

4. Ethernet

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

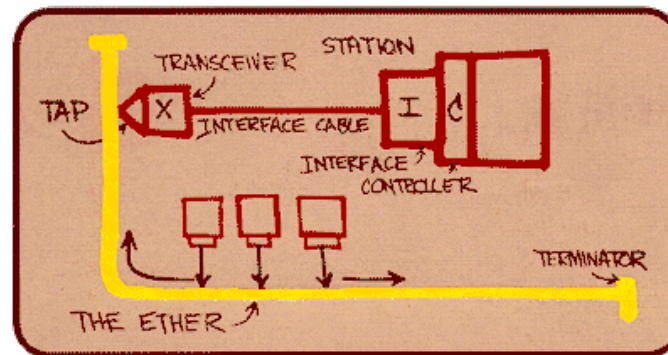
Ethernet

- ❑ Uvod
- ❑ Struktura frejma
- ❑ Standardi
- ❑ Detekcija greške
- ❑ MAC kontrola
- ❑ Switch
- ❑ Virtuelni LAN

Ethernet

Uvod

- ❑ 1973-1976
- ❑ "dominantna" žična LAN tehnologija
- ❑ nekoliko € za 1Gb/s!
- ❑ Prva široko korišćena LAN tehnologija
- ❑ Jednostavnija, jeftinija od token LANova i ATM
- ❑ Familija standarda
- ❑ Široki opseg brzina prenosa: 10 Mb/s - 400 Gb/s

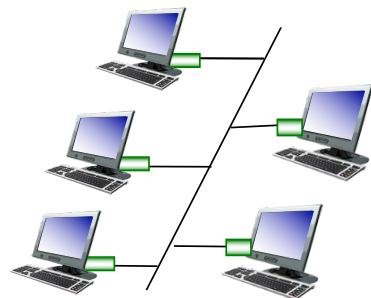


Metcalfova skica Etherneta

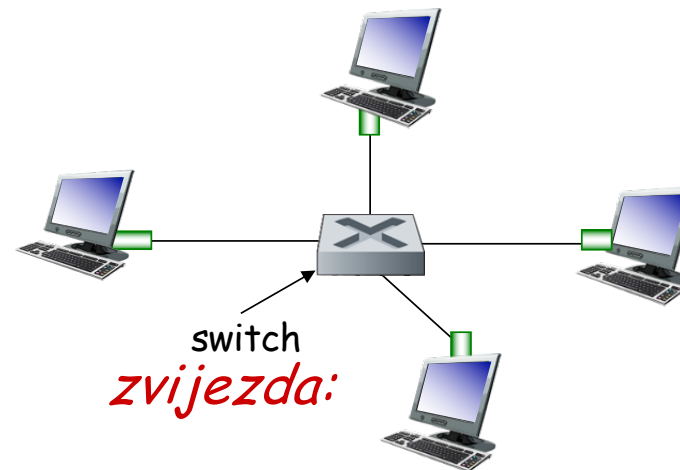
Ethernet

Uvod

- magistrala: bila je popularna sredinom devedesitih
 - Sva čvorišta su u istom kolizionom domenu
- **zvijezda**: preovlađuje danas
 - aktivni switch u centru
 - Svaki link switcha posebni kolizioni domen
 - Bakarna upredena parica
 - Optičko vlakno
 - ...



magistrala: koaksijalac



Telekomunikacione mreže

Ethernet

Uvod

- ❑ **Nekonektivan**: Nema konekcije 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 popunjavaju drugi protokoli ako je to potrebno
 - u suprotnom, aplikacija će vidjeti praznine
- ❑ MAC kontrola je **CSMA/CD sa eksponencijalnim backoff-om**

Ethernet

Struktura frejma

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



Preamble:

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

Ethernet

Struktura frejma

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

Tip(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

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

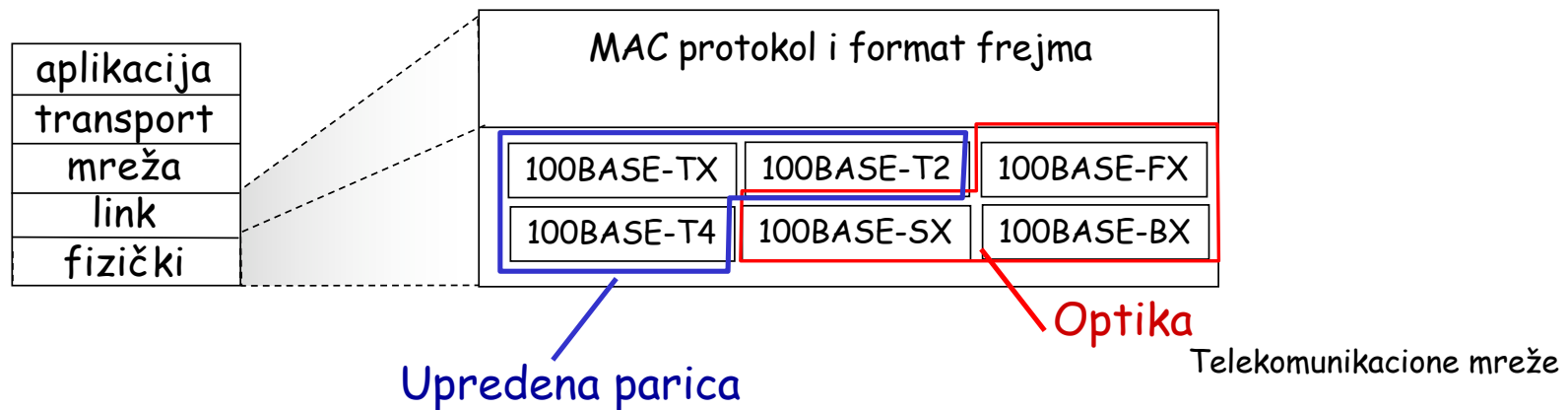
tip



Ethernet

Standardi

- ❑ IEEE 802.3 radna grupa
- ❑ Pokrivaju fizički nivo i nivo linka
- ❑ **zajednički MAC protokol i format frejma**
- ❑ Različite brzine: 2 Mb/s, 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1Gb/s, 2,5Gb/s, 5Gb/s, 10Gb/s, 40Gb/s, 50Gb/s, 100Gb/s, 200Gb/s i 400Gb/s
- ❑ Različiti medijumi za prenos: **optičko vlakno, upredena parica,...**
- ❑ Lista standarda se može naći na <https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page/series?id=68>
- ❑ IEEE 802.3-2018



Ethernet

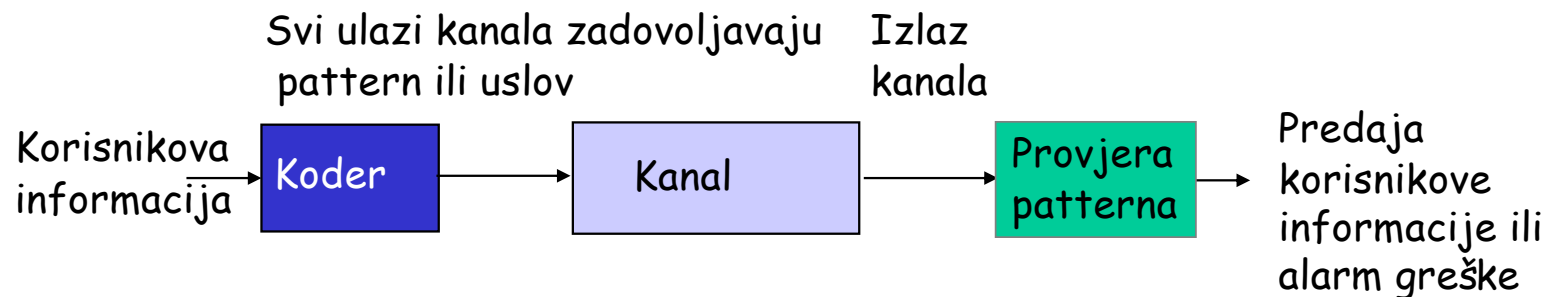
Detekcija greške

- ❑ Telekomunikacioni sistemi unose grešku
- ❑ Aplikacije zahtijevaju određeni nivo pouzdanosti
 - Aplikacije prenosa podataka zahtijevaju prenos bez greške
 - Govor & video aplikacije tolerišu određeni nivo greške
- ❑ Kontrola greške se koristi kada prenosni sistem ne zadovoljava zahtjeve aplikacije
- ❑ Kontrola greške obezbjeđuje da se podaci do određenog nivoa prenose bez greške
- ❑ Dva osnovna principa:
 - *Detekcija greške & retransmisija (ARQ)*
 - *"Forward error correction"(FEC)*
- ❑ Najčešće se realizuje *na nivoima linka i transporta*

