

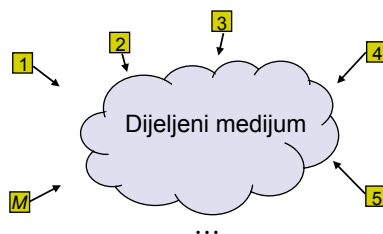
Kontrola pristupa medijumu

Višestruki pristup medijumu
Slučajan pristup

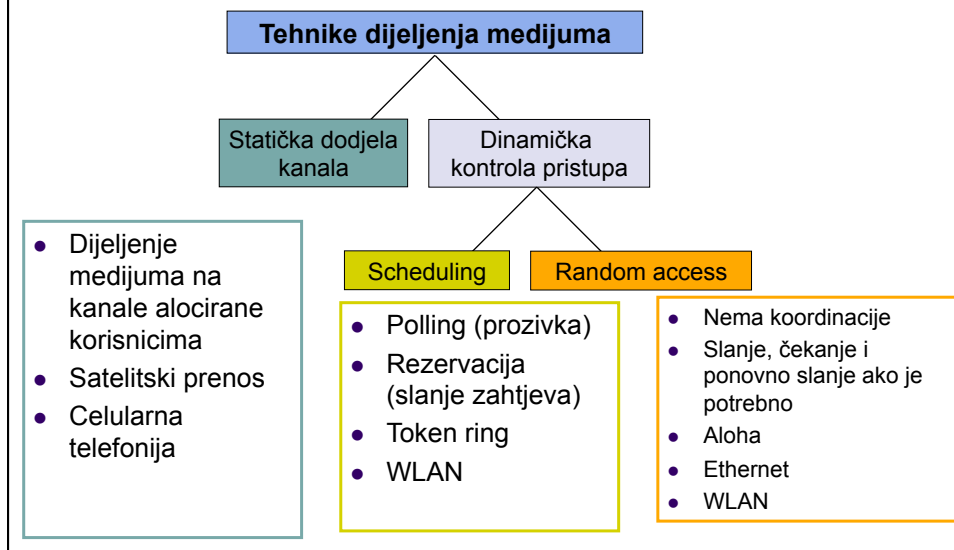


Višestruki pristup medijumu

- Dijeljeni medijum je karakteristika difuznih mreža
 - Niska cijena
 - Radio, koaksijalac, bakarna parica
 - M korisnika difuzno šalju podatke na medijum
- Ključno pitanje: Kako dijeliti medijum?



