

4. Ethernet

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

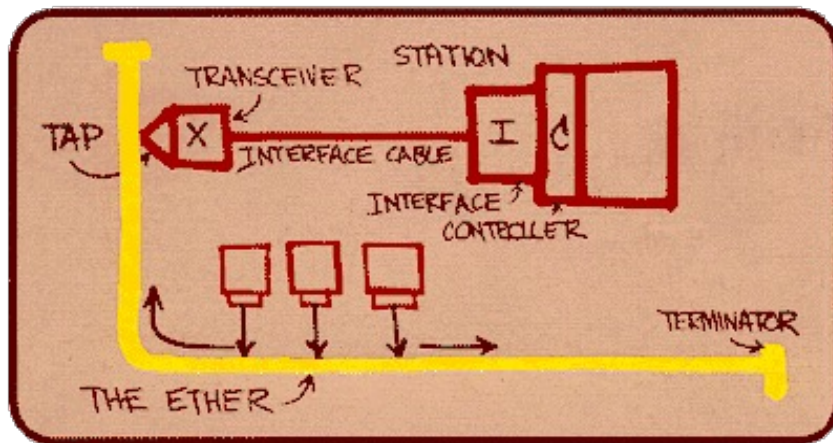
Ethernet

- 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

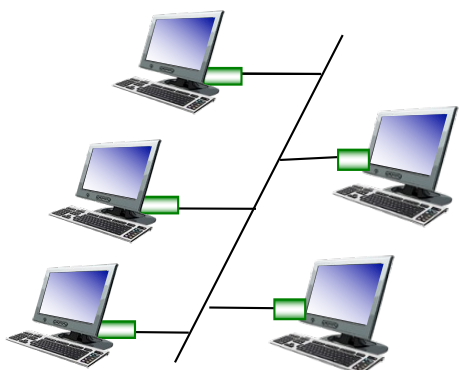


Metcalfova skica Etherneta

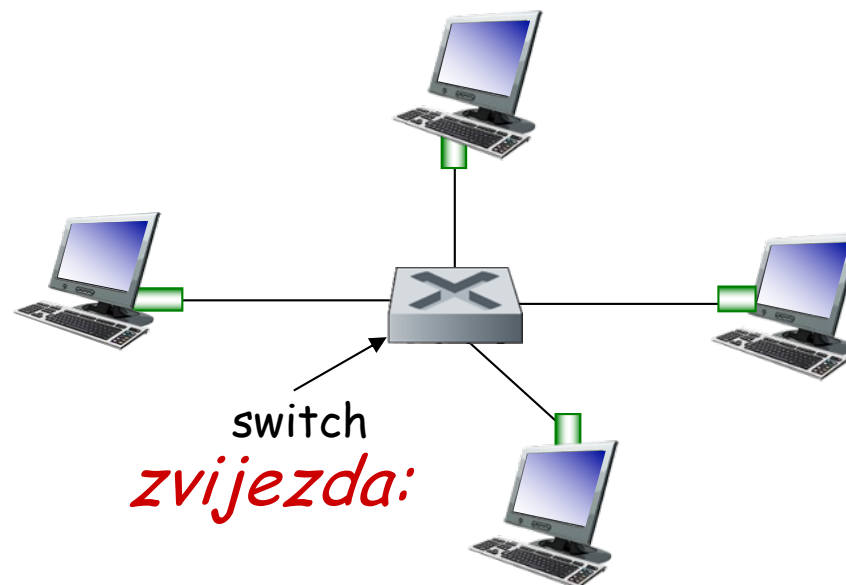
Ethernet

Uvod

- *magistrala*: bila je popularna sredinom devedesitih
 - Sva čvorišta su u istom kolizionom domenu
- *zvijezda*: preovlađuje danas
 - aktivni *switch* u centru
 - Svaki link switcha 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

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)

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

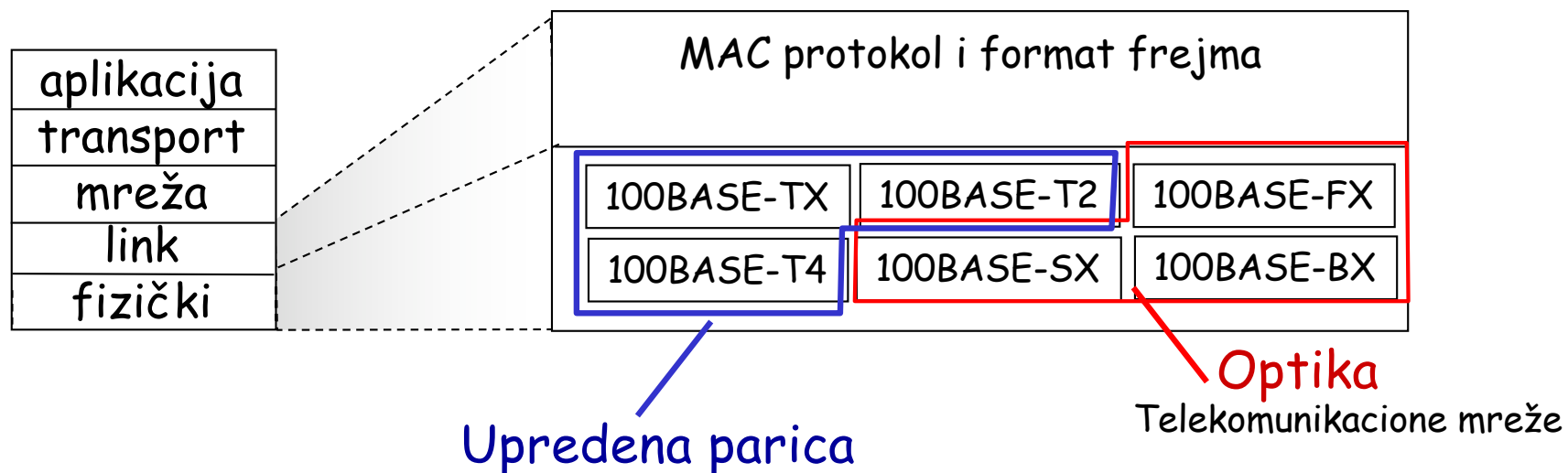
tip
|



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

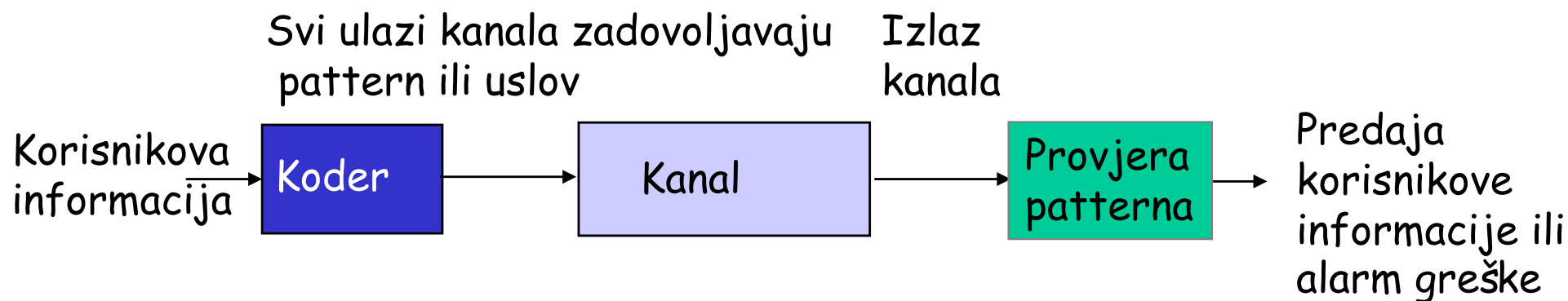
Detekcija greške

- 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

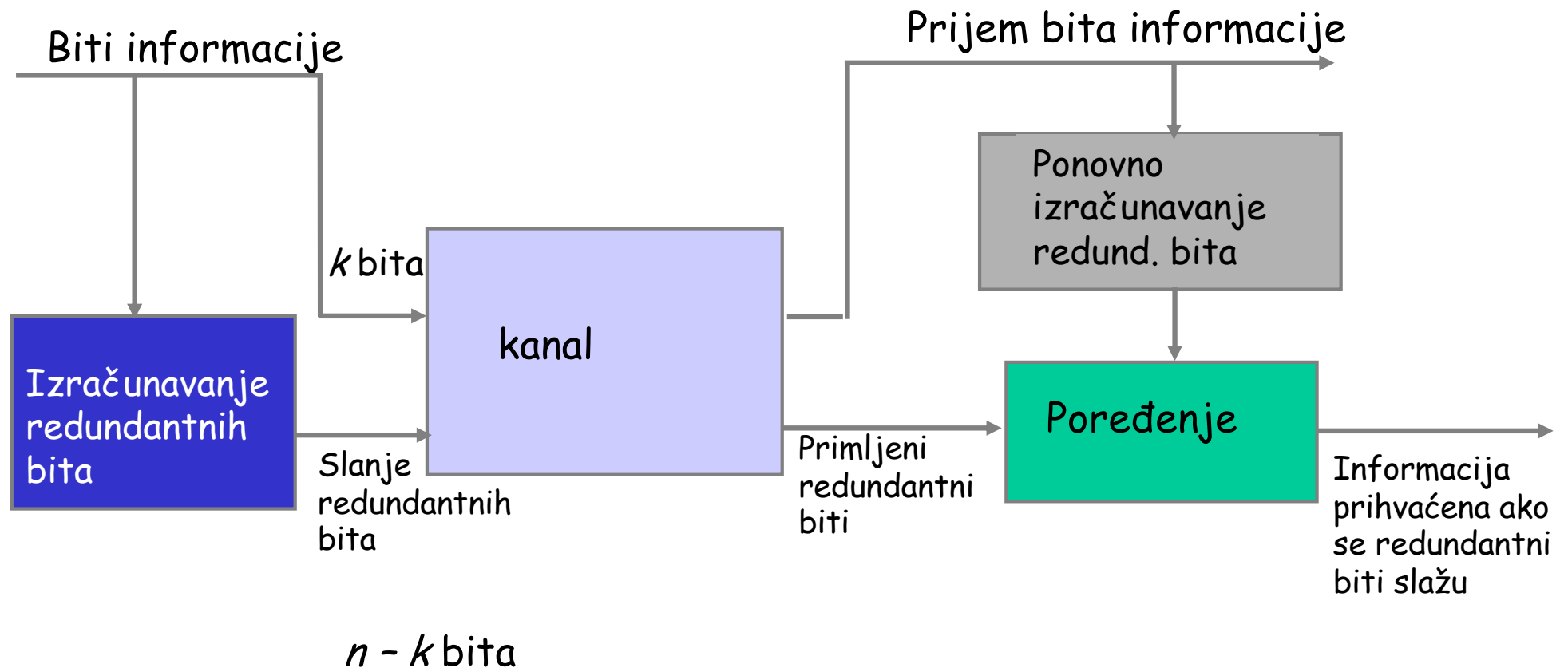
Detekcija greške

- ❑ 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:

