

Számítógép-hálózatok

A közeghozzáférési alréteg: gyakorlati implementációk

2025/2026. tanév, I. félév

Dr. Kovács Szilveszter

E-mail: szilveszter.kovacs@uni-miskolc.hu

www.iit.uni-miskolc.hu/~szkovacs

Informatika Intézet 107/a.

Tel: (46) 565-111 / 21-07

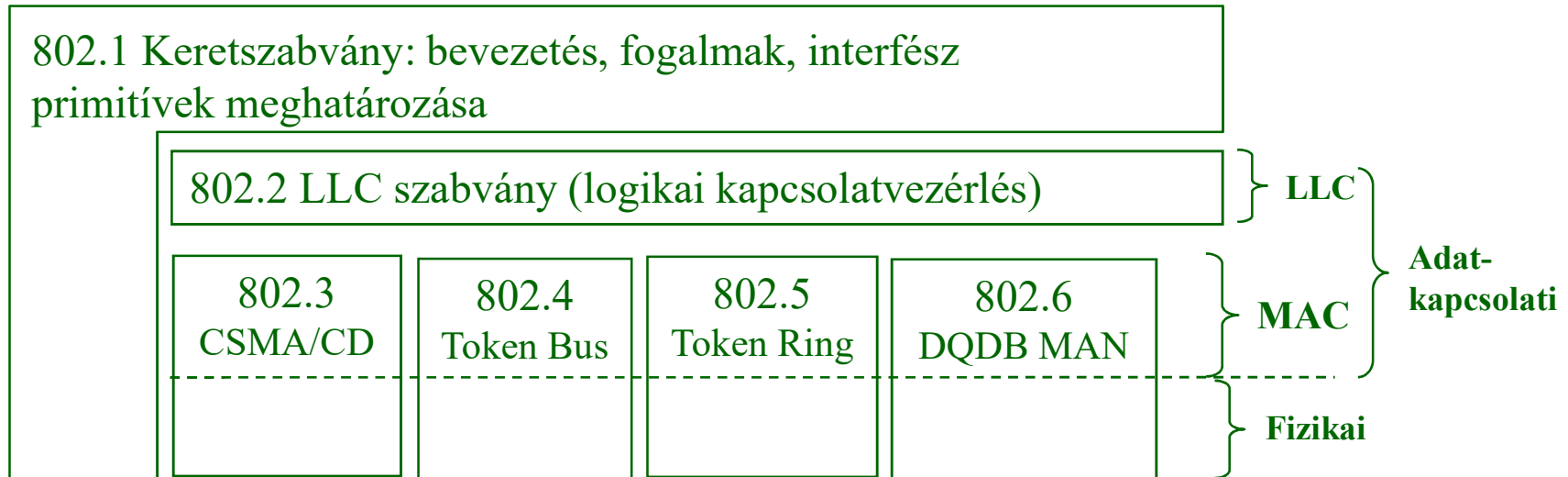
Miről lesz szó?

- **Közeghozzáférési alréteg gyakorlati megvalósításairól**
 - Ethernet, illetve az
 - IEEE 802 szabványcsomag
 - Ennek CSMA/CD,
 - Token Bus,
 - Token Ring és
 - Wireless LAN (CSMA/CA) implementációi, valamint az
 - FDDI és az
 - ATM.

Az IEEE 802

- **IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineer – Villamosmérnökök intézete**
- **Az IEEE 802 LAN szabványok összefoglalója**
- **Az ISO is elfogadta ISO 8802 néven (nemzetközi szabvány)**
- **Az ANSI is elfogadta (USA kormányzati)**
- **Az IEEE 802 több részből áll**
 - **Pl. az IEEE 802.3 az Ethernet adoptálása (1985)**
 - **Az Ethernetet a Xerox, DEC, Intel fejlesztette.**
 - Ethernet 1 specifikáció (1980)
 - Ethernet 2 (1984) → IEEE 802.3

IEEE 802 részei



- **802.3 CSMA/CD**, az Ethernet 2 specifikációiból (IEEE, 1985)
- **802.4 Vezérjeles sín**; a General Motors és gyártásautomatizálással foglalkozó cégek fejlesztették ki (IEEE, 1985)
(busz, max. késleltetés korlátos, prioritások)
- **802.5 Vezérjeles gyűrű**; az IBM Token Ring-je (IEEE, 1985)
- **802.6 Distributed Queue Dual Bus**, MAN szabvány, kettős busz, szétosztott sorképzés

IEEE 802 részei

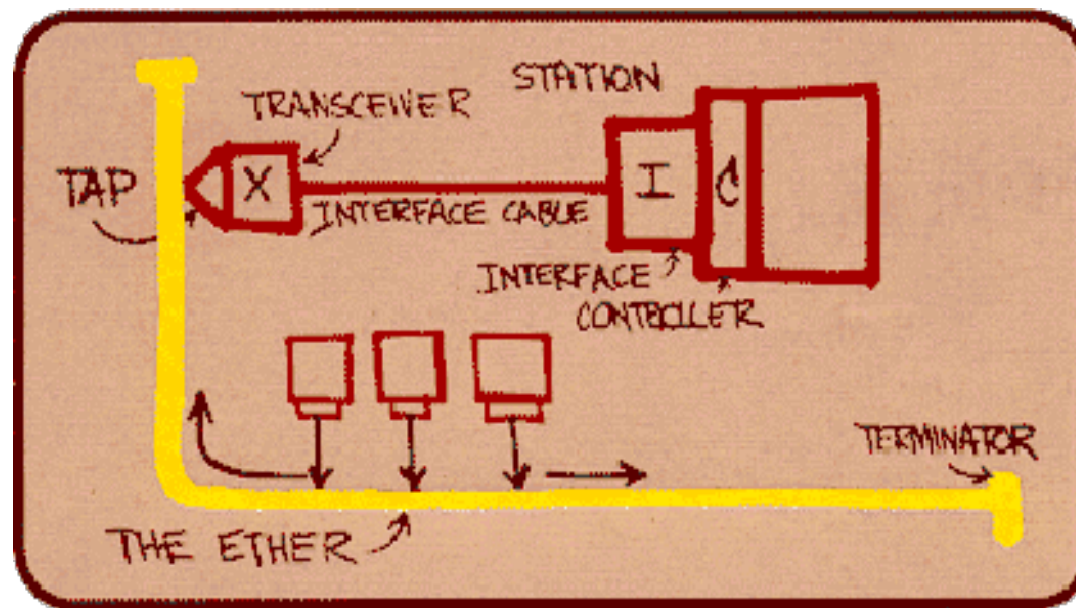
- **802.7 Broadband technology**
- **802.8 FDDI**
- **802.9 Integrated voice & data**
- **802.10 Network security**
- **802.11 Wireless networks, WLAN**
- **802.12 100VG_AnyLAN**
 - Csillag topológia; igény szerinti prioritás-séma;
 - CAT3,4 vagy 5 UTP & STP; Fibre
 - Kábelhosszak
 - CAT3,4: 100m, CAT4: 150 m; Fibre: 2000 m
- **802.16 vezeték nélküli MAN (Wireless MAN)**
 - Épületek számára nyújt nagy sávszélességű duplex kapcsolatot
 - 802.16a 2-11GHz, 802.16b 5GHz; 50-100-150Mbps
 - 1999-től fejlesztik, 2002-ben fogadták el a szabványt

Ethernet II versus 802.3

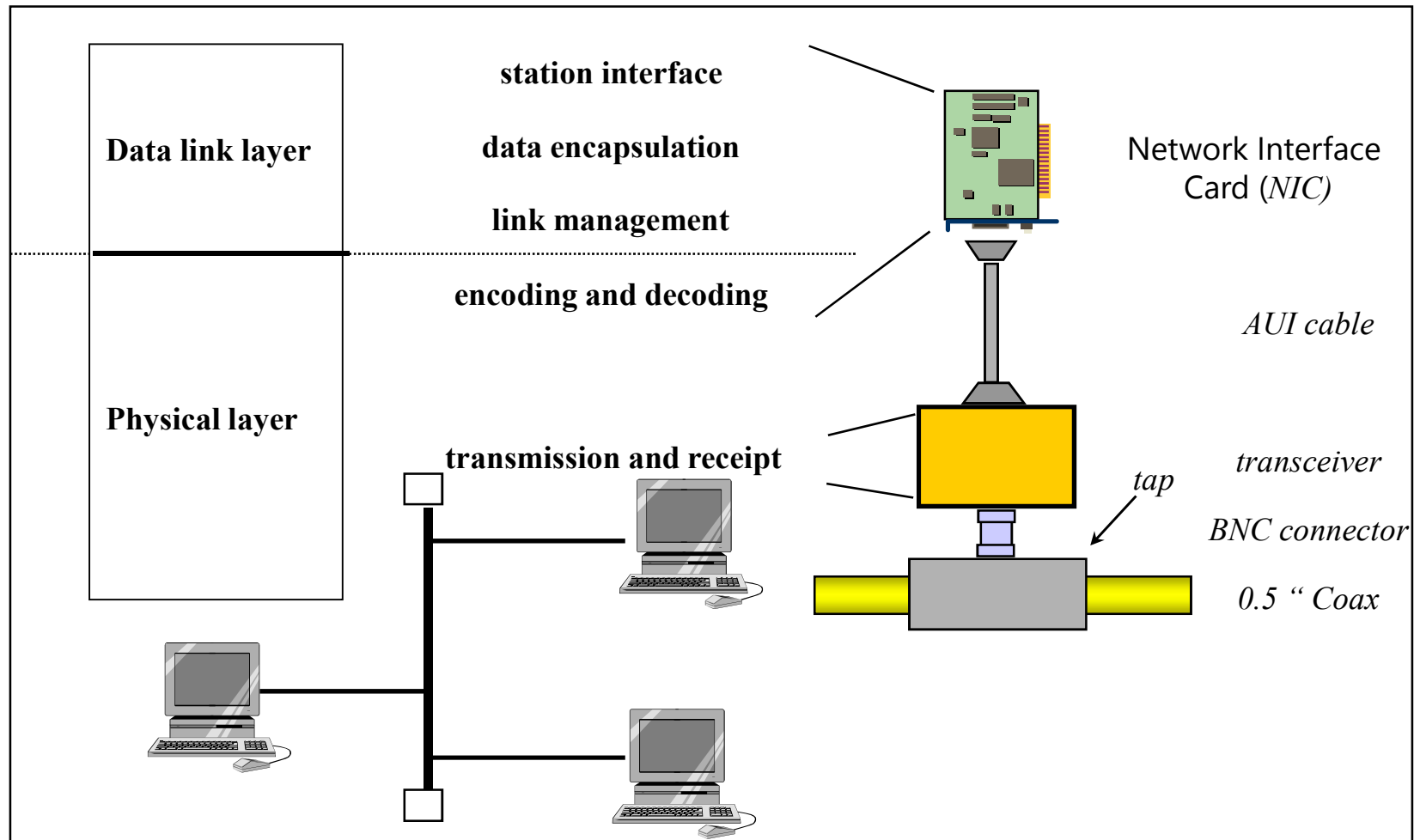
- **A név eredete: luminiferous éter** - a teret kitöltő anyag, amit az elektromágneses sugárzás közvetítő anyagának képzeltek el.
- **DIX Ethernet** (Dec Intel Xerox)
- **Összevetve a kettőt:**
 - a 802.3 bővebb, további fizikai közegeket és sebességeket is definiál;
 - eltérő keretformátum
 - de azonosak a közeghozzáférési módszerben

Ethernet II

- *"The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet ... to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet. Since then other terms have come into usage among Ethernet enthusiasts." **The Ethernet Sourcebook**, ed. Robyn E. Shotwell (New York: North-Holland, 1985), title page.*



Ethernet (10Base5)



Ethernet szabványok

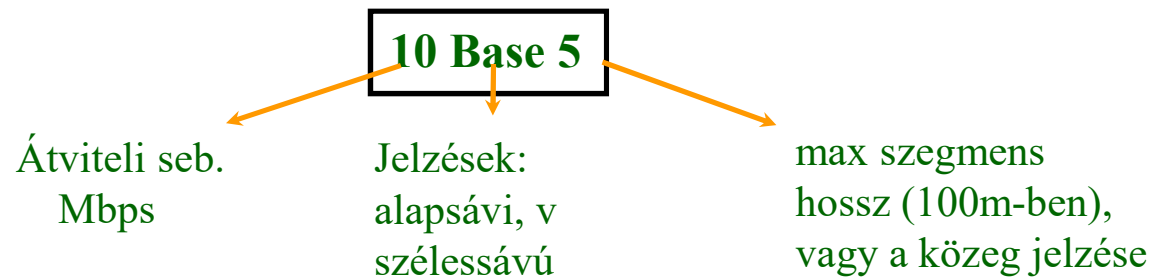
- **Vastag Ethernet (yellow cable vagy thick E)**
 - 0,5" átmérőjű, 50 Ω -os, sárga koaxiális kábel, max szegmens hossza 500m
 - min. 2,5 méterenként “vámpír” csatlakozón (tap) adó-vevő (transiever), ebből 15 pólusos AUI (Attachment Unit Interface) kábel a géphez;
 - ismétlőkkel (repeater) max 5 kábel köthető össze, ezzel a teljes hossz 2,5 Km (max. terjedési késleltetés korlát, 51,2 μ s, 512bit (64byte) min. keretméret);

