

Számítógép-hálózatok

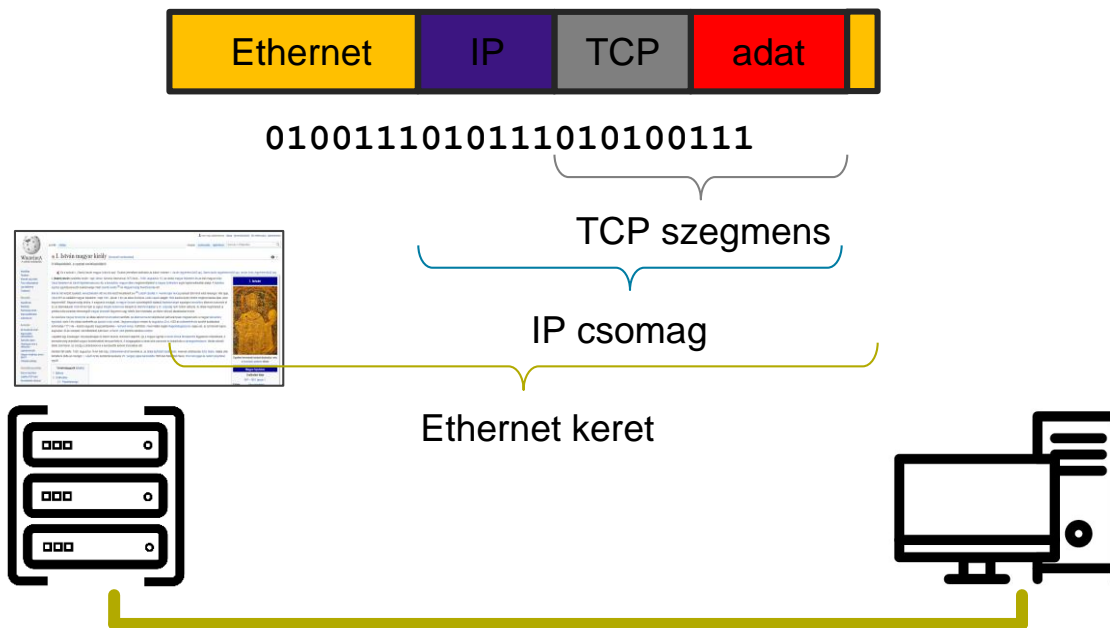
5. Adatkapcsolati réteg II. Közeghozzáférési alréteg



Tartalom

- Dinamikus csatornakiosztás
 - ALOHA
 - CSMA
 - Ütközésmentes protokollok
 - Vezeték nélküli protokollok
- Példák:
 - Ethernet
 - WiFi
- Címzés az adatkapcsolati rétegben
- A hálózati kapcsolók működése

Ismétlés: réteges szerkezet



Adatkapcsolati réteg feladatai

- Keretezés
 - Hol vannak az adatelemek határai?
 - Hol kezdődik a bájtpár?
 - Hol kezdődik egy csomag?
- Hibakezelés
 - Hibadetekció
 - Hibajavítás
 - Szükség szerint keretek újraküldése
 - Hiba detektálása esetén
- Címzés
 - A címzett és a feladó állomás azonosítása
- Közeghozzáférés
 - Egy csatorna, több eszköz
 - Külön alréteg

A csatornakiosztás problémája

- Statikus csatornakiosztás
 - Időosztásos: TDMA
 - Frekvenciaosztásos: FDMA
 - Kódosztásos: CDMA
 - Minden felhasználó fix sáv szélességet kap
 - Jól működik, ha a felhasználók forgalma kb. állandó
 - Pl. trónkvonalak
 - Internetforgalom nem állandó
 - Változó intenzitás
 - Löketek: akár 1:1000 arányú ingadozás
 - A csatornák többsége az idő többségében tétlen → pazarlás
- Jobban működik a dinamikus csatornakiosztás

Dinamikus csatornakiosztás

- Feltételezések:
 - Egyetlen közös csatorna van, ezen kell osztozni
 - A felhasználók forgalma egymástól független
 - Az esetleges ütközések megfigyelhetők
- Technikai lehetőségek:
 - Folytonos vagy réselt
 - Vivőérzékelés van/nincs

Többszörös hozzáférésű protokollok

- ALOHA
- Vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférésű protokollok
- Ütközésmentes protokollok
- Vezeték nélküli LAN protokollok

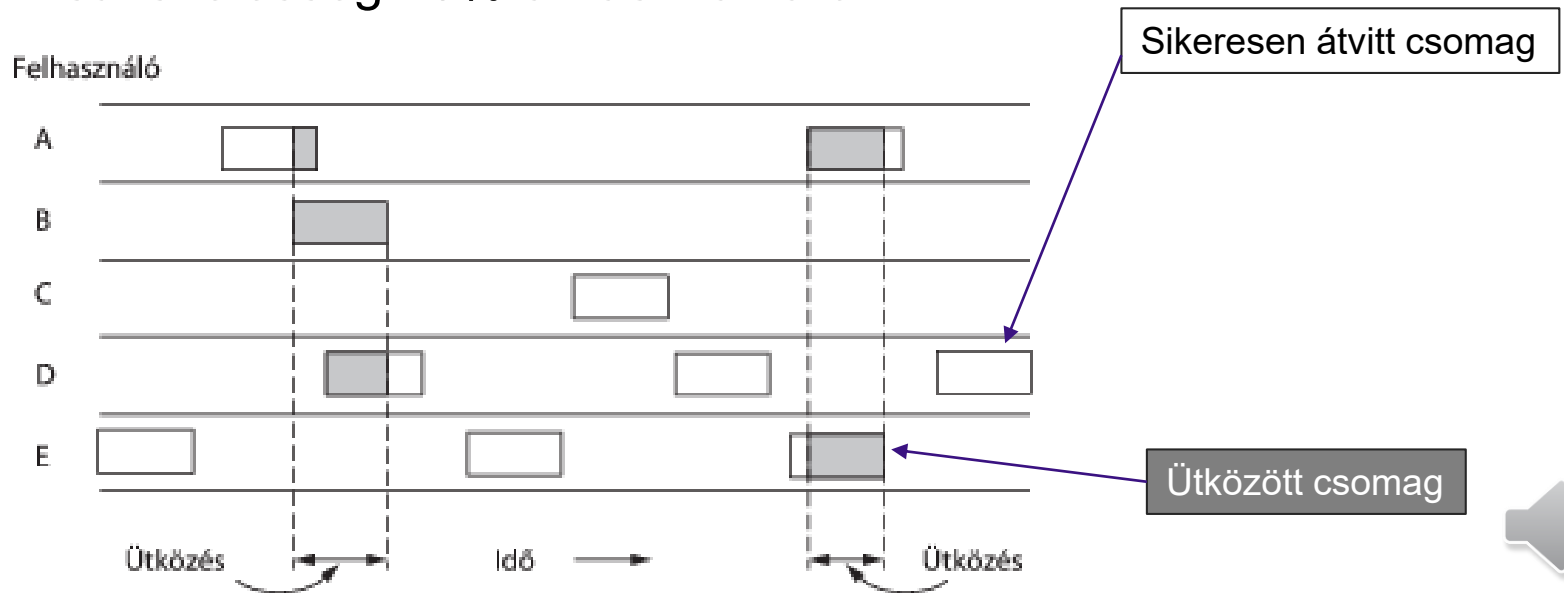
ALOHA (1)



- Protokoll:
 - Ha van mit adni, akkor adj!
 - Üzenet sikeres vételét nyugtázzuk
 - Ha nem jön nyugta, akkor később újra megpróbáljuk
 - Véletlen várakozási idő múlva
 - (különben az egyszer ütközött keretek újra meg újra ütköznének)
- Egyszerű, de...
 - Mi van, ha több állomás is egyszerre akar adni?
 - Ütközés... Az üzenetek elvesznek.
 - A javításra szolgál az újraküldés

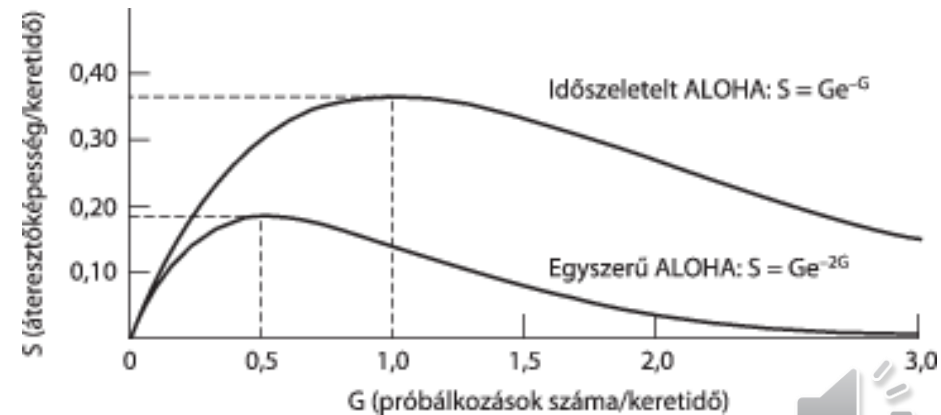
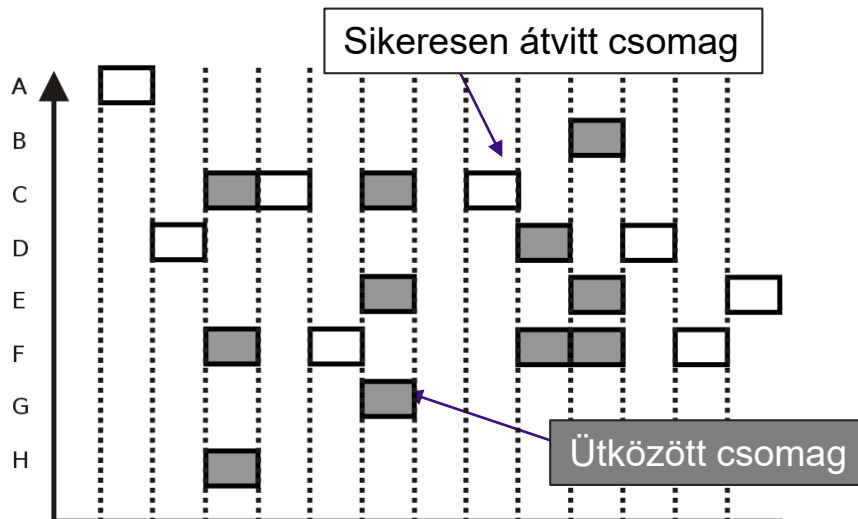
ALOHA (2)

