

Számítógépes Hálózatok 2007

7. Adatkapcsolati réteg – MAC, Statikus multiplexálás, (slotted) Aloha, CSMA

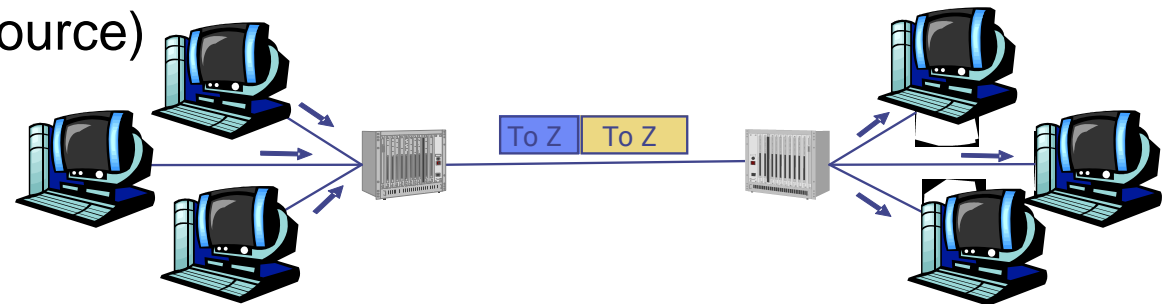
Mediumhozzáférés (Medium Access Control -- MAC) alréteg az adatkapcsolati rétegben

- **Statikus multiplexálás**
- Dinamikus csatorna foglalás
 - Kollízió alapú protokollok
 - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
 - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- Az Ethernet példája

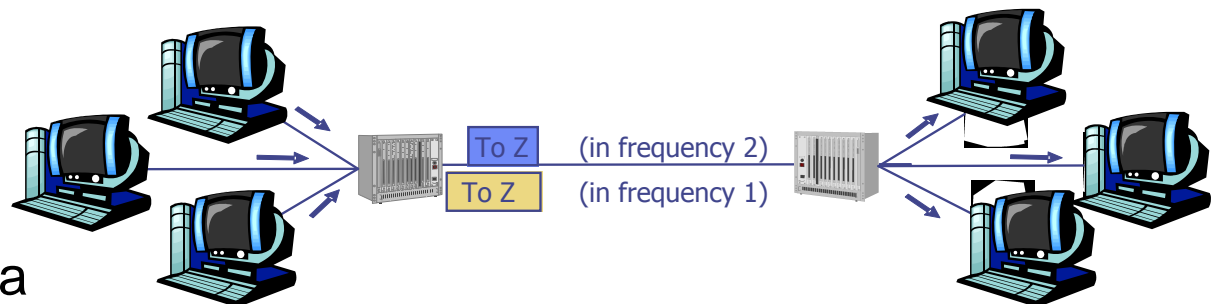
Statikus multiplexálás

- Adott egy link (erőforrás / ressource)

- A kommunikációs kapcsolatokhoz fix időegységeket (TDM) / frekvenciasávot (FDM) / csatornákat rendelünk

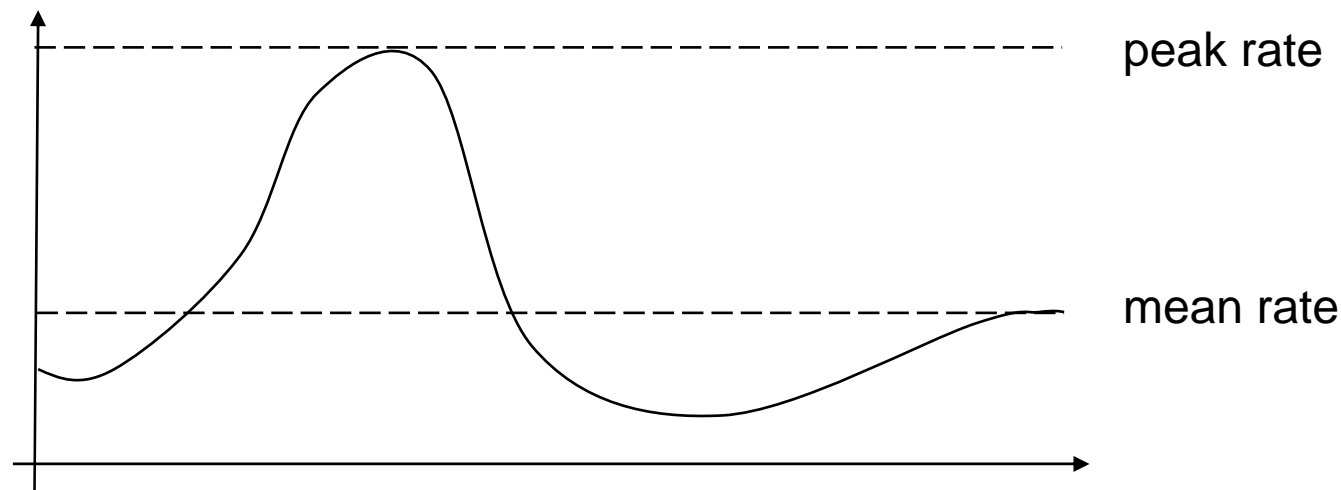


- Ez akkor jó megoldás, ha
 - fix adatráták vannak és a sáv szélességet annak megfelelően osztjuk csatornákra
 - A források a vezetékét jól kihasználják



Löketszerűen érkező adatok (bursty traffic)

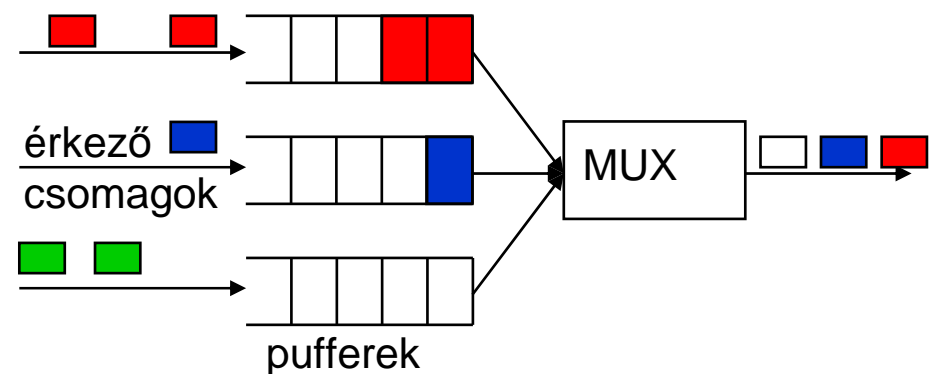
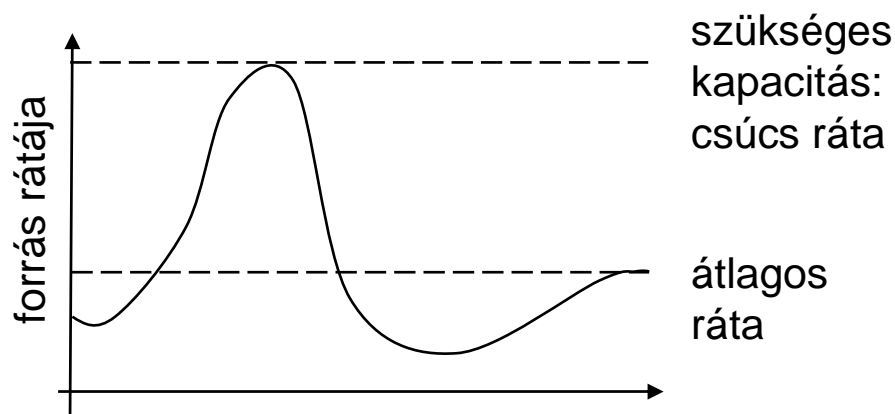
- Probléma: **bursty traffic**
 - Definíció: nagy különbség a forgalom **csúcs rátája (peak rate)** és az **átlagos rátája (mean or average rate)** között
 - Számítógép-hálózatokban $\text{peak rate} / \text{mean rate} = 1000/1$ nem szokatlan