Ethernet szabványok

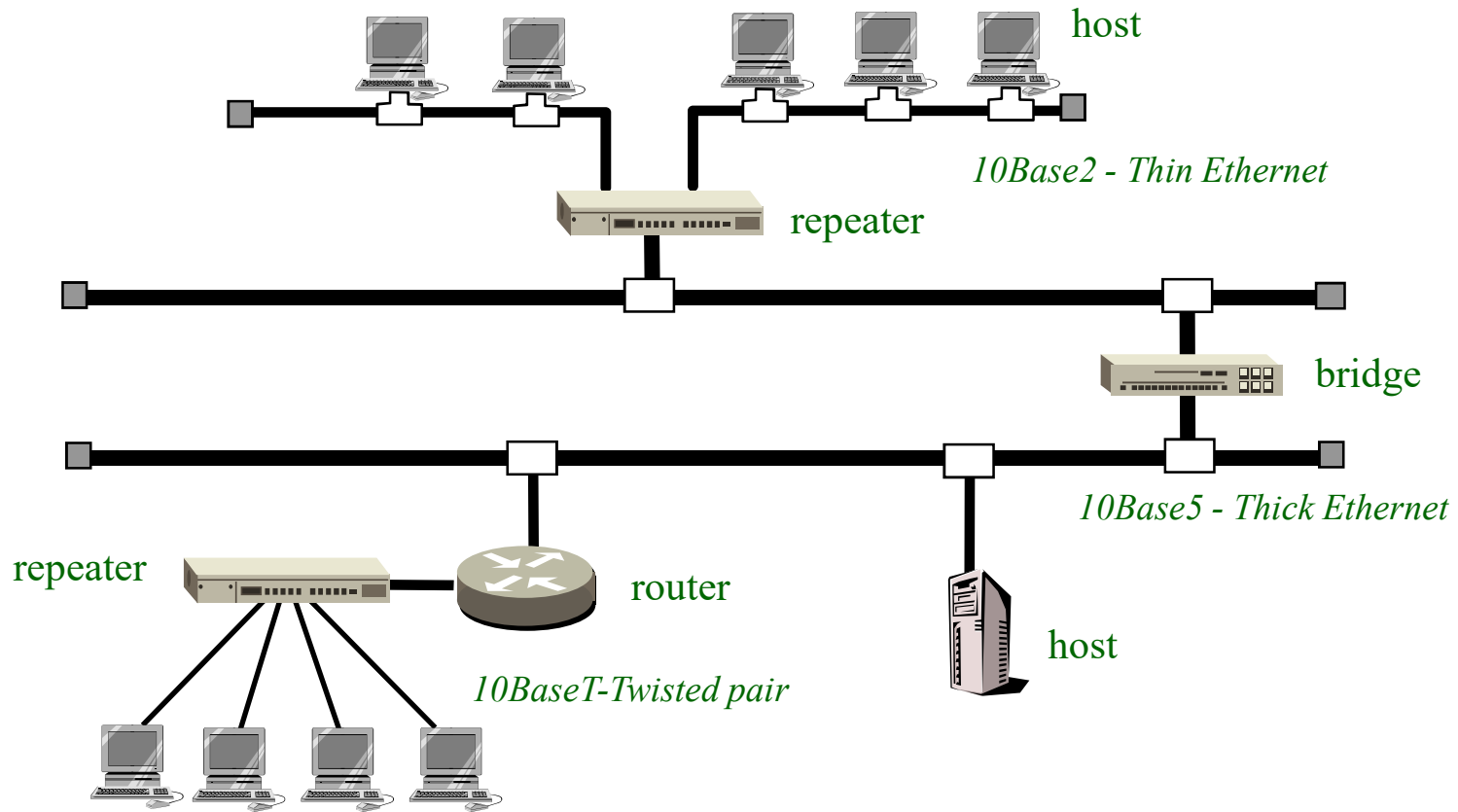
- **Vékony Ethernet (thin Ethernet)**
 - 50 Ω -os koaxiális kábel, max. hossz 185 m;
 - BNC dugók, T csatlakozók, csatlakozás közvetlenül a gépbe épített transceiver-ekre;
 - max. 30-32 csatlakozó (a kivitelezés minőségétől függően kevesebb), ebből jön a max egy szegmensre csatlakoztatható gépszám: (30) 14-18, vagy kevesebb;
 - két állomás között max négy repeater lehet: ebből jön max teljes “logikai szegmens” hossza (repeater-től, kábelezés minőségtől, állomástól függően kevesebb is lehet);
 - multiport repeater-ek is: a vastag és vékony szegmensek összeköttetésére.

Ethernet szabványok

- **Mindkét rendszer esetén a moduláció:**
 - **alapsávi, a feszültség értékek:**
 - tétlen: 0 Volt;
 - magas: +0,85 V;
 - alacsony: - 0,85 V,
 - **Manchester kódolás.**
- **A 802.3 jelölésrendszerben**



Több szegmenses Ethernet LAN

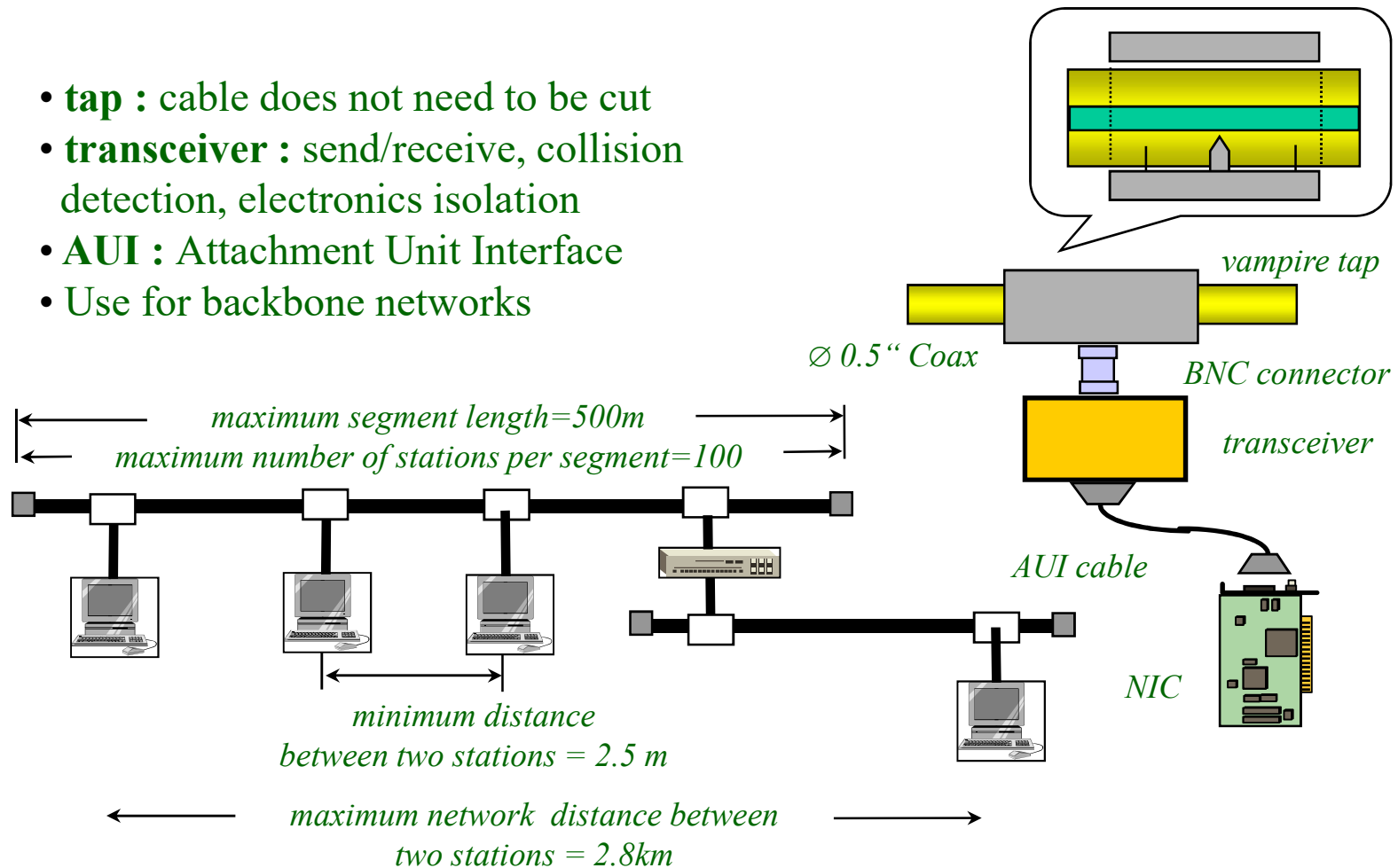


IEEE 802.3 specifikációk, jelölések

- **A jelölésrendszer a 802.3-ban**
 - 10Base5 -- thickwire coaxial, 500m
 - 10Base2 -- thinwire coaxial or cheapernet, 185m
 - 10BaseT -- twisted pair: UTP/STP, pont-pont, 100 m (most widely used today)
 - 10BaseF -- fiber optics, pont-pont, multimódusú: 2 Km; monomódusú: 3-10 Km
 - 10Broad36 -- broadband (only 802.3 standard 1/2" coax, 1800m)
- **Fast Ethernet (802.3u)**
 - 100BaseTX (CAT5), 100BaseT4 (CAT3), 100BaseFX
- **Gigabit Ethernet 1000 Mbps**
 - 1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseCX (802.3z)
 - 1000BaseT (802.3ab)
- **10 Gigabit Ethernet 10000 Mbps (802.3ae)**
 - 10GBase-S (850nm, 50μ multi – 65m),
10GBase-LX4 (1310nm, 62.5μ multi – 300m, 9.0μ mono – 10km),
10GBase-L (1310nm, 9.0μ mono – 10km),
10GBase-E (1550nm, 9.0μ mono – 40km)

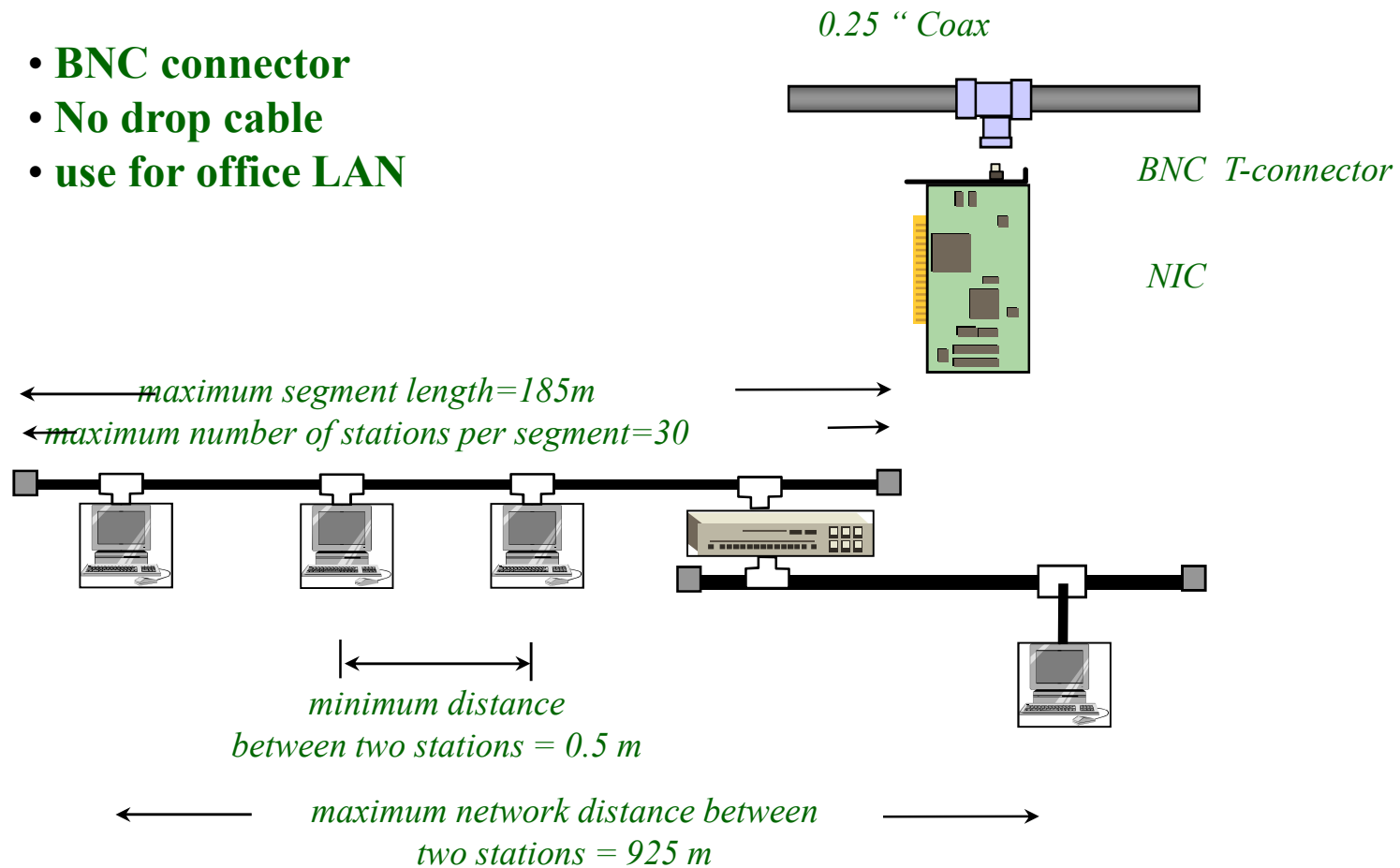
10Base5

- **tap** : cable does not need to be cut
- **transceiver** : send/receive, collision detection, electronics isolation
- **AUI** : Attachment Unit Interface
- Use for backbone networks