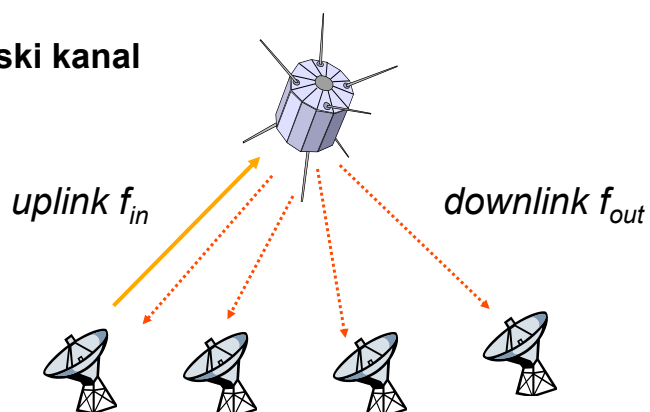
Pristupi za dijeljenje medijuma



Kreiranje kanala: Satelit



Satelitski kanal



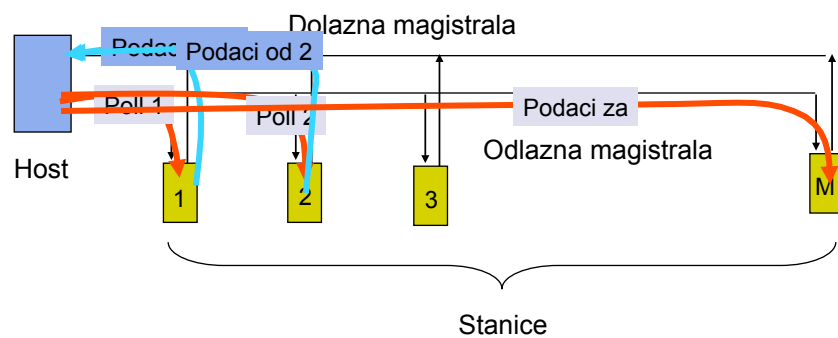
Kreiranje kanala: Celularne mreže



uplink f_1 ; downlink f_2

uplink f_3 ; downlink f_4

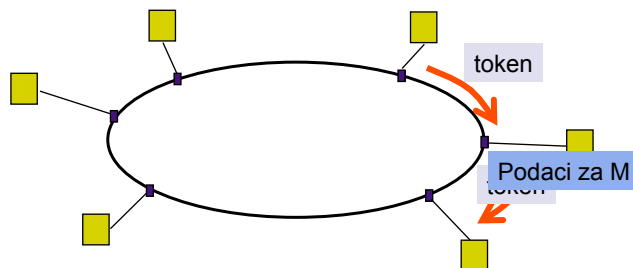
Scheduling: Polling



Scheduling: Token-Passing



Prsten mreža

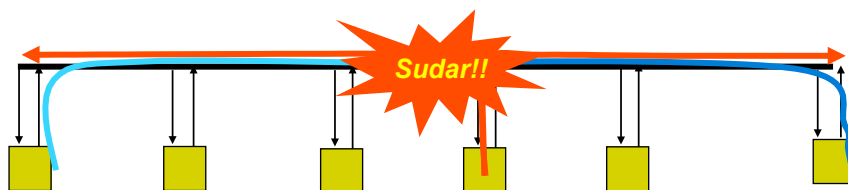


Stanica koja posjeduje token šalje podatke

Slučajni pristup



Zajednička magistrala



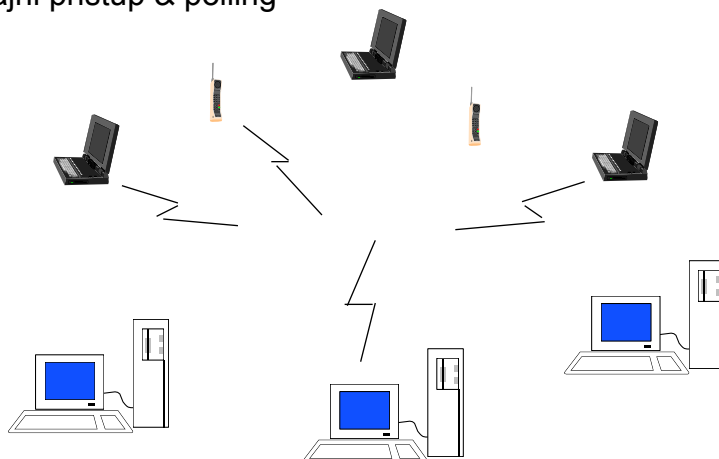
Stanica šalje kada ima podatke za slanje i
kada je medijum slobodan
Istovremeni prenos podatka se može desiti;
potreban je mehanizam retransmisije

Wireless LAN

AdHoc: od stanice do stanice

Infrastrukturna konfiguracija: prenos preko bazne stanice

Slučajni pristup & polling



Izbor kontrole pristupa medijumu (MAC - Medium Access Control)

- 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?
- Trenutna istraživanja:
 - Napraviti MAC koji bi nudio bežični pristup u ruralnim oblastima koji bi po performansama bio ekvivalentan DSL-u
 - Napraviti MAC koji bi nudio bežični pristup mobilnim korisnicima koji bi po performansama bio ekvivalentan WLAN-u

Proizvod kašnjenja i kapaciteta



- *Ključni parametar*

- Koordinacija dijeljenog medijuma podrazumijeva zauzimanje dijela kapaciteta (eksplicitno ili implicitno)
- Složenost koordinacije je proporcionalna proizvodu kašnjenja i kapaciteta