- Kis forgalomra jó
- Nagy forgalom esetén sok ütközés
 - ... és sok újraküldés, ami újabb ütközések forrása lehet
- Optimális eset
 - A sávszélesség 18%-a használható ki



ALOHA (3)

- Időszeletelt v. réselt ALOHA (Slotted ALOHA)
- Réselés:
 - A csomagok csak meghatározott pillanatokban kezdődhetnek
- Teljesítmény javul:
 - A sávszélesség 36%-a használható ki

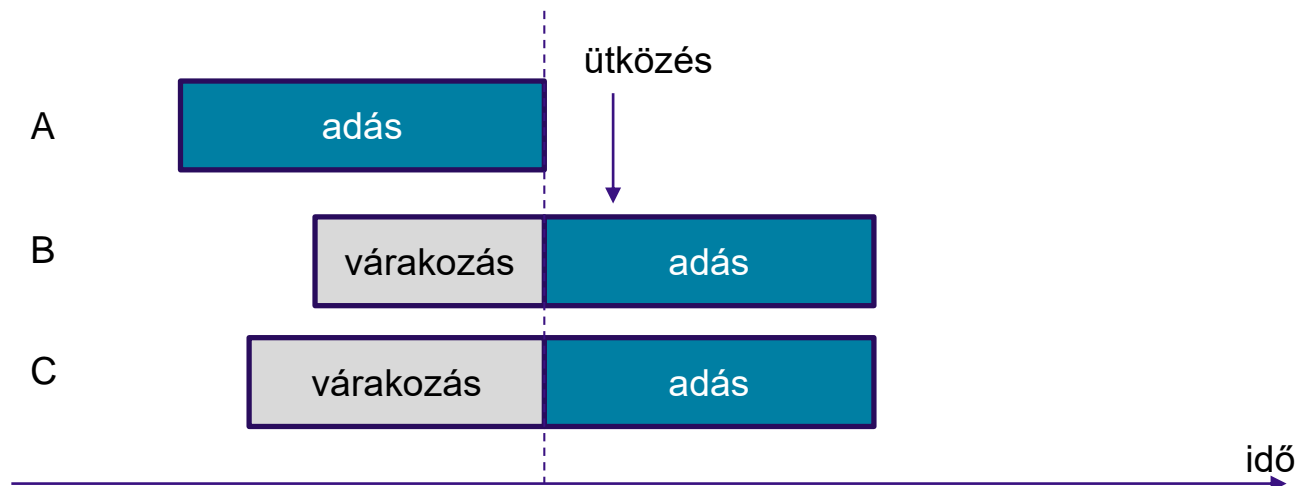


Vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférésű protokollok

- Perzisztens és nem-perzisztens CSMA
 - 1-perzisztens CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
 - Nemperzisztens CSMA
 - p-perzisztens CSMA
- CSMA ütközésdetektálással
 - CSMA/CD (CSMA with Collision Detection)

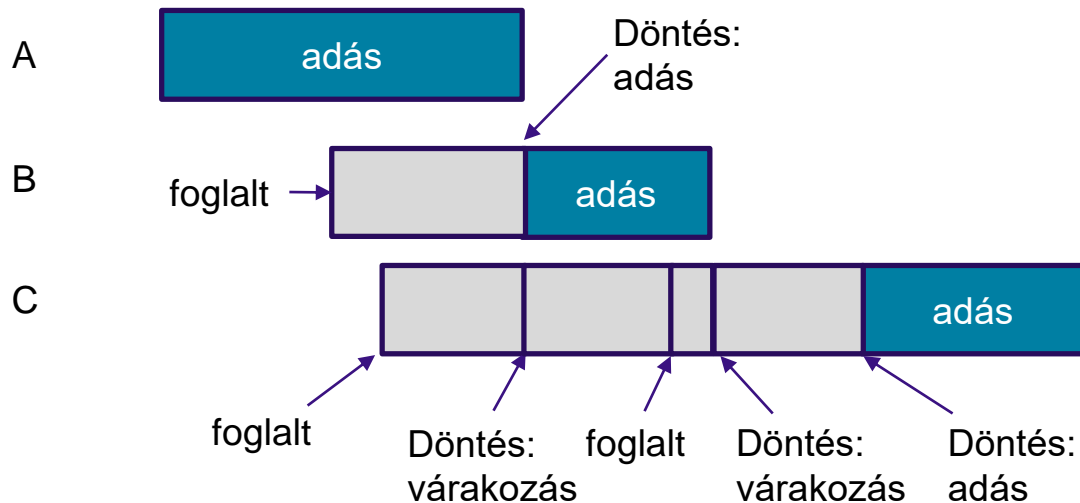
CSMA (1)

- ALOHA továbbfejlesztése
 - Vivőjel-figyelés
- 1-perzisztens CSMA
 - Adás előtt belehallgatunk a csatornába
 - Ha valaki ad, várunk.
 - Ha a csatorna szabaddá válik, akkor adni kezdünk
 - Gond: mi van, ha többen is várnak adásra (ütközés)



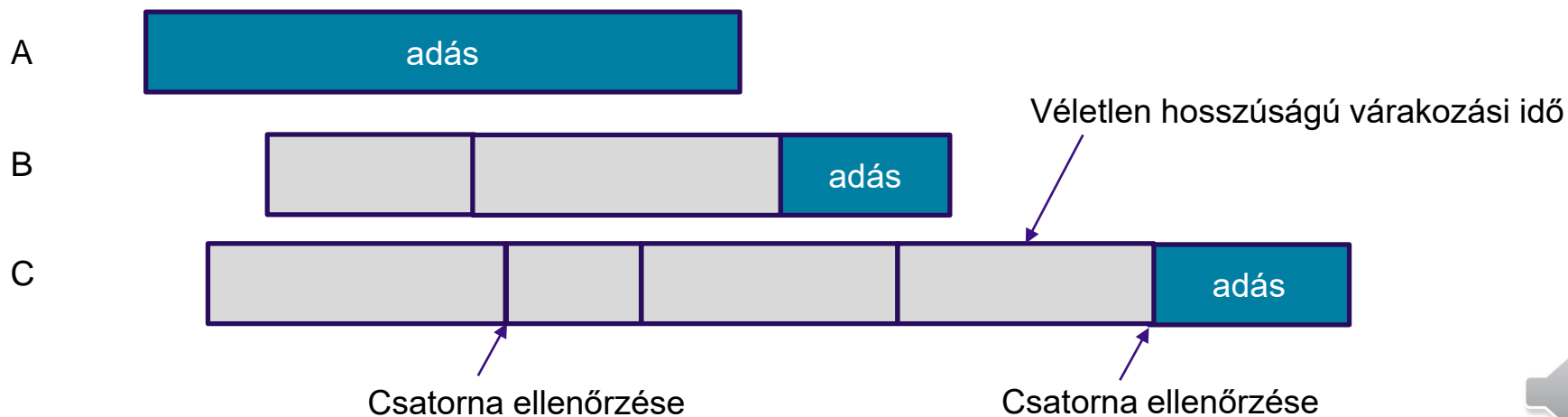
CSMA(2)

- p-perzisztens CSMA
 - Időszeletelt
 - ha szabad a csatorna
 - p valószínűséggel ad
 - $(1-p)$ valószínűséggel várakozik egy időszaknyi időt, majd újra próbálkozik
 - Ha foglalt a csatorna
 - Vár, majd újra próbálkozik



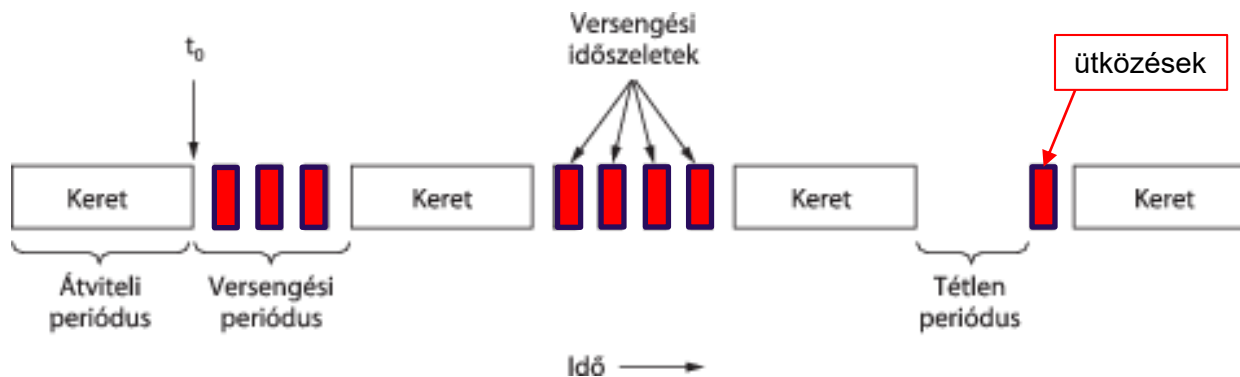
CSMA(3)

- Nem perzisztens CSMA
 - Nincs folyamatos csatornafigyelés
 - Ha szabad a csatorna
 - ad
 - Ha foglalt a csatorna
 - később (véletlen idő múlva) ismét ellenőrzi



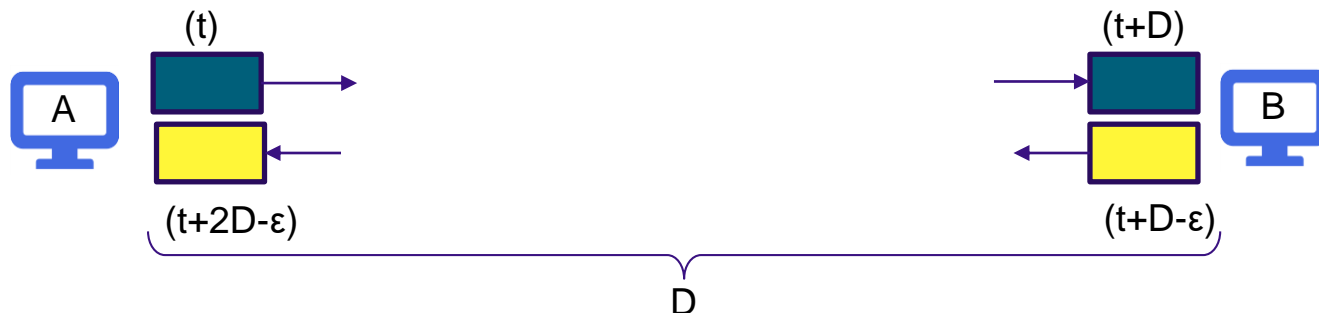
CSMA ütközésérzékeléssel (1)

