

Számítógépes Hálózatok

5. Előadás: Adatkapcsolati réteg III.

Based on slides from **Zoltán Ács ELTE** and D. Choffnes Northeastern U., Philippa Gill from StonyBrook University , Revised Spring 2016 by S. Laki

Közeg hozzáférés vezérlése

Media Access Control (MAC)

Mi az a közeg hozzáférés ?

3

- ❑ Ethernet és a Wifi is többszörös hozzáférést biztosító technológiák
 - ▣ Az átviteli közegen több résztvevő osztozik
 - Adatszórás (broadcasting)
 - ▣ Az egyidejű átvitel **ütközést** okoz
 - Lényegében megghiúsítja az átvitelt
- ❑ Követelmények a Media Access Control (MAC) protokolljaival szemben
 - ▣ Szabályok a közeg megosztására
 - ▣ Stratégiák az ütközések detektálásához, elkerüléséhez és feloldásához

MAC alréteg

4

- Eddigi tárgyalásaink során pont-pont összeköttetést feltételeztünk.
- Most az adatszóró csatornát (angolul *broadcast channel*) használó hálózatok tárgykörével foglalkozunk majd.
 - ▣ **Kulcskérdés:** *Melyik állomás kapja a csatornahasználat jogát?*
- A csatorna kiosztás történhet:
 1. statikus módon (FDM, TDM)
 2. dinamikus módon
 - a) verseny vagy ütközés alapú protokollok (ALOHA, CSMA, CSMA/CD)
 - b) verseny-mentes protokollok (bittérkép-alapú protokollok, bináris visszaszámlálás)
 - c) korlátozott verseny protokollok (adaptív fa protokollok)

Statikus csatornakiosztás

5

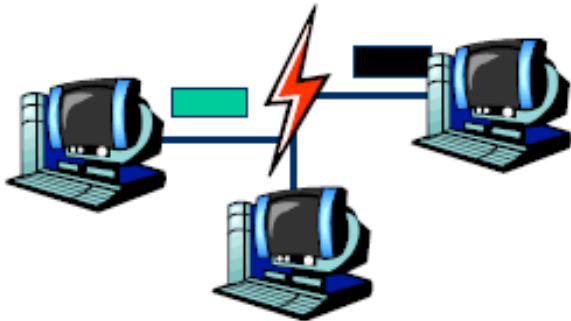
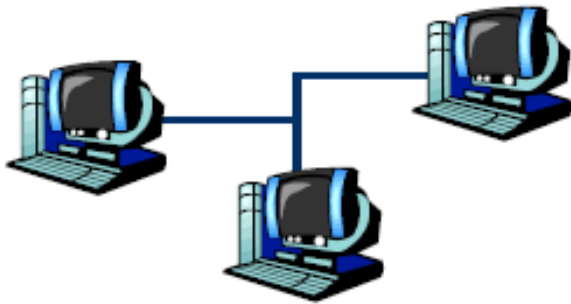
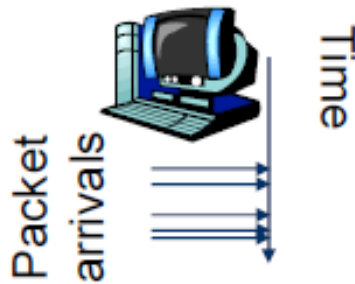
Frekvenciaosztásos nyalábolás

- N darab felhasználót feltételezünk, a sávszélet N egyenlő méretű sávra osztják, és minden egyes sávhoz hozzárendelnek egy felhasználót.
- Következésképpen az állomások nem fogják egymást zavarni.
- Előnyös a használata, ha fix számú felhasználó van és a felhasználók nagy forgalmi igényt támasztanak.
- Löketszerű forgalom esetén használata problémás.

Időosztásos nyalábolás

- N darab felhasználót feltételezünk, az időegységet N egyenlő méretű időrésre – úgynevezett *slot*-ra – osztják, és minden egyes részhez hozzárendelnek egy felhasználót.
- Löketszerű forgalom esetén használata nem hatékony.

Dinamikus csatornakiosztás



1. Állomás modell

- ▣ N terminál/állomás
- ▣ Annak a valószínűsége, hogy Δt idő alatt csomag érkezik $\lambda \Delta t$, ahol λ az érkezési folyam rátája.

2. Egyetlen csatorna feltételezés

- ▣ Minden állomás egyenrangú.
- ▣ Minden kommunikáció egyazon csatornán zajlik.
- ▣ Minden állomás tud ezen küldeni és fogadni csomagot.

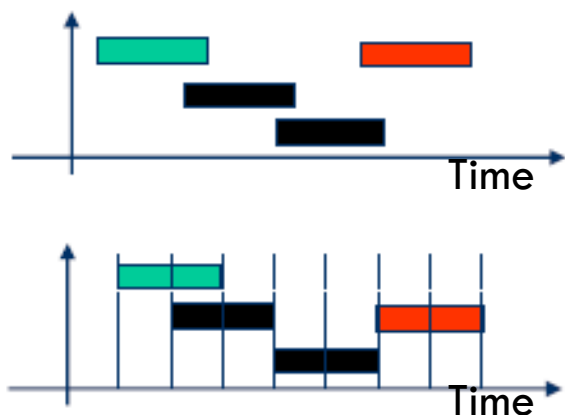
3. Ütközés feltételezés

- ▣ Ha két keret egy időben kerül átvitelre, akkor átlapolódnak, és az eredményül kapott jel értelmezhetetlenné válik.
- ▣ Ezt nevezzük ütközésnek.

4. Folytonos időmodell VS diszkrét időmodell

5. Vivőjel értékelés VS nincs vivőjel érzékelés

Dinamikus csatornakiosztás



Használt időmodell

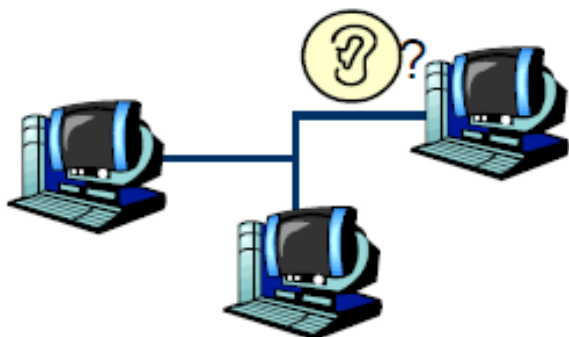
Kétféle időmodellt különböztetünk meg:

- a) **Folytonos** – Mindegyik állomás tetszőleges időpontban megkezdheti a küldésre kész keretének sugárzását.
- b) **Diszkrét** – Az időt diszkrét résekre osztjuk. Keret továbbítás csak időrés elején lehetséges. Az időrés lehet *üres*, *sikeres* vagy *ütközéses*.

Vivőjel érzékelési képesség

Az egyes állomások vagy rendelkeznek ezzel a tulajdonsággal vagy nem.

- a) Ha **nincs**, akkor az állomások nem tudják megvizsgálni a közös csatorna állapotát, ezért egyszerűen elkezdnek küldeni, ha van rá lehetőségük.
- b) Ha **van**, akkor állomások meg tudják vizsgálni a közös csatorna állapotát a küldés előtt. A csatorna lehet: foglalt vagy szabad. Ha a foglalt a csatorna, akkor nem próbálják használni az állomások, amíg fel nem szabadul.



