

## 4. Ethernet

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

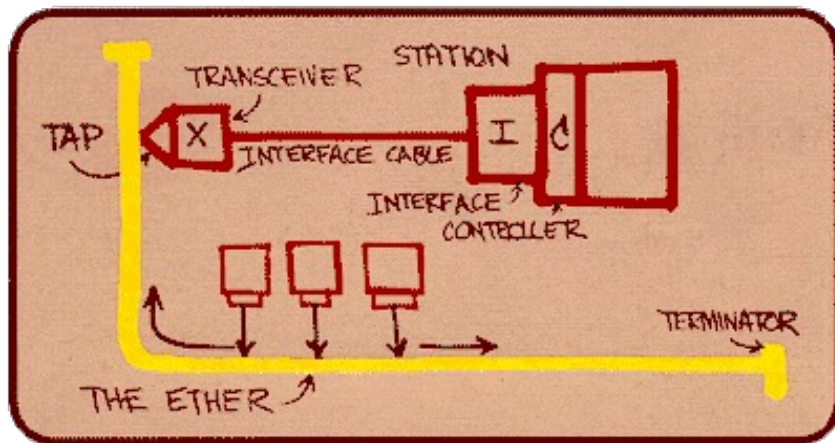
# Ethernet

- Uvod
- Struktura frejma
- Standardi
- Detekcija greške
- MAC kontrola
- Switch

# 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

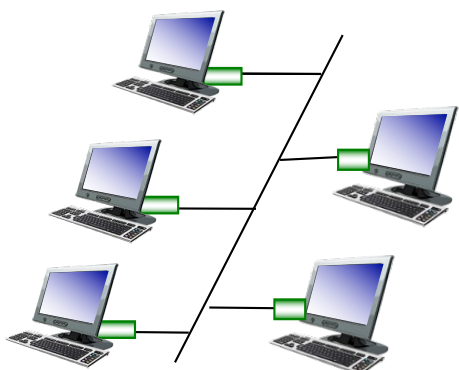


Metcalfova skica Etherneta

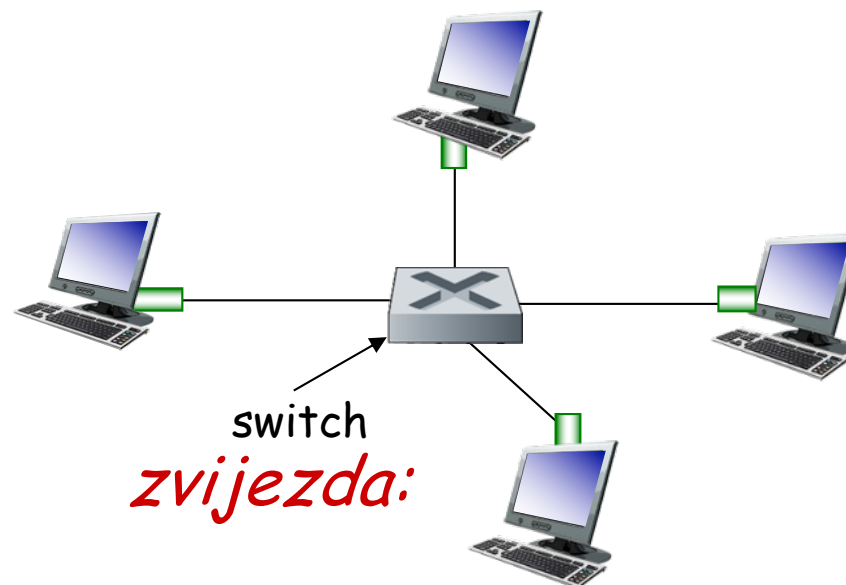
# Ethernet

## Uvod

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



*magistrala*: koaksijalac



# 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
- ❑ CSMA/CD sa eksponencijalnim backoff-om MAC kontrola

# Ethernet

## Struktura frejma

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



### *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)

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

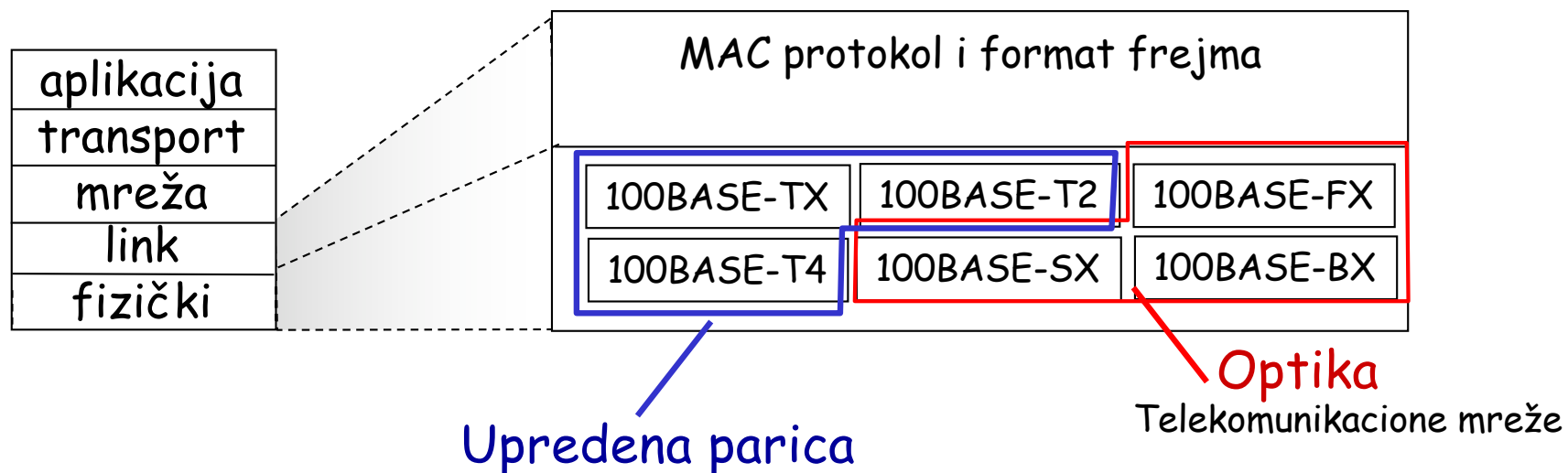
tip  
|



# 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 802.3-2022





# Ethernet

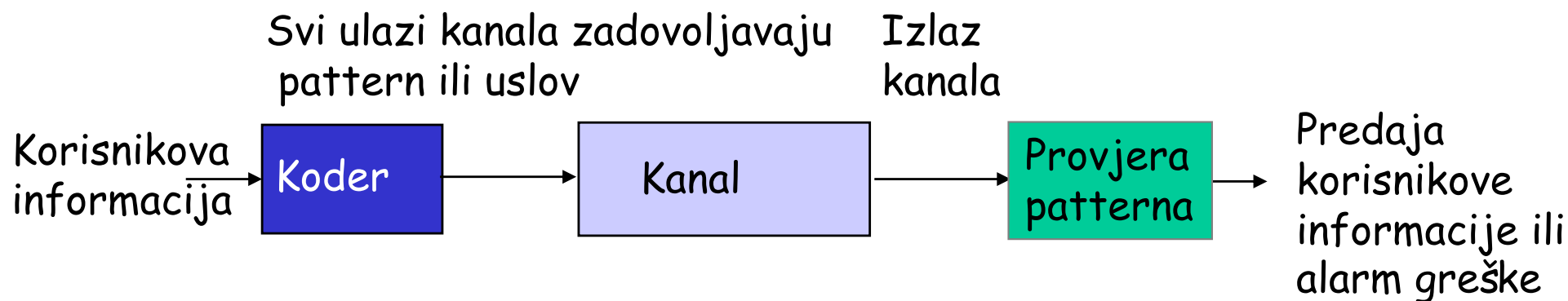
## Detekcija greške

- 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

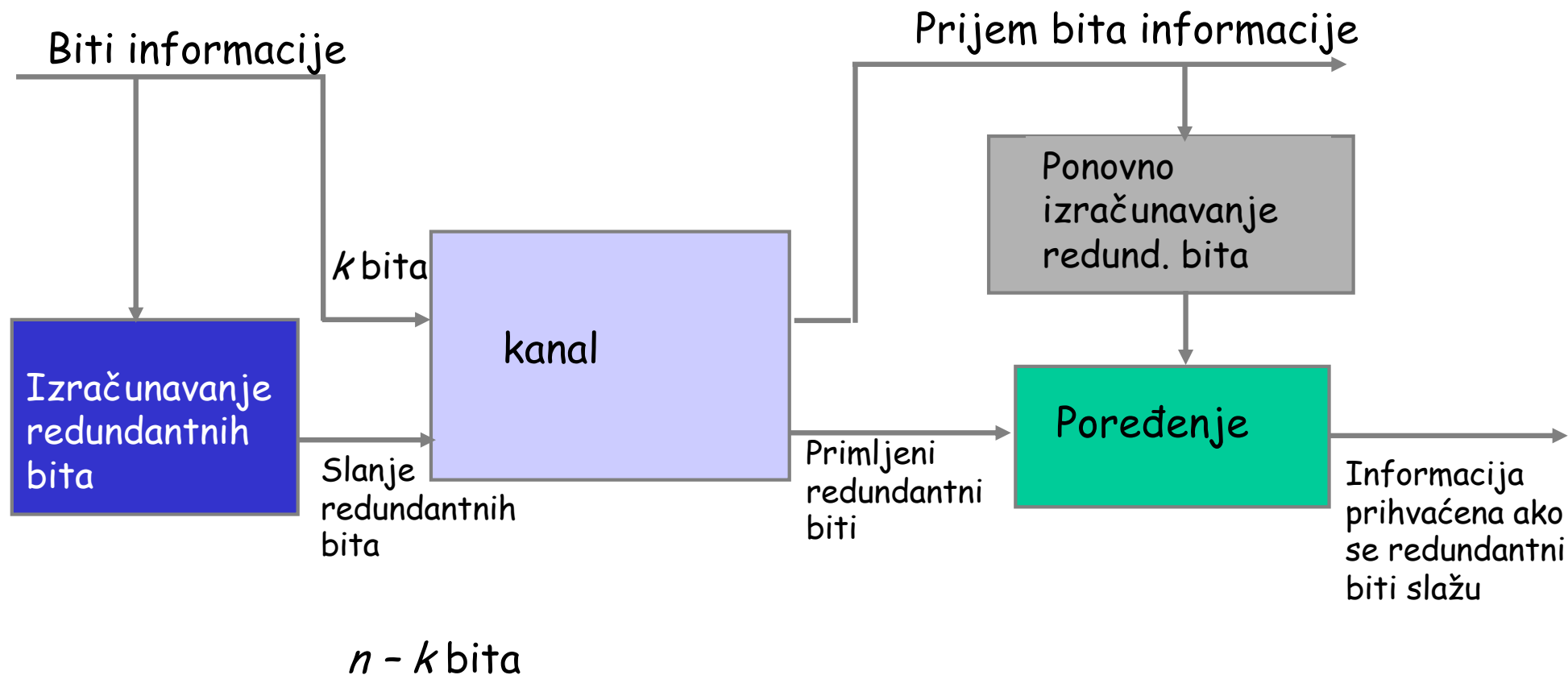
## Detekcija greške

- ❑ 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:

$$(x^7 + x^6 + 1) + (x^6 + x^5) = x^7 + x^6 + x^6 + x^5 + 1$$

$$= x^7 + (1+1)x^6 + x^5 + 1$$

$$= x^7 + x^5 + 1 \quad \text{jer je } 1+1=0 \text{ mod } 2$$

Množenje:

$$(x+1)(x^2 + x + 1) = x(x^2 + x + 1) + 1(x^2 + x + 1)$$

$$= x^3 + x^2 + x + x^2 + x + 1$$

$$= x^3 + 1$$

