

3. Ethernet

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

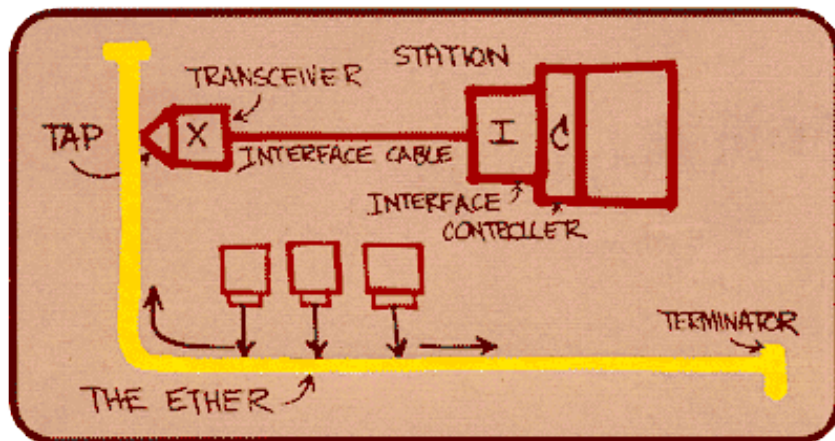
Ethernet

- 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: 10Mb/s - 100Gb/s

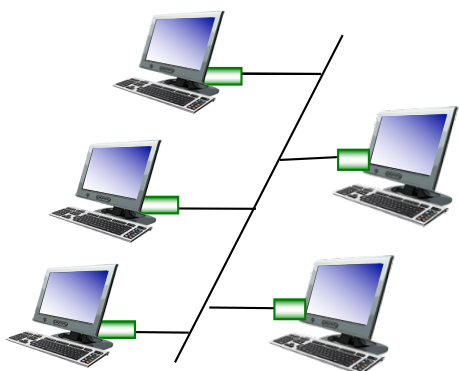


Metcalfova skica Etherneteta

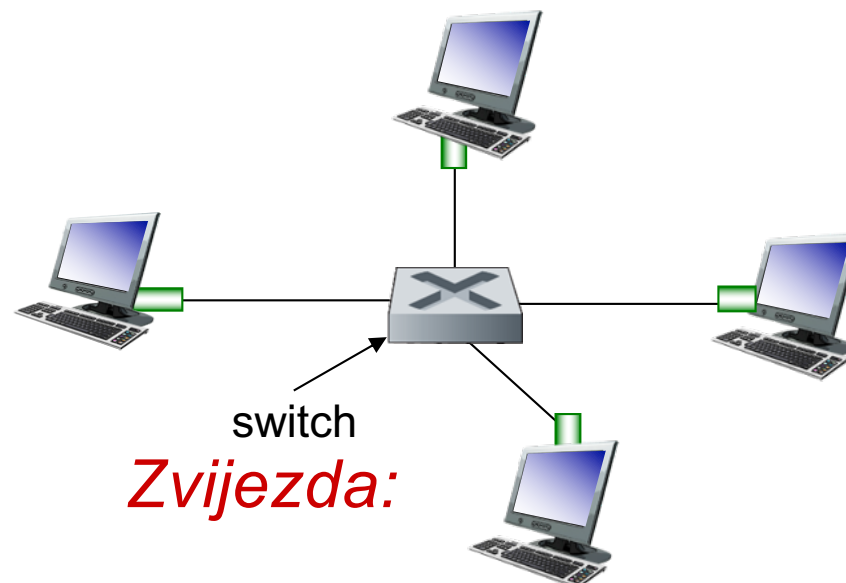
Ethernet

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



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

□ Type(2B): ukazuje na protokol nivoa mreže (najčešće IPv4 (0800) i IPv6 (86DD), ali nekad i Novell IPX i AppleTalk)

□ CRC(4B): provjera na prijemu, ako je detektovana greška, frejm se odbacuje (CCITT-32 CRC)

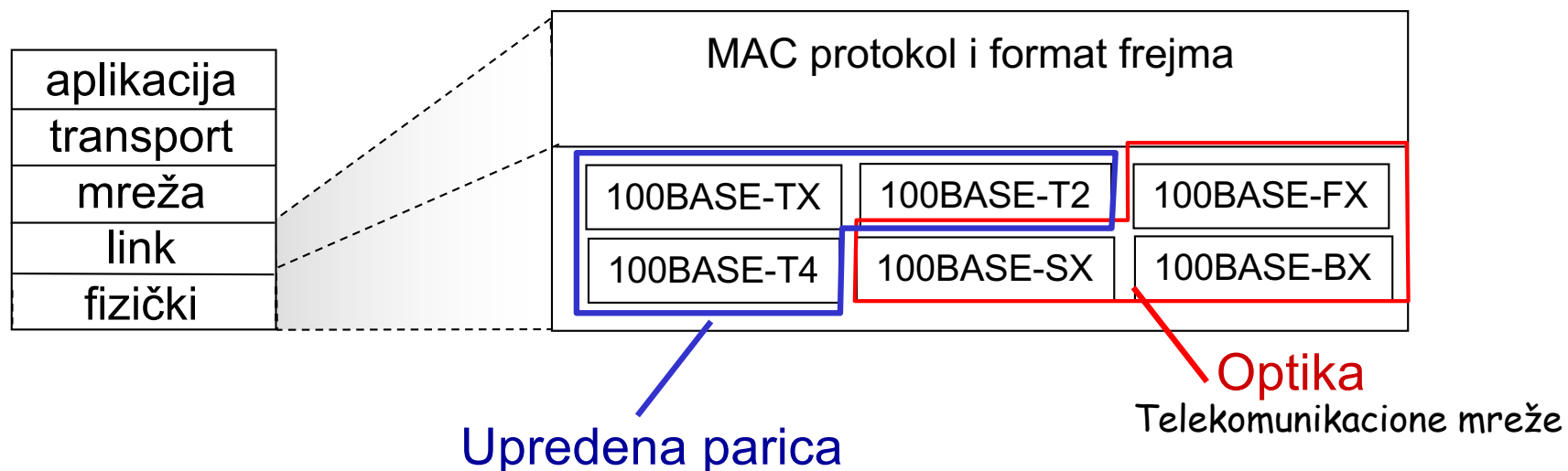
$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

type



Ethernet Standardi

- ❑ IEEE 802.3 familija (
- ❑ 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 i 200Gb/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