Megjegyzés: Ez egy egyszerűsített modell!

Hogyan mérjük a hatékonyságot?

□ Átvitel [Throughput] (S)

- ▣ A sikeresen átvitt csomagok/keretek száma egy időegység alatt

□ Késleltetés [Delay]

- ▣ Egy csomag átviteléhez szükséges idő

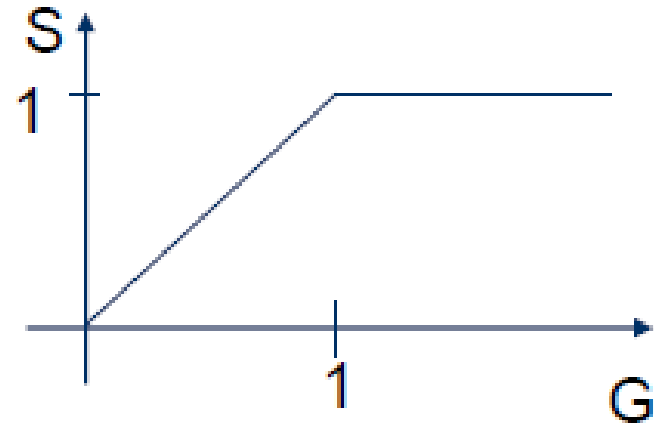
□ Fairség [Fairness]

- ▣ Minden állomás egyenrangúként van kezelve

Átvitel és terhelés

□ Terhelés (G)

- A protokoll által kezelendő csomagok száma egy időegység alatt (beérkező kérések)
- $G > 1$: túlterhelés
- A csatorna egy kérést tud elvezetni

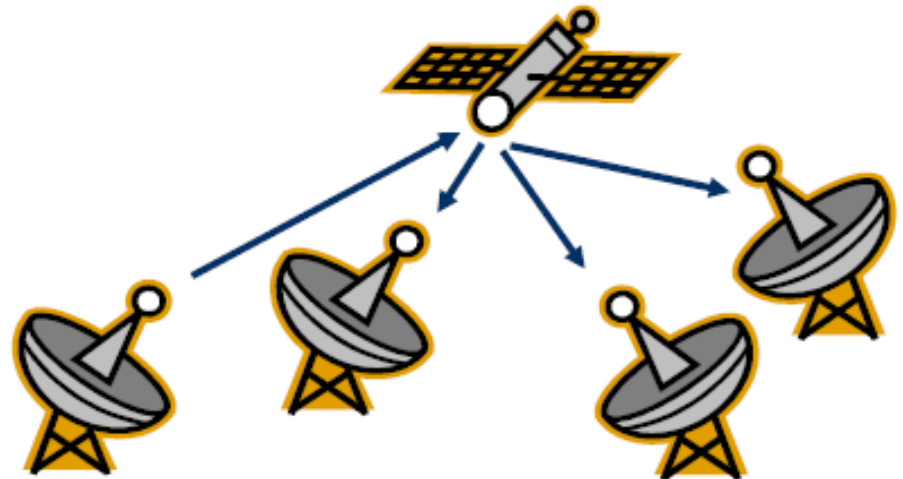


□ Ideális esetben

- Ha $G < 1$, $S = G$
- Ha $G \geq 1$, $S = 1$
- Ahol egy csomag kiküldése egy időegységet vesz igénybe.

[illegible]

- Az algoritmust a 70-es években a Uni. of Hawaii fejlesztette
 - ▣ **Ha van elküldendő adat, akkor elküldi**
 - ▣ Alacsony költségű, nagyon egyszerű megoldás



ALOHA

11

- Topológia: broadcast rádió több állomással
- Protokoll:

- A

- Egyszerű, de radikális megoldás
- Korábbi megoldások, mind felosztották a csatornát
 - TDMA, FDMA, etc.
- Kévéis küldő esetére készült

Teljesítmény elemzés -Poisson Folyam

- A „**véletlen érkezések**” egyik ünnepelt modellje a sorban-állás elméletben a Poisson folyamat.
- A modell feltételezései:
 - ▣ Egy érkezés valószínűsége egy rövid Δt intervallum alatt arányos az intervallum hosszával és nem függ az intervallum kezdetétől (ezt nevezzük **memória nélküli** tulajdonságnak)
 - ▣ Annak a valószínűsége, hogy több érkezés történik egy rövid Δt intervallum alatt közelít a nullához.

Teljesítmény elemzés –Poisson eloszlás

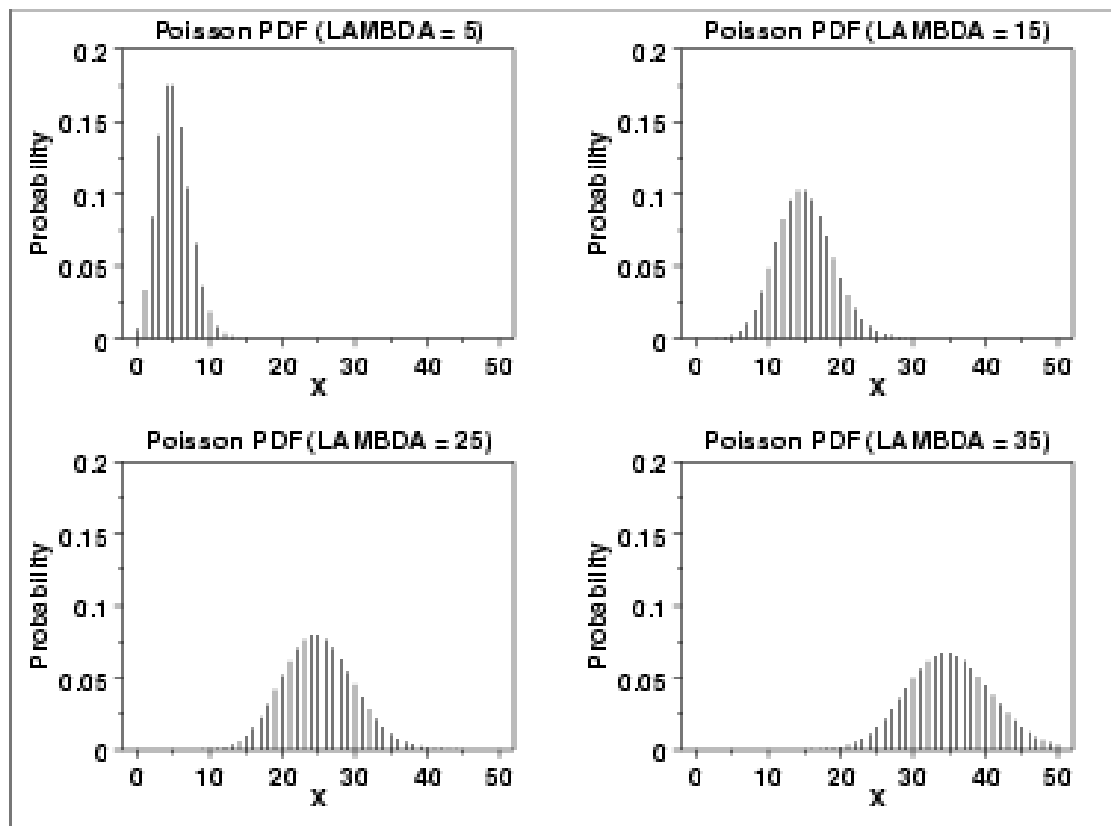
Annak a valószínűsége, hogy k érkezés történik egy t hosszú intervallum során:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

ahol λ az érkezési ráta. Azaz ez egy egy-paraméteres modell, ahol csak λ -át kell ismernünk.