# Ethernet

## Detekcija greške

### Dijeljenje polinoma

$$\begin{array}{r} x^6 + x^5 : x^3 + x + 1 = x^3 + x^2 + x \\ \underline{x^6 + \phantom{x^5} + x^4 + x^3} \\ x^5 + x^4 + x^3 \\ \underline{x^5 + \phantom{x^4} + x^3 + x^2} \\ x^4 + \phantom{x^3} + x^2 \\ \underline{x^4 + \phantom{x^3} + x^2 + x} \\ x \end{array}$$

djelilac

$x = r(x)$  ostatak

*Napomena: Stepen  $r(x)$  je manji nego stepen 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:  $x^3 i(x) = x^6 + x^5$

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

$$\begin{array}{r} 1110 \\ 1011 \overline{) 1100000} \\ \underline{1011} \phantom{000} \\ 1110 \phantom{00} \\ \underline{1011} \phantom{0} \\ 1010 \phantom{0} \\ \underline{1011} \\ 010 \end{array}$$

Prenošena kodna riječ:

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

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



# 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

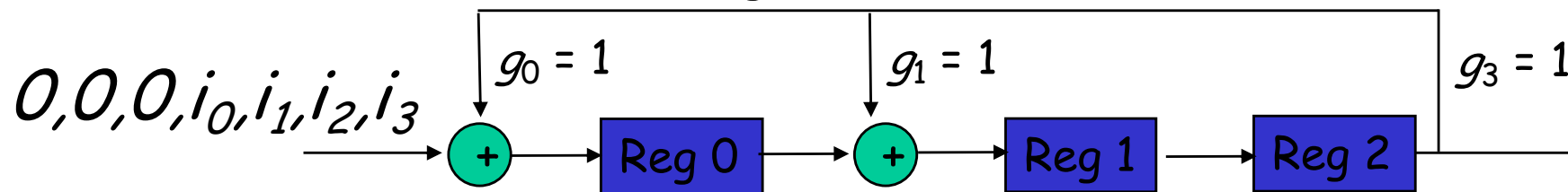
### Implementacija pomjeračkog registra

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



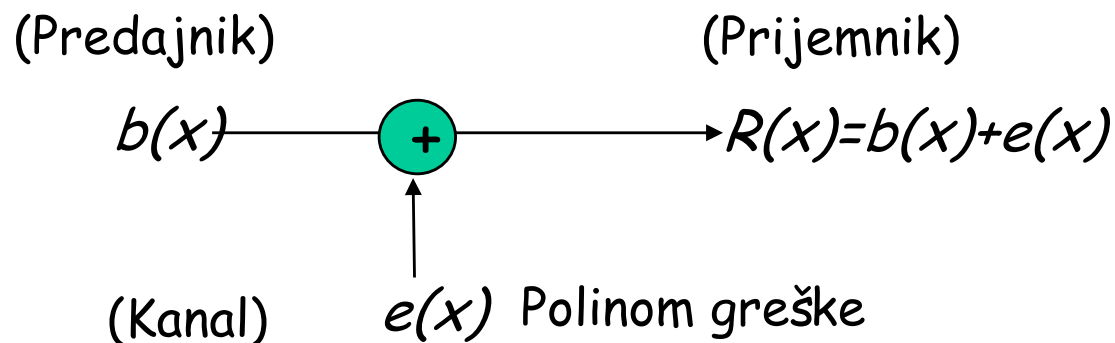
| Clock          | Ulaz      | Reg 0     | Reg 1     | Reg 2     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0              | -         | 0         | 0         | 0         |
| 1              | $1 = i_3$ | 1         | 0         | 0         |
| 2              | $1 = i_2$ | 1         | 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  $m < 2^{n-k} - 1$  (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*
  - Pretpostavimo da polinomi kodnih riječi imaju paran broj jedinica, tada sve greške sa neparnim brojem pogrešnih bita se 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:

