

## Számítógépes Hálózatok 2010

### 7. Adatkapcsolati réteg, MAC – korlátozott verseny, Ethernet; LAN-ok összekapcsolása

## MAC alréteg

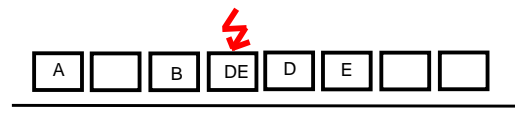
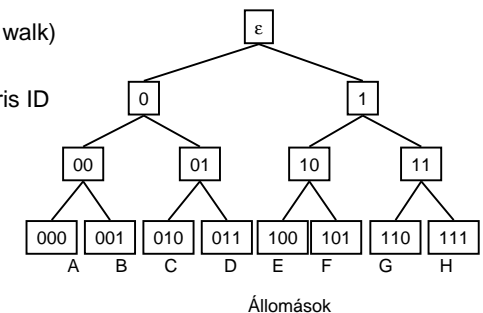
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - **Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)**
- Az Ethernet példája

## 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

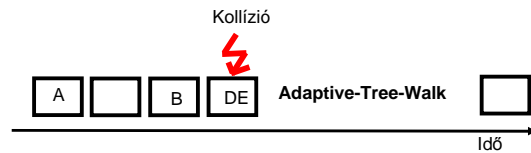
## Adaptív fa bejárás protokoll

- 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



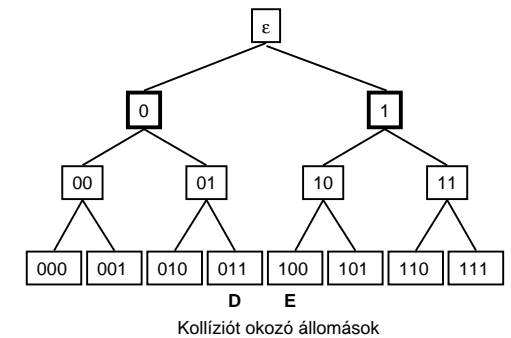
## Adaptív fa bejárás protokoll – Alap algoritmus

- 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( $\epsilon$ )** eljárást



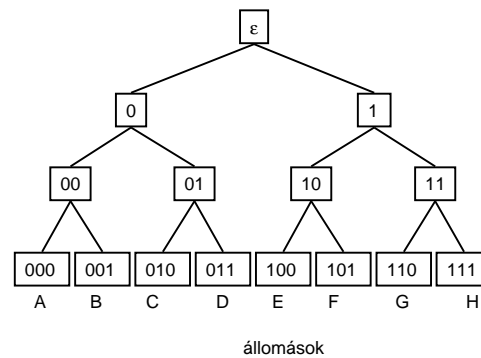
## Adaptív fa bejárás protokoll – Csomópont teszt

- 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)

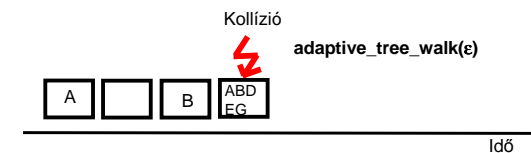
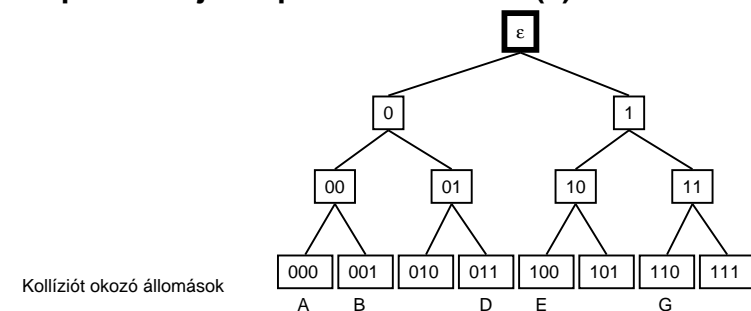