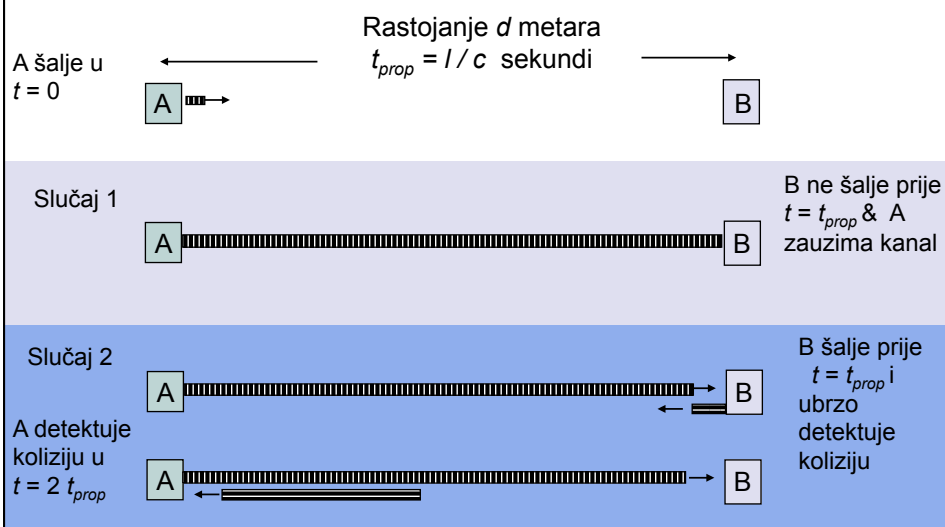
- Jednostavan primjer dvije stanice

- 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

Primjer MAC dvije stanice



Dvije stanice pokušavaju da dijele zajednički medijum



Efikasnost primjera sa 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

Tipične efikasnosti MAC



Primjer dvije stanice:

$$\text{Efikasnost} = \frac{1}{1 + 2a}$$

CSMA-CD (Ethernet) protokol:

$$\text{Efikasnost} = \frac{1}{1 + 6.44a}$$

Token-ring mreža

$$\text{Efikasnost} = \frac{1}{1 + a'}$$

a' = kašnjenje na prstenu (bit)/srednja veličina frejma

- Za $a \ll 1$, efikasnost je približna 100%
- Kada $a \gg 1$, efikasnost postaje niska

Tipične vrijednosti proizvoda kašnjenja i kapaciteta



Rastojanje	10 Mb/s	100 Mb/s	1 Gb/s	Tip mreže
1 m	3.33×10^{-2}	3.33×10^{-1}	3.33×10^0	Desk area network
100 m	3.33×10^1	3.33×10^2	3.33×10^3	Local area network
10 km	3.33×10^2	3.33×10^3	3.33×10^4	Metropolitan area network
1000 km	3.33×10^4	3.33×10^5	3.33×10^6	Wide area network
100000 km	3.33×10^6	3.33×10^7	3.33×10^8	Global area network

- Maksimalna veličina Ethernet frejma: 1500B = 12000b
- Dugački i/ili brzi linkovi daju veliko α

