Számítógépes Hálózatok 2013

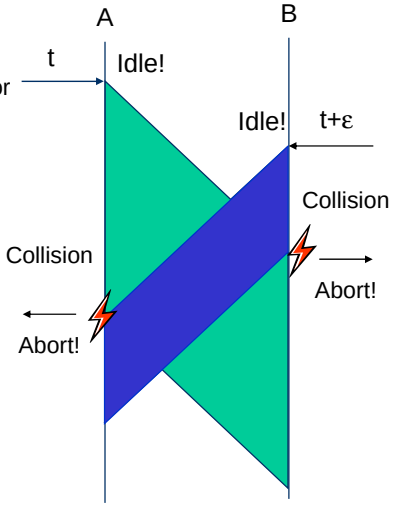
6. Adatkapcsolati réteg, MAC – CSMA/CD, versenymentes protokollok, korlátozott verseny, Ethernet; LAN-ok összekapcsolása

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?

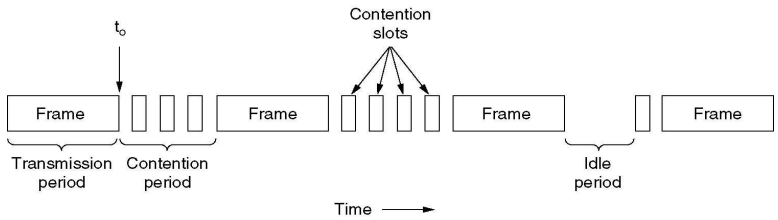
- Az állomások át akarják vinni a csomagjaikat a kollízió ellenére
- Újra meg kell próbálniuk
  - Azonnal? Ez egy másik kollíziót okozna
  - Valahogy koordinálva? Nehéz, nem áll rendelkezésre kommunikációs médium
  - Várjunk egy véletlen ideig!
    - Randomizálás “deszinkronizálja” a médium hozzáférést,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

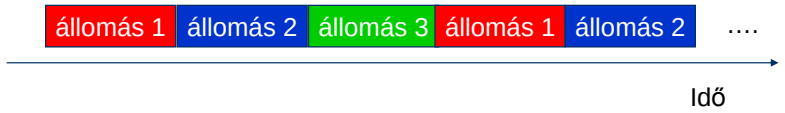
- Ez az algoritmus
  - a várakozási időt dinamikusan a csatornát használó állomások számához igazítja
  - gondoskodik a csatorna egyenletes kihasználásáról
  - fair (hosszú távon)

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

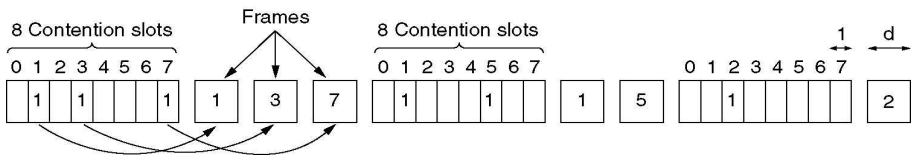
- Egyszerű példa: Statikus (idő-) multiplexálás (TDMA)
  - Minden állomáshoz egy fix idő-slotot rendelünk egy ismétlődő idő idő-séma szerint



- 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!

MAC alréteg

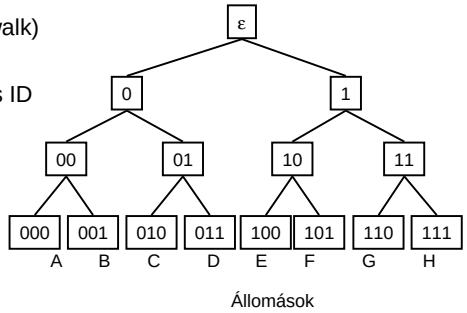
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - **Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)**
- Az Ethernet példája

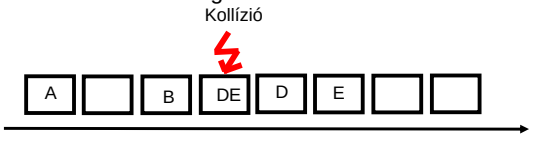
Protokollok korlátozott versennyel

- Cél:
  - kis késés (delay) alacsony terhelés esetén
    - mint a kollízió alapú protokolloknál
  - nagy átvitel (throughput) nagy terhelés esetén
    - mint a verseny mentes protokolloknál
- → korlátozott verseny (verseny a verseny slotoknál)
- Ötlet:
  - A verseny slotokhoz vegyük figyelembe a résztvevő állomások számát
  - Több állomásnak kell használni egy slotot