10Base2

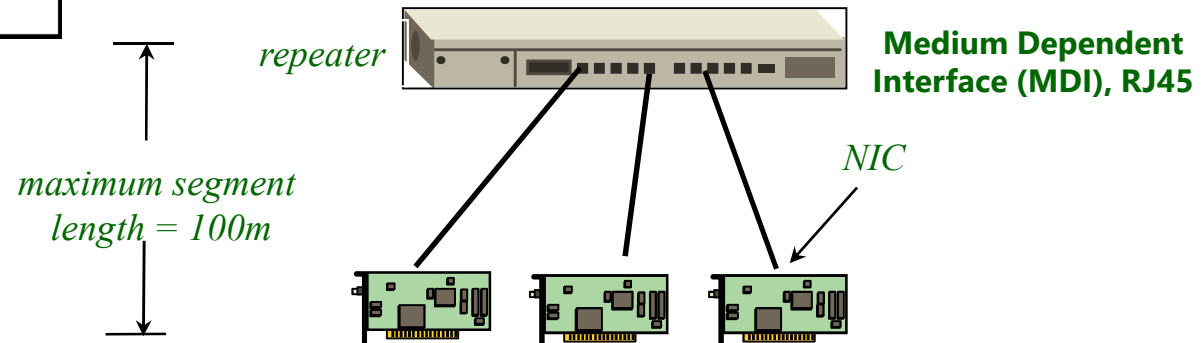
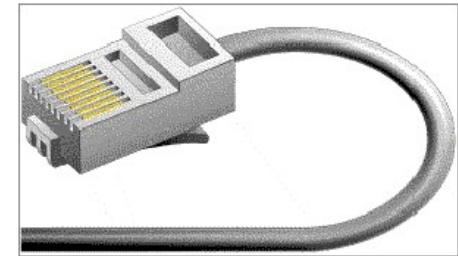
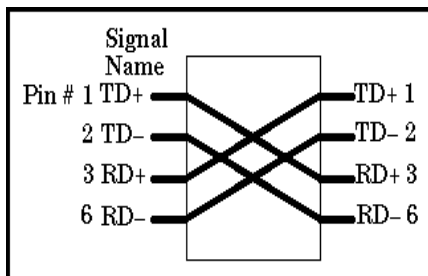
- **BNC connector**
- **No drop cable**
- **use for office LAN**



10BaseT

- Üzenetszórás pont-pont kapcsolatokon: ismétlő (repeater – „hub”)
- UTP category 5 uses 2 pairs of wires terminated by an 8-pin (RJ-45 style) connector. This means that 4 pins of the 8-pin are used.

Pin	1	2	3	4	5	6	7	8
Sig	TD+	TD-	RD+	U	U	RD-	U	U

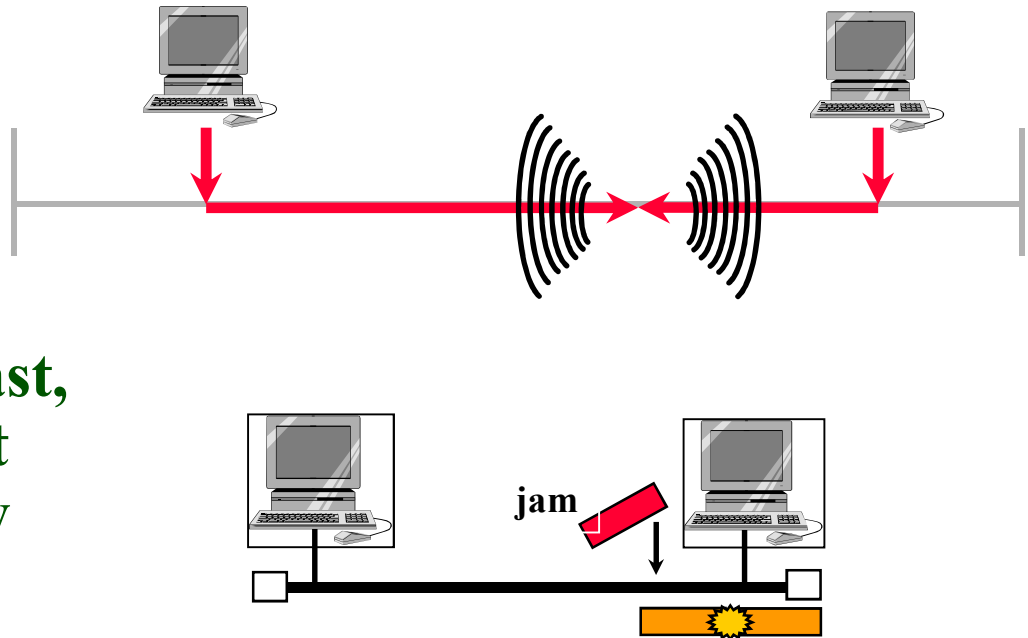


A 802.3 MAC technika

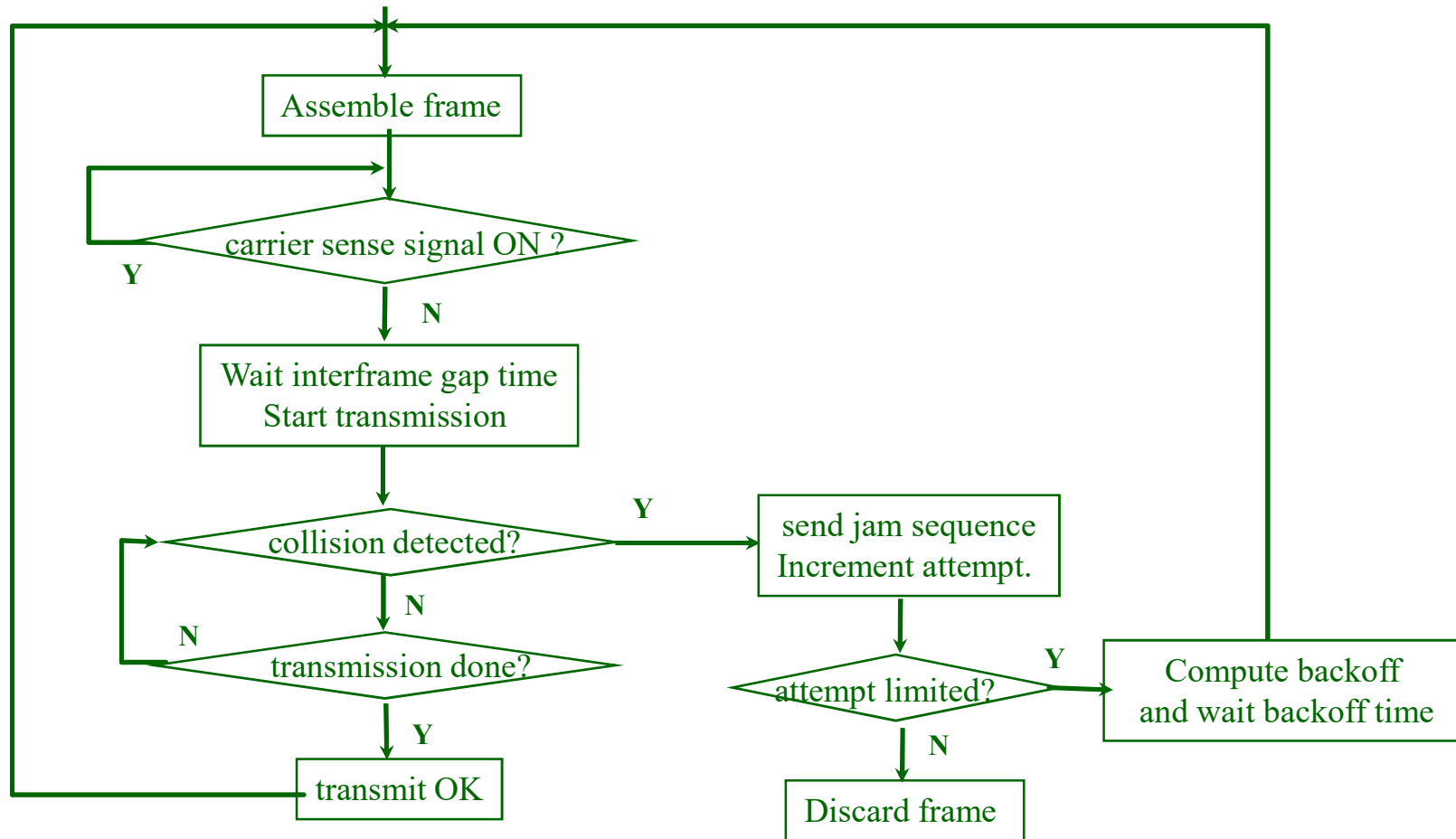
- **Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection: CSMA/CD**
 - Az állomás mielőtt adna, megfigyeli a csatornát (CS), és megállapítja,
 - hogy a csatorna tétlen, nincs adás (idle): ekkor adni kezd.
 - vagy a csatorna foglalt, van adás (busy). Ekkor folytatja a figyelést, míg a csatorna tétlen nem lesz: és ekkor kezd adni.
 - A topológia biztosítja a többszörös hozzáférést (a csatornafigyelésnél) (MA)
 - CD: képes arra, hogy ütközést érzékeljen már miközben ad (listen while you talk). Ütközés lép fel, ha több állomás ad szimultán.

A 802.3 MAC technika

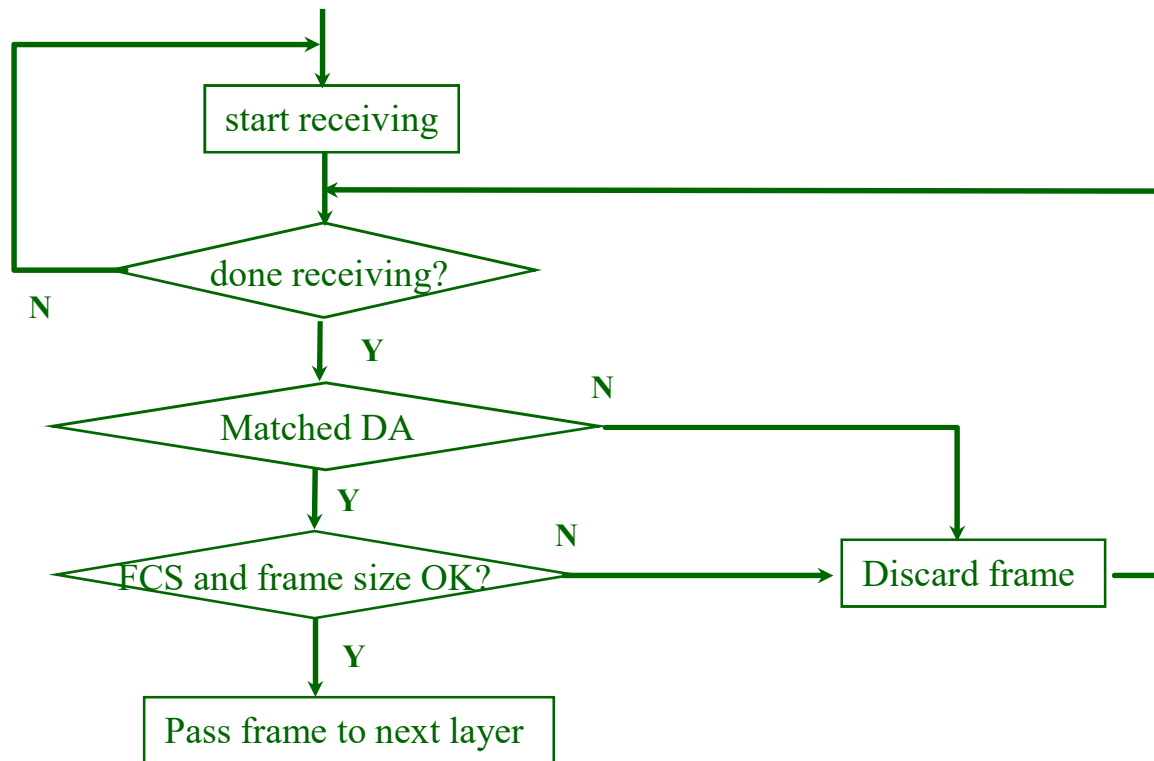
- Ha ütközést detektál (adás közben),
 - a vett feszültség szint alapján
- Minden ütközést detektáló állomás abbahagyja az adást, és helyette értelmetlen jelet (jamming signal) küld, hogy mindenki biztosan észrevegye az ütközést.
- Ezután véletlen ideig vár (helyettes exponenciális visszatartási), majd újrapróbálkozik.