Karakteristike MAC protokola

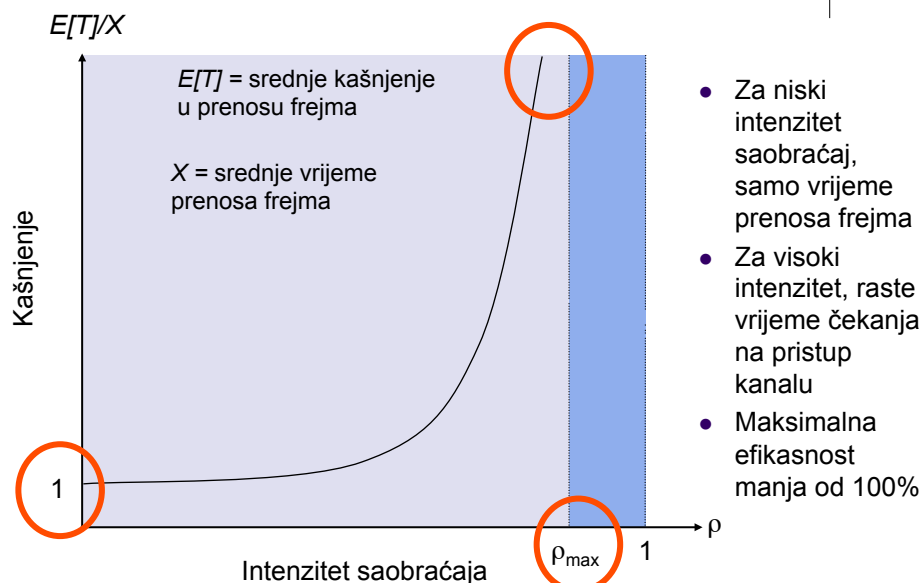


- Proizvod kašnjenja i kapaciteta
- Efikasnost
- Kašnjenje
- Fernost
- Pouzdanost
- Mogućnost prenosa različitih tipova saobraćaja
- Quality of service
- Troškovi

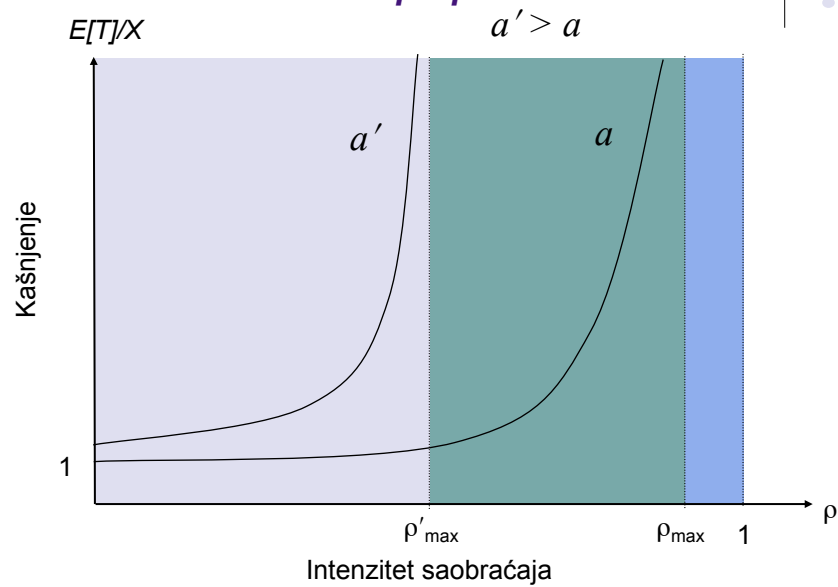
MAC kašnjenje

- Kašnjenje u prenosu frejma
 - Od trenutka kada prvi bit frejma krene sa izvorišta do trenutka kada poslednji bit frejma stigne na odredište
- Kapacitet
 - Brzina prenosa izražena u b/s
- Parametri
 - R b/s & L b/frejmu
 - Srednje vrijeme prenosa frejma $X = L/R$ s/frejmu
 - λ frejmova/s je srednja dolazna brzina
 - Intenzitet dolaznog saobraćaja $\rho = \lambda X$,
 - Maksimalna propusnost (pri 100% efikasnosti): R/L frejmova/s

