

Računarske mreže 1

2. deo: Data Link Layer

Predavač:

Prof. dr Slavko Gajin, slavko.gajin@rcub.bg.ac.rs

Asistenti:

Stefan Tubić, stefan.tubic@etf.bg.ac.rs

Marko Mićović, micko@etf.bg.ac.rs

Kristijan Žiza, ziza@etf.bg.ac.rs

<http://elearning.rcub.bg.ac.rs>

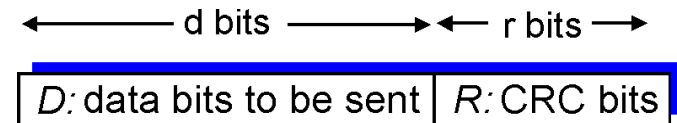
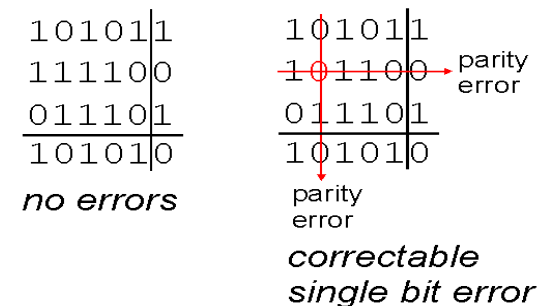
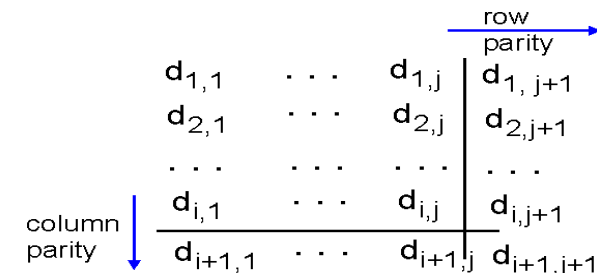
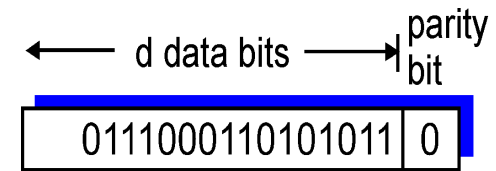
2020. god

Data-link layer (2. sloj – L2)

- Sloj za pristup fizičkom medijumu (L1)
- Horizontalna komunikacija sa L2 slojem da drugom uređaju
 - Prenos okvira između uređaja preko fizičkog medijuma
- Funkcije (u opštem slučaju)
 - *Framing* - formiranje okvira, definisan format zaglavlja
 - Kontrola pristup fizičkom medijum – *Media Access Control* (MAC)
 - Detekcija grešaka, korekcija grešaka (opciono)
 - Pouzdanost (opciono) – potvrda prijema
- Implementacija
 - Na nivou mrežne kartice (*NIC – Network Interface Card*)
 - Hardverska implementacija (brzo procesiranje, bez interapta CPU)
 - Čvrsto vezano za fizički medijum
 - fizička implementacija i topologija

Detekcija greške

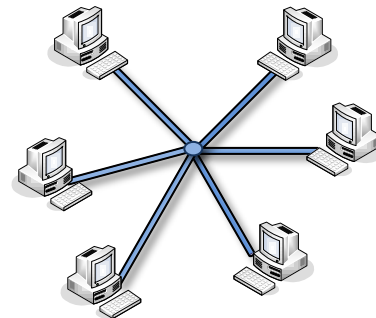
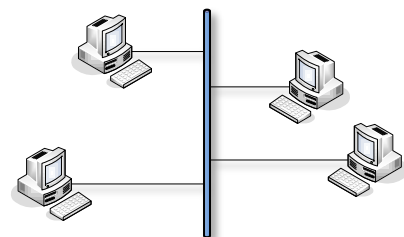
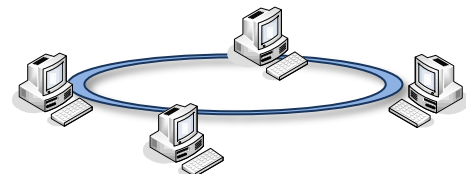
- Algoritmi detekcije greški:
 - Prilikom slanje dodaju se kontrolni bitovi
 - Prilikom prijema računaju se kontrolni bitovi i porede sa primljenim kontrolnim bitovima
- Vrste:
 - **Bitska parnost**
 - Dodaje se jedan bit da se omogući da je ukupan broj jedinica u okviru uvek paran (ili neparan)
 - **Dvodimenzionalna bitska parnost**
 - Okvir se deli na manje celine fiksne veličine, koji se posmatraju kao matrice određene dimenzije
 - Po svim redovima i kolonama - bitska parnost
 - Zna se pozicija greške – moguća korekcija!
 - **Cyclic Redundancy Check (CRC)**
 - Matematička operacija primenjena na proizvoljan niz bitova
 - G – Generator, fiksna vrednost
 - **Internet Checksum** (RFC 1071)