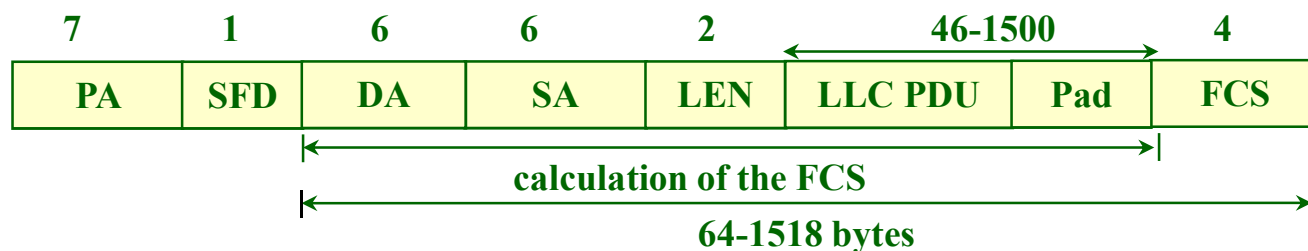
Frame transmission



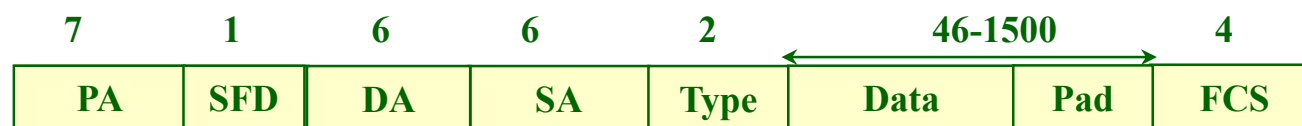
Frame reception



802.3/Ethernet keret szerkezet



IEEE 802.3



Ethernet

PA : Előtag (Preamble) - 7-szer a 10101010 bitsorozat, szinkronizációhoz;

$7 * 8 = 56$ bit; 10Mbps $\Rightarrow$ 5,6 μ sec hosszan $\Rightarrow$ 5 MHz jel (Manchester kódolás) $\Rightarrow$ a vevő órájának szinkronizálására!

SFD : Keretkezdő határoló (Start of Frame delimiter) -- 10101011 keretkezdő jelzésére

DA: Cél cím (Destination Address) -- MAC cím (6 byte – 48 bit)

SA: Forrás (Source Address) -- MAC cím

LEN: Adatmező hossz (Length) -- bájtokban mért hossz

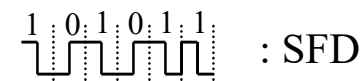
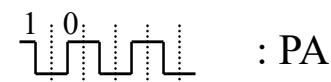
Type: a magasabb szintű protokoll azonosítója (identify the higher-level protocol) (pl. IP, ARP, RARP)

LLC PDU+Pad: Adat+töltelék -- minimum 46 bytes, maximum 1500

FCS : Ellenőrző összeg (Frame Check Sequence) -- CRC-32

Pad szerepe: a min keretméret - a célcímtől a keret végéig - 64 bájt 512bit 51,2 μ s (nincs benne a PA és SFD).

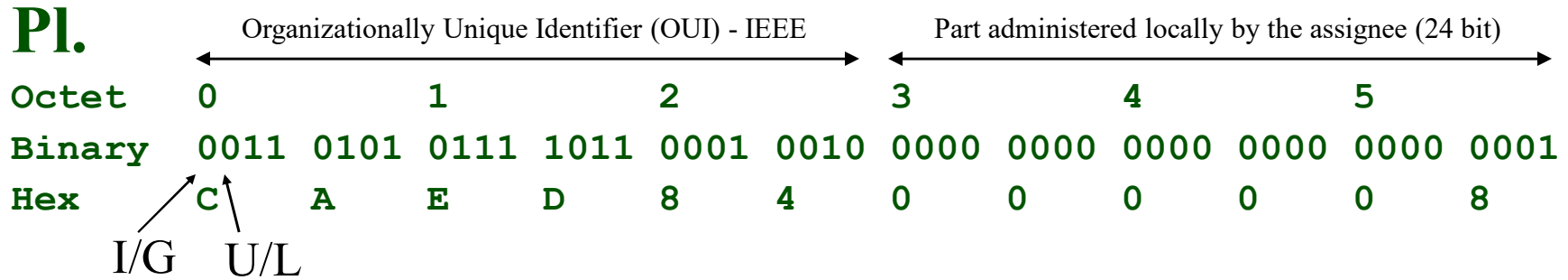
Ha az adatmező 46 bájtól rövidebb, töltelék egészíti ki 46 bájtig! (Min. kerethossz)



MAC címek

- A DA, SA címek a szabvány szerint 2, vagy 6 bájtosak lehetnek, de 10 Mbps esetén csak 6 bájtosak (gyakorlatilag csak a 6 bájtosakat (48 bit) használják)
- Csupa 1: **valamennyi állomásnak szóló cím (Broadcast Address)**
- Ha legfelső (47-ik) bit = 1: **csoportcím (Multicast Address)**
 - a többi bit a csoportot határozza meg;
 - a keretet a csoport összes tagja veszi.
- Ha legfelső (47-ik) bit = 0: **közönséges cím**
- A 46-ik bit speciális szerepű: a helyi (1) és a globális (0) címek megkülönböztetésére
 - Helyi cím: a hálózatmenedzser konfigurálja (pl. DECNet)
 - Globális cím: az IEEE osztja ki (Organizationally Unique Identifier (OUI)) a világon egyedi (minden gépnek “automatikusan” egyedi MAC címe van
 - pl. a kártyán ROM-ba égetve).

MAC címek



- (Az első szó legkisebb helyértékű bitje a legelső bit)
- **I/G bit: Individual/unicast address (0) vagy Group/multicast address (1)**
- **U/L bit: Universally (0) vagy Locally (1) Administered**
- **Pl: OUI**
 - CISCO:** 00 : 07 : 0d
 - 3COM:** 00 : 50 : 99
- **Pl: ha U/L=0 Unicast (I/G=0): Multicast (I/G=1):**

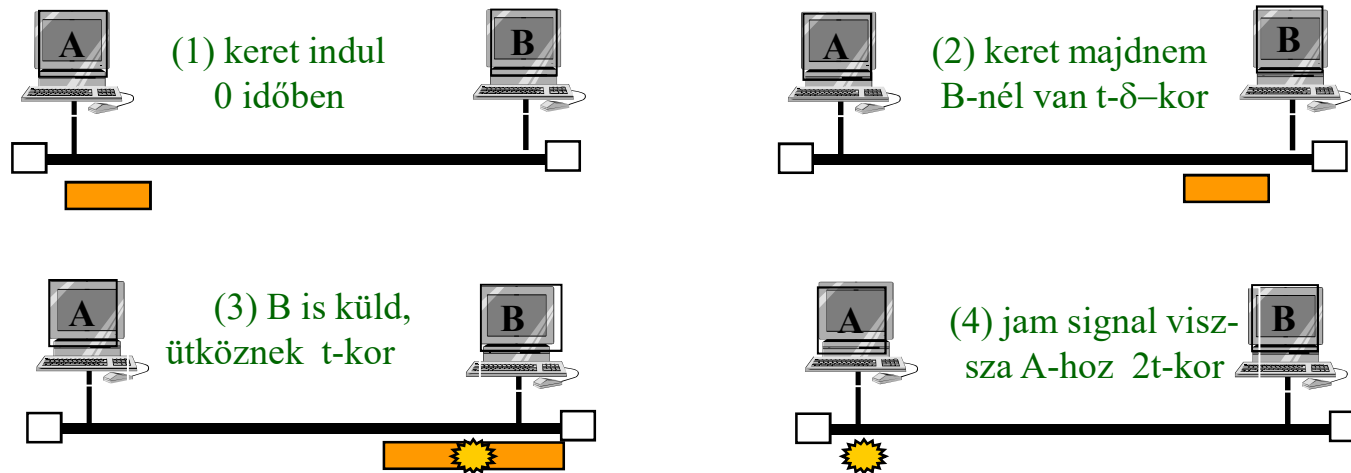
0x0 (0000)	0x1 (0001)
0x4 (0100)	0x5 (0101)
0x8 (1000)	0x9 (1001)
0xC (1100)	0xD (1101)
- **Pl: CISCO Multicast: 01 : 07 : 0d : x : y : z**

A minimális keretméret

- Összefügg a csatornára megengedett maximális késleltetéssel (τ)
 - a keretnek elég hosszúnak kell lennie ahhoz, hogy a legrosszabb esetre számított körbejárási késleltetés ($2 \cdot \tau$) esetén is érzékelni lehessen az ütközést!
 - 64 byte = 512 bit; 10Mbps $\Rightarrow 2\tau = 51,2 \mu\text{sec}$: ez a max. megengedett körbejárási késleltetés!
 - És ebből jön a 2,5 Km hossz (5 szegmens összekötve 4 ismétlővel).
 - Fast Ethernet (802.3u) 100Mbps $\Rightarrow 2\tau = 5,12 \mu\text{sec}$ (max 2*100m szegmens)

A késői ütközés (late collision)

A és B a kábel két végén (t idő kell a két gép között)



- Olyan ütközés, ami az első 64 bájt küldése után következik.
 - Oka hosszú kábel, sok ismétlő; rövid keret.
- Eredménye: a küldő arra a helytelen következtetésre jut, hogy a kerete rendben elment (nem a kerete adása közben érzékeli, hogy ütközött)

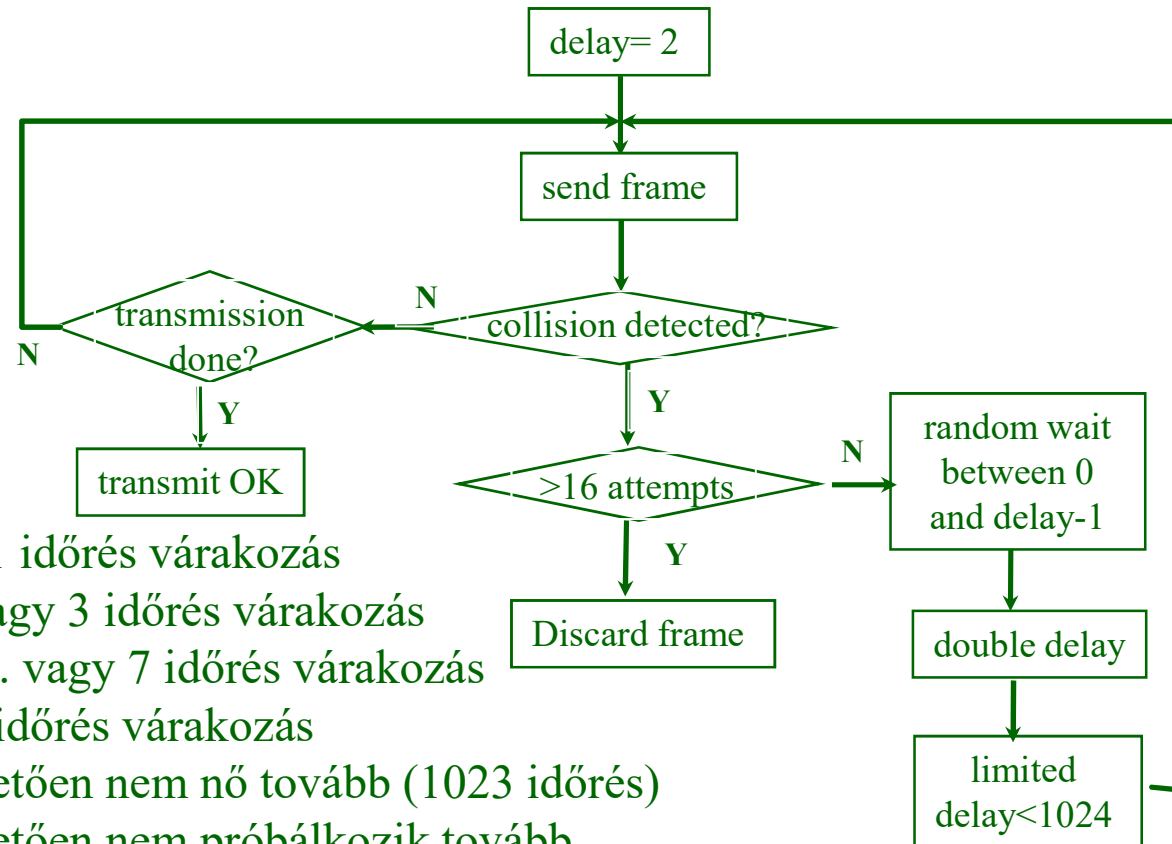
A helyettes exponenciális visszatartás

- **Binary Exponential Backoff Algorithm**
az ütközések kezelésénél
- **Ütközés érzékelése esetén “jam”-et küld, majd megszünteti az adást és vár:**
 - Az időt résekre (időtartamok) osztja, résidő = 51,2 μ sec (a max. körbjárási késleltetés)
 - Az első ütközés után az állomás (véletlenszerűen) 0 vagy 1 résidőt vár mielőtt újból próbálkozik ...
 - Ha két állomás újból ütközik, annak oka, hogy véletlenül ugyanazt a véletlen számot generálták...
 - Az i -ik ütközés után véletlenszerűen 0 és $2^i - 1$ közötti darab időrésnyi várakozást iktatnak be.