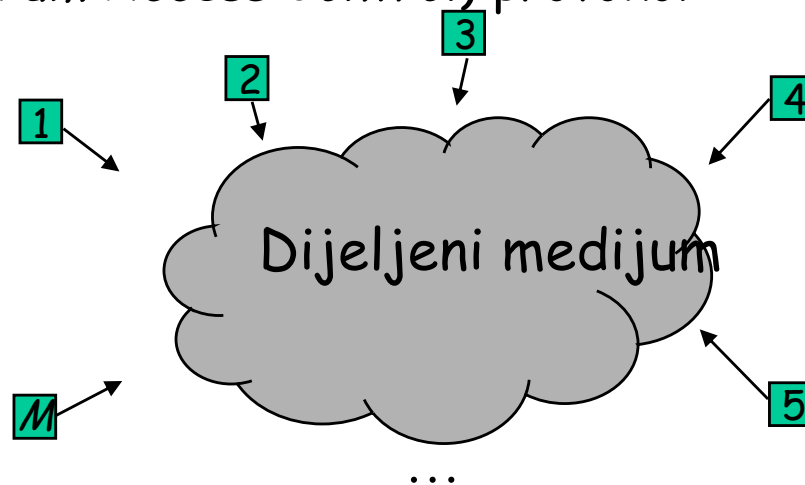
IEEE 802, DoD, V.42

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

# Ethernet

## MAC kontrola

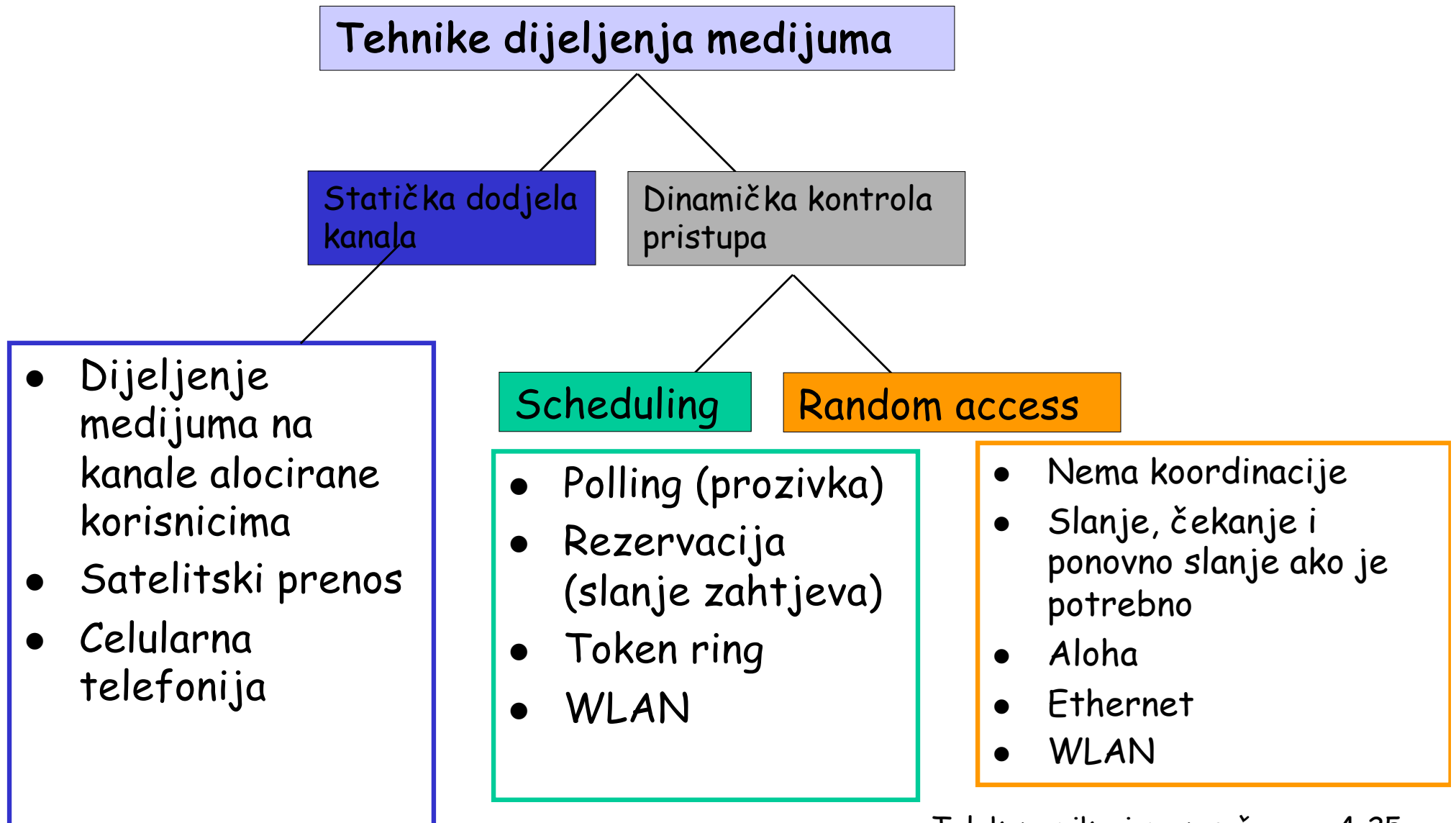
- Dijeljenje linkova je ključna karakteristika telekomunikacionih mreža
  - Niska cijena
  - Radio, koaksijalac, bakarna parica, optika,...
  - M korisnika šalju podatke na medijum
- Ključno pitanje: Kako dijeliti medijum?
  - MAC (*Medium Access Control*) protokoli