$$R = \text{ostatak} \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$

Topologija fizičkog medija

- Direktna veza (*point-to-point*)
 - Samo za direktno povezane učesnike
- Prstenasta topologija (*ring*)
 - Paketi kruže u jednom ili oba smera
 - Više učesnika – adresiranje
 - Ravnopravni pristup medijumu
- Bas topologija (*bus*)
 - Ravnopravno deljeni medijum
 - Više učesnika – adresiranje
 - „Borba“ za pristup medijumu - kolizija
- Zvezdasta topologija
 - Centralni uređaj za međusobnu komunikaciju
- Bežična mreža (*Wireless*)
 - Logička topologija:
 - Zvezdasta - jedan uređaj kontroliše komunikaciju
 - Bas - ravnopravno deljeni medijum



Kontrola pristup medijumu

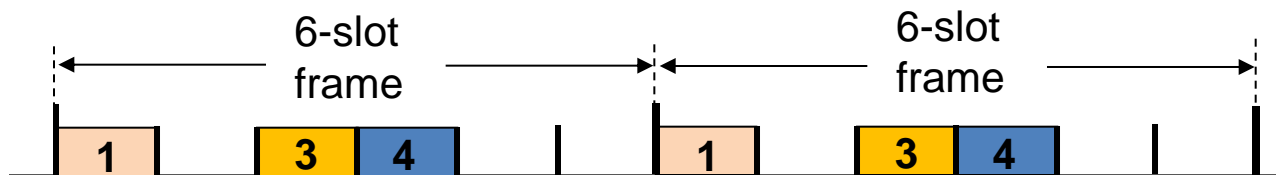
- Kontrola pristup medijumu – *Media Access Control* (MAC)
- Deljeni medijum sa više učesnika
 - Svi učesnici „vide“ sve pakete - *broadcast*
 - Različiti učesnici mogu istovremeno da šalju svoje pakete
 - Moguća kolizija usled interferencije signala - paketi su uništeni !
- Protokoli pristupa deljenom medijumu od strane više učesnika *Media Access Control* (MAC)
 - Definiše način distribuiranog dogovaranja oko pristupa i deljenja medijuma
- Kako na idealan način M učesnika treba da dele medijum kapaciteta od B bps?
 - Kada jedan učesnik šalje pakete - koristi svih B bps propusnog opsega
 - Kada M učesnika šalju pakete - koriste B/M bps propusnog opsega
 - Da bude decentralizovano
 - Nema centralnog čvora koji kontroliše redosled slanja
 - Nema sinhronizacije, svako može da šalje kada želi
 - Da bude jednostavno

Deljenje medijuma

- Podela medijuma (*Channel Partitioning*)
 - Podela medijuma (kanala) na manje delove
 - Vremenski, frekvencijski, kodovano
 - Svaki učesnik ekskluzivno dobija svoj deo kanala
 - Efikasno za velika opterećenja
- Pristup sa dodelom dozvole (*Taking Turns*)
 - Svaki učenik čeka da mu se po određenom algoritmu dodeli dozvola za slanje
- Slučajan pristup (*Random Access*)
 - Svako može da šalje kada ima pakete za slanje – slučajan pristup
 - Svako može da koristi ceo propusni opseg
 - Moguća kolizija – treba je razrešiti
 - Efikasno za mala opterećenja

