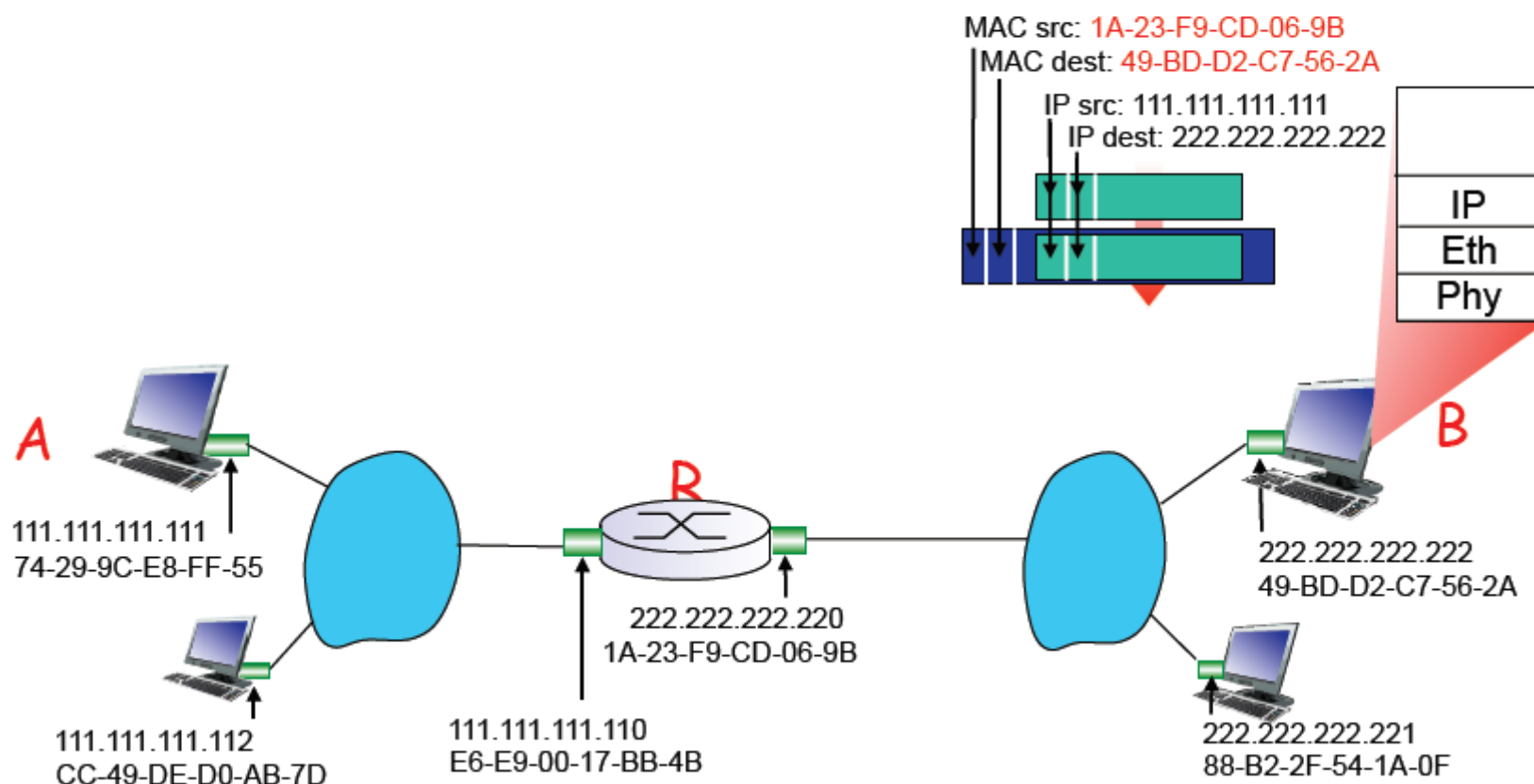
# Adresiranje: rutiranje do druge LAN

- ❖ 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

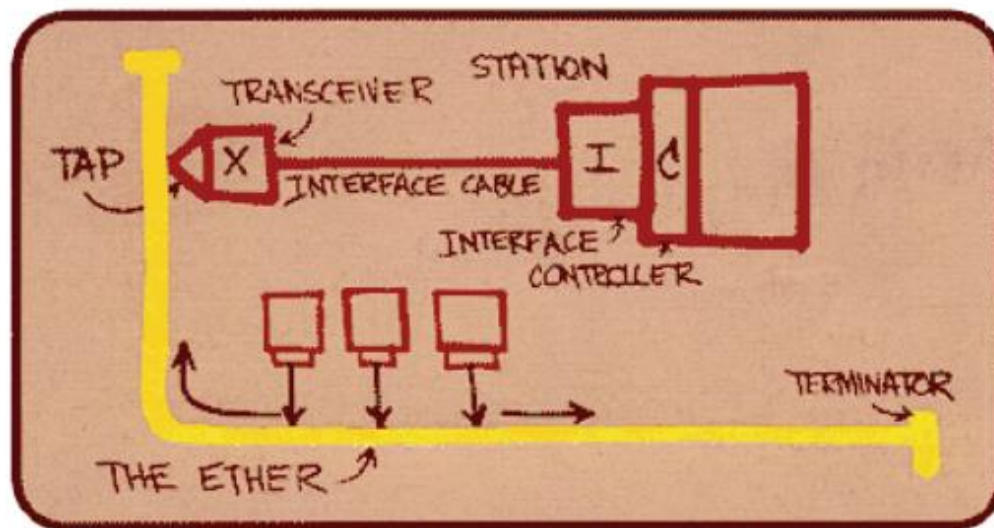
- ❖ R prosleđuje datagram sa izvorišnom IP adresom A i destinacijom B
- ❖ R kreira frejm sa MAC adresom B kao destinacijom, frejm sadrži IP datagram od A do B