Löketszerűen érkező adatok és statikus multiplexálás

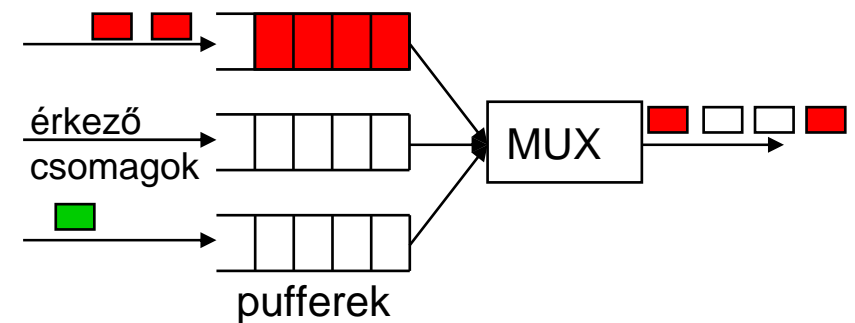
A linknek / csatornának statikus multiplexálás esetén vagy ... vagy ...

- vagy elegendően nagy kapacitásúnak kell lenni, hogy a csúcs rátát kezelni tudja
 - Pazarlás, mert az átlagos ráta nem használja ki a csatornát
- vagy az átlagos rátára alapozva kell dimenzionálni
 - ekkor pufferek (queue) szükségesek
 - mi lesz a csomag késéssel (delay)?



„Bursty traffic” és statikus multiplexálás – Késés (delay)

- Kiinduló helyzet:
 - nincs multiplexálás (queue van)
 - egy adatforrás ρ (bits/s) átlagos rátával
 - a link kapacitása C bits/s
 - a késés T
- Statikus multiplexálás esetén
 - Osszuk az adatforrást N egyforma adatforrásra (mindegyik átlagos rátája ρ/N).
 - Statikusan multiplexáljuk azokat ugyanazon a linken
 - Ekkor a késés (lényegében): $T_{TDM,FDM} = N T$
 - (ρ/N átlagos küldési ráta és C/N kiszolgálási ráta \rightarrow sorok hossza?)
- Statikus multiplexálás megnöveli a csomagok késését az N -szeresére
 - Ennek az oka: néhány csatorna sokszor „üres” (idle)



MAC sub-réteg

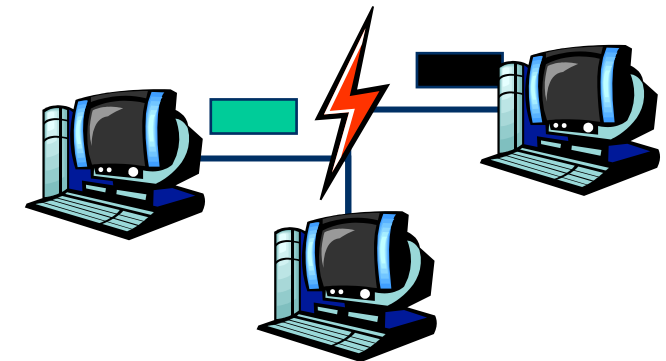
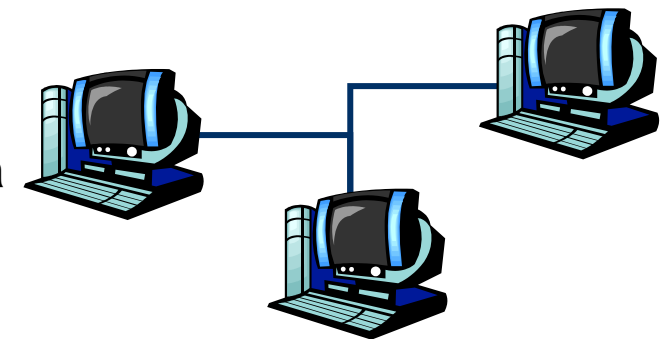
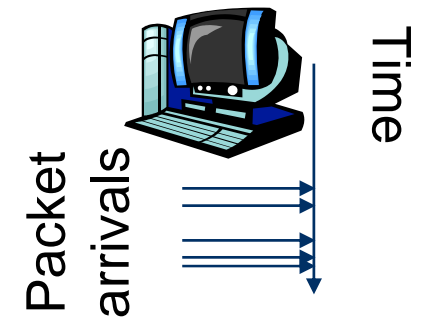
- Statikus Multiplexálás
- **Dinamikus csatorna foglalás**
 - Kollízió alapú protokollok
 - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
 - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- Az Ethernet példája

Dinamikus csatorna foglalás – MAC

- Statikus multiplexálás nem megfelelő löketszerű adatforgalom kezelésére
 - Telefon hálózatok forgalma nem löketszerű, számítógépes hálózatoké az
- Alternatíva: A csatorna/link/erőforrás hozzárendelése ahhoz a forráshoz aki éppen adatot akar küldeni
 - Dinamikus csatorna foglalás (channel allocation)
 - az erőforrás fix részének hozzárendelése helyett
- Szabályozni kell a médium hozzáférést:
 - Médium hozzáférés protokoll (Medium Access Control protocol - MAC) szükséges