Normalizovano kašnjenje u funkciji intenziteta saobraćaja



Zavisnost od Rt_{prop}/L



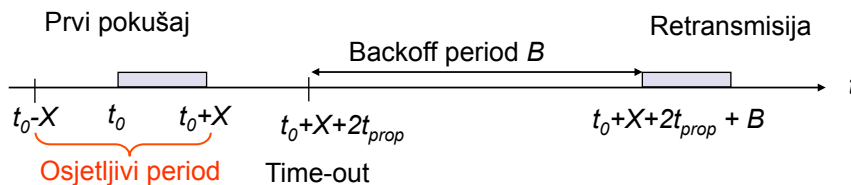
Kontrola pristupa medijumu

Slučajni pristup



ALOHA

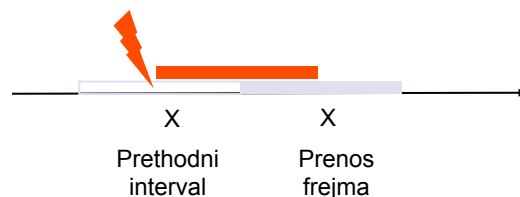
- Bežični link namijenjen povezivanju glavnog i udaljenih kampusa Univerziteta Havaji
- Najjednostavnije rješenje: samo pokušaj
 - Stanica šalje kad god ima šta da šalje
 - Istovremeni prenos više stanica izaziva koliziju
 - Ako se ACK ne pojavi tokom timeout perioda stanica bira proizvoljan backoff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



ALOHA Model

- 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

Abramsonova pretpostavka



- 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

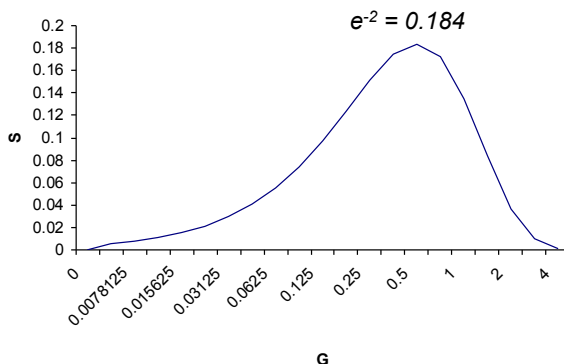
$$G = n p$$

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

Propusnost ALOHA



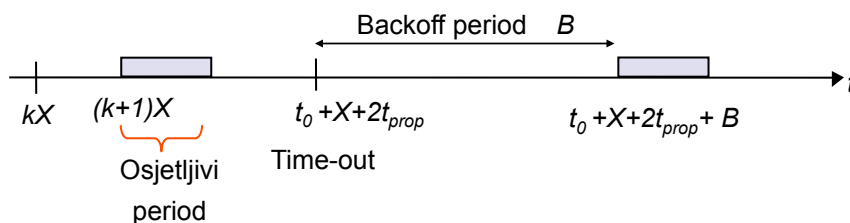
$$S = GP_{uspjeh} = Ge^{-2G}$$



- 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

Slotted ALOHA

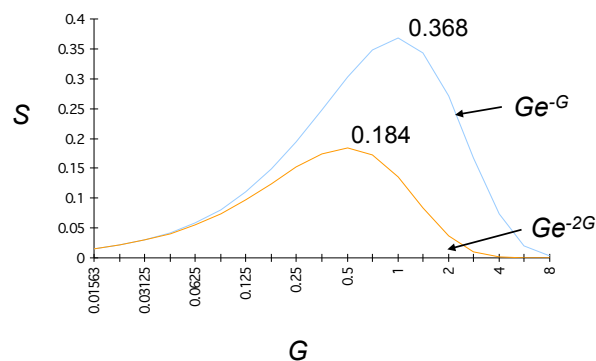
- Vrijeme je podijeljena na slotove trajanja X sekundi
- Stanice su sinhronizovane
- Stanice prenose frejmove u prvom vremenskom slotu koji dolazi nakon pristizanja podataka za slanje
- Backoff intervali su trajanja cijelog broja slotova



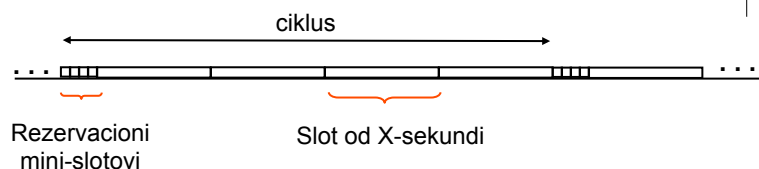
Samo frejmovi koji krenu tokom intervala X izazivaju koliziju.