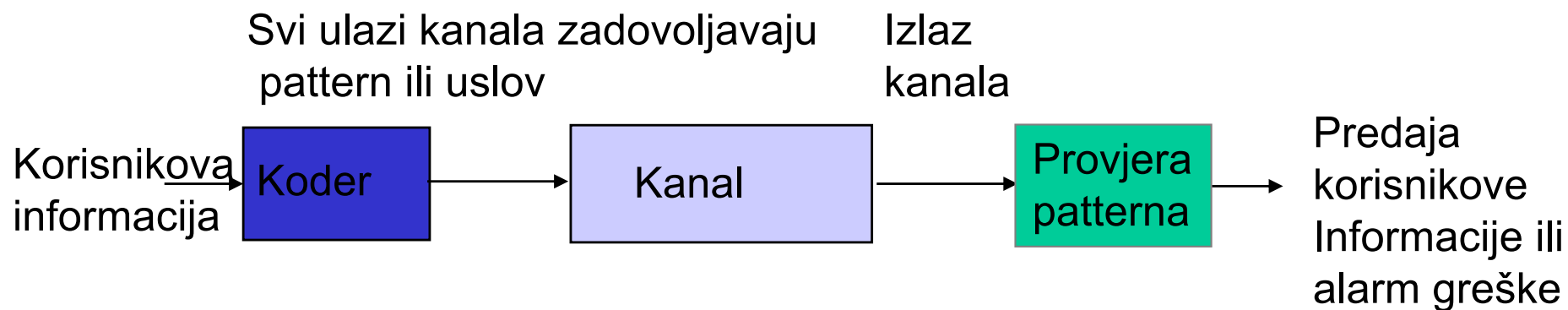
Detekcija greške

- 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

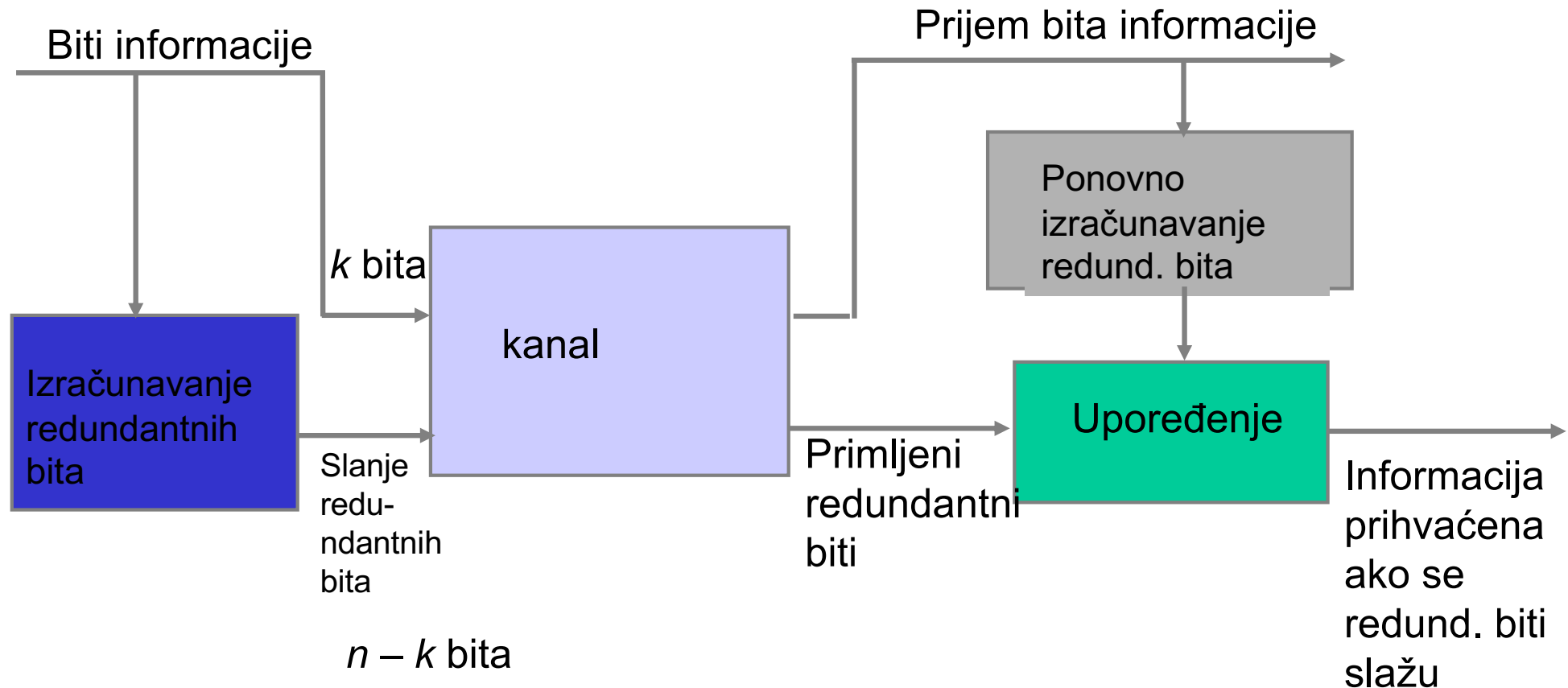
Detekcija greške

- ❑ 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

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

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 *informativnih 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: $x^3 i(x) = x^6 + x^5$

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

$$\begin{array}{r} 1011 \overline{) 11100000} \\ \underline{1011} \\ 1110 \\ \underline{1011} \\ 1010 \\ \underline{1011} \\ 010 \end{array}$$

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

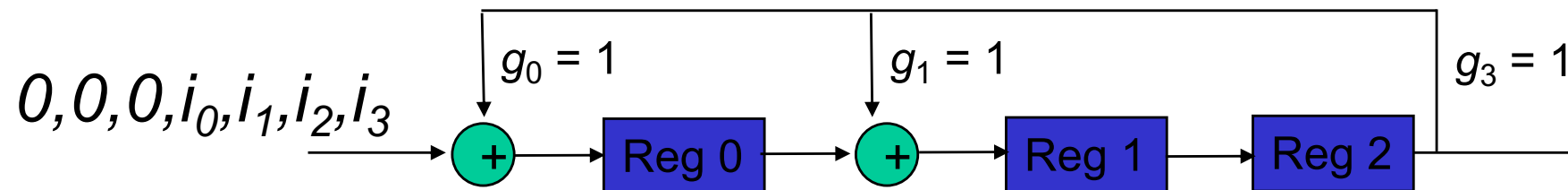
Implementacija pomjeračkog registra

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. Uvesti sekvencu 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 $g(x) = x^3 + x + 1$



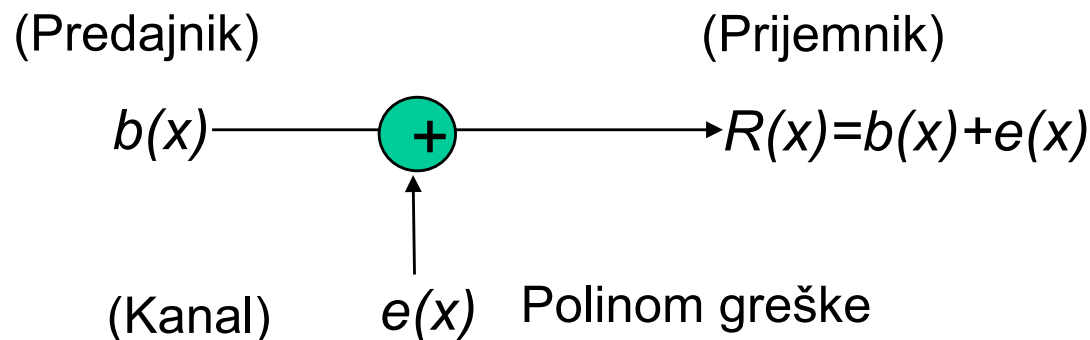
Clock	Ulaz	Reg 0	Reg 1	Reg 2
0	-	0	0	0
1	$1 = i_3$	1	0	0
2	$1 = i_2$	1	1	0
3	$0 = i_1$	0	1	1
4	$0 = i_0$	1	1	1
5	0	1	0	1
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
Biti provjere:		$r_0 = 0$	$r_1 = 1$	$r_2 = 0$

$$\implies r(x) = x$$

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:

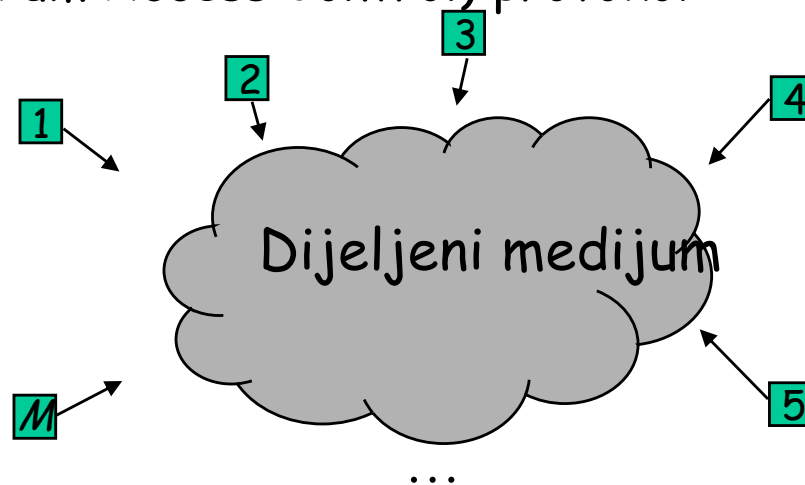
IEEE 802, DoD, V.42

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

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

Tehnike dijeljenja medijuma

Statička dodjela kanala

Dinamička kontrola pristupa

- Dijeljenje medijuma na kanale alocirane korisnicima
- Satelitski prenos
- Celularna telefonija