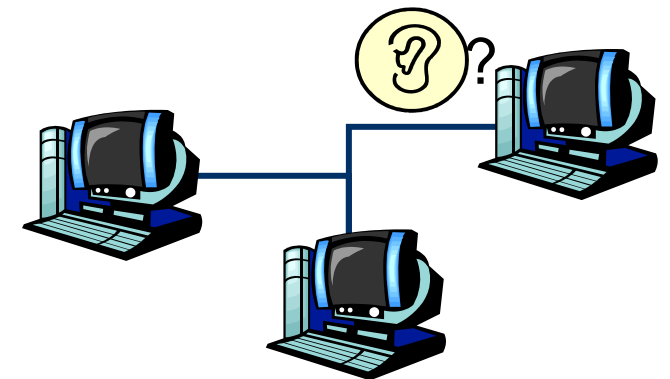
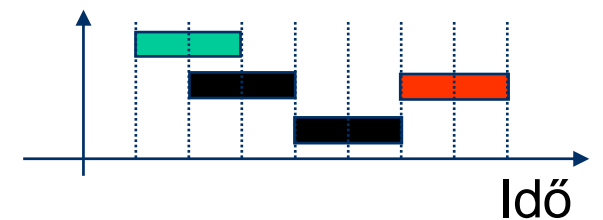
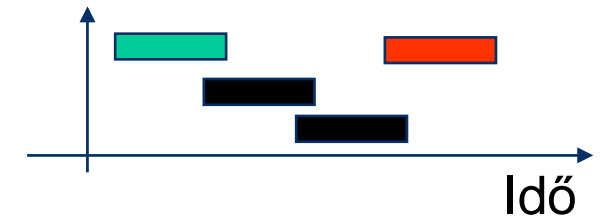
A dinamikus csatornafoglalás modellje

- **N állomás** (vagy N terminal)
 - N független állomás használja az adott erőforrást
 - Egy lehetséges **terhelés modell**: annak a valószínűsége, hogy egy állomás Δt intervallumban csomagot generál: $\lambda \Delta t$, ahol $\lambda = \text{konstans}$
- **Egy csatorna**
 - Az összes állomás részére együttesen egy csatorna áll rendelkezésre
 - A csatornán kívül semmilyen más lehetőség nincs kommunikálni egymással
- **Kollízió modell** (ütközés)
 - Egy időben csak egy frame vihető át eredményesen
 - Ha két (vagy több) frame időben átfedi egymást, akkor azok ütköznek és mindkettő szétrombolódik
 - Egy állomás se tudja fogadni egyik frame-et sem
 - Megjegyzés: ez alól a szabály alól van néha kivétel (pl. CDMA)



Modellek

- Időmodellek
 - Folytonos
 - Átvitel minden időben kezdődhet (nincs központi óra)
 - Diszkrét (Slotted time)
 - Az idő-tengely darabokra (slots) van osztva
 - Átvitel csak egy slot határán kezdődhet
 - Egy slot lehet üres (idle), vagy sikeresen átvitt, vagy kollíziót tartalmazó
- Vivő-érzékelés (Carrier Sensing)
 - Az állomások képesek felismerni, hogy éppen egy más állomás használja-e a csatornát
 - Nem feltétlenül megbízhatóan (pl. egy éppen kezdődő átvitelnél)
 - Ha a csatorna foglalt (busy), nem indít az állomás átvitelt



A hatékonyság mérése

- A csatornafoglalás hatékonyságának mértékei
- **Átvitel** (throughput)
 - Csomagok száma időegységenként
 - Különösen nagy terhelés esetén fontos
- **Késés** (delay)
 - Egy csomag átviteléhez szükséges idő
 - Alacsony terhelés esetén
- **Fairness**
 - Minden állomást egyenlőként kezelünk
 - Az átvitel és a késés körülbelül egyforma legyen az állomásokon

Átvitel és a feldolgozandó terhelés (offered load)

- **Feldolgozandó terhelés (offered load) G**

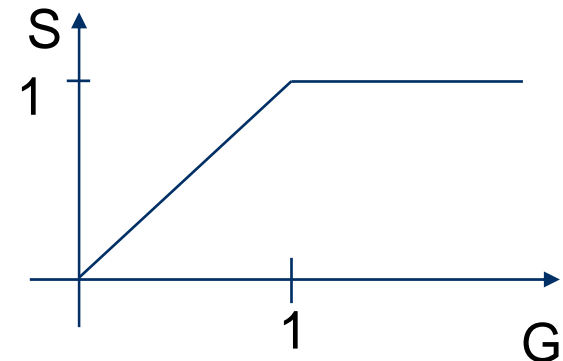
- A csomagok száma csomag-időegységként, amit a protokollnak kezelnie kell

- $G > 1$: túlterhelés

- **Ideális protokoll**

- Amíg $G < 1$, akkor az átvitel S egyenlő G -vel

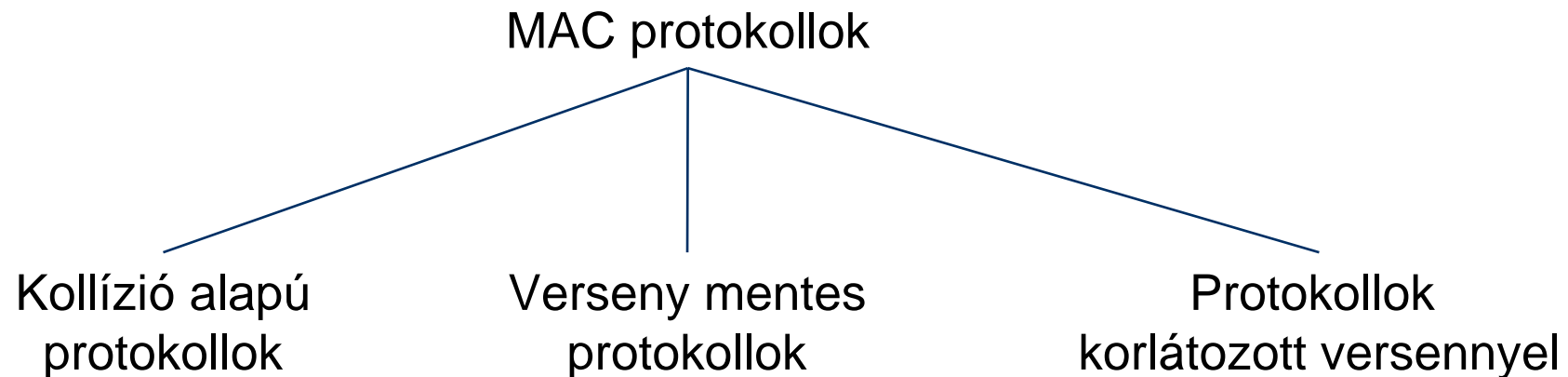
- Ha $G \geq 1$, akkor $S = 1$



- És: konstans kis késés tetszőlegesen sok állomás esetén is

Lehetséges MAC-protokollok

- Fő megkülönböztetés: Megenged-e a protokoll kollíziót?
 - Rendszer döntés
 - A feltétlen kollízió-elkerülés a hatékonyság csökkenésével járhat