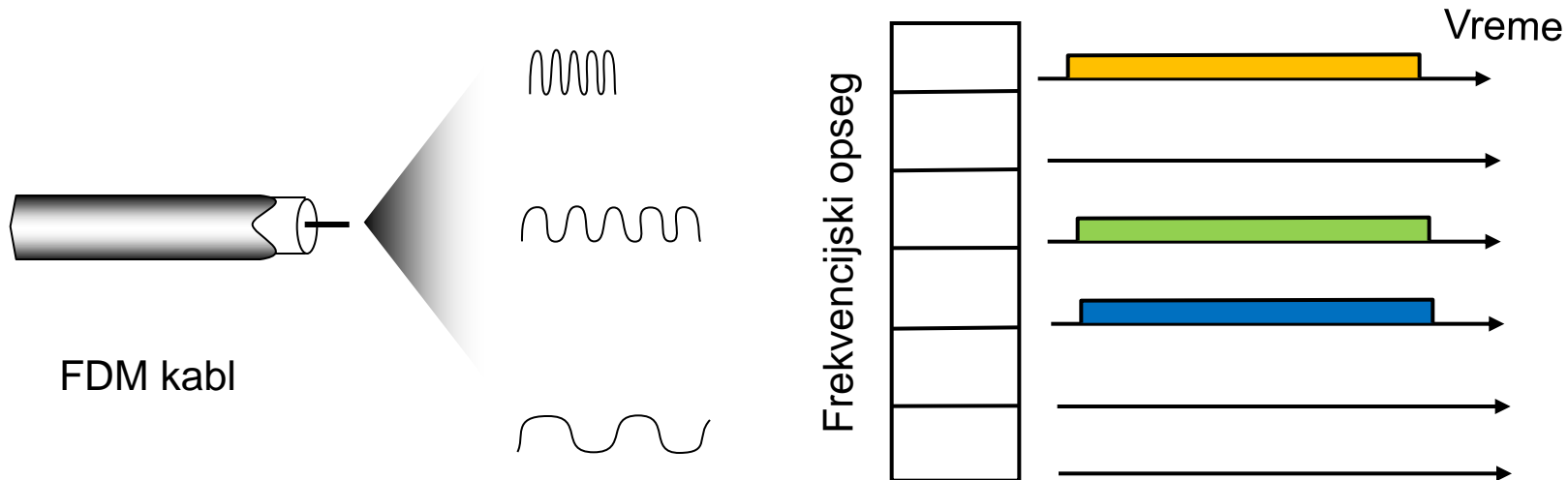
Podela kanala - TDMA

- Vremenska podela - TDMA
(*Time Division Multiple Access*)
 - Svaki učesnik dobija svoj fiksni vremenski okvir (slot) za slanje
 - Unapred utvrđen redosled slanja
 - Ako nema paketa za slanje, slot i ceo kanal ostaje neiskorišćen



Podela kanala - FDMA

- Frekvencijska podela - TDMA
(*Frequency Division Multiple Access*)
 - Svaki učesnik dobija svoju fiksnu frekvenciju za slanje
 - Učesnici pakete mogu da šalju istovremeno
 - Nedodeljene frekvencije ostaju neiskorišćene



Pristup sa dodelom dozvole

- Pristup sa dodelom dozvole - *Taking Turns*
- Prozivanje (*Polling*)
 - Jedan glavni (*Master*), ostali su sporedni (*Slave*)
 - *Master* proziva *Slave* učesnike i dodeljuje im dozvolu za slanje
- Kruženje žetona (*Token Passing*)
 - Po prstenu kruži kontrolni paket, tzv. token
 - Svi učesnici prihvataju token i prosleđuju dalje
 - Preko tokena se učesnici koordiniraju kojim redosledom će da se šalju paketi
 - Najpoznatija implementacija – IBM TakenRing
- Prednosti:
 - Efikasno za različita opterećenja
- Nedostatak:
 - Složena implementacija, ograničene brzine, samo prstenaste topologije (fizičke i logičke)