Adaptív fa bejárás protokoll

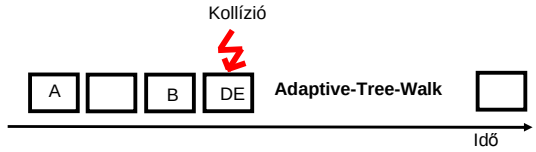
- Adaptív fa bejárás protokoll (adaptive tree walk)
- Kiindulópont:
  - Minden állomást egy egyértelmű, bináris ID reprezentál
  - Az ID-k egy fa leveleinek felelnek meg
  - Szinkronizált protokoll
  - A fa egy u csomópontjánál 3 esetet különböztethetünk meg:
    - nem küld állomás u részfájában
    - pontosan egy állomás küld
    - kollízió: legalább két állomás küld





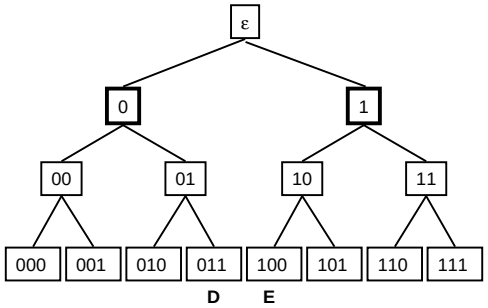
Adaptív fa bejárás protokoll – Alap algoritmus

- Alap_Algoritmus
  - Minden állomás azonnal küld (slotted Aloha)
  - Ha kollízió lép fel,
    - Egy állomás sem fogad el új csomagot a hálózati rétegtől
    - Hajtsuk végre az **adaptive_tree_walk(ε)** eljárást

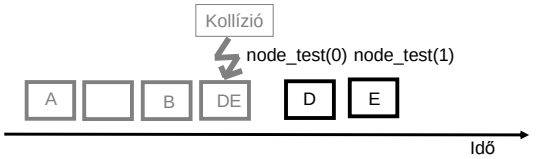


Adaptív fa bejárás protokoll – Csomópont teszt

- Csomópont-teszt algoritmus (node_test)
  - a fa egy u csomópontjához
- **node_test(u)**
  - Tekintsünk egy slotot u-hoz
  - A slotban azon állomások küldenek, amelyek u részfájában vannak (amelyek ID-ja u-val kezdődik)

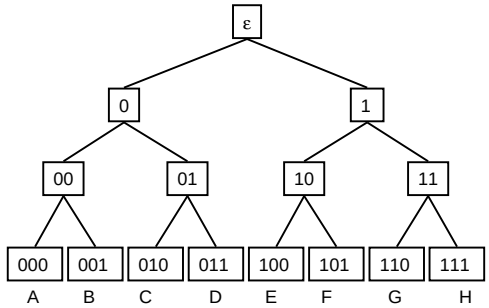


Kollíziót okozó állomások



Adaptív fa bejárás protokoll – Alap algoritmus

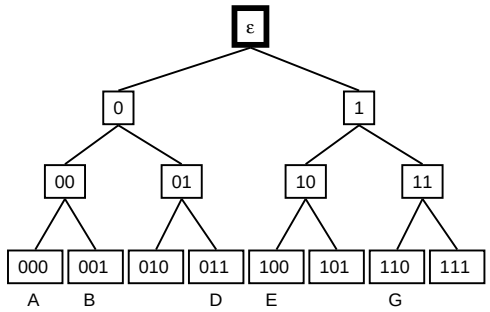
- Csomópont-teszt algoritmus
  - a fa egy u csomópontjához
- **node_test(u)**
  - Tekintsünk egy slotot a fa u csomópontjához
  - A slotban azon állomások küldenek, amelyek u részfájában vannak (amelyek ID-je u-val kezdődik)
- **adaptive_tree_walk(x)**
  - node_test(x0)
  - Ha kollízió lép fel,
    - adaptive_tree_walk(x0)
  - node_test(x1)
  - Ha kollízió lép fel,
    - adaptive_tree_walk(x1)

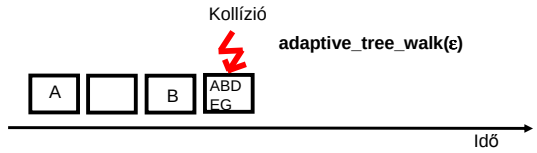


állomások

Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (1)