## Adaptív fa bejárás protokoll – Alap algoritmus

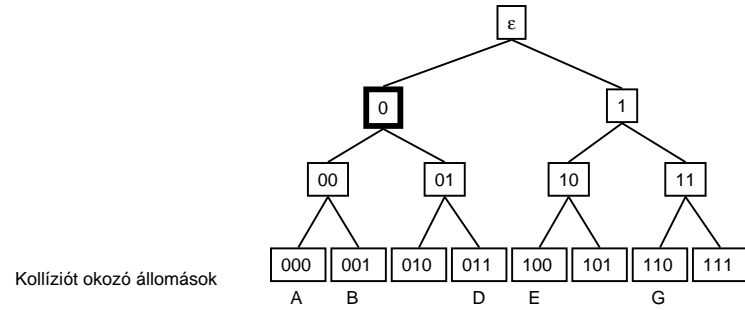
- Csomópont-teszt algoritmus
  - a fa egy u csomópontjához
- node\_test(u)
  - Tekintsünk egy slotot a fa u csomópontjához
  - A slotban azon állomások küldenek, amelyek u részfájában vannak (amelyek ID-je u-val kezdődik)
- adaptive\_tree\_walk(x)
  - node\_test(x0)
  - Ha kollízió lép fel,
    - adaptive\_tree\_walk(x0)
  - node\_test(x1)
  - Ha kollízió lép fel,
    - adaptive\_tree\_walk(x1)



## Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (1)

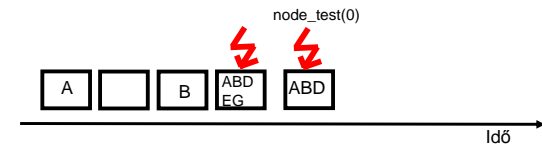


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (2)

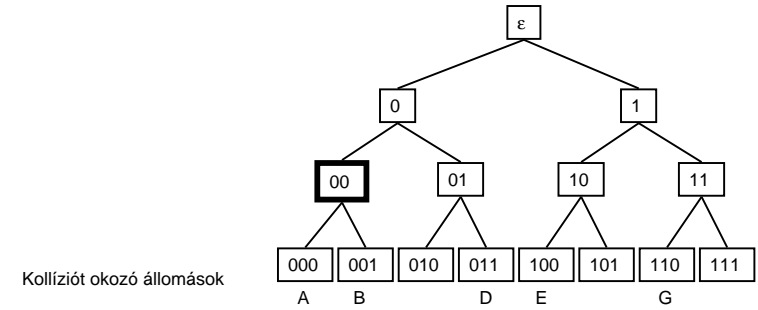


Kollíziót okozó állomások

adaptive\_tree\_walk

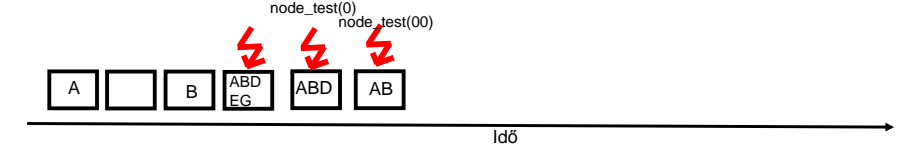


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (3)

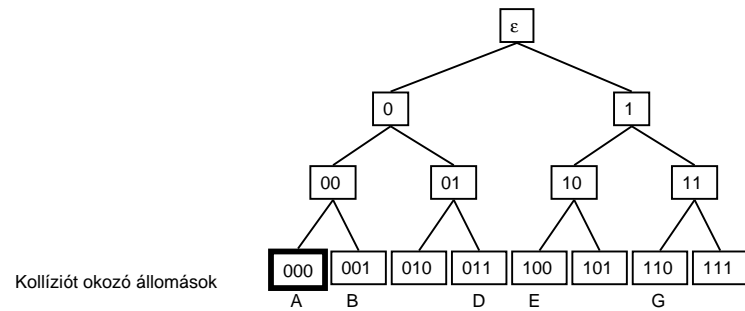


Kollíziót okozó állomások

Adaptive\_tree\_walk

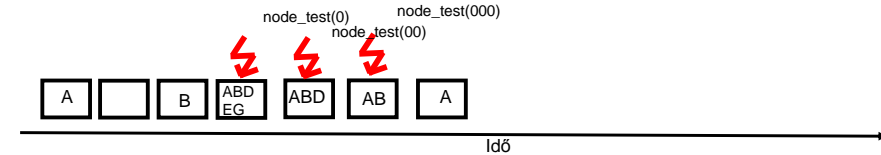


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (4)

