

## Számítógépes Hálózatok 2007

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

## MAC sub-réteg

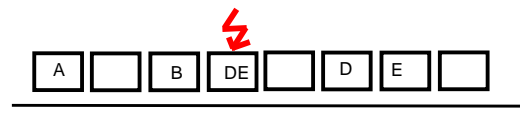
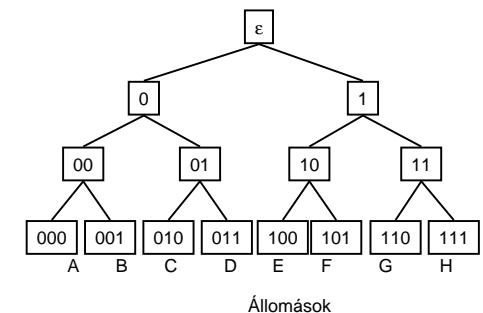
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - **Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)**
- Az Ethernet példája

## 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

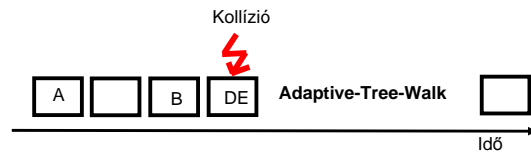
## Adaptív fa protokoll

- Adaptív fa 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



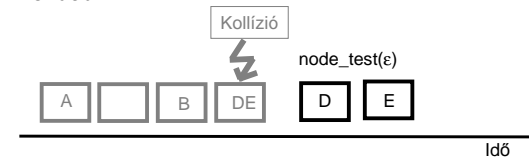
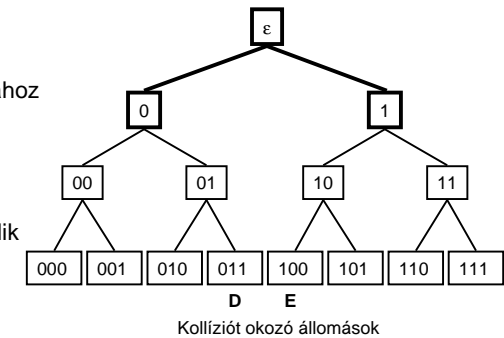
## Adaptív fa protokoll – Alap algoritmus

- 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



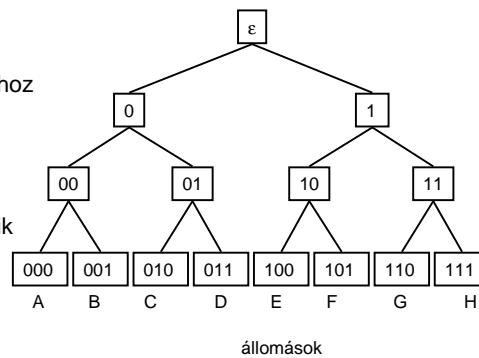
## Adaptív fa protokoll – Csomópont teszt

- Csomópont-teszt algoritmus (node\_test)
  - a fa egy  $u$  csomópontjához és
  - a kollíziót okozó állomások  $S$  halmazához  $u$  részfájában
- **node\_test( $u$ )**
  - Tekintsünk két slotot  $u$ -hoz
  - Az első slotban  $S$  azon állomásai küldenek, amelyek ID-je  $u0$ -al kezdődik
  - A második slotban  $S$  azon állomásai küldenek, amelyek ID-je  $u1$ -gyel kezdődik



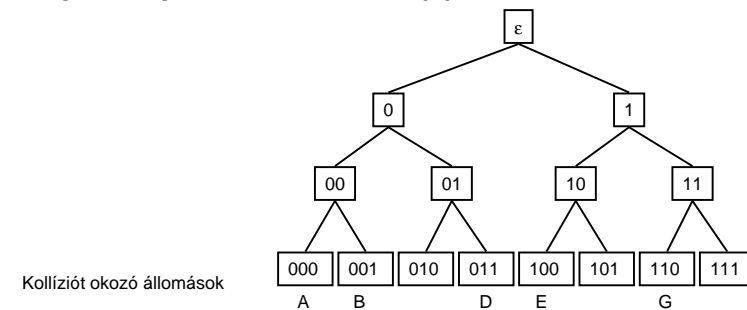
## Adaptív fa protokoll – Alap algoritmus