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

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

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

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

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

$x = r(x)$ 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^2 + x \\ \hline x^3 + x + 1 \) \ x^6 + x^5 \\ \quad x^6 + \quad \quad x^4 + x^3 \\ \hline \quad \quad x^5 + x^4 + x^3 \\ \quad \quad x^5 + \quad \quad x^3 + x^2 \\ \hline \quad \quad \quad x^4 + \quad \quad x^2 \\ \quad \quad \quad x^4 + \quad \quad x^2 + x \\ \hline \quad \quad \quad \quad \quad x \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1110 \\ \hline 1011 \) \ 1100000 \\ \quad 1011 \\ \hline \quad \quad 1110 \\ \quad \quad 1011 \\ \hline \quad \quad \quad 1010 \\ \quad \quad \quad 1011 \\ \hline \quad \quad \quad \quad 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

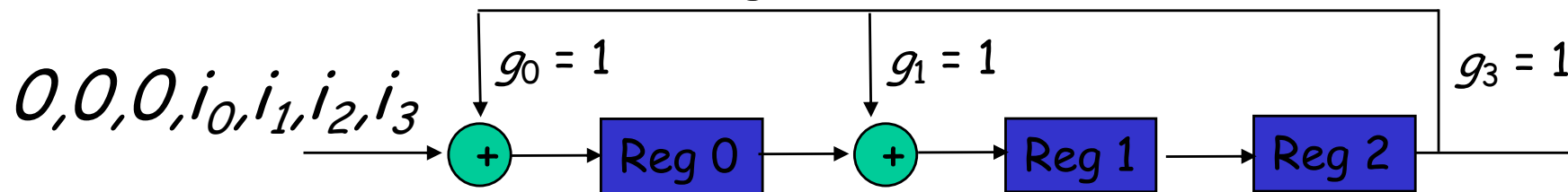
Implementacija pomjeračkog registra

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



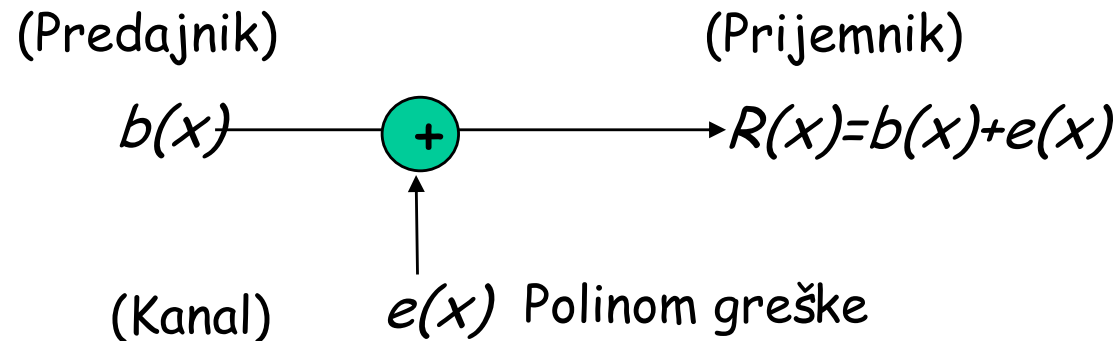
Clock	Ulaz	Reg 0	Reg 1	Reg 2
0	-	0	0	0
1	$1 = i_3$	1	0	0
2	$1 = i_2$	1	1	0
3	$0 = i_1$	0	1	1
4	$0 = i_0$	1	1	1
5	0	1	0	1
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
Biti provjere:		$r_0 = 0$	$r_1 = 1$	$r_2 = 0$

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

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:

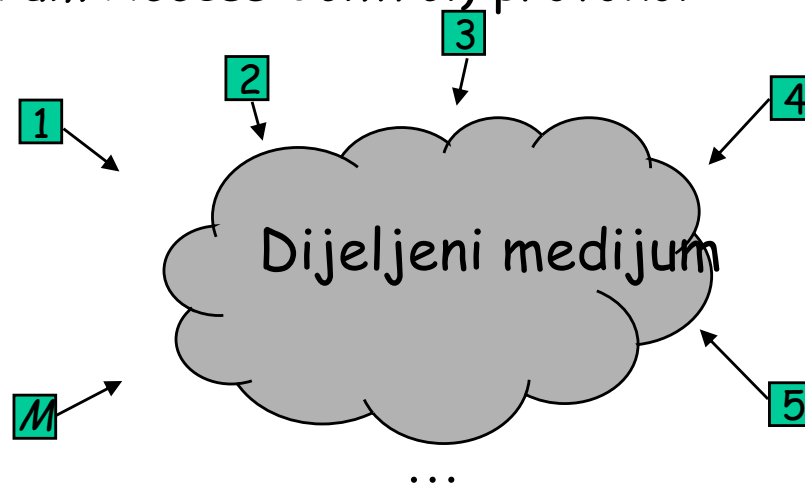
IEEE 802, DoD, V.42

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

Ethernet

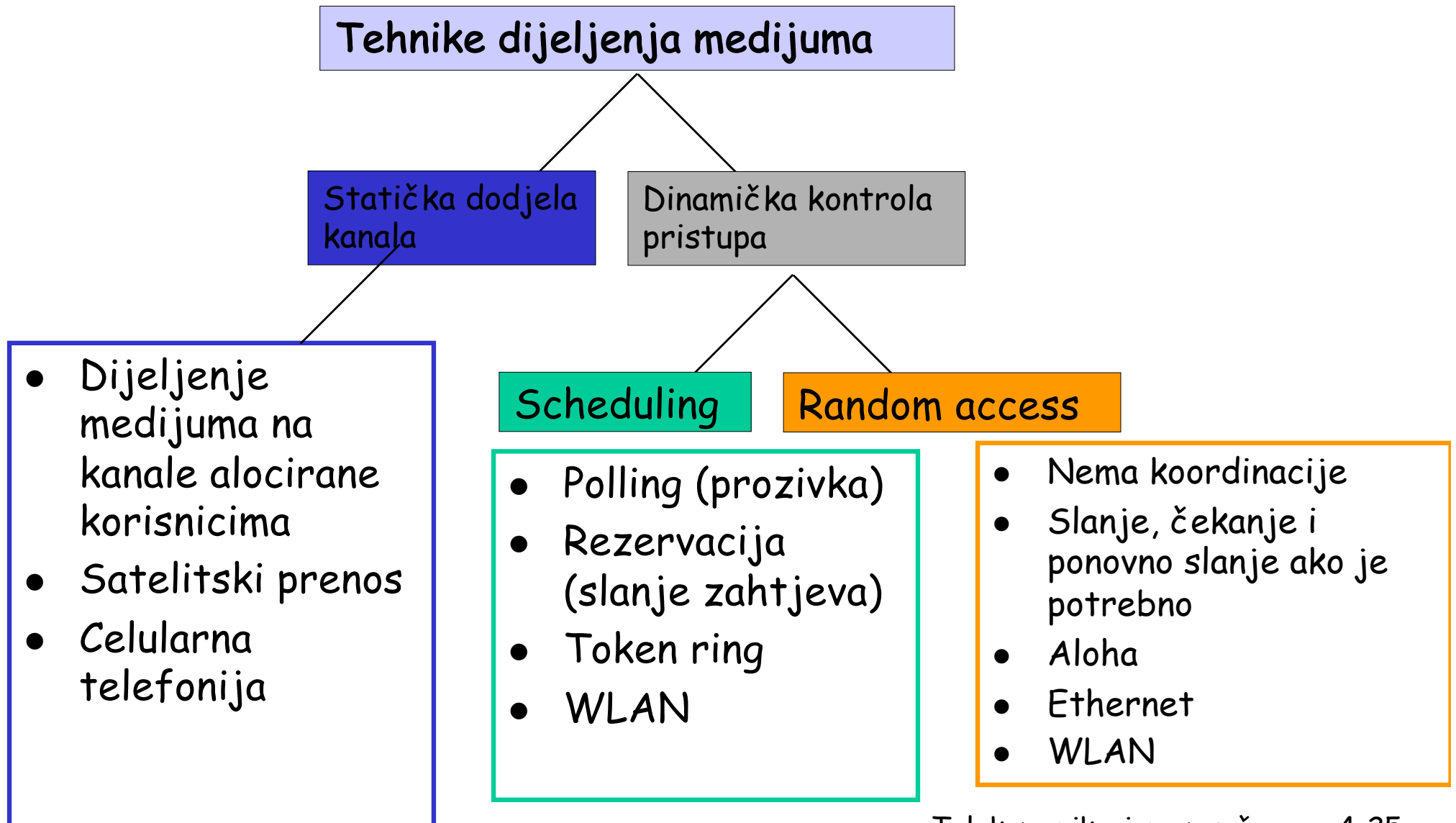
MAC kontrola

- 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



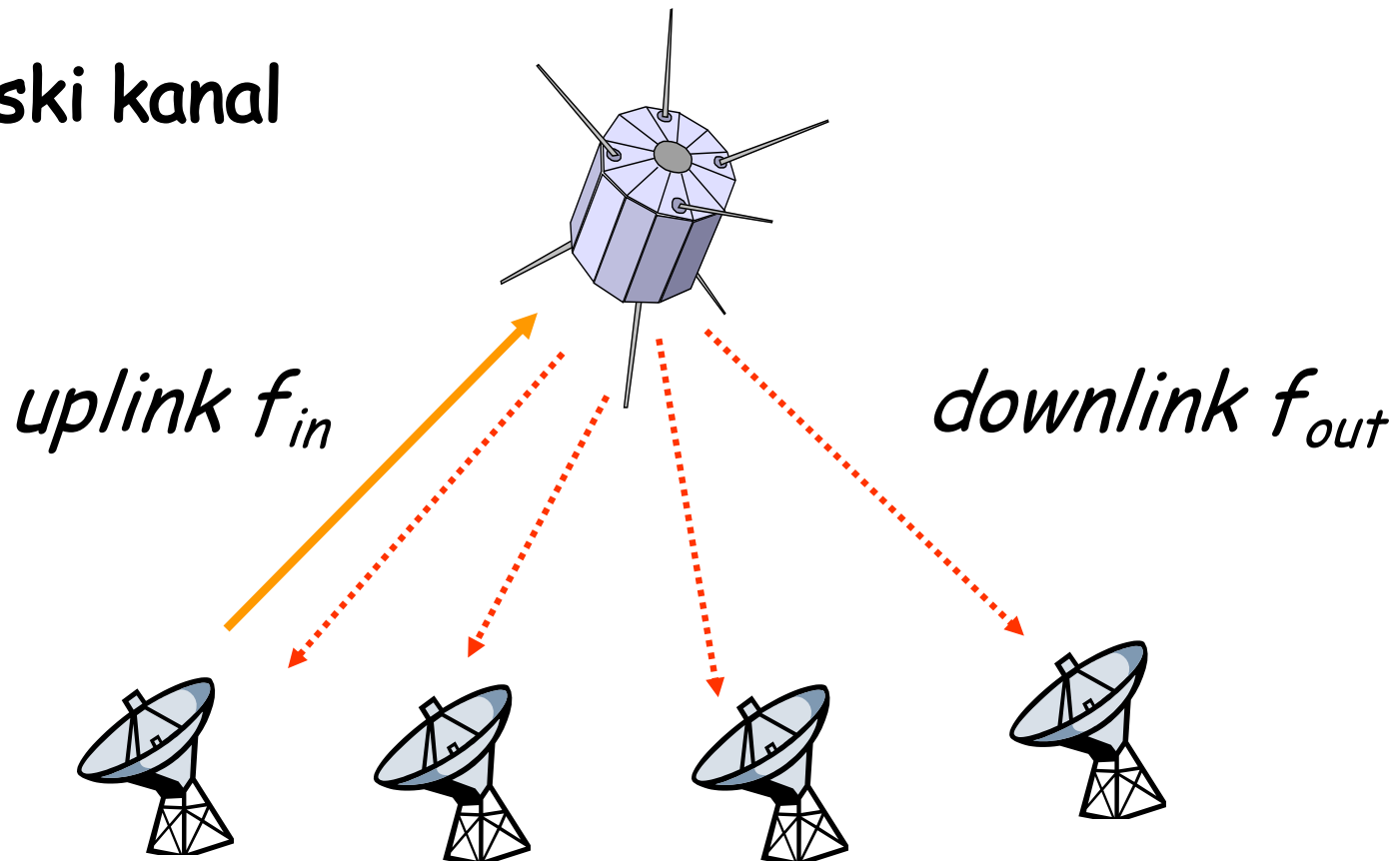
Ethernet

MAC kontrola



Ethernet MAC kontrola

Satelitski kanal



Ethernet MAC kontrola

Celularne mreže

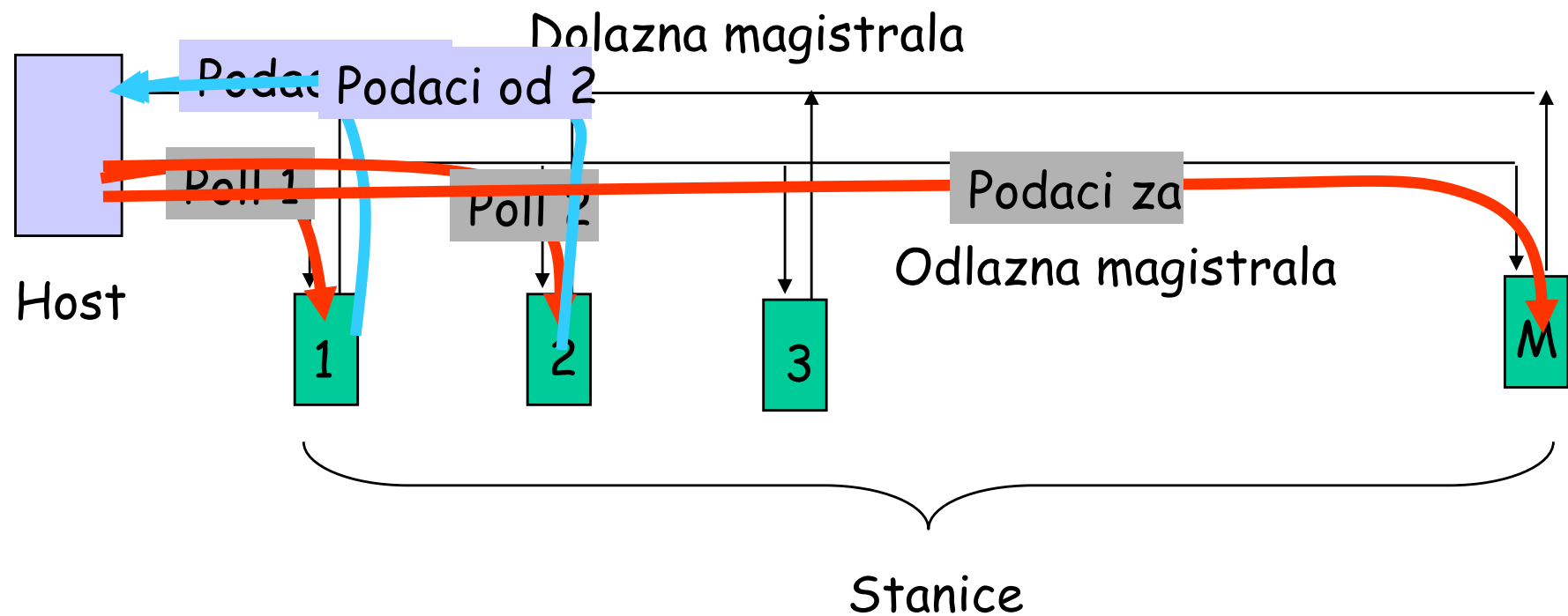


uplink f_1 ; downlink f_2

uplink f_3 ; downlink f_4

Ethernet MAC kontrola

