Számítógépes Hálózatok 2008

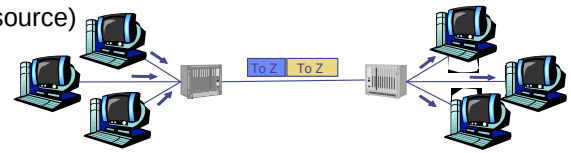
6. Adatkapcsolati réteg –
MAC, Statikus multiplexálás, (slotted) Aloha, CSMA

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

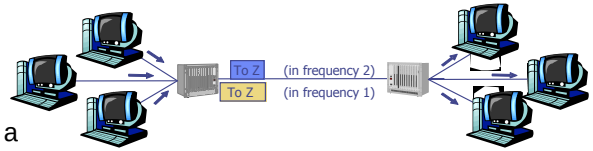
- **Statikus multiplexálás**
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- Az Ethernet példája

Statikus multiplexálás

- Adott egy link (erőforrás / ressource)
  - A kommunikációs kapcsolatokhoz fix időegységeket (TDM) / frekvenciasávot (FDM) / csatornákat rendelünk

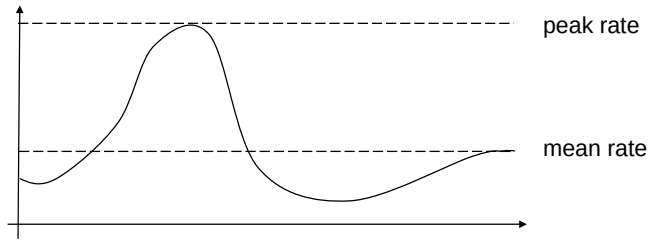


- Ez akkor jó megoldás, ha
  - fix adatráták vannak és a sávszélességet annak megfelelően osztjuk csatornákra
  - A források a vezetéket jól kihasználják



Löketszerűen érkező adatok (bursty traffic)

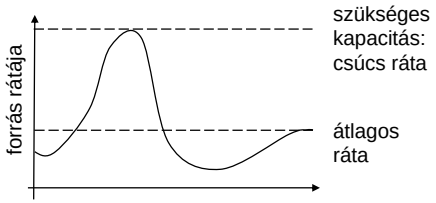
- Probléma: **bursty traffic**
  - Definíció: nagy különbség a forgalom **csúcs rátá**ja (**peak rate**) és az **átlagos rátá**ja (**mean** or **average rate**) között
  - Számítógép-hálózatokban peak rate / mean rate = 1000/1 nem szokatlan

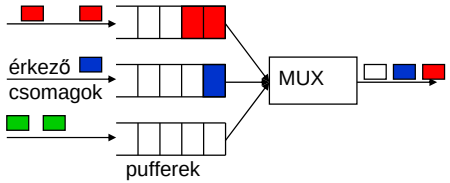


Löketszerűen érkező adatok és statikus multiplexálás

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

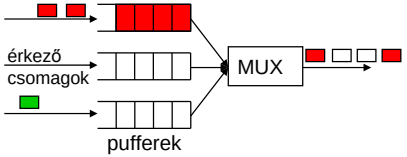
- vagy elegendően nagy kapacitásúnak kell lenni, hogy a csúcs rátát kezelni tudja
  - Pazarlás, mert az átlagos ráta nem használja ki a csatornát
- vagy az átlagos rátára alapozva kell dimenzionálni
  - ekkor pufferek (queue) szükségesek
  - mi lesz a csomag késéssel (delay)?





„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 ➔ sorok hossza?)
- Statikus multiplexálás megnöveli a csomagok késését az N-szeresére
  - Ennek az oka: néhány csatorna sokszor „üres” (idle)



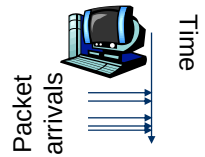
MAC alréteg

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

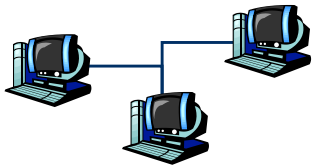
Dinamikus csatorna foglalás – MAC

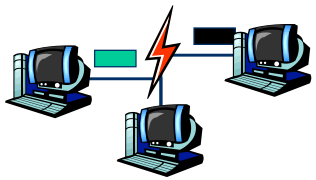
- Statikus multiplexálás nem megfelelő löketszerű adatforgalom kezelésére
  - Telefon hálózatok forgalma nem löketszerű, számítógépes halózatoké az
- Alternatíva: A csatorna/link/erőforrás hozzárendelése ahhoz a forráshoz aki éppen adatot akar küldeni
  - Dinamikus csatorna foglalás (channel allocation)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