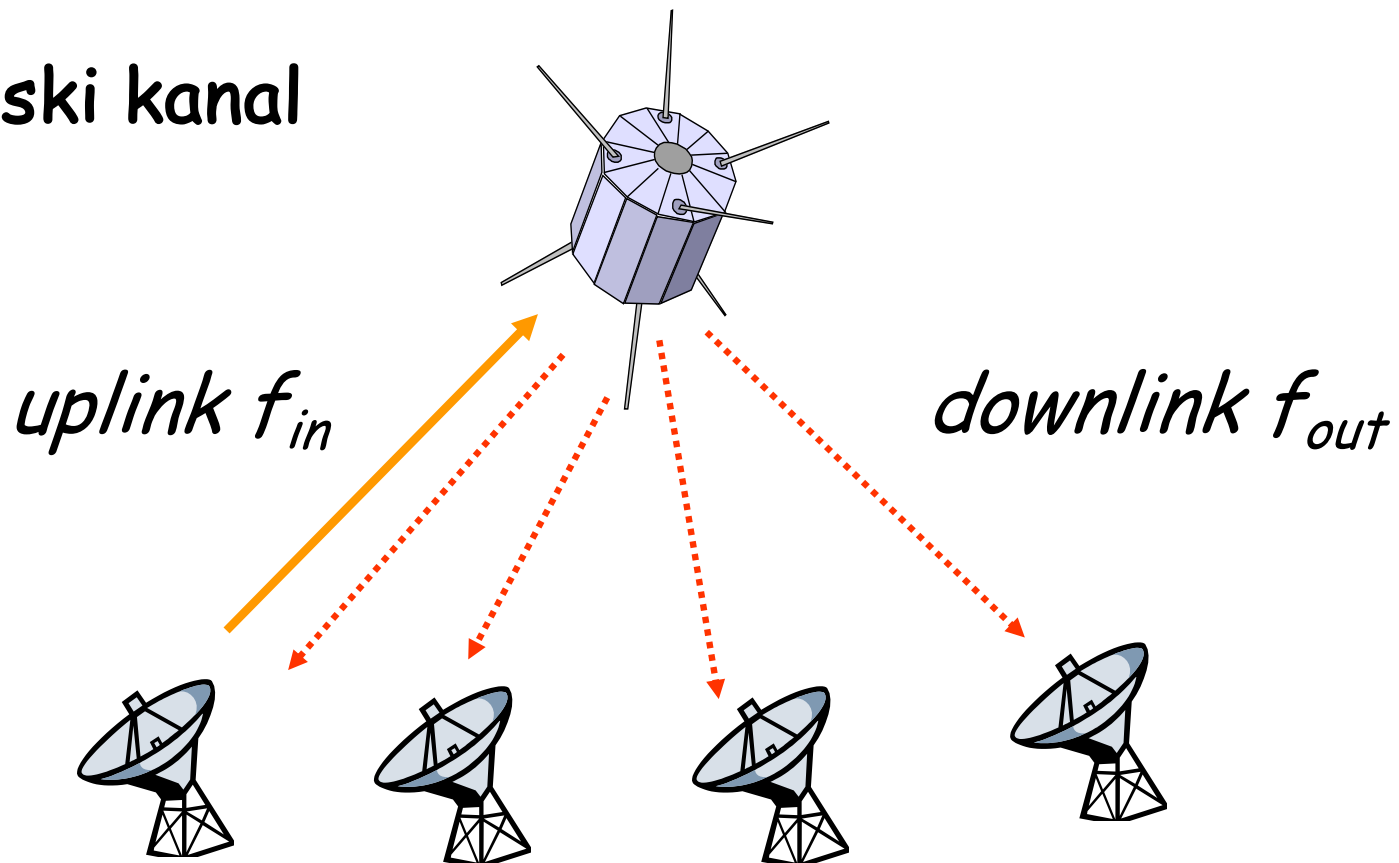
# Ethernet

## MAC kontrola



# Ethernet MAC kontrola

## Satelitski kanal



# Ethernet MAC kontrola

## Celularne mreže

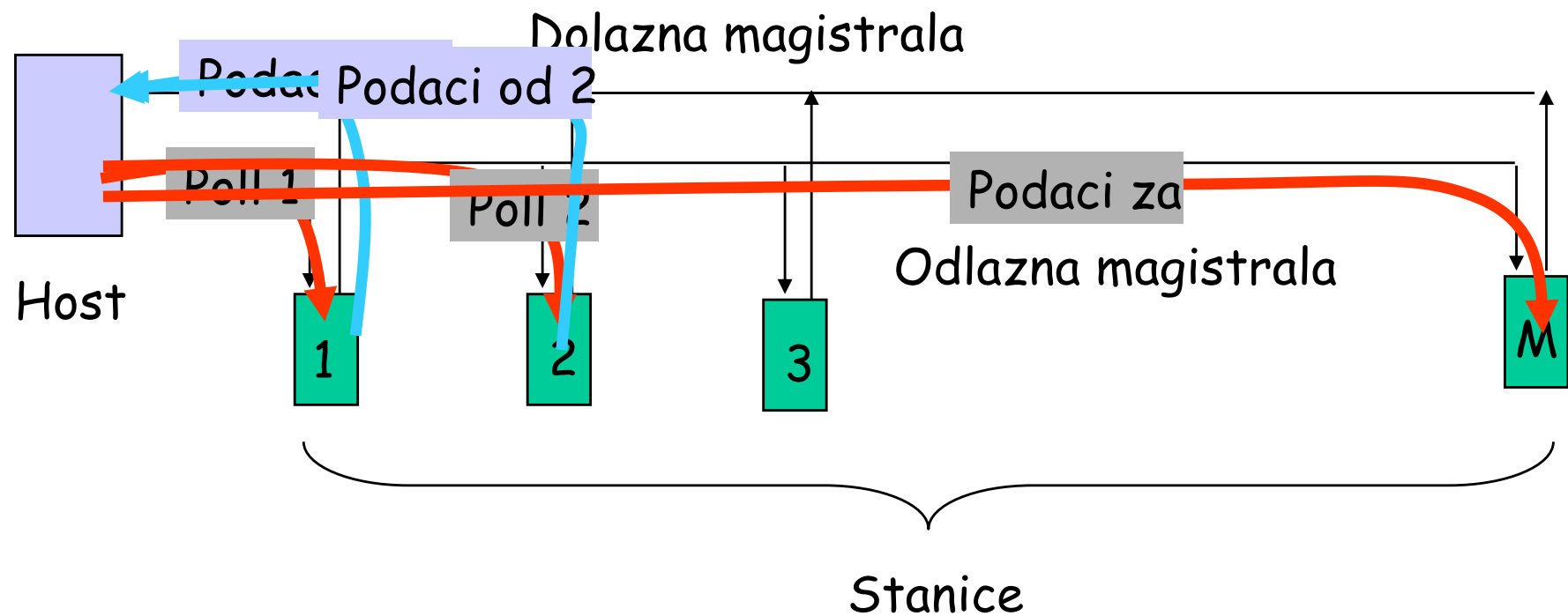


*uplink  $f_1$  ; downlink  $f_2$*

*uplink  $f_3$  ; downlink  $f_4$*

# Ethernet MAC kontrola

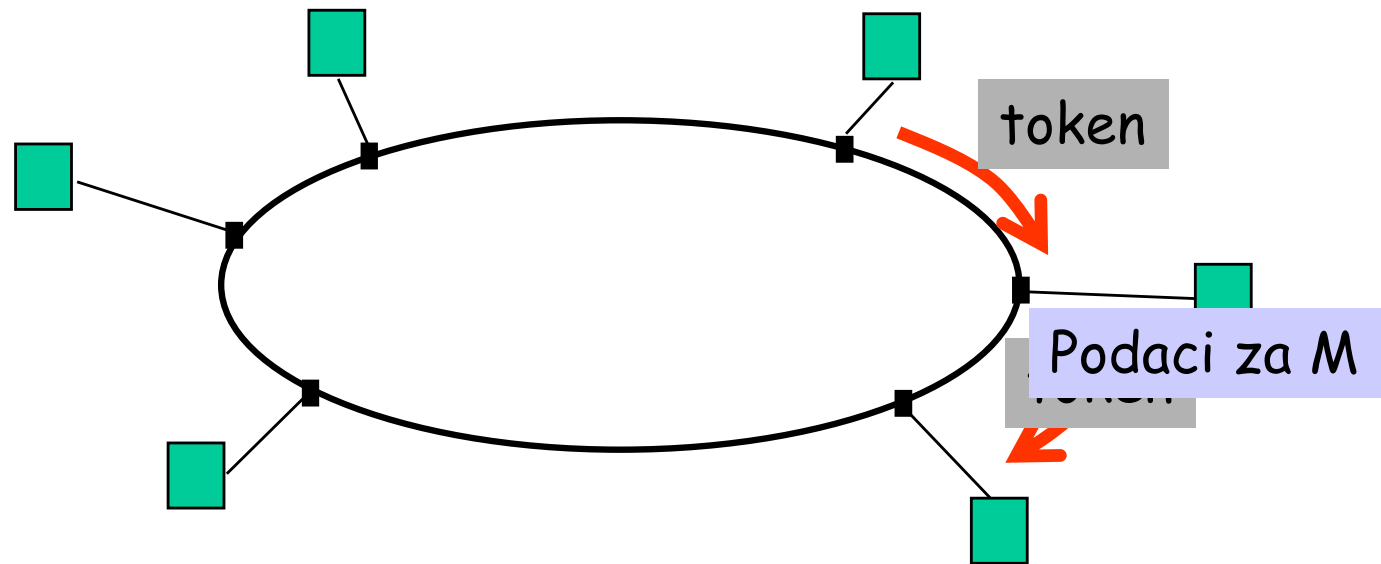
## Scheduling: Polling



# Ethernet MAC kontrola

## Scheduling: Token Passing

Prsten mreža

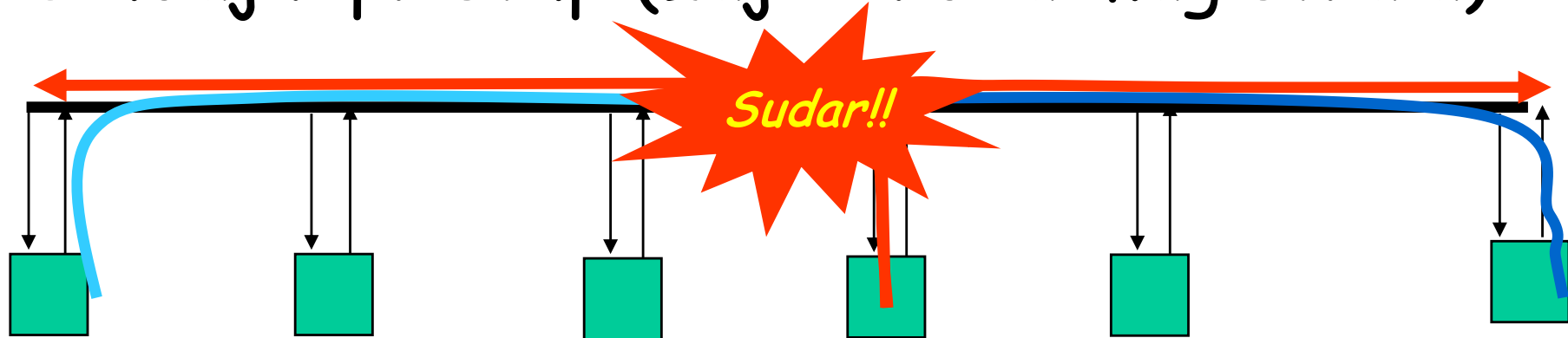


Stanica koja posjeduje token šalje podatke

# 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;  
potreban je mehanizam retransmisije