Poisson Eloszlás példák

14



ALOHA vizsgálata

□ Jelölés:

- T_f = keret-idő (feldolgozási, átviteli és propagációs)
- S : A sikeres keret átvitelek átlagos száma T_f idő alatt; (*throughput*)
- G : T_f idő alatti összes átviteli kísérletek átlagos száma
- D : Egy keret küldésre kész állapota és a sikeres átvitele között eltelt átlagos idő

□ Feltételezéseink

- Minden keret konstans/azonos méretű
- A csatorna zajmentes, hibák csak ütközések miatt történnek
- A keretek nem kerülnek sorokba az egyedi állomásokon
- Egy csatorna egy Poisson folyamként viselkedik

ALOHA vizsgálata

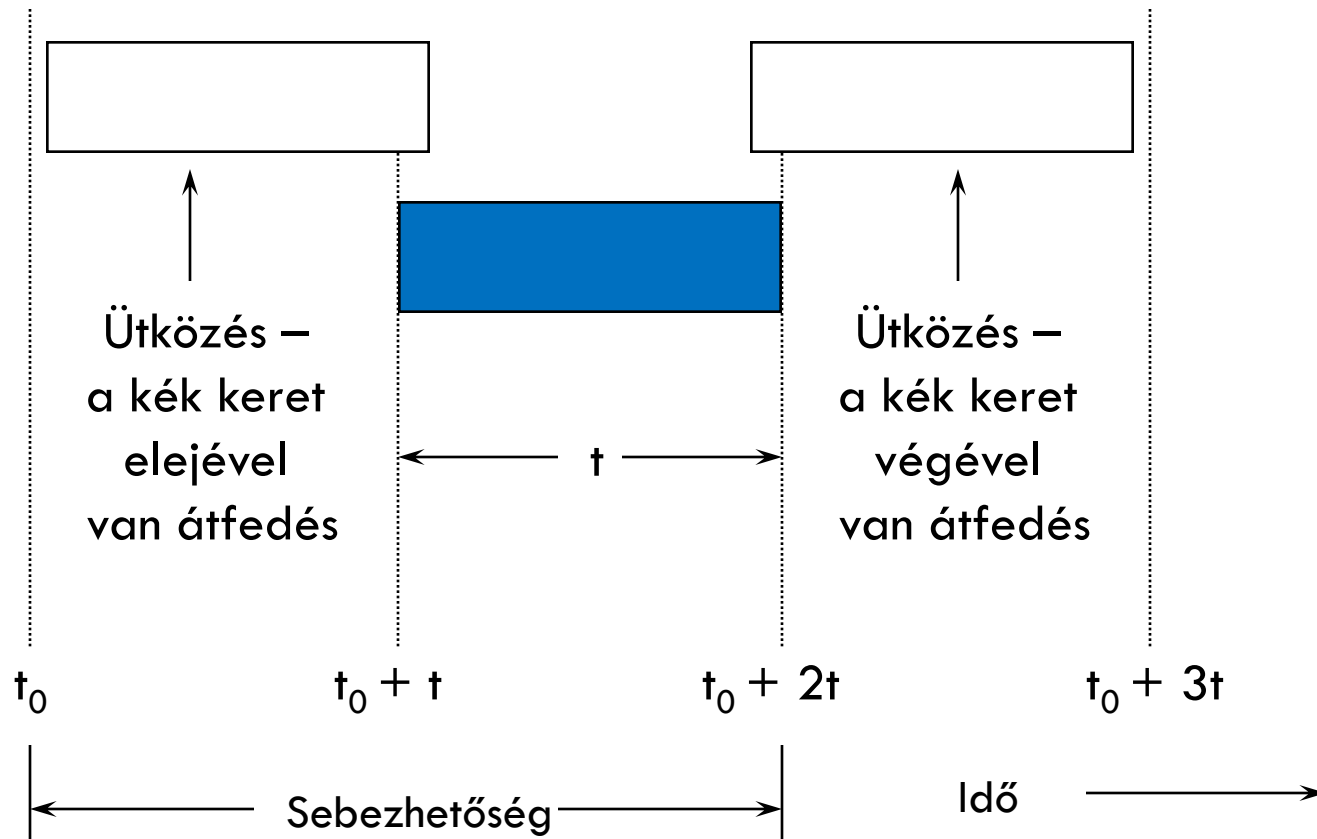
- Mivel S jelöli a „jó” átviteleket egy keret idő alatt és G jelöli az összes átviteli kísérletet egy keret idő alatt, így a következő összefüggést írhatjuk:

$$S = S(G) = G \times (\text{A „jó” átvitelek valószínűsége})$$

- A sebezhetőségi idő egy keret sikeres átviteléhez: $2T_f$
- Azaz a „jó” átvitel valószínűsége megegyezik annak a valószínűségével, hogy a sebezhetőségi idő alatt **nincs** beérkező keret.

ALOHA vizsgálata

17



Sebezhetőségi időintervallum a kékkel jelölt kerethez

ALOHA vizsgálata

Tudjuk, hogy:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

Azaz most $t = 2T_f$ és $k = 0$ (t legyen a seb. idő, $k=0$, hogy ne érkezzen új keret a kék küldése során)

$$P_0(2T_f) = \frac{(\lambda \cdot 2T_f)^0 e^{-\lambda 2T_f}}{0!} = e^{-2G}$$

because $\lambda = \frac{G}{T_f}$. Thus, $S = G \cdot e^{-2G}$

ALOHA vizsgálata

19

- $S(G) = Ge^{-2G}$ függvényt G szerint deriválva és az eredményt nullának tekintve az egyenlet megoldásával megkapjuk a maximális sikeres átvitelhez tartozó G értéket:

$$G = 0.5,$$

melyre $S(G) = 1/2e = 0.18$. Azaz a maximális throughput **csak 18%-a** a teljes kapacitásnak!!!