A dinamikus csatornafoglalás modellje



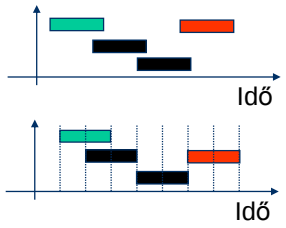
- **N állomás** (vagy N terminal)
  - N független állomás használja az adott erőforrást
  - Egy lehetséges **terhelés modell**: annak a valószínűsége, hogy egy állomás Δt intervallumban csomagot generál: λ Δt, ahol λ = konstans
- **Egy csatorna**
  - Az összes állomás részére együttesen egy csatorna 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)



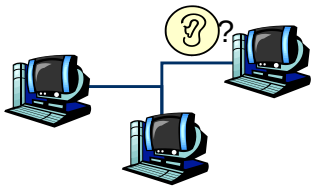


Modellek

- 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 üresek (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

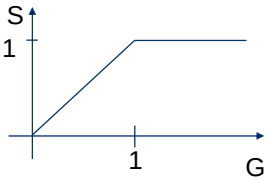


A hatékonyság mérése

- 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)

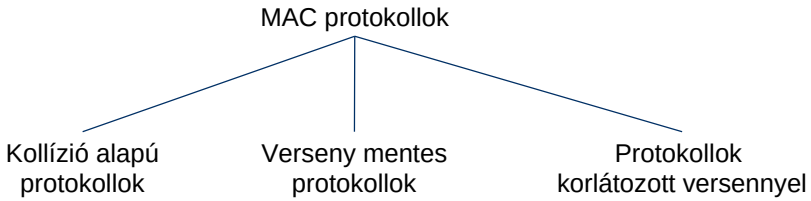
- **Feldolgozandó terhelés** (**offered load**) **G**
  - A csomagok száma csomag-időegységenként, amit a protokollnak kezelnie kell
  - G>1: túlterhelés
- Ideális protokoll
  - Amíg G<1, akkor az átvitel S egyenlő G-vel
  - Ha G≥1, akkor S = 1



  - 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



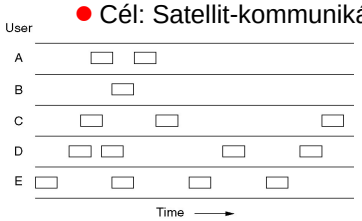
Rendszer, amelyben kollízió történhet:
Contention System (verseny rendszer)

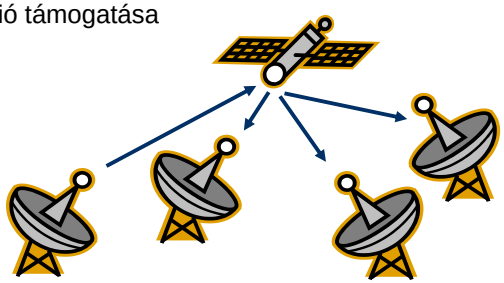
MAC alréteg

- 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

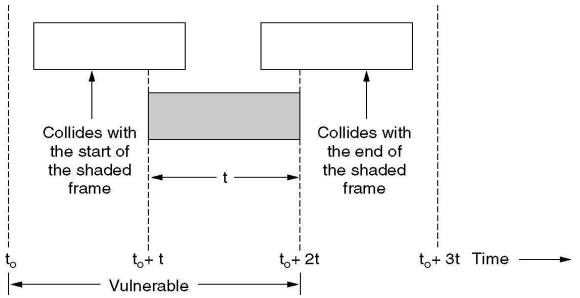
- Tegyük fel, hogy a csomagok létrehozása **Poisson-folyamat**:
  - „Végtelen” sok állomás, melyek egyformán, függetlenül viselkednek
  - Minden csomag egyforma hosszú, annak átviteléhez egységnyi idő kell
  - Az idő két küldési kisérlet között exponenciális eloszlású
  - Legyen G a küldési kisérletek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