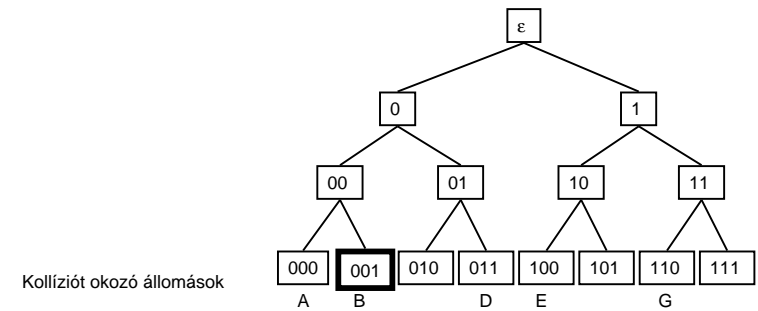


Kollíziót okozó állomások

Adaptive\_tree\_walk

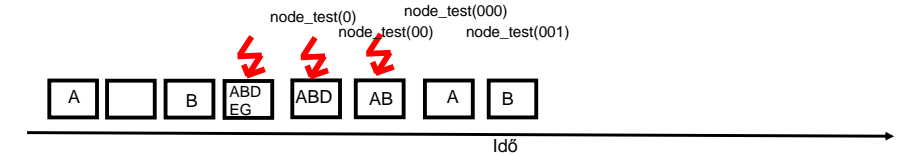


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (5)

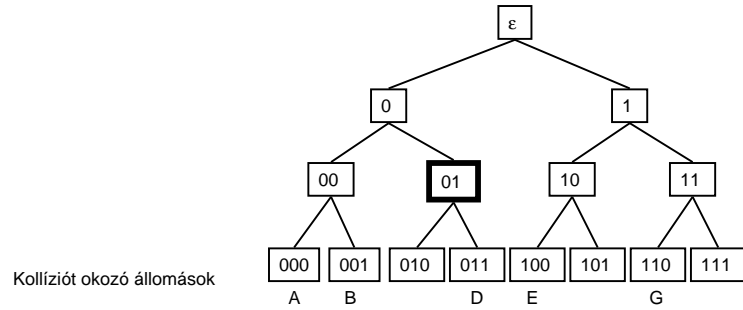


Kollíziót okozó állomások

Adaptive\_tree\_walk

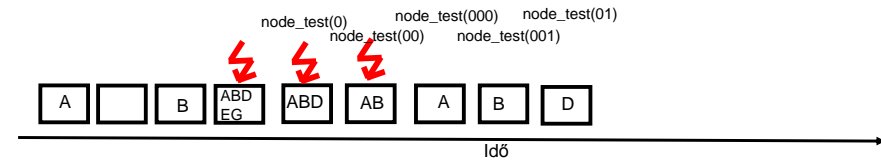


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (6)