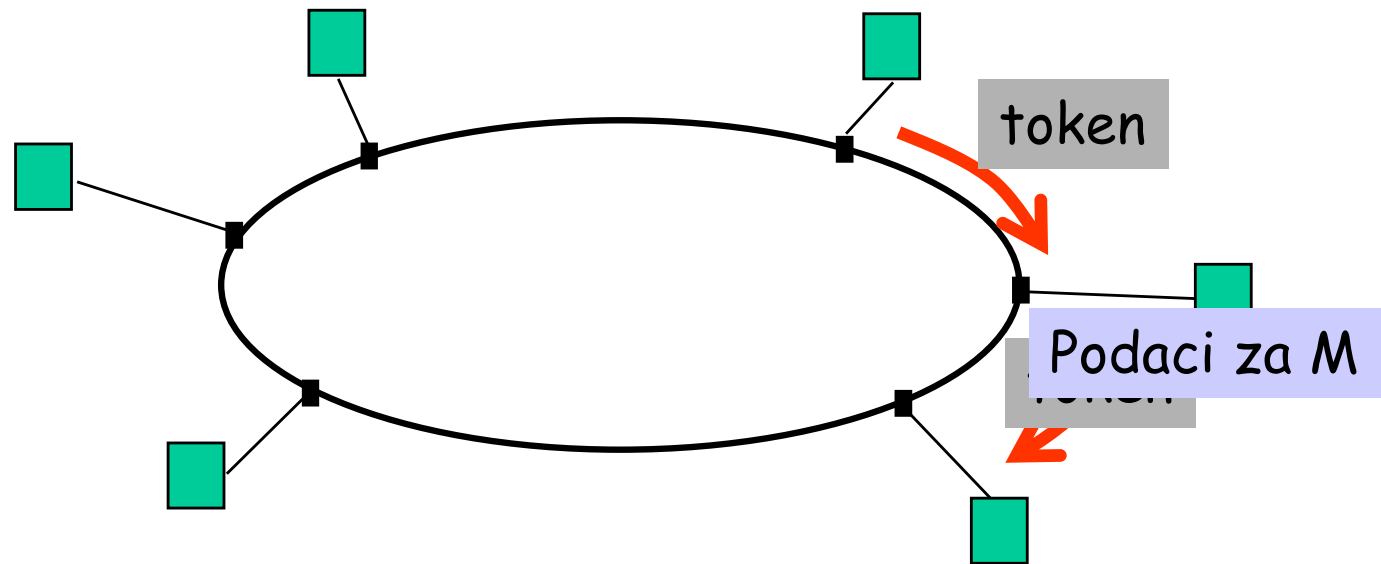
Scheduling: Polling



Ethernet MAC kontrola

Scheduling: Token Passing

Prsten mreža

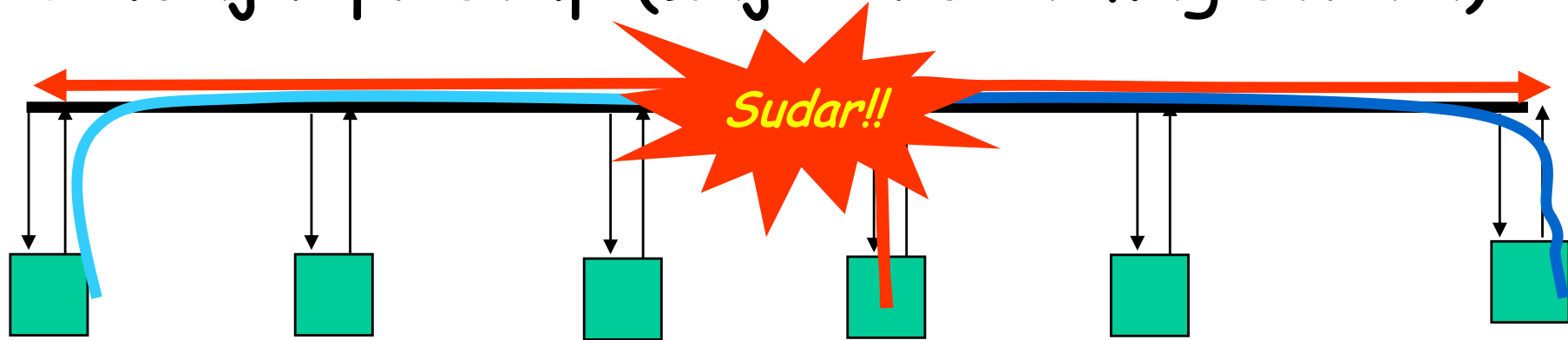


Stanica koja posjeduje token šalje podatke

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

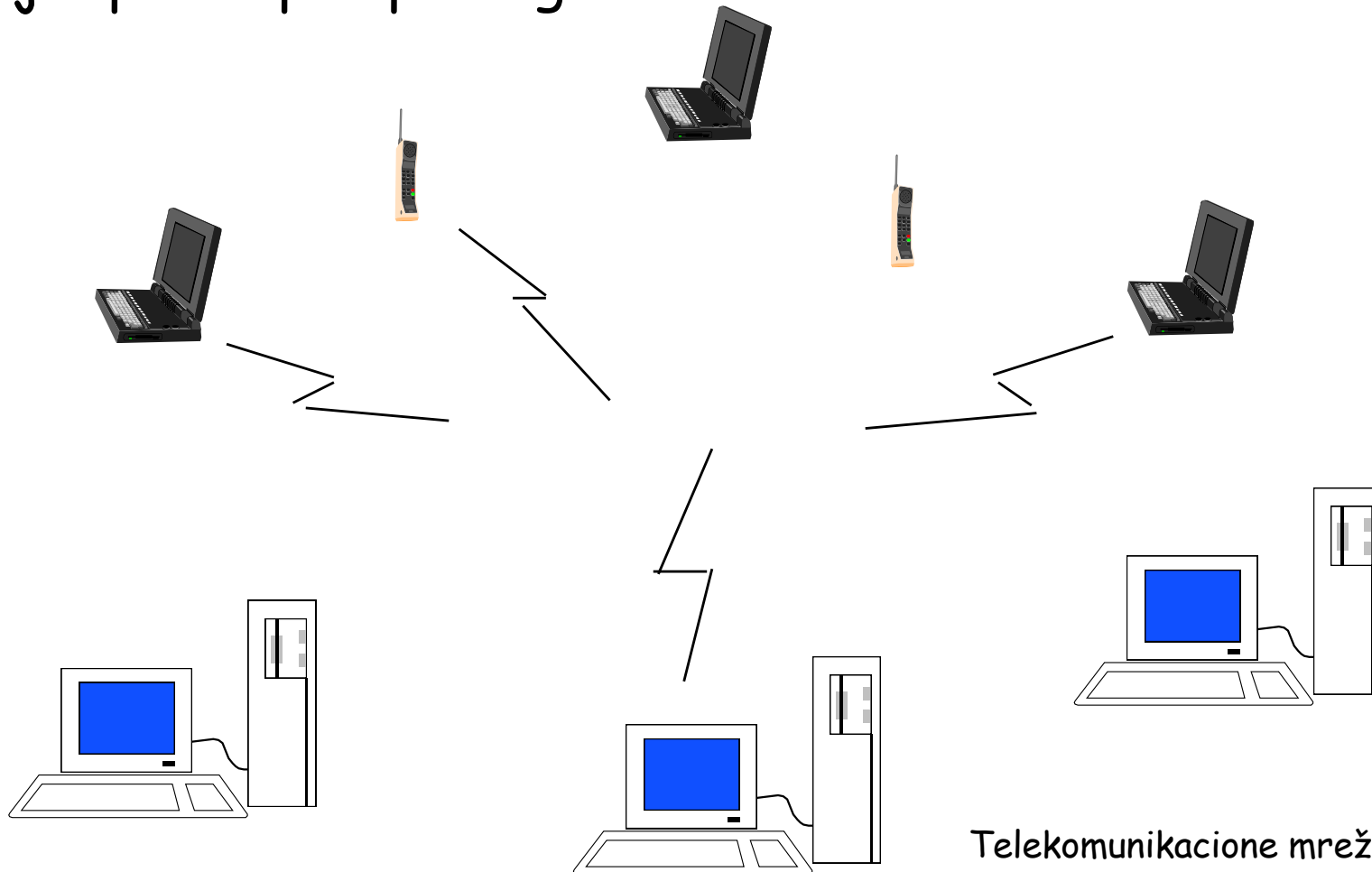
Ethernet

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

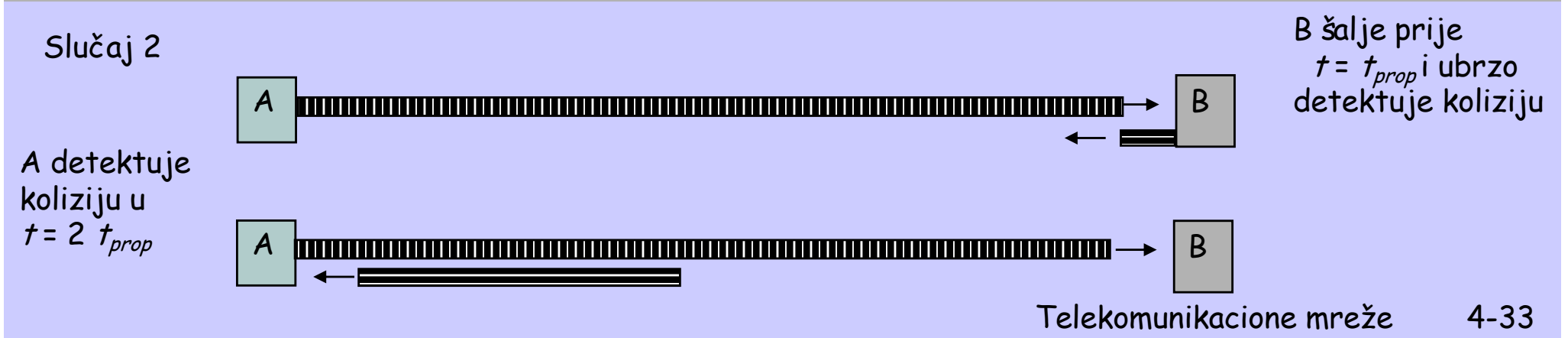
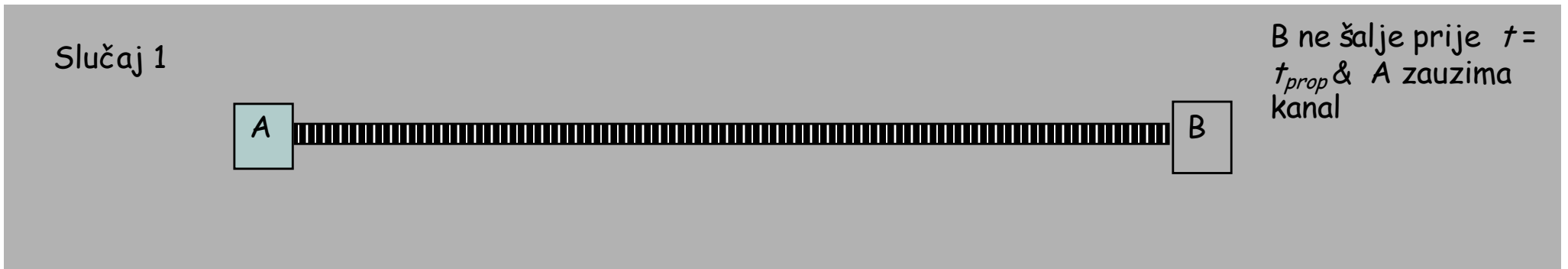
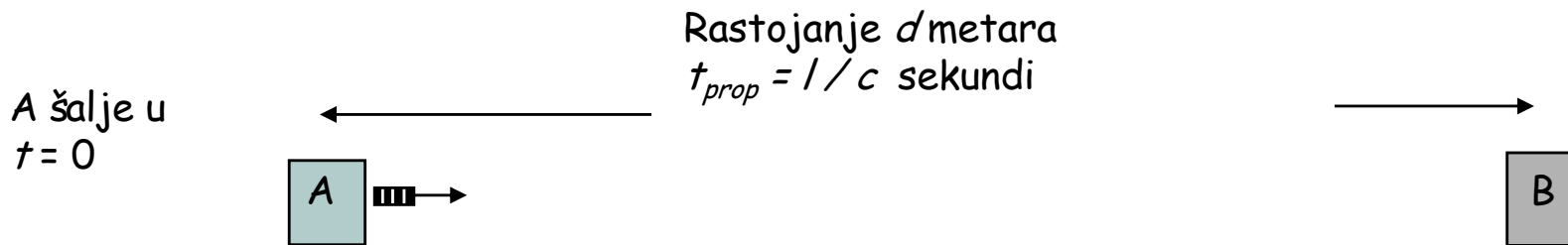
□ Jednostavan primjer dvije stanice