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

- 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



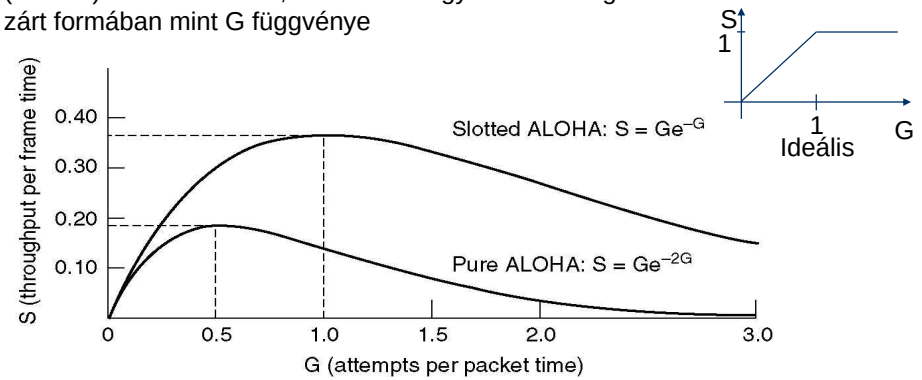
- Azaz, egy csomagátvitel akkor sikeres, ha két egységnyi időben nincs másik csomagátviteli kisérlet
  - Valószínűség: P_0 = P (0 csomag 2 egységnyi időben) = e^{-2G}
  - Maximális átvitel S(G) = G * P_0 = G * e^{-2G}
  - Optimum G = 0,5-nál: S = 1/(2e) ≈ 0,184

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



- Az átvitel összezuhan, ha nő a terhelés!

Vivő-érzékelés (Carrier Sensing)

- (Slotted) ALOHA egyszerű, de nem kielégítő
- Stratégia: Figyeljünk 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 elölről

- „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

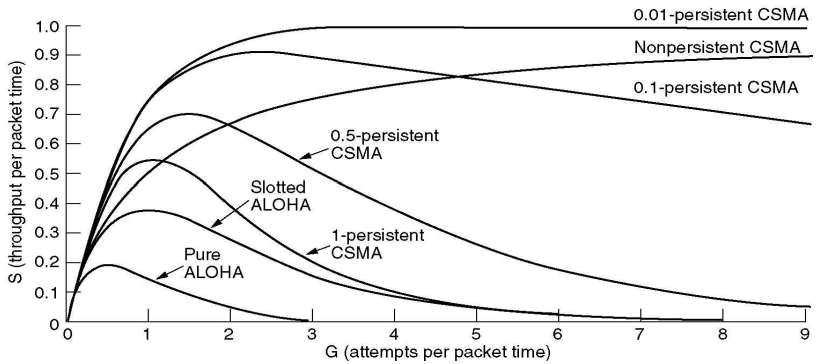
- A hatékonyság függ attól, hogy milyen eloszlás szerint választjuk a várakozási időt a következő ellenőrzésig
  - Általánosan, jobb átvitelt eredményez, mint a „persistent CSMA” magas terhelés esetén
  - Alacsony terhelés esetén a várakozás nem szükséges és pazarló

p-persistent CSMA

- A persistent és a non-persistent CSMA kombinációja
  - idő-slot modellt használ

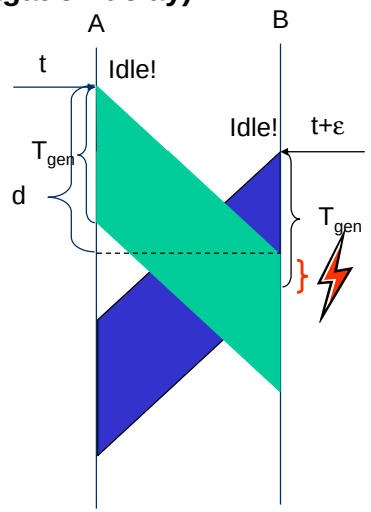
1. Ha a csatorna szabad,
   - p valószínűséggel küldjük a csomagot
     - ha kollíziót tapasztalunk,
       - várjunk véletlen ideig
       - kezdjük újra az 1. pontban
   - egyébként (1-p valószínűséggel)
     - várjunk a következő slot-ra
     - folytassuk az 1. pontban
2. Ha a csatorna foglalt
   - 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+ε időpontban
  - t időpontban a csatorna teljesen szabad
  - Az állomások között a propagációs késés d > ε
- 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