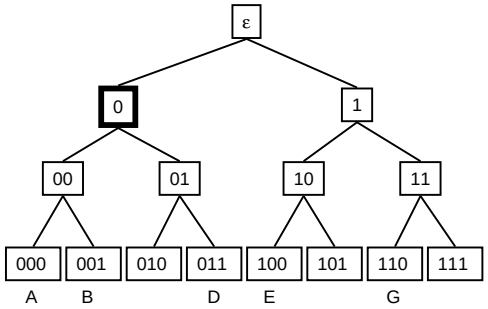
Kollíziót okozó állomások



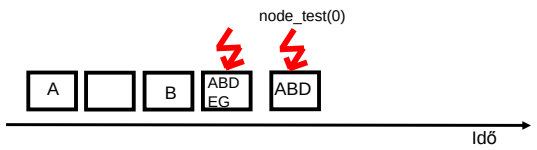


Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (2)

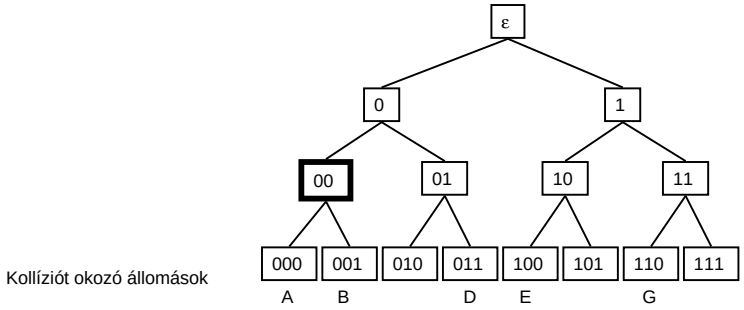
Kollíziót okozó állomások



adaptive_tree_walk

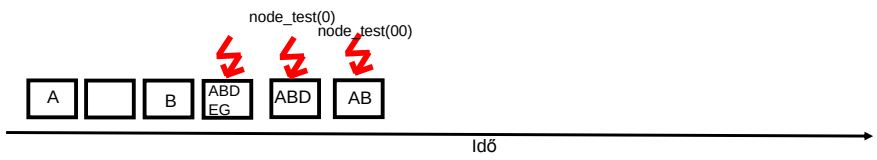


Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (3)

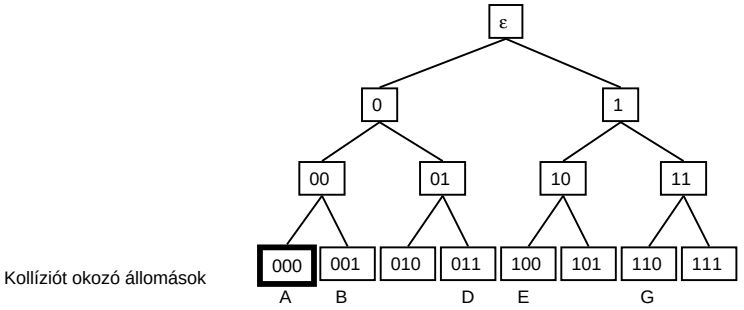


Kollíziót okozó állomások

Adaptive_tree_walk

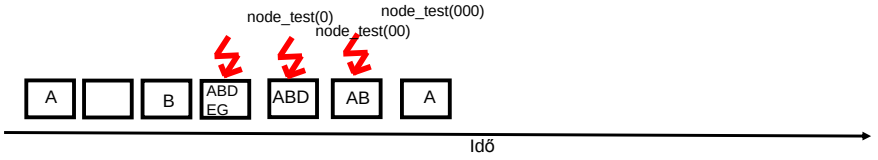


Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (4)

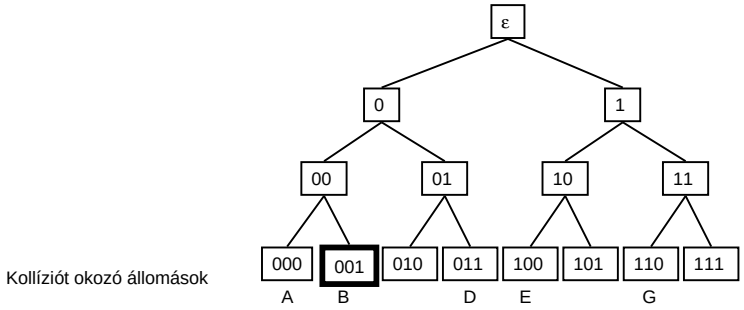


Kollíziót okozó állomások

Adaptive_tree_walk

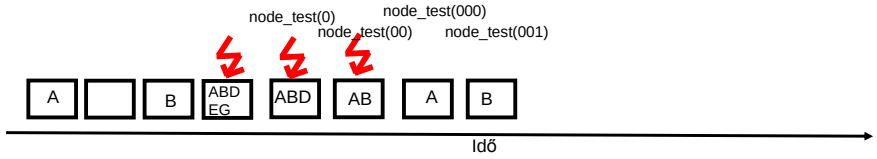


Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (5)