Ethernet

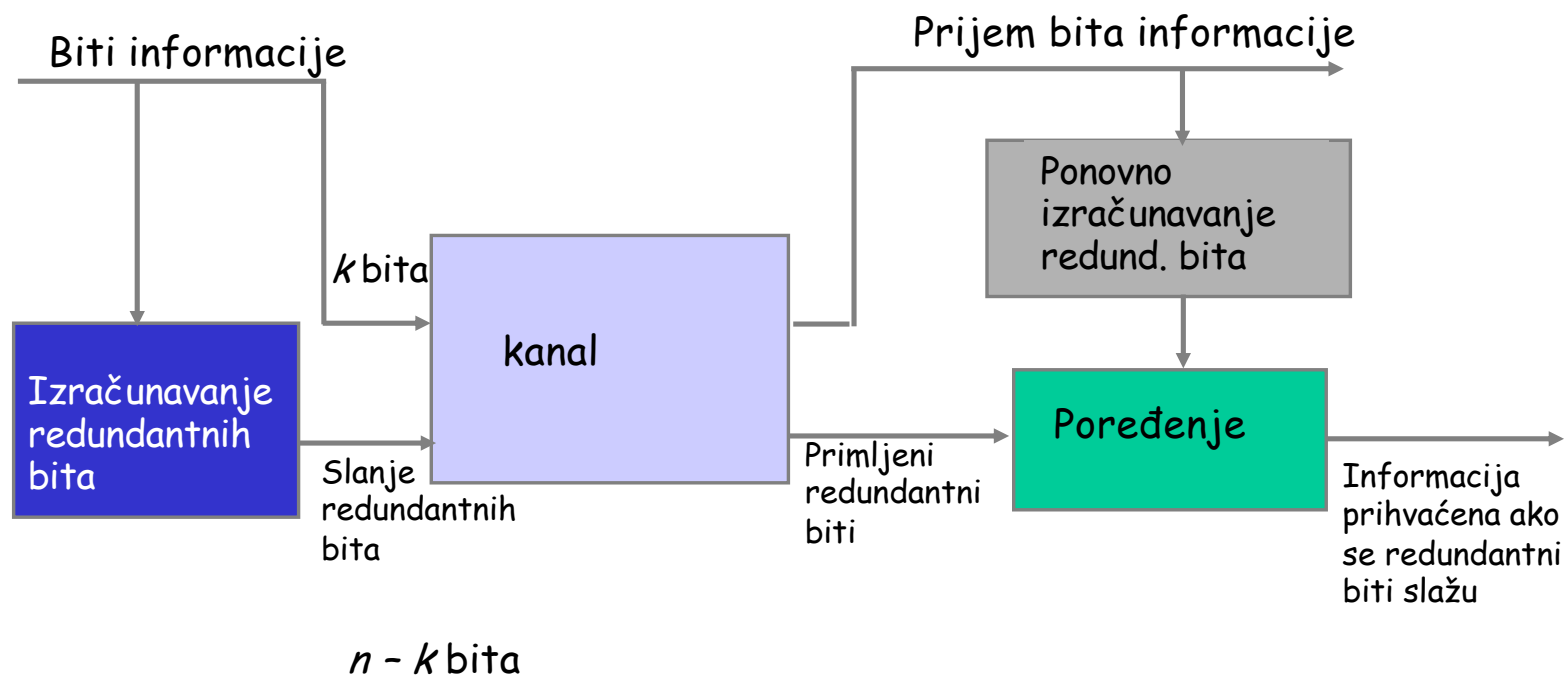
Detekcija greške

- ❑ Svi prenošeni blokovi podataka ("kodne riječi") treba da zadovoljavaju **šablon** (pattern)
- ❑ Ako primljeni blok ne zadovoljava šablon, znači da se pojavila greška
- ❑ Redundansa: Samo podskup svih mogućih blokova može biti kodna riječ
- ❑ Problem nastaje kada kanal transformiše kodnu riječ u drugu kodnu riječ!!!!!!



Ethernet

Detekcija greške



Ethernet

Detekcija greške

- ❑ Ciklična provjera redundanse (Cyclic Redundancy Check)
- ❑ Koriste se **polinomi i aritmetika polinoma**
- ❑ Implementiraju se korišćenjem kola sa **pomjeračkim registrima**
- ❑ Ovi kodovi predstavljaju odličnu bazu za realizaciju moćnih metoda za korekciju greške
- ❑ Originalnoj poruci odgovara polinom koji se dijeli sa **generišućim polinomom**.
- ❑ Ostatak pri dijeljenju se upisuje u **CRC polje**.
- ❑ Na prijemu se polinom koji odgovara primljenoj poruci dijeli generišućim polinomom. Ostatak pri dijeljenju se upoređuje sa sadržajem CRC polja. Ako nema razlika prenos je bio uspješan.
- ❑ Ovi kodovi se zovu još i polinomijalni kodovi.

Ethernet

Detekcija greške

Binarni vektor se mapira u polinome

$$(i_{k-1}, i_{k-2}, \dots, i_2, i_1, i_0) \rightarrow i_{k-1}x^{k-1} + i_{k-2}x^{k-2} + \dots + i_2x^2 + i_1x + i_0$$

Sabiranje:

$$\begin{aligned}(x^7 + x^6 + 1) + (x^6 + x^5) &= x^7 + x^6 + x^6 + x^5 + 1 \\ &= x^7 + (1+1)x^6 + x^5 + 1 \\ &= x^7 + x^5 + 1 \quad \text{jer je } 1+1=0 \text{ mod } 2\end{aligned}$$

Množenje:

$$\begin{aligned}(x+1)(x^2 + x + 1) &= x(x^2 + x + 1) + 1(x^2 + x + 1) \\ &= x^3 + x^2 + x + x^2 + x + 1 \\ &= x^3 + 1\end{aligned}$$

Ethernet

Detekcija greške

Dijeljenje polinoma

$$\begin{array}{r} x^6 + x^5 : x^3 + x + 1 = x^3 + x^2 + x \\ \text{djelilac} \quad \underline{x^6 + \quad x^4 + x^3} \\ \quad x^5 + x^4 + x^3 \\ \quad \underline{x^5 + \quad x^3 + x^2} \\ \quad \quad x^4 + \quad x^2 \\ \quad \quad \underline{x^4 + \quad x^2 + x} \\ \quad \quad \quad x = r(x) \text{ ostatak} \end{array}$$

Napomena: Stepen $r(x)$ je manji od stepena djelioca

Ethernet

Detekcija greške

Kod ima binarni **generišući polinom** stepena $n-k$

$$g(x) = x^{n-k} + g_{n-k-1}x^{n-k-1} + \dots + g_2x^2 + g_1x + 1$$

k **informacionih bita** definiše polinom stepena $k-1$

$$i(x) = i_{k-1}x^{k-1} + i_{k-2}x^{k-2} + \dots + i_2x^2 + i_1x + i_0$$

Cilj je pronaći **polinom ostatka** sa stepenom reda $n-k-1$ (maksimalno) tako da je

$$x^{n-k}i(x) = q(x)g(x) + r(x)$$

Definiše se **polinom kodne riječi** stepena $n-1$

$$\underbrace{b(x)}_{n \text{ bita}} = \underbrace{x^{n-k}i(x)}_{n \text{ bita}} + \underbrace{r(x)}_{n-k \text{ bita}}$$

Ethernet

Detekcija greške

Primjer: $k=4, n=7$

Generišući polinom: $g(x) = x^3 + x + 1$

Informacija: $(1,1,0,0)$ $i(x) = x^3 + x^2$

Kodiranje: $x^3 i(x) = x^6 + x^5$
 $x^3 + x^2 + x$

$$\begin{array}{r}
 x^3 + x + 1 \overline{) x^6 + x^5} \\
 \underline{x^6 + + x^4 + x^3} \\
 x^5 + + x^3 \\
 \underline{ x^5 + + x^3 + x^2} \\
 x^4 + + x^2 \\
 \underline{ x^4 + + x^2 + x} \\
 x
 \end{array}$$

Prenošena **kodna riječ**:

$$b(x) = x^6 + x^5 + x$$

$$\implies \underline{b} = (1,1,0,0,0,1,0)$$

$$\begin{array}{r}
 1110 \\
 \hline
 1011 \overline{) 1100000} \\
 \underline{1011} \\
 1110 \\
 \underline{ 1011} \\
 1010 \\
 \underline{ 1011} \\
 010
 \end{array}$$

Ethernet

Detekcija greške

Sve kodne riječi zadovoljavaju sledeći **pattern**:

$$b(x) = x^{n-k}i(x) + r(x) = q(x)g(x) + r(x) + r(x) = q(x)g(x)$$

Sve kodne riječi su multipli od $g(x)$!!!!!!

Prijemnik dijeli primljene n-torke sa $g(x)$ i provjerava da li je ostatak nula

Ako ostatak nije nula, tada primljena n-torka nije kodna riječ.