ALOHA vs TDMA

20

□ A TD

□ A v

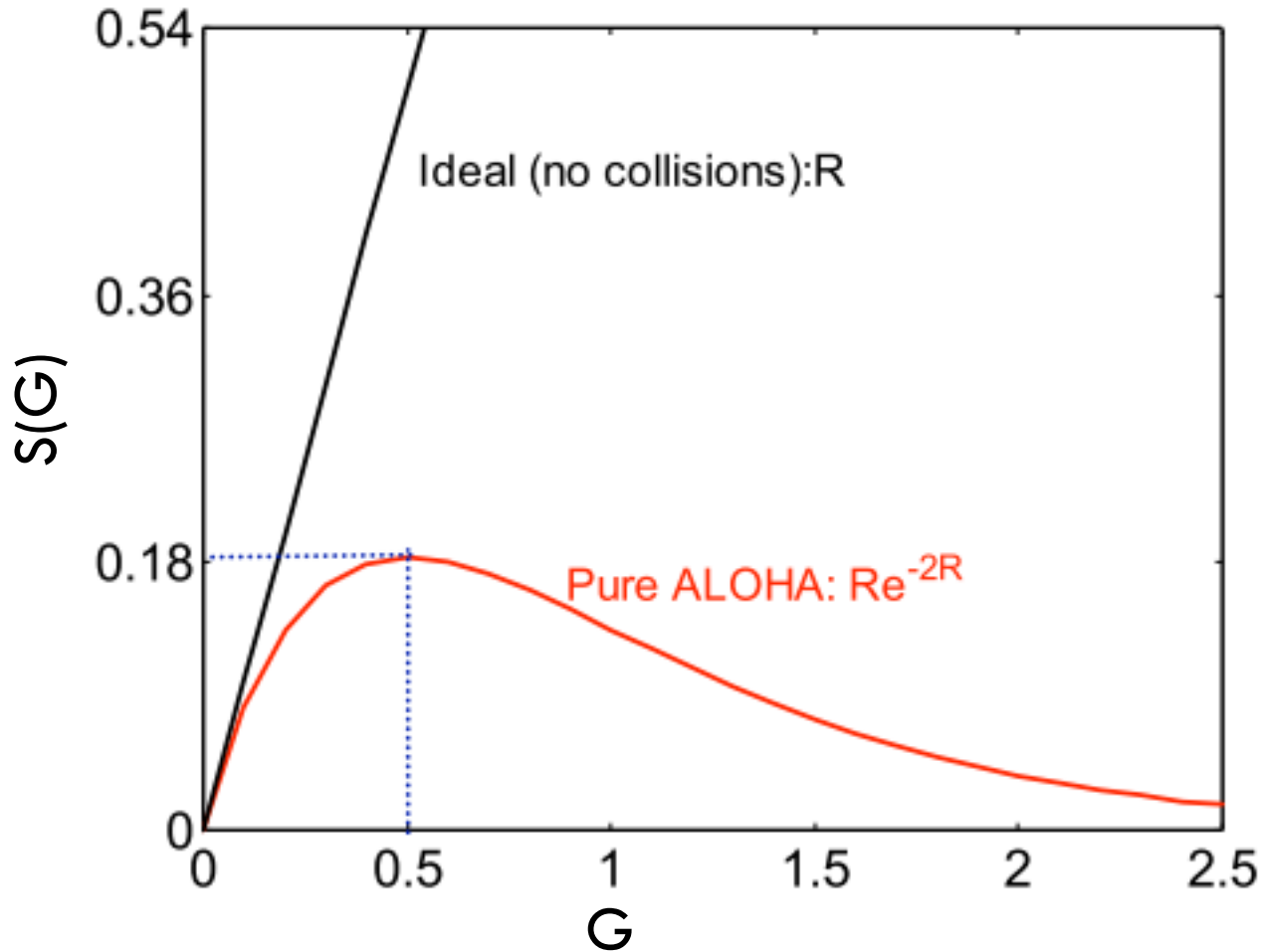
□ Az A

□ Sol

□ De

Sender

Sender

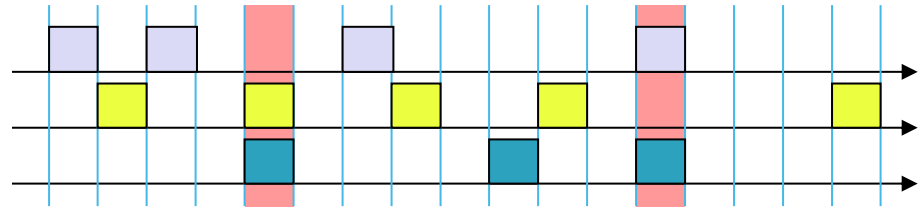


□ Maximum system capacity is 18% of the channel capacity

Réselt ALOHA

21

- A csatornát azonos időrésekre bontjuk, melyek hossza pont egy keret átviteléhez szükséges idő.
- Átvitel csak az időrések határán lehetséges



- Algoritmus:
 - ▣ Amikor egy új A keret küldésre kész:
 - Az A keret kiküldésre kerül a (következő) időrés-határon

A réselt ALOHA vizsgálata

□ A sebezhetőségi idő a felére csökken!!!

□ Tudjuk, hogy:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

Ez esetben $t = T_f$ és továbbra is $k = 0$, amiből kapjuk, hogy:

$$P_0(T_f) = \frac{(\lambda \cdot T_f)^0 e^{-\lambda T_f}}{0!} = e^{-G}$$

because $\lambda = \frac{G}{T_f}$. Thus, $S = G \cdot e^{-G}$

Réselt ALOHA

23

□ Protokoll

□ Ugrás

■ R

□ Cs

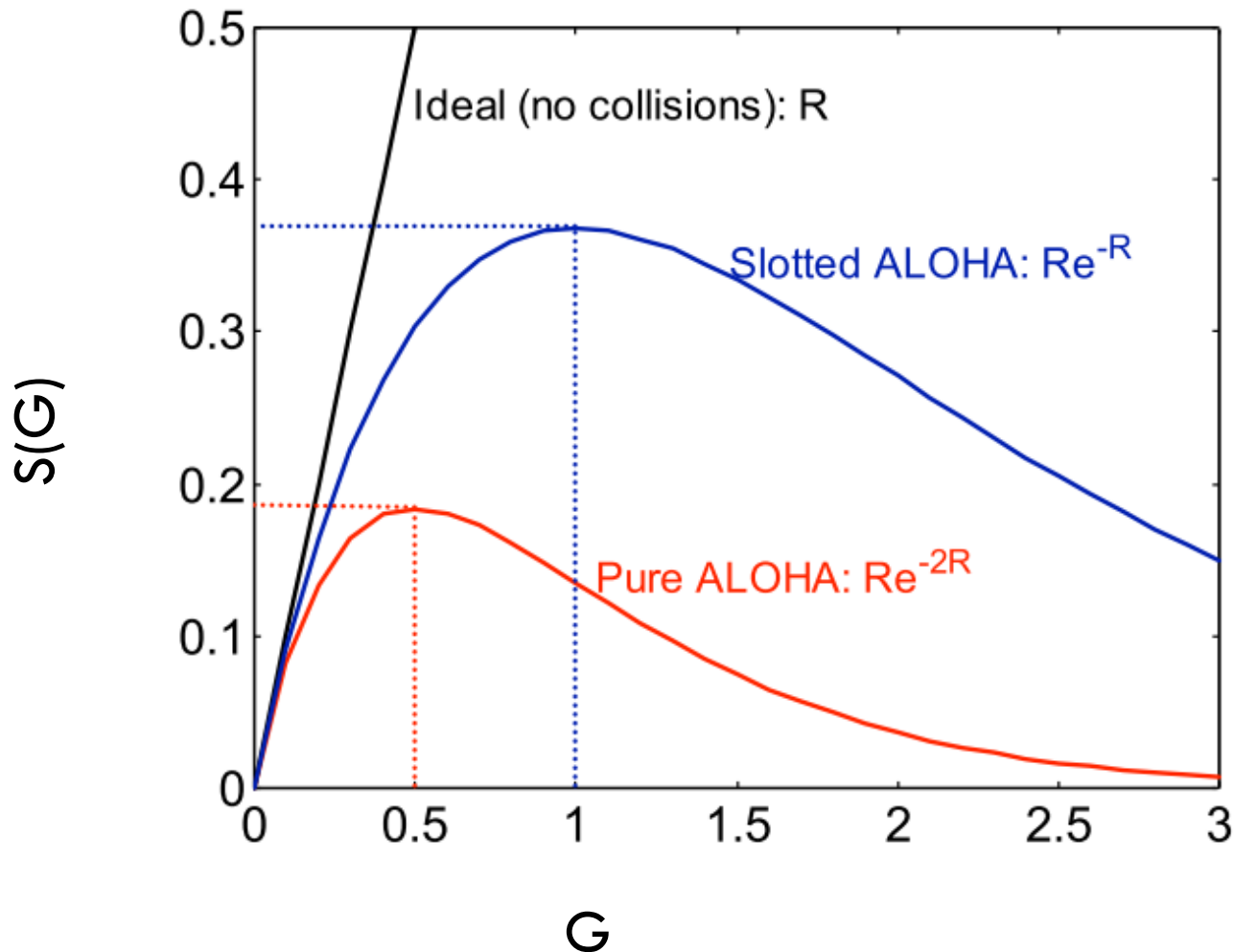
□ Azaz

nem

□ 37

□ Az

ke



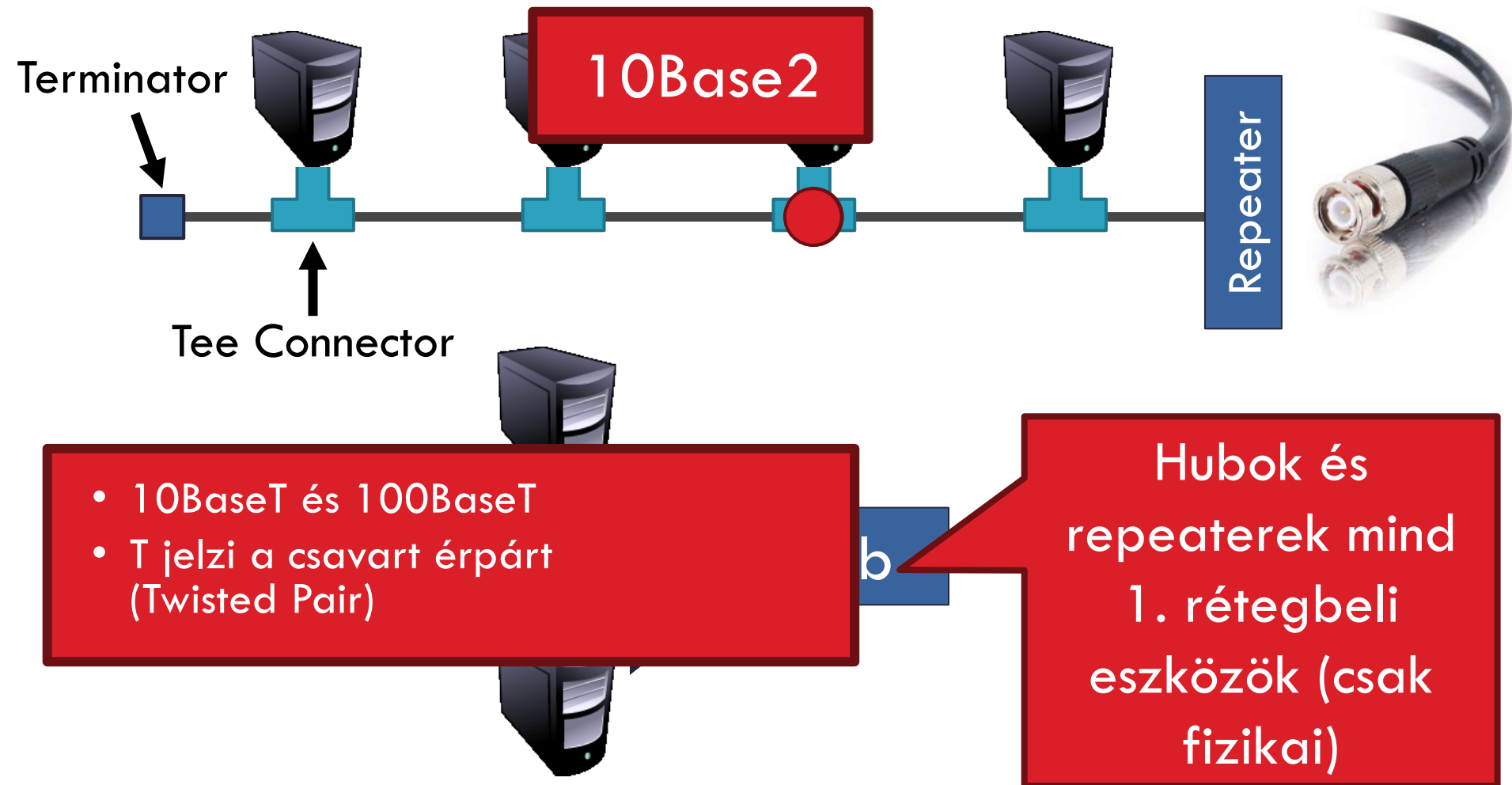
általán

órával

Adatszóró (Broadcast) Ethernet

24

- Eredetileg az Ethernet egy adatszóró technológia volt



Vivőjel érzékelés

Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- További feltételezés

- ▣ Minden állomás képes beleszállgatni a csatornába és így el tudja dönteni, hogy azt más állomás használja-e átvitelre

1-perzisztens CSMA protokoll

26

- Vivőjel érzékelés van, azaz minden állomás belehallgathat a csatornába.
- Folytonos időmodellt használ a protokoll

Algoritmus

- Keret leadása előtt belehallgat a csatornába:
 - a) Ha foglalt, akkor addig vár, amíg fel nem szabadul. Szabad csatorna esetén azonnal küld. (*perzisztens*)
 - b) Ha szabad, akkor küld.
- Ha ütközés történik, akkor az állomás véletlen hosszú ideig vár, majd újratekzi a keret leadását.

Tulajdonságok

- A terjedési késleltetés nagymértékben befolyásolhatja a teljesítményét.
- Jobb teljesítményt mutat, mint az ALOHA protokollok.

Nem-perzisztens CSMA protokoll

27

- Vivőjel érzékelés van, azaz minden állomás belehallgathat a csatornába.
- Folytonos időmodellt használ a protokoll
- Mohóság kerülése

Algoritmus

- Keret leadása előtt belehallgat a csatornába:
 - a) Ha foglalt, akkor véletlen ideig vár (nem figyeli a forgalmat), majd kezdi előről a küldési algoritmust. (*nem-perzisztens*)
 - b) Ha szabad, akkor küld.
- Ha ütközés történik, akkor az állomás véletlen hosszú ideig vár, majd újratekdi a keret leadását.