A helyettes exponenciális visszatartás

- **Az algoritmus folytatása:**
 - Ha $i \geq 10$, akkor 0 - 1023 között generálnak véletlen számot, és időrést várnak (a 10 az ún. **backoff limit**).
 - Ha $i = 16$ lesz, az állomás nem próbálkozik tovább (16 az ún. **attempt limit**),
 - Hibajelzést ad a felettes rétegnek.
- **Az algoritmus dinamikusan alkalmazkodik az adni kívánó állomások számához!**
 - A véletlen szám generálás intervallumának exponenciális növelése **rövid várakozási időt eredményez kevés ütközésnél**;
 - és egyszerű értékeket, amikor sok az ütközés.

Binary Exponential Backoff Algorithm

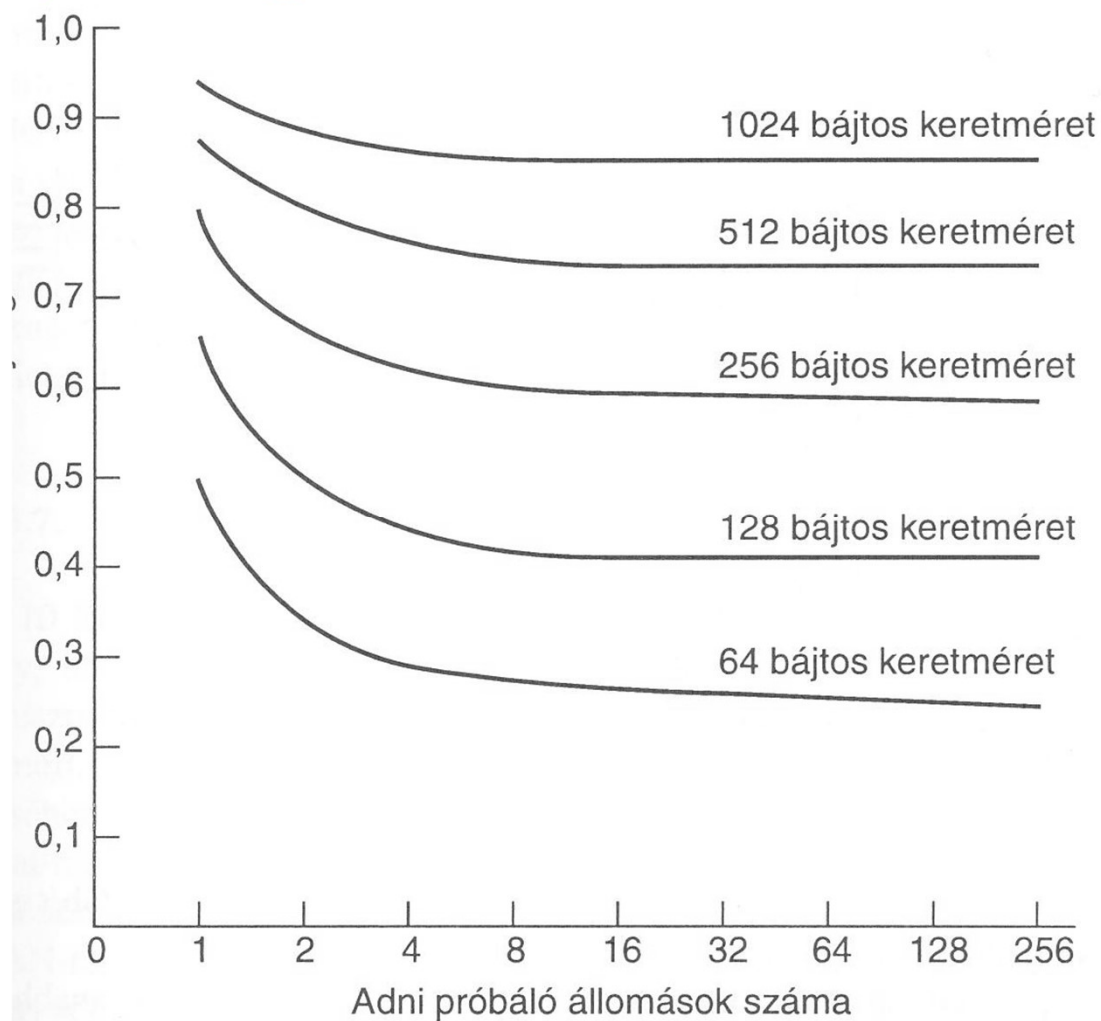


Slot=Window size= $2t$

1. ütközés: 0, vagy 1 időrés várakozás
 2. ütközés: 0, 1, 2 vagy 3 időrés várakozás
 3. ütközés: 0, 1, 2, ... vagy 7 időrés várakozás
 - k. ütközés: $0 \dots 2^k - 1$ időrés várakozás
- a 10. ütközést követően nem nő tovább (1023 időrés)
 - a 16. ütközést követően nem próbálkozik tovább (hibaüzenetet küld a felsőbb rétegnek)

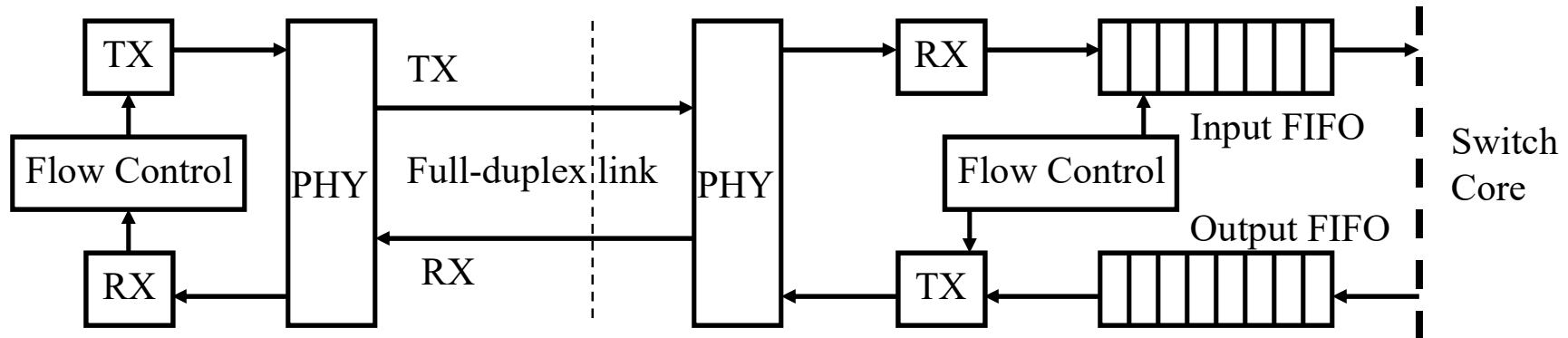
max delay is limited at
 $1023 * 51.2 \mu s = 52.4 \text{ ms}$

Az Ethernet hatékonysága (10Mbps, 512 bit résidő esetén)



10BaseT - 100BaseTx

- **10BaseT - 10Mbps**
 - min. keret 64 byte = 512 bit; $\Rightarrow 2\tau = 51,2 \mu\text{sec}$
 - Manchester kódolás
- **100BaseT Fast Ethernet (802.u) - 100Mbps**
 - min. keret 64 byte = 512 bit; $\Rightarrow 2\tau = 5,12 \mu\text{sec}$
 - 4B/5B + MLT-3 kódolás
- **Pont-pont kapcsolatok**
 - Half-Duplex – CSMA/CD
 - Full-Duplex – flow control 802.3x „pause frame”
 - „pause frame” vétele esetén egy időre beszünteti az adást

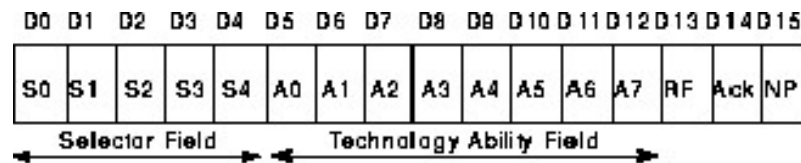


10BaseT - 100BaseTx

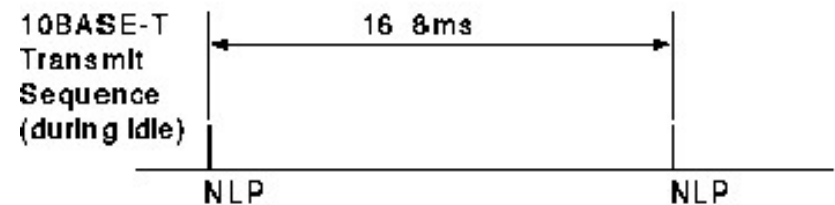
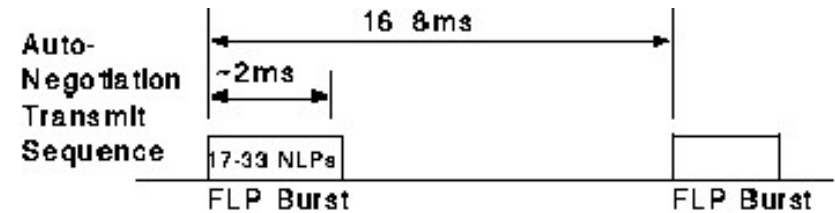
- **Auto-Negotiation**
 - 10BaseT – Normal Link Pulse (NLP)
 - 100BaseT – Fast Link Pulse (FLP)

- **FLP**

- 16 bit Link Code Word



Base Link Code Word Encoding



FLP Burst Timing

- A Selector Field, S[4:0], 32 db Technology Ability Field megkülönböztetését teszi lehetővé pl. S[4:0]=< 00001 > az IEEE 802.3 –t jelöli
- A Technology Ability Field A[7:0] jelentése, a Selector Field értékétől függ
 - Pl. az IEEE 802.3 esetén:
 1. 100BASE-TX Full Duplex
 2. 100BASE-T4
 3. 100BASE-TX
 4. 10BASE-T Full Duplex
 5. 10BASE-T

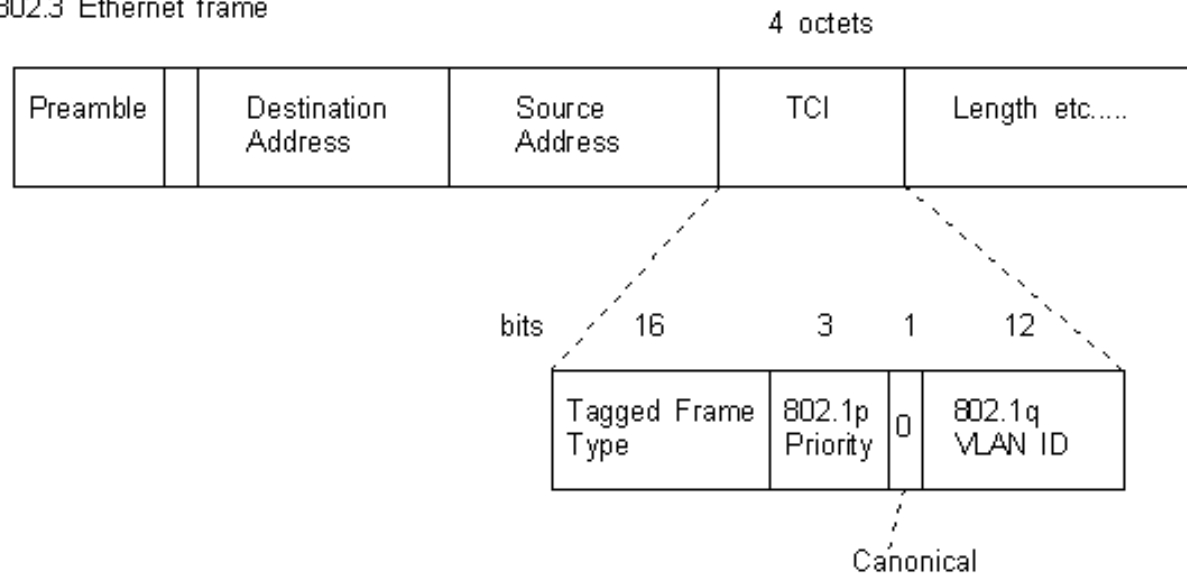
10BaseT - 100BaseTx

- **Class of Service and VLANs (802.1p, 802.1q)**
- **Tag Control Info (TCI)**

Cisco: Inter Switch Link (ISL)
keret enkapszuláció (teljesen más)

- Pótlólagos 4 byte $\Rightarrow$ maximális keretméret 1518 $\rightarrow$ 1522
(nem minden eszköz támogatja, továbbítja)

802.3 Ethernet frame



- **Tagged Frame Type** – Tag típus, Ethernet keretek esetén jelenleg mindig **0x8100**.
- **802.1p Priority** – az alacsony prioritású bináris 000 (0) –tól a magas prioritású bináris 111 (7) –ig (Általában csak 2 prioritás osztályt implementálnak)
- **Canonical** - mindig 0.
- **802.1q VLAN ID** - a VLAN azonosítója a VLAN trónkökön.