Ethernet

Detekcija greške

Implementacija pomjeračkog registra

1. Prijem informacionih bita $i_{k-1}, i_{k-2}, \dots, i_2, i_1, i_0$
2. Dodavanje $n - k$ nula informacionim bitima
3. Uvođenje sekvence u kolo pomjeračkog registra koje obavlja dijeljenje polinoma
4. Poslije n shift-ova, pomjerački registar sadrži ostatak

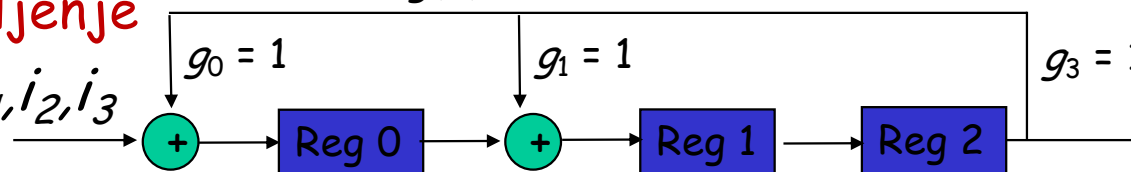
Ethernet

Detekcija greške

Kolo za dijeljenje

$0, 0, 0, i_0, i_1, i_2, i_3$

Koder za $g(x) = x^3 + x + 1$



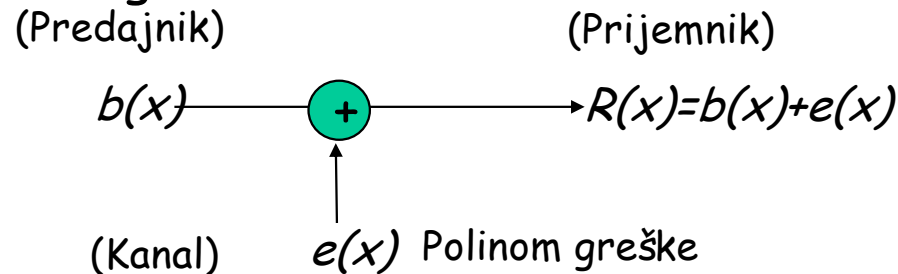
Clock	Ulaz	Reg 0	Reg 1	Reg 2
0	-	0	0	0
1	1 = i_3	1	0	0
2	1 = i_2	1	1	0
3	0 = i_1	0	1	1
4	0 = i_0	1	1	1
5	0	1	0	1
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
Biti provjere:		$r_0 = 0$	$r_1 = 1$	$r_2 = 0$

$\implies r(x) = x$

Ethernet

Detekcija greške

Greške koje se ne mogu detektovati



- ❑ $e(x)$ ima jedinice na mjestima greške, a nule na drugim mjestima
- ❑ Prijemnik dijeli primljeni polinom $R(x)$ sa $g(x)$
- ❑ Problem: ako je $e(x)$ multipl od $g(x)$, i kodna riječ različita od nule tada

$$R(x) = b(x) + e(x) = q(x)g(x) + q'(x)g(x)$$

- ❑ Skup grešaka koje se ne mogu detektovati je skup nenultih polinoma.

Ethernet

Detekcija greške

Dobri polinomijalni kodovi

- Treba izabrati generišući polinom tako da najvjerovatniji oblici greške ne budu multipli od $g(x)$
- Detektovanje pojedinačnih grešaka
 - $e(x) = x^i$ za grešku na $i + 1$ bitu
 - Ako $g(x)$ ima više od jednog člana ne može dijeliti x^i bez ostatka
- Detektovanje dvostrukih grešaka
 - $e(x) = x^i + x^j = x^i(x^{j-i} + 1)$ gdje je $j > i$
 - Ako $g(x)$ ima više od jednog člana, ne može dijeliti x^i bez ostatka
 - Ako je $g(x)$ prost polinom, ne može dijeliti $x^m + 1$ bez ostatka za svako $m \times 2^{n-k} - 1$ (Potrebno je obezbijediti da kodna riječ bude manja od $2^{n-k} - 1$)
 - Prosti polinomi se mogu naći uz konsultaciju knjiga iz teorije kodova

Ethernet

Detekcija greške

Dobri polinomijalni kodovi

□ Detekcija neparnog broja grešaka

- Neka polinomi kodnih riječi imaju paran broj jedinica, tada se sve greške sa neparnim brojem pogrešnih bita lako detektuju
- Takođe, $b(x)$ za $x = 1$ je 0 jer $b(x)$ ima paran broj jedinica
- To znači da $x + 1$ mora biti faktor za svaki $b(x)$
- Treba odabrati $g(x) = (x + 1) p(x)$ gdje je $p(x)$ prost polinom

Ethernet

Detekcija greške

Standardni generišući polinomi

□ **CRC-8:**

$$= x^8 + x^2 + x + 1$$

ATM

□ **CRC-16:**

$$= x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$= (x + 1)(x^{15} + x + 1)$$

Bisync

□ **CCITT-16:**

$$= x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

HDLC, XMODEM, V.41

□ **CCITT-32:**

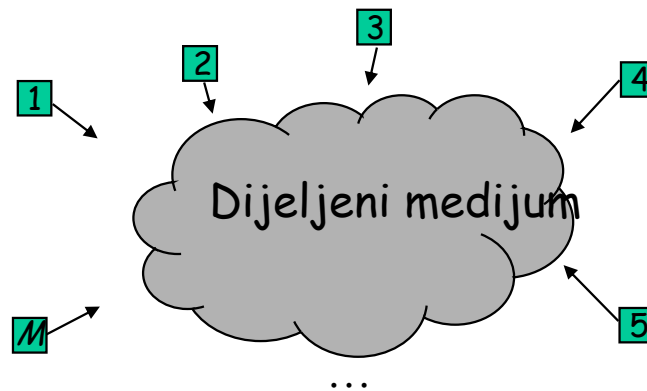
IEEE 802, DoD, V.42

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

Ethernet

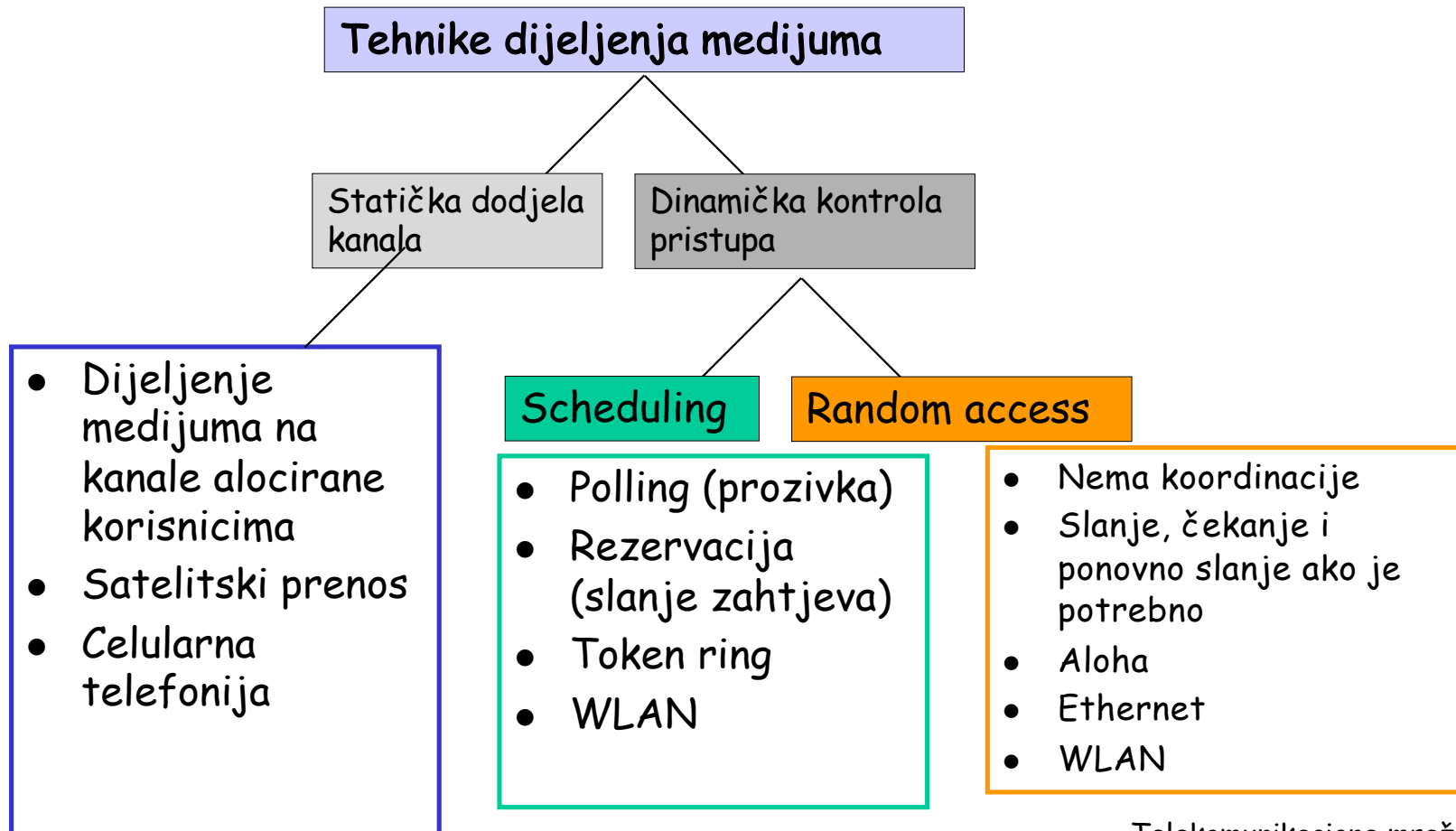
MAC kontrola

- Dijeljenje linkova je ključna karakteristika telekomunikacionih mreža
 - Niska cijena
 - Radio, koaksijalac, bakarna parica, optika,...
 - M korisnika šalju podatke na medijum
- Ključno pitanje: Kako dijeliti medijum?
 - *MAC (Medium Access Control)* protokoli