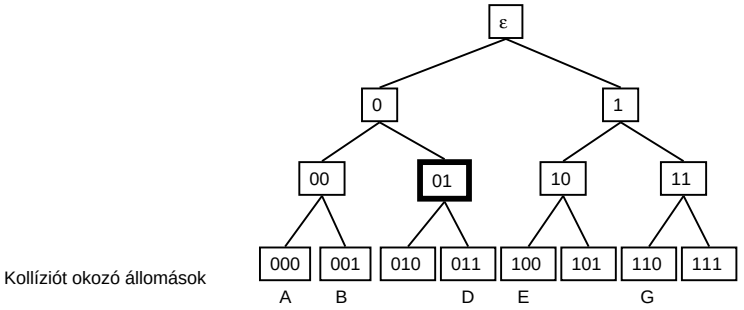


Kollíziót okozó állomások

Adaptive_tree_walk

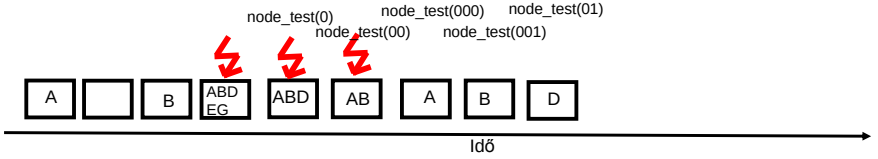


Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (6)

