

# Master strukovne studije –

Multimedijalno inženjerstvo,

Računarsko inženjerstvo



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Protokoli i tehnologije bežičnih  
sistema:

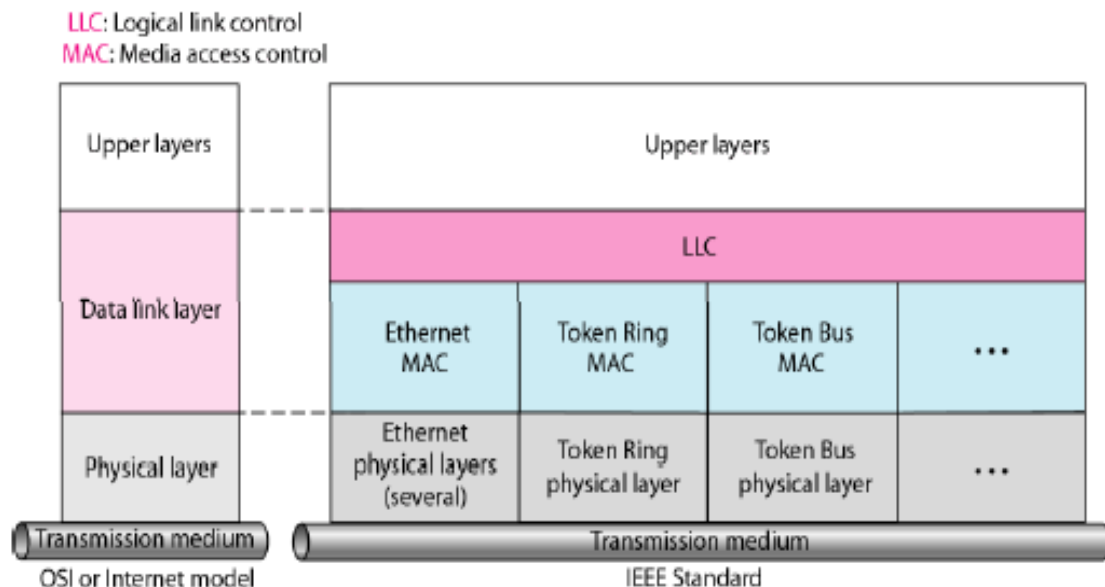
## Lekcija 2: Arhitektura bežičnih mreža

leto 2018/2019

Branimir M. Trenkić

# Tehnologije sloja veze

- Sloj veze je ***podeljen u dva pod-sloja***
  - **Kontrola** (upravljanje) **logičke veze** (**LLC**, *Logical Link Control*) i
  - **Kontrola pristupa medijumu** (**MAC**, *Media Access Control*)





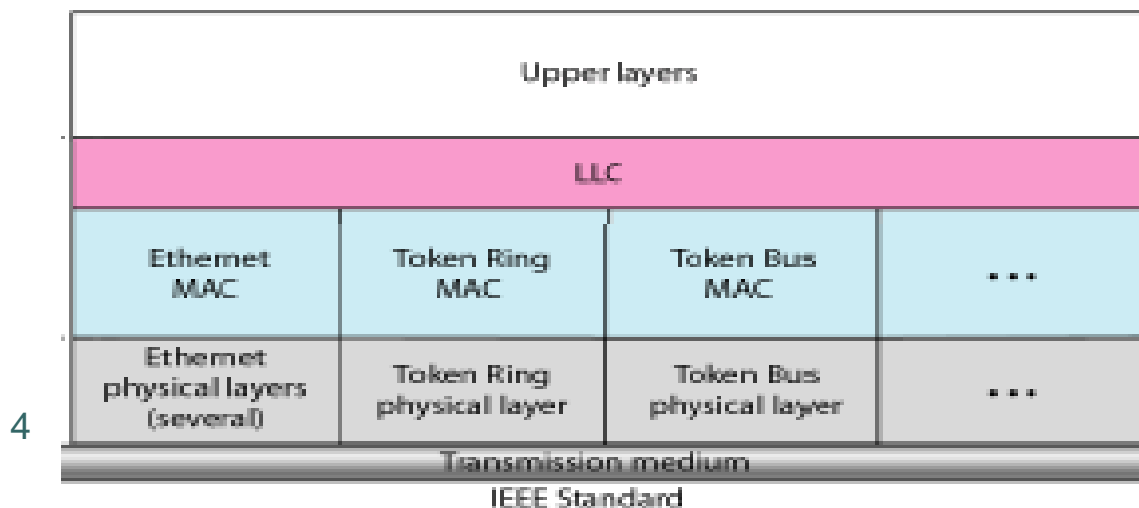
# Tehnologije sloja veze

- Od sloja veze nadole, ***poruke su adresirane korišćenjem MAC adresa***
- Omogućuju ***identifikaciju fizičkih uređaja*** koji su izvorište i odredište poruke
  - IP adrese, URL ili imena domena se kao adrese koriste ***na višim OSI slojevima***

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze, LLC

- **Viši** pod-sloj sloja veze
- Definisan kroz **IEEE 802.2 standard**
- Obezbeđuje **interfejs** koji **omogućuje mrežnom sloju da koristi MAC pod-sloj bilo kog tipa**



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

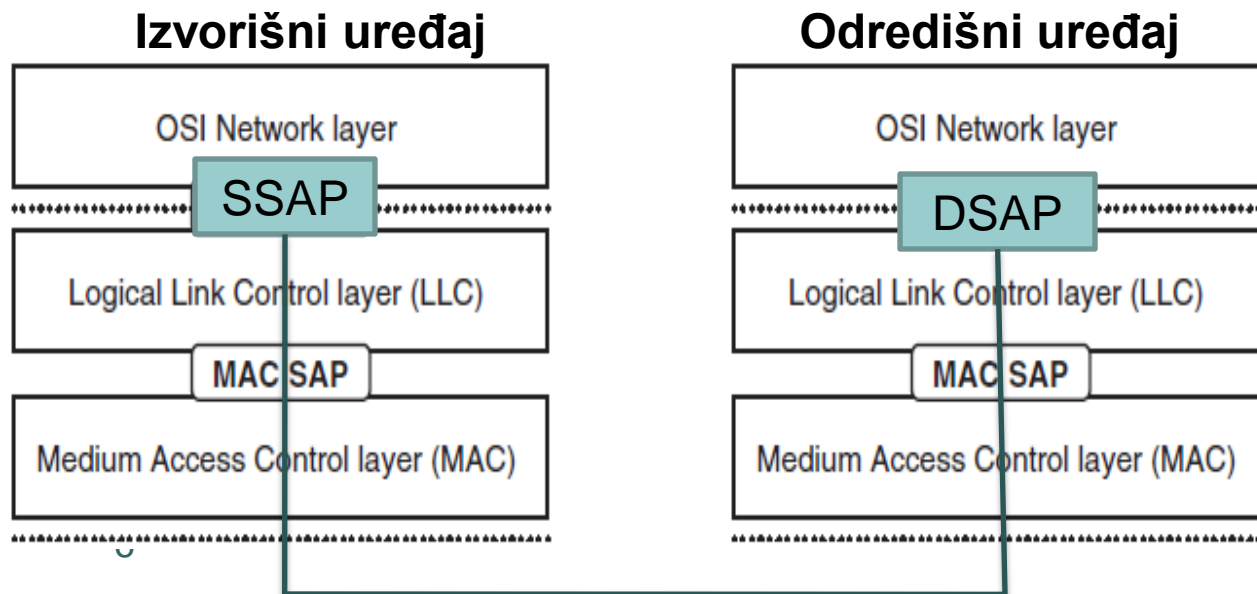
- **Okvir podataka**(*frame*), formiran na LLC pod-sloju
- Prosleđuje se (na dole) ka MAC pod-sloju
- Naziva se **jedinica podataka LLC protokola** (**LPDU**, *LLC Protocol Data Unit*)

DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

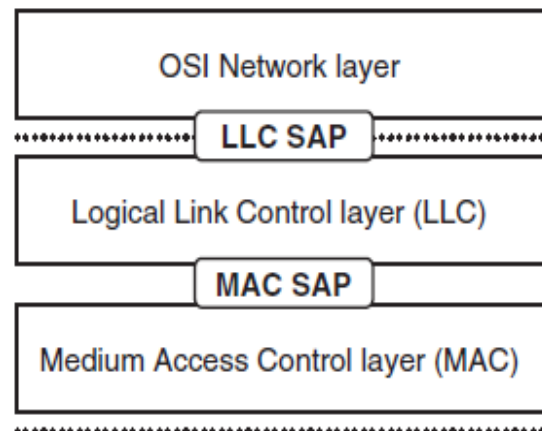
- LLC pod-sloj **upravlja prenosom** LPDU-ova ***između tačaka pristupa usluzi sloja veza izvorišnog i odredišnog uređaja***



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

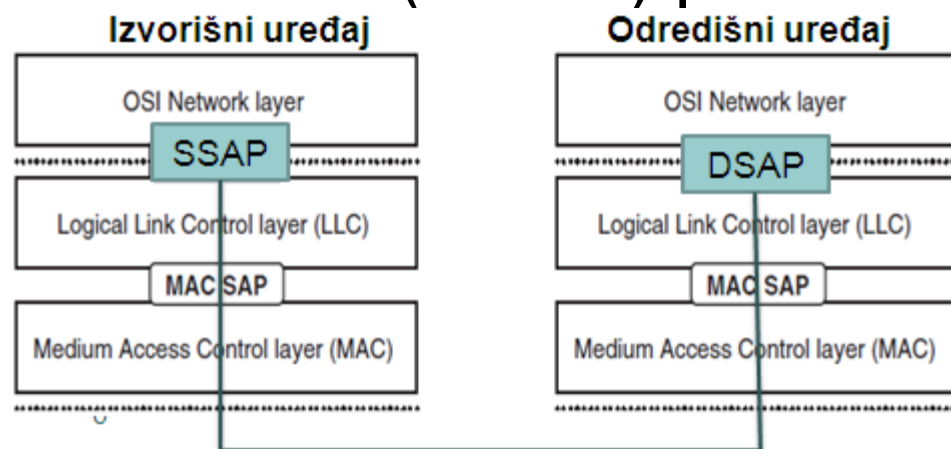
- **Pristupna tačka usluzi** sloja veze (**LLC SAP**, *Logical Link Control Service Access Point*) predstavlja **port ili tačku logičke veze ka protokolu mrežnog sloja**
- **Multipleksiranje** mrežnih protokola



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

- U mrežama koje podržavaju veći broj mrežnih protokola, svaki će imati svoj određeni **izvorišni SAP (SSAP)** i **odredišni SAP (DSAP)** port
- LPDU uključuje:
  - **DSAP adresu** i
  - **SSAP adresu**



(**dužine 8 bita**) kako bi se obezbedila njegova korektna isporuka protokolu mrežnog sloja





# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

- LCC pod-sloj definiše **tri tipa komunikacionih usluga**
  - **Bezkonekciona (Tip 1 i Tip 3) usluga** i
  - **Konekciono-orjentisana usluga (Tip 2)**

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

- **Bezkonekciona** (*Tip 1 i Tip 3*) **usluga**

- **Tip 1:**

- **Bez potvrđivanja** – datagramski pristup prenosu
- Unicast (**point-to-point**)
- Multicast (**više destinacija u jednoj mreži**)
- Broadcast (**sve destinacije u jednoj mreži**)

- **Tip 3:**

- **Sa potvrđivanjem**
- Podržava <sup>10</sup>**samo point-to-point** komunikaciju



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

- **Konekciono-orjentisana usluga** (*Tip 2*)
  - **Prijemni LLC** pod-sloj *prati redosled primljenih* LPDU-ova
  - Ako je **LPDU izgubljen u prenosu** ili primljen sa greškom, odredišni LLC zahteva od izvorišta **ponovno slanje od poslednje primljenog LPDU**



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

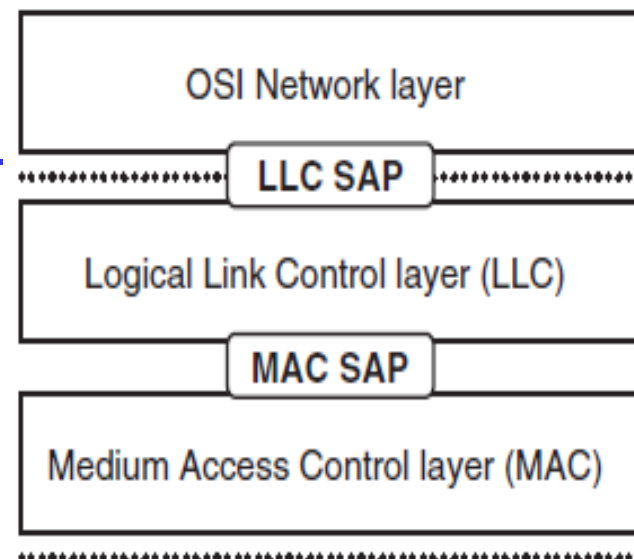
- LCC pod-sloj definiše **četiri klase usluga**
  - **Klasa I** – samo Tip 1
  - **Klasa II** – Tip 1 + Tip 2
  - **Klasa III** – Tip 1 + Tip 3
  - **Klasa IV** – sve tipove komunikacionih usluga

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

### ○ **LLC** PDU format:

DSAP address	SSAP address	Control	Information
8 bits	8 bits	8 or 16 bits	M*8 bits