Ethernet

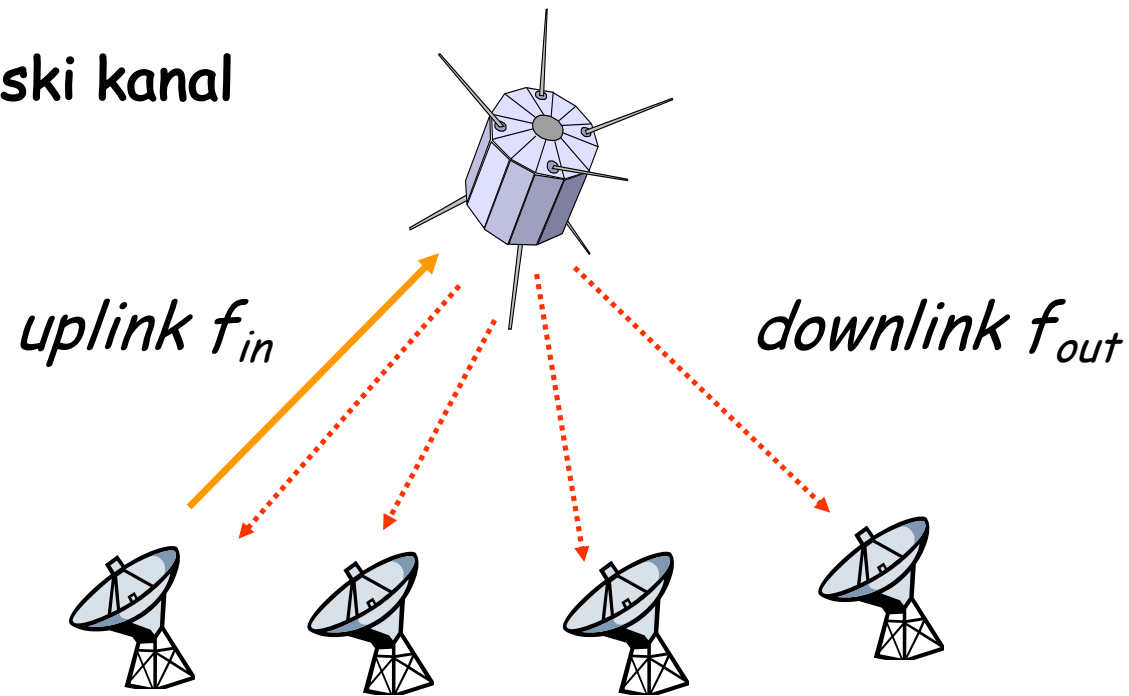
MAC kontrola



Ethernet

MAC kontrola

Satelitski kanal



Ethernet

MAC kontrola

Celularne mreže



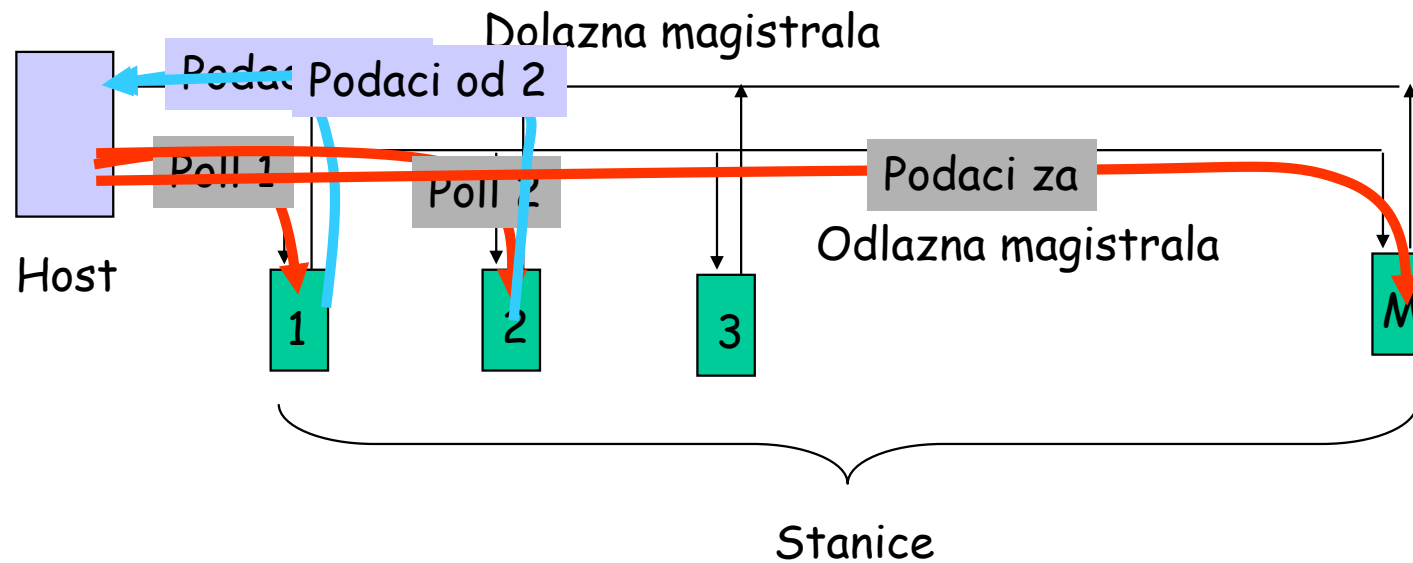
uplink f_1 ; downlink f_2

uplink f_3 ; downlink f_4

Ethernet

MAC kontrola

Scheduling: Polling

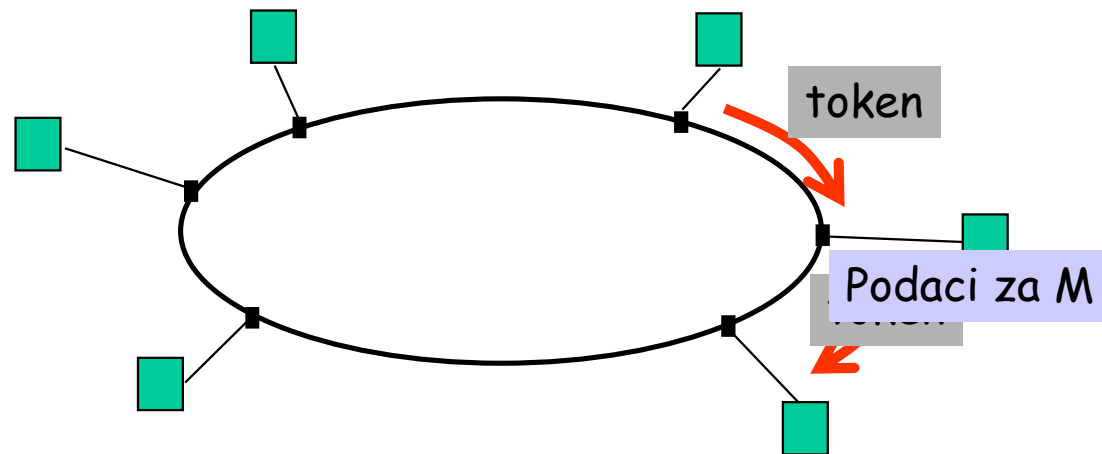


Ethernet

MAC kontrola

Scheduling: Token Passing

Prsten mreža

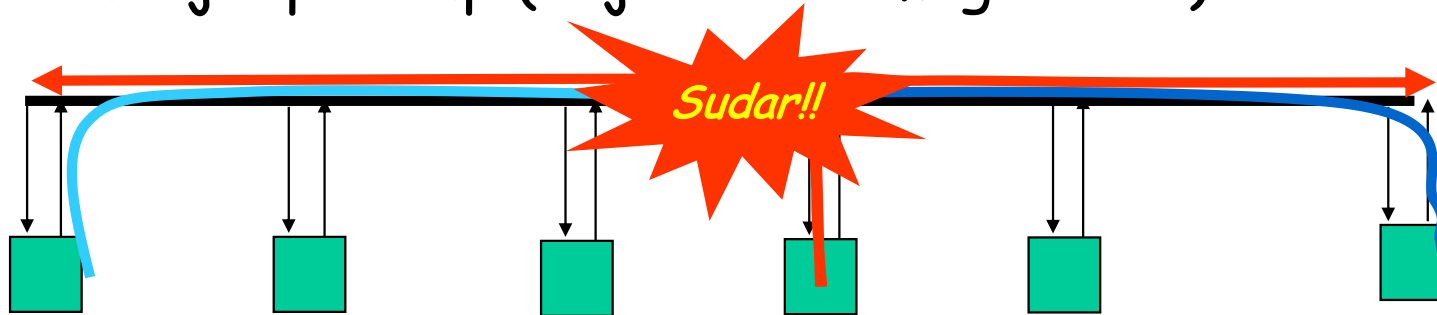


Stanica koja posjeduje token šalje podatke

Ethernet

MAC kontrola

Slučajni pristup (zajednička magistrala)