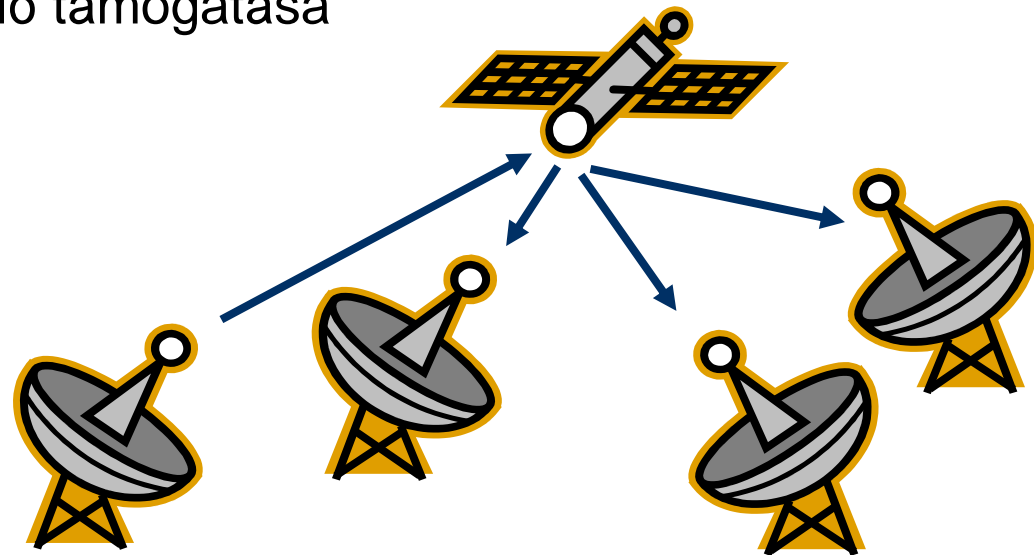
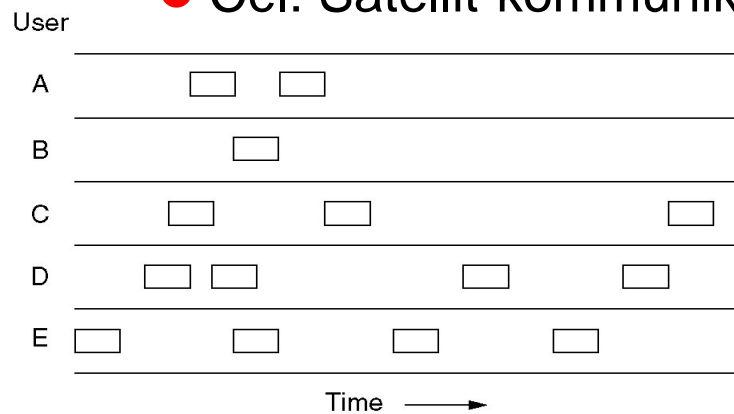
Rendszer, amelyben kollízió történhet:
Contention System (verseny rendszer)

MAC sub-réteg

- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
 - **Kollízió alapú protokollok**
 - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
 - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- Az Ethernet példája

ALOHA

- Algoritmus:
 - Amikor egy csomag kész, azonnal átvitelre kerül
- Történet:
 - 1985 by Abrahmson et al., University of Hawaii
 - Cél: Satellit-kommunikáció támogatása



A csomagok tetszőleges időben kerülnek átvitelre

ALOHA – Elemzés

- Előny
 - Egyszerű
 - Koordináció nem szükséges
- Hátrányok
 - Kollíziók
 - A küldő nem teszteli a csatorna állapotát
 - A küldőnek nincs direkt módszere arra, hogy megtudja, hogy eredményes volt-e az átvitel
 - Nyugták (ACK) szükségesek
 - A nyugták szintén ütközhetnek

ALOHA – Hatékonyság

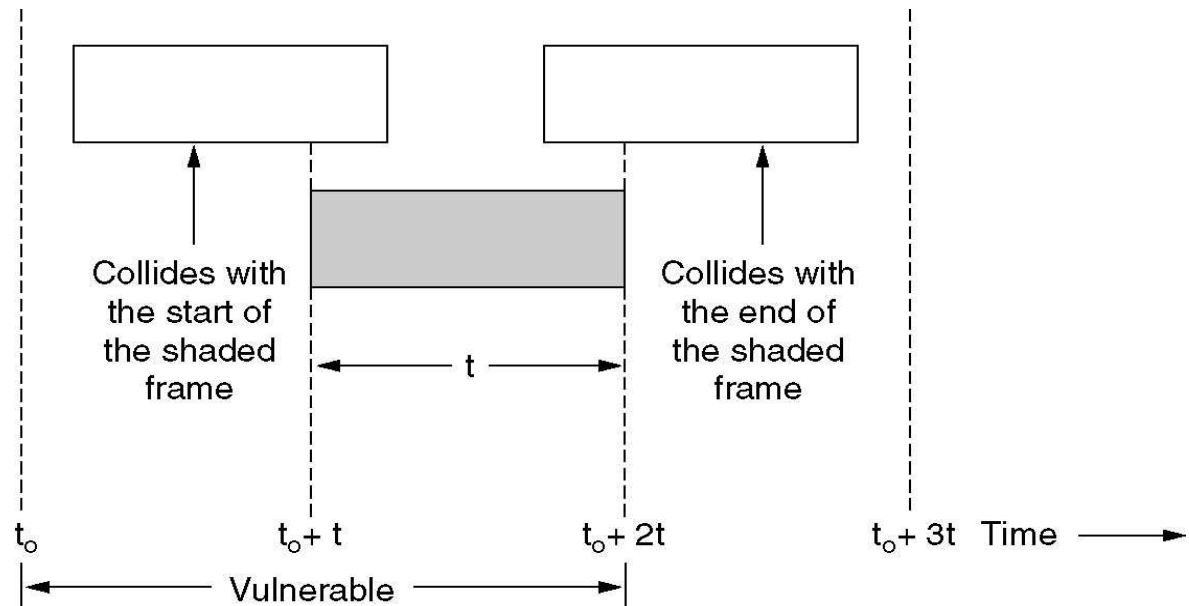
- Tegyük fel, hogy a csomagok létrehozása **Poisson-folyamat**:
 - „Végtelen” sok állomás, melyek egyformán, függetlenül viselkednek
 - Minden csomag egyforma hosszú, annak átviteléhez egységnyi idő kell
 - Az idő két küldési kísérlet között exponenciális eloszlású
 - Legyen G a küldési kísérletek számának várható értéke egységnyi idő alatt (egységnyi idő = egy csomag átviteléhez szükséges idő)
 - Ekkor:

$$P[k \text{ küldési kísérlet } t \text{ idő alatt}] = \frac{(Gt)^k}{k!} e^{-Gt}$$

- Ahhoz hogy sikeres átvitelt hajtsunk végre, nem szabad hogy kollízió lépjen fel egy másik csomaggal
- Mi ennek a valószínűsége?