**LLC zaglavlje** sadrži **kontrolno polje** kao i HDLC, i koristi se za kontrolu protoka i grešaka u prenosu

### ○ **SNAP** ekstenzija

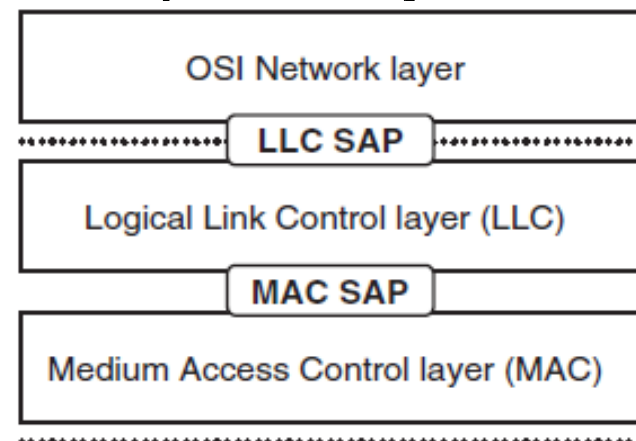
8	8	8 or 16	24	16
DSAP Address = AA	SSAP Address = AA	Control = 03	OUI = 00 00 00	Type = 08 00

SNAP Header

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola (upravljanje) logičke veze

- **LLC** prosleđuje LPDU-ove ka MAC pod-sloju kroz pristupnu tačku usluge MAC pod-sloja (**MAC SAP**)



- LPDU se, od tog trenutka
  - **Konvertuje u jedinicu podataka MAC usluge (MSDU)** i
  - **Postaje korisnički sadržaj (data payload)** u okviru MAC pod-sloja (**MPDU**)

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu za prenos

- **MAC** (*Media Access Control*) **pod-sloj**
  - **Drugi pod-sloj** sloja veze
  - Kontroliše (upravlja) (I) **kada** i (II) **kako** je uređaju **dozvoljen pristup fizičkom sloju** kako bi poslao podatke
- **Adresiranje** paketa podataka **na MAC pod-sloju**
- **MAC metode** primenjene **u žičanim mrežama**
  - **Uvod u složenija rešenja** potrebna za kontrolu pristupa medijumu u bežičnim mrežama

# Tehnologije sloja veze

## MAC adresiranje

- ***Svakoj mrežnoj kartici*** (Ethernet, bežična ili bilo koja druga), kada se proizvede - dodeli joj se ***jedinstveni serijski broj*** koji se naziva **MAC adresa**
- ***Upotreba*** MAC adresa
  - ***Omogućuju prijemniku da identifikuje pakete*** koji se prenose kroz prenosni medijum, i ***koji su namenjeni upravo njemu***



# Tehnologije sloja veze

## MAC adresiranje

- **Ethernet adresa** je najčešći oblik MAC adrese
- Sastoji se od **6 bajtova**, često prikazana **u heksa-decimalnom zapisu**
  - Na primer **00-D0-59-FE-CD-38**
  - A. Prva tri bajta** predstavljaju **kod proizvođača** (00-D0-59 je kod Intel-a)
  - B. Ostala tri bajta** čine jedinstveni **serijski broj kartice** (u okviru datog proizvođača)

# Tehnologije sloja veze

## MAC adresiranje

- **MAC adresa** mrežne kartice **na Windows** PC može se naći:
  - Klikom na Start, Run, ukucavanjem komande „**winipcfg**“ i nakon toga selektovanjem mrežne kartice (**za Windows 95, 98 ili Me**)
  - Otvaranjem MS-DOS prozora (klikom na Start, Programs, Accessories, Command Prompt) i unošenjem komande „**ipconfig/all**“ (**u slučaju Windows NT, 2000, XP,...**)

# Tehnologije sloja veze

## MAC adresiranje

- Kada aplikacija kao što je web- pretraživač šalje zahtev za podatke kroz mrežu, taj **zahtev od aplikacionog sloja dolazi dole do MAC SAP u formi MSDU**
- MSDU se **proširuje sa MAC zaglavljem** koje **uključuje MAC adresu** mrežne kartice **izvorišnog uređaja - MPDU**



# Tehnologije sloja veze

## MAC adresiranje

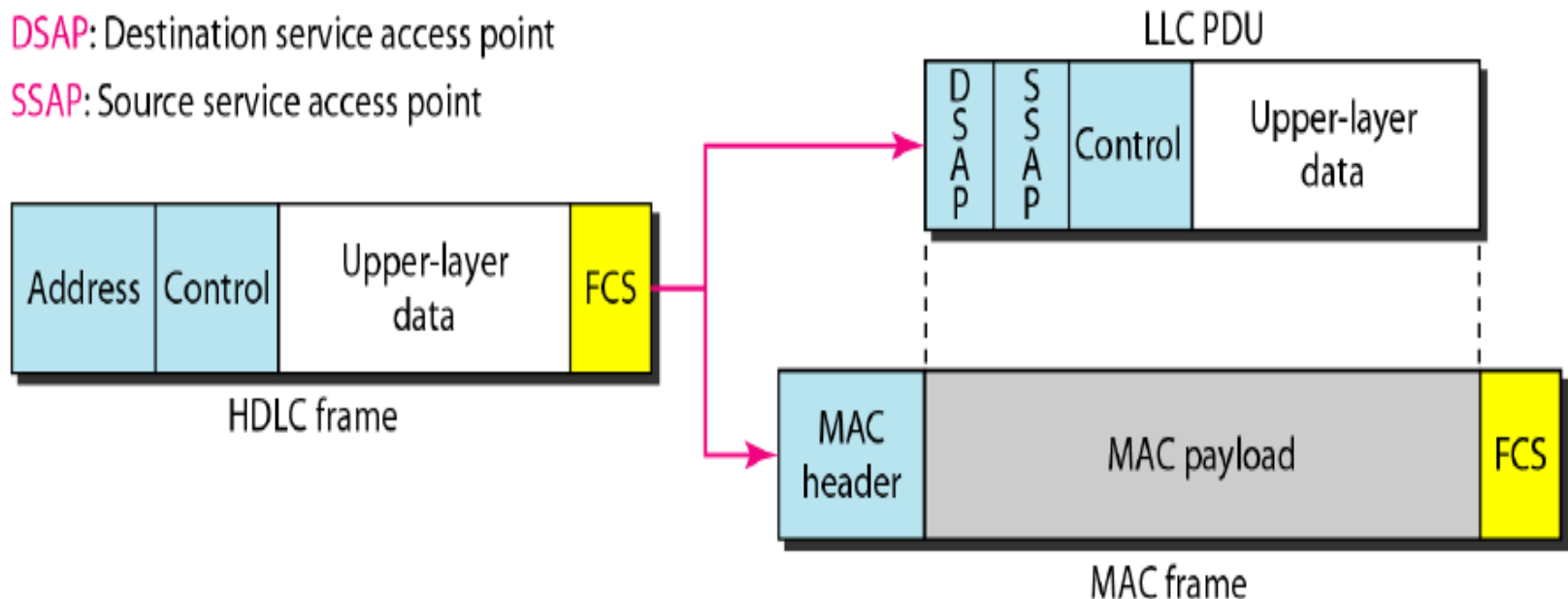
- **Kada se** zahtevani **podaci isporučuju nazad** kroz mrežu, početno postavljena kao **izvorišna adresa** postaje nova odredišna adresa
- Na taj način je **omogućeno mrežnoj kartici** izvorišta zahteva **da detektuje paket pomoću MAC adrese** u zaglavlju tog paketa i time kompletirati komunikaciju zahtev-odgovor

# Tehnologije sloja veze

## Opšta struktura IEEE 802 MAC okvira (MPDU)

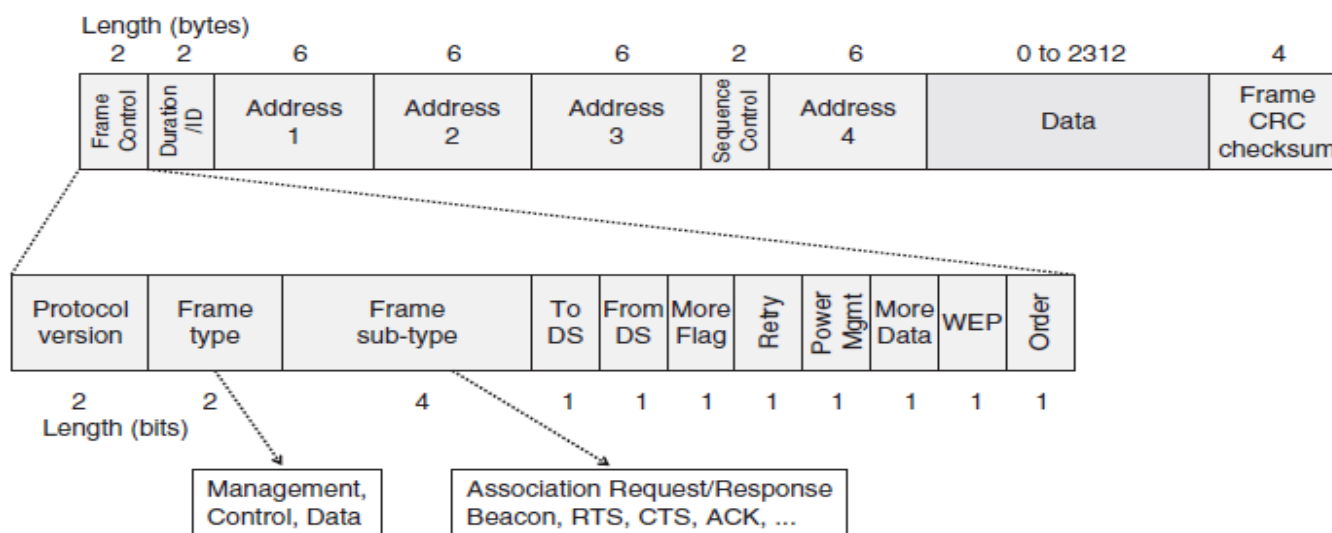
DSAP: Destination service access point

SSAP: Source service access point



# Tehnologije sloja veze

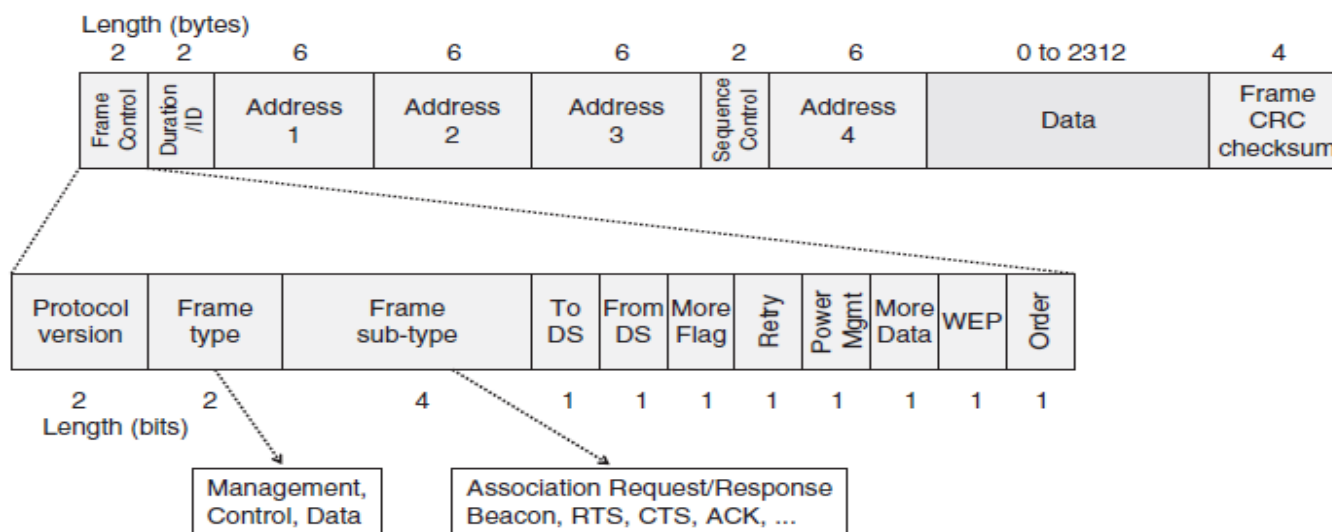
## Opšta struktura IEEE 802.11 MAC okvira (MPDU)



MPDU polje	Opis
<b>Frame control</b>	<b>Kontrolno polje.</b> Niz flegova, kontrolnih bitova, kojima se ukazuje <b>na verziju protokola</b> (802.11 a/b/g), <b>tip okvira</b> (upravljački, kontrolni, podaci), <b>pod-tip okvira</b> (MAC usluga)(npr. zahtev sondiranja, autentifikacija, zahtev za asocijacijom, ACK, RTS, CTS,...), <b>fragmentaciju</b> , <b>retransmisiju</b> , <b>enkripciju</b> , itd...
<b>Duration</b> 22	<b>Trajanje.</b> Očekujuće trajanje prenosa. Koriste ga stanice koje čekaju slanje nakon ponovnog oslobađanja prenosnog medijuma.

# Tehnologije sloja veze

## Opšta struktura IEEE 802.11 MAC okvira (MPDU)



MPDU polje	Opis
<b>Address1 – Address4</b>	<b>Adrese.</b> Odredišna i izvorišna, plus opciono adrese (od i ka) unutar distribucionog sistema – <b>zavisno od konteksta</b> .
<b>Sequence</b>	<b>Redni broj.</b> Identifikuje fragmente okvira i redni broj okvira.
<b>Data</b>	<b>Korisnički podaci</b> (isporučeni kao <b>MSDU</b> )
<b>Kontrolna sekvenca</b>	<b>CRC-32 kontrolna suma</b> koja omogućuje detektovanje greške u prenosu okvira.