Gigabit Ethernet

- 1970-től az Ethernet a legelterjedtebb hálózati technológia (Ethernet - Fast Ethernet - Gigabit Ethernet)
- Gigabit Ethernet - 802.3z - draft issued in 1997
- Kompatibilis a régebbi Ethernet rendszerekkel
- CSMA/CD full és half duplex támogatással
- Réz, single- és multimode optikai kábel támogatás
- A fizikai jelzésrendszere a Fibre Channel technológiára épül
- Backbone, illetve nagy sávszélesség igényű alkalmazások

Gigabit Ethernet fizikai réteg

- Az eredeti Ethernet és az ANSI X3T11 Fibre Channel specifikáció keveréke
- Fibre Channel alapú Physical Layer: **1000Base-X** (802.3z)
 - **1000Base-SX** 850nm laser
 - **1000Base-LX** 1300nm laser
 - **1000Base-CX** Short haul copper “twinax” STP cable
 - 8B/10B kódolás
- Ethernet based Physical Layer: **1000Base-T (802.3ab)**
 - **1000Base-T** Long haul copper UTP (Unshielded Twisted Pair) 100m over 4 pairs of Category 5 UTP.

Fizikai réteg, max. Kábelhosszak (1000Base)

- Single-mode Fibre (9 micron)
 - **3000m – 1000Base-LX** 1300nm laser
- Multi-mode Fibre (62.5 micron)
 - **300m – 1000Base-SX** 850nm laser
 - **550m – 1000Base-LX** 1300nm laser
- Multi-mode Fibre (50 micron)
 - **550m – 1000Base-SX** 850nm laser
 - **550m – 1000Base-LX** 1300nm laser
- Short haul copper “twinax” STP kábel
 - **25m – 1000Base-CX**
- UTP
 - **100m – 1000Base-T**

Gigabit Ethernet

Media Access Control Layer

- **Carrier Extension**
- **Packet Bursting**

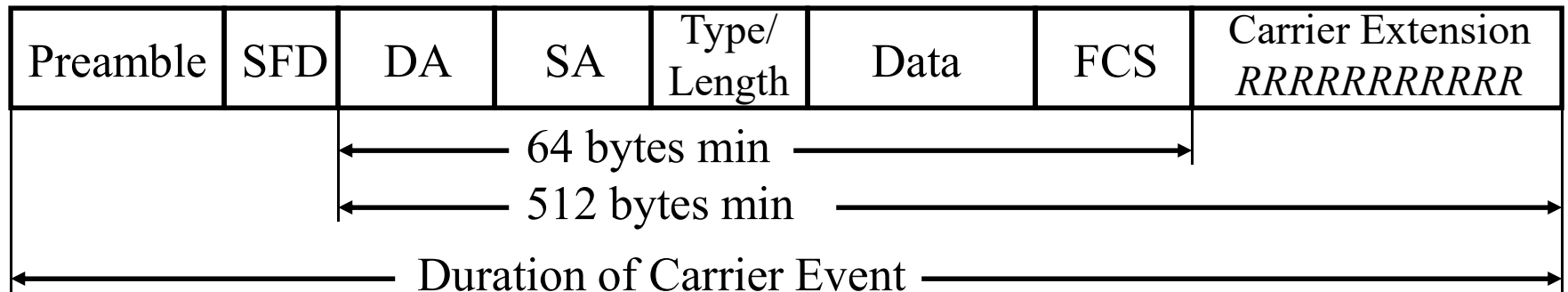
Carrier Extension

SFD : Start of Frame Delimiter

DA : Destination Address

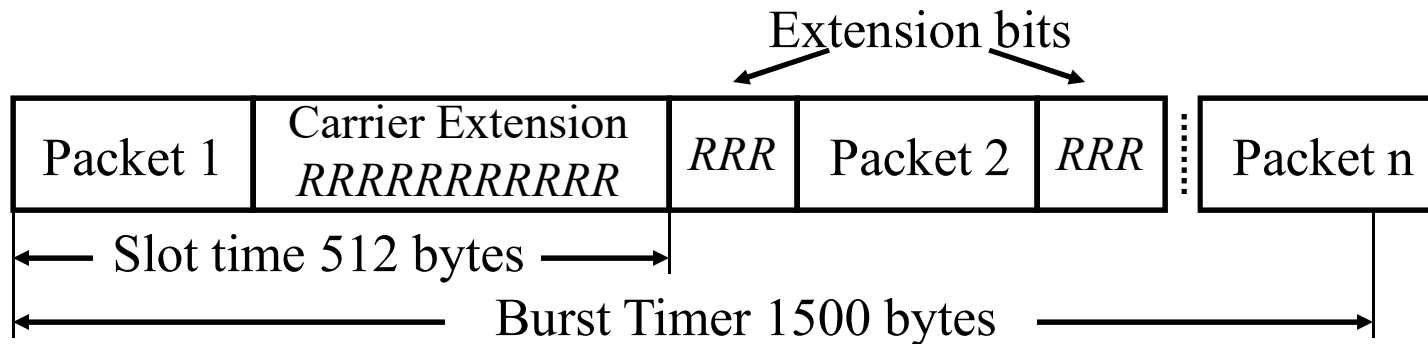
SA : Source Address

FCS : Frame Check Sequence



- 10Mbps 2.5km-en - Slot time: 64 bytes
- 1Gbps 200m-en - Slot time: 512 bytes
- A minimális keretméretet kitölti kontrol (nem adat) karakterekkel (carrier extension)
- Ezeket a kontroll karaktereket a célállomás leszedi (eldobja)
- **Kis keretek esetén így alig jobb az átbocsátó képessége, mint a 100Mbps Ethernetnek**

Packet Bursting

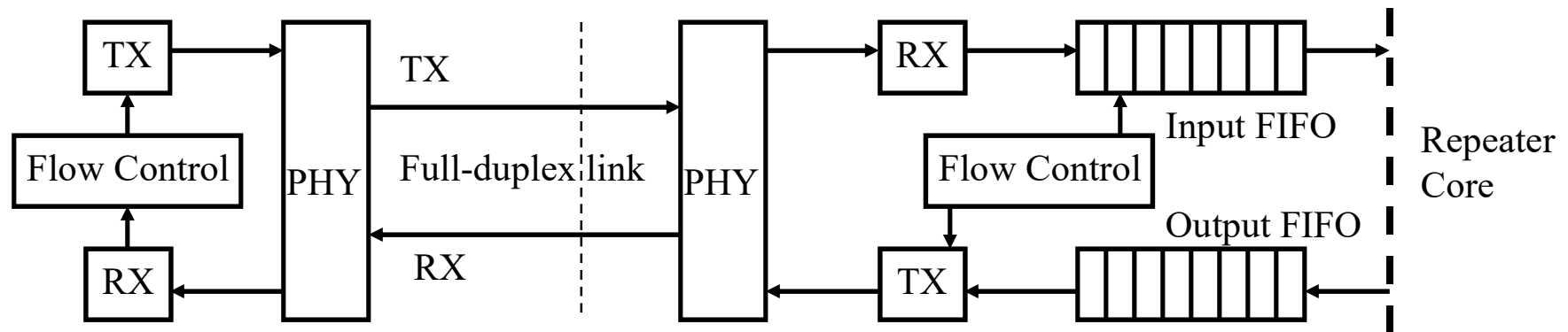


- A Carrier Extension technika kiegészítése (veszteségek csökkentése).
- **Nem engedi el a csatornát minden keret elküldése után.**
- Az első slot time kitöltését követően (az első keret hossza a slot time-ra van kiegészítve (ha kell)), folytatja az adást a további keretekkel (a minimális Inter-packet gap (IPG) távolságtartással), addig, amíg a Burst Timer le nem jár (max. 1500 byte).
- Inter-frame gap-okat az extension bitekkel töltik ki.
- A Burst Timer lejártát követően elengedi a csatornát.

Buffered Distributor (elavult)

- Repeater funkciók full duplex linkeken (más néven *Buffered Distributor, Full Duplex Repeater, or Buffered Repeater*)
- Alapötlet: A CSMA/CD *hálózat hozzáférést szabályozza és nem a link-hez való hozzáférést* (állandó full duplex kapcsolat)

Full Duplex link – Buffered Distributor

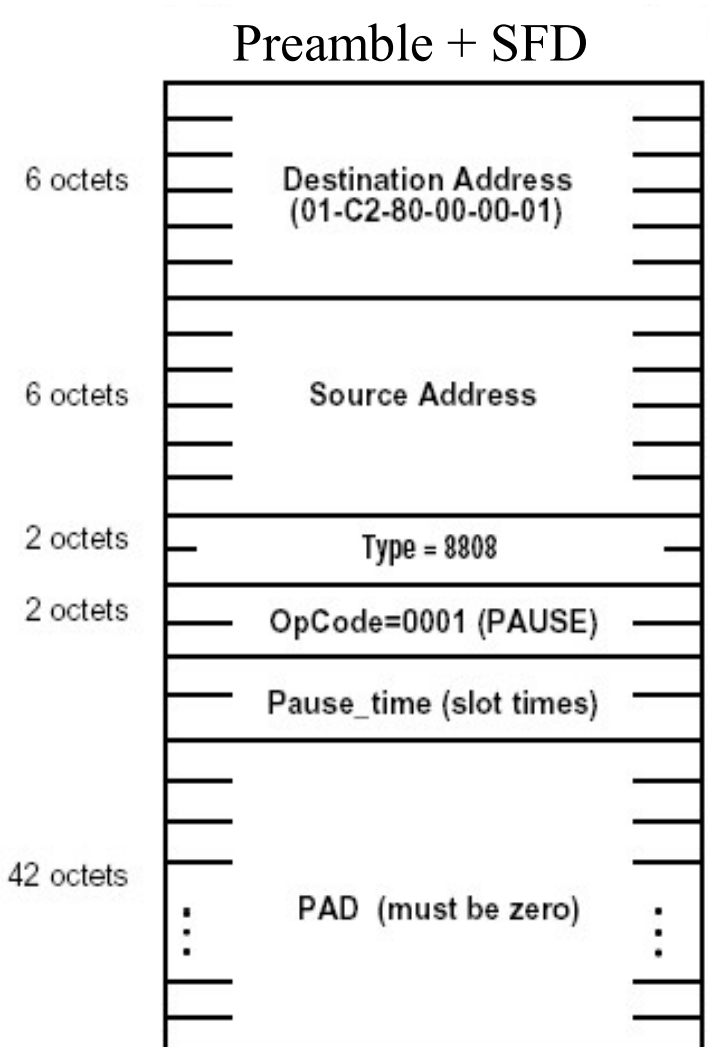


- 10/100/1000 Ethernet egyaránt
- Minden portnak van Input és Output FIFO sora
- Az Input sorra érkező keretet valamennyi Output sorra továbbítja (kivéve amelyiken érkezett)
- A Buffered Distributor-on belül történik a CSMA/CD arbitráció (ütemezés) minek eredményeként a keretek az Output sorokba kerülnek.
- Mivel nincs ütközés a linkeken, ezért a linkek maximális hossz korlátja csak a fizikai közegtől függ (nincs körbejárási idő korlát).
- Mivel a küldő könnyedén el tudja árasztani a FIFO-t, ezért keret szintű adatfolyam szabályozást (802.3x – pause frame) alkalmaznak a port és a küldő állomás között.
- Olcsó eszköz volt régen (a switch-hez képest), ami képes full duplex forgalmat kezelni a linkeken.

802.3x – Pause Frame

- Azok az eszközök, akik meg akarják „állítani” az adatfolyamot Pause Frame-et küldenek.
- A Pause Frame „slot time”-okban számolva tartalmazza azt az időt, amíg az adónak fel kellene függesztenie az adását.
- Ez az időtartam további Pause Frame-k küldésével módosítható (törölhető, kiterjeszthető). (A további Pause keretek felülírják az aktuális pause folyamatot.)
- **DA:** 01-80-C2-00-00-01
globally-assigned multicast address –
Az IEEE 802.1D bridge-k nem továbbítják
- **SA:** a keretet küldő állomás MAC címe
- **Length/Type:** 8808.
„MAC Control of CSMA/CD LANs”
- **Opcode:** 0001 - Pause
- **Parameters:** Pause_time. 0-65535 unsigned int.
512 bitidőben számolva

pl. 1000 esetén 512,000 bitidő, ami Gigabit ethernetnél 512µsec FCS
(max. $65535 \cdot 512 = 33,553,920$ bitidő, ami 33.554ms Gigabit Ethernet esetén).