- Csomópont-teszt algoritmus
  - a fa egy  $u$  csomópontjához és
  - a kollíziót okozó állomások  $S$  halmazához
- **node\_test( $u$ )**
  - Tekintsünk két slotot a fa minden csomópontjához
  - Az első slotban  $S$  azon állomásai küldenek, amelyek ID-je  $u0$ -al kezdődik
  - A második slotban  $S$  azon állomásai küldenek, amelyek ID-je  $u1$ -gyel kezdődik
- **adaptive\_tree\_walk( $x$ )**
  - **node\_test( $x$ )**
  - Ha az első slotban kollízió lép fel,
    - **adaptive\_tree\_walk( $x0$ )**
  - Ha a második slotban kollízió lép fel,
    - **adaptive\_tree\_walk( $x1$ )**

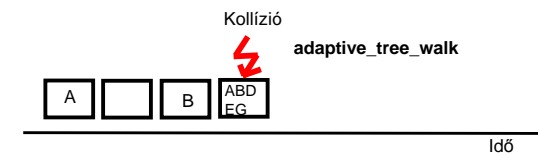


állomások

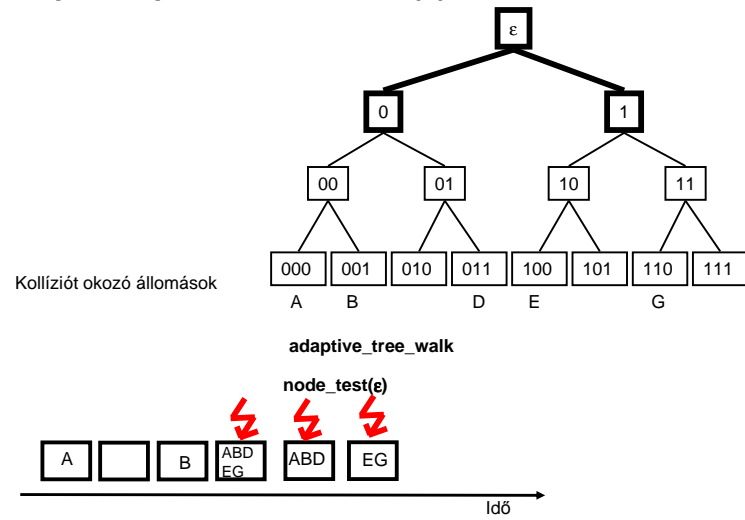
## Adaptív fa protokoll – Példa (1)