Scheduling

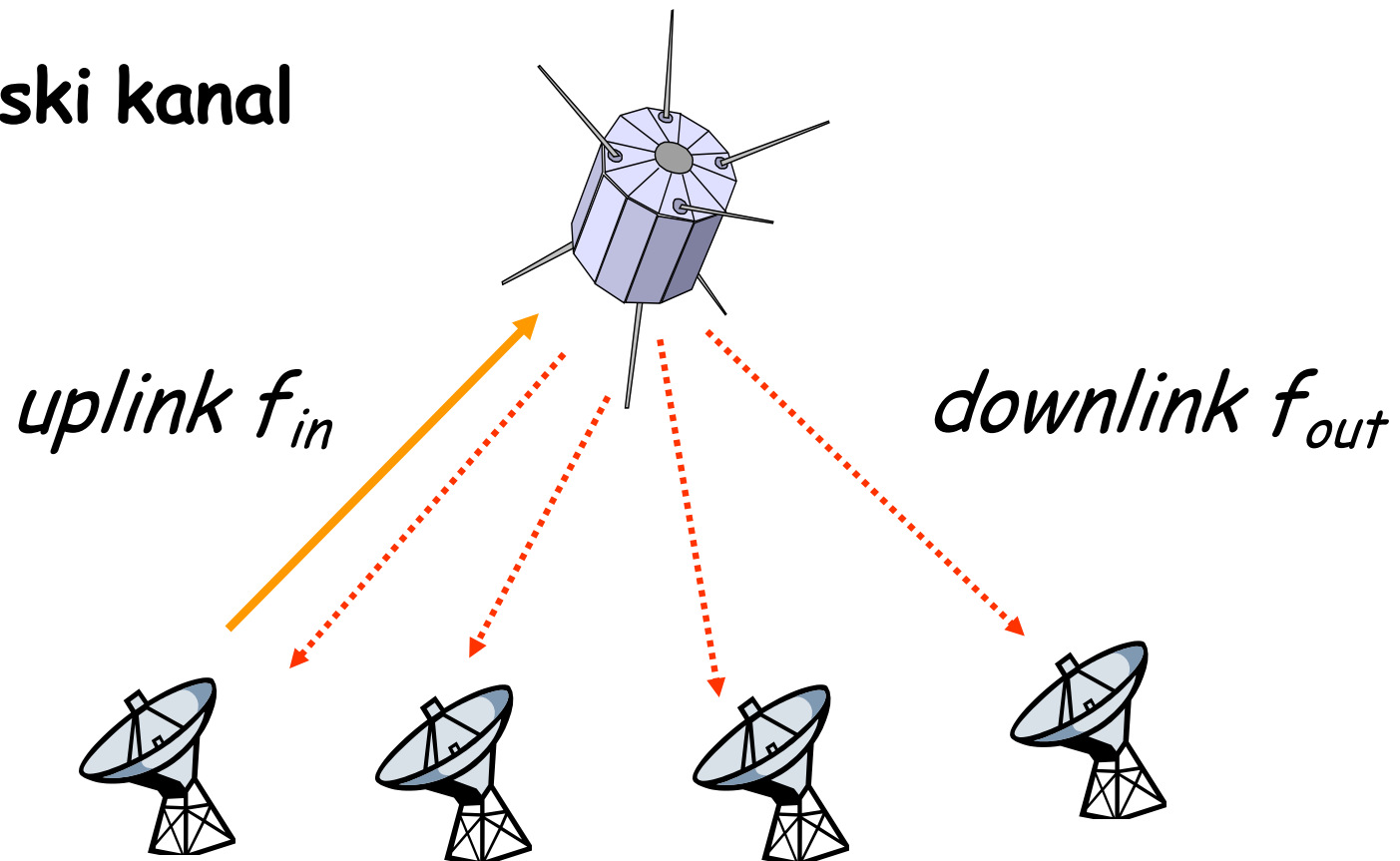
- Polling (prozivka)
- Rezervacija (slanje zahtjeva)
- Token ring
- WLAN

Random access

- Nema koordinacije
- Slanje, čekanje i ponovno slanje ako je potrebno
- Aloha
- Ethernet
- WLAN