10GBASE Ethernet (802.3ae)

- 10-Gbps Ethernet (IEEE 802.3ae) was **standardized in June 2002** – Csak optikára!
- **1 bit: 0.1 nanosecond**
- **Csak a Duplex üzemmódot támogatja**
- **Nincs definiálva Repeater**
- **A keretformátum nem változik (min. 64byte (512 bit), max. 1518 byte, interframe space: 96 bit)**
- **Bitkódolás: komplex soros bitfolyam, 10GBASE-LX4 esetében Wide Wavelength Division Multiplex (WWDM)**

10GBASE Ethernet (802.3ae)

Interfészek:

- **10GBASE-SR** –short distances over already-installed multimode fiber, supports a range between 26 m to 82 m
- **10GBASE-LX4** –wavelength division multiplexing (WDM), supports 240 m to 300 m over already-installed multimode fiber and 10 km over single-mode fiber
- **10GBASE-LR and 10GBASE-ER** – Support 10 km and 40 km over single-mode fiber
- **10GBASE-SW, 10GBASE-LW, and 10GBASE-EW** – Known collectively as 10GBASE-W, intended to work with OC-192 synchronous transport module SONET/SDH WAN equipment

10GBASE Ethernet (802.3ae 802.3an)

10GBASE-LX4	1310 nm	62.5µm MMF	500 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-LX4	1310 nm	50µm MMF	400 MHz/km	2 - 240 m
10GBASE-LX4	1310 nm	50µm MMF	500 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-LX4	1310 nm	10µm MMF	N/A	2 - 10 km
10GBASE-S	850 nm	62.5µm MMF	160 MHz/km	2 - 26 m
10GBASE-S	850 nm	62.5µm MMF	200 MHz/km	2 - 33 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	400 MHz/km	2 - 66 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	500 MHz/km	2 - 82 m
10GBASE-S	850 nm	50µm MMF	2000 MHz/km	2 - 300 m
10GBASE-L	1310 nm	10µm SMF	N/A	2 - 10 km
10GBASE-E	1550 nm	10µm SMF	N/A	2 - 30 km

10GBASE-SR SFP+ transceiver



10GBASE-T 802.3an-2006 (64B65B PAM-16 128-DSQ)

100m Cat 6A, 55m Cat 5e, Cat 6

2.5GBASE-T, 5GBASE-T IEEE 802.3bz-2016, NBASE-T, MGBASE-T

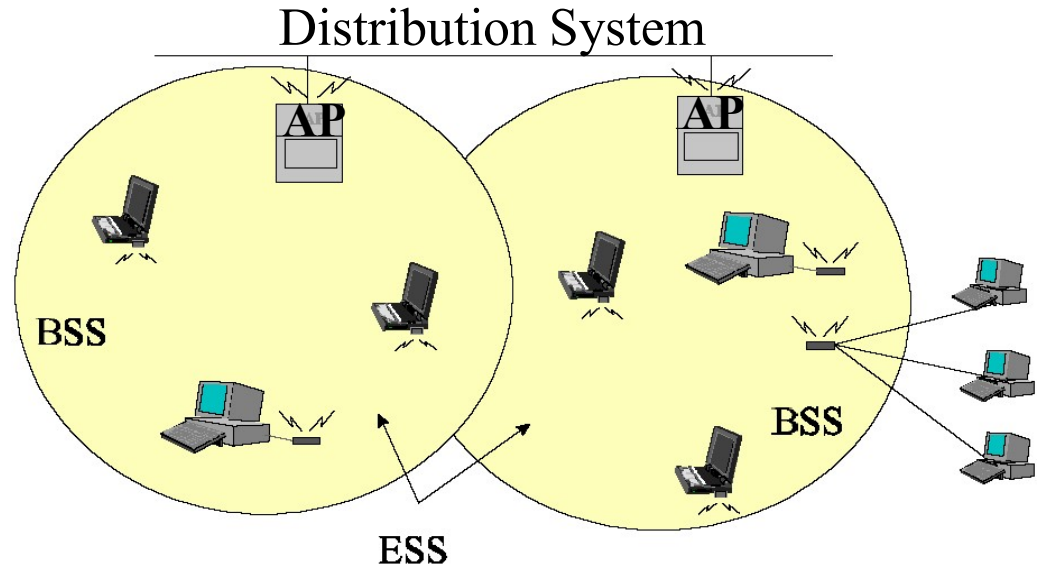
100m Cat 5e, Cat 6

Az IEEE 802.11 szabvány

vezetéknélküli LAN (Wireless LAN)

- Eredetileg 1997-es IEEE szabvány (WLAN), melyet 1999-ben felülvizsgáltak (802.11b).
- Az IEEE 802.11 szabvány a MAC alréteget, a MAC menedzsment protokollt, szolgálatokat és három lehetséges fizikai közeget definiál.
- Fizikai közegek:
 - IR at baseband with 1-2 Mbps,
 - FHSS at 2.4GHz with 1-2 Mbps,
 - DSSS at 2.4GHz with 1-2 Mbps.
- Módosításai:
 - IEEE 802.11b (1999):
PHY Layer - DSSS at 2.4 GHz with 11Mbps
 - IEEE 802.11a (1999):
PHY Layer – OFDM at 5 GHz with 54 Mbps
 - IEEE 802.11g (2003):
PHY Layer – OFDM at 2.4 GHz with 54 Mbps

IEEE 802.11 – terminológia

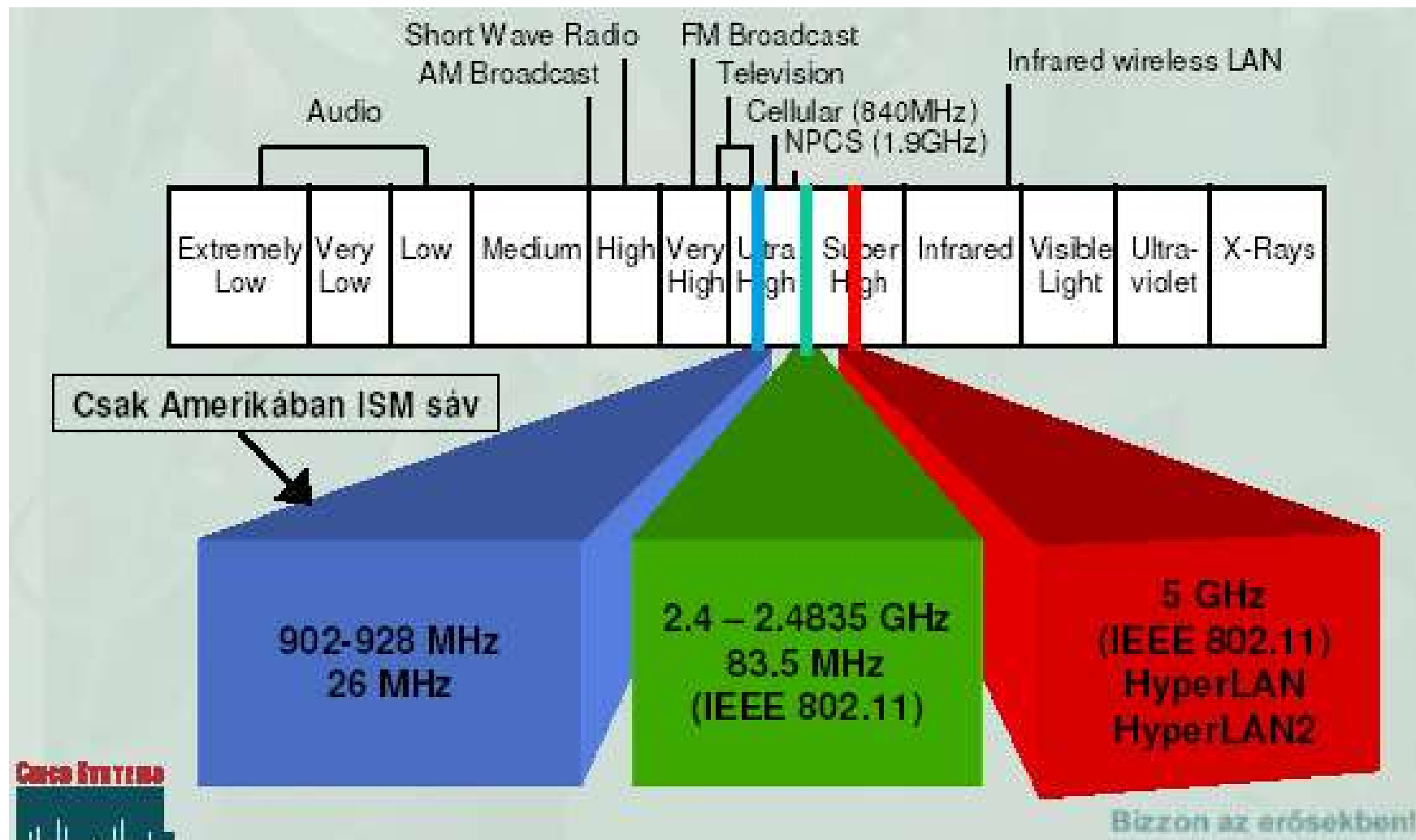


- **Cellákra épülő struktúra**
- **BSS (Basic Service Set) – egy cella**
- **AP (Access Point) – az egyes cellákat irányító bázisállomások**
- **DS (Distribution System) – a cellákat összekötő hálózat**
(lehet akár drótnélküli az is “WDS”)
- **ESS (Extended Service Set) – a teljes hálózat**
(több összekötött cella együtt – lehet mozogni is közöttük „roaming”)

IEEE 802.11 PHY

- **Sebesség: 1, 2, 5.5, 11Mbps (IEEE 802.11b)**
- **Frekvencia 2400-2483.5 MHz**
- **Teljesítmény: 100 mW**
- **Hatótávolság 1Mbps (tipikus):**
 - 460m nyílt terepen,
 - 300m kézi berendezésnél,
 - 90m irodában
- **Hatótávolság 11Mbps (tipikus):**
 - 120m nyílt terepen,
 - 90m kézi berendezésnél,
 - 30m irodában
- **Szórt spektrumú rádiós csatorna**
 - **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), vagy**
 - **Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS), vagy**
 - **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**
- **Nincs frekvencia-engedélyhez kötve**