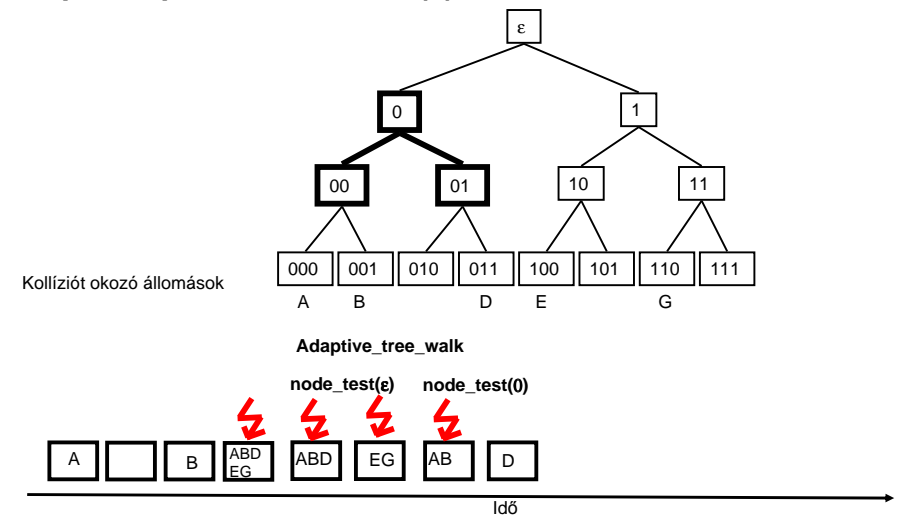
Kollíziót okozó állomások



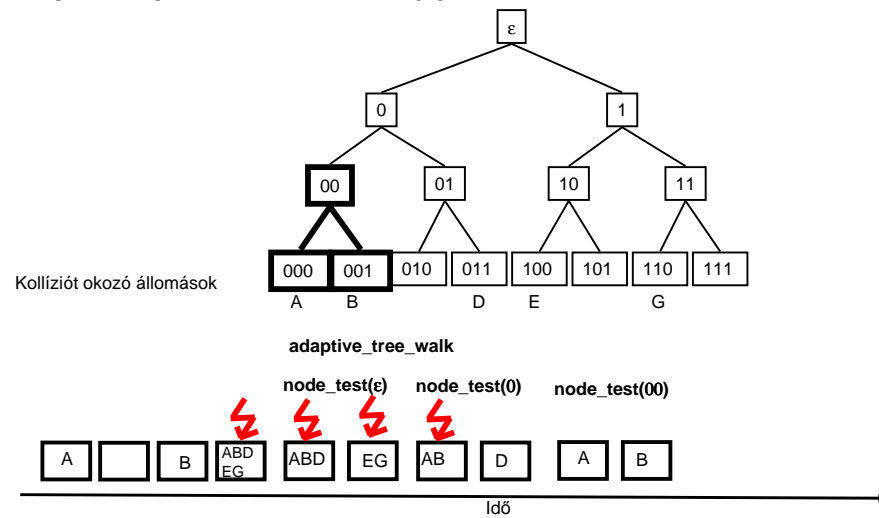
## Adaptív fa protokoll – Példa (2)



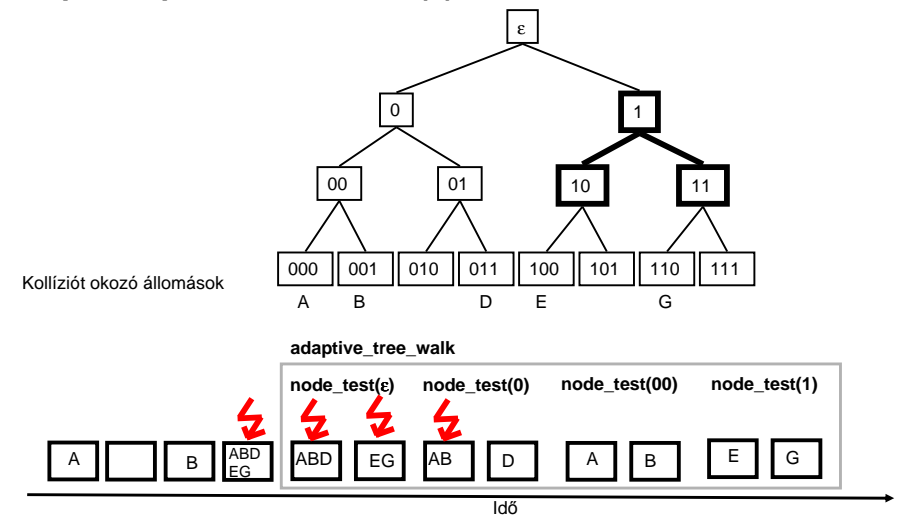
## Adaptív fa protokoll – Példa (3)