Slučajan pristup (*Random Access*)

- Karakteristike

- Svako može da šalje kada ima pakete za slanje – slučajan pristup
- Svako može da koristi ceo propusni opseg
- Moguća kolizija – treba je razrešiti
- Efikasno za mala opterećenja

- Osnovni problem – kolizija

- Dva ili više okvira istovremeno na medijumu - interferencija

- Potrebno je:

- Izbeći koliziju (ili bar smanjiti verovatnoću nastanka)
- Detektovati koliziju
- Oporavite se od kolizije

- Primeri:

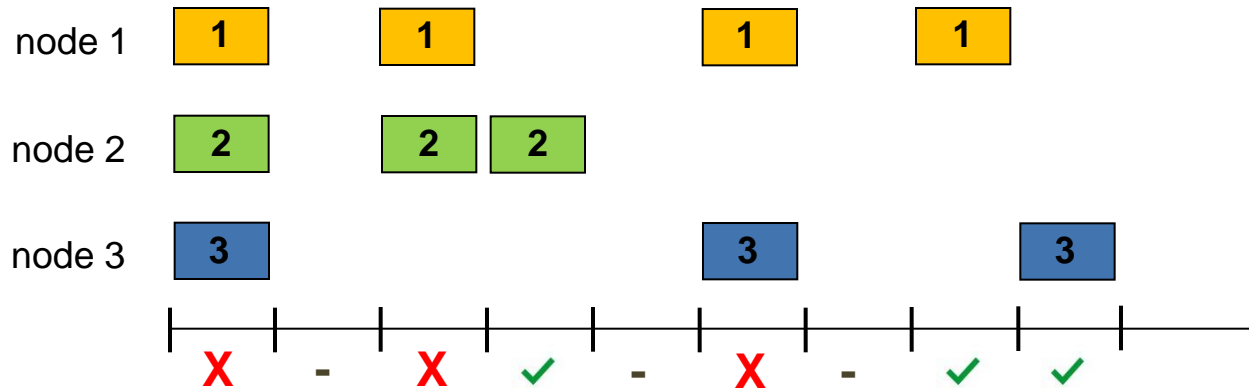
- Slotted ALOHA
- Pure ALOHA
- CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

Slotted ALOHA

- Svi paketi su iste veličine
- Vreme se deli na podjednake intervale, tzv. slotove
- Učesnici moraju da budu sinhronizovani (zna se kada je početak i kraj slotu)
- Paketi mogu da se šalju samo u vremenskim slotovima
- Ako više učesnika šalje u jednom slotu, dolazi do kolizije
- Ako nema kolizije – može da se šalje sledeći paket u sledećem slotu
- Ako je nastala kolizija
 - Svi detektuju koliziju
 - Učesnik u koliziji ponovo šalje isti paket u nekom narednom slotu sa određenom verovatnoćom (p)
 - Ne mora da bude prvi naredni slot
 - Nastoji se da se kolizija izbegne, ali se ne garantuje

Slotted ALOHA

- Primer:



Prednosti:

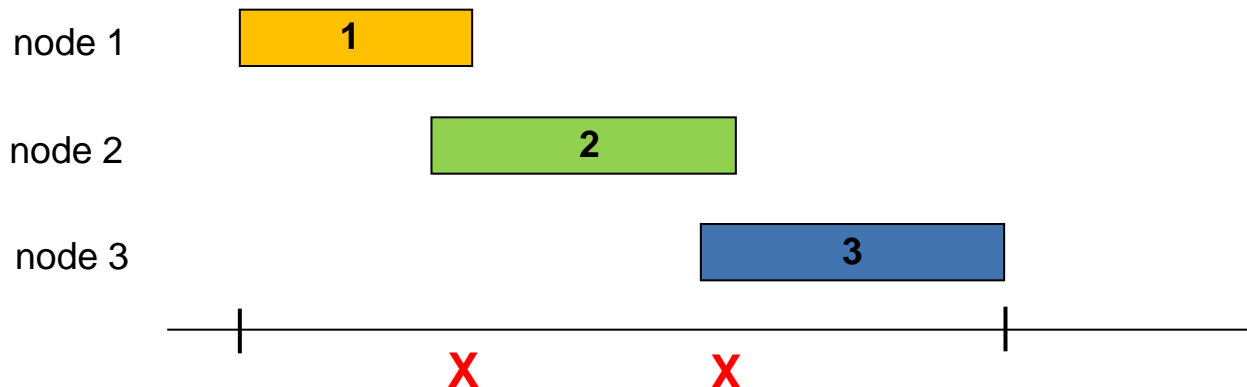
- Jedan učesnik može da koristi ceo propusni opseg
- Decentralizovano
- Jednostavno

Nedostaci:

- Trošenje slotova u slučaju kolizije
- Mogućnost da se jave neiskorišćeni slotovi nakon kolizije
- Učesnici moraju da budu sinhronizovani u vremenu (da prepoznaju slotove)

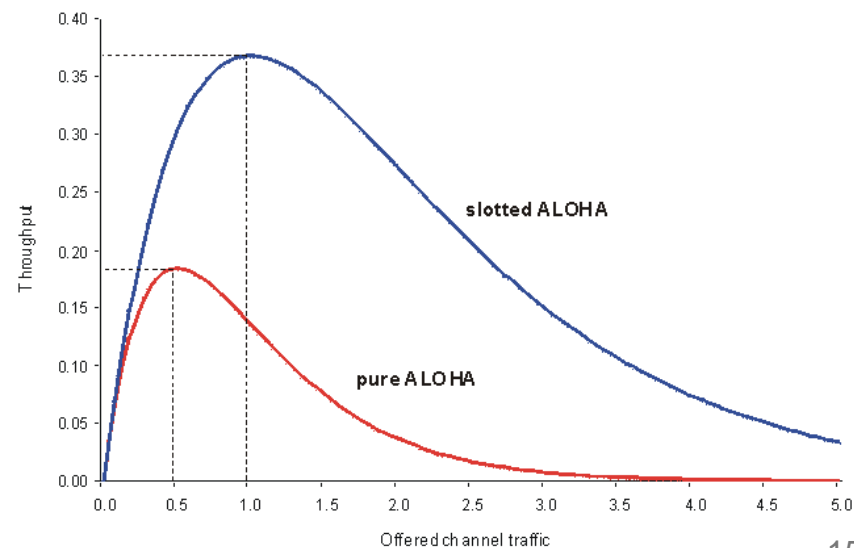
Pure ALOHA

- Nema slotova, svako može da šalje okvira kada želi
- Nema sinhronizacije
- Povećana verovatnoća kolizije
- Primer:
 - Okvir broj 2
 - Kolizija na početku slanja okvira broj 2 sa okvirom broj 1
 - Kolizija pri kraju slanja okvira broj 2 sa okvirom broj 3
 - Sva tri okvira su u koliziji - neupotrebljivi



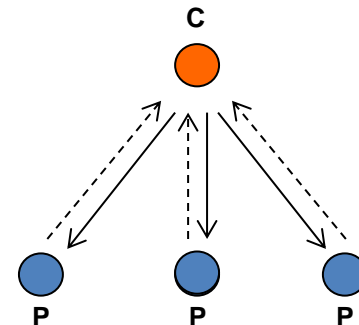
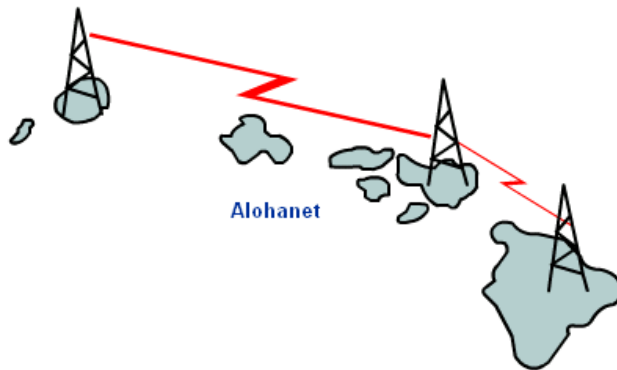
Efikasnost