- 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



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

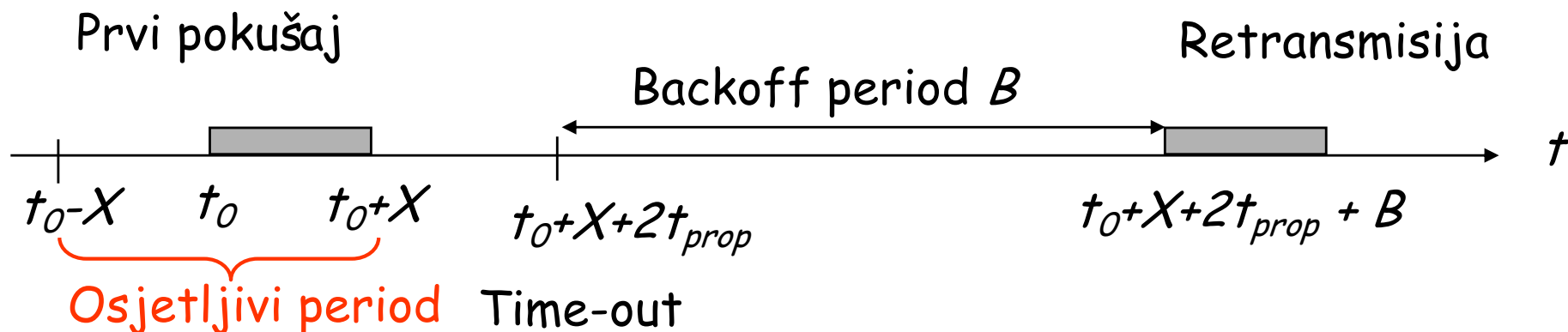
← Kašnjenje uslijed prenosa frejma

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

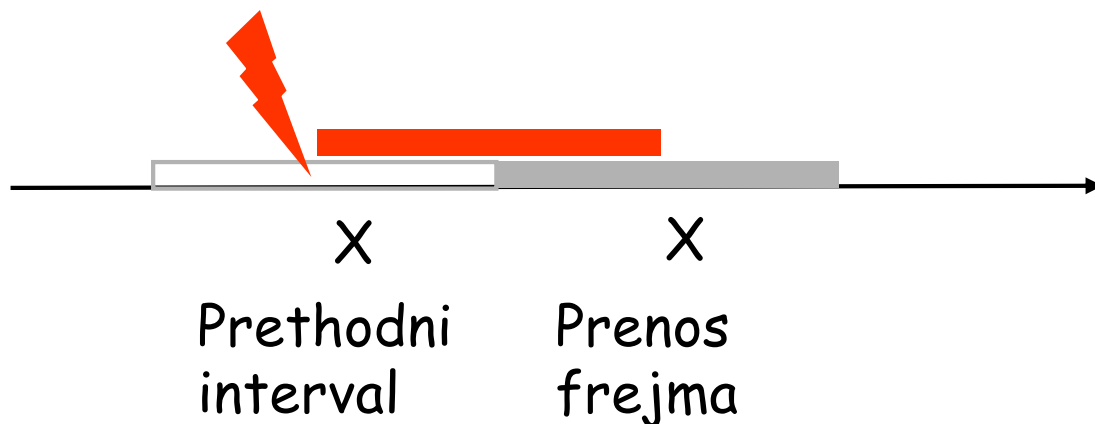
MAC kontrola

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*

$$G = n p$$

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

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

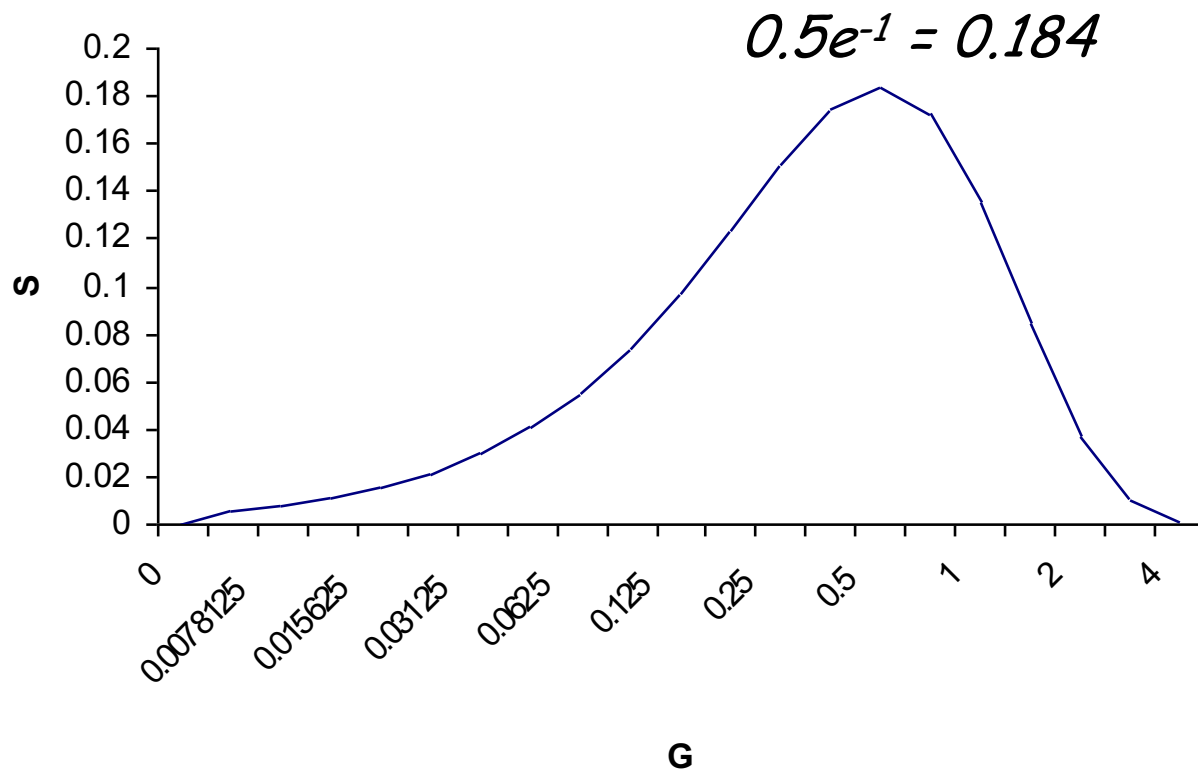
$$= (1-p)^{2n} = \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{2n} \rightarrow e^{-2G} \text{ kada } n \rightarrow \infty$$

Ethernet

MAC kontrola

Aloha

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



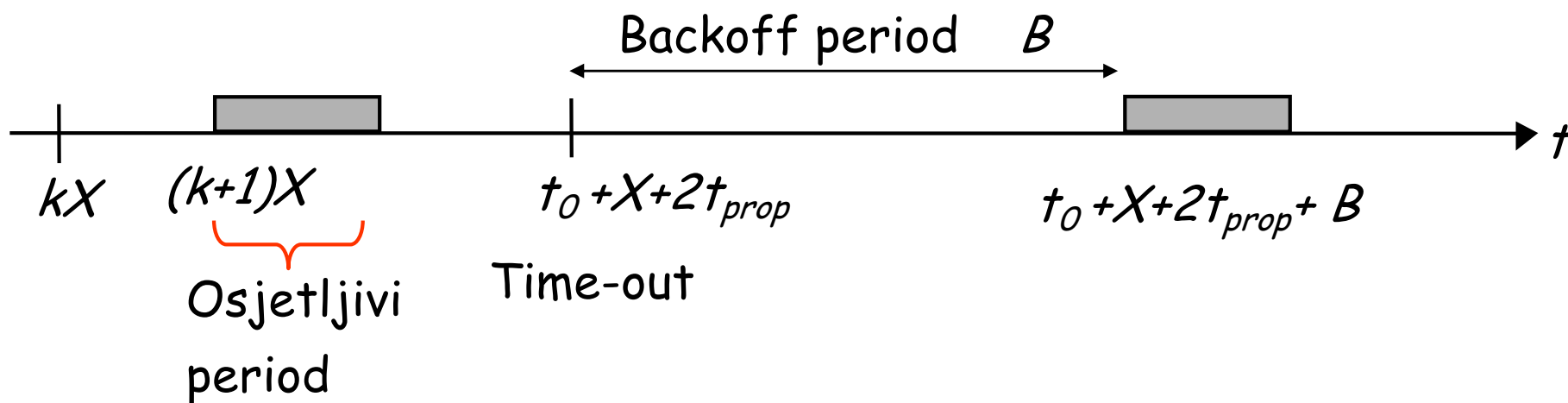
- Kolizije su sredstvo koordinacije
- Maksimalna propusnost je $\rho_{\max} = 1/2e$ (18.4%)
- Dvostruko ponašanje:
Malo G , $S \approx G$
Veliko G , $S \downarrow 0$
- Moguća je lavina kolizija koje obaraju propusnost na nulu

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



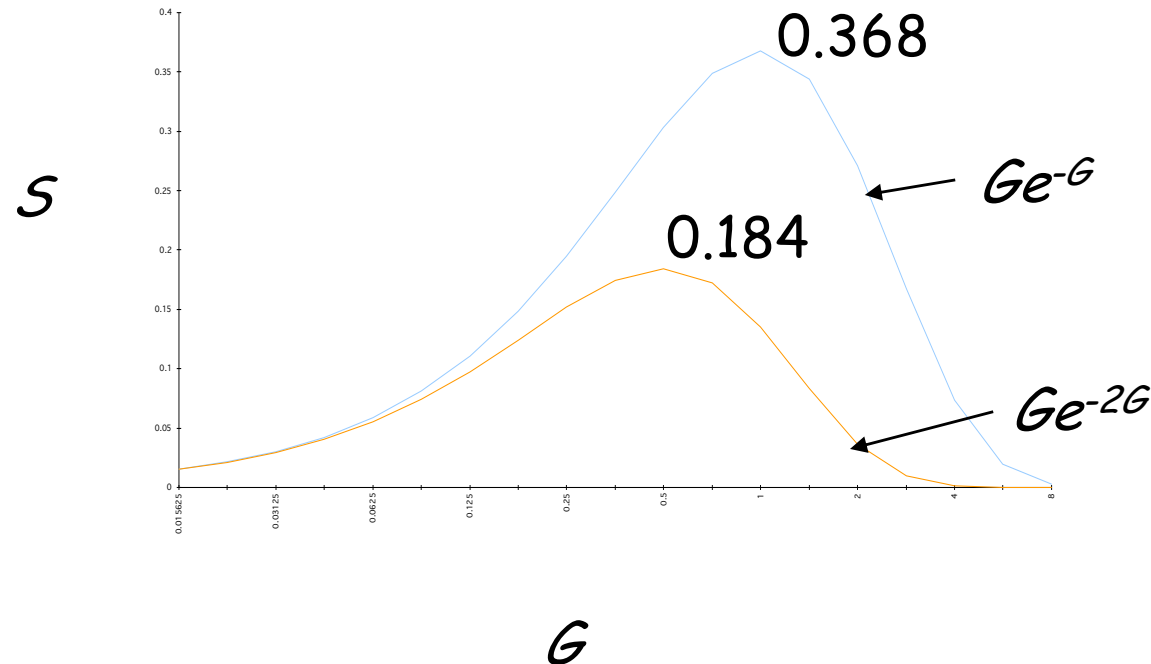
Samo frejmovi koji krenu tokom intervala X izazivaju koliziju.

Ethernet

MAC kontrola

Slotted Aloha

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



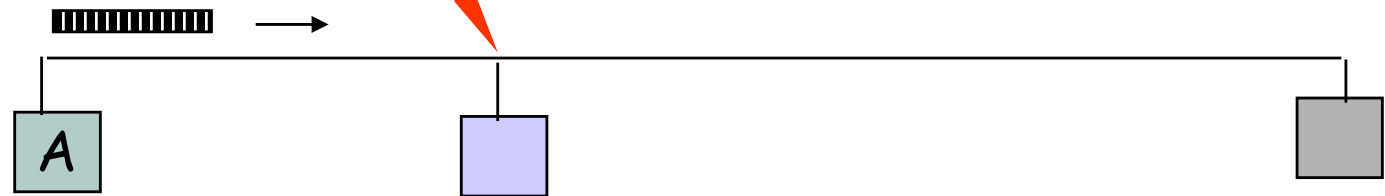
Ethernet

MAC kontrola

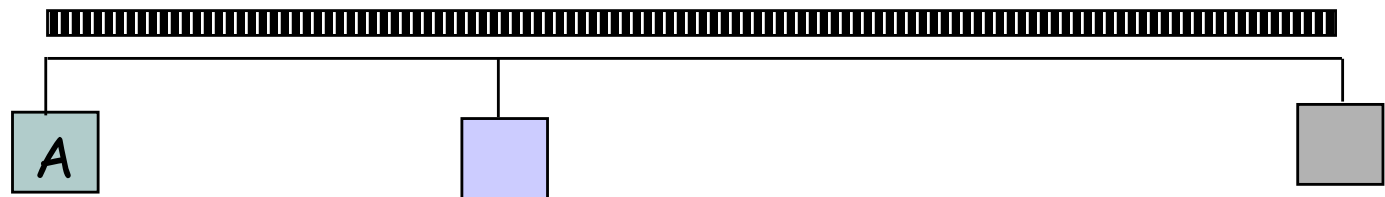
Carrier Sensing Multiple Access (CSMA)

- 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
 $t = t_{prop}$

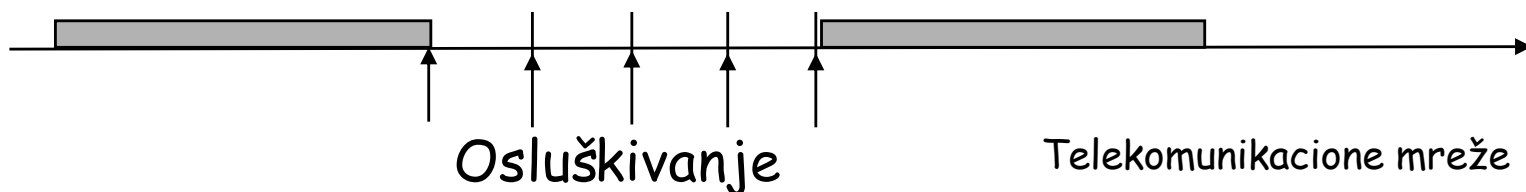


Ethernet

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

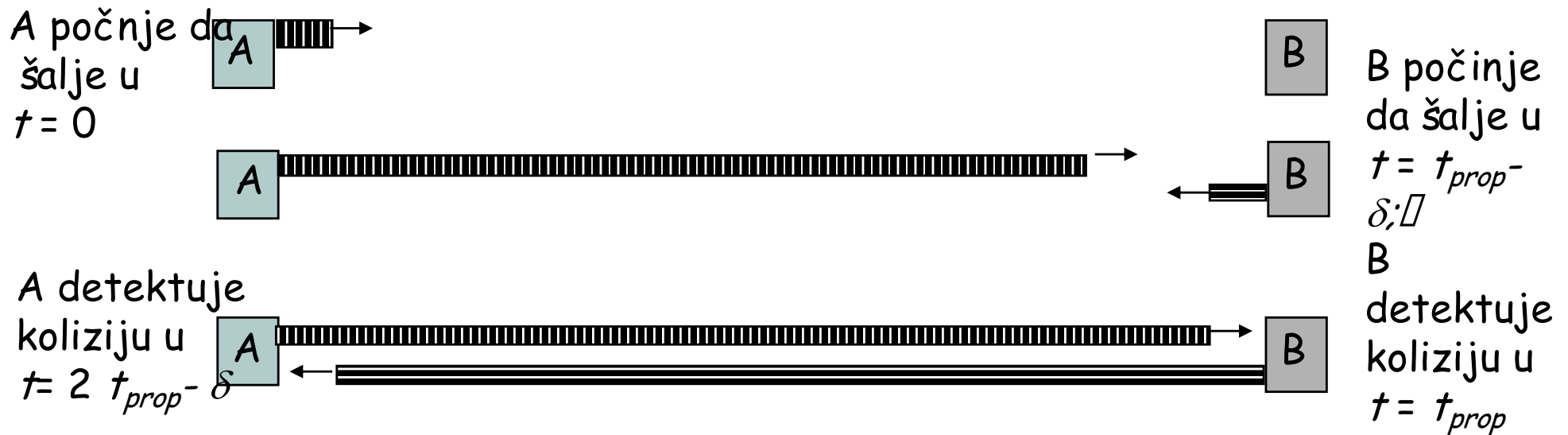
CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- 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