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu za prenos

- **Kontrola je neophodna u difuznim mrežama** - bez obzira da li se radi o **žičanom ili bežičnom** deljenom prenosnom medijumu
- Ako su dva uređaja **istovremeno u stanju slanja** - **zbog** međusobnog **ometanja signala** **oba** prenosna **uređaja** će biti **nekorisna** u tom slučaju



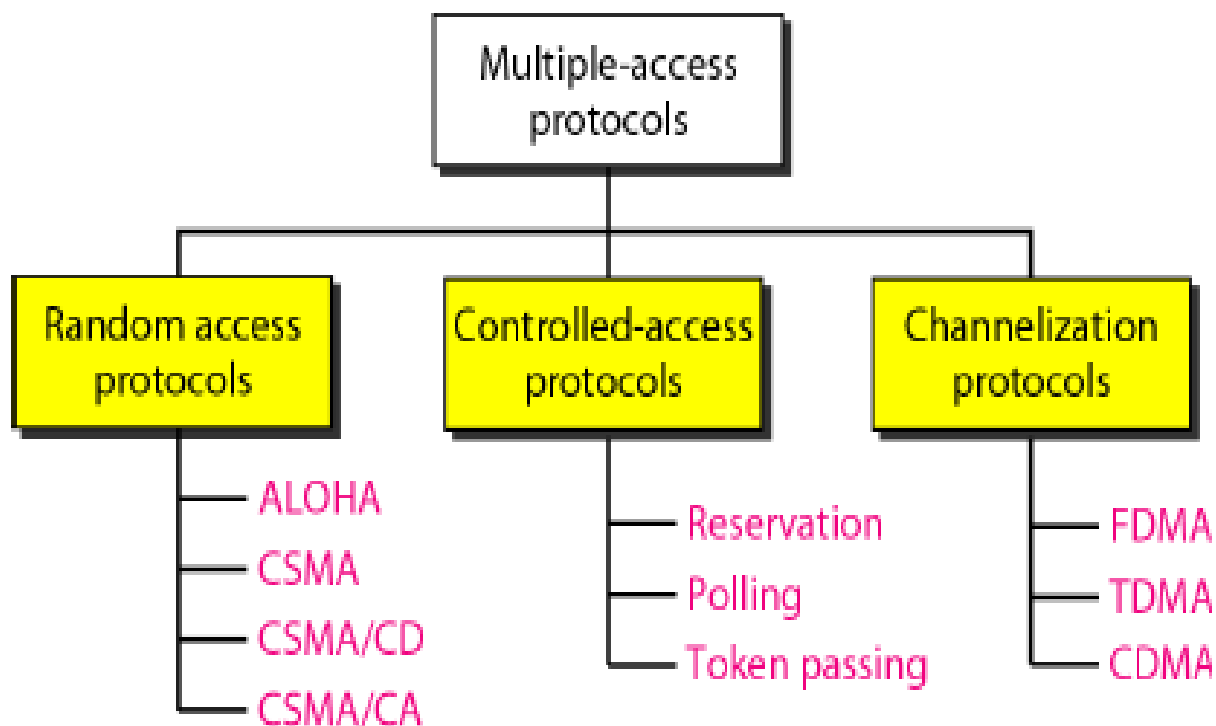
# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu za prenos

- Dakle, ***pristup*** deljenom prenosnom medijumu ***mora biti aktivno nadgledan***
- Razlog:
  - ***Sprečavanje nekorisne upotrebe*** prenosnog opsega kroz ***ponavljanje kolizije*** usled ovakve situacije
- To je ***glavni posao MAC pod-sloja!***

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu za prenos





# Tehnologije sloja veze

## Metode slučajnog pristupa ili pristup sa takmičenjem

- Sve ***stanice su ravnopravne*** – ne postoji centralizovano upravljanje
- U svakom trenutku, ***stanica koja ima podatke za slanje*** koristi proceduru definisanu protokolom kako bi ***donela odluku da li da šalje podatke ili ne***

# Tehnologije sloja veze

## Slučajni pristup ili pristup sa takmičenjem

- **Naziv** pristupa?
- **Ne postoji** unapred definisan **vremenski raspored** kada neka stanica može da šalje podatke - **trenuci slanja su sasvim slučajni**
- **Ne postoji pravilo** na osnovu kog se određuje **koja će stanica sledeća zauzeti medijum**
- **Kroz proceduru takmičenja** između zainteresovanih stanica dolazi se po odluke koja će stanica sledeća zauzeti medijum



# Tehnologije sloja veze

## Slučajni pristup ili pristup sa takmičenjem

- U cilju **izbegavanja konfliktnog pristupa** ili njegovog **rešavanja** ako se desi, procedura mora **dati odgovore na sledeća pitanja**:
  - **Kada** stanica može da pristupi prenosnom medijumu?
  - **Šta** stanica može da uradi ako je medijum zauzet?
  - **Kako** stanica može utvrditi da li je prenos bio uspešan ili neuspešan?
  - **Šta** stanica može uraditi u slučaju konfliktnog pristupa?



# Tehnologije sloja veze

## Slučajni pristup ili pristup sa takmičenjem

- Metode (protokoli) koji se zasnivaju na ovom pristupu:
  - ALOHA
  - CSMA
  - CSMA/CD
  - CSMA/CA



# Tehnologije sloja veze

## ○ **ALOHA**

- Kad god stanica ima okvir za slanje – ona ga šalje
- Ako se desi kolizija – stanica čeka slučajni vremenski period pre ponovnog pokušaja slanja

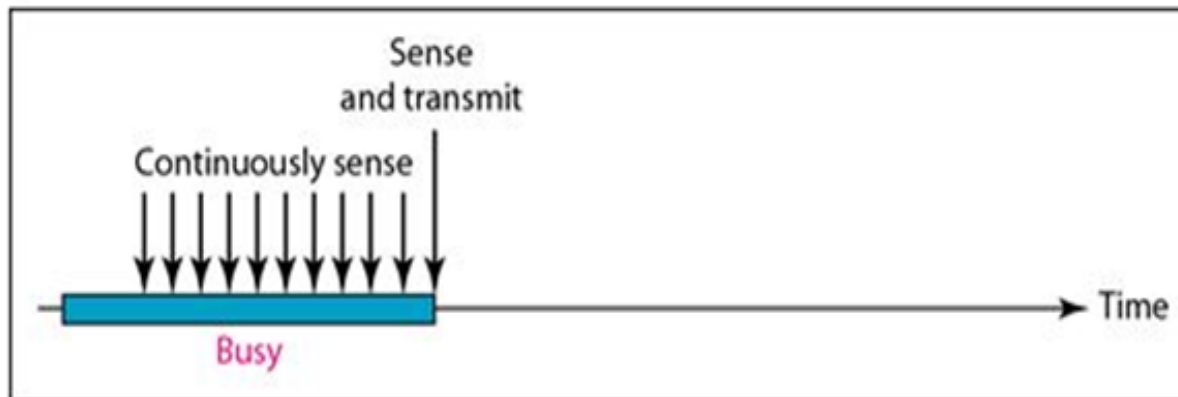
## ○ **CSMA**

- Višestruki pristup sa osluškivanjem nosioca (*Carrier Sense Multiple Access*)
  - 1-persistent
  - non-persistent
  - <sub>3</sub>p-persistent

# Tehnologije sloja veze

## ○ 1-persistent

- Stanica nastavlja da osluškuje do god se kanal ne oslobodi – tada šalje podatke

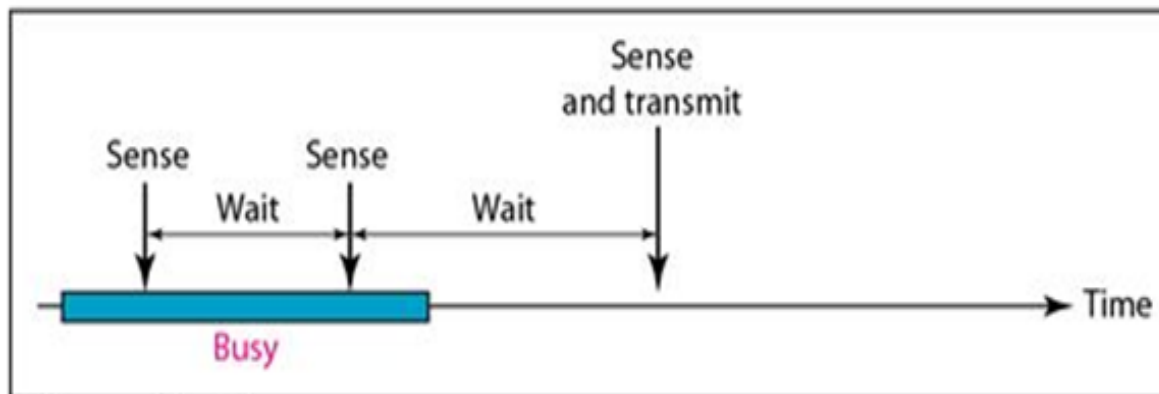




# Tehnologije sloja veze

## ○ *non-persistent*

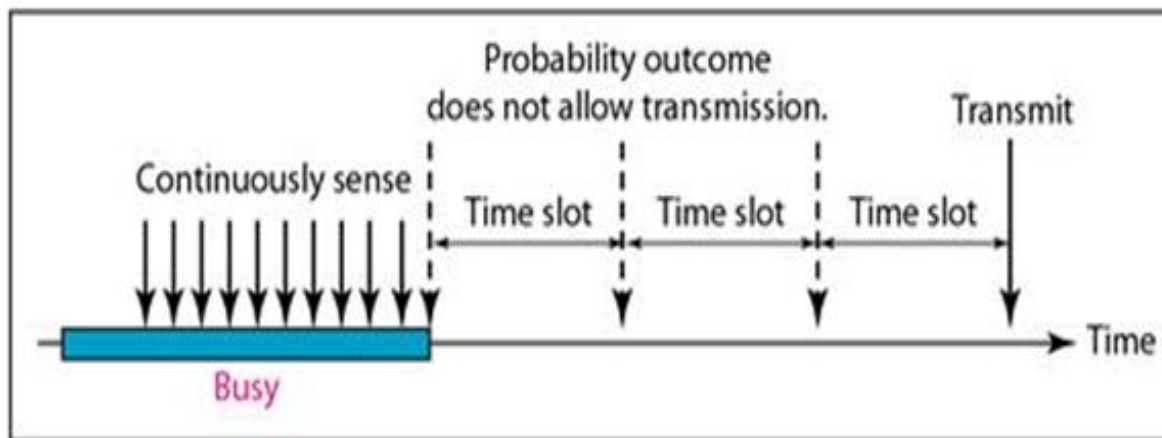
- Ako je kanal zauzet, stanica čeka slučajni vremenski period pre ponovnog pokušaja provere



# Tehnologije sloja veze

## ○ *p-persistent*

- Za slotovane sisteme. Ako je kanal slobodan u tekućem slotu, stanica šalje sa verovatnoćom  $p$  ili odlaže slanje (sa verov.  $1-p$ ) do sledećeg slota





# Tehnologije sloja veze

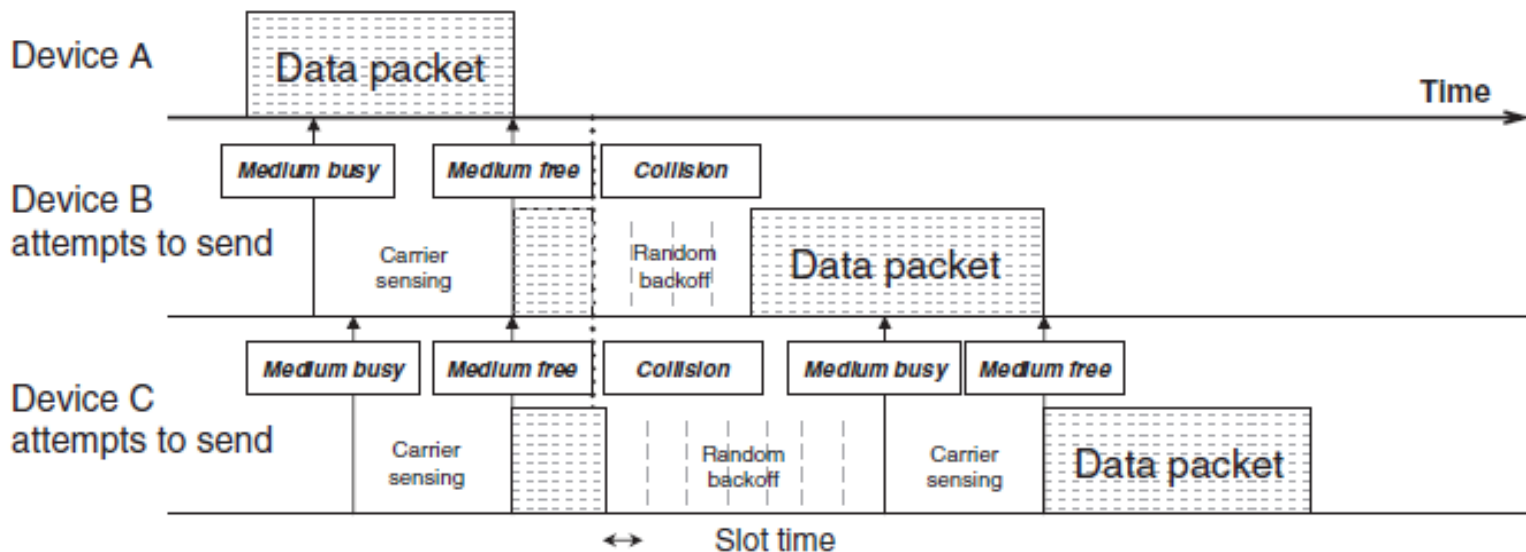
## CSMA/CD

- ***Najčešće korišćeni MAC metod*** za kontrolu pristupa je metod specificiran za ***mreže bazirane na Ethernet tehnologiji***
- ***Naziv:-*** Višestruki pristup sa osluškivanjem nosioca i otkrivanjem sudara (***CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection***)