Stanica šalje kada ima podatke za slanje i kada je medijum slobodan

Istovremeni prenos podatka se može desiti tako da je potreban je mehanizam retransmisije

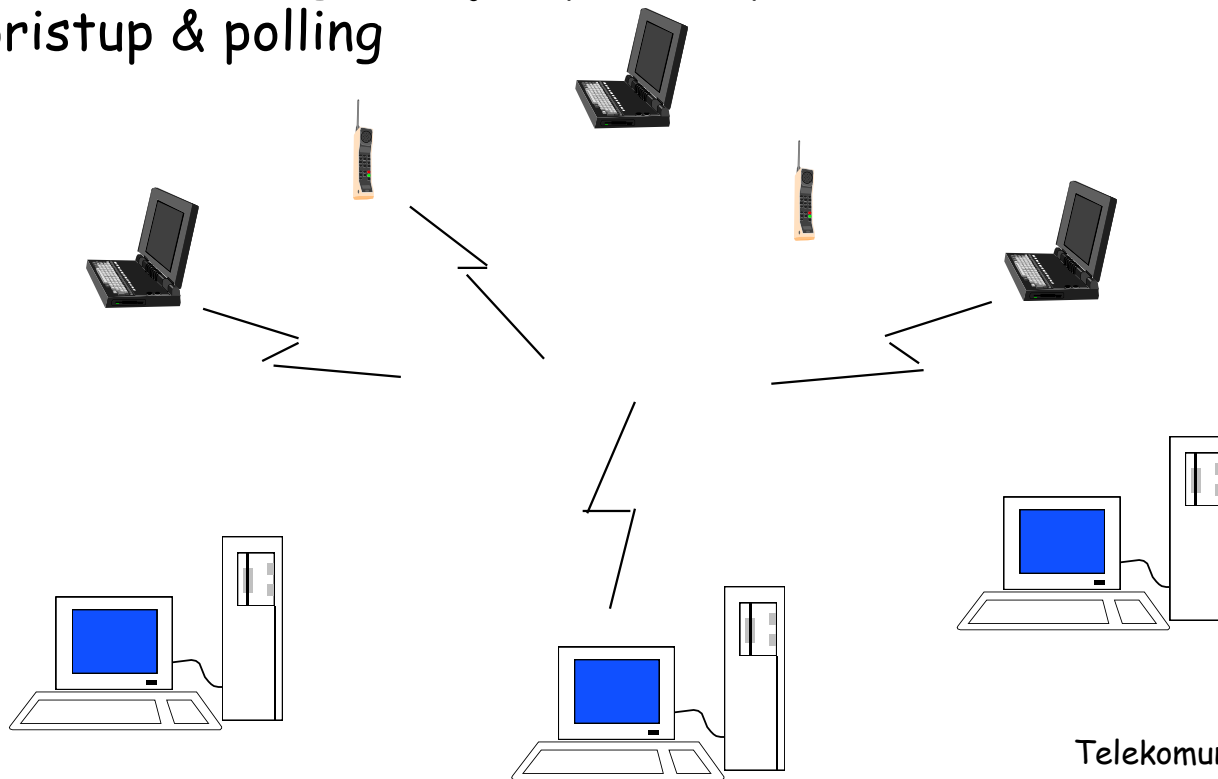
Ethernet

MAC kontrola

AdHoc: od stanice do stanice

Infrastrukturna konfiguracija: prenos preko bazne stanice

Slučajni pristup & polling



Ethernet

MAC kontrola

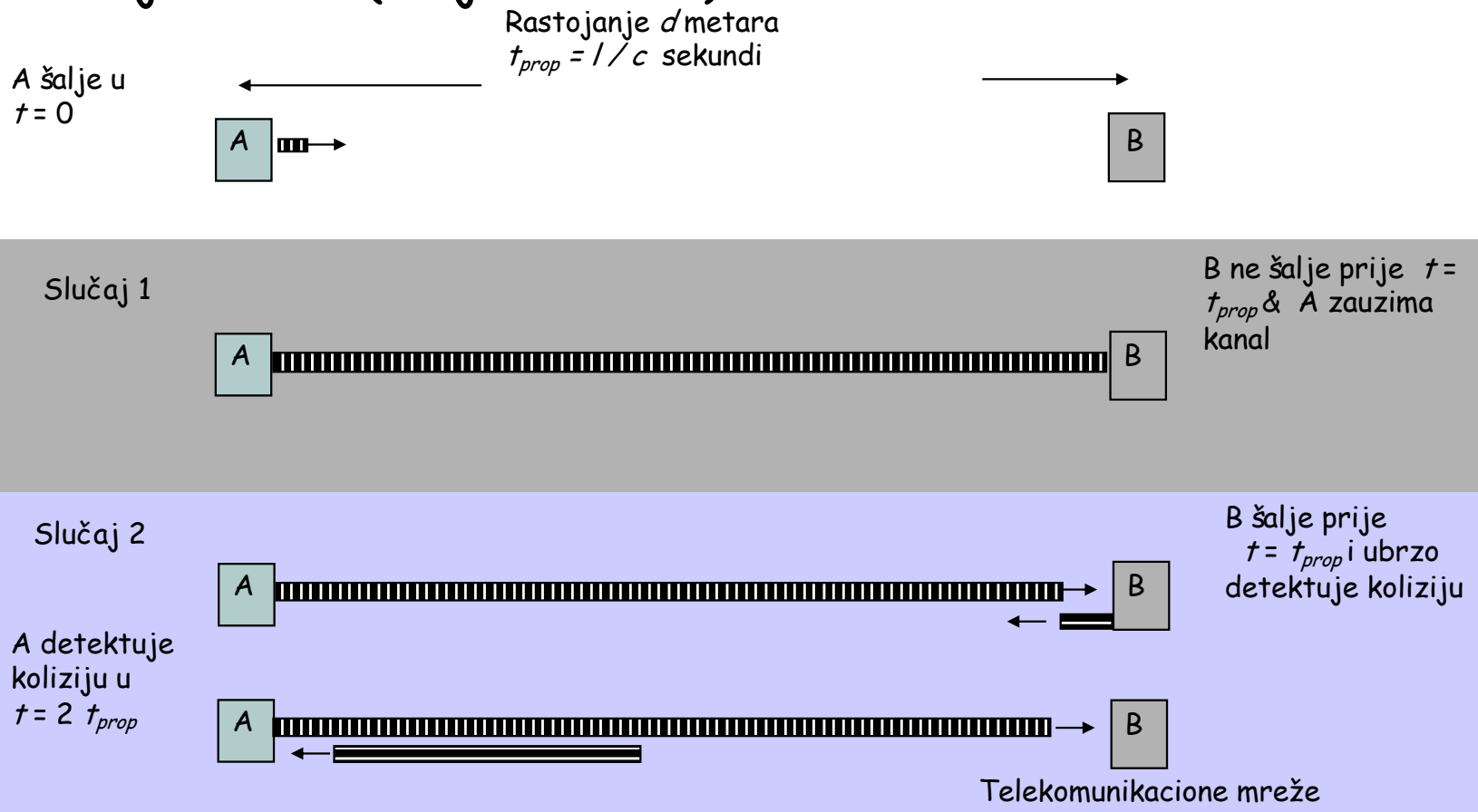
Izbor MAC kontrole

- Aplikacije
 - O kojem se tipu saobraćaja radi?
 - Govorni tokovi? Ravnomjerni saobraćaj, nizak nivo kašnjenja i varijacije kašnjenja
 - Podaci? Kratke poruke? Web stranice?
 - Podaci kompanija ili rezidencijalnih korisnika? Pouzdanost, troškovi
- Brojke
 - Koliko se može preneti saobraćaja?
 - Koliko korisnika se može opslužiti?
- Ključni parametar je proizvod brzine prenosa i kašnjenja
 - Koordinacija dijeljenog medijuma podrazumijeva zauzimanje dijela kapaciteta (eksplicitno ili implicitno)
 - Složenost koordinacije je proporcionalna proizvodu kašnjenja i kapaciteta
- Jednostavan primjer dvije stanice
 - Stanica koja želi da pošalje frejm osluškuje medijum i šalje frejm kada je medijum slobodan
 - Stanica nadzire medijum radi detekcije kolizije
 - Ako se kolizija pojavi, potrebna je retransmisija