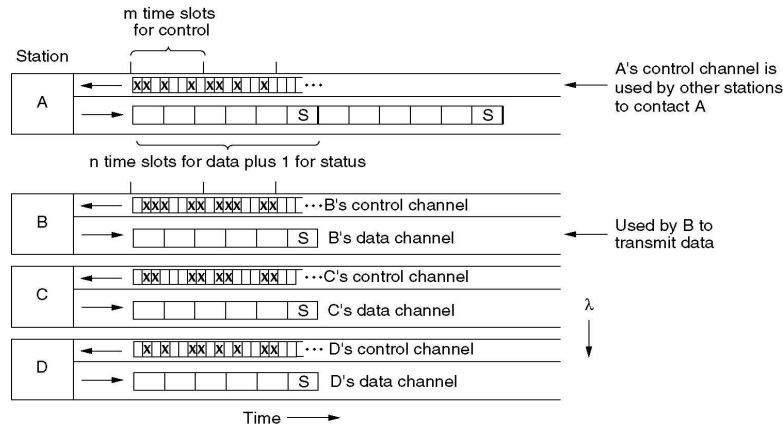
## Adaptív fa protokoll – Példa (4)



## Adaptív fa protokoll – Példa (5)

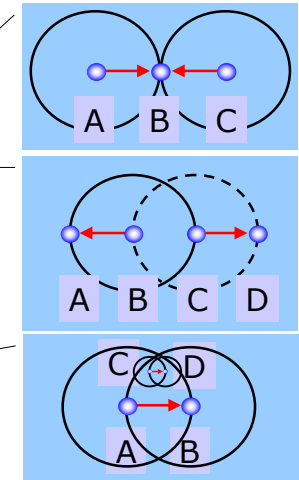


## Verseny mentes protokollok a vezeték nélküli kommunikációban



## Wireless LAN (WLAN) Problémák

- Wireless LANs: vezeték nélküli (gyakran mobil) hálózatok
- Probléma: Interferencia
  - Hidden Terminal Problem
  - Exposed Terminal Problem
- Aszimmetria (változó hatótávolságok (range))

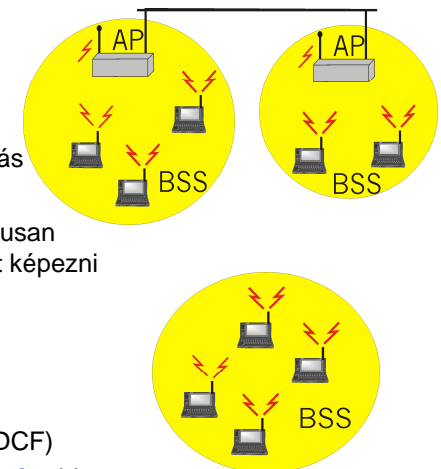


## IEEE 802.11 Wireless LAN

- IEEE 802.11 standard:
  - MAC protocol
  - unlicensed frequency spectrum (industrial, scientific and medical – ISM band): 2.4GHz
    - csatornákra osztott:
      - 13 csatorna Európában
      - 11 csatorna Észak Amerikában (az első 11 csatorna)
      - két szomszédos csatorna közép-frekvenciájának különbsége 5MHz
      - csatorna  $i$  és  $j$  részben átfedi egymást ha  $|i-j| < 5$
      - egymást részben átfedő csatornák egyidejű használata is interferenciát okoz

## IEEE 802.11 Wireless LAN

- Két un. **Basic Service Set (BSS)**:
  - **Infrastructure BSS**
    - wireless terminal
    - access point (AP): bázis állomás
  - **Ad Hoc BSS**
    - IEEE 802.11 állomások dinamikusan AP-ok nélkül is tudnak hálózatot képezni
- MAC:
  - Point Coordination Function (PCF): Verseny mentes hozzáférési mód
    - sokszor nem implementált
  - Distributed Coordination Function (DCF)
    - **CSMA/CA: CSMA with Collision Avoidance**



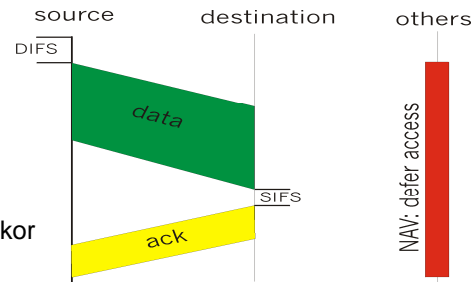
## IEEE 802.11 MAC Protokoll: CSMA/CA

### 802.11 CSMA küldő:

- Ha a csatornát szabadnak érzékeli **DIFS** által adott ideig, akkor
  - frame átvitelre kerül (nincs kollízió detektálás)
- Ha a csatorna foglalt, akkor
  - „binary backoff”