- CSMA/CD (CSMA with Collision Detection)
 - Vivőérzékelés: ha forgalom van, nem adunk
 - Ha szabad a csatorna, lehet adni
 - Adás közben figyelés: van ütközés?
 - Ha igen, akkor adás felfüggesztése,...
 - Várakozás véletlen ideig,...
 - Újra próbálkozás



CSMA ütközésérzékeléssel (2)

- Mikor lehet ütközés?
 - Ha 2 állomás egyszerre kezd
- De mennyire egyszerre?
 - Ha a csatorna késleltetése D , akkor D idő eltolással is kezdhetnek és nem érzékelik a másik vivőjét
- Mennyi idő múlva vesszük észre az ütközést?
 - Max. $2D$ idő múlva
 - Tehát: ha $2D$ ideig sikeresen adunk, akkor nincs ütközés
- Klasszikus Ethernet ezt használta
 - Miért van az Ethernet csomagnak minimális mérete (64bajt)?
 - Miért van az Ethernet kábel maximális hossza meghatározva?



Ütközésmentes protokollok

Helyfoglalásos protokoll

- Az adatátvitel előtt az állomások megegyeznek, hogy kik és milyen sorrendben adhatnak
- Bittérkép (Bit-map) protokoll
 - Minden állomás egy biten jelzi igényét
 - Az adatokat ilyen sorrendben adják

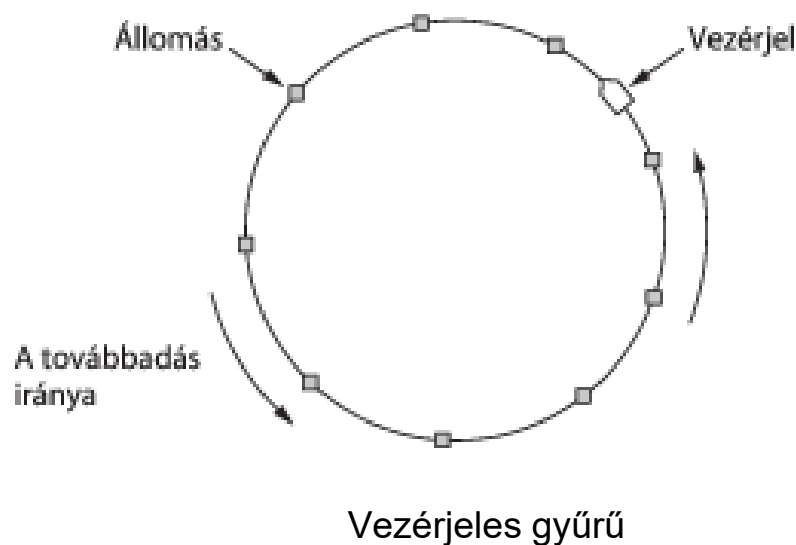


Az alapvető bittérkép protokoll

Ütközésmentes protokollok

Vezérjeles gyűrű (Token Ring)

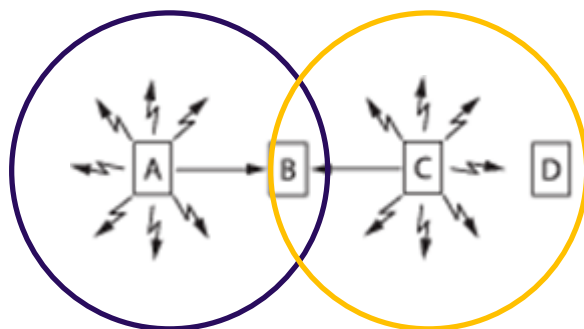
- Pontosan egy vezérjel (token) van a hálózatban
- Akinél a token van, az adhat
- A token adás után továbbadják
- RPR: Resilient Packet Ring (IEEE802.17)
 - ISP-k nagyvárosi gyűrűhálózataiban használják



Vezeték nélküli LAN protokollok (1)

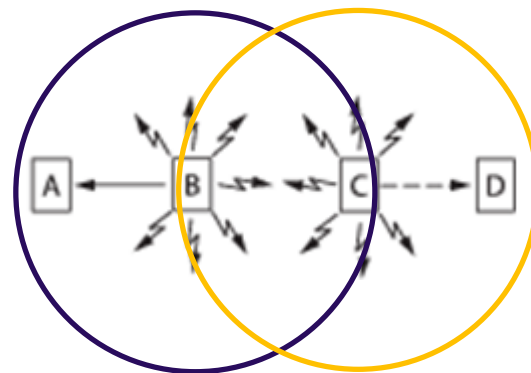
- Nehézség CSMA/CD-hez képest:

- Nem lehet az ütközést detektálni (vagy ad, vagy vesz, egyszerre nem megy)
- Nem mindenki hall mindenkit (rádió hatótávolság)
 - Rejtett terminál problémája
 - Megvilágított terminál problémája



rádió hatótávolsága

Rejtett terminál problémája

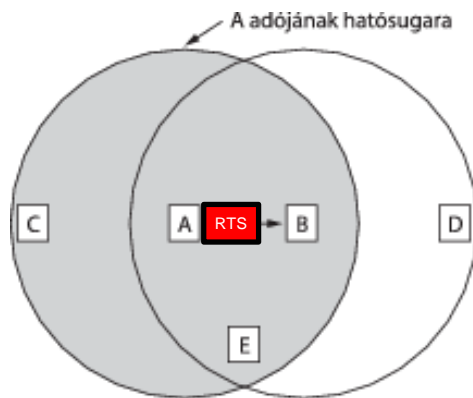


Megvilágított terminál problémája

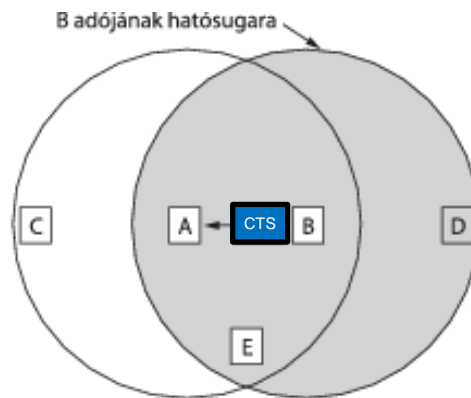
Vezeték nélküli LAN protokollok (2)

MACA

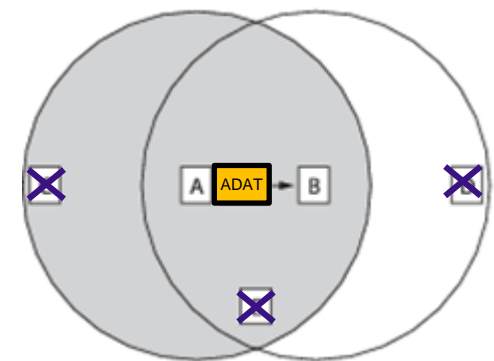
- Multiple Access with Collision Avoidance
- Az adattovábbítás előtt egy rövid handshake
 - **RTS**: Request To Send (Adási engedély kérése)
 - **CTS**: Clear To Send (Adás engedélyezve)
- Aki hallja az RTS-t vagy CTS-t, annak az adás ideje alatt csöndben kell maradni



(1) A RTS-t küld B-nek



(2) B CTS-t küld vissza A-nak

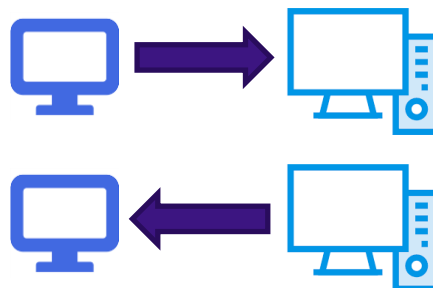


(3) A adatot küld B-nek

Kétirányú adatkapcsolatok típusai

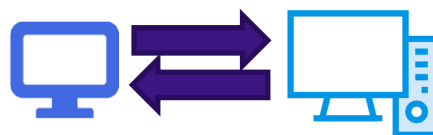
- Fél(half)-duplex

- Kétirányú kommunikáció
- Egy eszköz egy időben csak az egyik irányt használhatja
- Pl. WiFi



- Teljes(full)-duplex

- Kétirányú kommunikáció
- Egy eszköz egy időben mindkét irányt használhatja
- Pl. kapcsolt Ethernet



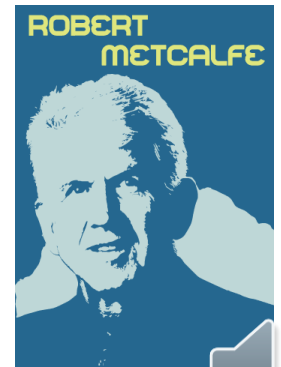
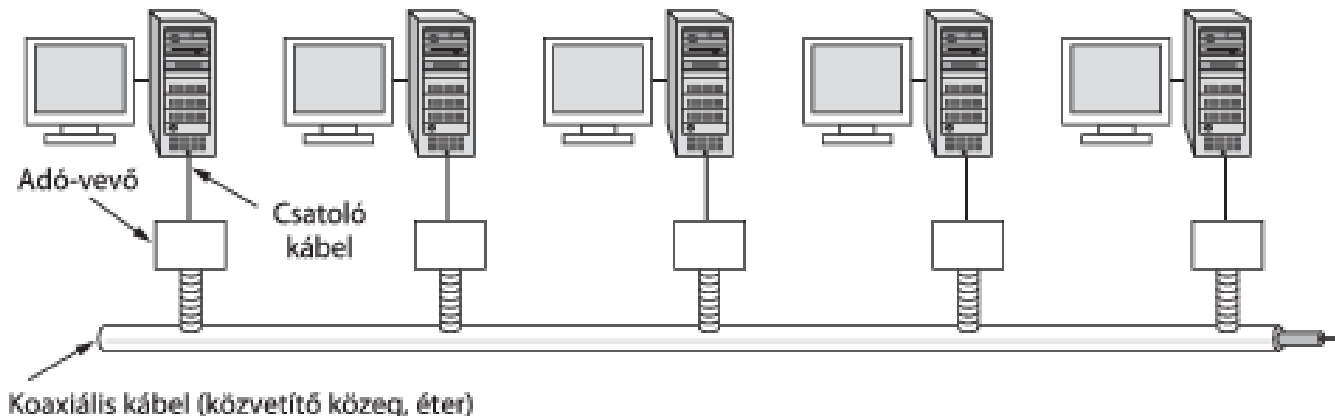
Példák