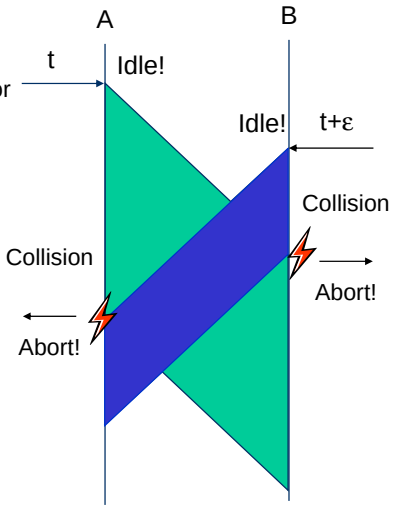
- Ha két csomag ütközik, sok idő veszik el azok átvitelének befejezésére
- Ha lehetséges lenne felismerni egy kollíziót amikor az fellép, az átvitelt lehetne abortálni és egy új próbát tenni
  - Az elvesztegetett idő csökken, nem kell megvárni, hogy a (szétrombolt) csomagok befejeződjenek
- A fizikai 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:

$$T_{gen} \geq 2d$$

  - T_{gen}: csomag generálási ideje



Mi a teendő kollízió esetén?

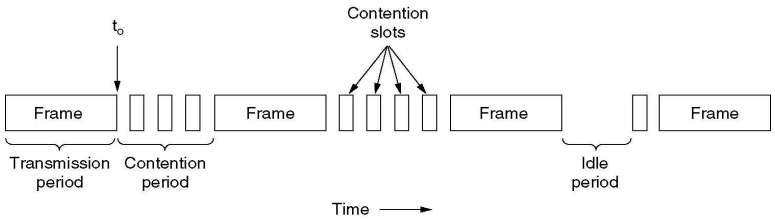
- Az állomások át akarják vinni a csomagjaikat a kollízió ellenére
- Újra meg kell próbálniuk
  - Azonnal? Ez egy másik kollíziót okozna
  - Valahogy koordinálva? Nehéz, nem áll rendelkezésre kommunikációs médium
  - Várjunk egy véletlen ideig!
    - Randomizálás “deszinkronizálja” a médium hozzáférést, 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,…, k-1} felett [0,…, 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 kisérletei 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!
    - Csökkenti 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, 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

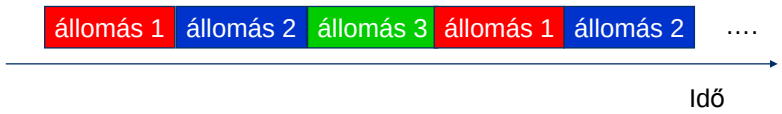
- Algoritmus **binary exponential backoff**
  - k := 2
  - Amíg az utolsó küldésnél kollízió történt
    - Válasszuk i-t egyenlő valószínűséggel véletlenül {0,...,k-1} közül
    - Várjunk i slot-ot
    - Küldjük a frame-et (kollízió felismerése esetén: abort)
    - Ha k < limit: k := 2 k
- Ez az algoritmus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

MAC alréteg

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

Verseny mentes protokollok

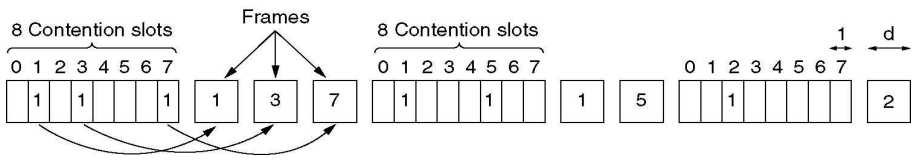
- Egyszerű példa: Statikus (idő-) multiplexálás (TDMA)
  - Minden állomáshoz egy fix idő-slotot rendelünk egy ismétlődő idő idő-séma szerint



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

Bit-map protokoll

- A TDMA probémája
  - 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 (througput)

- Bitmap egy Carrier-Sense protokoll!