# Tehnologije sloja veze

## CSMA/CD

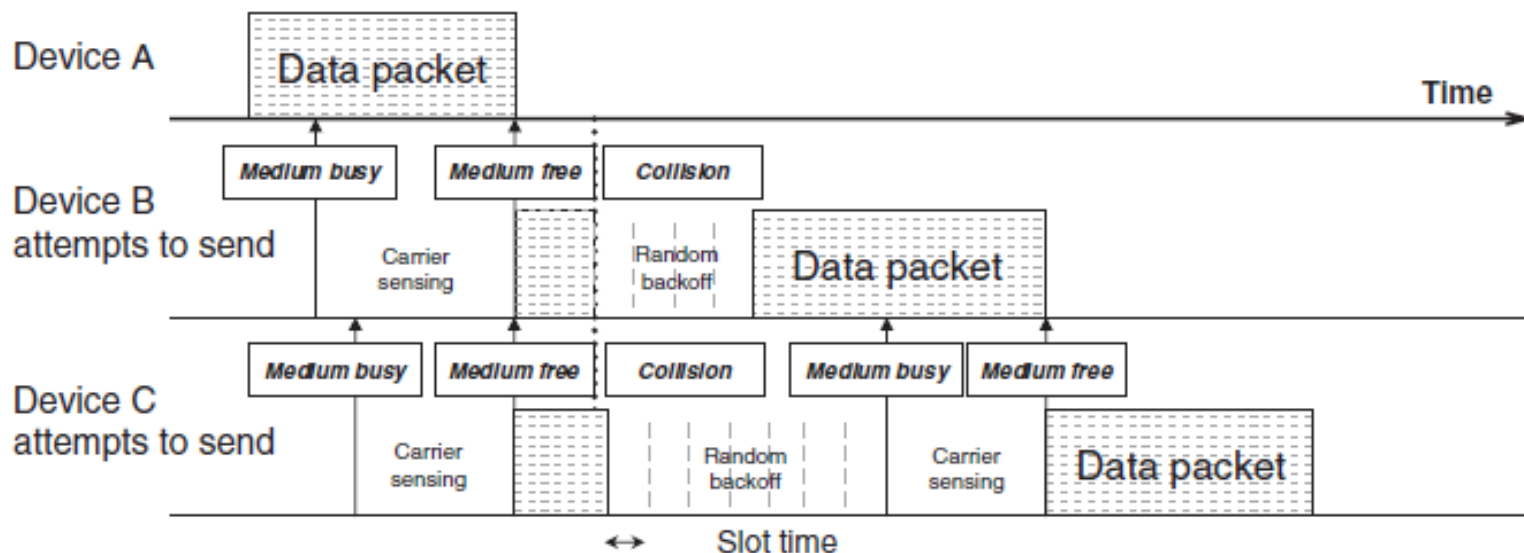
- Kada **uređaj poseduje okvir podataka koji treba poslati** kroz mrežu, on **prvo proverí fizički prenosni medijum** (CS, *Carrier Sense*) da vidi **da li je on već zauzet** od strane nekog drugog uređaja



# Tehnologije sloja veze

## CSMA/CD

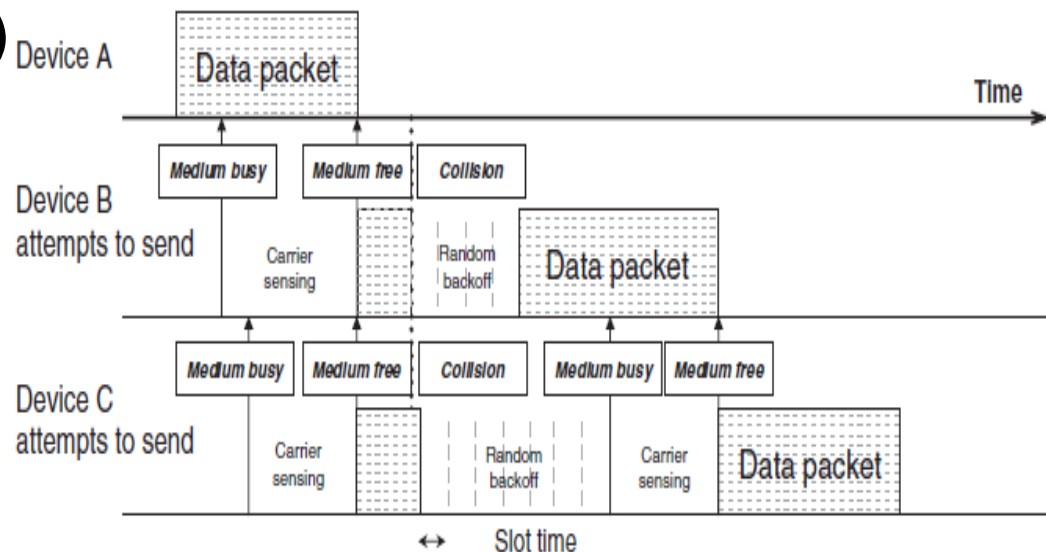
- **Ako** uređaj **detektuje takav slučaj**, on će **čekati sve dok se tekući prenos ne okonča**. Čim se prenosni medijum oslobodi, **počinje sa slanjem svog okvira** pri čemu **nastavlja osluškivanje medijuma** u cilju **detektovanja** nekog drugog **istovremenog prenosa**



# Tehnologije sloja veze

## CSMA/CD

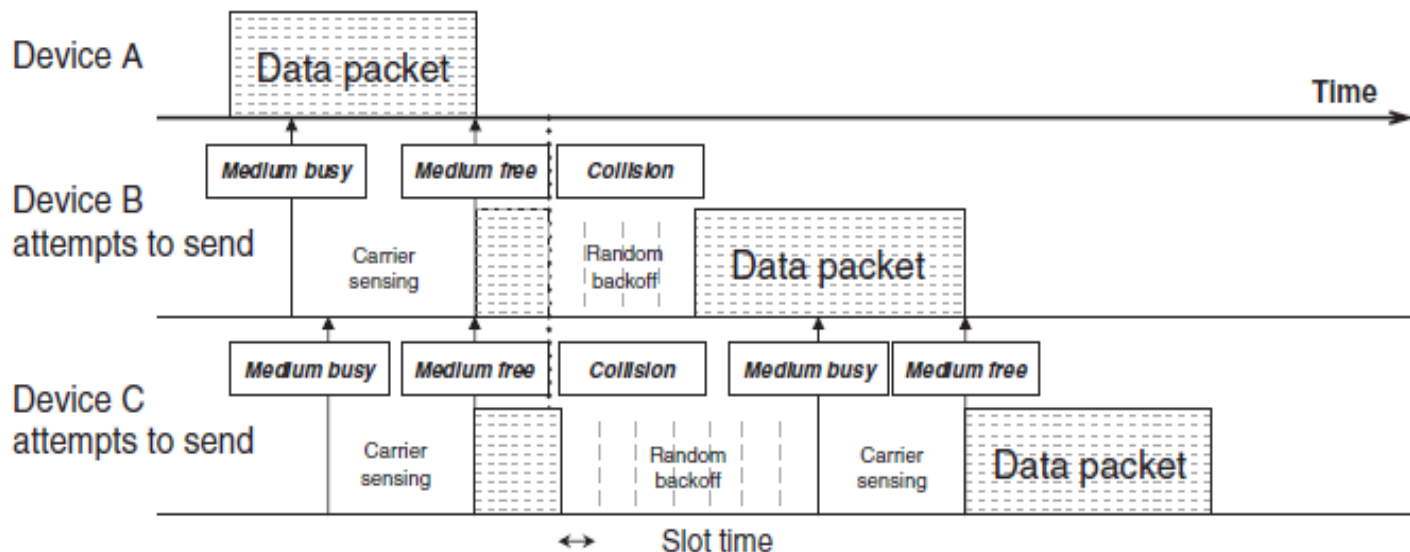
- Ako se detektuje takva situacija (CD, *Collision Detection*), **uređaj zaustavlja slanje** podataka i **šalje kratki jam signal** kako bi druge uređaje obavestio **o dešavanju kolizije**. Svi uređaji koji u tom trenutku pokušavaju slanje, **proračunavaju** slučajnu **dužinu back-off perioda** unutar datog intervala  $(0, t_{max})$



# Tehnologije sloja veze

## CSMA/CD

- **Novi pokušaj slanja** podataka će biti **nakon isteka tog back-off** vremenskog **perioda**. Uređaj čije je slučajno vreme čekanja najkraće, dobiće pravo pristupa medijumu, dok će **drugi uređaji** detektovati taj prenos podataka i **vratiti se u mod osluškivanja prenosnog medijuma** (CS mod)



# Tehnologije sloja veze

## CSMA/CD

- **Prenosni medijum** koji je **vrlo zauzet** rezultovaće u **čestim ponovljenim kolizijama**
- Kada se to desi,  $t_{max}$  **duplira svoju vrednost** svakim pokušajem (do maksimalno 10 dupliranja)
- Ako prenos bude neuspešan i nakon 16 pokušaja - okvir se odbacuje a uređaj proglašava stanje **„excessive collision error“**





# Tehnologije sloja veze

MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- ***Collision- Free metode pristupa***

- Metod rezervacije
- Metod prosleđivanja tokena
- Metod prozivke



# Tehnologije sloja veze

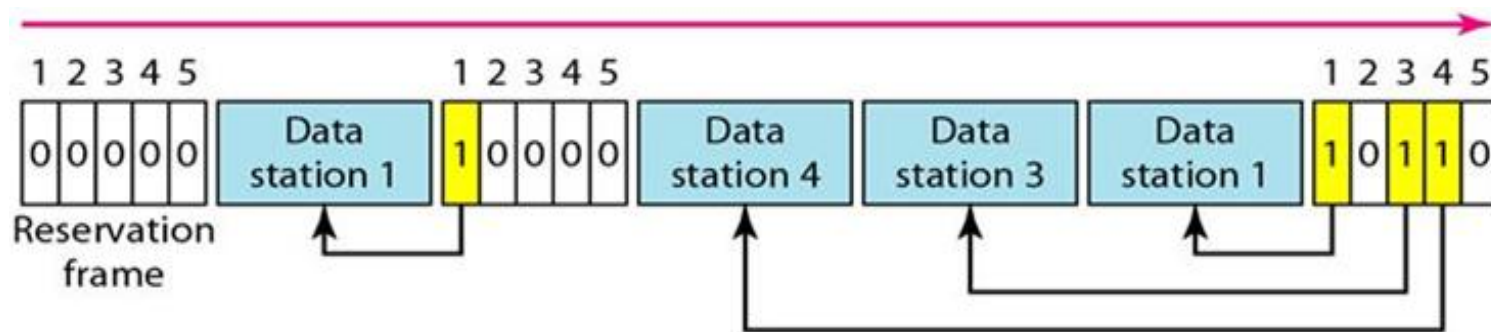
## MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- **Metod rezervacije (bit-map protokol)**
- **Rezervacija** kanala **pre slanja** podataka
- **Vreme podeljeno** u intervale (slotove)
- Svakom slotu sa podacima predhodi **rezervacioni slot**
  - Sastoji se od mini-slotova (jedan po stanici)
  - Rezervacija:- Stanica u svom rezervacionom mini-slotu označi da ima podatke za slanje

# Tehnologije sloja veze

## MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- **Metod rezervacije (bit-map protokol)**
- Stanice šalju podatke nakon rezervacionog slotu po utvrđenom redosledu (u rezervacionom slotu)
- Rezervacioni slot određuje dužinu slotu sa podacima



# Tehnologije sloja veze

## MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- ***Metoda pristupa sa prosleđivanjem tokena***
- Definisan u okviru ***IEEE 802.5 standarda***
- Uključuje ***prenos „tokena“*** između uređaja u mreži po predhodno definisanom redosledu (putanji)
- Token je ***sličan ulozi štafetne palice u trci, uređaj koji poseduje token jedini može slati podatke***



# Tehnologije sloja veze

## MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- **Ako uređaju nije potrebna kontrola** nad prenosnim medijumom kako bi izvršio slanje podataka, on odmah **prosleđuje token do sledećeg uređaja** naznačenog u definisanom redosledu
- **Ako** nakon toga **uređaj dobije podatke** koje treba poslati, on to može uraditi tek **nakon ponovnog prijema tokena**



# Tehnologije sloja veze

## MAC metode sa kontrolisanim pristupom

- *Uređaj može držati u posedu token* (a samim tim i koristiti medijum za prenos podataka) **samo određen vremenski interval**
- Nakon toga, token mora biti poslat do sledećeg uređaja kako je definisano redosledom