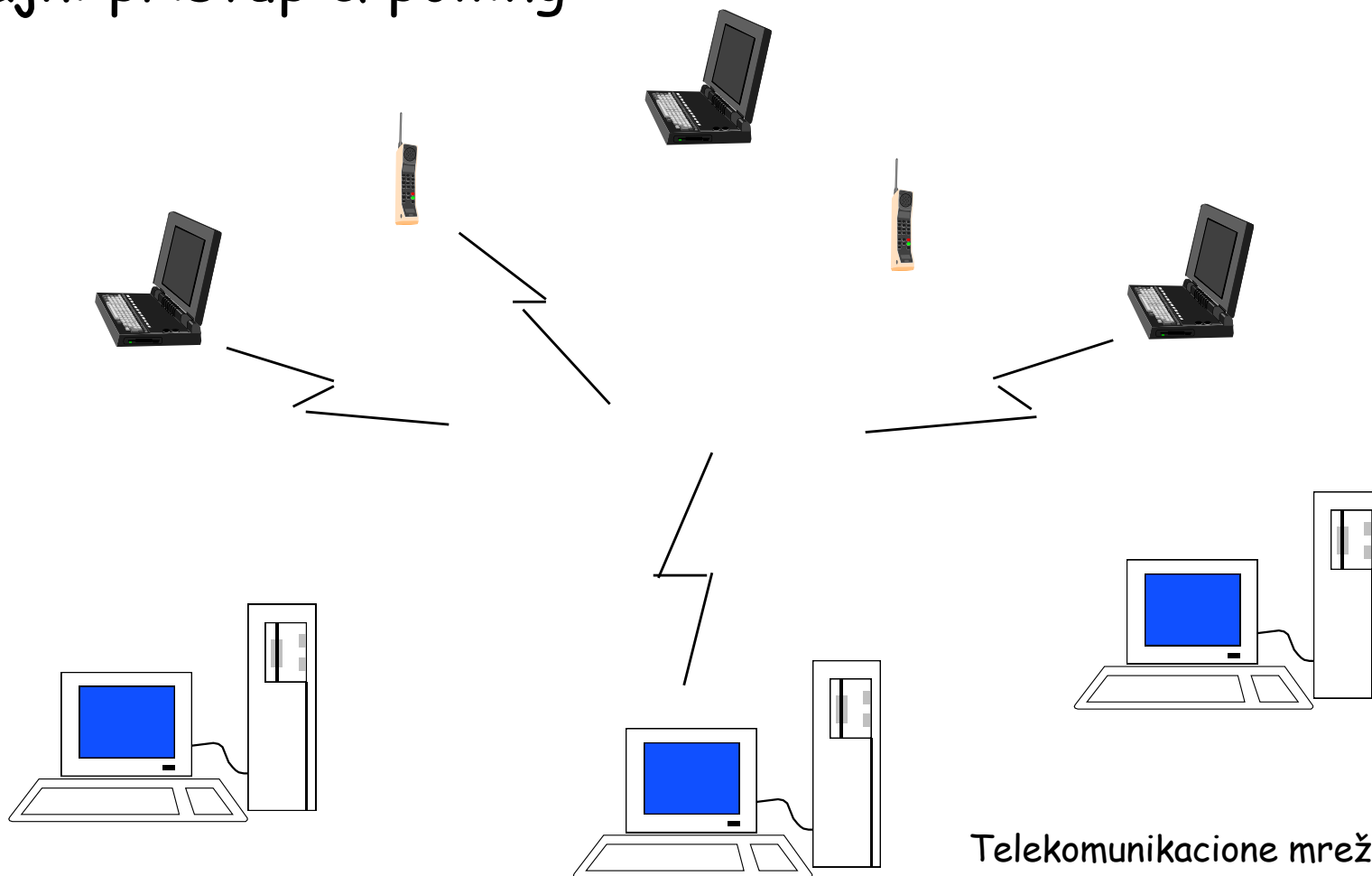
# Ethernet

## 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 prenijeti 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

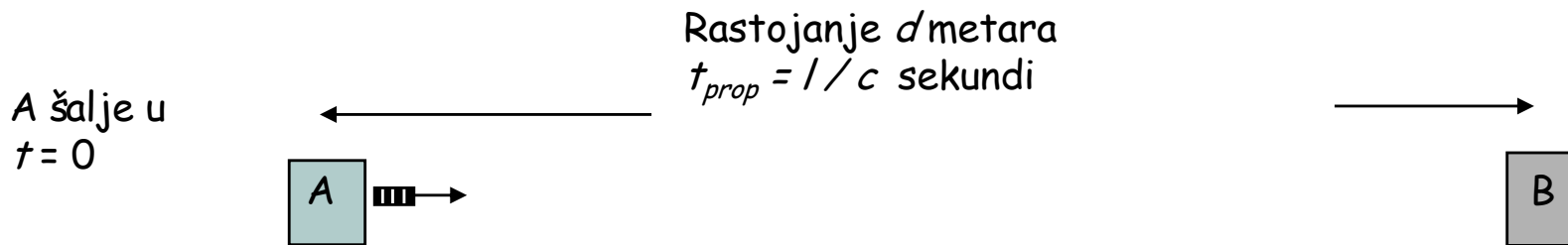
- Stanica koja želi da pošalje frejm osluškuje medijum i šalje frejm kada je medijum slobodan
- Stanica nadzire medijum radi detekcije kolizije
- Ako se kolizija pojavi, potrebna je retransmisija



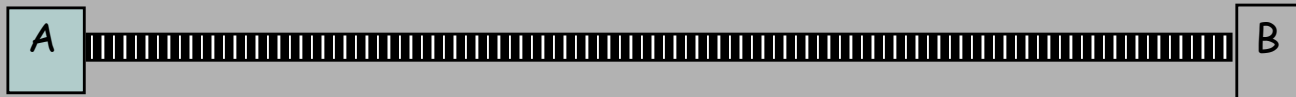
# Ethernet

## MAC kontrola

### Primjer MAC dvije stanice

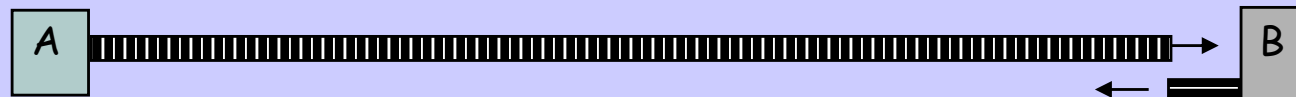


Slučaj 1



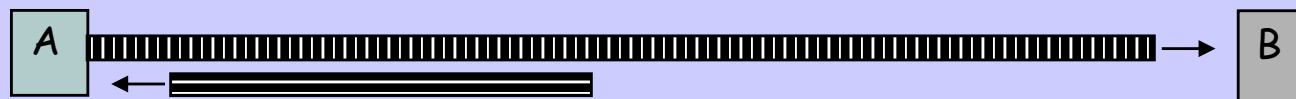
B ne šalje prije  $t = t_{prop}$  & A zauzima kanal