Ethernet

MAC kontrola

Primjer MAC (dvije stanice)



Ethernet

MAC kontrola

Efikasnost MAC dvije stanice

- Prenos svakog frejma zahtijeva $2t_{prop}$ "tišine"
 - Stanica B mora biti pasivna t_{prop} prije i poslije trenutka kada Stanica A počine da šalje
 - R brzina prenosa
 - Frejm veličine L bita

$$\text{Efektivna propusnost} = R_{eff} = \frac{L}{L/R + 2t_{prop}} = \frac{1}{1 + 2a} R \text{ b/s}$$

$$\text{Efikasnost} = \rho_{max} = \frac{R_{eff}}{R} = \frac{L}{L + 2t_{prop}R} = \frac{1}{1 + 2t_{prop}R/L} = \frac{1}{1 + 2a}$$

Normalizovani
proizvod kašnjenja i
kapaciteta

$$a = \frac{t_{prop}}{L/R}$$

← Kašnjenje uslijed propagacije

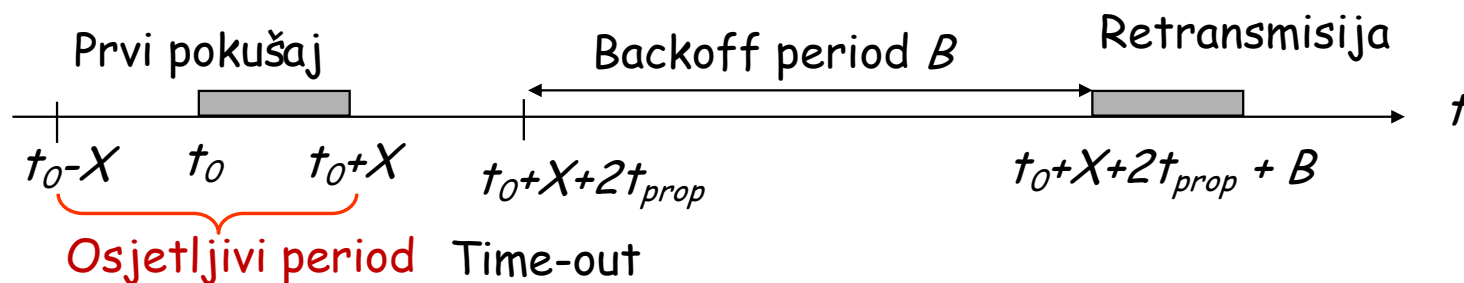
← Kašnjenje uslijed prenosa frejma

Ethernet

MAC kontrola

Aloha

- Bežični link namijenjen povezivanju glavnog i udaljenih kampusa Univerziteta Havaji
- Najjednostavnije rješenje: samo pokušaj
 - Stanica šalje kad god ima šta da šalje
 - Istovremeni prenos više stanica izaziva koliziju
 - Ako se ACK ne pojavi tokom timeout perioda stanica bira proizvoljan backoff interval i obavlja retransmisiju



Ethernet

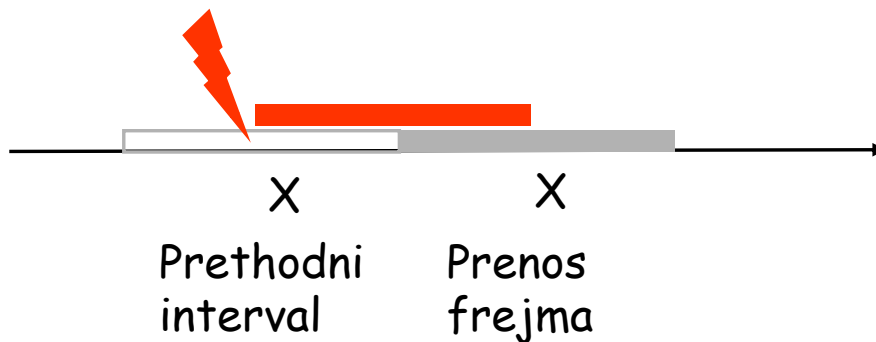
MAC kontrola

Aloha

□ Definicije i pretpostavke

- X : vrijeme prenosa frejma (konstantna veličina)
- S : propusnost (srednji broj uspješno prenesenih frejmova tokom X sekundi)
- G : opterećenje (srednje broj pokušaja tokom intervala X)
- P_{uspjeh} : vjerovatnoća uspješnog prenosa

$$S = GP_{uspjeh}$$



- Svaki prenos koji počne tokom osjetljivog perioda izaziva koliziju
- Uspješan prenos se javlja kada tokom intervala $2X$ nema pokušaja prenosa

Ethernet

MAC kontrola

Aloha

- Koliko iznosi vjerovatnoća da tokom osjetljivog perioda nema dolazaka?
- Abramsonova pretpostavka: Efekat backoff algoritma je da su dolasci frejmova jednakovjerovatni u svakom intervalu
- G je srednji broj dolazaka u intervalu X
- X se podijeli na n intervala trajanja $\Delta = X/n$
- p je vjerovatnoća dolaska u intervalu Δ , tada je

$$G = n p$$

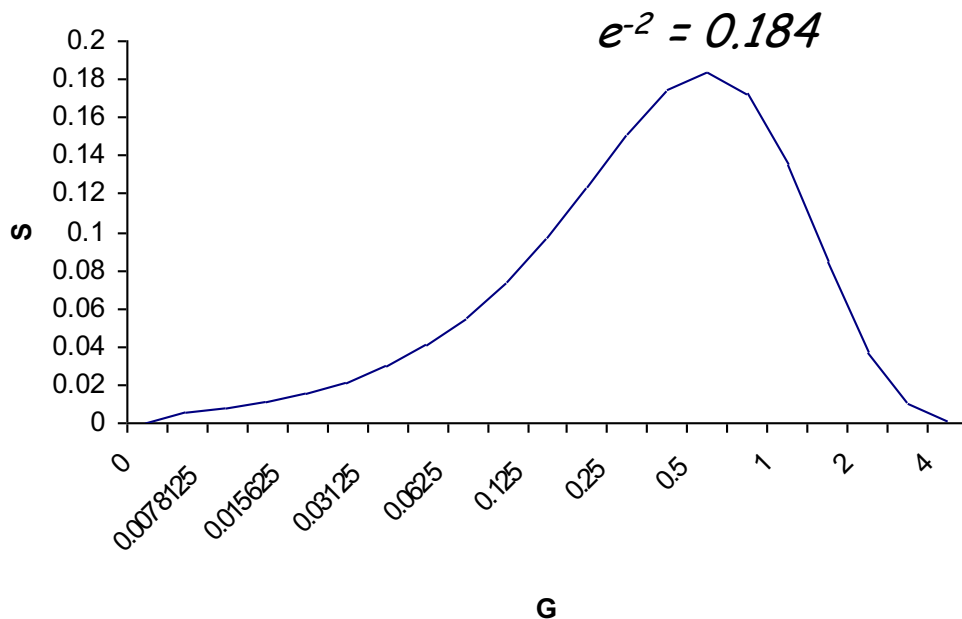
$$\begin{aligned} P_{uspjeh} &= P[0 \text{ dolazaka u intervalu } 2X] = \\ &= P[0 \text{ dolazaka u } 2n \text{ intervala}] \\ &= (1-p)^{2n} = \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{2n} \rightarrow e^{-2G} \text{ kada } n \rightarrow \infty \end{aligned}$$

Ethernet

MAC kontrola

Aloha

$$S = GP_{uspjeh} = Ge^{-2G}$$



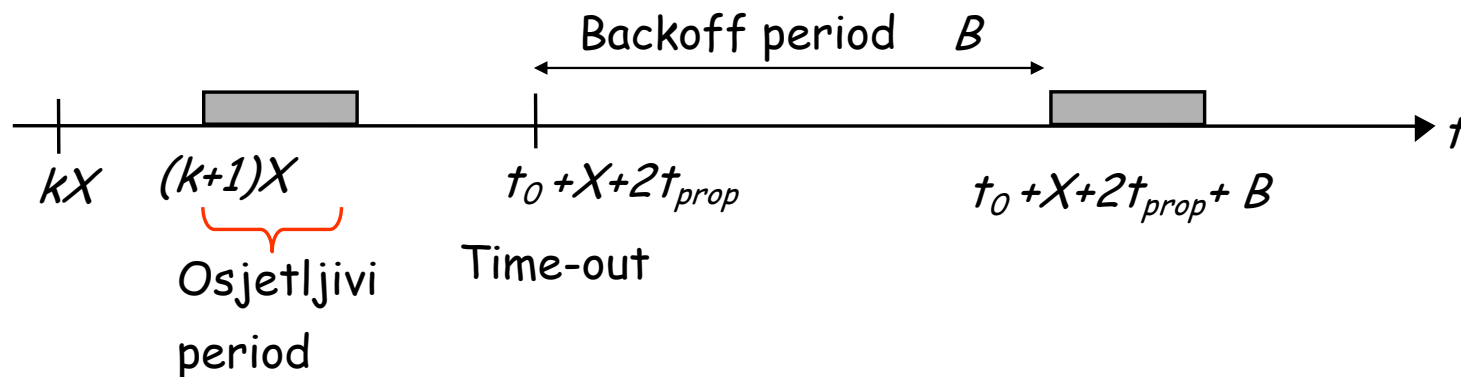
- Kolizije su sredstvo koordinacije
- Maksimalna propusnost je $\rho_{\max} = 1/2e$ (18.4%)
- Dvostruko ponašanje:
 - Malo G , $S \approx G$
 - Veliko G , $S \downarrow 0$
- Moguća je lavina kolizija koje obaraju propusnost na nulu