- Ethernet
- WiFi



A klasszikus Ethernet fizikai rétege

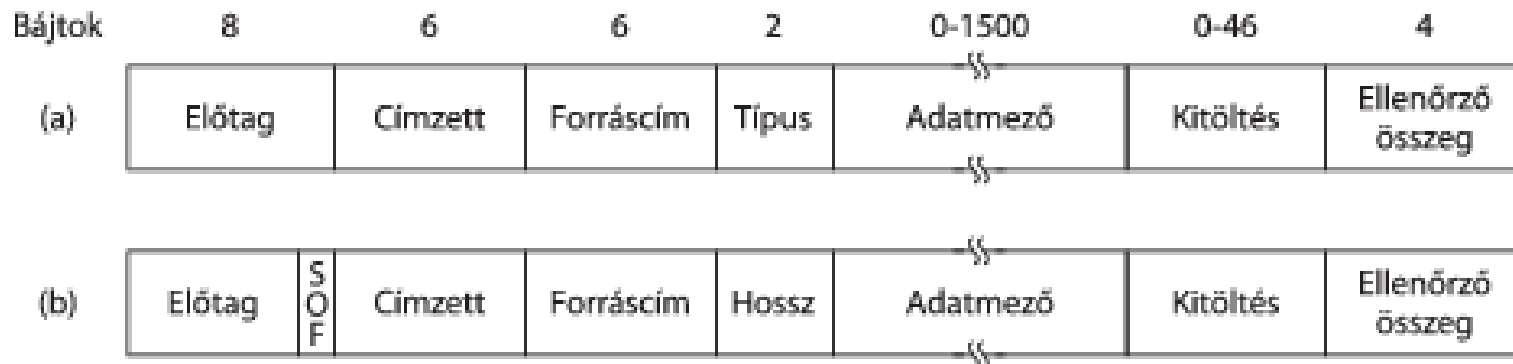
- 1973, Xerox PARC, Bob Metcalfe
- 10Mbit/s sebességű, half duplex
- Egy hosszú coax-kábelre voltak felfűzve a gépek
 - 1 szegmens max. 500m
 - Szegmensek között ismétlők (repeater)
 - Max. távolság: 2.5km
- Manchester kódolást használt



Klasszikus Ethernet MAC-alréteg (1)

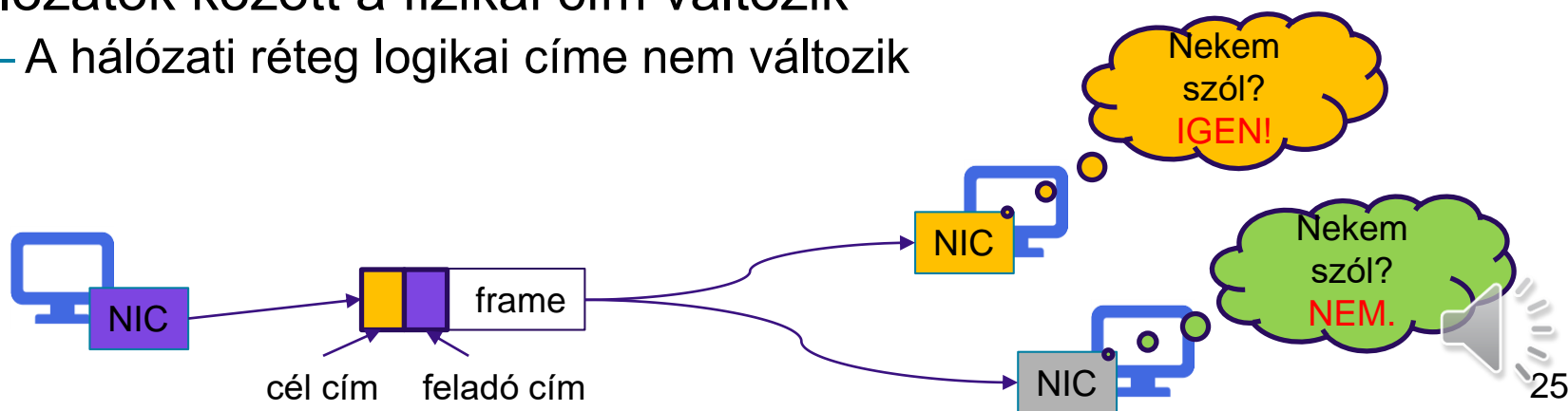
Ethernet keretformátum

- Előtag: 10101... 1011
 - Vevő szinkronizáció
- Címek: címzett, forrás
- Típus/hossz:
 - ha ≤ 1536 (0x0600), akkor hossz, különben típus (pl. IPv4 = 0x0800)
- Adatmező: legfeljebb 1500bájt
- Kitöltés: keret mérete min 64 bájt legyen
- Ellenőrző összeg: CRC
 - Ha rossz, keretet eldobják. Nincs újraküldés



Címzés az adatkapcsolati rétegben (1)

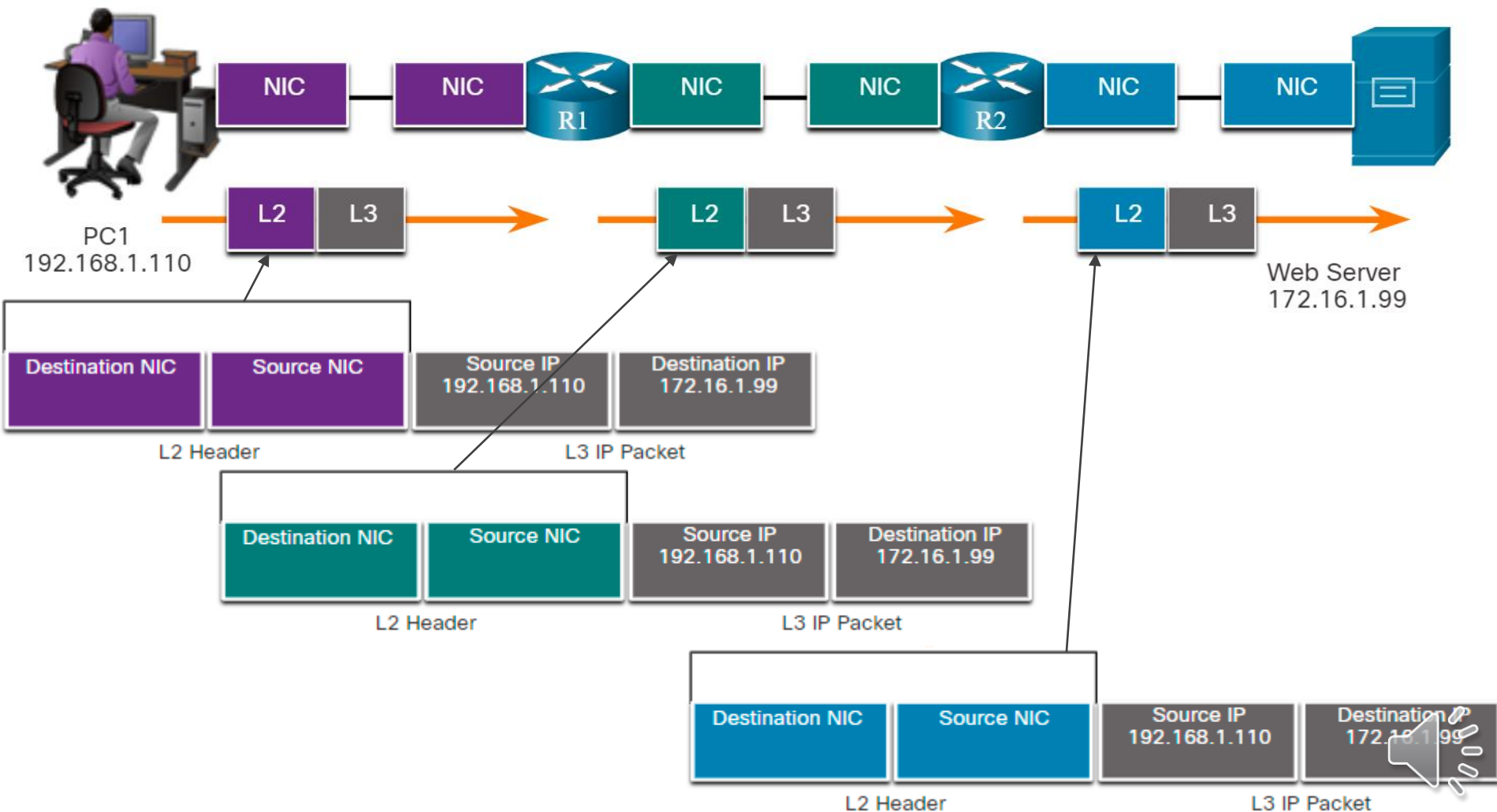
- Minden eszköznek van egy *fizikai címe*
 - Ez egyedi minden eszközre
 - Pl. Ethernet MAC-address: 48 bit
 - 12 darab hexadecimális számjegy. Pl.: 84:3a:4b:b5:63:c1
 - Első 6 számjegy (OUI): **gyártó**
 - Második 6 számjegy: **egyedi** a gyártó termékeiben
- Célja: azonos hálózaton belül (egymást látó eszközök) a címzett (és a feladó) azonosítása
 - Lehet unicast, multicast és broadcast cím
- Hálózatok között a fizikai cím változik
 - A hálózati réteg logikai címe nem változik



Címzés az adatkapcsolati rétegben (2)

Original Source

Final Destination



Klasszikus Ethernet MAC-alréteg (2)