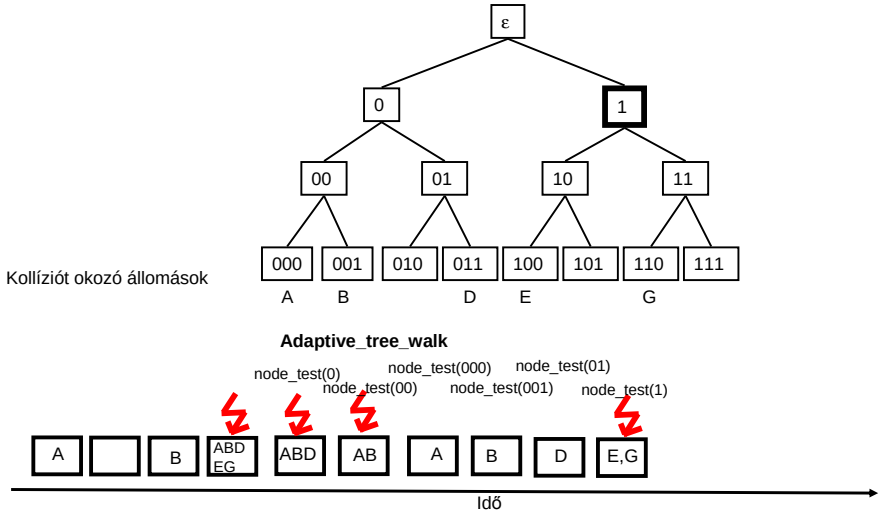


Kollíziót okozó állomások

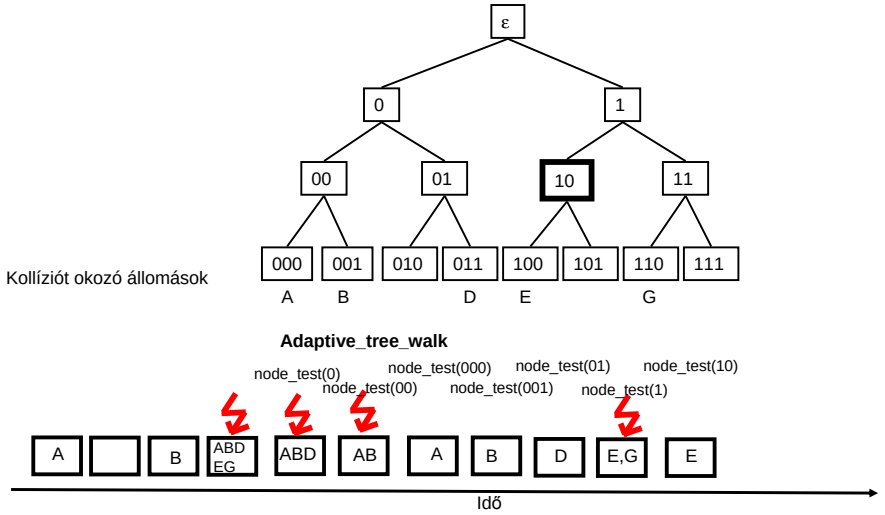
Adaptive_tree_walk



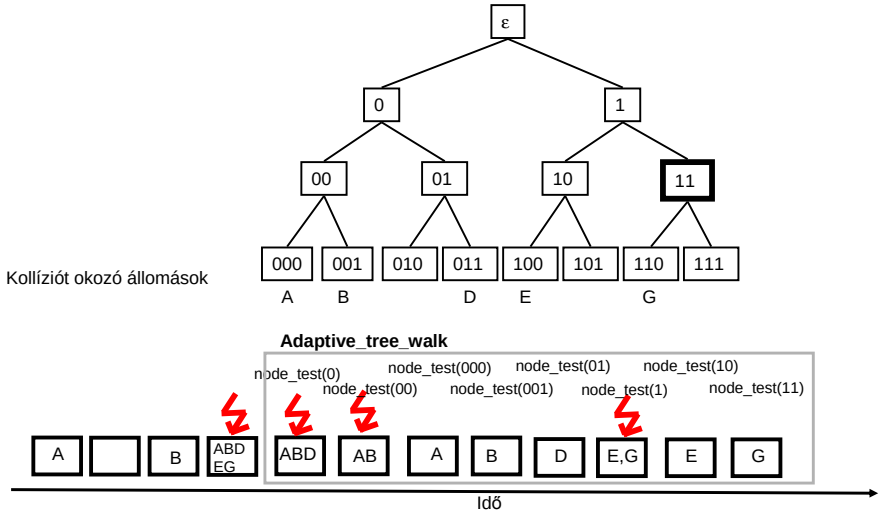
Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (7)



Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (8)



Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (9)



MAC alréteg

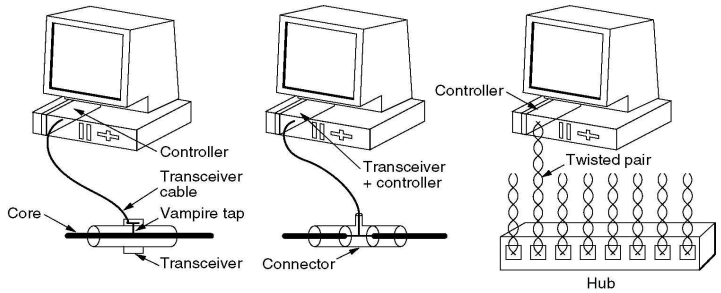
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- **Az Ethernet példája**

Az Ethernet példája

- Gyakorlati példa: Ethernet
  - IEEE 802.3 standard
- A IEEE 802.3 standard pontjai
  - Vezeték
  - Fizikai réteg
  - Adatkapcsolati réteg médium hozzáférés kontrollal

Ethernet – Vezetékek

Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



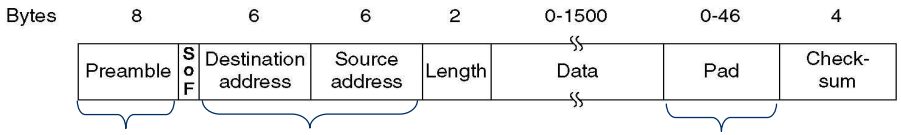
10Base5 10Base2 10BaseT

Az Ethernet fizikai rétege

- Médiumtól függő
- Tipikusan: Manchester kód
  - +/- 0.85 V
- Kód megsértés jelzi a frame-ek határát

Az Ethernet adatkapcsolati rétege, MAC alrétege

- Az állomások, melyek egy kábelhez csatlakoznak egy **ütközési tartományt (collision domain)** definiálnak.
  - minden kapcsolódó állomás hall mindent
- MAC: lényegében CSMA/CD, binary exponential backoff
- Frame formátum:



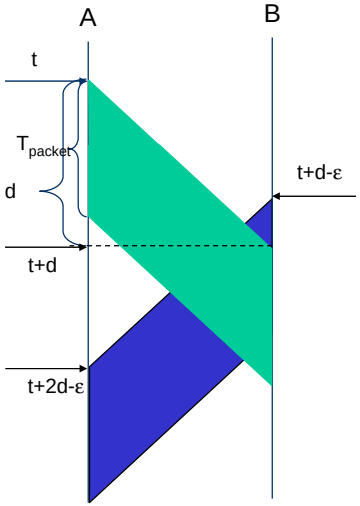
Idő-szinkronizálás: 10101010

MAC-címek

A frame kitöltéséhez, hogy a 64 byte minimális hosszt elérje

Ethernet: Collision Detection -- Minimum Packet Size

- Ethernet minimum packet size = 64 byte = 512 bit
- Miért?
- Emlékezzünk, mi történik, ha két állomás A és B nagyon rövid frame-eket küldene
  - A küld egy csomagot
  - közvetlenül, mielőtt B észlelné ezt, B is elkezd küldeni
  - ez kollíziót okoz, amit B detektál
  - hogy A garantáltan detektálja ezt a kollíziót, az kell, hogy a csomag generálásához szükséges idő $T_{packet} \geq 2\ d$
- Ha A és B a kábel két legtávolabbi pontján van:
  → $T_{min\ packet\ size} \geq 2$ x max propagation delay



Ethernet: End-to-End késés

- Miért 512 bit a minimális csomag méret?

- c kábelben = 60% * c vákuumban = 1.8 x 10^8 m/s
- 10Mbps Ethernet
  - A maximális konfigurált Ethernet hossza: 2,5km, ráta: 10Mbps
  - delay = 2500 m / 1,8 x 10^8 m/s ≈ 12.5µs
  - +bevezetett repeaterek (max. 4 repeater: max. 5 szegmens)
  - legrosszabb esetben: 2 x max prop delay 51.2µs
- 51.2µs x 10Mbps = 512bit tehát a minimális csomag méret (512 bit van éppen „úton” a kábelben)
  - 51.2µs után a küldőnek garantált az egyedüli hozzáférés a linkhez
  - 51.2µs: slot time az exponential backoff-ban

Ethernet: Csomagméret

- Mi a helyzet a maximális csomagmérettel?
  - Szükséges ahhoz, hogy egy csomópont ne sajátíthassa ki a hálózatot
  - 1500 byte az Ethernet-ben

Fast Ethernet

- Eredetileg az Ethernet 10 MBit/s átviteli rátát ért el
- Fast Ethernet
  - Cél: Hátrafele kompatibilitás
  - Eredmény: 802.3u Fast Ethernet (standard 1995)
- Fast Ethernet
  - Frame formátum, protokoll azonos maradt az eredetivel
  - A bitátviteli rátát 100 MBit/s-re növeli
  - Ennek következtében csökkenti a maximális kábelhosszt (és az egy szegmensen megengedett repeater-ek számát)

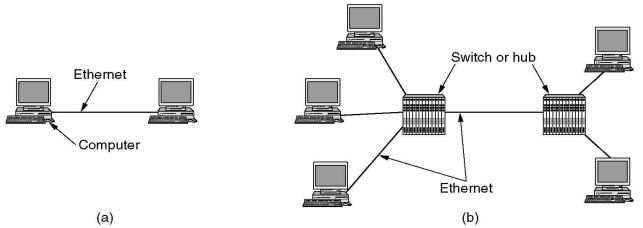
Fast Ethernet – Vezetékek

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- Standard category-3 twisted pair (telefon kábel) nem támogat 200 MBaud rátát 100 m-en (100Mbps Manchester kóddal)
  - Megoldás: 2 kábelpár csökkentett rátával
- Manchester helyett 4B/5B-kód Cat-5-kábelen

Gigabit Ethernet

- Gigabit Ethernet
  - Cél: a korábbi Ethernet standard messzemenő átvétele
  - Erdmény: 802.3z Gigabit Ethernet (standard 1998)
- Ennek az ára: korlátozás pont-pont kapcsolatra,
  - Minden kábelhez pontosan két állomás kapcsolódik
    - vagy switch vagy hub



Gigabit Ethernet

- Switch esetén
  - Nincs kollízió → CSMA/CD nem szükséges
  - Full-duplex operációt tesz lehetővé minden linken
- Hub esetén
  - Kollíziók, fél-duplex operáció (azaz váltakozva simplex), CSMA/CD
  - Max. kabelhossz 25 m
- Carrier Extension:
  - Az Ethernet kompatibilitás megtartása miatt a „minimum packet size” nem változott. Ehelyett a küldő hardware az 512 byte-nál rövidebb frame-eket saját kitöltő jeleivel kiegészíti 512 byte hosszúra (padding). Ezt a fogadó hardware eltávolítja. Ennek a módszernek a neve „Carrier Extension”.
- Frame bursting:
  - Több rövid frame-et „egybefűzve” vihet át. Az összhosszt kitölti 512 byte-ra