ALOHA – Hatékonyság

- Egy X csomag ütközik, ha
 - egy csomag nem ért véget, amikor X indul
 - egy csomag kicsivel X vége előtt indul



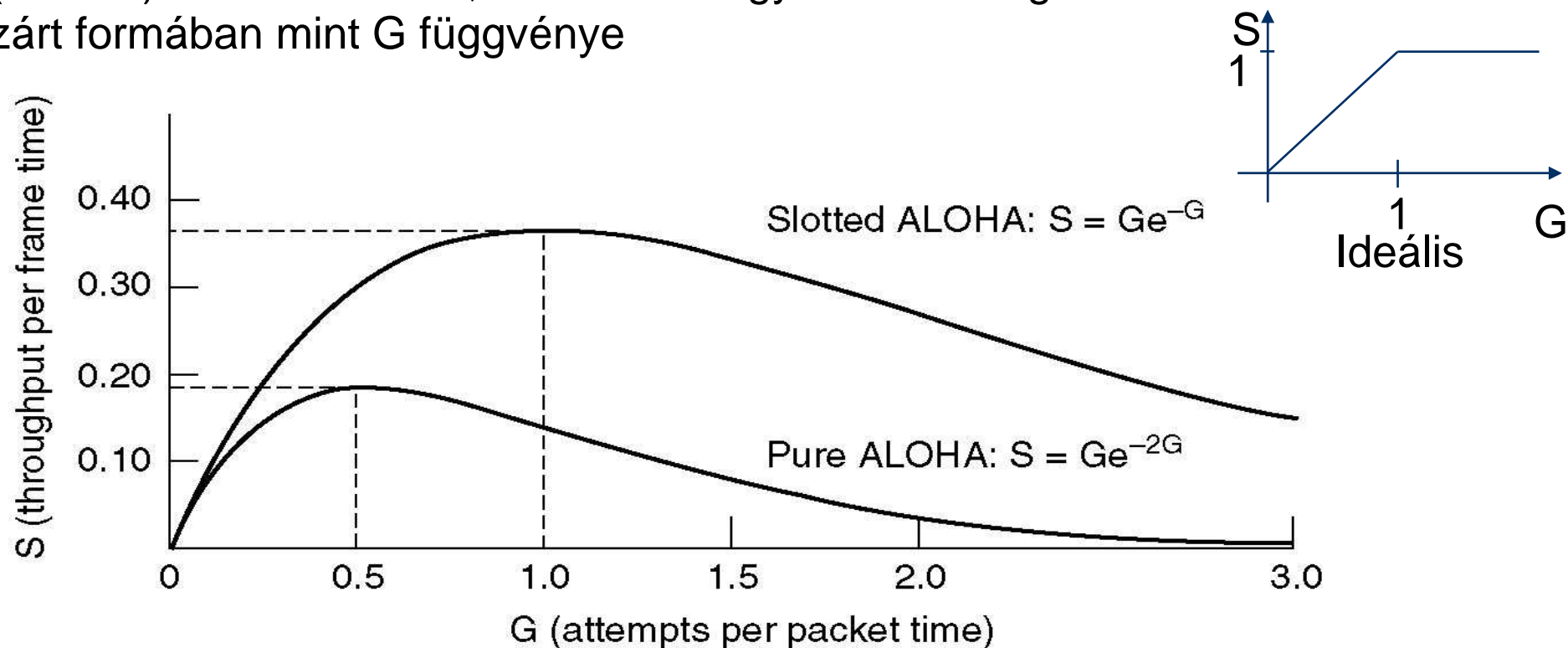
- Azaz, egy csomagátvitel akkor sikeres, ha két egységnyi időben nincs másik csomagátviteli kísérlet
 - Valószínűség: $P_0 = P(0 \text{ csomag } 2 \text{ egységnyi időben}) = e^{-2G}$
 - Maximális átvitel $S(G) = G * P_0 = G * e^{-2G}$
 - Optimum $G = 0,5$ -nál: $S = 1/(2e) \approx 0,184$

Egy javítás: Slotted ALOHA

- ALOHA problémája: a csomag „sebezhetőségi” ideje hosszú (2 időegység)
- Csökkentsük idődarabok (slot) bevezetésével – átvitel csak egy slot elején kezdődhet
 - Feltesszük, hogy a slot-ok szinkronizálása „valahogy” rendelkezésre áll
- Eredmény: Sebezhetőségi idő feleződik, az átvitel megduplázódik
 - $S(G) = Ge^{-G}$
 - Optimum $G=1$ -nél: $S=1/e$

Hatékonyság a feldolgozandó terhelés függvényében

- (Slotted) ALOHA esetén, az átvitel S egyszerűen megadható zárt formában mint G függvénye



→ Nem jó protokoll

- Az átvitel összezuhan, ha nő a terhelés!

Vivő-érzékelés (Carrier Sensing)

- (Slotted) ALOHA egyszerű, de nem kielégítő
- Stratégia: Figyelünk mielőtt beszélünk (udvariasság segít)
- Figyeljük a vivő médiumot (carrier), hogy szabad-e, mielőtt adatot küldünk
 - **Carrier Sense Multiple Access (CSMA)**
 - Nem viszünk át adatot, ha nem szabad (egy másik állomás éppen adatot visz át)
- Alapvető kérdés: Hogyan viselkedjünk pontosan, ha a medium nem szabad?
 - Különösen: MIKOR próbáljuk újra az átvitelt?

1-persistent CSMA

- Ha a vivő médium nem szabad, várjunk, amíg szabad lesz
- Akkor azonnal kezdjük meg az átvitelt
- Ha kollíziót tapasztalunk, akkor
 - várjunk véletlenül választot ideig és ismételjük meg előlről
- „Türelmetlen” várakozás (persistent waiting)
- Nyilvánvaló probléma: ha több állomás vár, akkor *garantált* a kollízió!
- Azért jobb, mint az ALOHA vagy a slotted ALOHA