Közeghozzáférés

1-perzisztens CSMA/CD

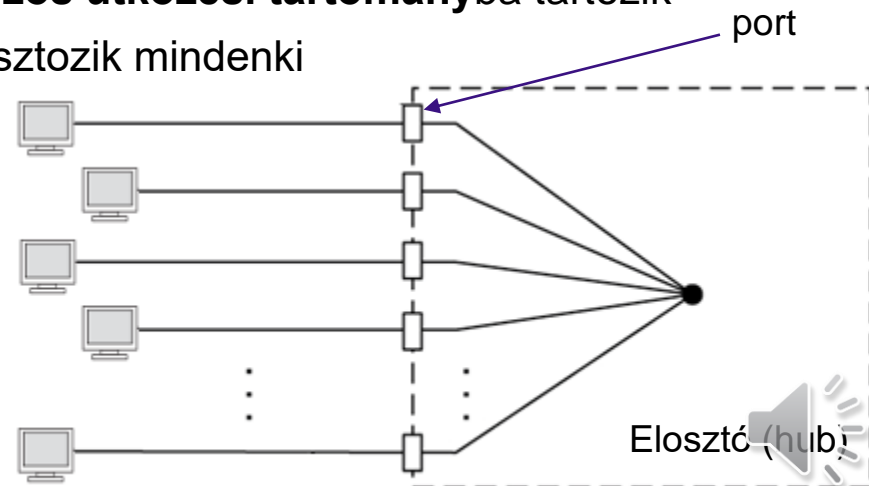
- Keret küldését elkezdi, amint a csatorna szabad
- Küldés alatt ellenőrzés. → Ütközés esetén megáll és **véletlen ideig vár**
- Kettes exponenciális visszalépés** (binary exponential backup)
- Első ütközés után 0 vagy 1 időszedet várakozás
- Második ütközés után 0, 1, 2, vagy 3 időszedet várakozás
- N-edik ütközés után 0 és $2^N - 1$ időszedet között választ várakozási időt
- 10-ik ütközés után nem nő tovább a várakozási idő (max 1023 időszedet)
- 16-ik ütközés után feladja

Ütközést biztosan érzékelni kell

- Minimum 64 bit-es kerethossz
 - $10\text{Mb/s} \times 64\text{bit} = 64\mu\text{s}$
- Ennél a körülfordulási időnek kisebbnek kell lenni
 - $50\mu\text{s}$ -ban határozták meg
 - Ebből kb. 2.5km kábelhossz adódik (ismétlőkkel együtt)

Kapcsolt Ethernet (1)

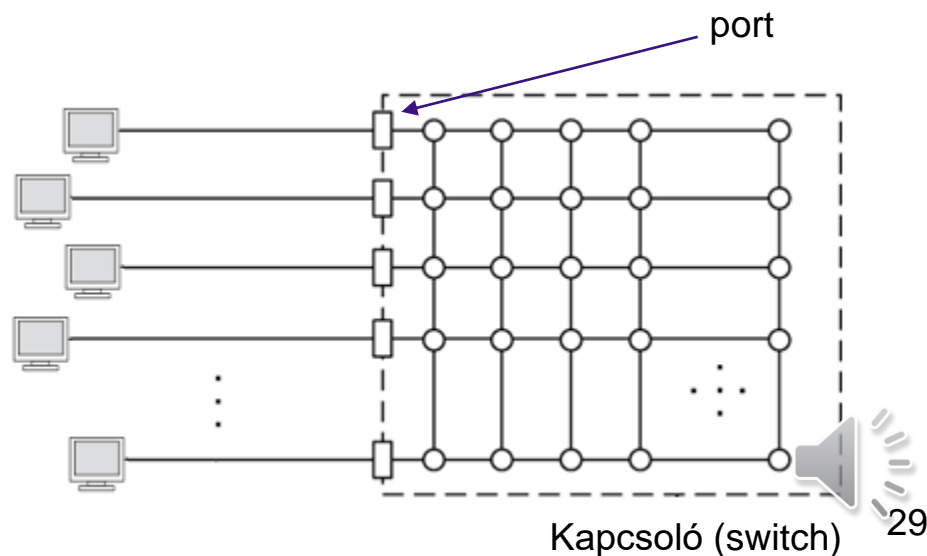
- A sorba fűzött elrendezésben nehéz a hibakeresés
- Egy kábelhiba sok állomás leszakadását okozza
- Új elrendezés:
 - Minden állomás külön kábelrel csatlakozik egy központi **elosztóba (hub)**
 - Az elosztó köti össze a kábeleket egymással
 - Meglévő telefonkábelt lehetett használni (UTP)
- Probléma:
 - minden csatlakozó állomás egyetlen **közös ütközési tartományba** tartozik
 - A csatorna sávszélességén (10Mb/s) osztozik mindenki
 - Itt is CSMA/CD kell



Kapcsolt Ethernet (2)

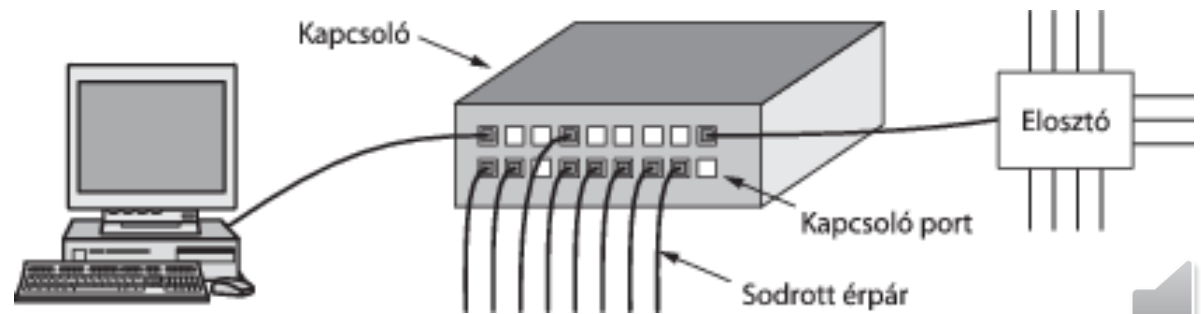
- **Kapcsoló (switch):**

- Csak azokat a portokat kapcsolja össze, amelyek egymással forgalmaznak (full duplex módon)
- Párhuzamosan több független forgalom is zajlódhat egymás zavarása nélkül
- **Nincs ütközés!**
 - Mindenkinek rendelkezésre áll a teljes sávszélesség



Kapcsolt Ethernet (3)

- Mi történik, ha több forrás is egy célnak akar adni?
 - Ütközés lenne, de...
 - ... a switch pufferel: az adatot egy ideig tárolja, majd küldi, amikor lehet
- Hogyan tudja, melyik porton melyik állomás van?
 - Megtanulja (lsd. később)



Gyors Ethernet

- 100Mb/s sebesség
- Megoldások:

Név	Kábel	Max. szegmens	Kódolás
100Base-T4	UTP cat-3, 4 pár	100m	8B/6T (T: ternary)
100Base-TX	UTP cat-5, 2 pár	100m	4B/5B
100Base-FX	Optikai kábel	2000m	Inverz NRZ és 4B/5B

- Késleltetés < kerethossz kényszerrel be kell tartani, ha ütközés lehet
 - 100Base-T4 és 100Base-TX esetén a szegmenshosszt csökkentették
 - 100Base-FX esetén switch használata kötelező

Gigabites Ethernet

Név	Vezeték	Max. szegmens	Előnyök
1000Base-SX	Fényvezető szál	550 m	Többmódusú fényvezető szál (50 vagy 62,5 μm átmérő)
1000Base-LX	Fényvezető szál	5000 m	Egy- (10 μm átmérő) vagy többmódusú (50 vagy 62,5 μm átmérő) fényvezető szál
1000Base-CX	2 pár STP	25 m	Ármékolt sodrott érpár
1000Base-T	4 pár UTP	100 m	Szabványos 5-ös kategóriájú UTP

- 1Gb/s sebesség
- **Duplex mód**
 - Kapcsoló használata esetén
 - Nem kell CDMA/CD, így a kábelhosszt csak a jelerősség határozza meg
- **Fél-duplex mód**
 - Elosztó használata esetén
 - CDMA/CD kell,
 - így a kábelhosszt csökkenteni kell (25m)...
 - ... vagy vivőjel-kiterjesztés: a keret hosszát a hardver megnöveli, a másik oldalon pedig az extra biteket leszedi → elég hosszú lesz keret
- Kódolás: 8B/10B
- Forgalomszabályozás:
 - Ha az adó túl gyorsan ad, a vevő PAUSE (SZÜNET) kerettel kérhet időt
- Óriáskeret (Jumbo Frame)
 - 1500B-nál nagyobb keretek használata (max 9kB)
 - nem szabványos, de a legtöbb gyártó támogatja



10 Gigabites Ethernet

- 10Gb/s sebesség
- Alkalmazás:
 - Adatközpontokban
 - Nagy sáv szélességű trónkvonalakon
- Nincs CSMA/CD
- Kódolás: 64B/66B

Név	Vezeték	Max. szegmens	Előnyök
10GBase-SR	Fényvezető szál	300 m-ig	Többmódusú fényvezető szál (0,85 μ m hullámhossz)
10GBase-LR	Fényvezető szál	10 km	Egymódusú fényvezető szál (1,3 μ m hullámhossz)
10GBase-ER	Fényvezető szál	40 km	Egymódusú fényvezető szál (1,5 μ m hullámhossz)
10GBase-CX4	4 pár twinax	15 m	Twinaxiális rézkábel
10GBase-T	4 pár UTP	100 m	6a-s kategóriájú UTP

Twinax: mint koax, de 2 vezetéket tartalmaz

16 feszültségszintet használ



Vezeték nélküli LAN-ok (WiFi)

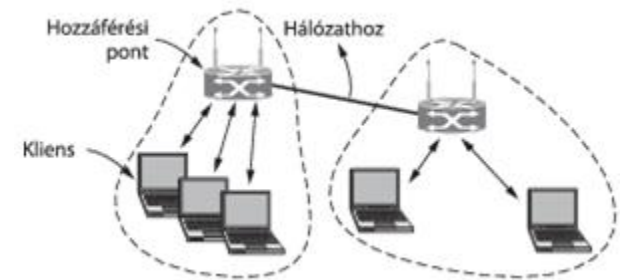
- 802.11 architektúra
- 802.11 fizikai réteg
- 802.11 MAC alréteg protokoll
- 802.11 keretszerkezet