Gigabit Ethernet – Vezetékek

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

LAN-ok összekapcsolása

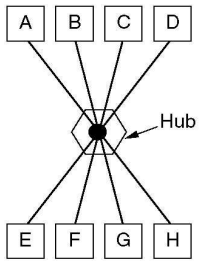
Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	Router
Data link layer	Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub

Repeater

- Szignál-regenerátor
  - Fizikai réteg komponense
  - Két kábelt köt össze
  - Fogad egy szignált és azt regenerálva továbbítja a másik kábelen
  - Csak az elektromos vagy az optikai szignált továbbítja
  - A tartalmat (biteket) nem interpretálja
- Repeaterek a hálózatot fizikai szegmensekre osztják
  - A logikai topológia megmarad
  - A csatlakozó kábelek közös ütközési tartományt alkotnak

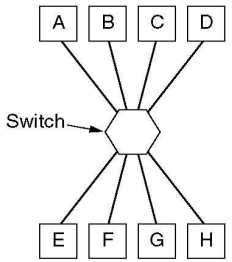
Hub

- Kábeleket köt össze csillag topológiában
  - Hasonló a Repeaterhez
  - A szignálokat minden csatlakozó kábelen továbbítja
  - Fizikai réteg komponense
  - A tartalmat nem interpretálja
  - A csatlakozó kábelek egy ütközési tartományt alkotnak



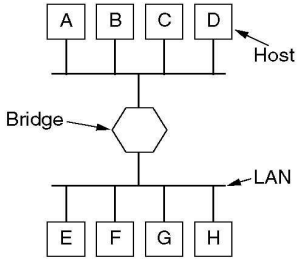
Switch

- Terminálokat csillag topológiába kapcsol össze
  - Adatkapcsolati réteg komponense
  - Kollíziók egy szegmensen belül maradnak
  - A frame-ek célcímét megvizsgálja és a frame-et csak a megfelelő kábelen továbbítja
    - ehhez szükséges puffer és
    - tudni kell melyik állomás hol csatlakozik
  - Egy táblázatot tart nyilván:
    - Megfigyeli, hogy honnan jön egy csomag, a küldőt azon a kábelen lehet elérni
    - Backward learning



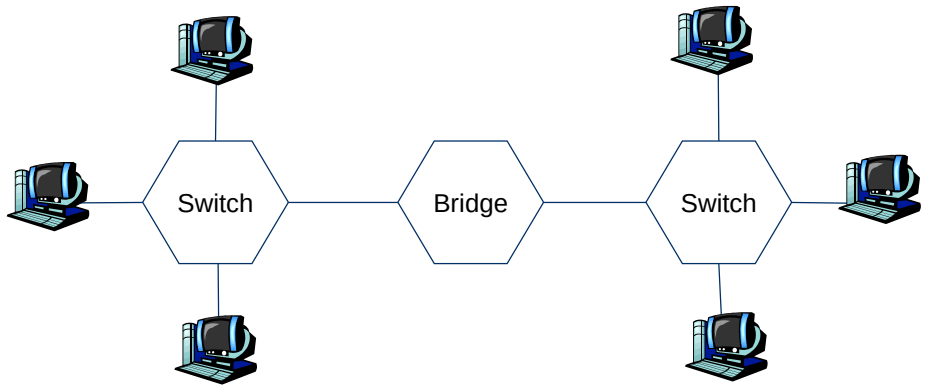
Bridge

- Lokális hálózatokat kapcsol össze
  - Ellentétben switch-ekkel (azok csak állomásokat -- eredetileg)
  - Adatkapcsolati réteg komponense
  - Elkülöníti a kollíziókat
  - Megvizsgálja az érkező frame-eket
  - A frame-et csak a megfelelő kábelen továbbítja
  - Csak korrekt frame-eket továbbít
  - Az átmenet bridge és switch között folyamatos
  - Összekapcsolhat többféle LAN tipust



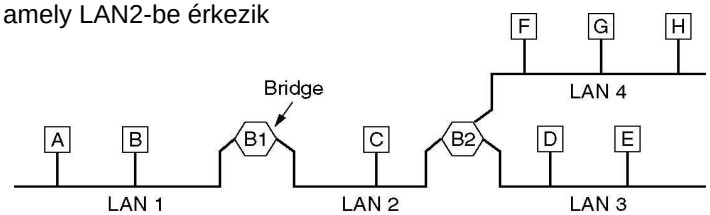
Switches & bridges

- Tipikus kombináció: bridge csak egy „másik állomás” a swich számára



Backward learning a bridge-ekben

- Backward learning trivialis switch-ekben – mi a helyzet a bridge-ekben?
- Példa: A küld frame-et E-nek
  - Tegyük fel, B1 és B2 tudja, hogy hol van E
  - B2 azt fogja látni, hogy A frame-je LAN2-ből jön
  - Mivel B2 nem tud LAN1-ről, B2 azt feltételezi, hogy A LAN2-ben van
  - Ami jó!
    B1 továbbítani fog minden A-nak küldött csomagot LAN1-nek, amely LAN2-be érkezik