### 802.11 CSMA fogadó:

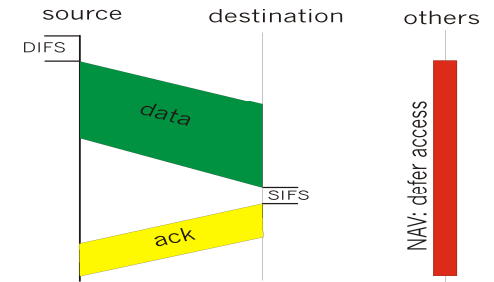
- Ha a frame fogadása rendben volt, akkor
  - visszaküld ACK-t **SIFS** idő után



## IEEE 802.11 MAC Protokoll

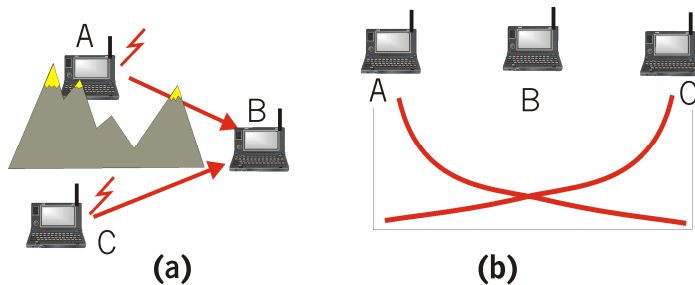
### Virtual Career Sensing

- Minden állomás nyilvántart egy **Network Allocation Vector-t (NAV)**
- 802.11 frame tartalmazza azt, hogy hány időegység (time slot) szükséges az átviteléhez (duration field). Erre az időre ez a frame „lefoglalja” a csatornát
- Azok az állomások, melyek „hallják” ezt az átvitelt, nyilvántartják ezt az időt a NAV-ban. Ezek az állomások elhalasztják a csatornahozzáférést a NAV-ban nyilvántartott ideig



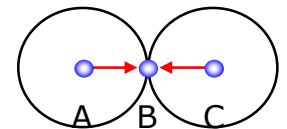
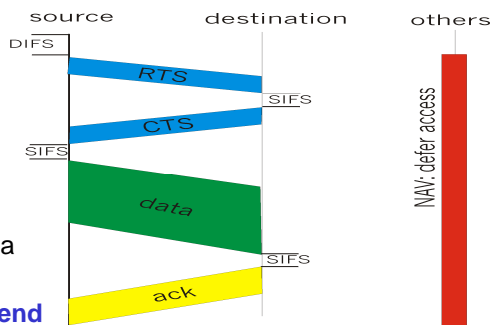
## Rejtett állomás (hidden terminal) jelenség

- **hidden terminals:** A és C nem hallja egymást
  - akadály, szignál elnyelődés
  - Ha egyszerre küldenek B-nek → kollízió
- Hogyan kezelhető ez a probléma?
- **CSMA/CA: CSMA** with **C**ollision **A**voidance



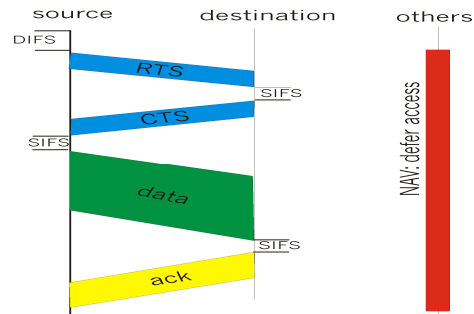
## Collision Avoidance: RTS-CTS

- CSMA/CA: explicit csatorna foglalás
  - **küldő:** amikor át akar vinni egy frame-et, küld egy rövid **request-to-send (RTS)** szignált
    - RTS tartalmazza a küldőt, a fogadót és
    - az időintervallumot, amelyre a csatornát lefoglalná
  - **fogadó:** válaszol egy **clear-to-send CTS** szignállal, amely tartalmazza a küldő címét és az időintervallumot
- CTS lefoglalja a csatornát a küldőnek: minden állomás, amely a hallja CTS-t (amely a küldő számára esetleg rejtett), tárolja az információt a NAV-ban
- Elkerüli a rejtett kollíziókat