Ethernet MAC kontrola

Satelitski kanal



Ethernet MAC kontrola

Celularne mreže

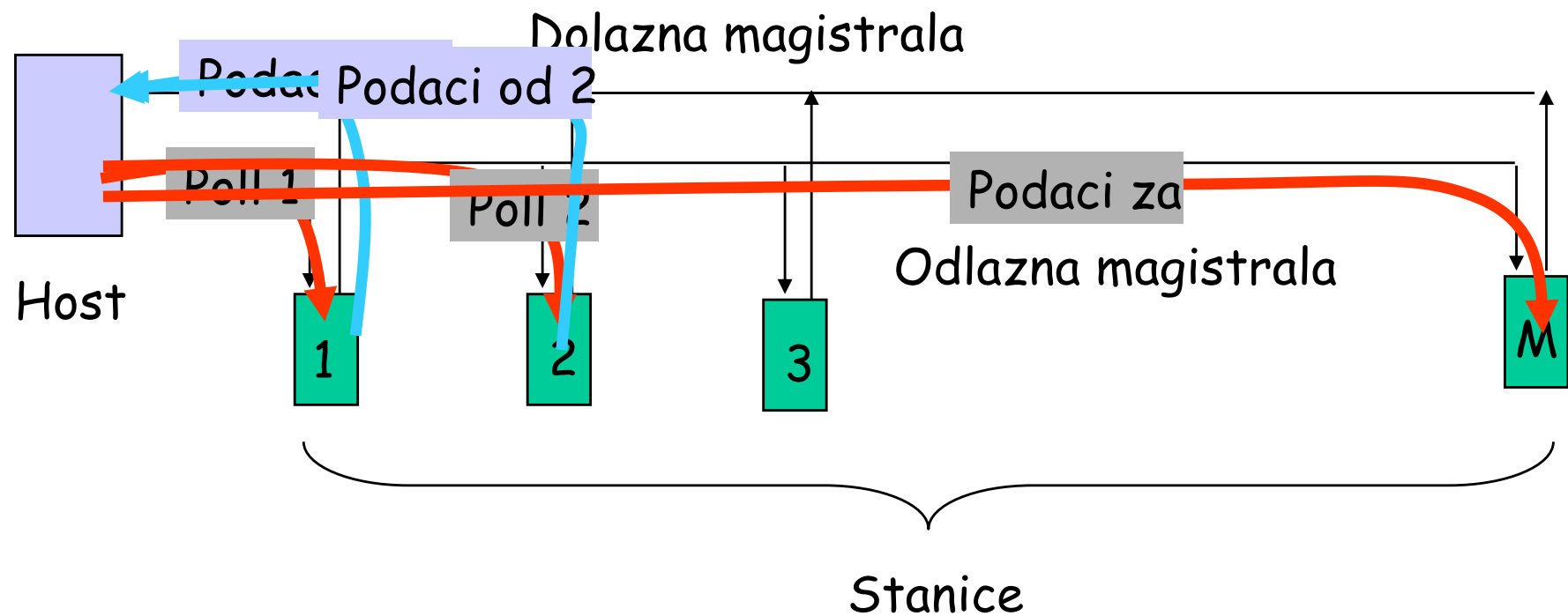


uplink f_1 ; downlink f_2

uplink f_3 ; downlink f_4

Ethernet MAC kontrola

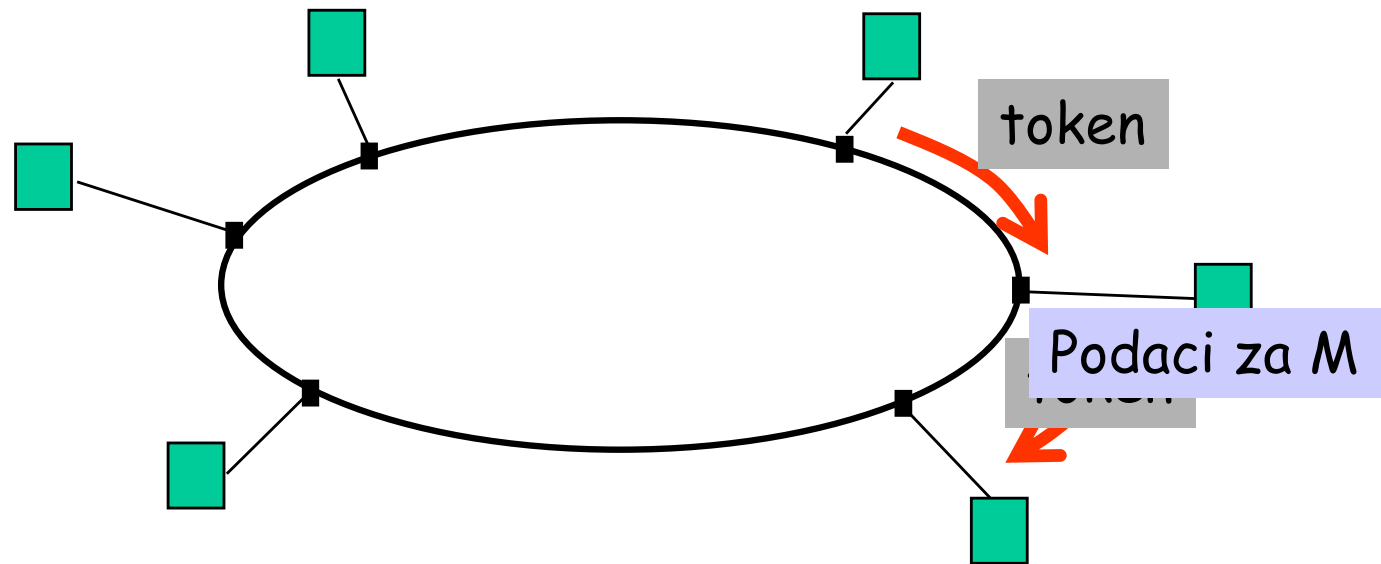
Scheduling: Polling



Ethernet MAC kontrola

Scheduling: Token Passing

Prsten mreža

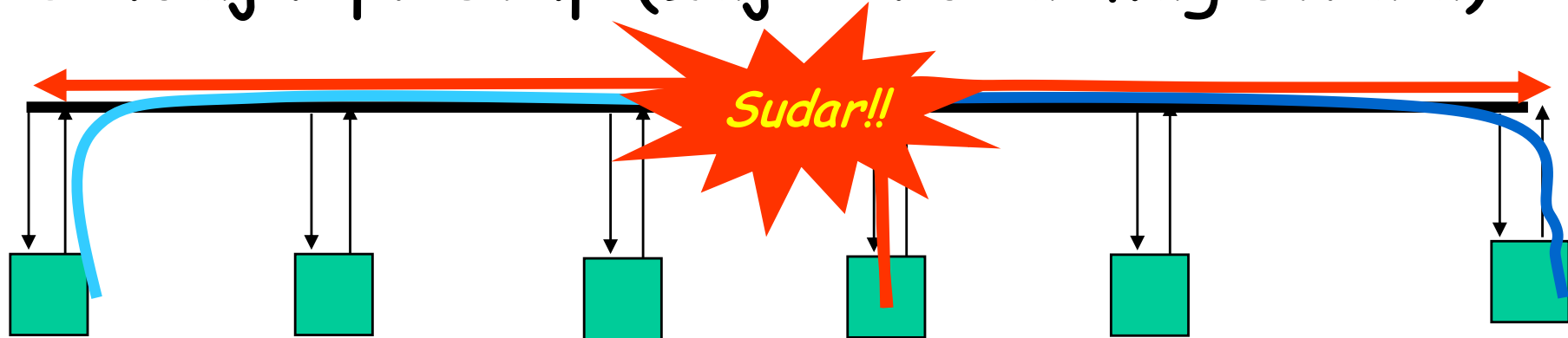


Stanica koja posjeduje token šalje podatke

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

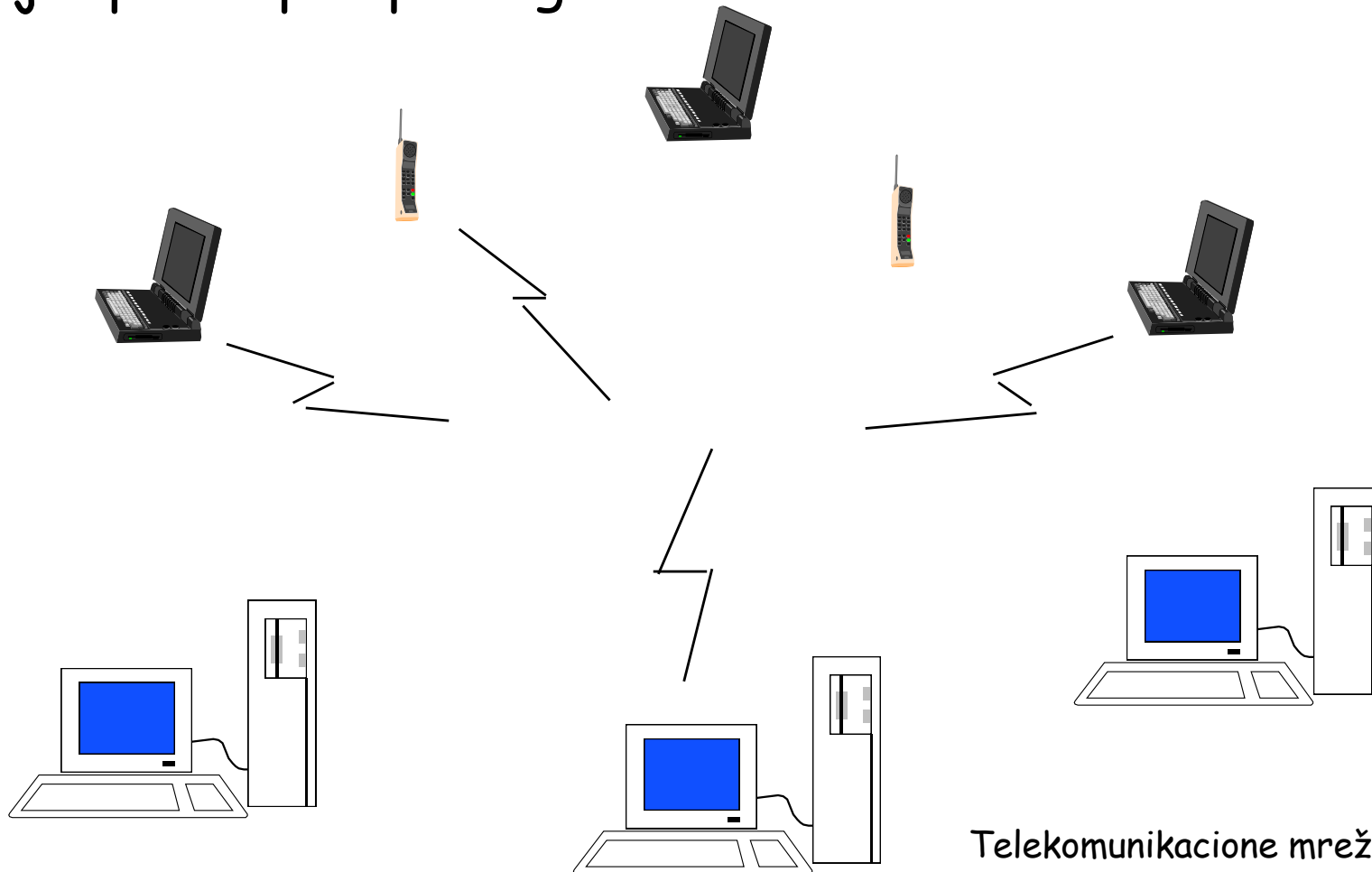
Ethernet

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

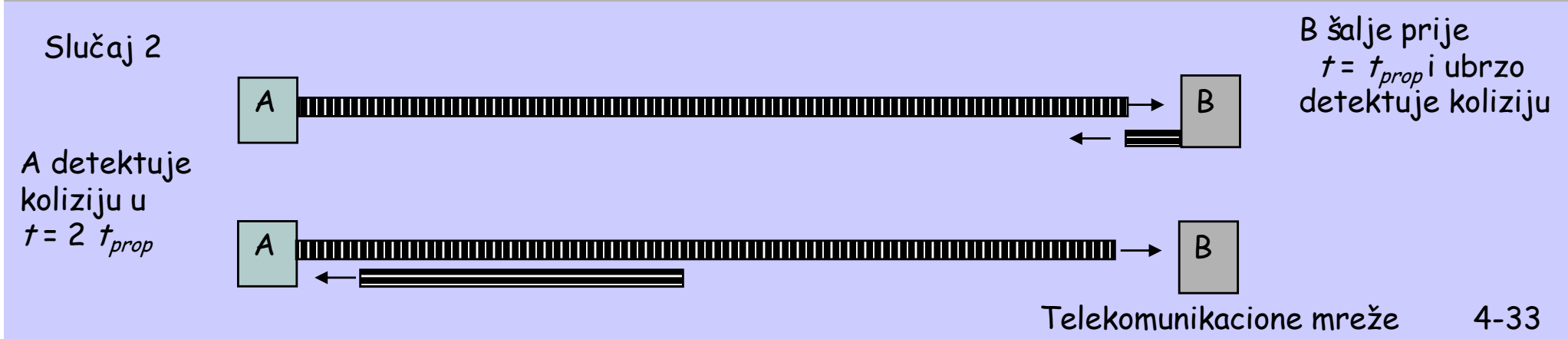
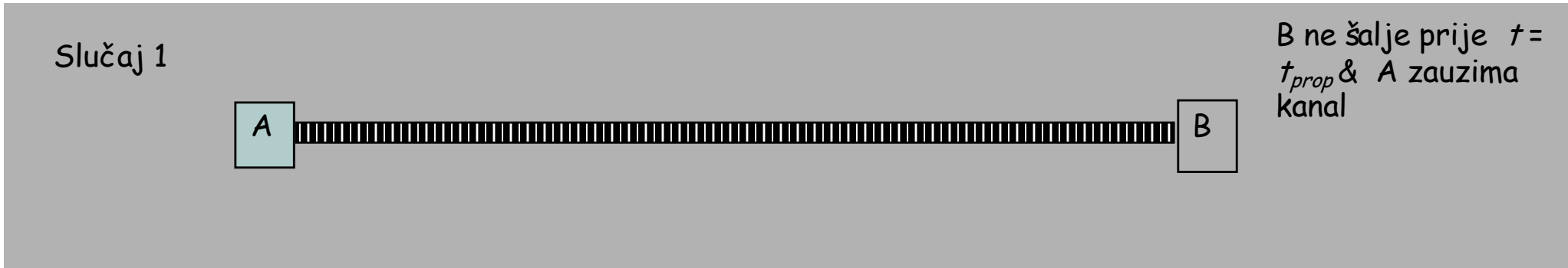
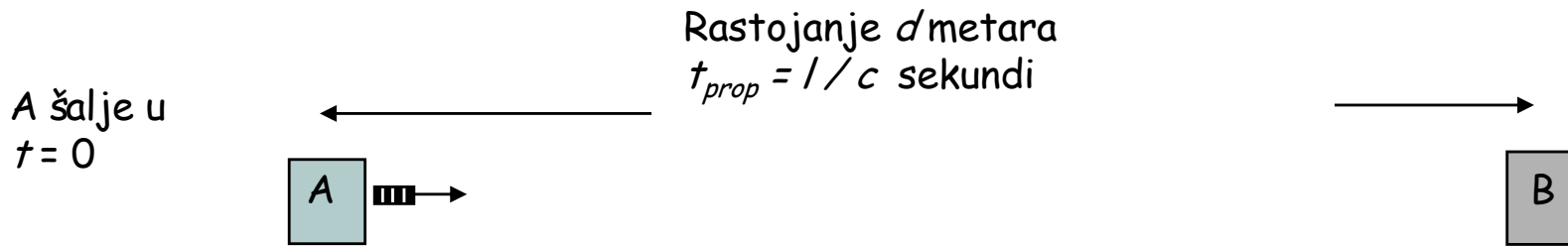
□ Jednostavan primjer dvije stanice