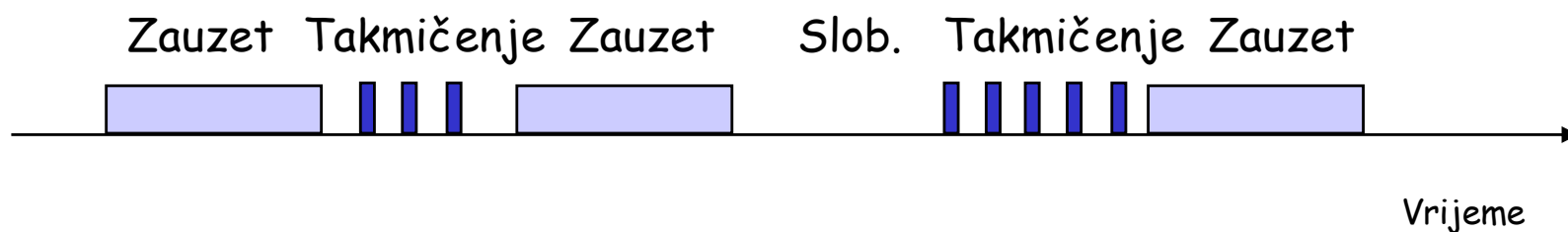
Ethernet

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 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 $p=1/n$

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

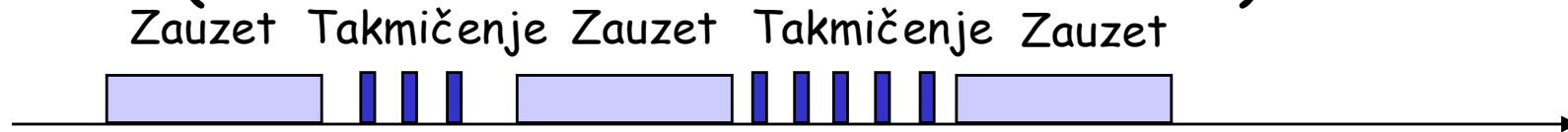
- Prosječno, $1/P^{max} = e = 2.718$ vremenskih slotova je potrebno do okončanja takmičenja

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

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

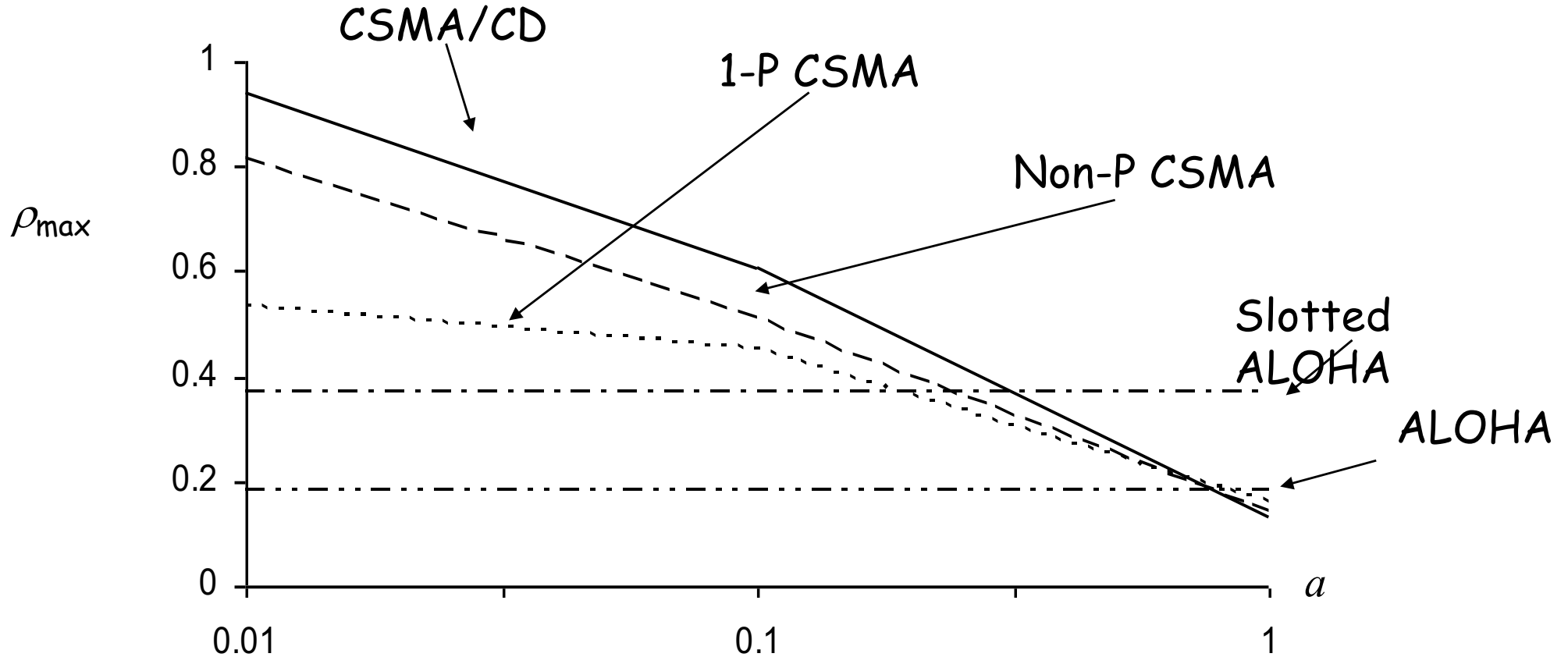
CSMA-CD (CSMA with Collision Detection)

- 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 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 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

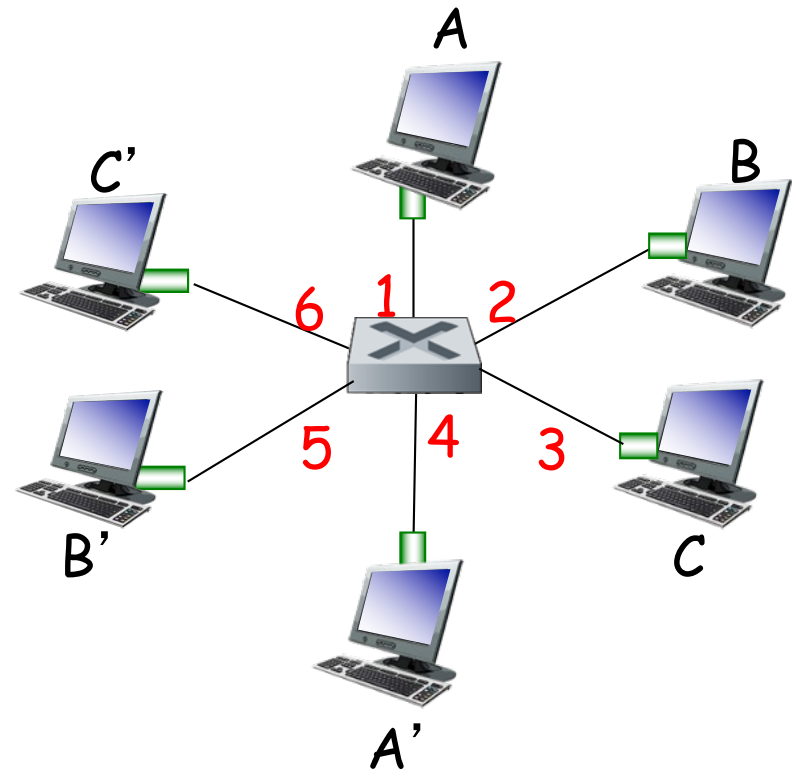
Ethernet

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-eva
- 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