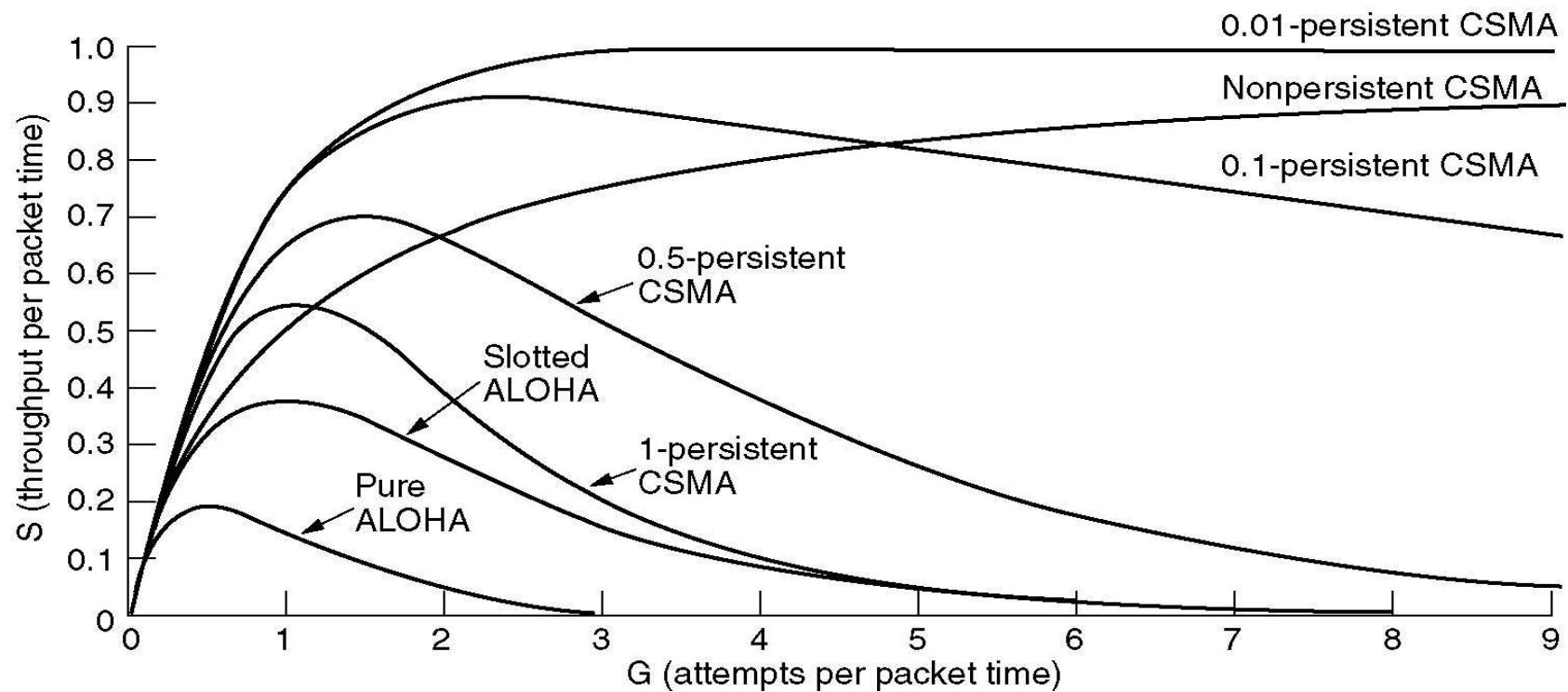
Non-persistent CSMA

- Ha a csatorna szabad, kezdjük meg az átvitelt
- Ha a csatorna nem szabad,
 - várjunk véletlenül választott ideig
 - utána ellenőrizzük újra, hogy a csatorna szabad-e, és így tovább
- A csatornát nem ellenőrizzük folyamatosan
 - kevésbé mohó
- A hatékonyság függ attól, hogy milyen eloszlás szerint választjuk a várakozási időt a következő ellenőrzésig
 - Általánosan, jobb átvitelt eredményez, mint a „persistent CSMA” magas terhelés esetén
 - Alacsony terhelés esetén a várakozás nem szükséges és pazarló

p-persistent CSMA

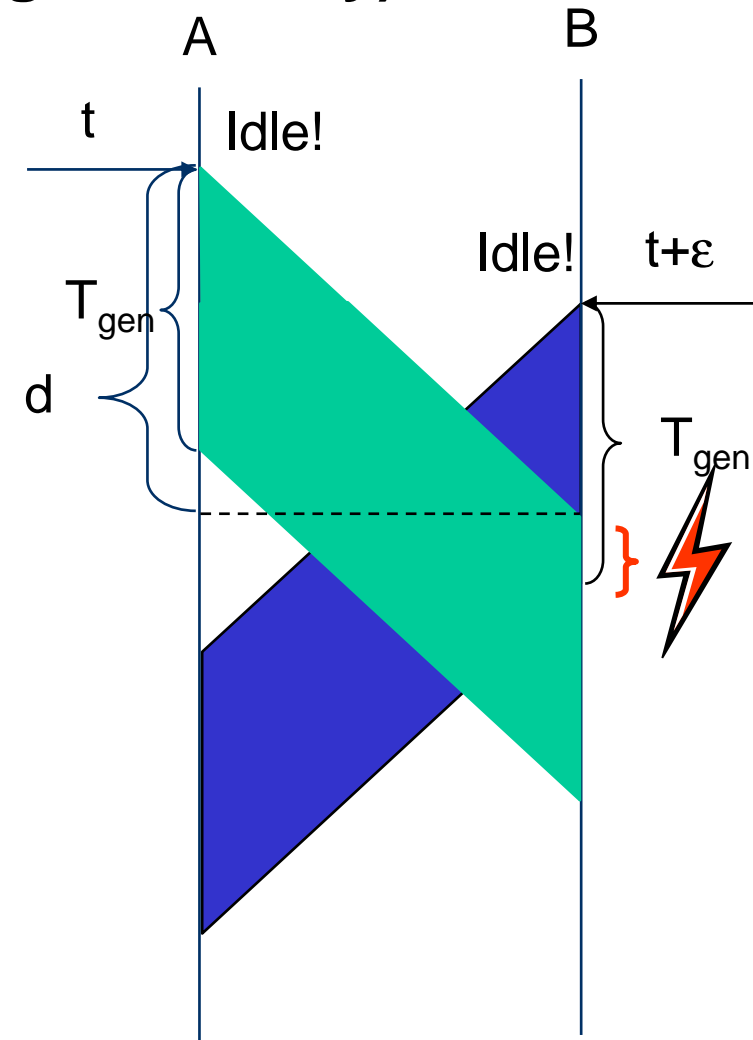
- A persistent és a non-persistent CSMA kombinációja
 - idő-slot modellt használ
- 1. Ha a csatorna szabad,
 - p valószínűséggel küldjük a csomagot
 - ha kollíziót tapasztalunk,
 - várjunk véletlen ideig
 - kezdjük újra az 1. pontban
 - egyébként ($1-p$ valószínűséggel)
 - várjunk a következő slot-ra
 - folytassuk az 1. pontban
- 2. Ha a csatorna foglalt
 - figyeljük folyamatosan, amíg nem lesz szabad, azután folytassuk az 1. pontban