- 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



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

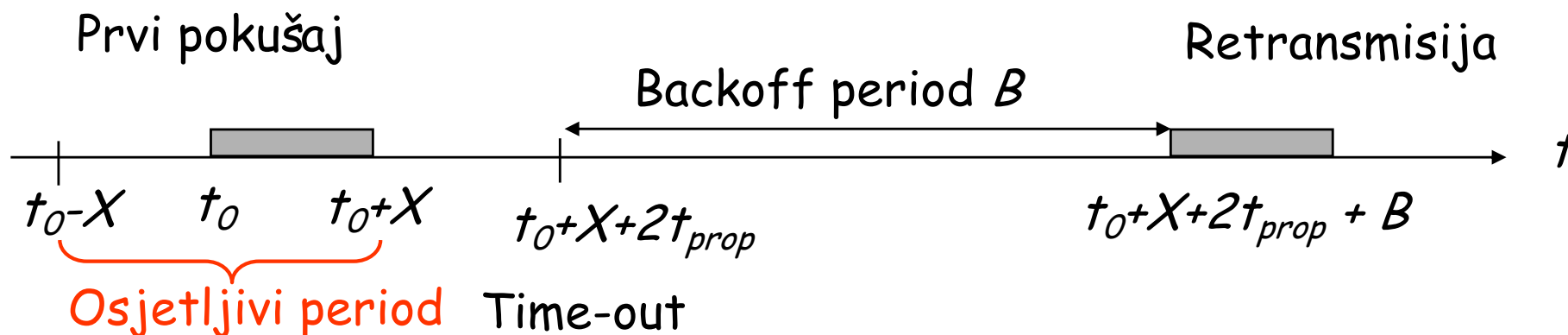
← Kašnjenje uslijed prenosa frejma

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 Δ , tada je*

$$G = n p$$

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

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

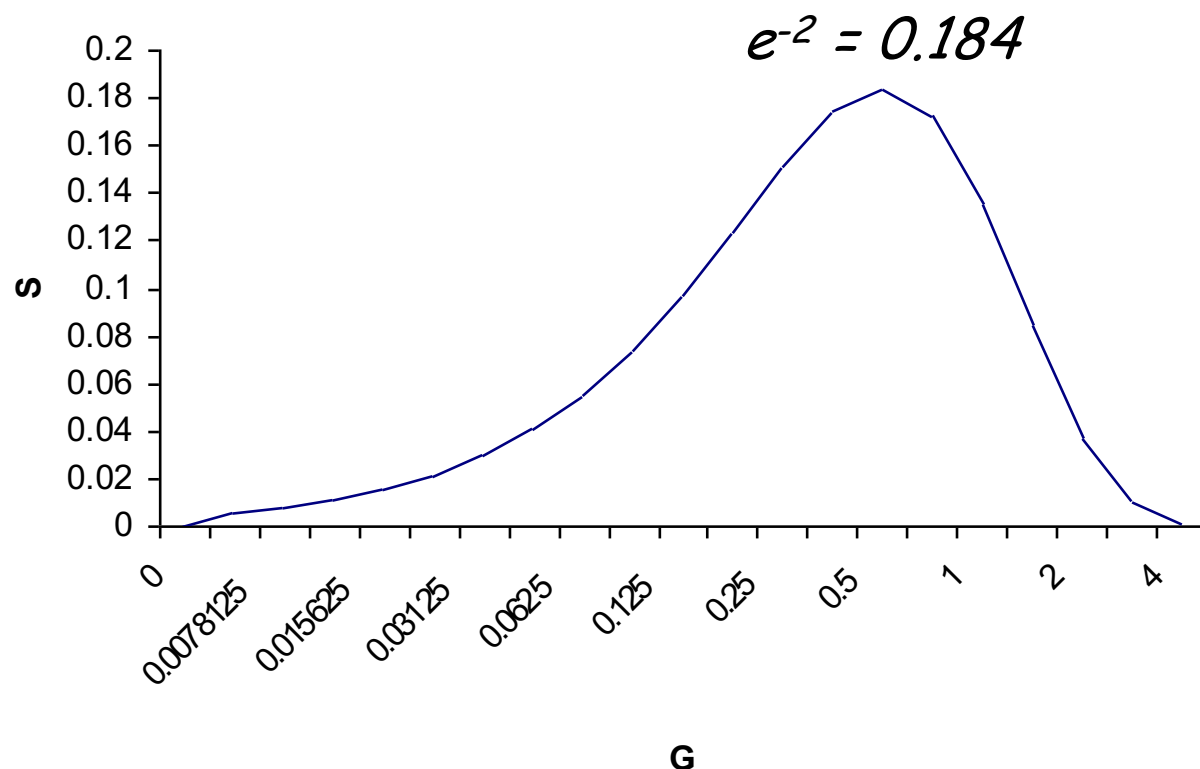
$$= (1-p)^{2n} = \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{2n} \rightarrow e^{-2G} \text{ kada } n \rightarrow \infty$$

Ethernet

MAC kontrola

Aloha

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



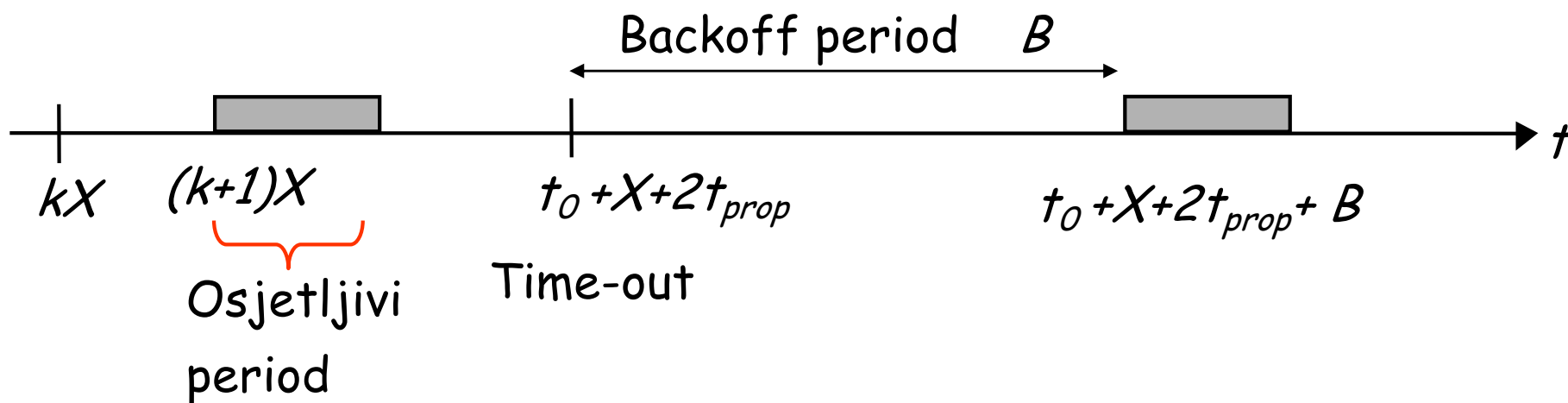
- Kolizije su sredstvo koordinacije
- Maksimalna propusnost je $\rho_{\max} = 1/2e$ (18.4%)
- Dvostruko ponašanje:
Malo G , $S \approx G$
Veliko G , $S \downarrow 0$
- Moguća je lavina kolizija koje obaraju propusnost na nulu