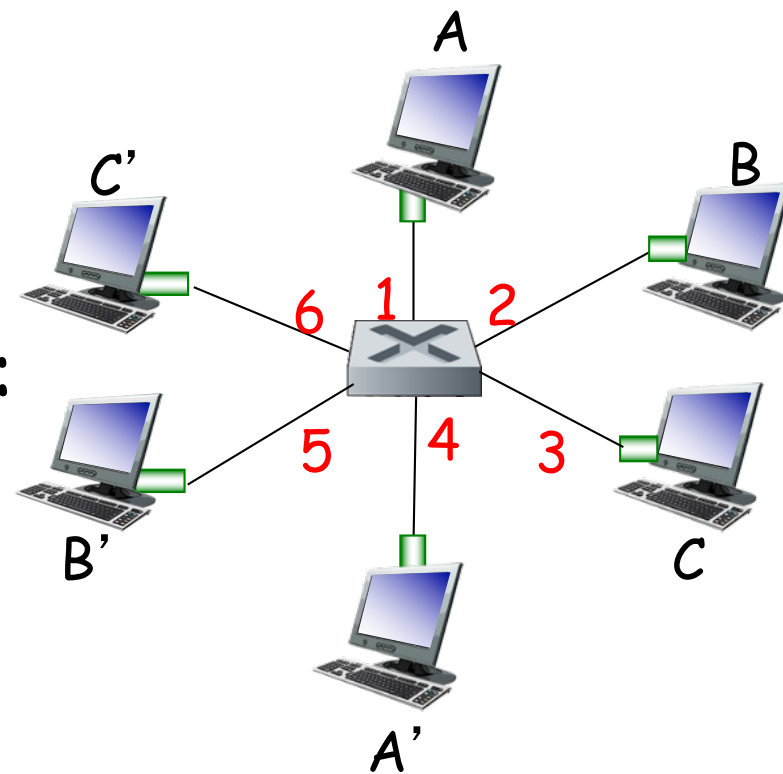


*Komutator sa 6 interfejsa
(1,2,3,4,5,6)*

Ethernet Switch

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

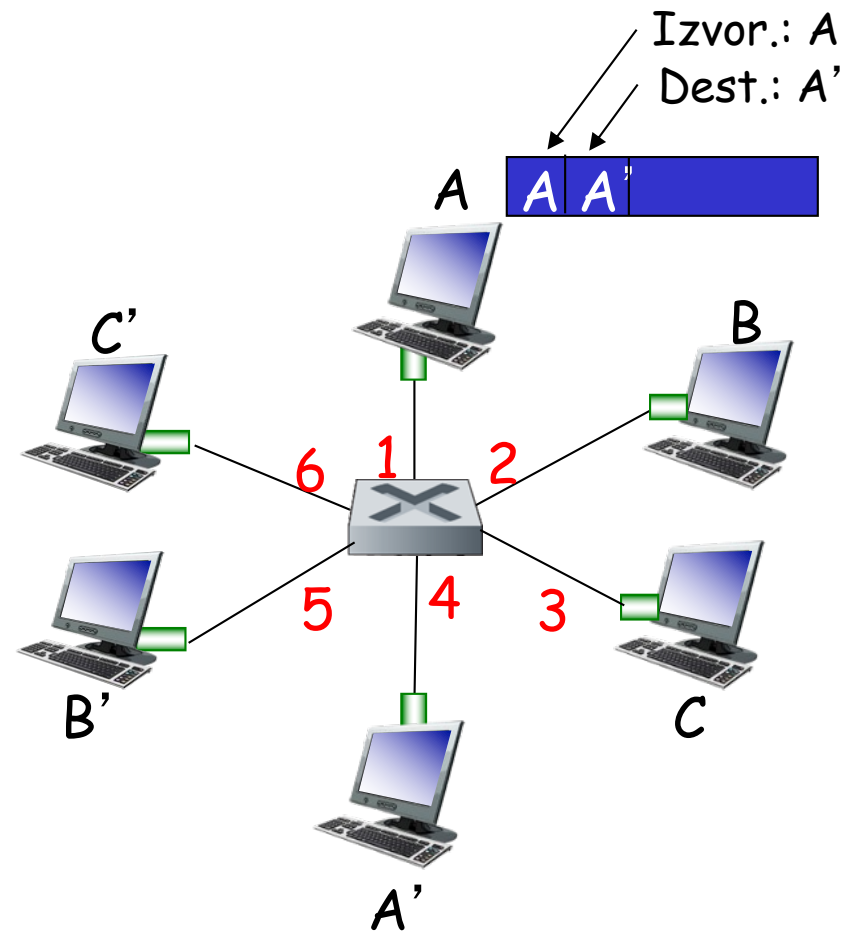
- ❖ Svaki switch ima tabelu prosleđivanja, koja sadrži:
 - (MAC adresu hosta, identifikator interfejsa preko kojeg se može doseći, time stamp)
 - Liči na tabelu rutiranja!



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

Ethernet Switch

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



MAC adr.	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

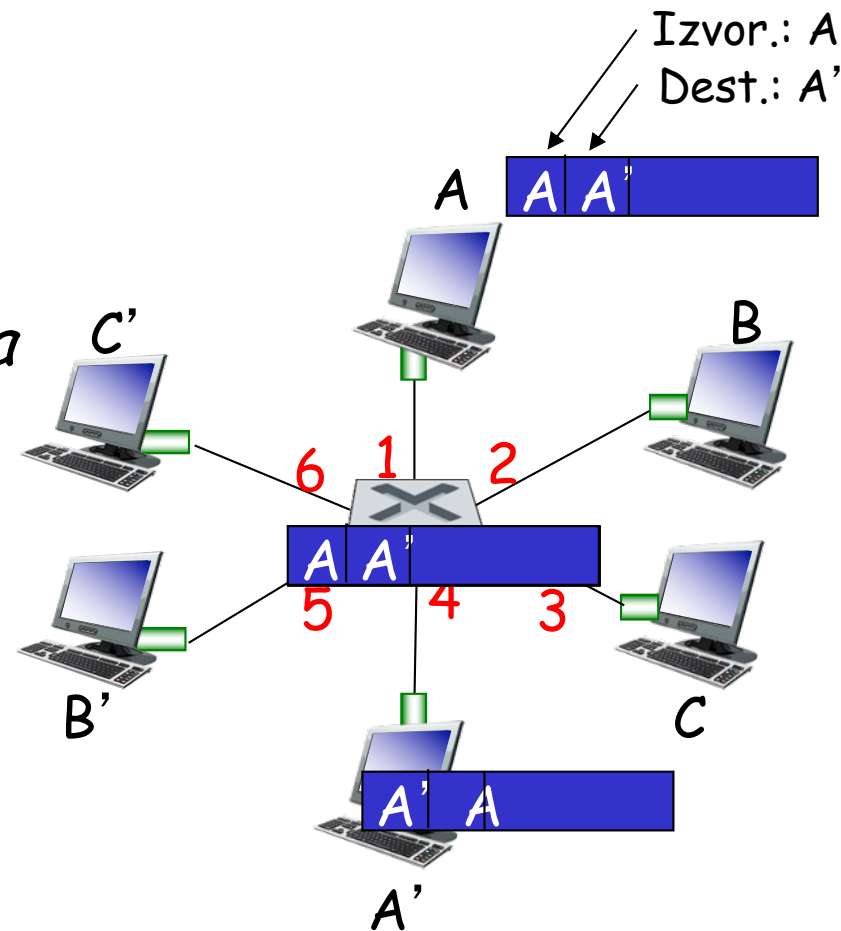
else proslijedi frejm na odgovarajući interfejs

}

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

Ethernet Switch

- Destinacija frejma, A', nepoznata: *Salji svima*
- Destinacija frejma A je poznata
Selektivno šalji na jedan link

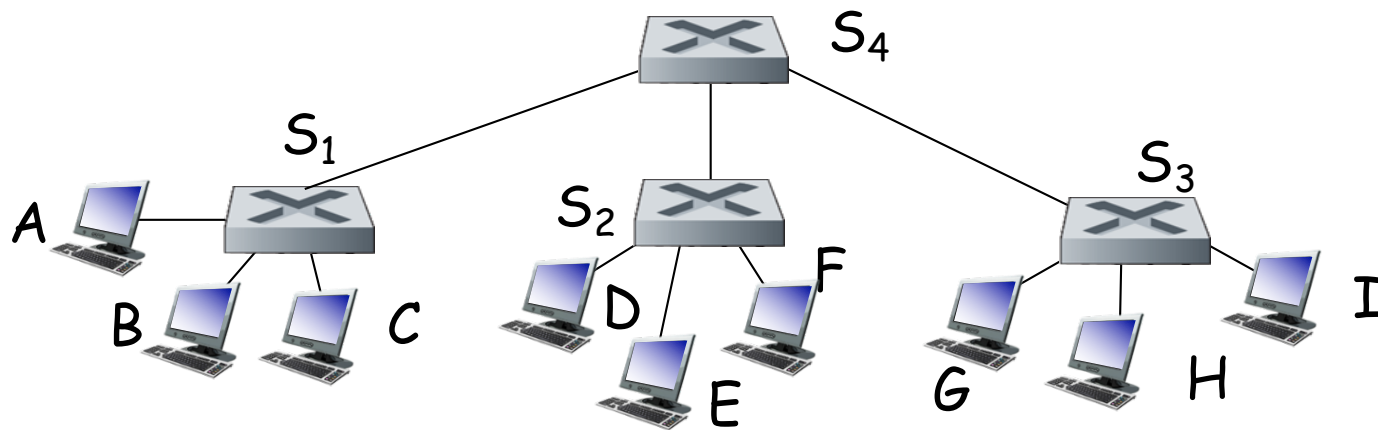


MAC adr.	interfejs	TTL
A	1	60
A'	4	60

*Tabela
prosleđivanja*

Ethernet Switch

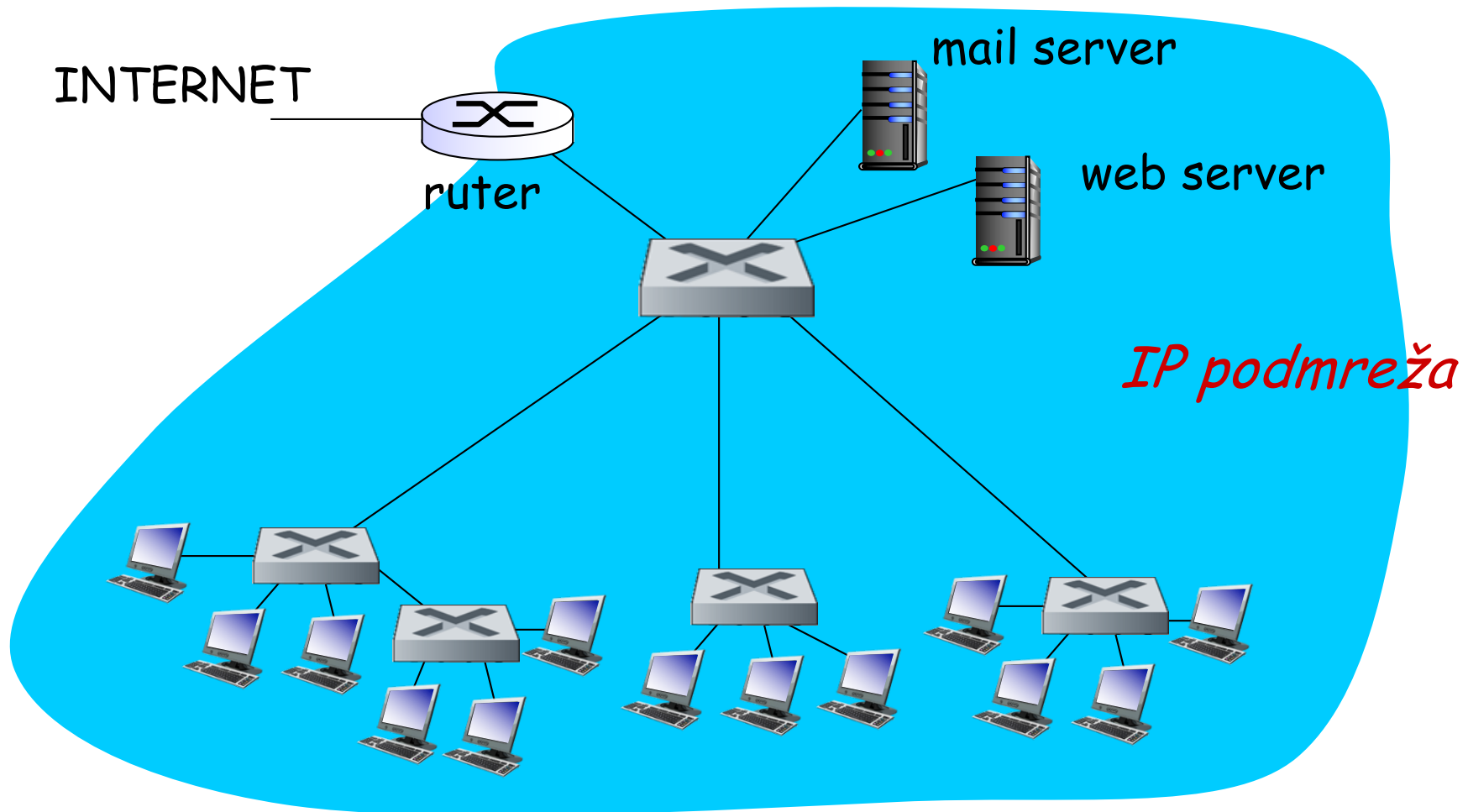
Switchevi se mogu povezivati



Ako se frejm šalje od A do G - kako S₁ zna da proslijedi frejm adresiran za G preko S₄ i S₃?