A 802.11 fizikai felépítése (1)

- Két működési mód

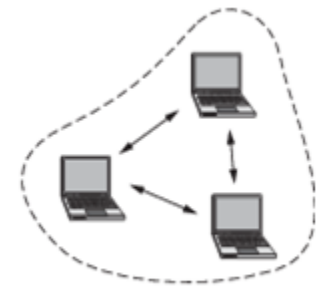
- Infrastruktúra mód

- Kell egy hozzáférési pont (Access Point- AP)
 - Minden kliensgép az AP-hez csatlakozik
 - Az AP csatlakozik a másik hálózathoz
 - Általában ezt használjuk



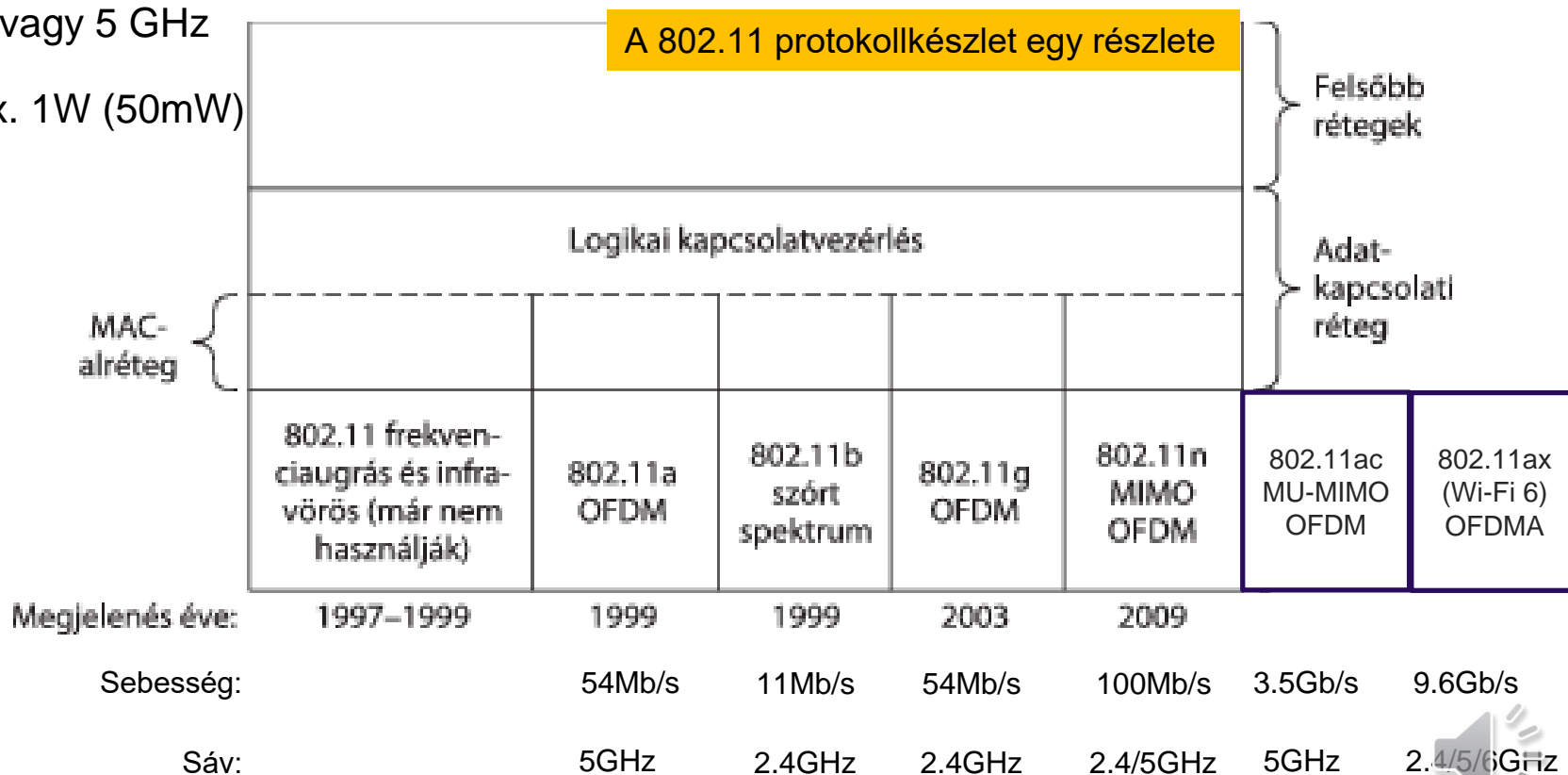
- Ad-hoc hálózat

- AP nélkül működik
 - Közvetlenül tudnak egymásnak kereteket küldeni
 - Ritkán használt



A 802.11 fizikai felépítése (2)

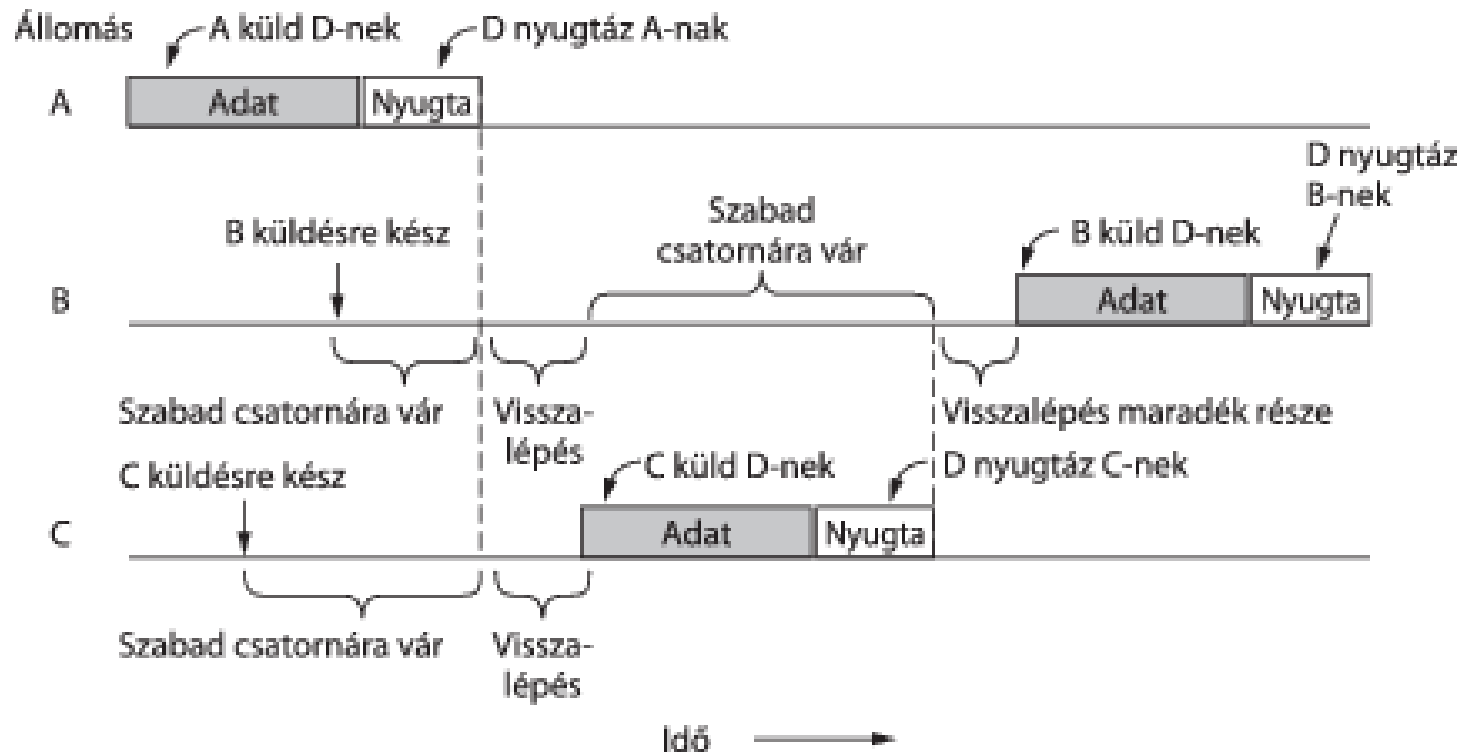
- A 802.11 protokollok néhány változata
- Általában OFDM és BPSK, QPSK, QAM-xx moduláció
- 2.4 vagy 5 GHz
- Max. 1W (50mW)



A 802.11 MAC protokoll (1)

- Rádió fél-duplex →
 - CSMA/CD nem működik vezeték nélküli hálózatokban
- CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance) Ütközés *elkerülés*
- Szabályok:
 - Vivőérzékelés, szabad csatornára vár
 - Ütközés esetén kettes exponenciális visszalépés
 - Adás előtt véletlenszerű ideig vár
 - Várákozás alatt is ellenőrzi a csatornát
 - Ha foglalt, akkor a várákózást felfüggeszti (óra leáll)
 - Ha szabad, a várákózást folytatja (óra ketyeg)
 - A várákózási idő végén kezd adni
 - Vevő nyugtát küld (az esetleges ütközést ebből látjuk)

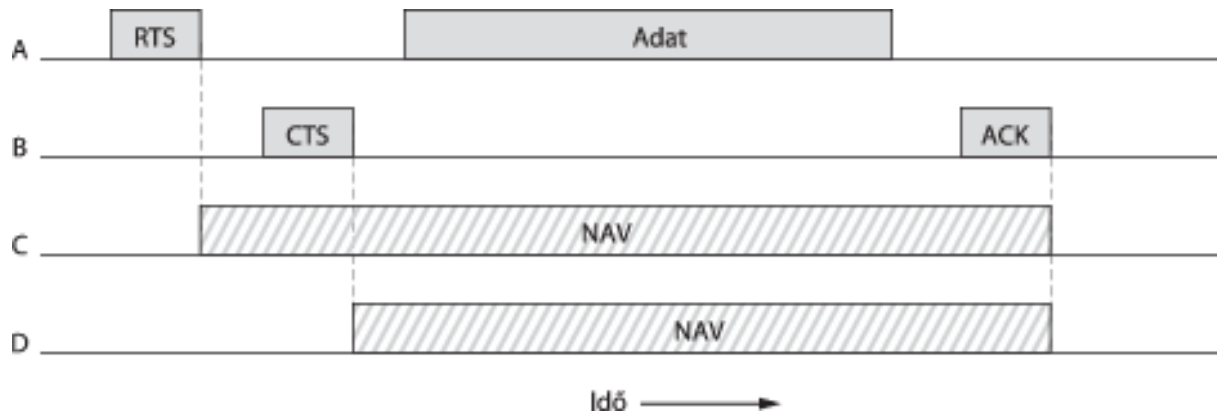
A 802.11 MAC protokoll (2)