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

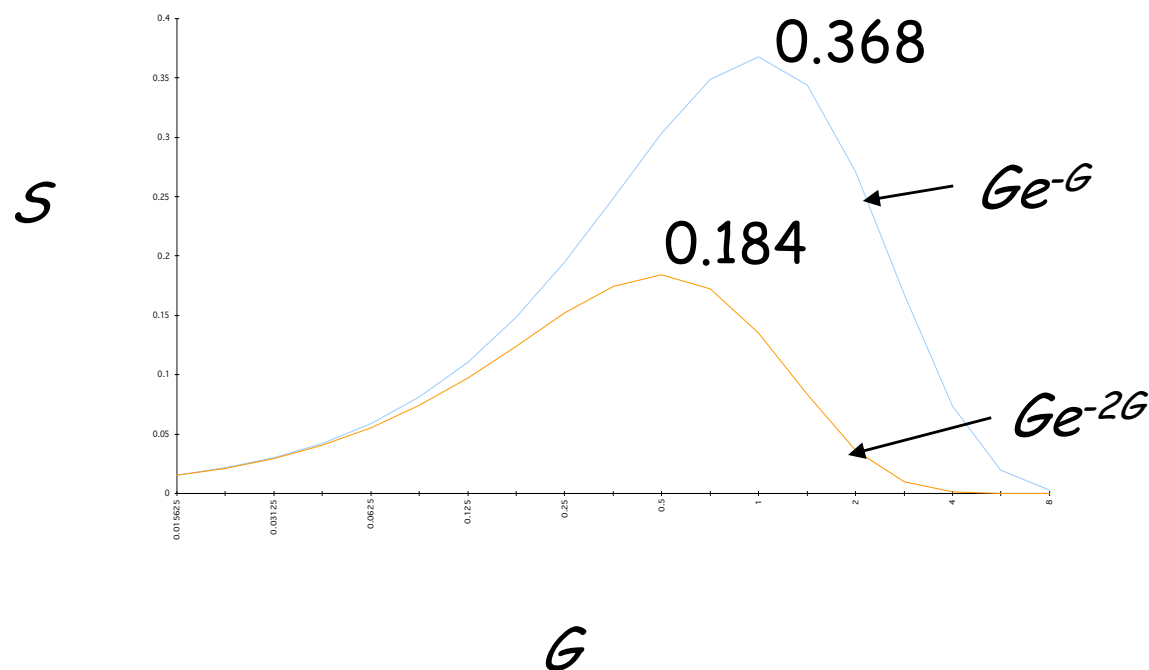
MAC kontrola

Slotted Aloha

$$S = GP_{uspjeh} = GP[\text{nema dolazaka u X sekundi}]$$

$$= GP[\text{nema dolazaka u n intervala}]$$

$$= G(1 - p)^n = G\left(1 - \frac{G}{n}\right)^n \rightarrow Ge^{-G}$$



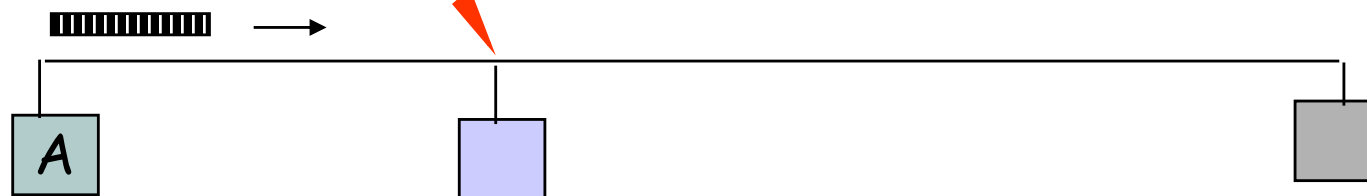
Ethernet

MAC kontrola

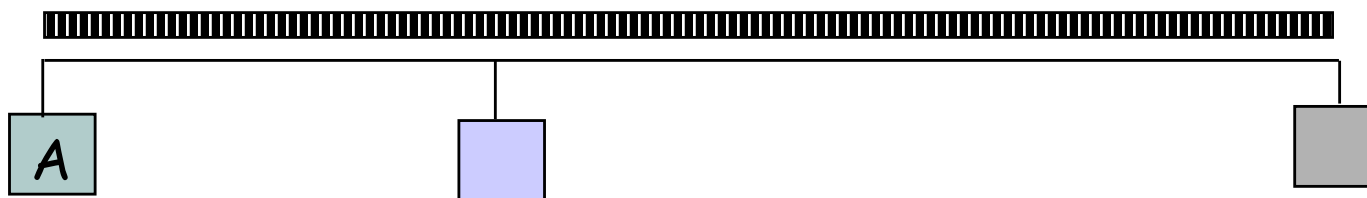
Carrier Sensing Multiple Access (CSMA)

- 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
 $t = t_{prop}$

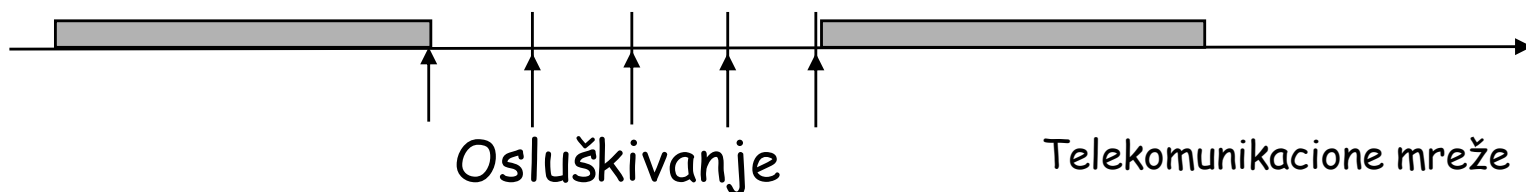


Ethernet

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

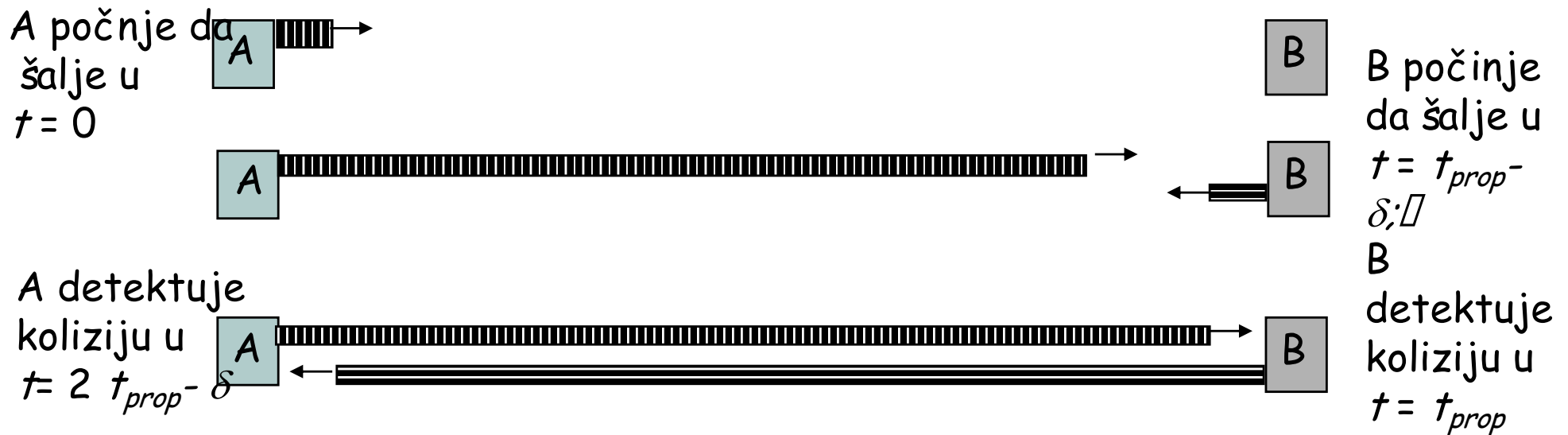
CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- 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

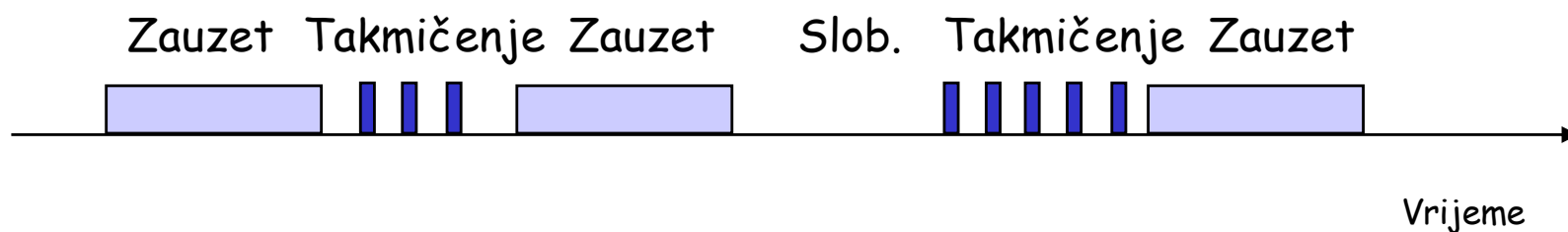
Ethernet

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 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 (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 $p=1/n$