- *Self learning!* (na isti način kao za jedan switch!)

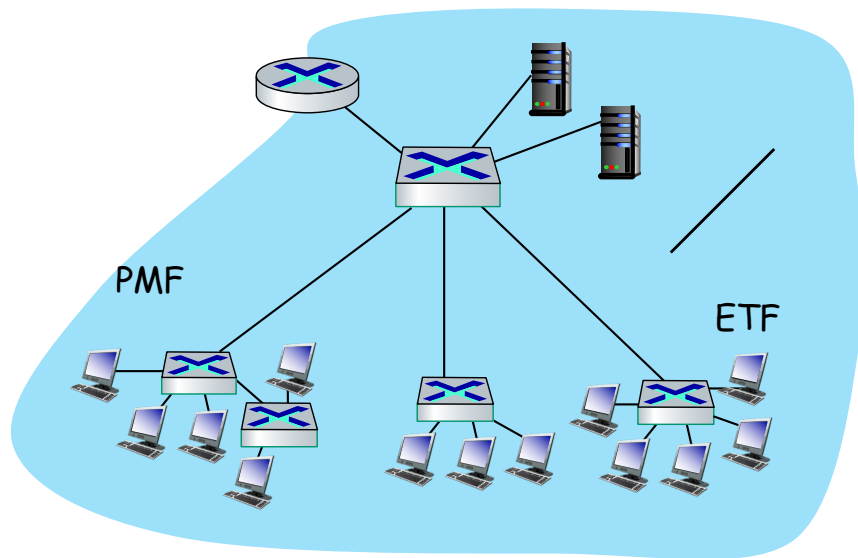
Ethernet Switch



Ethernet

Virtuelni LAN (VLAN)

Šta se dešava kada LAN mreža poraste?



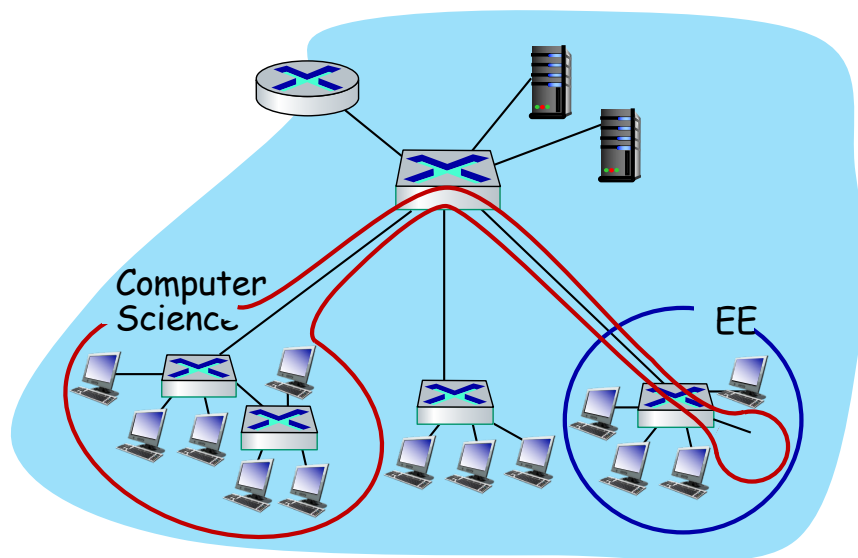
Jedan broadcast domen:

- Čitav broadcast saobraćaj nivoa linka (ARP, DHCP, nepoznate MAC adrese,...) se penosi preko čitavog LAN-a
- Problemi efikasnosti, sigurnosti, privatnosti,...

Ethernet

Virtuelni LAN (VLAN)

Šta se dešava kada LAN mreža poraste?



Jedan broadcast domen:

- Čitav broadcast saobraćaj nivoa linka (ARP, DHCP, nepoznate MAC adrese,...) se penosi preko čitavog LAN-a
- Problemi efikasnosti, sigurnosti, privatnosti,...

Administrativni izazovi:

- Korisnik sa PMF-a se preseli na ETF i fizički se povezuje na ETF-ov switch ali želi da ostane logički povezan na PMF-ovu mrežu

Ethernet

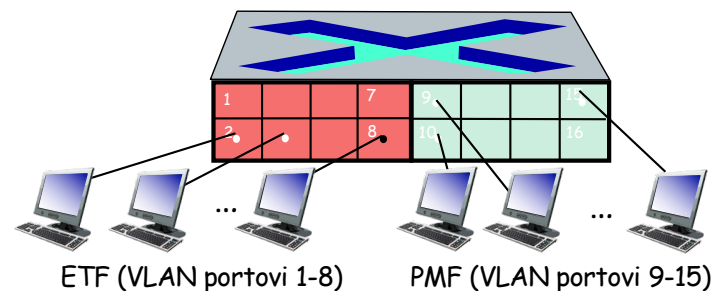
Virtuelni LAN (VLAN)

Virtual Local Area Network (VLAN)

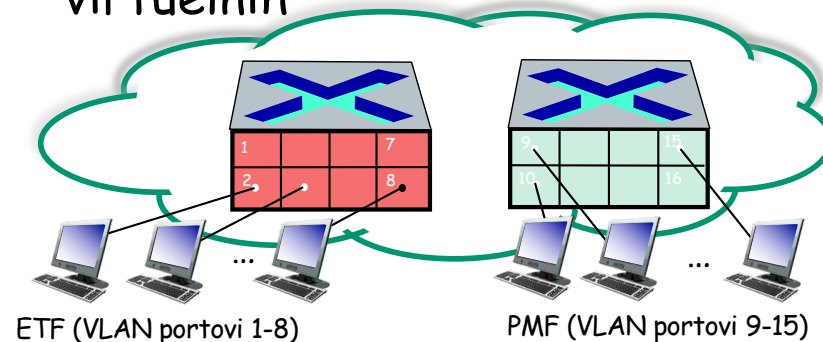
Switch koji podržava VLAN se može konfigurirati tako da definiše više VLAN-ova na istoj fizičkoj infrastrukturi.

VLAN se može kreirati i dodjelom MAC adresa!

Kod VLAN-a kreiranog dodjelom portova portovi switch-a su, prilikom njegove konfiguracije, grupisani kao da su portovi jednog fizičkog switch-a



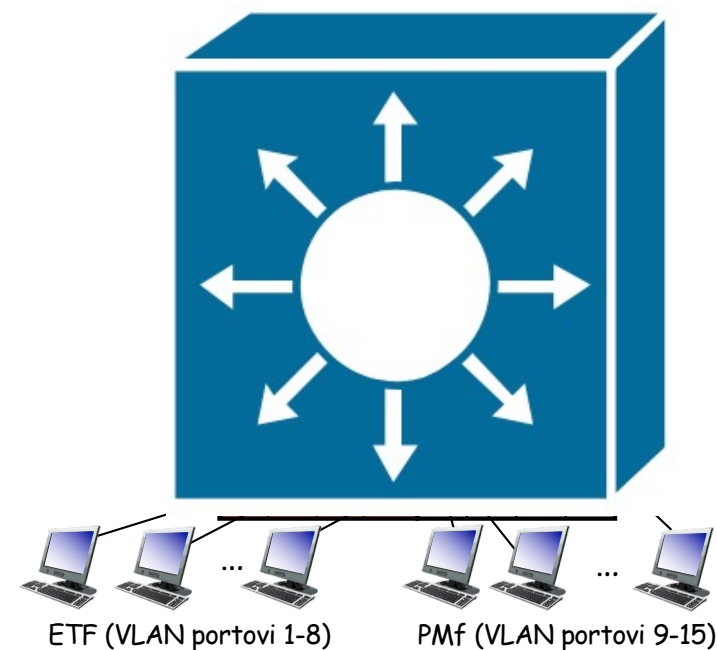
Jedan switch funkcioniše kao više virtuelnih



Ethernet

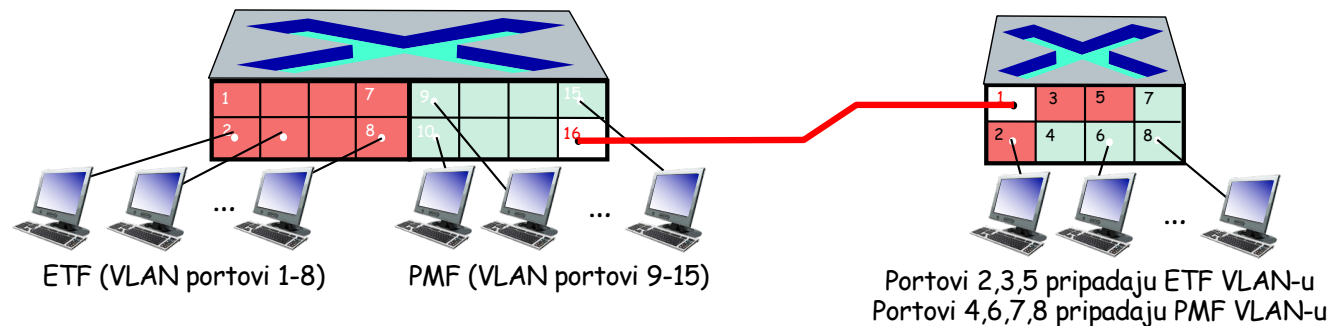
Virtuelni LAN (VLAN)

- ❑ **Izolacija saobraćaja:** frejmovi od/do portova 1-8 samo mogu doseći portove 1-8
- ❑ **Dinamička pripadnost:** portovi se dinamički mogu dodjeljivati različitim VLAN-ovima
- ❑ **Prosleđivanje između VLAN-ova:** obavlja se rutiranjem
 - ❑ U praksi se realizuje kombinovani uređaj "switch-ruter" koji je poznat kao L3 switch



Ethernet

Virtuelni LAN (VLAN)



trunk port: prenosi frejmove VLAN-ova koji su definisani na različitim switch-evima

- Frejmovi koji se prosleđuju unutar ovakvih VLAN-ova ne mogu biti obični 802.1 frejmovi
- IEEE 802.1q protocol uvodi VLAN tag polje u strukturu Ethernet frejma
- VLAN tag se dodaje/uklanja prilikom ulaska/izlaska na trunk port

Ethernet

Virtuelni LAN (VLAN)

Format 802.1Q VLAN frejma