Slučaj 2



B šalje prije  $t = t_{prop}$  i ubrzo detektuje koliziju

A detektuje koliziju u  $t = 2 t_{prop}$



# 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 počinje 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

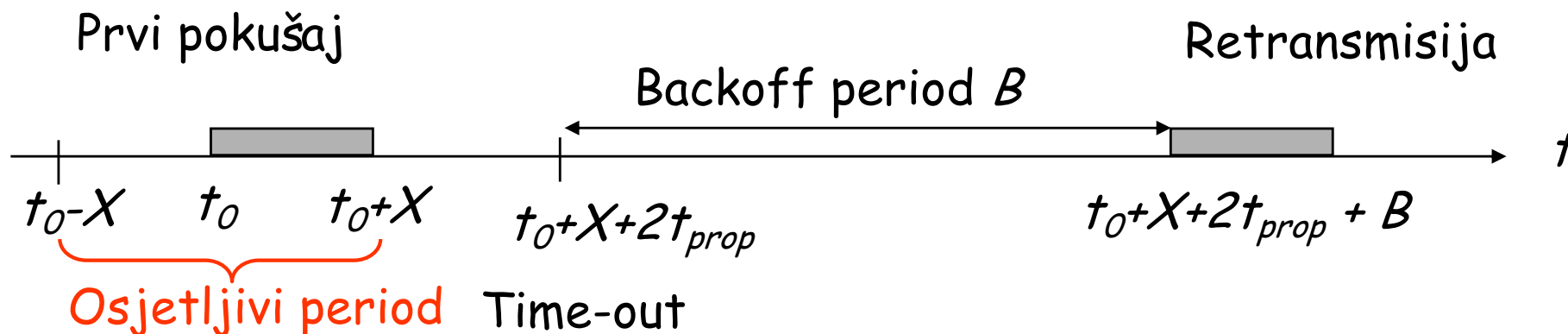
← Kašnjenje uslijed prenosa frejma

# 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  $\Delta = X/n$
- $p =$  vjerovatnoća dolaska u intervalu  $\Delta$ , tada je

$$G = n p$$

$$P_{uspjeh} = P[0 \text{ dolazaka u intervalu } 2X] =$$

$$= P[0 \text{ dolazaka u } 2n \text{ intervala}]$$

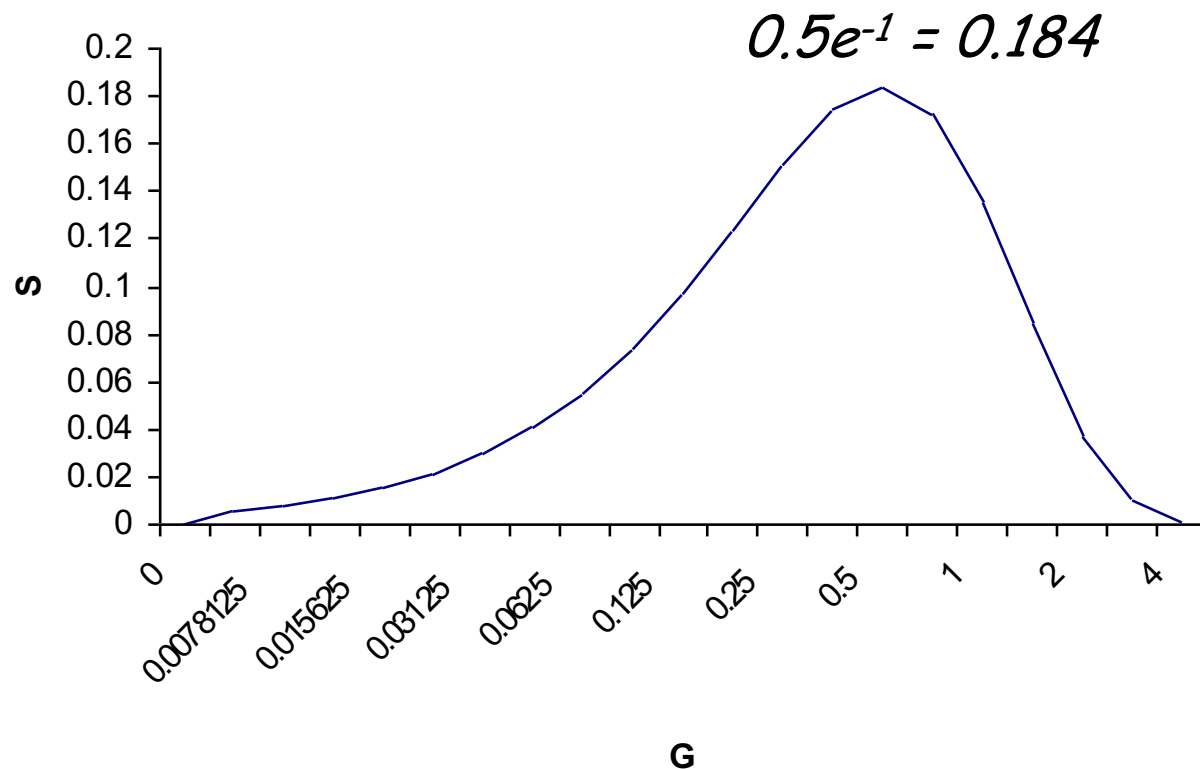
$$= (1-p)^{2n} = \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{2n} \rightarrow e^{-2G} \text{ kada } n \rightarrow \infty$$

# Ethernet

## MAC kontrola

### Aloha

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



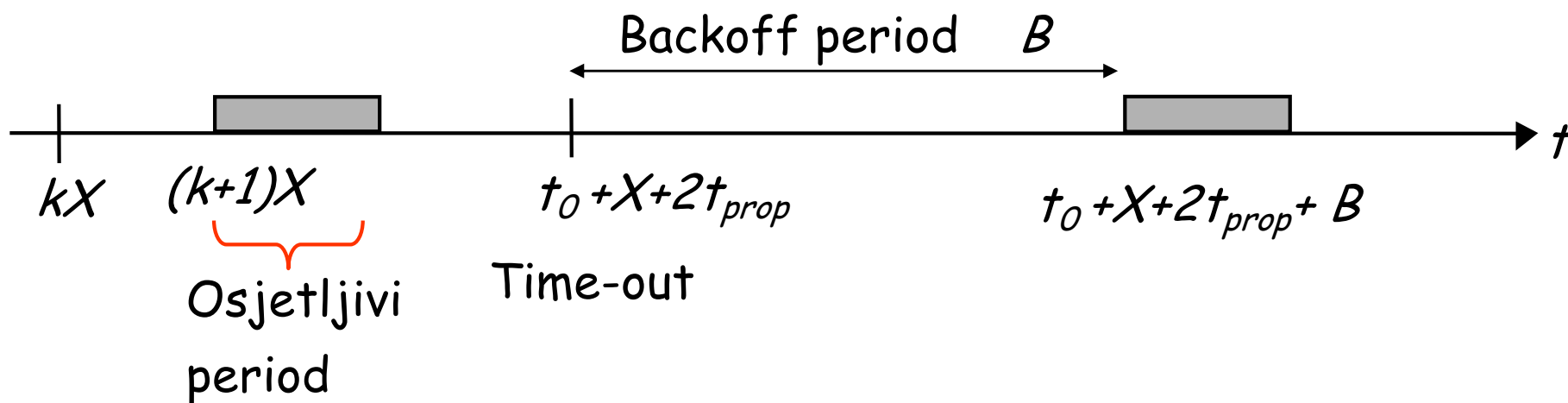
- Kolizije su sredstvo koordinacije
- Maksimalna propusnost je  $\rho_{max} = 1/2e$  (18.4%)
- Dvostruko ponašanje:  
Malo  $G$ ,  $S \approx G$   
Veliko  $G$ ,  $S \downarrow 0$
- Moguća je lavina kolizija koje obaraju propusnost na nulu