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

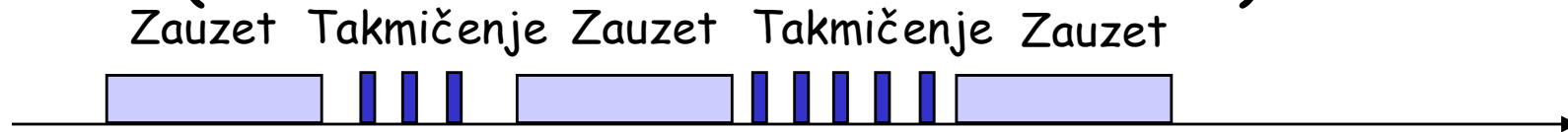
- Prosječno, $1/P^{max} = e = 2.718$ vremenskih slotova je potrebno do okončanja takmičenja

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

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

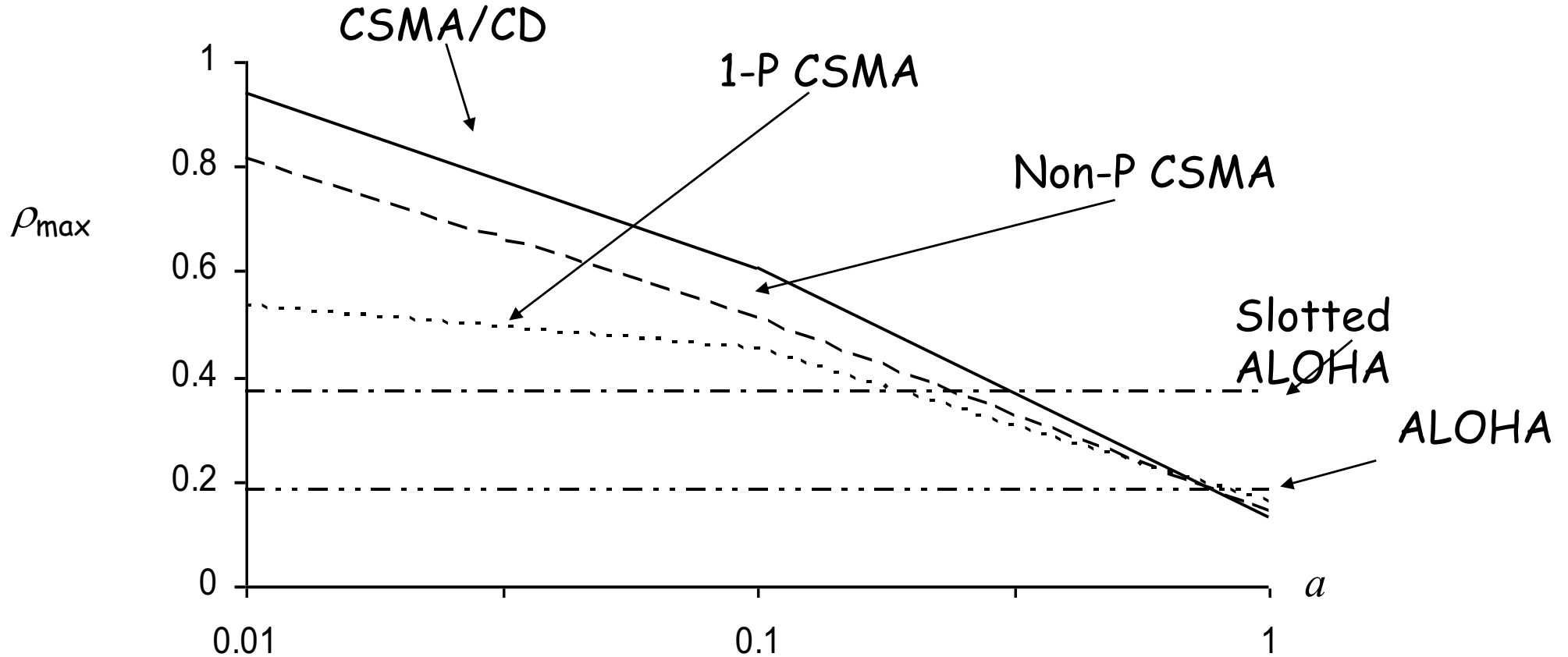
CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- 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 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

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 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

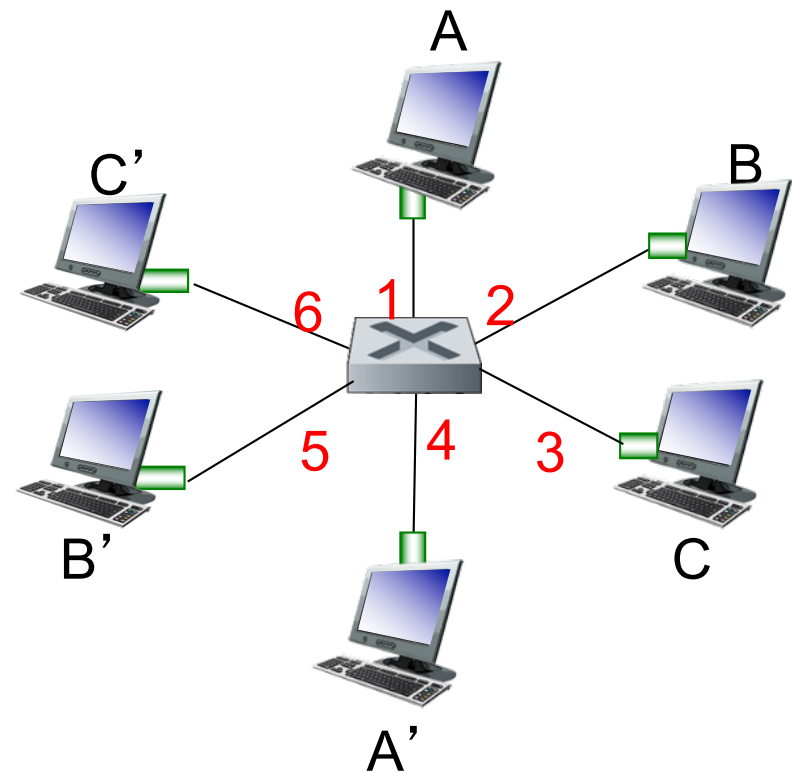
Ethernet

Switch

- Uređaj nivoa linka
 - Smješta i prosleđuje Ethernet frejmove
 - Ispituje zaglavlje frejma i **selektivno** prosleđuje frejm na bazi MAC destinacione adrese
 - Kada se frejm prosleđuje na segment, koristi se CSMA/CD za pristup segmentu
- Transparento
 - Hostovi ne osjećaju prisustvo switch-e-va
- Plug-and-play, samouki
 - Switch-evi ne moraju da se konfiguriraju

Ethernet Switch

- ❑ Hostovi su direktno povezani na switch
- ❑ Switchevi baferuju frejmove
- ❑ Ethernet protokol se koristi na interfejsima ali nema kolizije zbog full duplexa
 - Svaki link je poseban kolizijski domen
- ❑ *komutacija*: od A do A' i od B do B' se prenos obavlja simultano bez kolizija



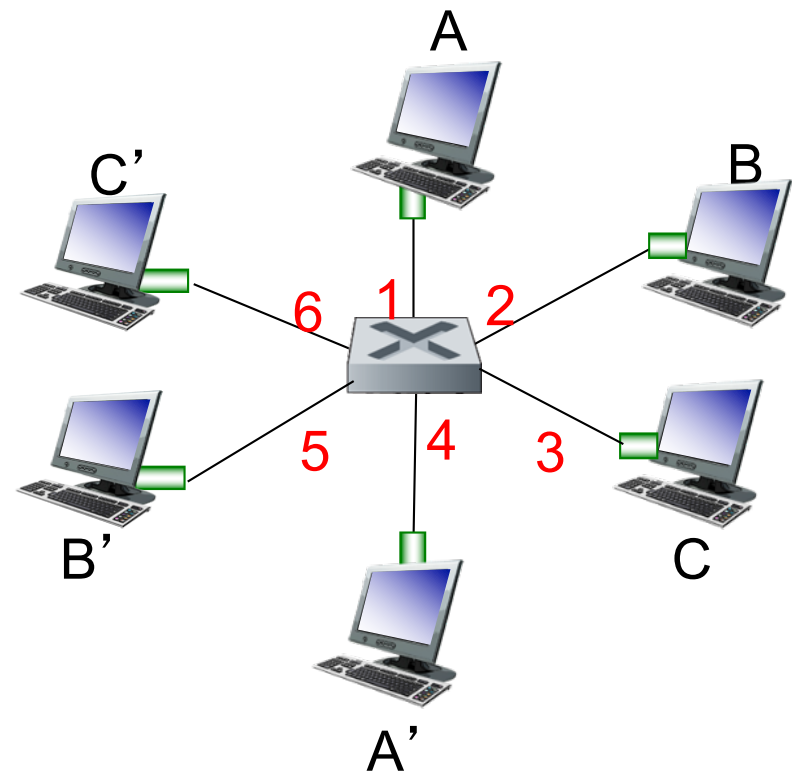
Komutator sa 6 interfejsa
(1,2,3,4,5,6)

Ethernet Switch

Q: kako switch zna da se A' može doseći preko interfejsa 4, a B' preko interfejsa 5?