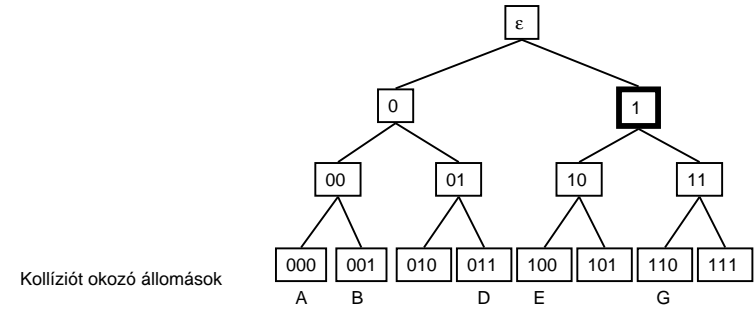


Kollíziót okozó állapotok

#### Adaptive\_tree\_walk

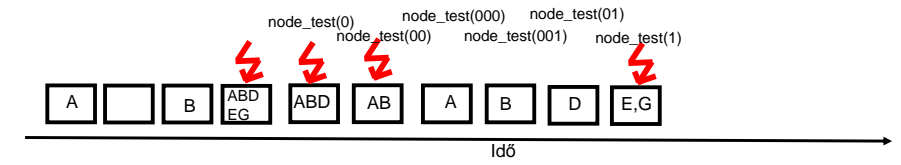


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (7)

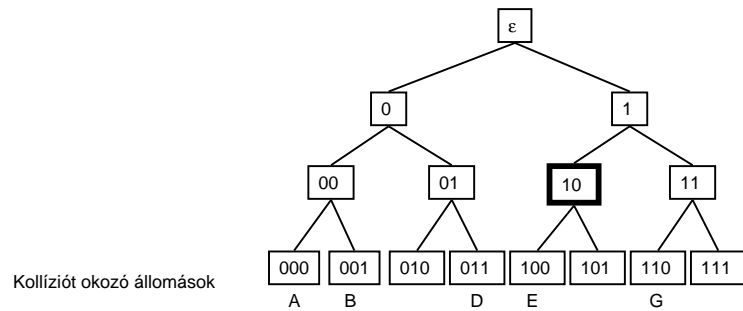


Kollíziót okozó állapotok

#### Adaptive\_tree\_walk

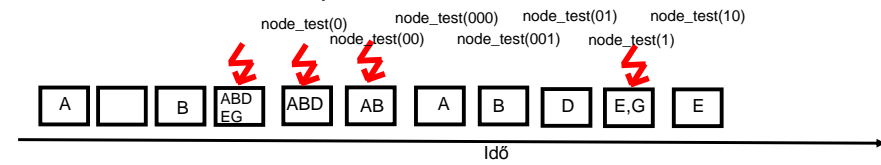


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (8)

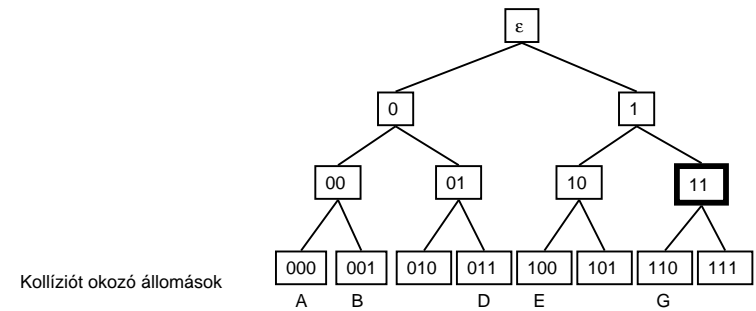


Kollíziót okozó állapotok

#### Adaptive\_tree\_walk

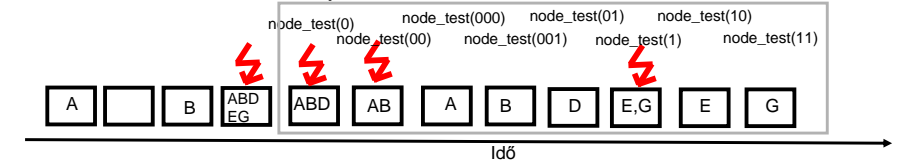


### Adaptív fa bejárás protokoll – Példa (9)



Kollíziót okozó állapotok

#### Adaptive\_tree\_walk



## MAC alréteg

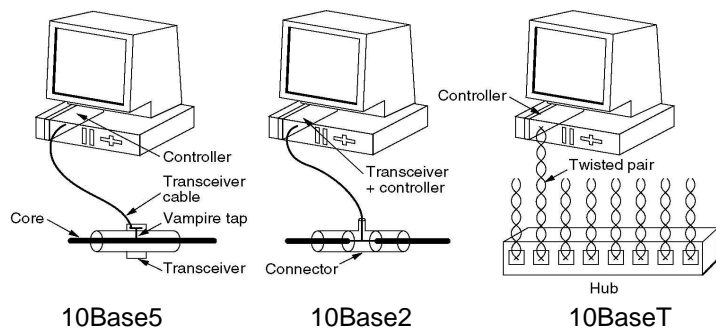
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- **Az Ethernet példája**