## Collision Avoidance: RTS-CTS

- RTS és CTS rövid:
  - kollíziók valószínűsége kicsi
  - A végeredmény hasonló a collision detection eredményéhez
- IEEE 802.11 megengedi:
  - CSMA
  - CSMA/CA: explicit csatorna foglalás
  - polling az AP részéről



## MAC sub-réteg

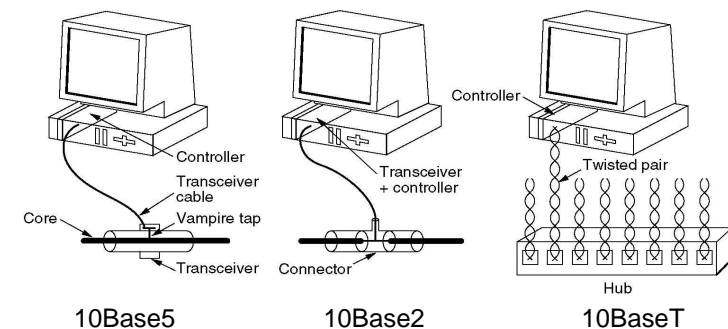
- Statikus Multiplexálás
- Dinamikus csatorna foglalás
  - Kollízió alapú protokollok
  - Verseny-mentes protokollok (contention-free)
  - Protokollok korlátozott versennyel (limited contention)
- **Az Ethernet példája**

## 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 cabling

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

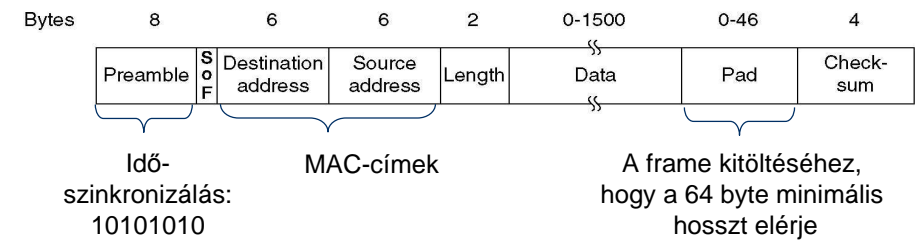


## Az Ethernet fizikai rétege

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

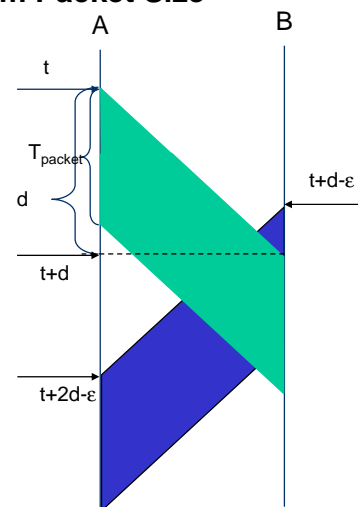
## Az Ethernet adatkapcsolati rétege, MAC sub-rétege

- 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 Delay

- 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: Csomag méret

- Mi a helyzet a maximális csomag mérettel?
  - 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 bit átviteli rátát 100 MBit/s-re növeli
  - Ennek következtében csökkenti a maximális kábelhosszt (és az egy szegmensen megengedett repeater-ek számát)

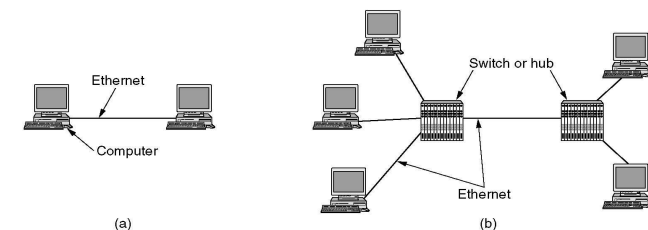
## Fast Ethernet – Vezetékek

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. kábeltáv 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 – Cabling