# 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



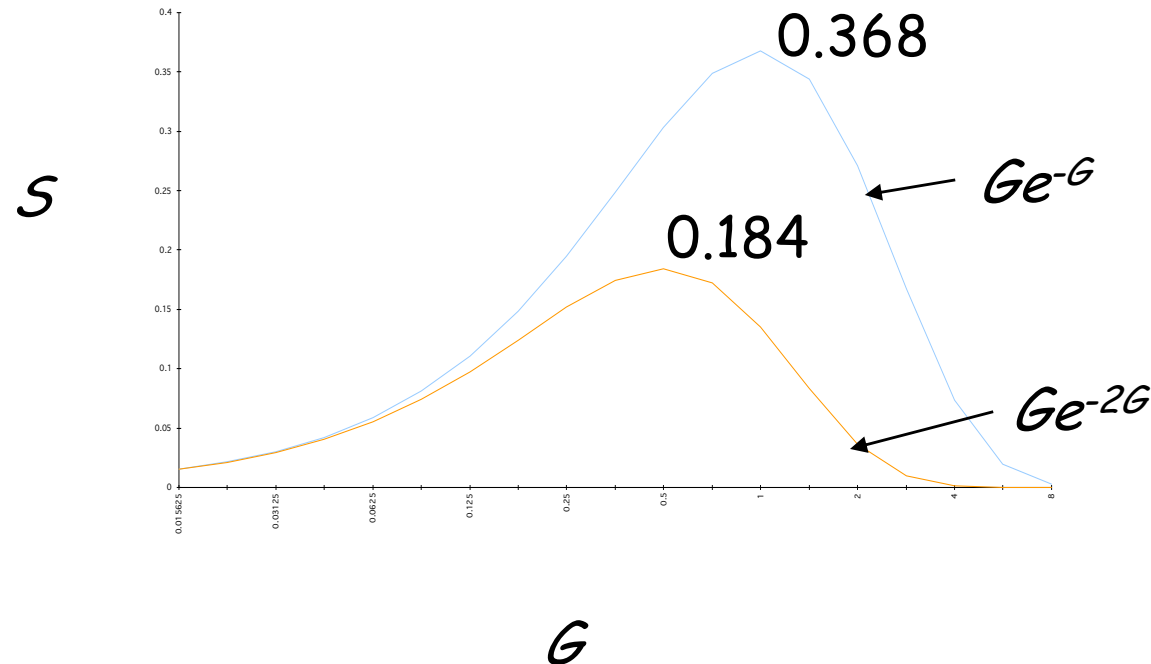
*Samo frejmovi koji krenu tokom intervala  $X$  izazivaju koliziju.*

# Ethernet

## MAC kontrola

### Slotted Aloha

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





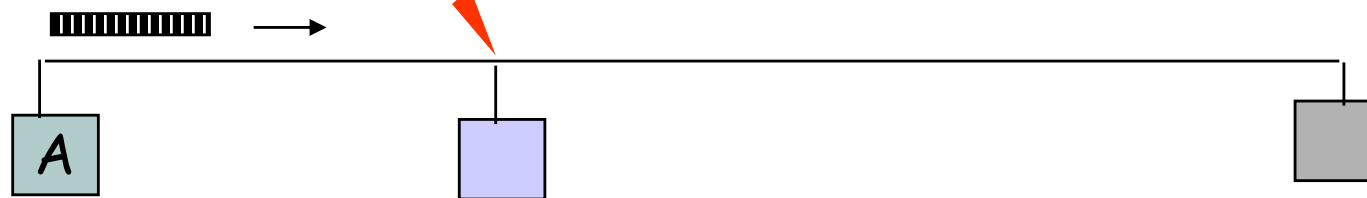
# Ethernet

## MAC kontrola

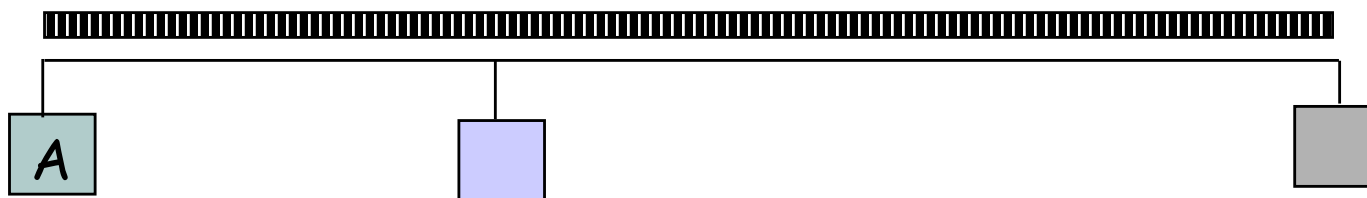
### Carrier Sensing Multiple Access (CSMA)

- 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  $\alpha > 1$ ), nema poboljšanja u odnosu na ALOHA ili slotted ALOHA

Stanica A  
počinje da  
šalje u  $t = 0$



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

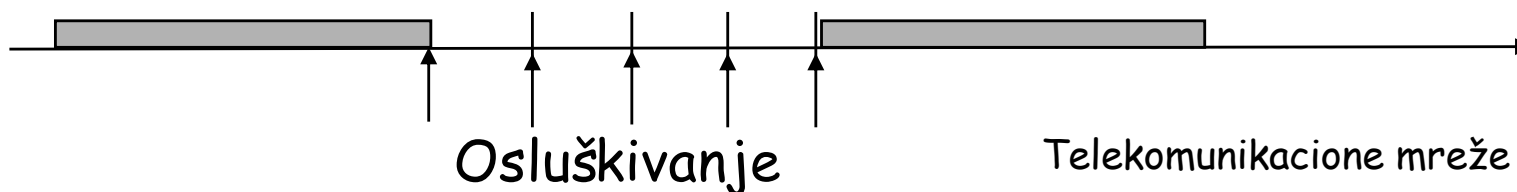


# Ethernet

## MAC kontrola

### Carrier Sensing Multiple Access (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

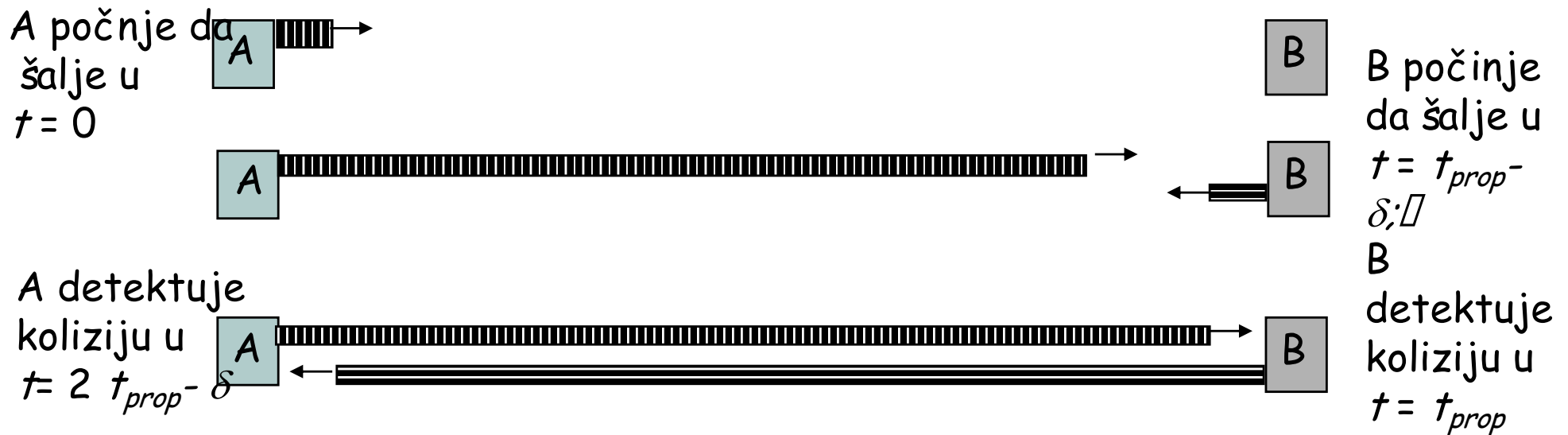
### CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- Nadzire kolizije i prekida prenos
  - Stanice koje žele da šalju, prvo oslušuju 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 (CSMA with Collision Detection)