- Mnogo učesnika sa mnogo paketa za slanje, posmatrano u dužem vremenskom trajanju
- Slotted ALOHA
 - N učesnika šalju pakete sa verovatnoćom p
 - Verovatnoća da jedan učesnik pošalje bez kolizije: $p(1-p)^{N-1}$
 - Verovatnoća da bilo koji učesnik pošalje bez kolizije: $Np(1-p)^{N-1}$
 - Naći p^* za $\max(Np(1-p)^{N-1})$ za $N \rightarrow \infty$
 - Maksimalna efikasnost: $1/e = 37\%$
 - 37% uspešnog slanja
 - 37% slobodnih slotova
 - 26% kolizije
- Pure ALOHA
 - Maksimalna efikasnost: $1/2e = 18.5\%$



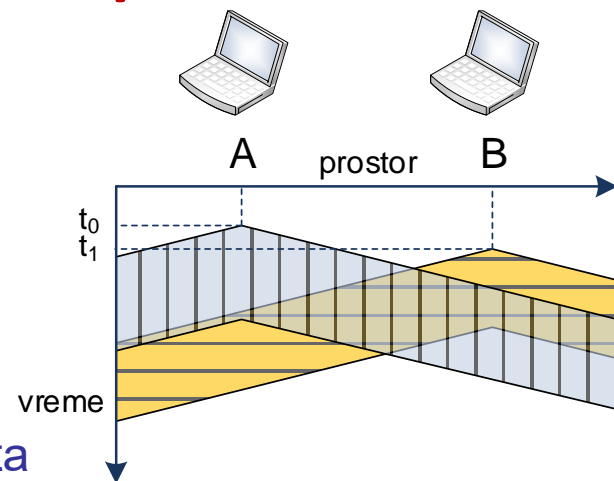
ALOHAnet

- 1969 - Norm Abramson, Univerzitet na Havajima
- Potreba: povezati zgrade univerziteta po ostrvima
- Originalna ideja
 - Jedan centralni učesnik, ostali su periferni
 - Sva komunikacija preko centralno učesnika
 - Od centralnog ka perifernim (*Downstream*):
 - Jedna frekvencija za komunikaciju od centralnog ka perifernim učesnicima
 - Samo centralni šalje, nema kolizije
 - Od periferne ka centralnom (*Upstream*):
 - Druga frekvencija za komunikaciju u smeru od perifernih učesnika ka centralnom
 - Svako može da šalje pakete, deljeni medijum, moguća kolizije
- Prva bežična mreža povezana na ARPAnet (1970)