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

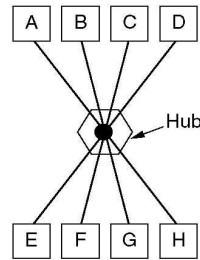
Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	Router
Data link layer	Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub

## 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

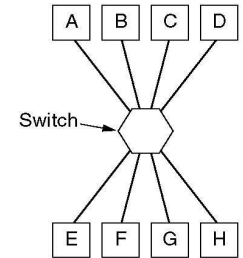
## Hub

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



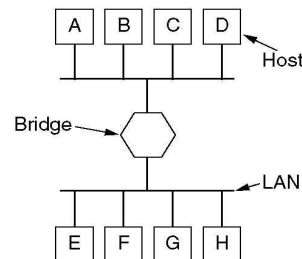
## Switch

- 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 kábelén 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 kábelén lehet elérni
    - Backward learning



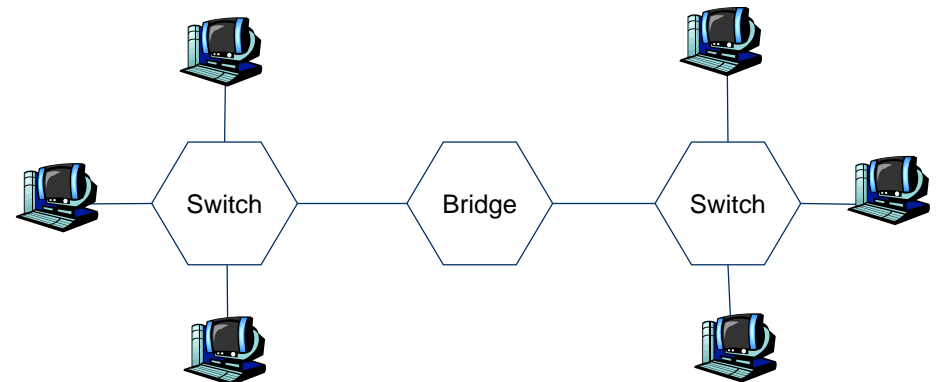
## Bridge

- 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 kábelén továbbítja
  - Csak korrekt frame-eket továbbít
  - Az átmenet bridge és switch között folyamatos
  - Összekapcsolhat többféle LAN típust



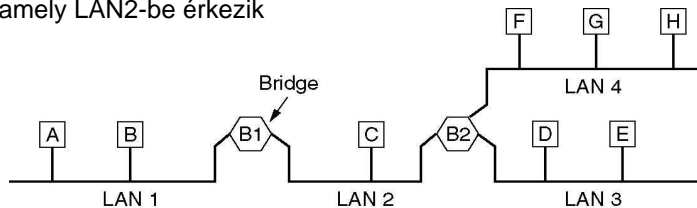
## Switches & bridges

- 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

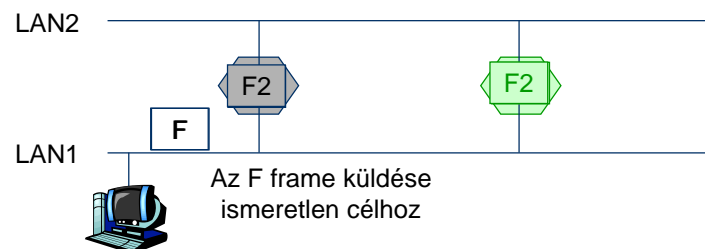


## Backward learning a bridge-ekben – bootstrapping

- 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



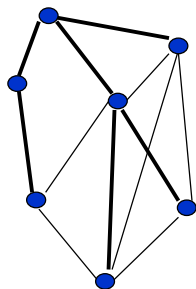
- F végtelen ciklusba kerül...
- Hogy kerülünk el ilyen ciklusokat?

## 1. Megoldás: Valahogy korlátozzuk az elárasztást

- Korlátatlan, 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),  $G$  **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 típusú funkcionalitást
- Gyakran inkább marketing megkülönböztetés, mint műszaki