Tulajdonságok

- Jobb teljesítményt mutat, mint az 1-perzisztens CSMA protokoll. (*intuitív*)

p-perzisztens CSMA protokoll

28

- Vivőjel érzékelés van, azaz minden állomás belehallgathat a csatornába.
- Diszkrét időmodellt használ a protokoll

Algoritmus

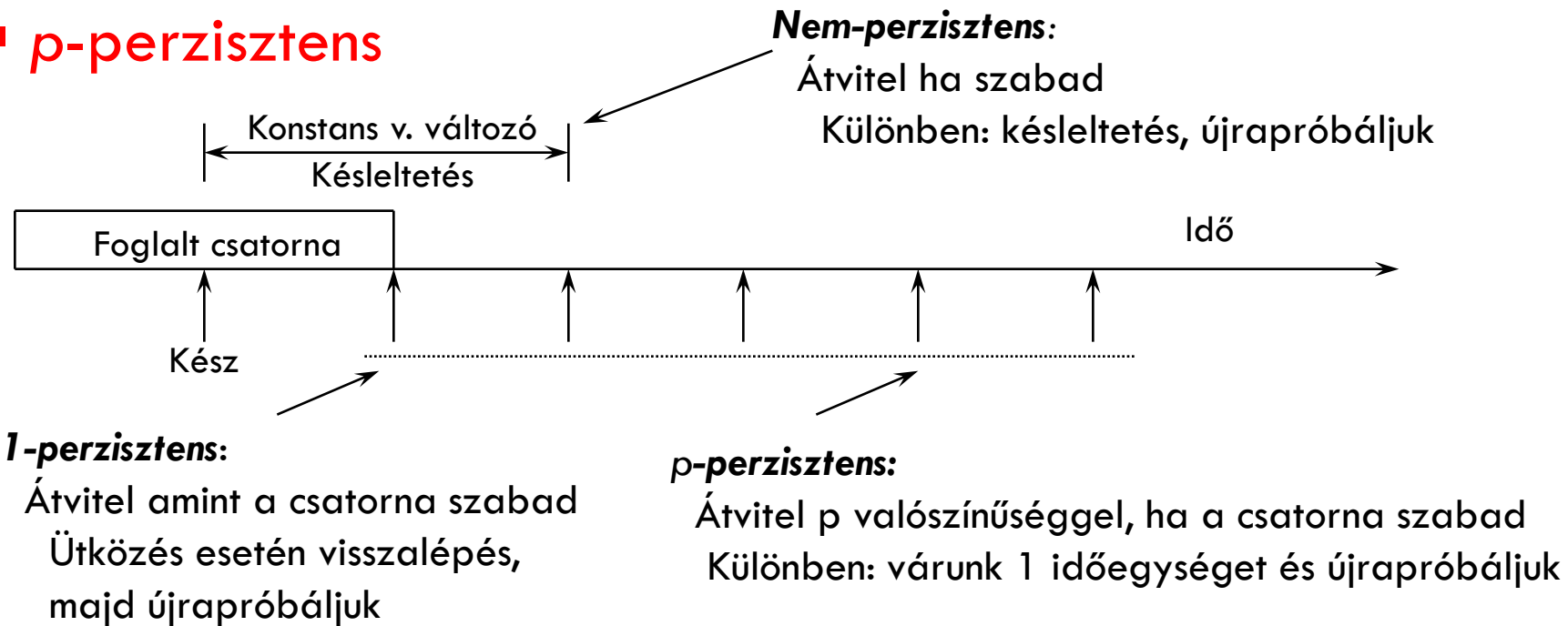
- Adás kész állapotban az állomás belehallgat a csatornába:
 - a) Ha foglalt, akkor vár a következő időrésig, majd megismétli az algoritmust.
 - b) Ha szabad, akkor p valószínűséggel küld, illetve $1-p$ valószínűséggel visszalép a szándékától a következő időrésig. Várakozás esetén a következő időrésben megismétli az algoritmust. Ez addig folytatódik, amíg el nem küldi a keretet, vagy amíg egy másik állomás el nem kezd küldeni, mert ilyenkor úgy viselkedik, mintha ütközés történt volna.
- Ha ütközés történik, akkor az állomás véletlen hosszú ideig vár, majd újakezdi a keret leadását.

CSMA áttekintés

29

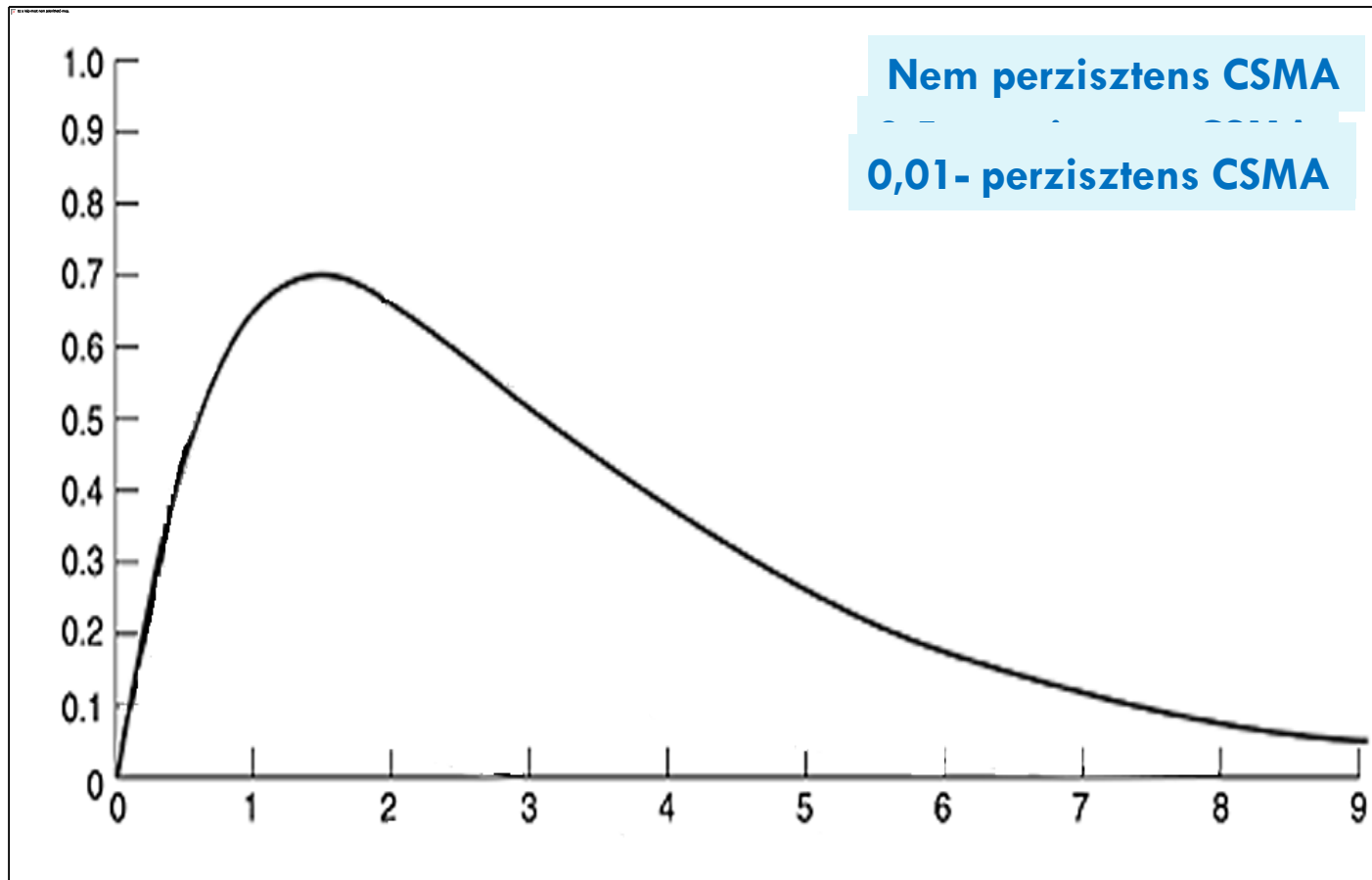
- Nem-perzisztens
- 1-perzisztens
- p -perzisztens

CSMA perzisztencia



CSMA és ALOHA protokollok összehasonlítása

30



Forrás: [1]

CSMA/CD - CSMA ütközés detektálással (CD = Collision Detection)

- ❑ Ütközés érzékelés esetén meg lehessen szakítani az adást. („Collision Detection”)
 - ▣ Minden állomás küldés közben megfigyeli a csatornát,
 - ▣ ha ütközést tapasztal, akkor megszakítja az adást, és véletlen ideig várakozik, majd újra elkezdi leadni a keretét.
- ❑ Mikor lehet egy állomás biztos abban, hogy megszerezte magának a csatornát?
 - ▣ Az ütközés detektálás minimális ideje az az idő, ami egy jelnek a két legtávolabbi állomás közötti átviteléhez szükséges.