Keret küldése CSMA/CA segítségével

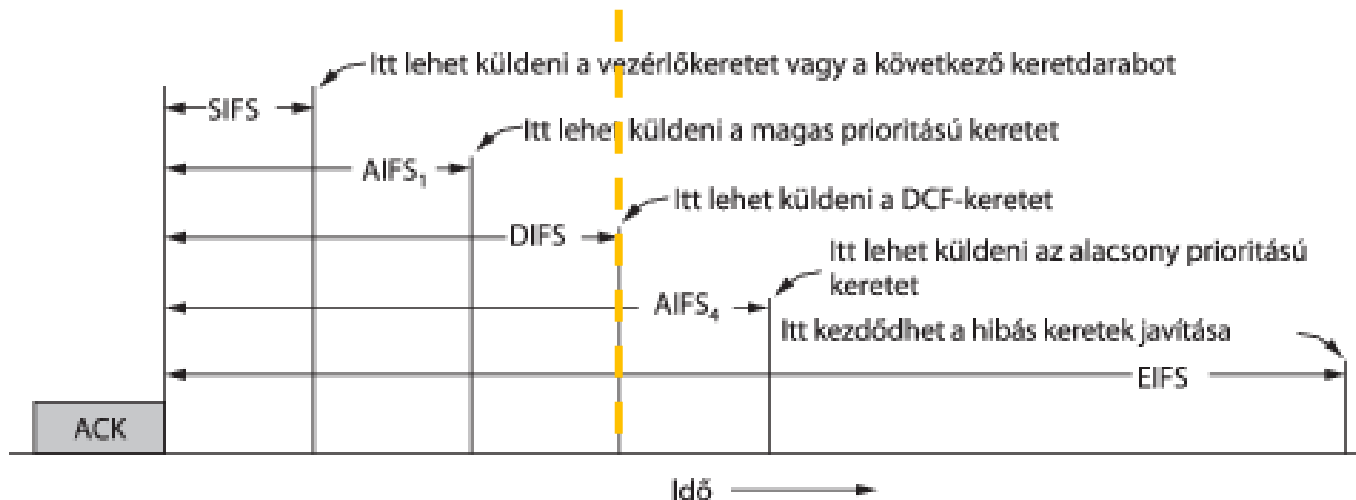
A 802.11 MAC protokoll (3)

- Továbbra is gond: rejtett terminál problémája
 - Ezen segít a virtuális vivőérzékelés (opcionális)
 - Hasonló a MACA-ban alkalmazott RTS/CTS megoldáshoz
 - NAV (Network Allocation Vector): hálózatkiosztási vektor
 - Az üzenet tartalmazza az üzenet időtartamát
 - Aki hallja, a saját NAV-ját frissíti ezzel az adattal és csöndben marad erre az időre
- Egyéb stratégiák:
 - A hibaarány függvényében változtatják az átviteli sebességet (sok hiba → csökkentett sebesség)
 - Keretek szabdalása kisebb darabokra (kis keret → kisebb a hiba esélye)
 - AP képes a kereteket pufferelni: az állomások két adás-vétel között alhatnak (energiatakarékosság)



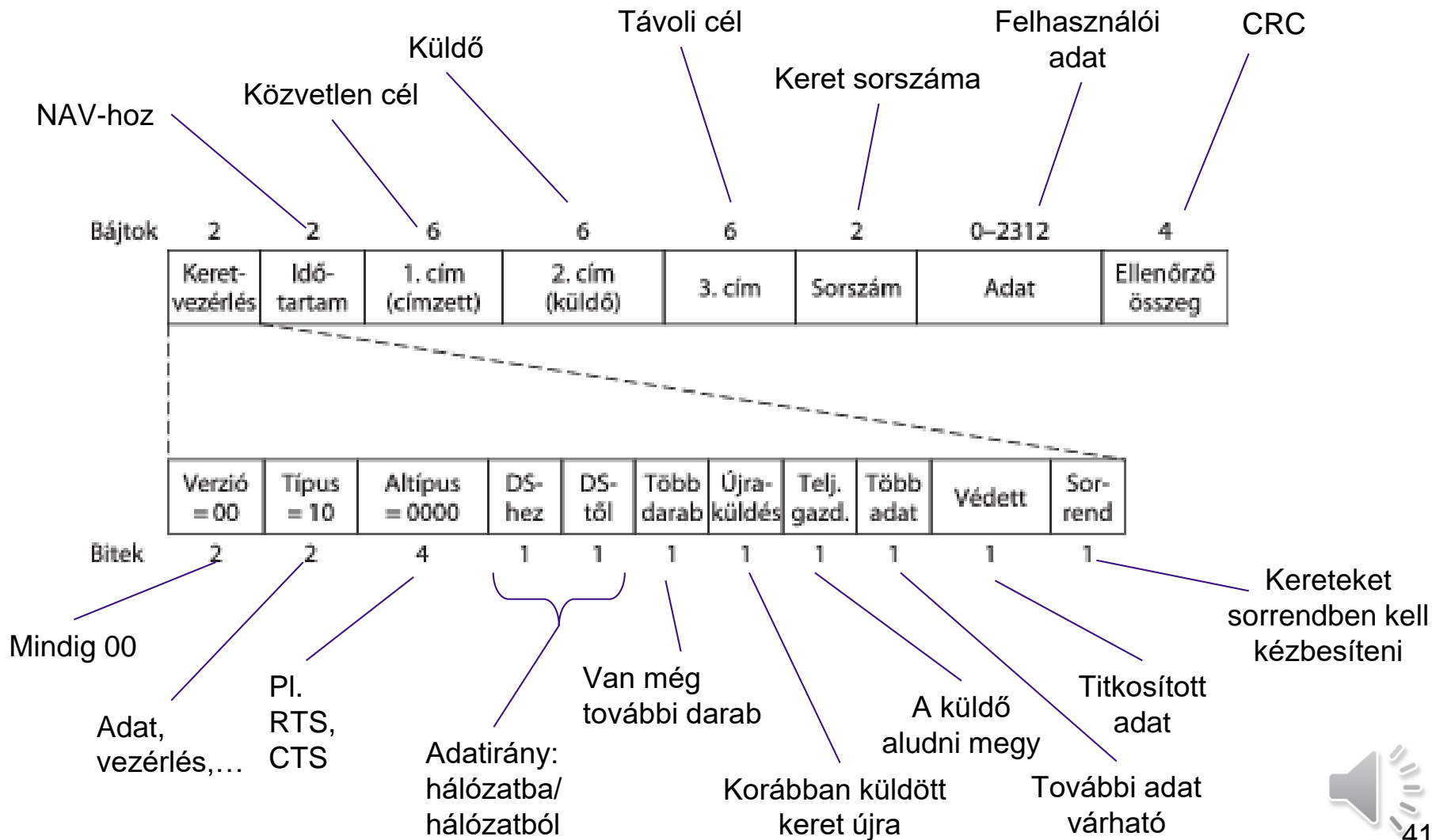
A 802.11 MAC protokoll (4)

- Versengést tovább segíti a keretek közötti várakozási időintervallumok
- Különböző típusú kereteknek különböző hosszúságú várakozási ideje van
 - SIFS: Rövid vezérlő üzenetek (RTS, CTS)
 - AIFS₁: nagy prioritású keretek
 - DIFS: normál prioritás
 - AIFS₂: alacsony prioritású keretek
 - EIFS: hibás keretek javítása



A 802.11 MAC protokoll (5)

Keret felépítése



A 802.11 MAC protokoll (6)

Szolgáltatások

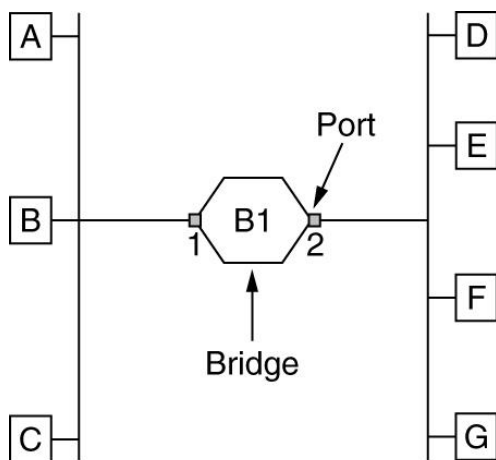
- Kapcsolódás
 - Kezdeti kapcsolódás
 - Újrakapcsolódás (kiterjedt hálózatban váltás AP-k között)
 - Szétkapcsolás
- Adatkézésítés
 - Nincs garancia (Ethernetnél sincs!)
- Biztonsági szolgáltatások
 - Hitelesítés (pl. WPA2 – WiFi protected Access 2)
- Prioritások, energiagazdálkodás
 - Pl. beszédforgalom előny élvezhessen
 - Adási teljesítmény szabályzás

Kapcsolás az adatkapcsolati rétegben

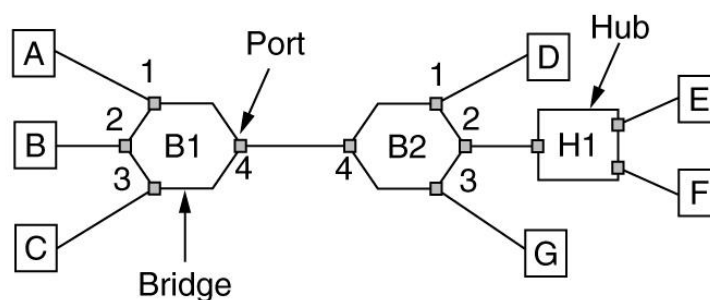
- Hidak, kapcsolók
- Öntanuló hidak
- Feszítőfás hidak
- Ismétlők, elosztók, hidak, kapcsolók, útválasztók és átjárók

Hidak, kapcsolók (1)

- Elosztó (hub):
 - a kapcsolódó állomások egyetlen ütközési tartományt alkotnak
 - Fél-duplex
- Híd, kapcsoló (bridge, switch):
 - Minden porton külön állomás (nincs ütközés, full-duplex)
 - A kapcsoló az üzeneteket a megfelelő portra továbbítja



(a)



(b)

De hogyan tudja, hogy melyik porton melyik eszköz van?