## 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       |

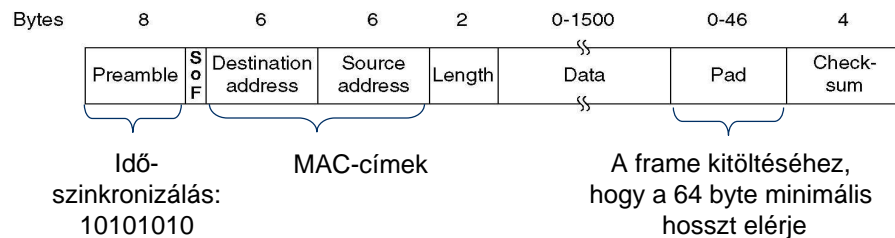


## Az Ethernet fizikai rétege

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

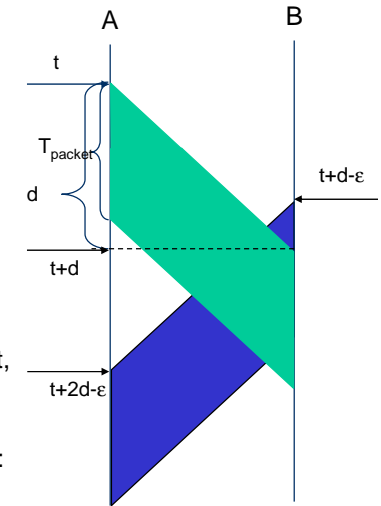
## Az Ethernet adatkapcsolati rétege, MAC alrétege

- 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:



## 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  $T_{\text{packet}} \geq 2d$
- Ha A és B a kábel két legtávolabbi pontján van:
  - $T_{\text{min packet size}} \geq 2 \times \text{max propagation delay}$



## Ethernet: End-to-End késés

- Miért 512 bit a minimális csomag méret?
- c kábelben = 60% \* c vákuumban =  $1.8 \times 10^8$  m/s
- 10Mbps Ethernet
  - A maximális konfigurált Ethernet hossza: 2,5km, ráta: 10Mbps
  - delay =  $2500 \text{ m} / 1,8 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 12.5\mu\text{s}$
  - +bevezetett repeaterok (max. 4 repeater: max. 5 szegmens)
  - legrosszabb esetben:  $2 \times \text{max prop delay} = 51.2\mu\text{s}$
- $51.2\mu\text{s} \times 10\text{Mbps} = 512\text{bit}$  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)

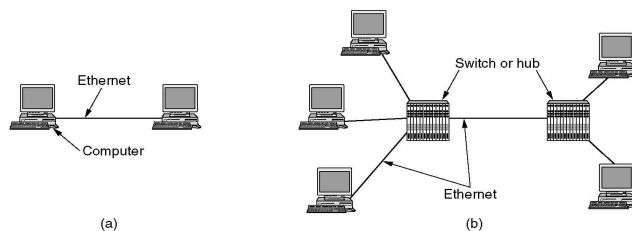
## Fast Ethernet – Vezetékek

| 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
  - Eredmény: 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. kábelhossz 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 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ ) |
| 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

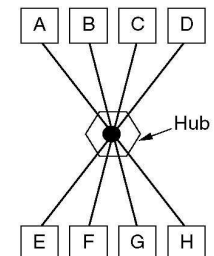
|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Application layer | Application gateway |
| Transport layer   | Transport gateway   |
| Network layer     | Router              |
| Data link layer   | Bridge, switch      |
| Physical layer    | Repeater, hub 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