CSMA/CD

- Egy állomás megszerezte a csatornát, ha minden más állomás érzékeli az átvitelét.
- Az **ütközés detektálás működéséhez** szükséges a keretek hosszára egy alsó korlátot adnunk
- Ethernet a CSMA/CD-t használja

CSMA/CD

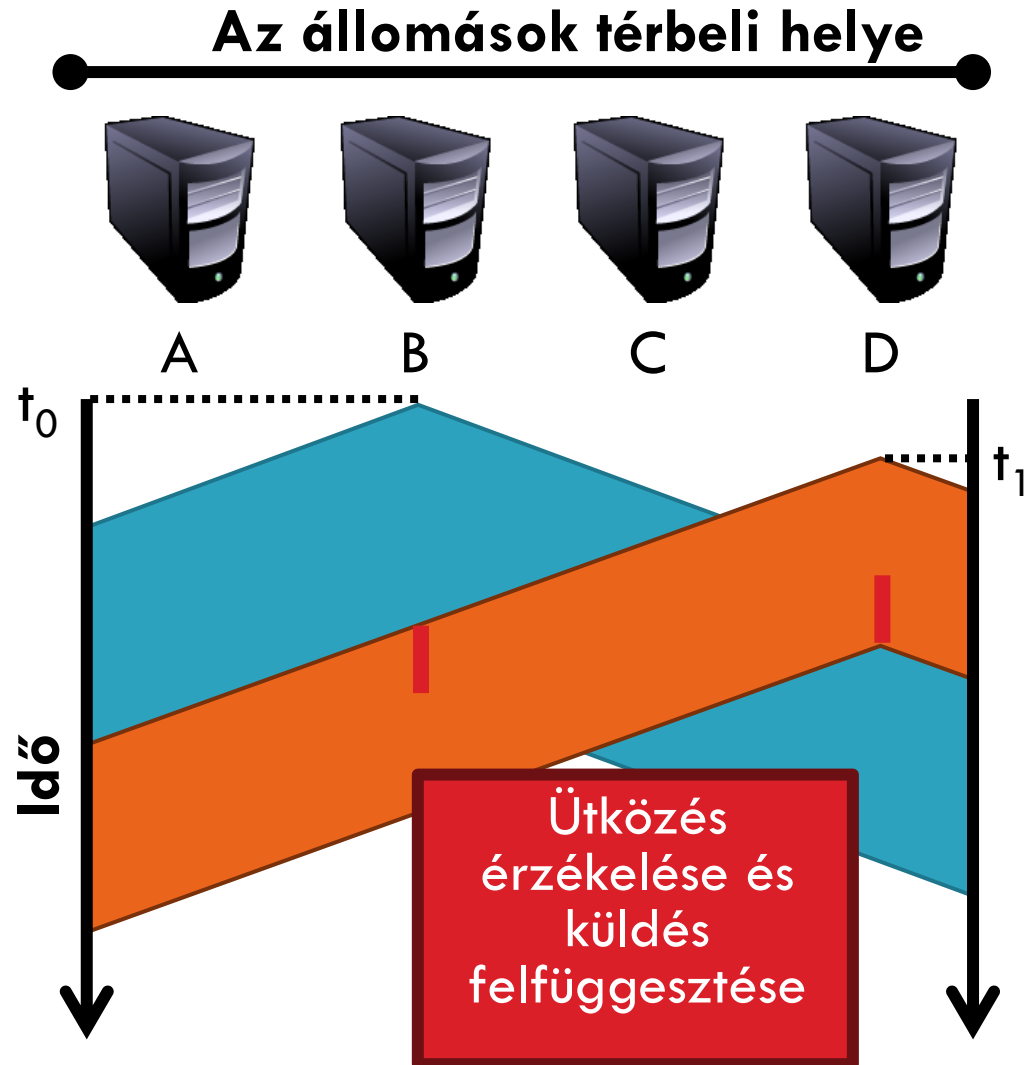
33

- ❑ Carrier sense multiple access with collision detection
- ❑ Alapvetés: a közeg lehetőséget ad a csatornába hallgatásra
- ❑ Algoritmus
 1. Használjuk valamely CSMA variánst
 2. A keret kiküldése után, figyeljük a közeget, hogy történik-e ütközés
 3. Ha nem volt ütközés, akkor a keretet leszállítottuk
 4. Ha ütközés történt, akkor azonnal megszakítjuk a küldést
 - Miért is folytatnánk hisz a keret már sérült...
 5. Alkalmazzuk az bináris exponenciális hátralék módszert az újraküldés során (binary exponential backoff)

CSMA/CD Ütközések

34

- Ütközések történhetnek
- Az ütközéseket gyorsan észleljük és felfüggesztjük az átvitelt
- Mi a szerepe a távolságnak, propagációs időnek és a keret méretének?



Binary Exponential Backoff –

Bináris exponenciális hátralék

35

- Ütközés érzékelésekor a küldő egy ún. „jam” jelet küld
 - ▣ Minden állomás tudomást szerezzen az ütközésről

- Binary exponential backoff működése:
 - ▣ Válasszunk egy $k \in [0, 2^n - 1]$ egyenletes eloszlás szerint, ahol $n =$ az ütközések száma
 - ▣ Várjunk k időegységet (keretidőt) az újraküldésig
 - ▣ n felső határa 10, 16 sikertelen próbálkozás után pedig eldobjuk a keretet

- A hátralék idő versengési résekre van osztva

Binary Exponential Backoff

36

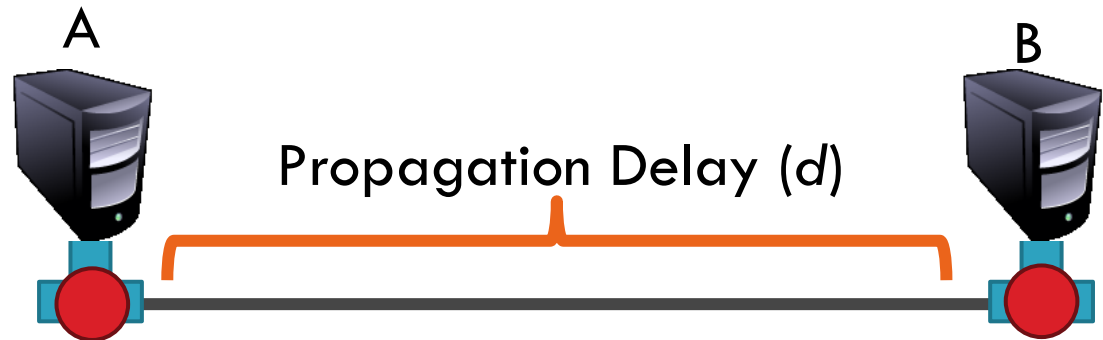
Tekintsünk két állomást, melyek üzenetei ütköztek