❖ A: svaki switch ima **tabelu prosleđivanja**, koja sadrži:

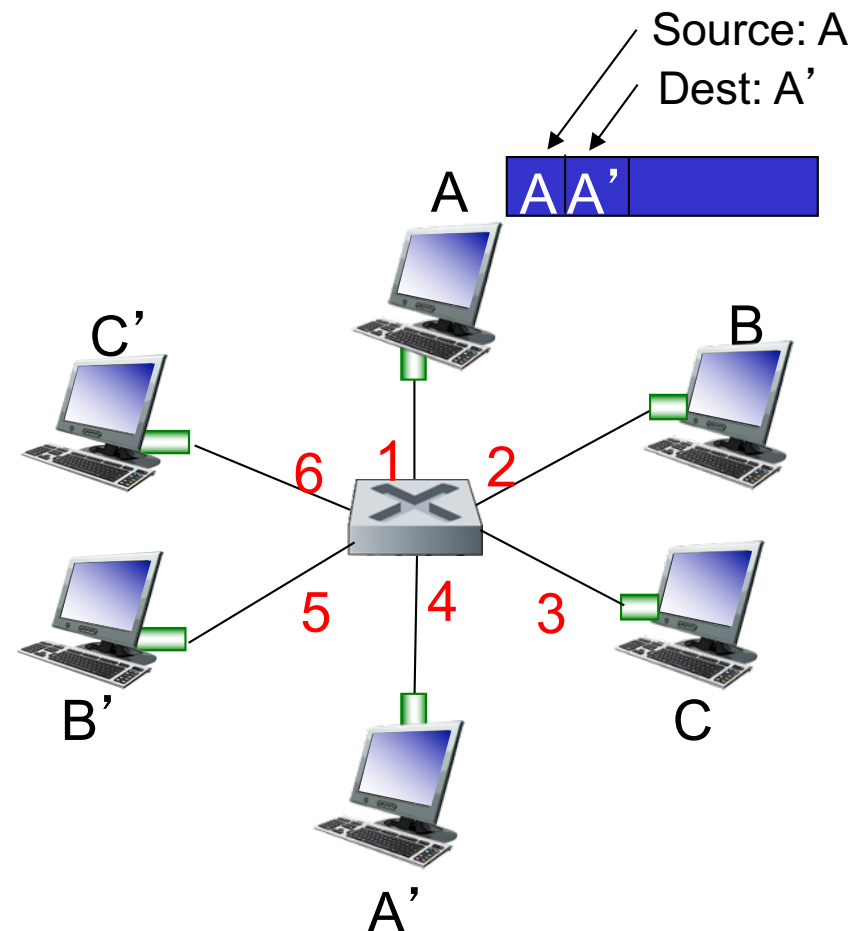
- (MAC adresu hosta, identifikator interfejsa preko kojeg se može doseći, time stamp)
- Liči na tabelu rutiranja!



*switch sa 6 interfejsa
(1,2,3,4,5,6)*

Ethernet Switch

- switch *učí* koji hostovi se mogu doseći preko kojih interfejsa
 - Kada frejm stigne, switch “nauči” lokaciju pošiljaoca
 - Upisuje par pošiljalac/lokacija u tabelu



MAC addr	interface	TTL
A	1	60

*Tabela prosleđivanja
(prazna na početku)*

Ethernet

Switch

Kada switch primi frejm:

Indeksira tabelu komutiranja koristeći MAC
destinacionu adresu

if je sadržaj pronađen za destinaciju

then{

if destinacija na segment sa kojeg je došao frejm

then odbaci frejm

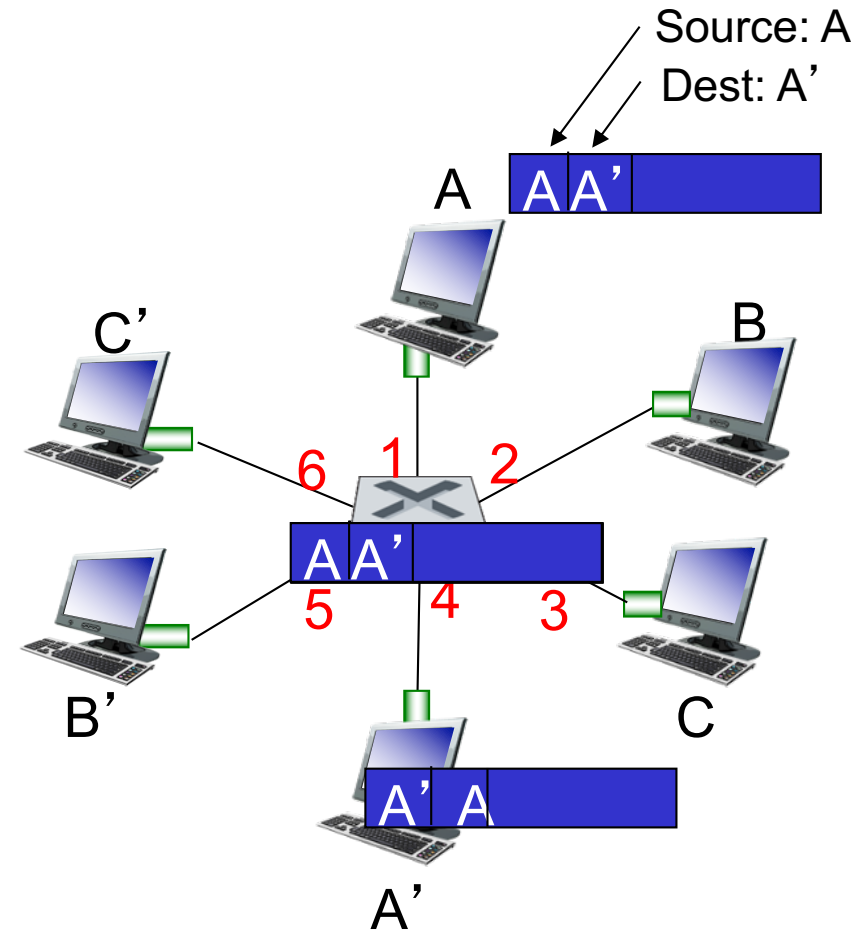
else proslijedi frejm na odgovarajući interfejs

}

else šalji na sve segmente, sem na onaj odakle je
frejm stigao

Ethernet Switch

- Destinacija frejma, A', nepoznata: *Šalji svima*
- ❖ Destinacija frejma A: poznata *selektivno šalji na jedan link*

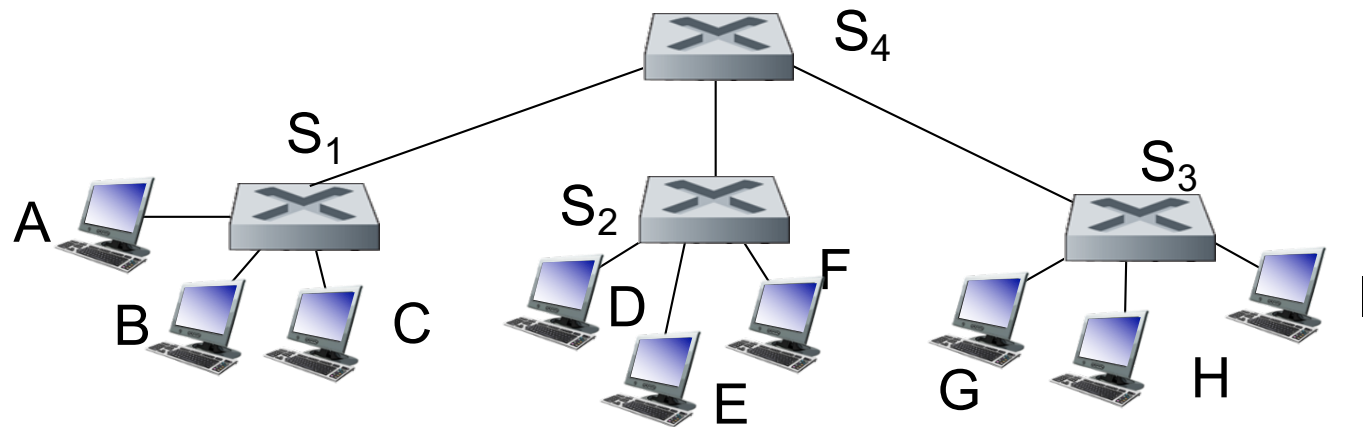


MAC adr.	interfejs	TTL
A	1	60
A'	4	60

Tabela

Ethernet Switch

Switchevi se mogu povezivati



Q: slanje od A do G - kako S₁ zna da proslijedi frejm adresiran za G preko S₄ i S₃?

❖ **A:** self learning! (na isti način kao za jedan switch!)

Ethernet Switch