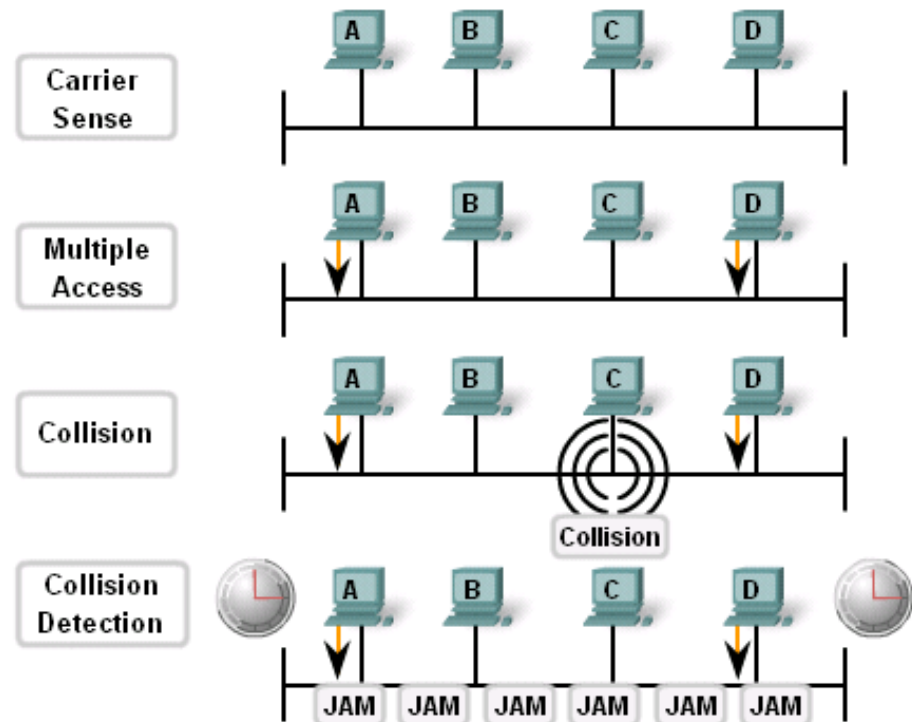
CSMA - *Carrier Sense Multiple Access*

- ALOHAnet - Pure ALOHA
- Generalni princip pod nazivom **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*)
Višestruki pristup deljenom medijumu
 - Jednostavna pravila:
 - Svi uređaji “slušaju” aktivnost na medijumu
 - Ako je medijum zauzet – čeka se sa slanjem paketa
 - Ako je medijum slobodan – paket se šalje
 - Mogućnost nastanka kolizije
 - U bliskim vremenskim trenucima zbog ograničene brzine propagacije signala
- Detekcija kolizije
 - **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*) -
Višestruki pristup deljenom medijumu sa detekcijom kolizije
 - Jednostavno na žičanom medijumu
 - Tokom slanja uređaj istovremeno i prima signale i poredi da li su istovetni
 - Komplikovano na bežičnom medijumu
 - Jačina signal pri slanju je daleko veća od jačine prijama signala sa drugih uređaja



Ethernet

- Bob Metcalfe, PhD na Harvardu, radi na MIT na ARPAnet
- 1970 se zapošljava se u XEROX Palo Alto Research Center
- Početkom 70tih posećuje Abramsona na Havajima
- Inspirisan sa ALOHAnet, poznavajući ARPAnet, primenjuje CSMA principe na bakarnom koaksijalnom kablju zajedno sa kolegom David Boggs
- **Ethernet**
 - 2.94 Mbps
 - 256 računara
 - Rastojanja do jedne milje



Dalji razvoj Ethernet tehnologije

- 1980 - Ethernet je objavljen kao otvoren standard
 - Konzorcijum Digital Equipment Company, Intel, and Xerox (DIX verzija Etherneta)
 - 10Mbps preko “debelog” koaksijalnog kabla (thick-Ethernet)
- 1985 - IEEE komitet za standarde za LAN i MAN mreže je objavio standard za Ethernet 802.3
 - IEEE 802.3 standard opisuje prvi i donju polovinu drugog sloja OSI modela
 - Razlika u odnosu na DIX Ethernet su vrlo male
 - Sve mrežne kartice danas rade i sa DIX Ethernet i sa 802.3 okvirima
- 1995 - IEEE je objavio standard za 100-Mbps Ethernet
- 1998 - IEEE je objavio standard 1 Gbps Ethernet
 - Svi ovi standardi su kompatibilni sa originalnim Ethernet standardom
 - Ethernet okvir može da se pošalje sa starog koaksijalnog segmenta i da nepromenjen prođe kroz različite Ethernet segmente (100Mbps, 1Gbps,...)
- Bob Metcalfe
 - 1979. napušta Xerox i osniva sopstvenu kompaniju 3COM
 - Proizvodi Ethernet kartice, kasnije i mrežnu opremu (svićeve i rutere)
 - 2009 – HP kupuje 3COM za \$2.7B

Literatura

- Wendell Odom
„CCNA - Cisco official exam certification guide“
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“
prevod 7. izdanja
CET