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičanim mrežama

### Detekcija kolizije:

- **Deo CSMA/CD metode** koji se odnosi na **detekciju kolizije** moguć je samo ako je **primo-predajnik** na fizičkom sloju **u mogućnosti osluškivanja medijuma u toku slanja podataka**
- To je **moguće u žičanim mrežama**, gde postoji mogućnost detekcije pogrešnog napona izazvanog kolizijom u prenosu

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičnim mrežama

- **Detekciju nije moguće** korektno **realizovati** u **radio tehnologijama**
- U bežičnim mrežama kao što su 802.11, u kojima detekcija kolizije nije moguća, **koristi se varijanta CSMA/CD** poznata kao **CSMA/CA**
- **CA** označava **mogućnost izbegavanja kolizije** (CA, *Collision Avoidance*)



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičanim mrežama

- **CSMA/CA** ima **dosta sličnosti** sa CSMA/CD metodom
  - Uprkos tome što se kolizija ne može detektovati od strane uređaja koji šalje podatke
- Uređaji **osluškiju medijum pre slanja** i **čekaju u slučaju zauzetosti** medijuma
- **Polje trajanja** (*Duration*) u zaglavlju svakog poslatog okvira omogućuje uređajima koji čekaju **da predvide** koliko će dugo medijum **biti zauzet**

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičnim mrežama

- Kada se ustanovi da je **medijum slobodan**,
- **Uređaji koji čekaju** na oslobađanje medijuma, **određuju slučajni vremenski period**, nazvan **periodom takmičenja**, a **pokušaj slanja** podataka je određen **istekom periode takmičenja**
- Ovaj mehanizam je **sličan back-off mehanizmu** u CSMA/CD-u
  - Ovde osmišljen za izbegavanje kolizije a ne kao mehanizam oporavka od detektovane kolizije



# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičanim mrežama

- CSMA/CA ćemo ***kasnije detaljnije diskutovati*** kada bedemo govorili o ***801.11 MAC Layer*** specifikaciji, ***kao i o varijantama ove metode*** koje se koriste u drugim tipovima bežičnih mreža

# Tehnologije sloja veze

## Kontrola pristupa medijumu u bežičnim mrežama

### Osluškivanje prenosnika:

- Problem skrivene stanice
- Problem izložene stanice

Skrivena stanica: C je skrivena od A  
A neće “čuti” prenos od C i slanje  
podataka ka B (ili nekoj drugoj stanici)  
od A biće u kolizija sa podacima koje  
šalje stanica C

**Kolizija u prijemu!**

**Osluškivanje prenosnika ne daje  
potrebne informacije stanici A!**



Station A



Station B



Station C

Range of  
station C's  
transmitter

Izložena stanica: B šalje podatke stanici  
C. Stanica A spremna za slanje nekoj  
druoj stanici, međutim, detektuje  
zauzetost i odlaže slanje. Za to nema  
razloga jer A i C nisu u dometu.

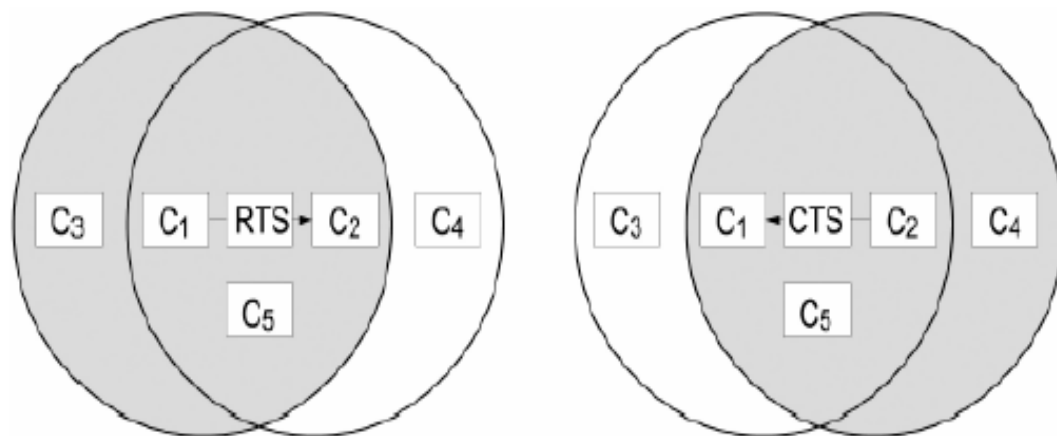
# Tehnologije sloja veze

## MACA protokol

- **Alternativa** tradicionalnim **CSMA protokolima** u žičanim mrežama
- CSMA **ne rešava probleme** skrivene i izložene stanice
- MACA ne koristi pristup osluškivanja nosioca već **rezervacije kanala**
- MACA koristi **dva dodatna okvira**
- **RTS** (*request-to-send*) i **CTS** (*clear-to-send*)

# Tehnologije sloja veze

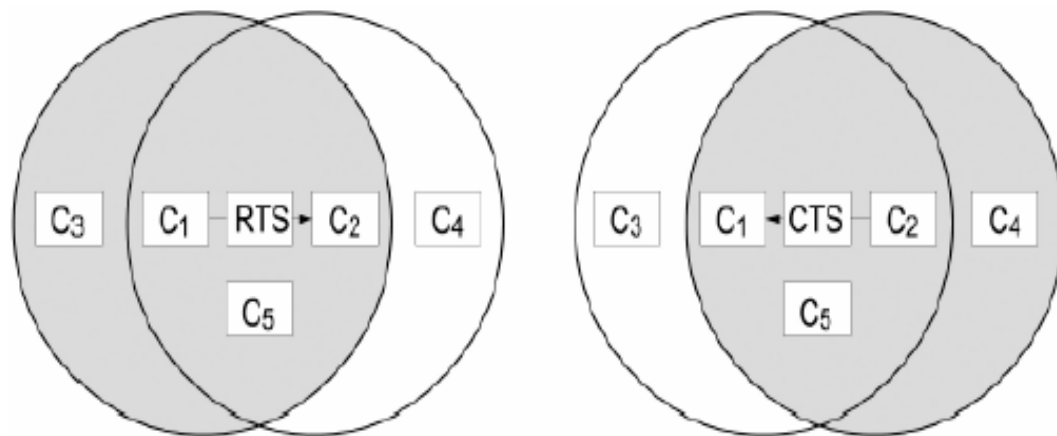
## MACA protokol – procedura:



- Stanica  $C_1$  treba da pošalje **okvir podataka** stanici  $C_2$  ( $C_1 \rightarrow C_2$ )
- Započinje **slanjem RTS okvira** ka stanici  $C_2$ 
  - Sadrži **informaciju o dužini potrebnog vremenskog intervala za slanje okvira podataka** (koji treba da bude poslat)

# Tehnologije sloja veze

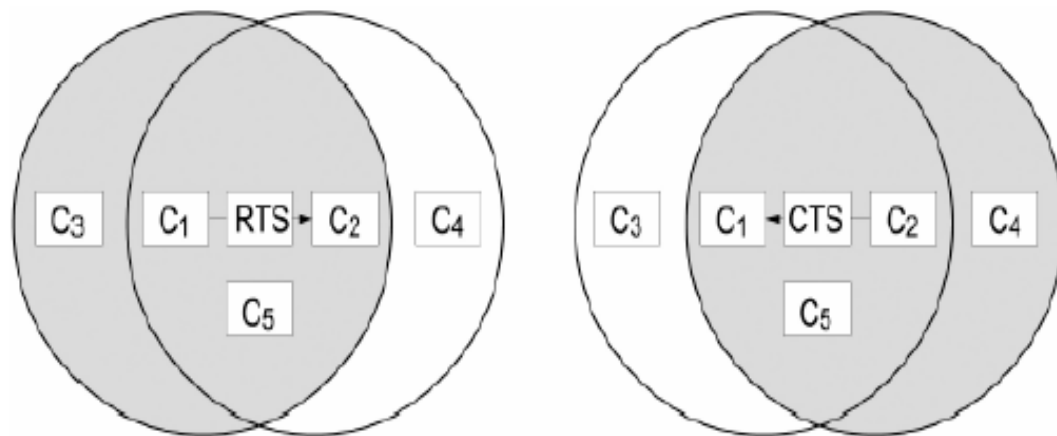
## MACA protokol



- Stanica **C<sub>2</sub>** *odgovara CTS okvirom* („spreman za prijem“)
  - Sadrži *informaciju o dužini potrebnog vremenskog intervala za slanje okvira podataka* (iskopiran iz RTS okvira)

# Tehnologije sloja veze

## MACA protokol



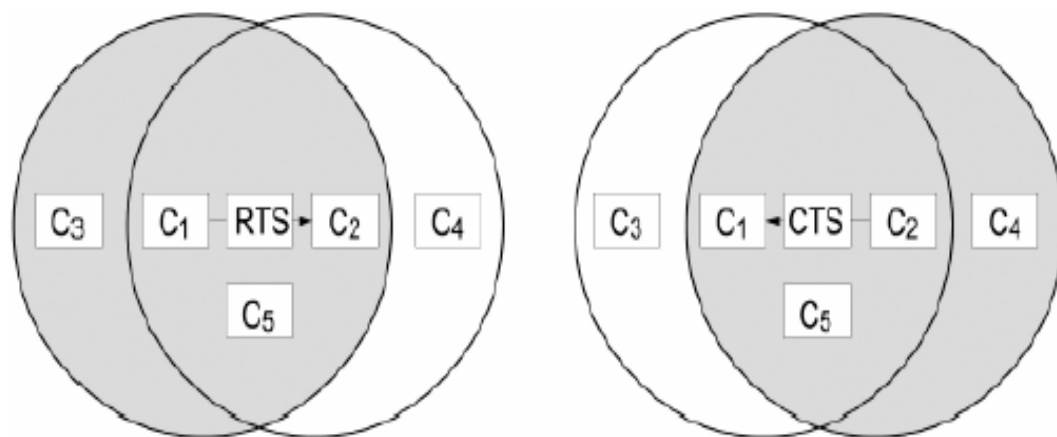
- **Po prijemu CTS okvira**, stanica **C<sub>1</sub>** **započinje slanje okvira podataka** (RTS-CTS-DATA)

**Kako stanice koje „čuju“ RTS i CTS okvire reaguju?**



# Tehnologije sloja veze

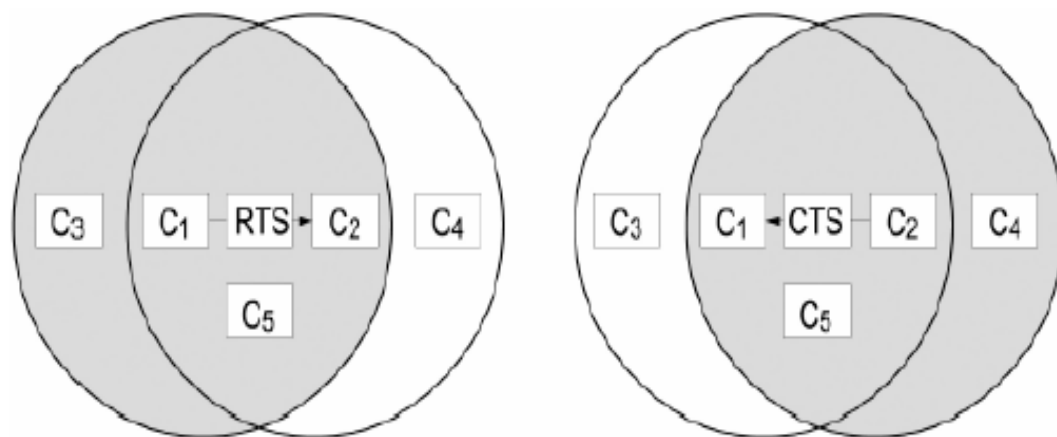
## MACA protokol



- Svaka stanica koja „**čuje**“ **CTS okvir**, u opsegu prijemne stanice C<sub>2</sub> - ***mora da ostane „mirna“*** dok se ne završi prenos podataka u trajanju koja se može videti iz CTS okvira – **rešenje problema skrivene stanice** (npr. stanica C<sub>4</sub>)

# Tehnologije sloja veze

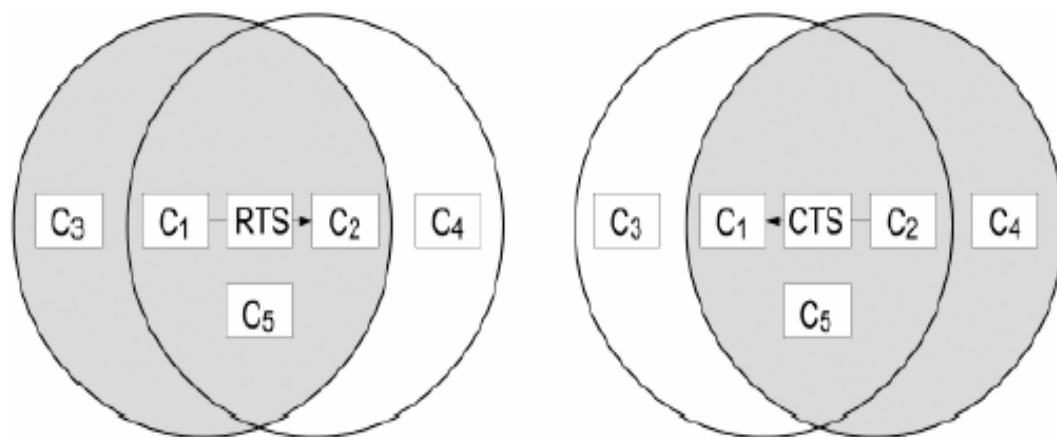
## MACA protokol



- Svaka stanica koja **čuje RTS okvir** dovoljno je blizu stanice  $C_1$  i ***mora da ostane „mirna“*** toliko dugo da može CTS okvir da stigne do stanice  $C_1$  bez konflikta
- Ako CTS okvir ne stigne u predviđenom intervalu “čekanja” – njegovim istekom stanica je slobodna da šalje okvire (npr. stanica  $C_3$ )
- **Rešenje<sup>58</sup> problema izloženosti stanice**