- Első ütközés után: válasszunk egyet a két időrés közül
 - ▣ A siker esélye az első ütközés után: 50%
 - ▣ Átlagos várakozási idő: 1,5 időrés
- Második ütközés után: válasszunk egyet a négy rés közül
 - ▣ Sikeres átvitel esélye ekkor: 75%
 - ▣ Átlagos várakozási idő: 2,5 rés
- Általában az m . ütközés után:
 - ▣ A sikeres átvitel esélye: $1 - 2^{-m}$
 - ▣ Average delay (in slots): $0,5 + 2^{(m-1)}$

Minimális keretméret

37

- Miért 64 bájt a minimális keretméret?
 - ▣ Az állomásoknak elég időre van szüksége az ütközés detektálásához
- Mi a kapcsolat a keretméret és a kábelhossz között?
 1. t időpont: Az A állomás megkezdte az átvitelt
 2. $t + d$ időpont: A B állomás is megkezdte az átvitelt
 3. $t + 2*d$ időpont: A érzékeli az ütközést



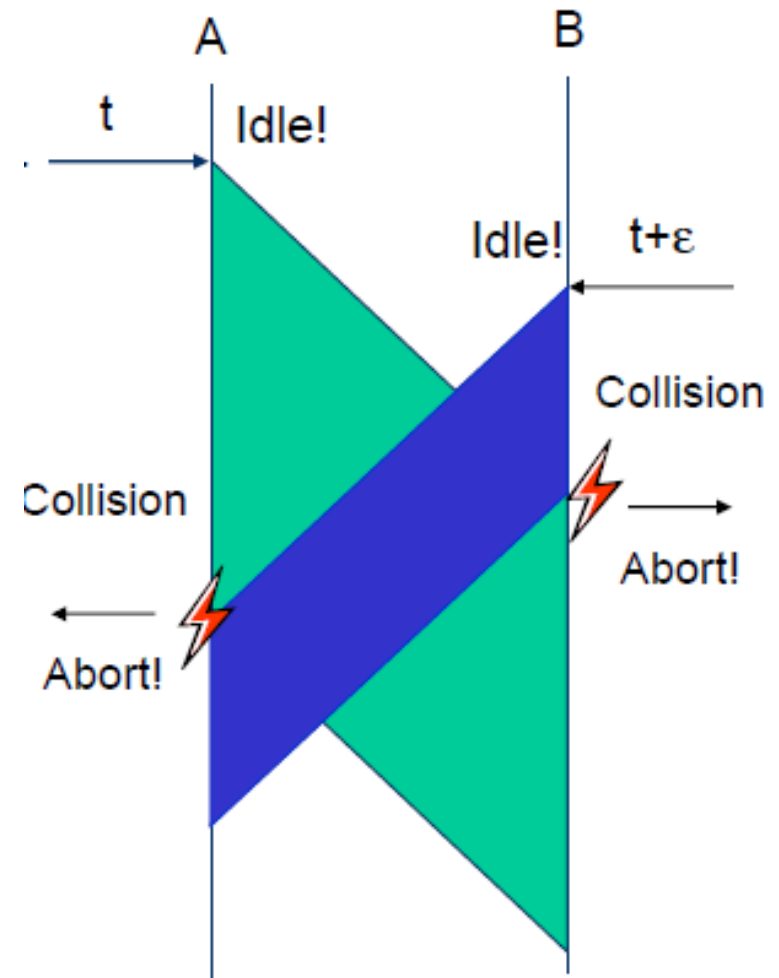
Alapötlet: Az A állomásnak $2*d$ ideig kell küldenie!

CSMA/CD

- CSMA/CD három állapota: versengés, átvitel és szabad.
- Ahhoz, hogy minden ütközést észleljünk szükséges:

$$T_f \geq 2T_{pg}$$

- ▣ ahol T_f egy keret elküldéséhez szükséges idő
- ▣ és T_{pg} a propagációs késés A és B állomások között



Minimális keretméret

39

- Az A küldésének $2 \cdot d$ ideig kell tartania

- $\text{Min_keret} = \text{ráta (b/s)} \cdot 2 \cdot d \text{ (s)}$

- ...

- 10 Mbps Ethernet

- Pr
- A keretméret és a kábelhossz változik (m/s)

- Azaz a gyorsabb szabványokkal...

- $\text{Min_keret} = \text{ráta} \cdot 2 \cdot \text{távolság (m)} / \text{fényseb. (m/s)}$

- Azaz a kábel össza

- $\text{Távolság} = \text{min_keret} \cdot \text{fénysebesség} / (2 \cdot \text{ráta})$

$$(64B \cdot 8) \cdot (2 \cdot 10^8 \text{mps}) / (2 \cdot 10^7 \text{bps}) = 5120 \text{ méter}$$

Minimális keretméret

40

- Az A küldésének $2 \cdot d$ ideig kell tartania
 - ▣ $\text{Min_keret} = \text{ráta (b/s)} * 2 * d \text{ (s)}$
 - ... de mi az a d ? propagációs késés, melyet a fénysebesség ismeretében ki tudunk számolni
 - $\text{Propagációs késés (d)} = \text{távolság (m)} / \text{fénysebesség (m/s)}$
 - ▣ Azaz:
 - ▣ $\text{Min_keret} = \text{ráta (b/s)} * 2 * \text{távolság (m)} / \text{fényseb. (m/s)}$
- Azaz a kábel összhossza
 - ▣ $\text{Távolság} = \text{min_keret} * \text{fénysebesség} / (2 * \text{ráta})$

$$(64\text{B} * 8) * (2 * 10^8 \text{mps}) / (2 * 10^7 \text{bps}) = 5120 \text{ méter}$$

Kábelhossz példa

41

$$\text{min_keret} * \text{fénysebesség} / (2 * \text{ráta}) = \text{max_kábelhossz}$$
$$(64\text{B} * 8) * (2 * 10^8 \text{mps}) / (2 * 10 \text{Mbps}) = 5120 \text{ méter}$$

- Mi a maximális kábelhossz, ha a minimális keretméret 1024 bájtra változik?
 - ▣ 81,9 kilométer
- Mi a maximális kábelhossz, ha a ráta 1 Gbps-ra változik?
 - ▣ 51 méter
- Mi történik, ha mindkettő változik egyszerre?
 - ▣ 819 méter

Maximális keretméret

42

- ❑ Maximum Transmission Unit (MTU): 1500 bájt
- ❑ Pro:
 - ▣ Hosszú csomagokban levő biz hibák jelentős javítási költséget okozhatnak (pl. túl sok adatot kell újraküldeni)
- ❑ Kontra:
 - ▣ Több bájtot vesztegetünk el a fejlécekben
 - ▣ Összességében nagyobb csomag feldolgozási idő
- ❑ Adatközpontokban Jumbo keretek
 - ▣ 9000 bájtos keretek

Köszönöm a figyelmet!