# Ethernet

“dominantna” žična LAN tehnologija:

- ❑ nekoliko € za za više različiti brzina prenosa
- ❑ Prva široko korišćena LAN tehnologija
- ❑ Jednostavnija i jeftina
- ❑ Široki opseg brzina prenosa: 10 Mb/s - 10 Gb/s

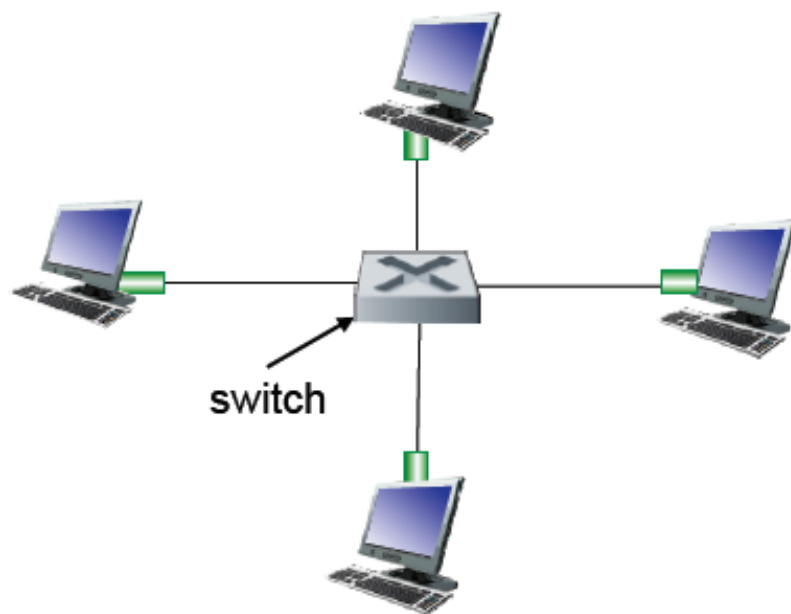


Metcalfe-ova skica  
Etherneta



# Topologija zvijezda

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





# 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

# 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)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

*type*



# 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

- ❑ 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*

# 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.

# Ethernet CSMA/CD (više)

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

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

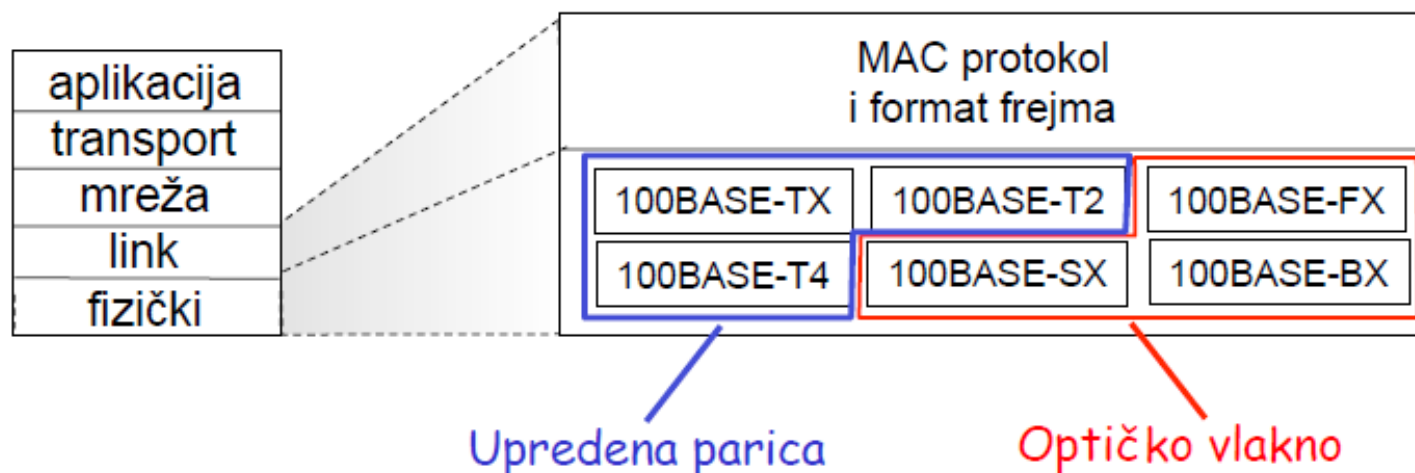
**Eksponencijalni Backoff:**

- ❑ *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!



## 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, 40Gb/s
  - Različiti medijumi za prenos: optičko vlakno, upredena parica



# 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



# 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	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 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

# 10 Gigabit Ethernet

*Tabela IEEE 802.3 10 Gb/s Ethernet medium alternative*

	<b>10GbaseSR</b>	<b>10GBaseLR</b>	<b>10GbaseEW</b>	<b>10GbaseLX4</b>
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

# 40GEthernet i 100GEthernet

- ❑ IEEE 802.3ba 40Gb/s i 100Gb/s Ethernet Task Force
- ❑ Ratifikovani u junu 2010
- ❑ 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
- ❑ Monomodno vlakno, multimodno vlakno,...