# Tehnologije sloja veze

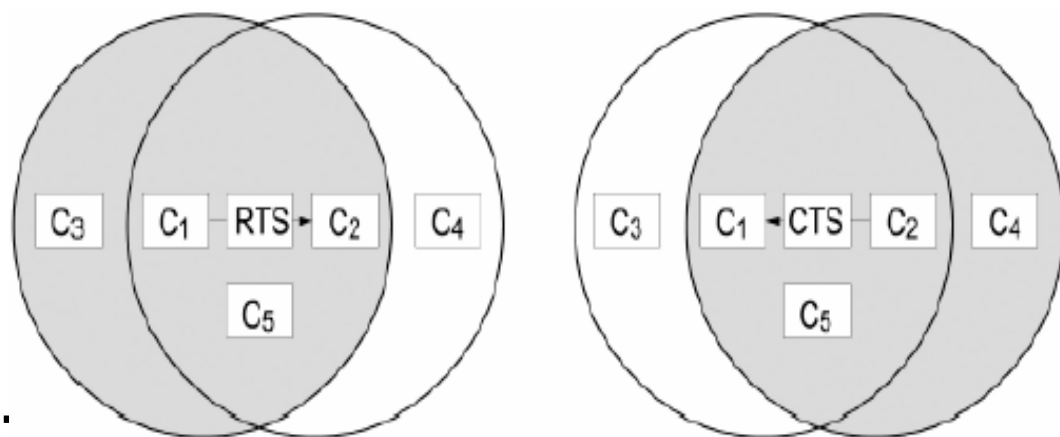
## MACA protokol



- I pored svih mera predostrožnosti, do kolizije može da dođe
- Na primer, stanice  $C_2$  i  $C_3$  mogu da **pošalju istovremeno RTS okvire** ka stanici  $C_1$
- Doći će do sudara tih okvira (kolizije)

# Tehnologije sloja veze

## MACA protokol



### ○ ***U slučaju kolizije:***

- Pošiljalac RTS okvira (onaj koji ne dobije odgovor u vidu CTS okvira posle određenog vremena)
- **Čeka određeni vremenski interval** odabran **po slučajnoj raspodeli**
- Nakon isteka tog vremena – pokušava ponovo
- Algoritam koji se koristi za određivanje dužine „čekanja“ - **binarni eksponencijalni back-off (BEB) algoritam**



# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- Dodate mogućnosti:
  - Binarni eksponencijalni back-off (BEB) algoritam sa **MILD- mehnizmom**
  - Dodatni kontrolni okviri:
    - **ACK** (okvir potvrde)
    - **DS** (*data-sending*)
    - **RRTS** (*ready-for-request-to-send*)

# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- **BEB algoritam** koji se koristi u MACA protokolu:
  - Definiše **back-off brojač** (**BO**)
  - BO se **duplira nakon svake kolizije**
  - Smanjuje se na minimalnu vrednost (**BOmin**) **nakon svake uspešne** RTS-CTS razmene
  - Pošiljalac čeka interval čija je dužina slučajno izabrana iz (1, BO)
  - BO se povećava do **BOmax**
- **Nepravična raspodela prenosnog opsega**

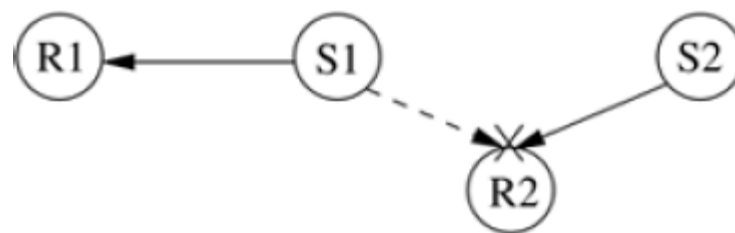
# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- *BEB algoritam*

- Nakon svake uspešne RTS-CTS razmene sve stanice koje su je “čule” setuju svoj BO na sledeći način:

- Dodatno polje u zaglavlju okvira koje prenosi tekuću vrednost BO brojača stanice koja šalje podatke
- Stanica koja primi ovakav okvir kopira tu vrednost u svoj BO
- Posledica:- **Sve stanice** u opsegu nakon uspešnog prenosa **imaju istu vrednost BO**



# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- *BEB algoritam*
- Finije **podešavanje brojača** – **MILD mehanizam**
- Multiplikativno povećavanje i linearno smanjivanje
- Nakon kolizije:  **$Finc(x) = \min(1.5 * x, BOmax)$**
- Nakon uspeha:  **$Fdec(x) = \max(x - 1, BOmin)$**



# Tehnologije sloja veze

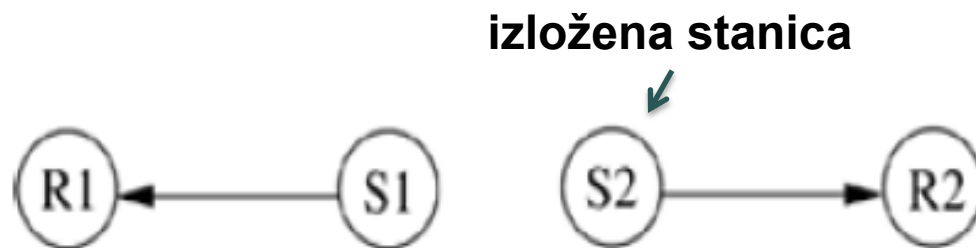
## MACAW protokol

- ACK okvir
- **Pouzdanost prenosa** na sloju veze
  - Dužina TCP vremenske kontrole (**0.5 sek**) će rezultovati u **veliko kašnjenje retransmisije**
  - Prijemnik šalje ACK okvir nakon uspešnog prijema okvira podataka
  - **Gubitak ACK okvira**:- Pošiljalac šalje novi RTS okvir kao zahtev za retransmisijom, na to prijemnik vraća ACK okvir a ne CTS okvir

# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- DS okvir
- S1 šalje RTS ka R1. **S2 “čeka” RTS-CTS razmenu (+VK), po MACA protokolu**
- R1 vraća CTS ka S1 – započinje prenos podataka (S1→R1)
- **S2 nije u mogućnosti da to “čuje”**
- S2 želi da šalje podatke ka R2 - odlaže slanje do isteka VK
- Nakon toga šalje RTS ka R2



# Tehnologije sloja veze

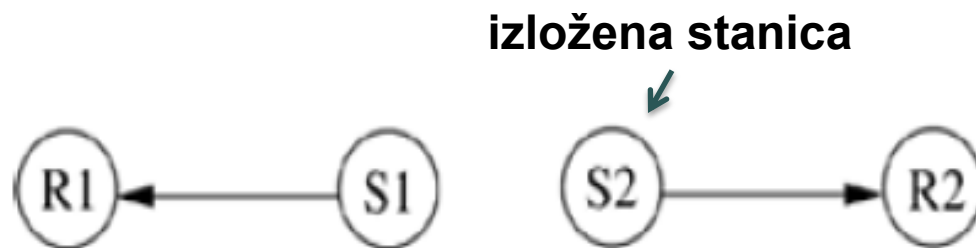
## MACAW protokol

- DS okvir

- Pratimo dalje situaciju izložene stanice

- **1. mogućnost**

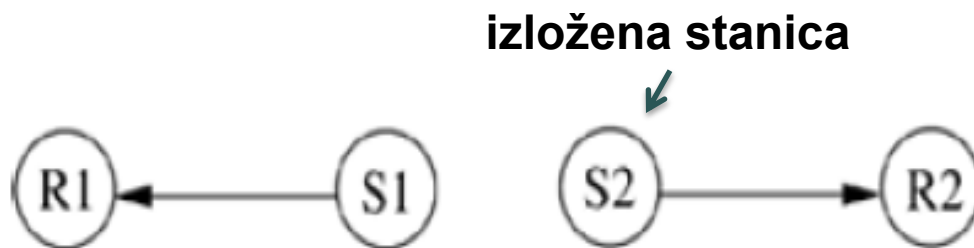
- Stanica S2 neće moći da primi **CTS od R2**
- Zbog kolizije u prijemu (**na S2**) sa **podacima koje šalje S1**
- **Posledica:- Neuspešno zauzimanje**
- S2 ulazi u back-off proceduru i **nekontrolisano povećava svoj BO brojač**



# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- DS okvir



- Pratimo dalje situaciju izložene stanice

- **2. mogućnost**

- Stanica S1 nakon slanja okvira podataka prima ACK okvir **od R2** - neuspešno
- Zbog kolizije u prijemu (**na S1**) sa **podacima koje šalje S2**
- **Posledica:- Neuspešan prenos podataka**

# Tehnologije sloja veze

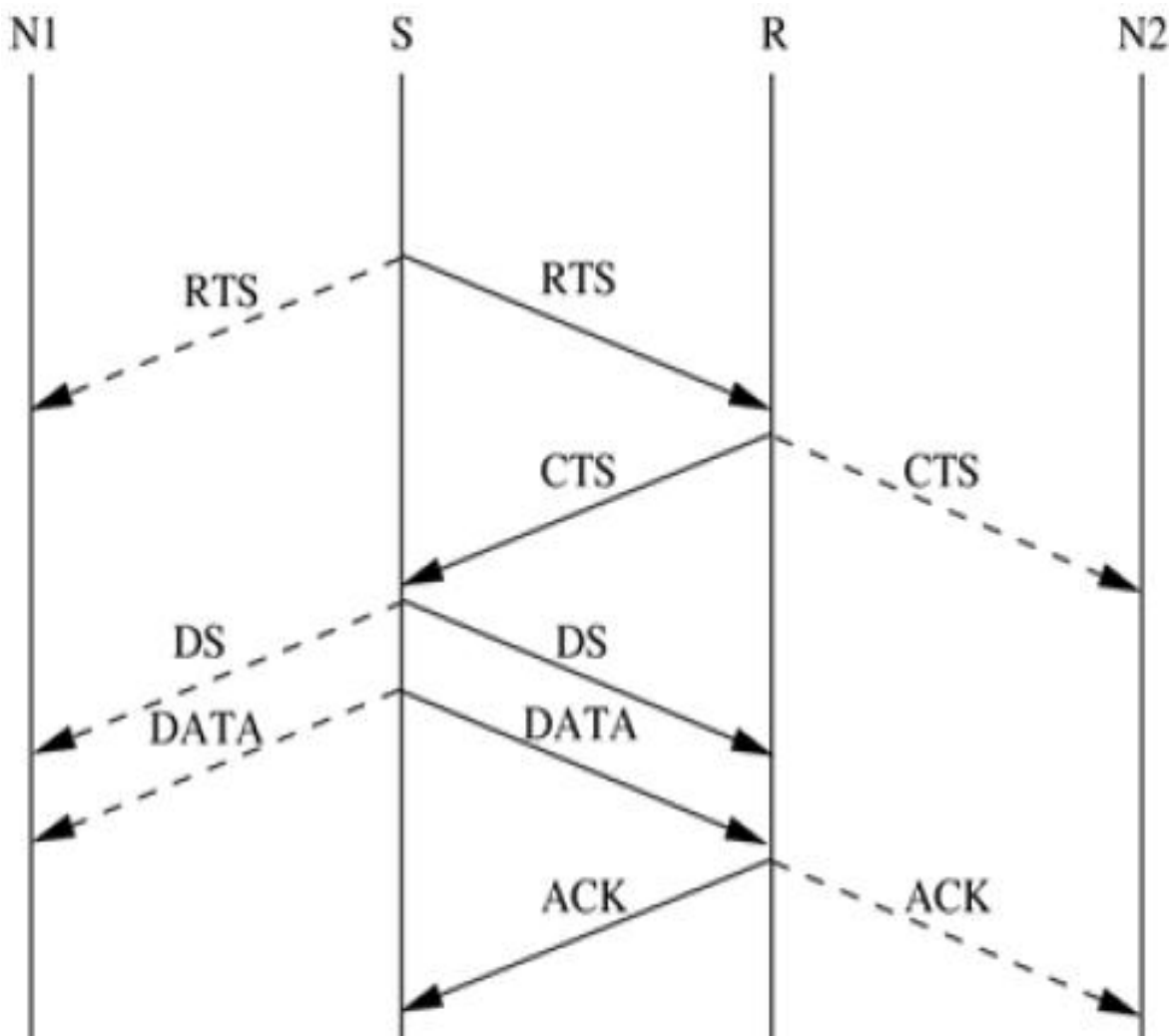
## MACAW protokol

- DS okvir

- **Rešenje:**

MACAW koristi

**DS okvir**



# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

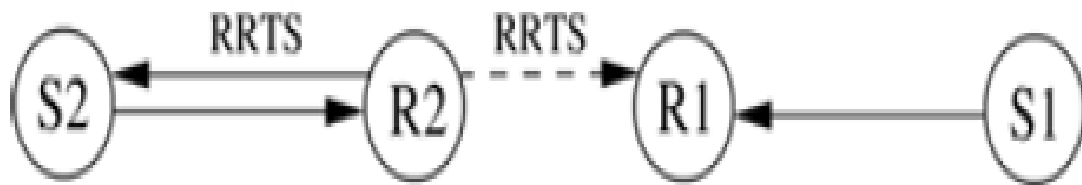
- RRTS okvir
- Posmatrajmo dvo-ćelijsku konfiguraciju:



- Neka oba para imaju potrebe za razmenom podataka
- Problem:- Nedostatak informacija sinhronizacije perioda nadmetanja

# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol



### ○ RRTS okvir

- Neka je **u toku razmena podataka S1-R1**
- U tom trenutku **S2 šalje (RTS) zahtev ka R2**
- Kako je R2 sused od R1 primio je CTS okvir od R1 i time odlaže svoju komunikaciju (dok traje slanje okvira podataka S1 – R1)
- Dakle, **R2 ne može odgovoriti sa CTS okvirom** – ometan sa podacima koje prima R1

# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol



- RRTS okvir

- ***S2 nije svestan ove situacije i nastavlja da pokušava*** - back-off brojač stanice S2 će nastaviti da raste – smanjujući mogućnost da S2 inicira slanje
- **Rešenje: *R2 nastavlja “takmičenje” za kanalom u ime S2 stanice*** – slanjem RRTS okvira



# Tehnologije sloja veze

## MACAW protokol

- RRTS okvir



- Dakle, R2 nije u stanju da vrati CTS okvir ka S2, čeka sledeći period “nadmetanja” i šalje RRTS okvir
  - **R1** kao sused prijemom RRTS okvira od R2 **čeka period vremena** (RTS-CTS razmene)
  - **S2** prijemom RRTS okvira **započinje regularni postupak** za zauzimanje kanala slanjem RTS okvira

# Tehnologije fizičkog sloja

## **Dva pod-sloja:**

- **Procedura konvergencije fizičkog sloja**
  - (**PLCP**, *PHY Layer Convergence Procedure*)
- **Pod-sloj zavisian od fizičkog medijuma**
  - (**PMD**, *Physical Medium Dependent*)

ISO/OSI Physical Layer (PHY)	802.11 Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)		
	PMD 802.11 Infrared	PMD 802.11 FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum	PMD 802.11 DSSS Direct Sequence Spread Spectrum

**Tri fizičke tehnike** za  
bežični prenos podataka:

- (1) Difuzni **infracrveni prenos** IR,
- (2) Rašireni spektar sa **skokovitim promenama frekvencije** i
- (3) Rašireni spektar pomoću **direktne sekvence**

# Tehnologije fizičkog sloja

- Kada se ***MPDU prosledi fizičkom sloju***
- Biva ***obrađena*** od strane ***procedure konvergencije fizičkog sloja*** (***PLCP, PHY Layer Convergence Procedure***)
- Dodavanjem **preambule** i **zaglavlja**
  - ***Zavise od tipa fizičkog sloja*** koji se koristi
  - ***PLCP preambula*** sadrži ***specifičan niz bitova*** koja ***omogućuje prijemniku sinhronizaciju*** demodulatora sa tajmingom prijemnog signala



# Tehnologije fizičkog sloja

- **Formirana PLCP jedinica podataka** (PPDU, *PLCP Protocol Data Unit*) **se dalje prosleđuje**
- **Pod-sloju zavisnom od fizičkog medijuma** (**PMD**, *Physical Medium Dependent*)
- Ovaj pod-sloj **šalje PPDU preko fizičkog prenosnog medijuma**, bilo da su to
  - upredene parice,
  - optički kabl ili
  - radio prenos

802.11 Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)		
PMD 802.11 Infrared	PMD 802.11 FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum	PMD 802.11 DSSS Direct Sequence Spread Spectrum



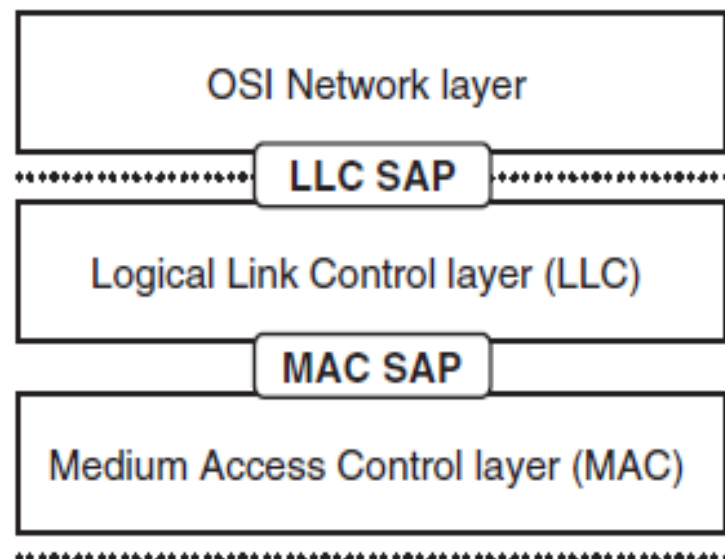
# Tehnologije fizičkog sloja

- ***Tehnologije fizičkog sloja*** određuju ***maksimalnu brzinu prenosa*** podataka koju mreža omogućuje
- Jer se na ovom sloju ***definiše način kodovanja toka podataka*** u fizički prenosni medijum

# Tehnologije fizičkog sloja

- **PMD pod-sloj** šalje **mnogo više bitova** nego što mu je **isporučeno kroz MAC SAP** od strane sloja veze

- MAC i PLCP zaglavlja,
- preambula i
- polje za proveru ispravnosti prenosa
- idle- periode povezane sa izbegavanjem kolizije i back-off procedurom



# Fizički sloj – žičane mreže

- **Većina bežičnih mreža** poseduje i **elemente bazirane na žičanom umrežavanju**
  - **Ethernet link** do tačke pristupa,
  - Uređaj-uređaj **USB konekcija**, ili
  - Internet pristup na bazi **ISDN konekcije**
- **Najčešće korišćene tehnologije** za realizaciju **žičanog fizičkog sloja** su opisane u nastavku
- **Kao uvod** u detaljniju diskusiju o bežičnim tehnologijama fizičkog sloja u LAN, PAN ili MAN



# Ethernet (IEEE 802.3)

- **Prva** od tih **tehnologija** je **Ethernet**
- **LAN tehnologija sloja veze**
- **Razvijena** od strane **Xerox** kompanije i **definisana** kroz **IEEE 802.3 standard**
- **Koristi** tehniku višestrukog pristupa sa osluškivanjem nosioca i otkrivanjem sudara (**CSMA/CD**, *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*) kao način upravljanja pristupa deljenom prenosnom medijumu





# Ethernet (IEEE 802.3)

- **Ethernet varijante** - „**A Base-B**“ mreže
  - „**A**“ - **brzina** prenosa (u **Mb/s**)
  - „**B**“ identifikuje **tip fizičkog** prenosnog **medijuma** koji se koristi u toj varijanti
- **Standardni Ethernet** (u oznaci **10 Base-T**)

# Ethernet (IEEE 802.3)

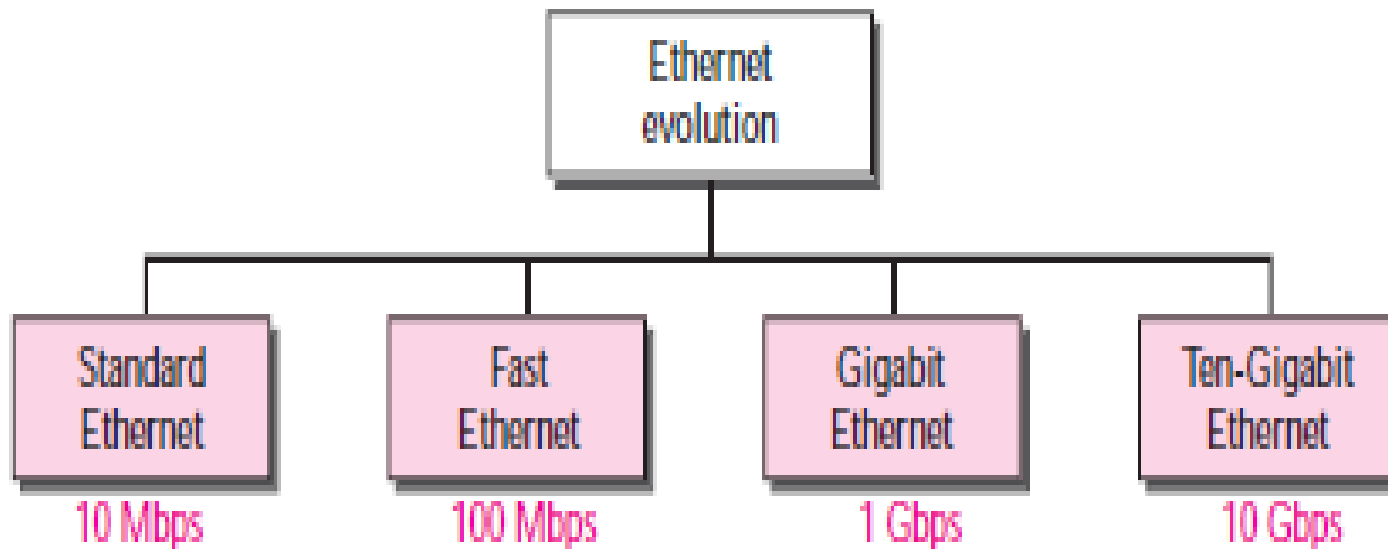
- **Standardni Ethernet** (u oznaci **10 Base-T**)
  - Omogućuje brzinu prenosa od **10 Mb/s**
  - Koristi **neoklopljeni kabl sa upredenim paricama** (**UTP kabl**)
  - **Maksimalno dozvoljena razdaljina** između stanica i najbližeg hab-a ili repetitora od **100m**

## Implementacije:

<i>Characteristics</i>	<i>10Base5</i>	<i>10Base2</i>	<i>10Base-T</i>	<i>10Base-F</i>
Medium	Thick coax	Thin coax	2 UTP	2 Fiber
Maximum length	500 m	185 m	100 m	2000 m

# Ethernet (IEEE 802.3)

- Trajni zahtevi za povećanjem brzine prenosa usloveli su postepeni ***razvoj bržih varijanti Ethernet mreže***





# Ethernet (IEEE 802.3)

- **100 Base-T4**, ili **brzi Ethernet**
- Omogućuje brzinu prenosa od **100 Mb/s**
- **U odnosu na 10 Base-T** koristi:
  - **Istu topologiju,**
  - **Isti fizički prenosni medijum** (UTP) kao i
  - **CSMA/CD postupak** kontrole pristupa prenosnom medijumu

# Ethernet (IEEE 802.3)

- Može koristiti ***i druge tipove žičanih prenosnih medijuma*** – ***100 Base-TX***, ***viša kategorija*** UTP kabla ili ***100 Base-FX***, koji koristi ***dva optička kabl***

Implementacije:

<i>Characteristics</i>	<i>100Base-TX</i>	<i>100Base-FX</i>	<i>100Base-T4</i>
Media	STP	Fiber	UTP
Number of wires	2	2	4
Maximum length	100 m	100 m	100 m

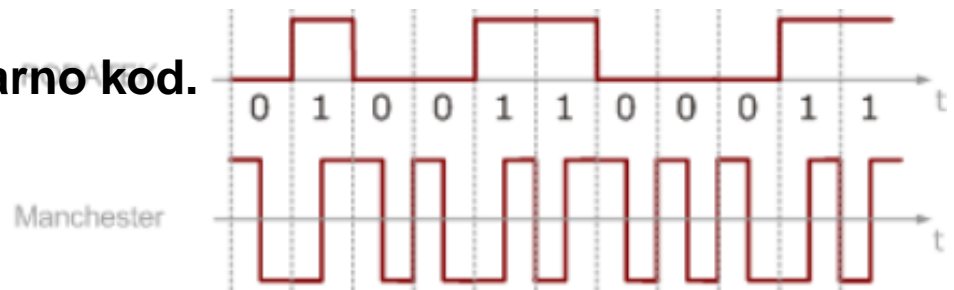
# Ethernet (IEEE 802.3)

- Međutim, **razlike postoje na fizičkom nivou**
- **Problem je u UTP kablju**
  - **Nije moguće preneti signal** frekvencije **200MHz** na rastojanje od **100 m**, bez velikih izobličenja
  - **Mančester kodiranje** zahteva duplo veću frekvenciju od bitske brzine

bifazno kod.

10Mb/s <sup>86</sup>20 miliona promena/s

unipolarno kod.