Propusnost Slotted ALOHA

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



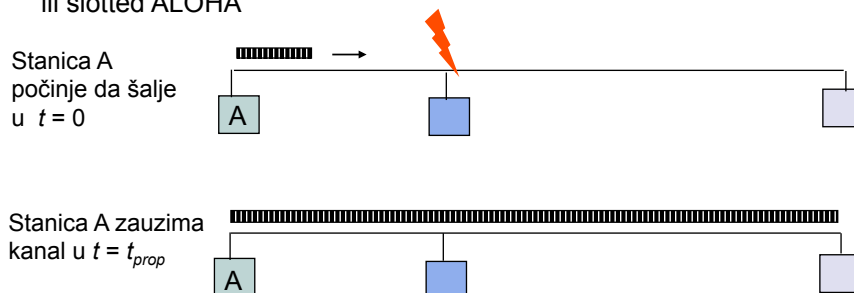
Aplikacija Slotted Aloha



- Rezervacioni protokol dozvoljava da veliki broj stanica sa niskim saobraćajem rezerviše slotove za prenos frejmova u budućim ciklusima
- Svaki ciklus ima mini-slotove namijenjene za pravljenje rezervacija
- Stanice koriste slotted Aloha tokom mini-slotova za zahtijevanje slotova

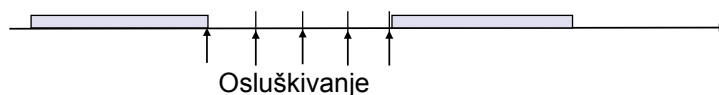
Carrier Sensing Multiple Access (CSMA)

- 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

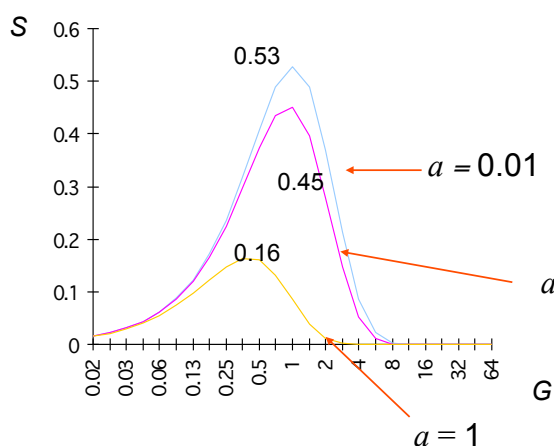


CSMA Opcije

- 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

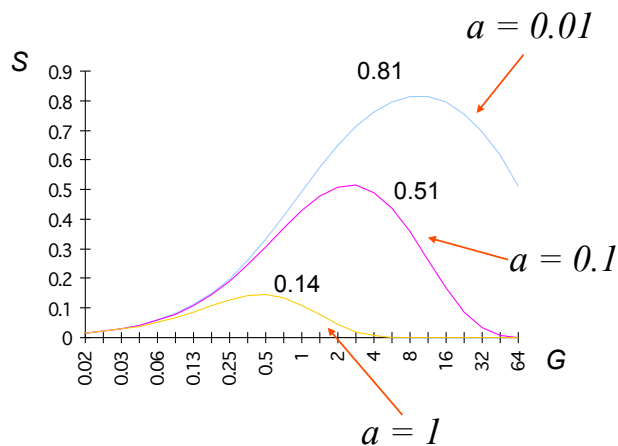


Propusnost 1-Persistent CSMA



- Bolji od Alohe & slotted Alohe za malo a
- Lošiji od Alohe za $a > 1$

Propusnost Non-Persistent CSMA



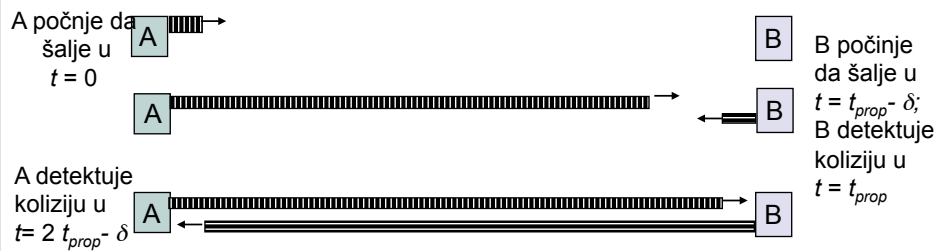
- Veća maksimalna propusnost od 1-persistentnog za malo a
- Lošiji od Aloha za $a > 1$