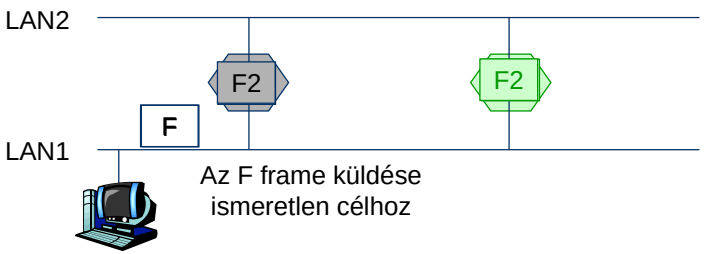


Backward learning a bridge-ekben – bootstrapping

- Az előző példában: honnan tudja B2 kezdetben, hogy hol van E?
- Válasz: NEM tudja
  - Opció 1: kézi konfiguráció – nem éppen szép megoldás!
  - Opció 2: nem számít – egyszerűen továbbítja az ismeretlen című csomagot mindenfele
    - Azon hálózat kivételével, ahonnan érkezett
- Az algoritmus:
  - elárasztás (flood) ha a cím ismeretlen;
  - dobja el ha tudja, hogy nem szükséges;
  - továbbítsa specifikusan, ha a cél címe ismert

Elárasztás bridge által – problémák

- “Backward learning by flooding” egyszerű, de problémás
- Példa:
  - Egy második bridge is összeköti a két LAN-t a nagyobb megbízhatóság miatt



- F végtelen ciklusba kerül…
- Hogy kerüljünk el ilyen ciklusokat?

1. Megoldás: Valahogy korlátozzuk az elárasztást

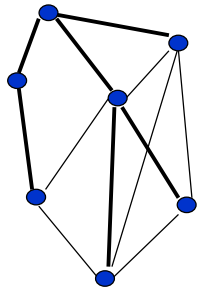
- Korlátozatlan, brute-force flooding nyilvánvalóan rossz
- Kerüljük el a ciklust azáltal, hogy **megjegyezzük**, hogy mely frame-ek azok, amelyeket már továbbítottunk
  - Ha már láttunk és továbbítottunk egy frame-et, dobjuk el
- Előfeltétel: állapot és egyértelműség
  - Bridge-eknek meg kell jegyezni, hogy mely frame-eket továbbította
  - A frame-eknek egyértelműen azonosíthatóknak kell lenni – legalább küldő, fogadó és sorozatszám szükséges az azonosításhoz

→ Nagy overhead!

- Különösen az állapotok tárolása a probléma, és a keresés a sok állapot között
- Nem igen használják

2 Megoldás: Feszítőfák

- A csomagok ciklusai csak akkor jöhetnek létre, ha a gráf, amit a bridge-ek definiálnak kört tartalmaz
  - Tekintsük a LAN-okat és a bridge-eket csomópontoknak
  - Egy LAN-csomópont és egy bridge-csomópont össze van kötve egy éllel, ha a LAN a bridge-hez kapcsolódik
  - Redundáns élek köröket formálnak ebben a gráfban
- Ötlet: alakítsuk át a gráfot köröktől mentessé
- Legegyszerűbb megoldás: Számítsunk ki egy feszítőfát ebben a LAN-bridge gráfban
  - Definíció: Legyen G=(V,E) egy gráf. G egy olyan T=(V, E_T) részgráfját, $E_T \subseteq E$, ami egy fa (összefüggő és nem tartalmaz kört), G **feszítőfá**jának nevezzük
  - Egyszerű, önkonfiguráló, nem kell kézi beavatkozás
  - De nem optimális: az installált bridge-ek kapacitását nem biztos hogy kihasználja
  - IEEE 802.1D: Spanning Tree Protocol (STP), IEEE 802.1w: Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)



Egy feszítőfa

Konvergencia: Switch és bridge

- Tradícionálisan, a megkülönböztetés bridge és switch között értelmes volt
- Ma: a legtöbb készülék kínálja mindkét tipusú funkcionalitást

- Gyakran inkább marketing megkülönböztetés, mint műszaki