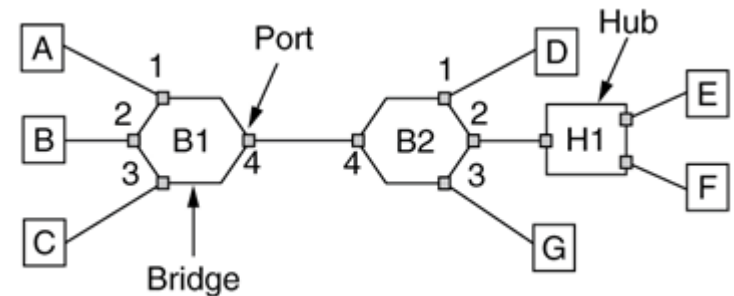
(a) Egy híd, amely két többpontos LAN-t kapcsol össze.

(b) Hidak (és egy elosztó), amely hét kétpontos állomást kapcsol össze



Hidak, kapcsolók (2)

- De hogyan tudja a híd, hogy melyik portján melyik eszköz van?
- Táblázat (hash):
 - Célállomás fizikai címe – csatlakozó port száma
- Cél: plug-and-play
- A táblázatot meg kell tanulni
- Hátrafelé tanulás (backward learning)
 - A híd a beérkező keretek **forráscímeit** megvizsgálja
 - A megfelelő porthoz kapcsolva ezeket beírja a táblázatba
- Útválasztás
 - A híd a beérkező keretek **célcímeit** megvizsgálja:
 1. Ha a célcímhez tartozó port és a forrásport azonos, akkor a keretet el kell dobni.
 2. Ha a célcímhez tartozó port és a forrásport különböző, akkor a keretet továbbítani kell a célporton.
 3. Ha a célport ismeretlen, akkor elárasztást kell alkalmazni és a keretet a forrásport kivételével minden porton ki kell küldeni.



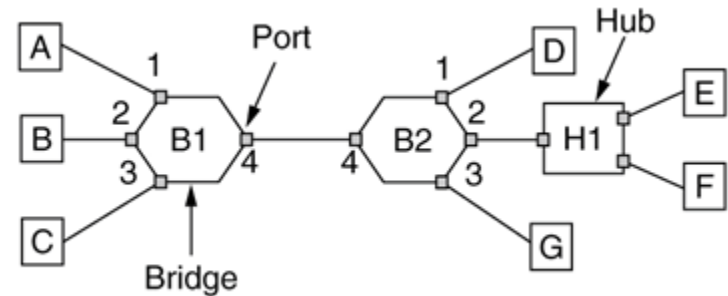
Hidak, kapcsolók (3)

- Hátrafelé tanulás (backward learning)

- A híd a beérkező keretek **forráscímeit** megvizsgálja
- A megfelelő porthoz kapcsolva ezeket beírja a táblázatba

- Útválasztás

- A híd a beérkező keretek **célcímeit** megvizsgálja:
 1. Ha a célcímhez tartozó port és a forrásport azonos, akkor a keretet el kell dobni.
 2. Ha a célcímhez tartozó port és a forrásport különböző, akkor a keretet továbbítani kell a célporton.
 3. Ha a célport ismeretlen, akkor elárasztást kell alkalmazni és a keretet a forrásport kivételével minden porton ki kell küldeni.



A→D

B1 táblája üres

Kiküldi a keretet a 2,3,4 portokon

Beírja az A-1 bejegyzést a táblába

B2 táblája üres

Kiküldi a keretet az 1,2,3 portokon

Beírja az A-4 bejegyzést a táblába

D→A

B2 táblája tartalmazza az A-4 bejegyzést

Kiküldi a keretet a 4 porton

B1 táblája tartalmazza az A-1 bejegyzést

Kiküldi a keret az 1 porton

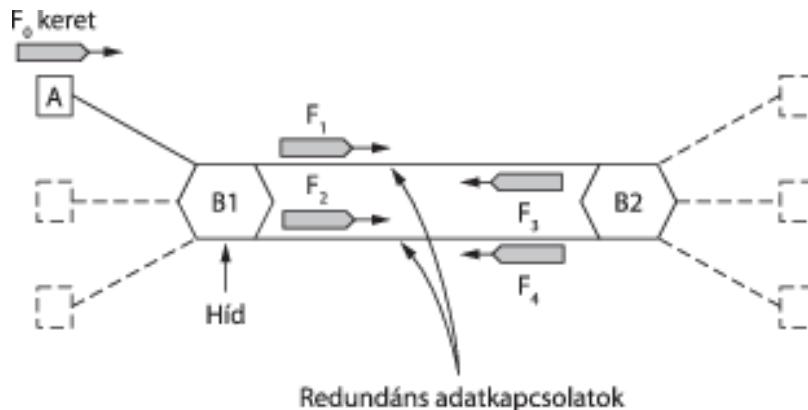
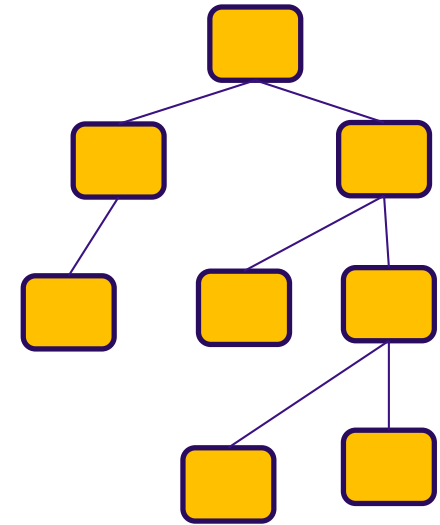
E→F

?



Hidak, kapcsolók (4)

- Potenciális gond: kör (végtelen ciklus)
- Ez minden nagyobb hálózatban előfordulhat (redundancia)
- Megoldás:
 - A köröket elkerüljük
 - Feszítőfa építése
 - Csak a feszítőfa éleit használjuk az adattovábbítás során



A → D

B1 táblája üres (nem ismeri a célt)

Kiküldi a keretet a felső porton is (F1)

Kiküldi a keretet az alsó porton is (F2)

B2 táblája üres (nem ismeri a célt)

Kiküldi az F1 keretet az alsó porton is (F4)

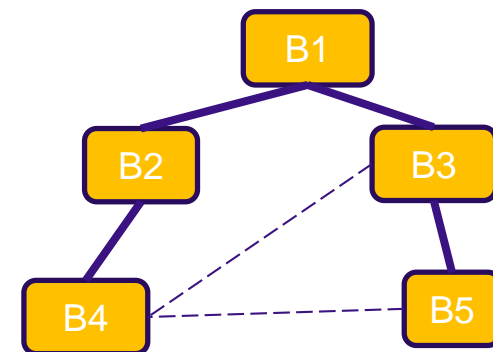
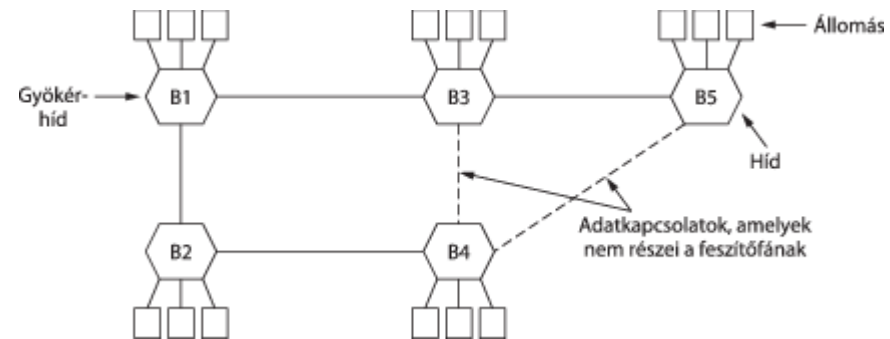
Kiküldi az F2 keretet a felső porton is (F3)

Stb.: körbe járnak, közben a többi porton is szétküldődnek

Hidak, kapcsolók (5)

Feszítőfa építése

- Minden híd üzeneteket küld: ki a gyökér, mekkora a távolság tőle (R, D)
- Kezdetben mindenki azt hiszi, saját maga (S) a gyökér: (R=S, D=0)
 - Ha kap egy (R', D') üzenetet kisebb indexű gyökérről, vagy ugyanazon indexű gyökérről kisebb távolsággal, akkor módosítja a saját adatbázisát:
 - Új gyökér bejegyzése (R=R')
 - Távolság: $D=D'+1$
 - Továbbiakban ezt küldi szét
 - Azt is megjegyezzük, kitől jött ez az üzenet. Ő lesz az őszünk.
- Csak az ősz-gyerek kapcsolatokat használjuk
 - A gyökértől minden csomópontig a legrövidebb úton lehet eljutni
 - Két csomópont között már nem biztos, hogy optimális a távolság

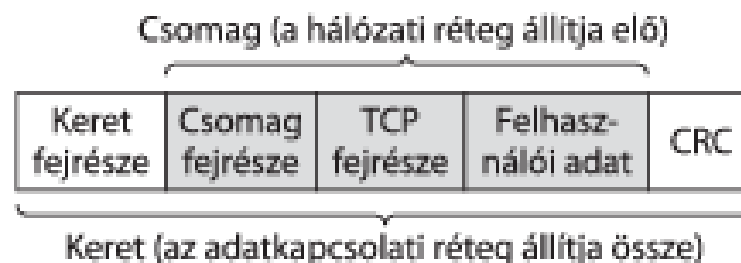


Ismétlők, elosztók, hidak, kapcsolók, útválasztók és átjárók

(Repeaters, Hubs, Bridges, Switches, Routers, Gateways)

Alkalmazási réteg	Alkalmazási átjáró
Szállítási réteg	Szállítási átjáró
Hálózati réteg	Útválasztó
Adatkapcsolati réteg	Híd, kapcsoló
Fizikai réteg	Ismétlő, elosztó

(a)



(b)

- (a)** Az egyes eszközök és a rétegek, ahol megtalálhatók.
- (b)** Keretek, csomagok és fejrészek