CSMA hatékonysága



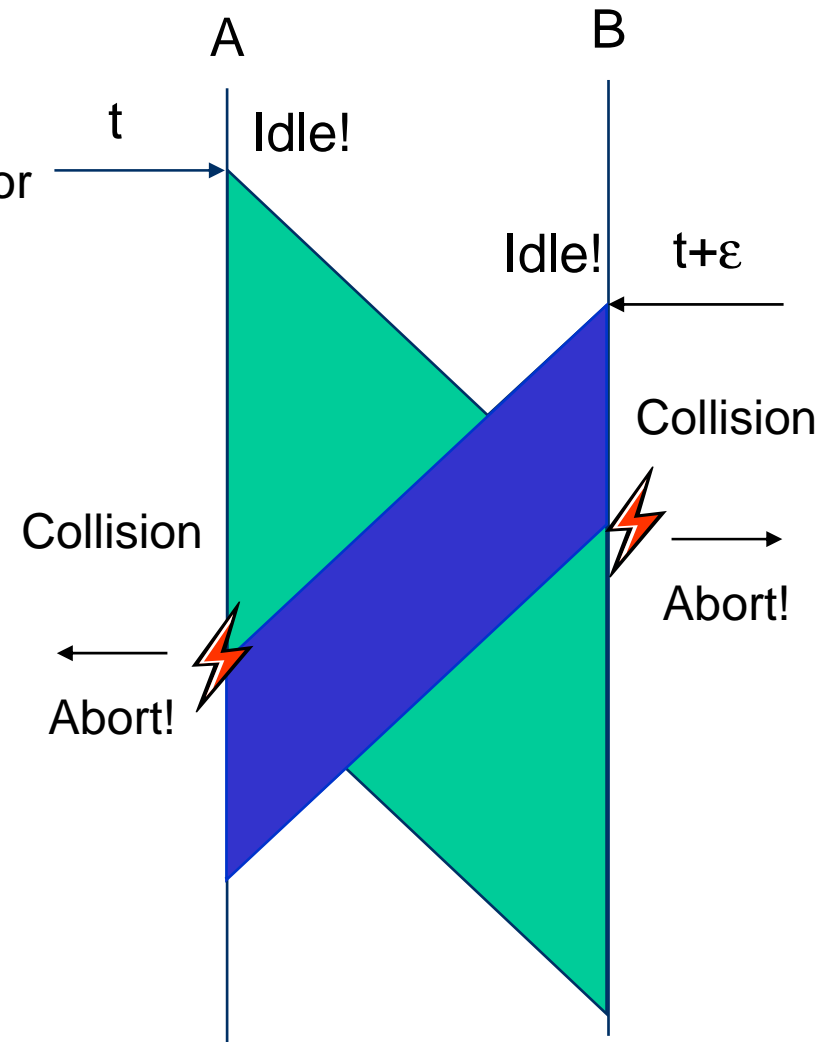
CSMA és propagációs késés (propagation delay)

- Minden CSMA sémának van egy elvi korlátja: A **propagációs késés d**
- Tegyük fel, két állomás lesz küldésre kész, az egyik t , a másik $t+\varepsilon$ időpontban
 - t időpontban a csatorna teljesen szabad
 - Az állomások között a propagációs késés $d > \varepsilon$
- A második állomás nem tudja érzékelni az első állomás már megkezdett átvitelét
 - Egy szabad csatornát érzékel, elindítja a küldést, és kollíziót okoz



Kollízió felismerés (collision detection) – CSMA/CD

- Ha két csomag ütközik, sok idő veszik el azok átvitelének befejezésére
 - Ha lehetséges lenne felismerni egy kollíziót amikor az fellép, az átvitelt lehetne abortálni és egy új próbát tenni
 - Az elvesztegetett idő csökken, nem kell megvárni, hogy a (szétrombolt) csomagok befejeződjenek
 - A fizikai rétegtől függően, a kollízió felismerhető!
 - Szükséges: A küldőnek képesnek kell lenni „hallgatni” a médiumot miközben küld és összehasonlítani amit küld és amit „hall”
 - Ha különbözik: Kollízió
- **CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection**
- Feltétel, hogy felismerjük mindkét oldalon:
$$T_{\text{gen}} \geq 2d$$
 - T_{gen} : csomag generálási ideje

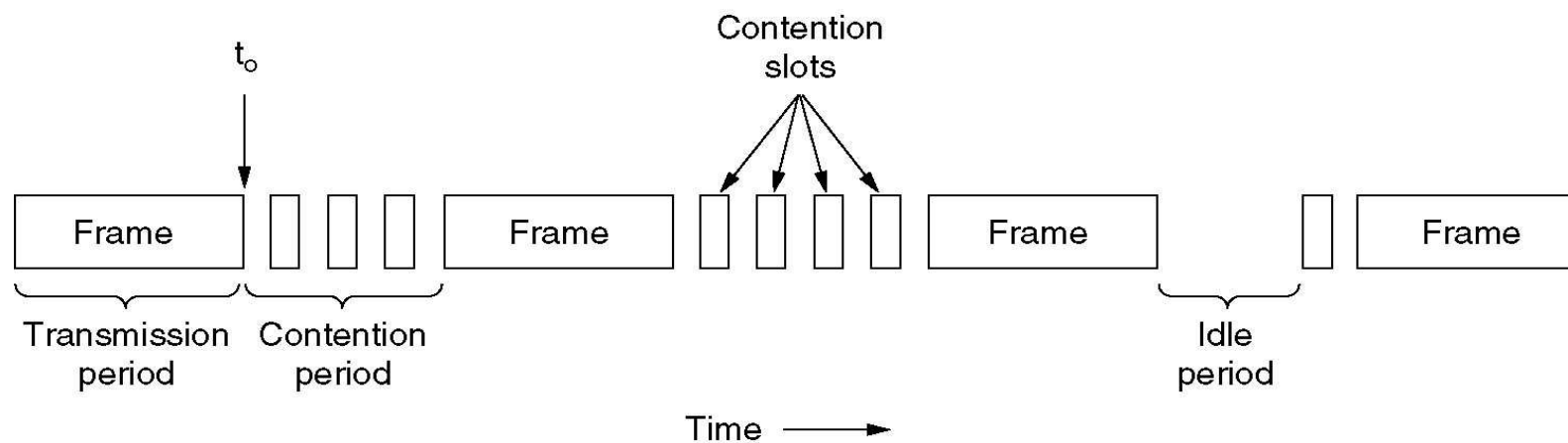


Mi a teendő kollízió esetén?

- Az állomások át akarják vinni a csomagjaikat a kollízió ellenére
 - Újra meg kell próbálniuk
 - Azonnal? Ez egy másik kollíziót okozna
 - Valahogy koordinálva? Nehéz, nem áll rendelkezésre kommunikációs médium
 - Várjunk egy véletlen ideig!
 - Randomizálás “de-szinkronizálja” a médium hozzáférést, és ezzel segít elkerülni a kollíziót
 - Valamennyi kihasználatlan időt eredményez
- Váltakozva verseny- és átviteli-periódusok

CSMA/CD periódusai

- Üres periódus (IDLE)
 - Egyik állomás sem küld frame-et
 - Verseny periódus (Contention Period)
 - Kollíziók történhetnek, az átvitel abortálódik
 - Átviteli periódus (Transmission Period)
 - Nincs Kollízió, a protokoll effektív része
- Csak verseny-, átviteli- és üres periódus van



Hogy válasszuk meg a véletlen várakozási időt?