## 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

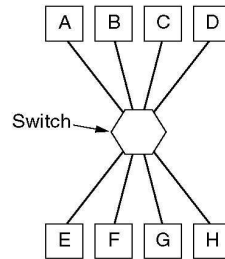
- Kábeleket köt össze csillag topológiában
  - Hasonló a Repeaterhez
  - A szignálokat minden csatlakozó kábelen továbbítja
  - Fizikai réteg komponense
  - A tartalmat nem interpretálja
  - A csatlakozó kábelek egy ütközési tartományt alkotnak





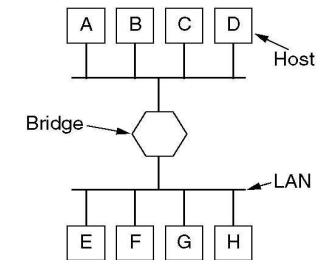
## Switch

- Terminálokat csillag topológiába kapcsol össze
  - Adatkapcsolati réteg komponense
  - Kollíziók egy szegmensen belül maradnak
  - A frame-ek cél címét 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



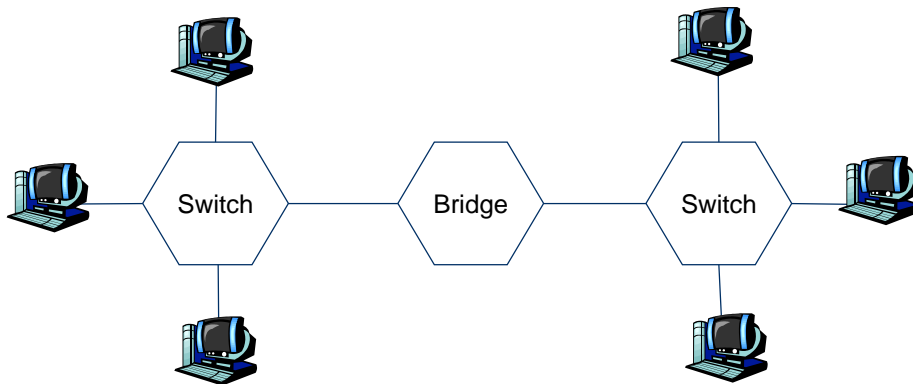
## Bridge

- 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 típust



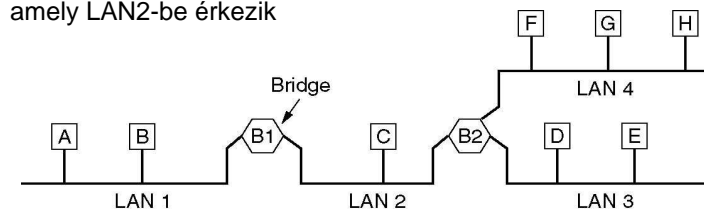
## Switches & bridges

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

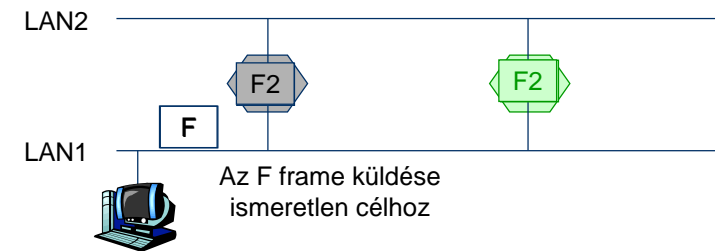


## Backward learning a bridge-ekben – bootstrapping

- 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;
  - továbbítja 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



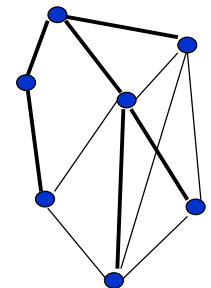
- F végtelen ciklusba kerül...
- Hogy kerülünk el ilyen ciklusokat?

## 1. Megoldás: Valahogy korlátozzuk az elárasztást

- Korlátolatlan, 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 köreket 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),  $G$  **feszítőfájának** 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

- Tradicionálisan, a megkülönböztetés bridge és switch között értelmes volt
- Ma: a legtöbb készülék kínálja mindkét típusú funkcionalitást
- Gyakran inkább marketing megkülönböztetés, mint műszaki