CSMA with Collision Detection (CSMA/CD)



- Nadzire kolizije i prekida prenos
 - Stanice koje žele da šalju, prvo osluškiju prisustvo nocioa
 - 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

CSMA/CD vrijeme reakcije

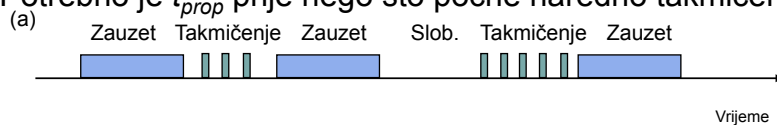


Potrebno je vrijeme $2 t_{prop}$ da bi se utvrdilo zauzimanje kanala

CSMA-CD Model



- 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.



Rezultat takmičenja



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

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

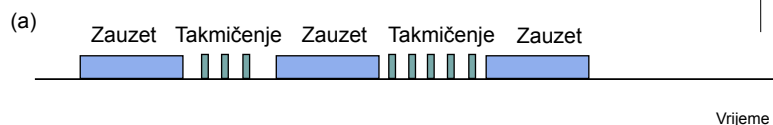
- Nalaženjem prvog izvoda od P_{uspjeh} utvrđuje se da se njegova maksimum dobija za $p=1/n$

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

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

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

Propusnost CSMA/CD



- Pri maksimalnoj propusnosti, sistem nema slobodnih intervala

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

- Gdje je:

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

$a = t_{prop}/X$

ν m/s – brzina svjetlosti

d rastojanje između dva krajnja sistema (m)

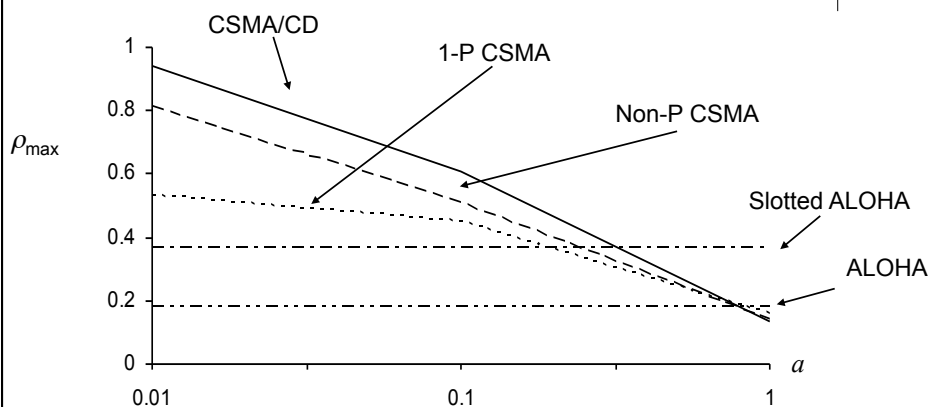
$2e+1 = 6.44$

Primjena CSMA-CD : Ethernet



- Prvi Ethernet LAN standard je koristio CSMA-CD
 - 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 $k = \min(n, 10)$

Propusnost MAC kontrola sa slučajnim pristupom



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

Detekcija nosioca i prioritetni prenos



- 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

Poređenje MAC pristupa



- Aloha & Slotted Aloha
 - Jednostavne i brzi prenos za niski intenzitet saobraćaja
 - Može podržati veliki broj korisnika koji generišu bursty saobraćaj niskog intenziteta
 - Veoma varijabilna kašnjenja pri osrednjim intenzitetima opterećenja
 - Maksimalna efikasnost ne zavisi od a
- CSMA-CD
 - Brzi prenos i visoka efikasnost za nizak proizvod kašnjenja i kapaciteta
 - Mogu opslužiti veliki broj korisnika sa bursty saobraćajem
 - Varijabilna i nepredvidljiva kašnjenja