Ethernet

MAC kontrola

Slotted Aloha

- Vrijeme je podijeljena na slotove trajanja X sekundi
- Stanice su sinhronizovane
- Stanice prenose frejmove u prvom vremenskom slotu koji dolazi nakon pristizanja podataka za slanje
- Backoff intervali su trajanja cijelog broja slotova



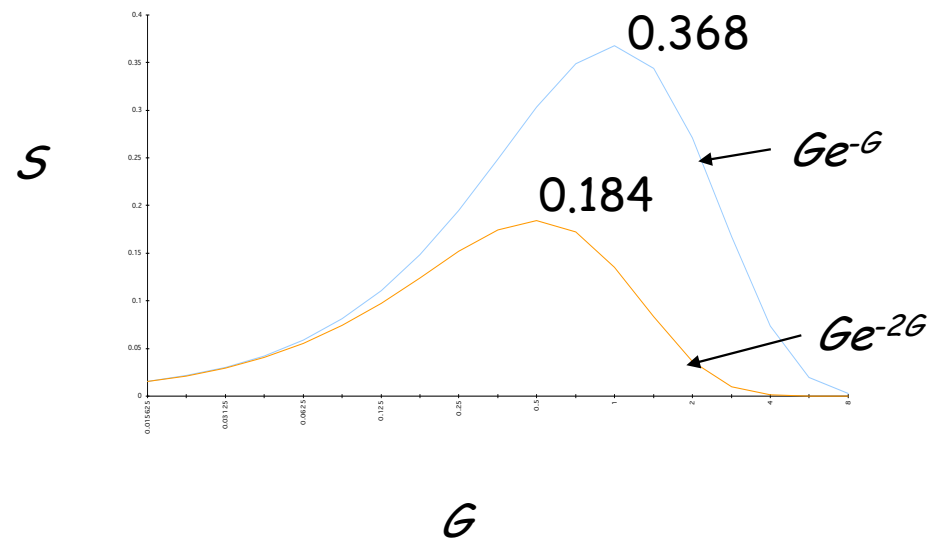
Samo frejmovi koji krenu tokom intervala X izazivaju koliziju.

Ethernet

MAC kontrola

Slotted Aloha

$$\begin{aligned} S &= GP_{uspjeh} = GP[\text{nema dolazaka u X sekundi}] \\ &= GP[\text{nema dolazaka u n intervala}] \\ &= G(1-p)^n = G\left(1 - \frac{G}{n}\right)^n \rightarrow Ge^{-G} \end{aligned}$$



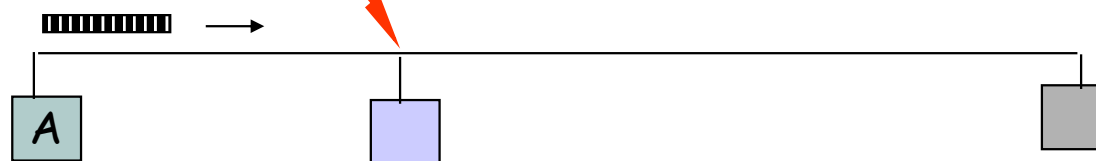
Ethernet

MAC kontrola

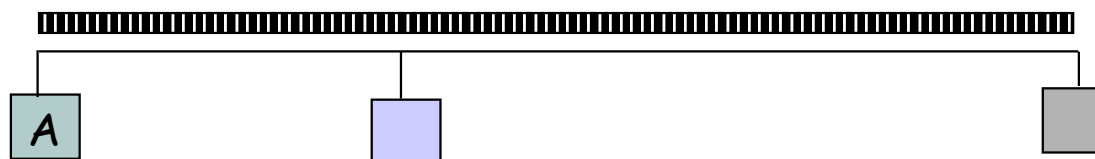
Carrier Sensing Multiple Access (CSMA)

- Stanica osluškuje kanal prije početka slanja
 - Ako je zauzet, ili čeka da se medijum oslobodi ili odlaže slanje (različite opcije)
 - Ako je slobodan, počinje slanje
 - **Osjetljivi period je smanjen na t_{prop}** (zbog efekta zauzimanja kanala)
 - Kada se pojavi kolizija ona pokriva čitavo trajanje frejma
 - Ako je $t_{prop} > X$ (ili ako je $a > 1$), nema poboljšanja u odnosu na ALOHA ili slotted ALOHA

Stanica A
počinje da
šalje u $t = 0$



Stanica A
zauzima kanal u
 $t = t_{prop}$

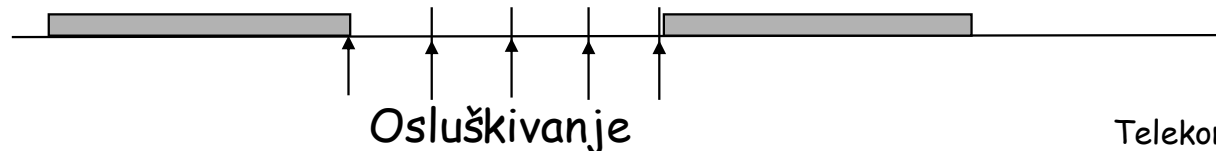


Ethernet

MAC kontrola

CSMA

- Ponašanje predajnika kada otkrije zauzeti kanal
 - 1-persistent CSMA (najpohlepniji)
 - Počinje slanje čim se kanal oslobodi
 - Nisko kašnjenje i niska efikasnost
 - Non-persistent CSMA (najmanje pohlepan)
 - Čeka period backoff-a, tada ponovo osluškuje medijum
 - Visoko kašnjenje i visoka efikasnost
 - p-persistent CSMA (podesiva pohlepnost)
 - Čeka dok se kanal ne oslobodi, šalje sa vjerovatnoćom p ; ili čeka u trajanju jednog mini slot-a i ponovo osluškuje sa vjerovatnoćom $1-p$
 - Kašnjenje i efikasnost je moguće podešavati



Ethernet

MAC kontrola

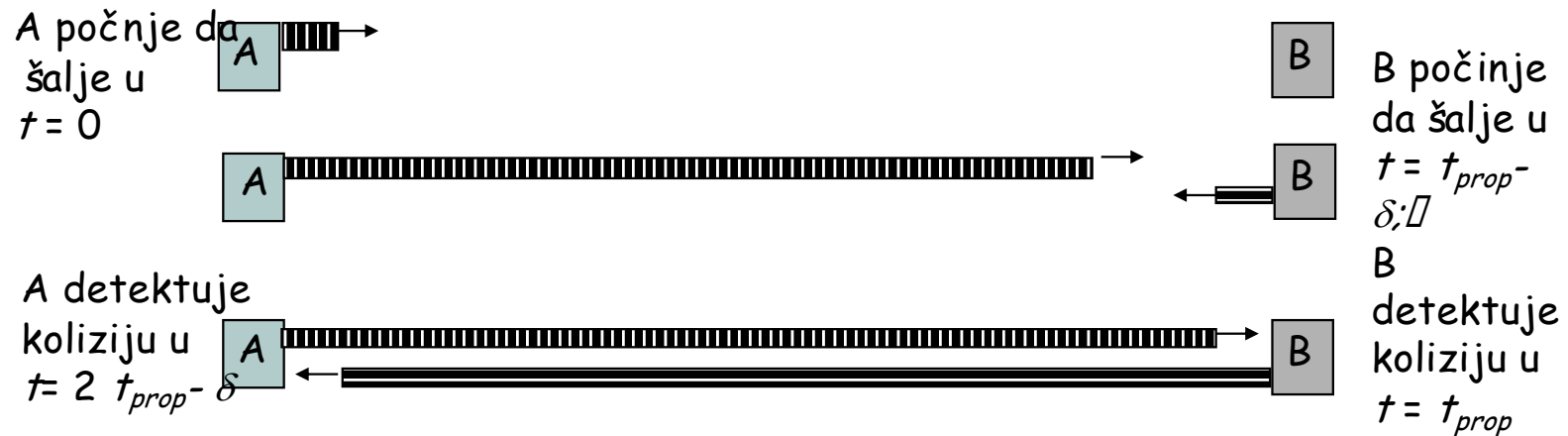
CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- Nadzire kolizije i prekida prenos
 - Stanice koje žele da šalju, prvo osluškuju prisustvo nocioca
 - Poslije početka slanja, stanice nastavljaju sa slušanjem kako bi detektovale koliziju
 - Ako je kolizija detektovana, sve stanice prekidaju prenos, određuju slučajna backoff vremena, i pokušavaju ponovo
- U CSMA kolizije rezultiraju u gubljenju X (L/R) sekundi za prenos cijelog frejma
- CSMA-CD smanjuje gubitak vremena na vrijeme do detekcije kolizije i prekida prenosa