# Ethernet (IEEE 802.3)

- 100Base-T4 šema koristi **UTP kabl kategorije 3** sa **četiri para upredenih provodnika**
- Dva para su **dvosmerna**, a dva **jednosmerna**
- **Za prenos u jednom smeru** (od stanice ka hub-u ili obrnuto) uvek koriste  
**dva dvosmerna + jedan jednosmerni par**
- Dakle, **kroz jedan par** provodnika potrebno je **ostvariti brzinu** prenosa od **33.33 Mbps** kako bi ukupna brzina bila 100 Mbps

# Ethernet (IEEE 802.3)

- ***Da bi se postigla brzina prenosa*** od 33.33 Mbps kroz jedan par provodnika, ***frekvencija signala je povećana na 25 MHz*** (najviše što UTP kabl kategorije 3 može da podrži)
- Međutim ***to je nedovoljno***
  - Ako bi se koristilo ***mančester kodiranje***, sa ***25 MHz*** bilo bi moguće ostvariti bitsku brzinu od tek ***12.5 Mb/s***
- ***Dodatno ubrzanje*** prenosa postignuto je ***metodom kodiranja*** koji se zove - ***8B/6T***





# Ethernet (IEEE 802.3)

## 8B/6T

- Zahteva **ternarni signal** (**tri naponska nivoa** - negativan, nula i pozitivan)
- **Broj različitih simbola** koje je moguće preneti **u jednom taktnom ciklusu** iznosi **27** ( $3 \cdot 3 \cdot 3$ , sve varijacije tri naponska nivoa na tri linije)
- To praktično znači da se **u svakom taktnom ciklusu** mogu preneti **4 bita** korisne informacije
- Pri frekvenciji takta od 25 MHz daje konačnih **100 Mb/s**



# Ethernet (IEEE 802.3)

## 100Base-TX

- **Koristi** kvalitetniji **UTP kabl kategorije 5**
- **Omogućuje prenos** signala frekvencije **125 MHz**
- Umesto četiri **koriste se dva para upredenih provodnika**
- **Na svakom paru** postiže se bitska brzina od **100 Mb/s** - sistem je tipa **puni dupleks** (stanica može da predaje podatke brzinom od 100 Mbps i u isto vreme istom brzinom da prima podatke)

# Ethernet (IEEE 802.3)

## 100Base-TX – 4B/5B

- **Brzina** prenosa od **100 Mb/s** sa taktnom **frekvencijom** od **125 MHz** - postiže se primenom kodiranja **4B/5B**
- Zahteva signal sa **dva naponska nivoa**
  - **Manchester** šema kodiranja - **u dva taktna ciklusa prenosi jedan bit**
  - **4B/5B** šema kodiranja - **u 5 taktnih ciklusa prenose se 4 bita**
- Za takt od 125 MHz daje  $125 * 4 / 5 = 100 \text{ Mb/s}$



# USB

## Univerzalna serijska magistrala (USB)

- ***Upotreba*** univerzalne serijske magistrale (USB) ***počinje sredinom 90-ih godina***
- „***Hot-swappable plug-and-play***“ interfejs
- ***Cilj:- Zamena različitih tipova*** perifernih ***interfejsa*** paralelni portovi, serijski portovi, PS/2, MIDI, itd...



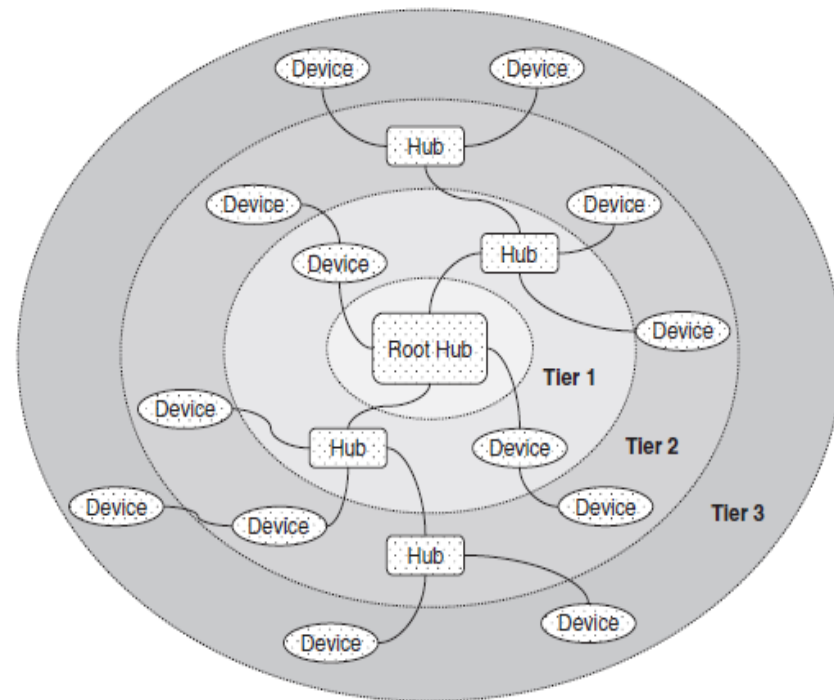
# USB

## Univerzalna serijska magistrala (USB)

- **Prva verzija** (USB 1.0) je omogućavala brzinu prenosa podataka od **12 Mb/s**
- Brzina značajno porasla kako bi se dostigao FireWire nivo od **480 Mb/s** kroz **USB 2.0**

# USB

- USB koristi **host-centričnu arhitekturu**
- **Host kontroler** koji **upravlja** identifikacijom i konfiguracijom uređaja povezanih direktno na host ili **posredne habove**
- **USB mrežna topologija:**  
**lančane veze** (daisy-chain)  
i **topologija stabla**





# USB

- USB specifikacija **podržava**:
- **Izohroni prenos**
  - Zahteva **garantovani prenosni opseg** i **malo kašnjenje** za aplikacije kao što su telefonija i prenos multimedijalnih tokova
- **Asinhroni prenos**
  - **Tolerantan na kašnjenje** i omogućuje čekanje na potrebni prenosni opseg



# USB

- **USB protokoli**
- Projektovani tako da obezbede ***mali „protocol overhead“*** - efikasno koriste raspoloživi prenosni opseg
- Raspoloživi ***propusni opseg se deli između konektovanih uređaja*** dodeljivanjem ***virtuelnih kanala*** tzv. „pipe“-ova
- Svaki ***virtuelni kanal predstavlja konekciju između hosta i jednog uređaja***



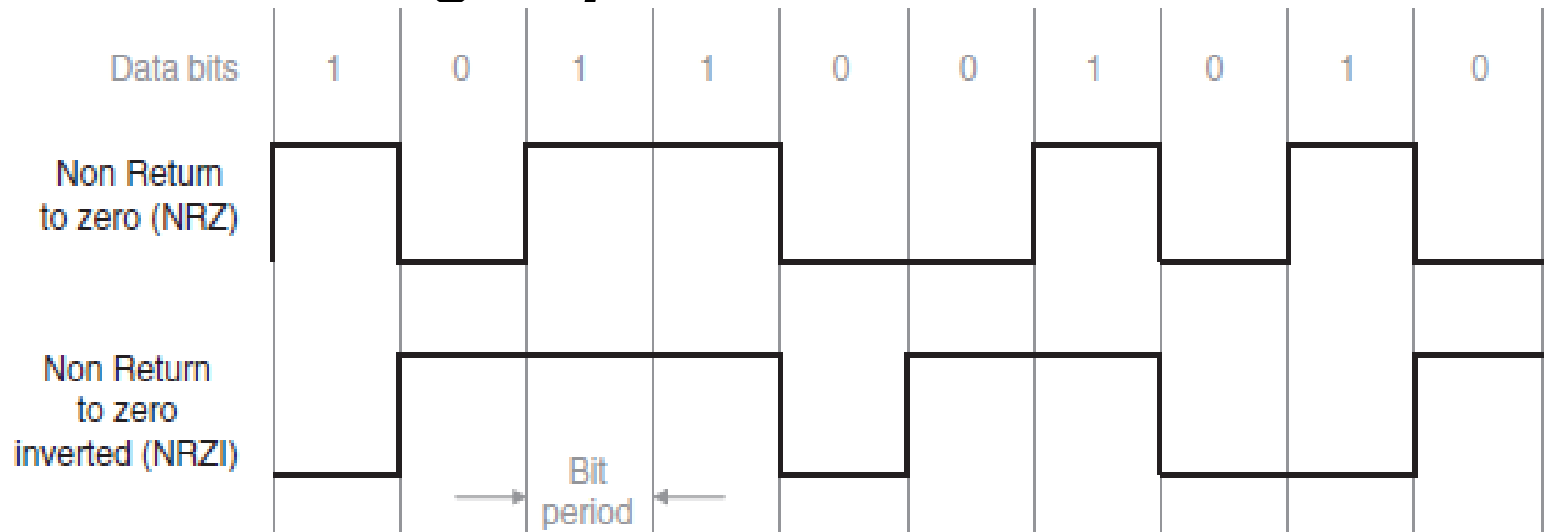


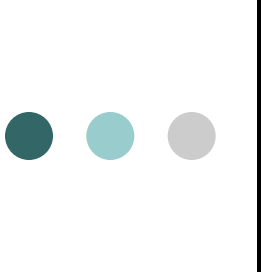
# USB

- **USB protokoli**
- **Prenosni opseg virtuelnog kanala** se određuje **tokom uspostave virtuelnog kanala**
- Omogućena **istovremena komunikacija većeg broja uređaja** sa različitim brzinama prenosa
  - Na primer, prenosni opseg kojim se uslužuju aktivni uređaji za digitalnu telefoniju može biti rangiran od 1 B („bearer“) kanala plus 1 D („demand“) kanal pa sve do PCM kapaciteta (2 Mb/s)

# USB

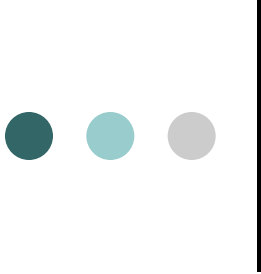
- **USB koristi NRZI** (*Non Return to Zero Inverted*) šemu kodovanja podataka. U NRZI kodovanju, **1-bit** se predstavlja **nivoom izlaznog napona bez promene**, a **0-bit** se predstavlja **promenom nivoa izlaznog napona**





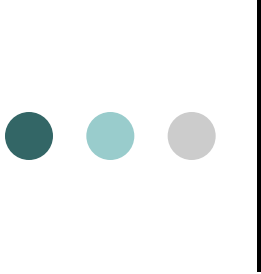
# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

- ***Tehnologije fizičkog sloja*** koje predstavljaju ***osnovu za bežične mreže*** će u nastavku kursa biti ***detaljno obrađene*** (što kroz predavanja a što kroz vežbe) kada se budu obrađivale LAN, PAN i MAN tehnologije i njihova implementacija



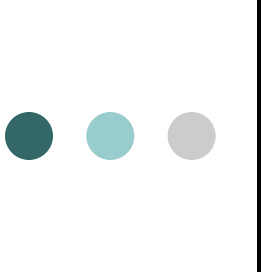
# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

- ***Svaka bežična tehnologija fizičkog sloja***, od Bluetooth-a do ZigBee-a, ***opisuje se kroz ključne tehnološke aspekte*** koji su sumirani u sledećoj tabeli:



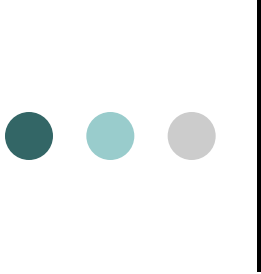
# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

Tehnološki aspekt	Pitanja za razmatranje
<b>Frekvencijski opseg</b>	<b>Koji deo</b> elektro-magnetnog <b>spektra</b> se koristi, koji je <b>raspoloživi propusni opseg</b> , kako se <b>segmentira u kanale</b> ? Koji <b>mehanizmi</b> su raspoloživi za <b>kontrolu korišćenja</b> propusnog <b>opsega</b> kako bi se omogućila koegzistencija većeg broja korisnika istog opsega.



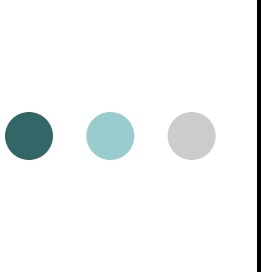
# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

Tehnološki aspekt	Pitanja za razmatranje
<b>Prostiranje</b>	Koji <b>nivoi snage signala</b> su dozvoljeni u datom opsegu od strane regulatornog tela? Koji <b>mehanizmi</b> su na raspolaganju što se tiče <b>kontrole prenosne snage</b> kako bi se minimizirao negativni efekat interferencije drugih korisnika, maksimizirao efektivni opseg ili iskoristi prostorna raznolikost kako bi se povećala propusnost?



# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

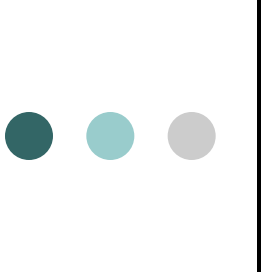
Tehnološki aspekt	Pitanja za razmatranje
<b>Modulacija</b>	<b>Kako se kodiraju podaci</b> koji se prenose preko fizičkog medijuma, na primer, modulisanjem <b>jednog nosioca ili više</b> u fazi i/ili amplitudi i/ili poziciji?
<b>Šema kodiranja</b>	<b>Kako se izvorni bitovi okvira podataka koduju u simbole za prenos?</b> Koje funkcije se ostvaruju tim mehanizmima kodiranja, na primer, robusnost na šum ili efikasno korišćenje raspoloživog prenosnog opsega?



# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

Tehnološki aspekt	Pitanja za razmatranje
<b>Pristup prenosnom medijumu</b>	Kako kontrolisati pristup prenosnom medijumu tako da se raspoloživi prenosni opseg maksimizira i da se obezbedi efikasna veza između korisnika? Koji mehanizmi su na raspolaganju za pristup različitim medijumima korisnika sa različitim servisnim zahtevima?





# Tehnologije fizičkog sloja - Bežične mreže

- Opseg i značaj pojedinih pitanja umnogome zavisi od tipa tehnologije (Ir, RF, Near-field) kao i od same primene (PAN, LAN ili WAN)