- A legegyszerűbb választás: Válasszunk ki egyet k slot közül
 - Egyszerűség kedvéért tételezzünk fel egy slot-okra osztott idő modellt
 - Egyenletes eloszlás szerint $\{0, \dots, k-1\}$ felett
 $[0, \dots, k-1]$: verseny ablak (**contention window**)
 - Kérdés: hogy válasszunk meg k -t?
 - Kicsi k : Kicsi delay, de nagy az esély ismételt kollízióra
 - Nagy k : Kicsi az ismételt kollízió esélye (mivel az állomások kísérletei egy nagy intervallumra oszlanak el), de szükségtelenül nagy a delay, ha csak kevés állomás akarja használni a csatornát
- **Adaptáljuk** k választásához az állomások aktuális számát / csatorna terhelést

Hogyan változtassuk k -t a terheléstől függően?

- Egy lehetőség: derítsük ki *valahogy* explicit az állomások számát, számítsunk ki ehhez egy optimális k -t, tudassuk ezt minden állomással
 - Nehéz, magas overhead, ...
 - Lehetséges egy *implicit* megoldás?
- Milyen következményekkel jár egy kicsi k , ha a terhelés nagy?
 - Sok kollízió!
 - Tehát: Használjuk a kollíziókat indikátorként, hogy a verseny ablak túl kicsi – növeljük meg a verseny ablak méretét!
 - Csökkenni a kollíziók valószínűségét, automatikusan adaptálja a terhelés növekedését
- Kérdés: Hogy növeljük k -t a kollízió után, hogy csökkentsük újra?

Hogy változtassuk k-t – Binary exponential backoff

- Növeljük k-t a **kollízió után**: sok lehetőség van
 - Általánosan használt: **duplázzuk** meg k-t
 - De csak egy korlátig, mondjuk, 1024 slot – kezdjük k=2-vel
 - Ezt a stratégiát **binary exponential backoff**-nak hívják
- Csökkentsük k-t, ha elegendően sok frame kollízió mentesen átvitelre került
 - Lehetőségek: vonjunk ki belőle egy konstanst (TCP), felezzük meg, ...
 - Viszonylag komplikált, erőforrást pazarolhat, miközben nem elég agilis
 - A legegyszerűbb: induljunk megint k=1-gyel
 - Általánosan használt

Hogy változtassuk k-t – Binary exponential backoff

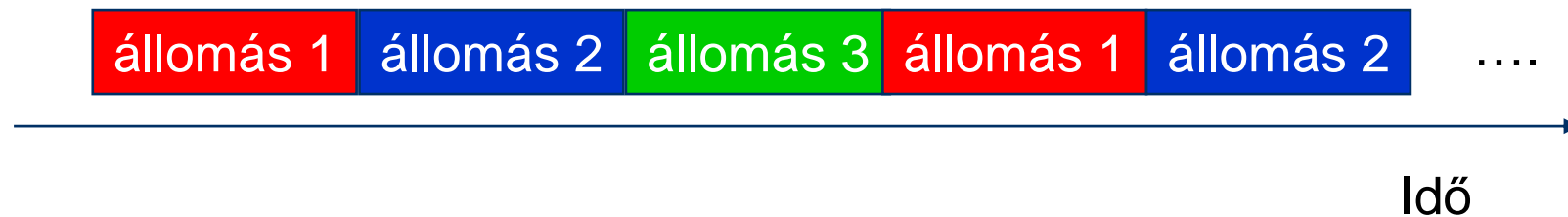
- Algoritmus **binary exponential backoff**
 - $k := 2$
 - Amíg az utolsó küldésnél kollízió történt
 - Válasszuk i -t egyenlő valószínűséggel véletlenül $\{0, \dots, k-1\}$ közül
 - Várjunk i slot-ot
 - Küldjük a frame-et (kollízió felismerése esetén: abort)
 - Ha $k < \text{limit}$: $k := 2k$
- Ez az algoritmus
 - a várakozási időt dinamikusan a csatornát használó állomások számához igazítja
 - gondoskodik a csatorna egyenletes kihasználásáról
 - fair (hosszú távon)

MAC sub-réteg

- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
 - Kollízió alapú protokollok
 - **Verseny-mentes protokollok (contention-free)**
 - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- Az Ethernet példája

Verseny mentes protokollok

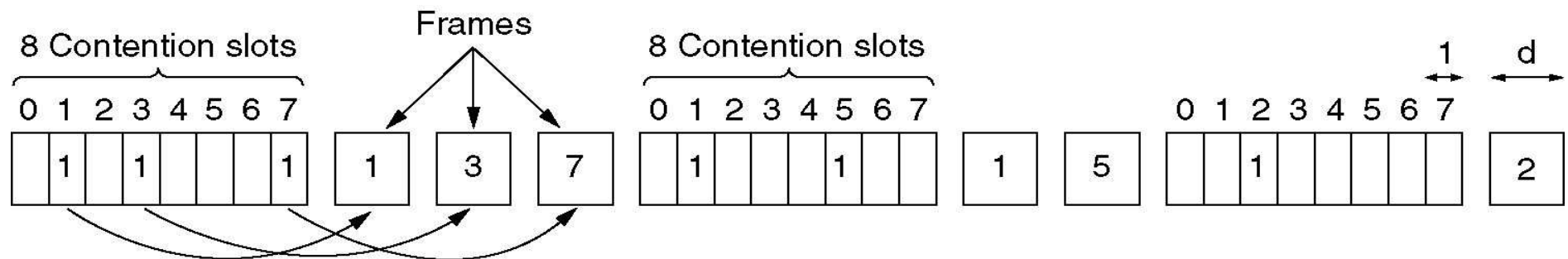
- Egyszerű példa: Statikus (idő-) multiplexálás (TDMA)
 - Minden állomáshoz egy fix idő-slotot rendelünk egy ismétlődő idő idő-séma szerint



- Hátrányait elemeztük
- Van-e dinamikus kollízió mentes protokoll?

Bit-map protokoll

- A TDMA problémája
 - Ha az állomás nem küld semmit, az idő-slotja kihasználatlan
- Foglalási rendszer: Bit-map protocol
 - Rövid statikus foglalás-slotok, melyek jelzik az átvitel kívánságot
 - Minden állomásnak hallani kell



Bitmap-Protokollok

- Tulajdonságok alacsony terhelés esetén
 - Ha nincs csomagküldés, akkor az (üres) verseny-slot ismétlődik
 - Egy állomás, ha küldeni akar, meg kell várnia a verseny-slotokat
 - Viszonylag nagy késés (delay)
- Tulajdonságok nagy terhelés esetén
 - A csatornát az adatcsomagok dominálják
 - Az adatcsomagok nagyobbak mint a verseny-slotok
 - Az overhead elhanyagolható
 - Jó és stabil átvitel (throughput)
- Bitmap egy Carrier-Sense protokoll!