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

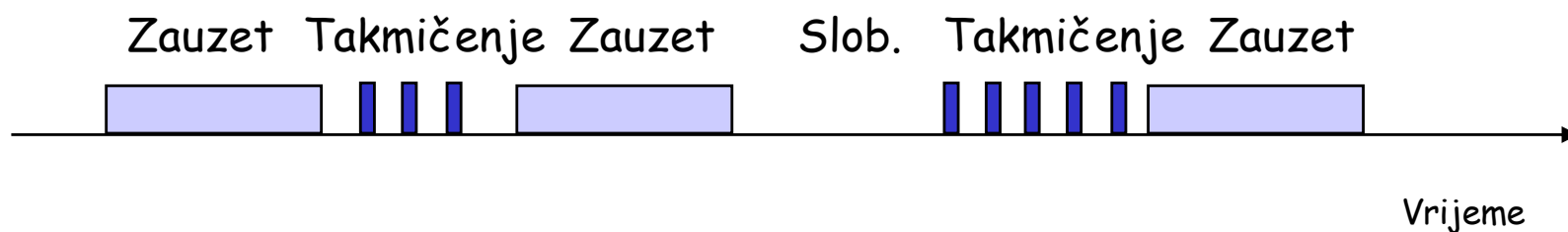
# Ethernet

## MAC kontrola

### CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

#### □ Pretpostavke

- Kolizije se detektuju i rješavaju tokom  $2t_{prop}$
- Vrijeme je podijeljeno na  $2t_{prop}$  slotova tokom perioda takmičenja
- Neka je  $n$  aktivnih 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 (CSMA with Collision Detection)

- 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  $p=1/n$

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

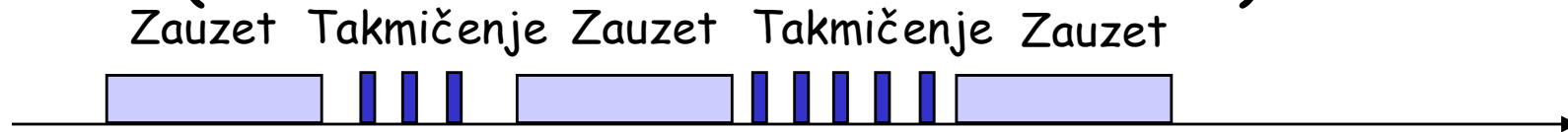
- Prosječno,  $1/P^{max} = e = 2.718$  vremenskih slotova je potrebno do okončanja takmičenja

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

# Ethernet

## MAC kontrola

### CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)



- 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 (CSMA with Collision Detection)

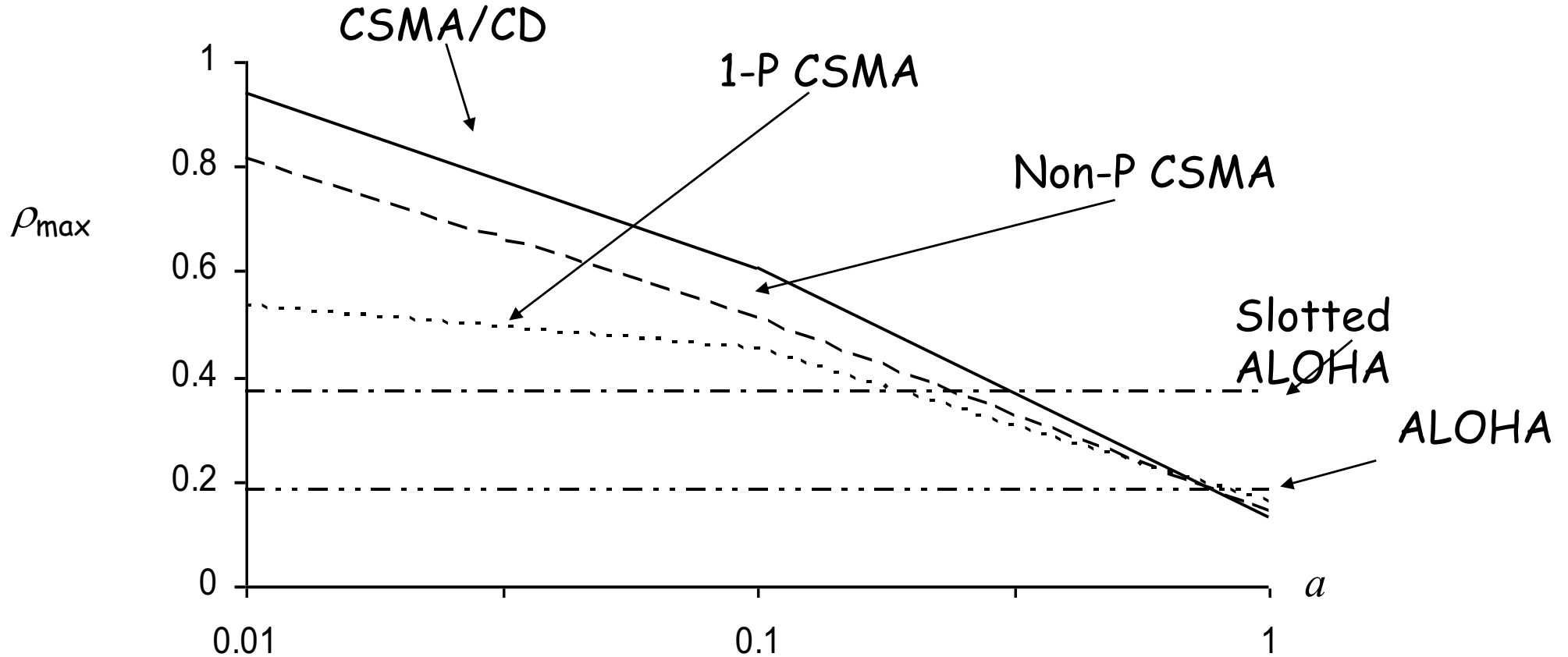
- Sve do 10Gb/s Ethernet standardi su koristili CSMA-CD
- Npr za 10Mb/s Ethernet
  - 1-persistentna detekcija nosioca
  - $R = 10 \text{ Mb/s}$
  - $t_{\text{prop}} = 51.2 \mu\text{s}$ 
    - Slot je trajao 512 bita = 64B (najmanji Ethernet frejm)
    - Podržavao je segment dužine 2.5 km sa 4 ripitera.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



# Ethernet

## MAC kontrola

### CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)



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

# Ethernet

## MAC kontrola

### CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- ❑ Neke aplikacije zahtijevaju brži odziv od drugih, npr. ACK poruke
- ❑ Potreba za različitim vremenima između frejmova
  - Visoko prioritetni saobraćaj prati kanal tokom vremena  $\tau_1$
  - 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