Ethernet

MAC kontrola

CSMA-CD



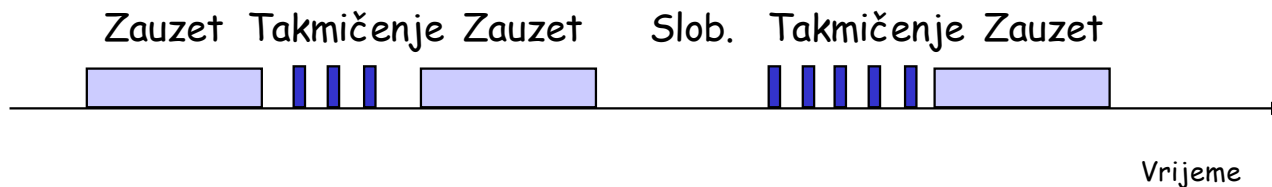
Potrebno je vrijeme $2t_{prop}$ da bi se utvrdilo zauzimanje kanala

Ethernet

MAC kontrola

□ CSMA-CD pretpostavke

- Kolizije se detektuju i rješavaju tokom $2t_{prop}$
- Vrijeme je podijeljeno na $2t_{prop}$ slotova tokom perioda takmičenja
- Neka je n zauzetih stanica, i neka svaka može slati sa vjerovatnoćom p u svakom periodu takmičenja
- Jednom kada je takmičenje završeno (stanica uspješno zauzima kanal), stanici treba X (L/R) sekundi za prenos frejma
- Potrebno je t_{prop} prije nego što počne naredno takmičenje.



Ethernet

MAC kontrola

CSMA-CD

- Koliko traje takmičenje?
- Takmičenje završava kada tačno jedna stanica šalje tokom slota:

$$P_{uspjeh} = np(1-p)^{n-1}$$

- Nalaženjem prvog izvoda od P_{uspjeh} utvrđuje se da se njegova maksimum dobija za $p=1/n$

$$P_{uspjeh}^{\max} = n \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} \rightarrow \frac{1}{e}$$

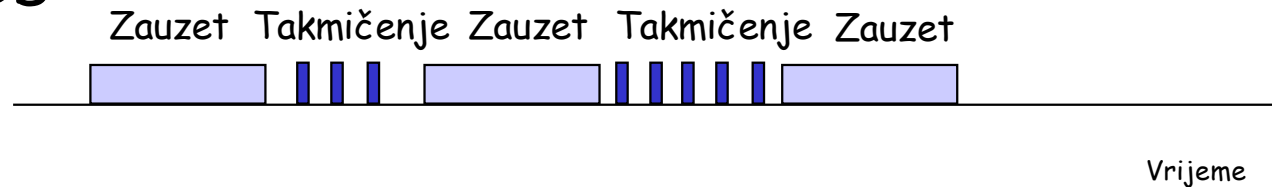
- Prosječno, $1/P^{\max} = e = 2.718$ vremenskih slotova je potrebno do okončanja takmičenja

Srednje trajanje takmičenja = $2t_{prop}e$ sekundi

Ethernet

MAC kontrola

CSMA-CD



- Pri maksimalnoj propusnosti, sistem nema slobodnih intervala

$$\rho_{\max} = \frac{X}{X + t_{prop} + 2et_{prop}} = \frac{1}{1 + (2e + 1)a} = \frac{1}{1 + (2e + 1)Rd / v L}$$

- Gdje je:

R b/s, L b/frejmu, $X=L/R$ s/frejmu

$$a = t_{prop}/X$$

v m/s - brzina svjetlosti

d rastojanje između dva krajnja sistema (m)

$$2e+1 = 6.44$$

Ethernet

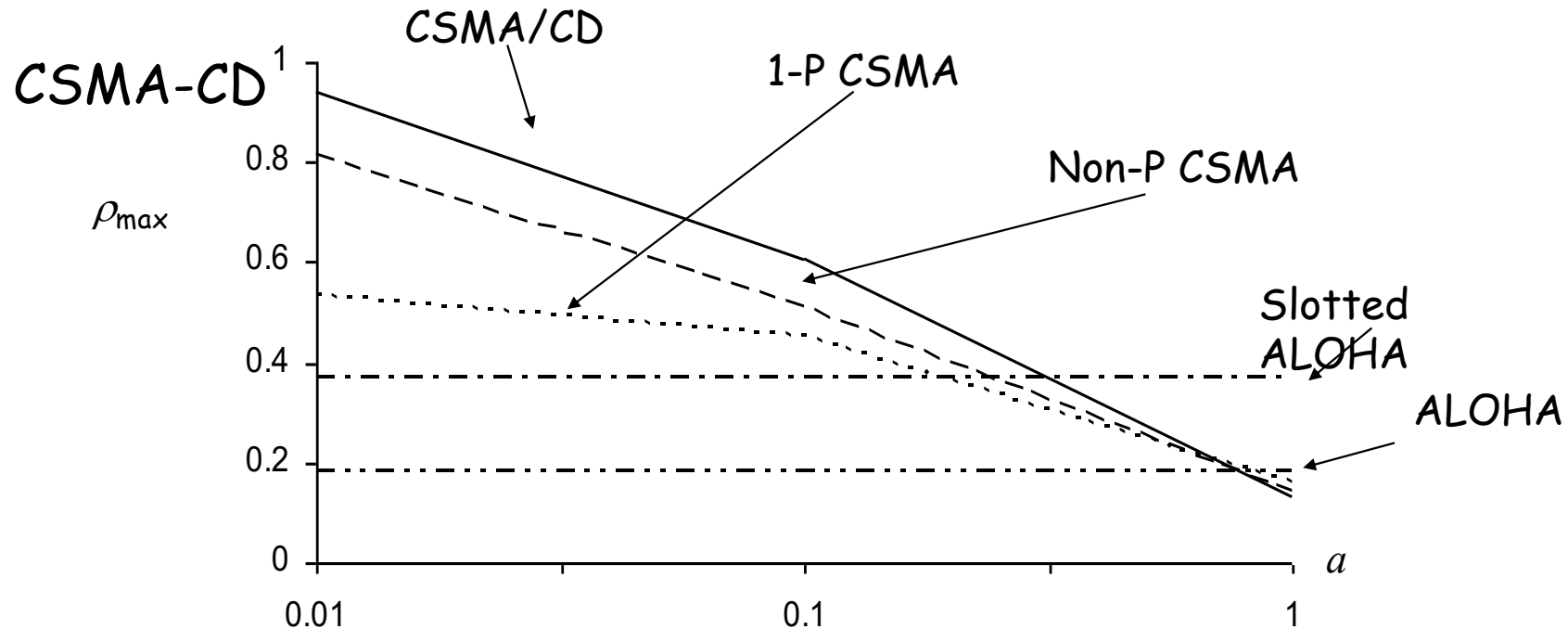
MAC kontrola

CSMA-CD

- ❑ Sve do 10Gb/s Ethernet standardi su koristili CSMA-CD
- ❑ Npr za 10Mb/s Ethernet
 - 1-persistentna detekcija nosioca
 - $R = 10 \text{ Mb/s}$
 - $t_{\text{prop}} = 51.2 \mu\text{s}$
 - Slot je trajanje 512 bita = 64B (najmanji Ethernet frejm)
 - Podržavao je segment dužine 2.5 km sa 4 ripitera
 - Binarno eksponencijalni Backoff
 - Poslije n kolizija, bira backoff iz $\{0, 1, \dots, 2^k - 1\}$, gdje je $k = \min(n, 10)$

Ethernet

MAC kontrola



- Za malo a : CSMA-CD ima najbolju propusnost
- Za veliko a : Aloha & slotted Aloha imaju bolju propusnost

Ethernet

MAC kontrola

CSMA-CD

- ❑ Neke aplikacije zahtijevaju brži odziv od drugih, npr. ACK poruke
- ❑ Potreba za različitim vremenima između frejmova
 - Visoko prioritetni saobraćaj prati kanal tokom vremena τ_1
 - Nisko prioritetni saobraćaj osluškuje kanal tokom vremena $\tau_2 > \tau_1$
 - Ako je prisutan visoko prioritetni saobraćaj, zauzima prvi kanal
- ❑ Ovaj mehanizam se koristi u IEEE 802.11 WLAN

Ethernet

O switchu i konceptu virtuelizacije u lokalnim računarskim mrežama više u predmetu Računarske mreže.