IEEE 802.11 PHY

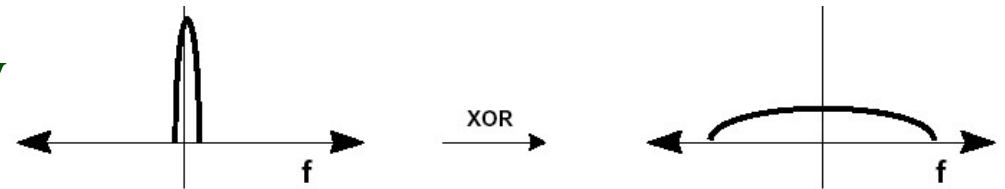


ISM: industrial, scientific and medical

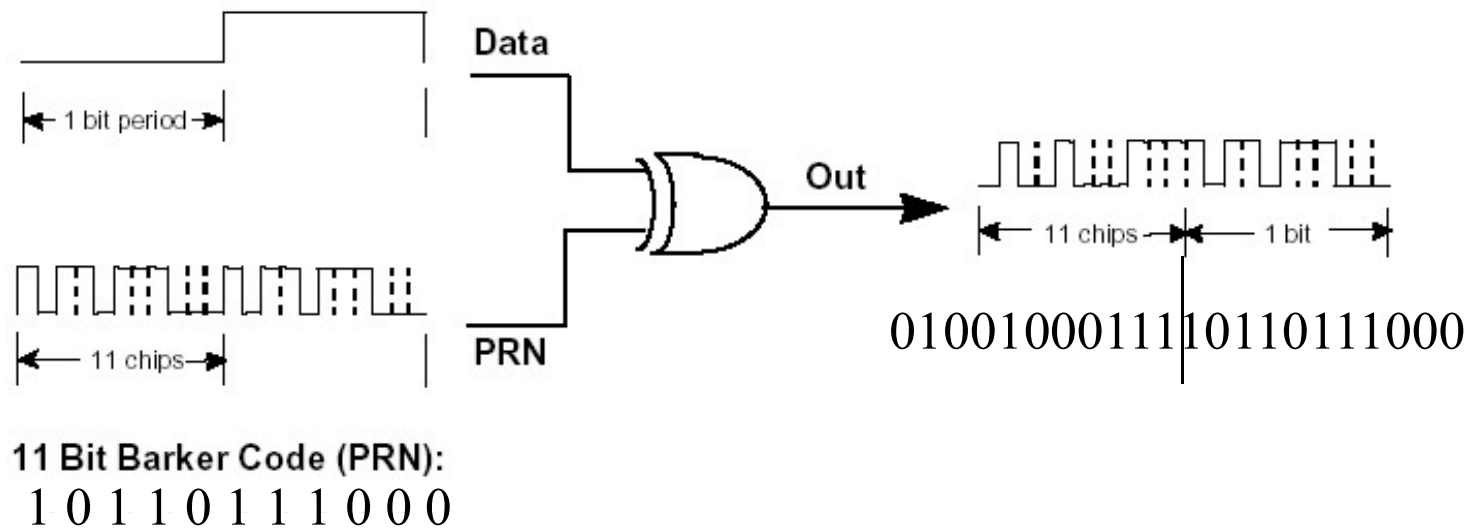
IEEE 802.11 PHY DSSS

- Szórt spektrumú rádiós csatorna

- Nagyobb sáv szélesség:
csökkentett adóteljesítmény
változatlan jelteljesítmény

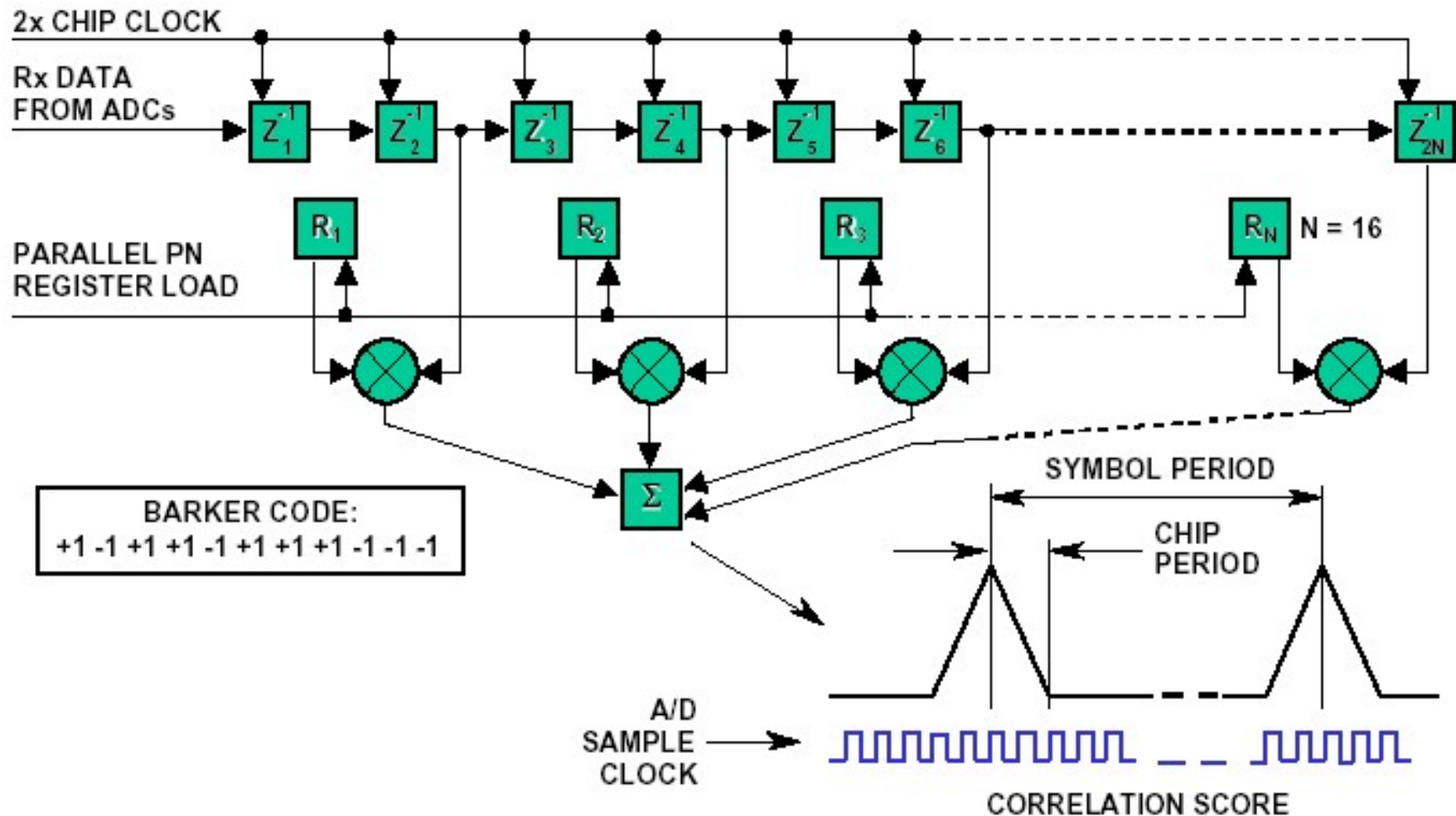


- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)



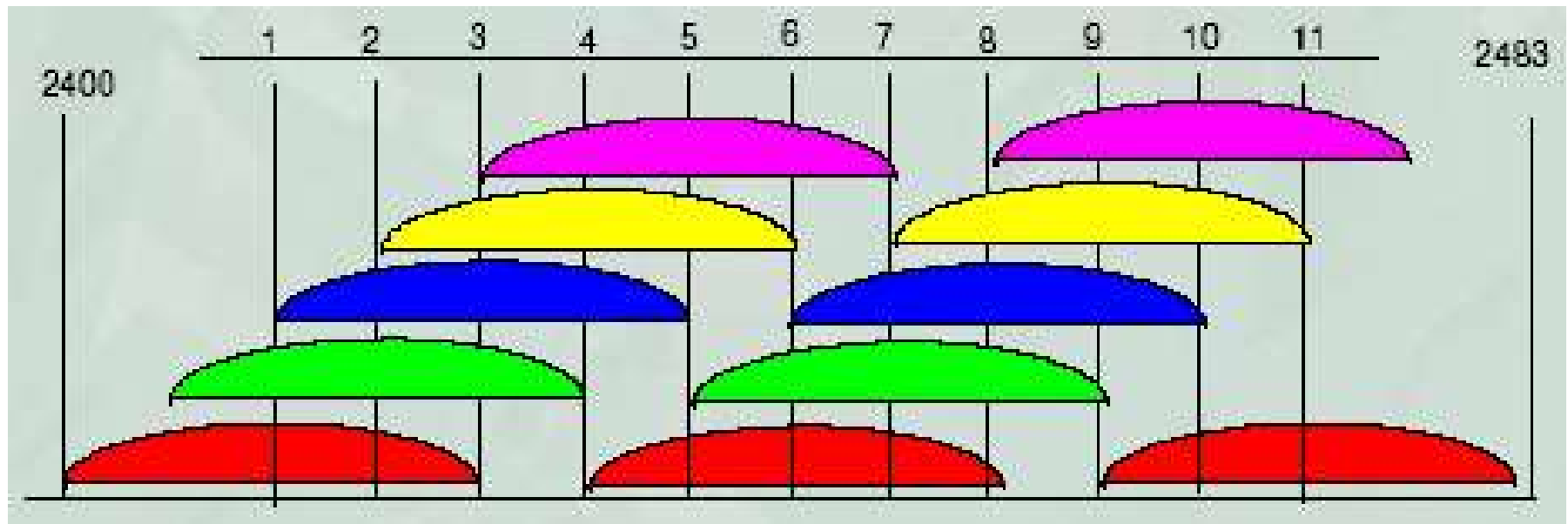
- Demoduláció korellátorral (a Barker kód leszedése)

IEEE 802.11 PHY DSSS: Matched Filter Correlator



IEEE 802.11 PHY DSSS

- **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**
(szórt spektrumú) rádiós csatornák
 - 13 x 22 MHz széles egymást fedő csatorna
 - Ebből max. három egymást nem fedő (diszjunkt) csatorna (időben stabil)
 - **1, 6, 11, vagy 2, 7, 12, vagy 3, 9, 13**
 - Max. három berendezés egy adott területen



IEEE 802.11 PHY DSSS

- 2.4 GHz DSSS csatornák

Channel Identifier	Center Frequency	Regulatory Domain			
		Americas	Europe, Middle East and Asia	Japan	Israel
1	2412 MHz	X	X	X	
2	2417 MHz	X	X	X	
3	2422 MHz	X	X	X	X
4	2427 MHz	X	X	X	X
5	2432 MHz	X	X	X	X
6	2437 MHz	X	X	X	X
7	2442 MHz	X	X	X	X
8	2447 MHz	X	X	X	X
9	2452 MHz	X	X	X	X
10	2457 MHz	X	X	X	
11	2462 MHz	X	X	X	
12	2467 MHz		X	X	
13	2472 MHz		X	X	
14	2484 MHz			X	

IEEE 802.11 PHY DSSS

- **2.4 GHz DSSS (802.11b) modulációk**
 - Binary Phase Shift Keyed (BPSK)
 - Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
 - Complementary Code Keying (CCK)

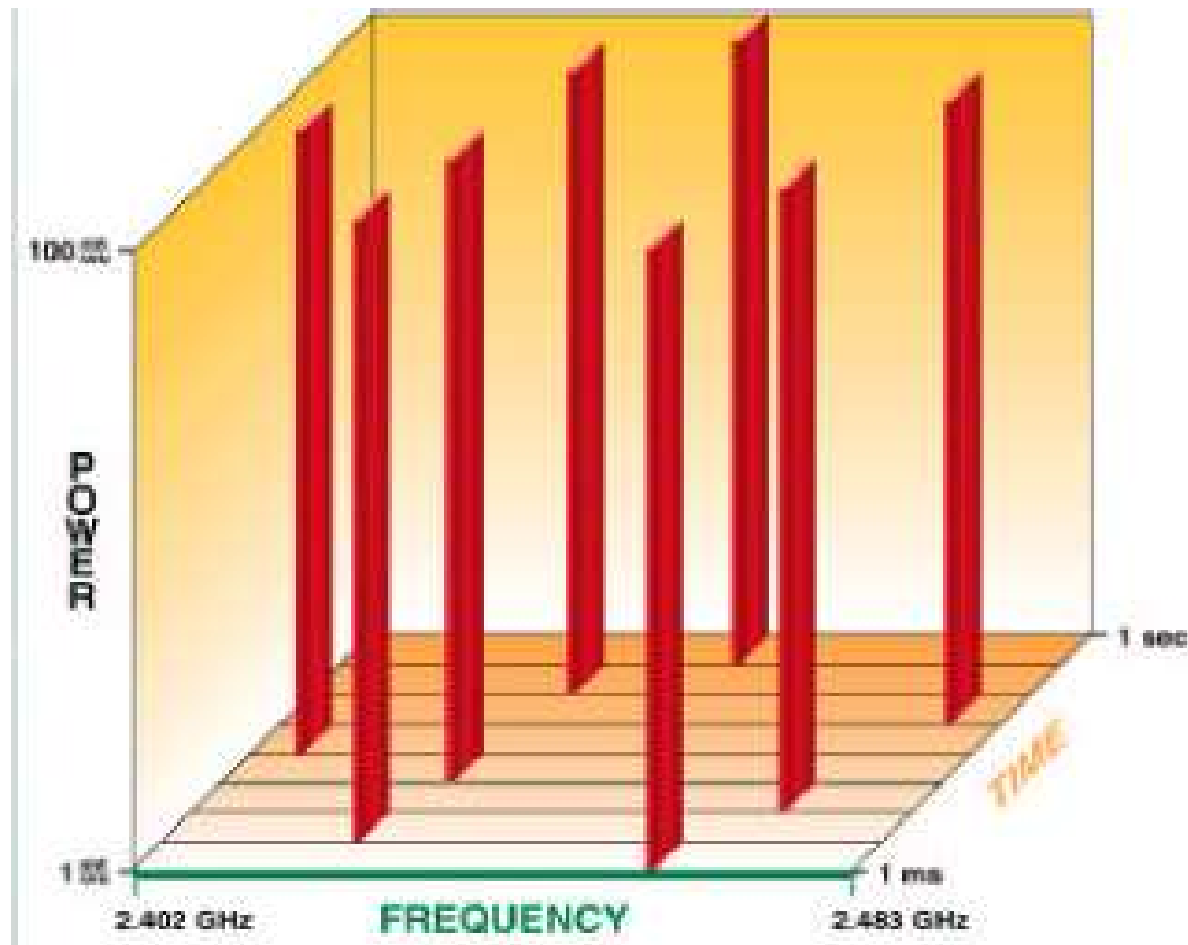
csatorna moduláció	sebesség (Mbps)
BPSK	1
QPSK	2
CCK	5,5
CCK	11

IEEE 802.11 PHY FHSS

- **Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)**
 - Az adó frekvenciák gyors változtatása valamilyen előre definiált függvény (frequency hopping sequence) szerint – amit a vevő követ
(802.11: 79 csatorna egymástól 1MHz-re)
 - hatékony keskenysávú zajok ellen

IEEE 802.11 PHY FHSS

- **Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)**
 - Egy hop 400 ms
 - 79 csatorna 2,4-2,483 GHz sávban



IEEE 802.11 PHY OFDM

- **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) - (IEEE 802.11a 5GHz)**
 - A nagysebességű bitfolyamot több alacsonyabb sebességűre (52db - 802.11a) bontja és azzal modulál több párhuzamos kisebb sávszélességű csatornát

IEEE 802.11 PHY OFDM

- OFDM - (IEEE 802.11a 5GHz) modulációk

csatorna moduláció	sebesség (Mbps)
BPSK	6
BPSK	9
QPSK	12
QPSK	18
16QAM	24
16QAM	36
64QAM	48
64QAM	54

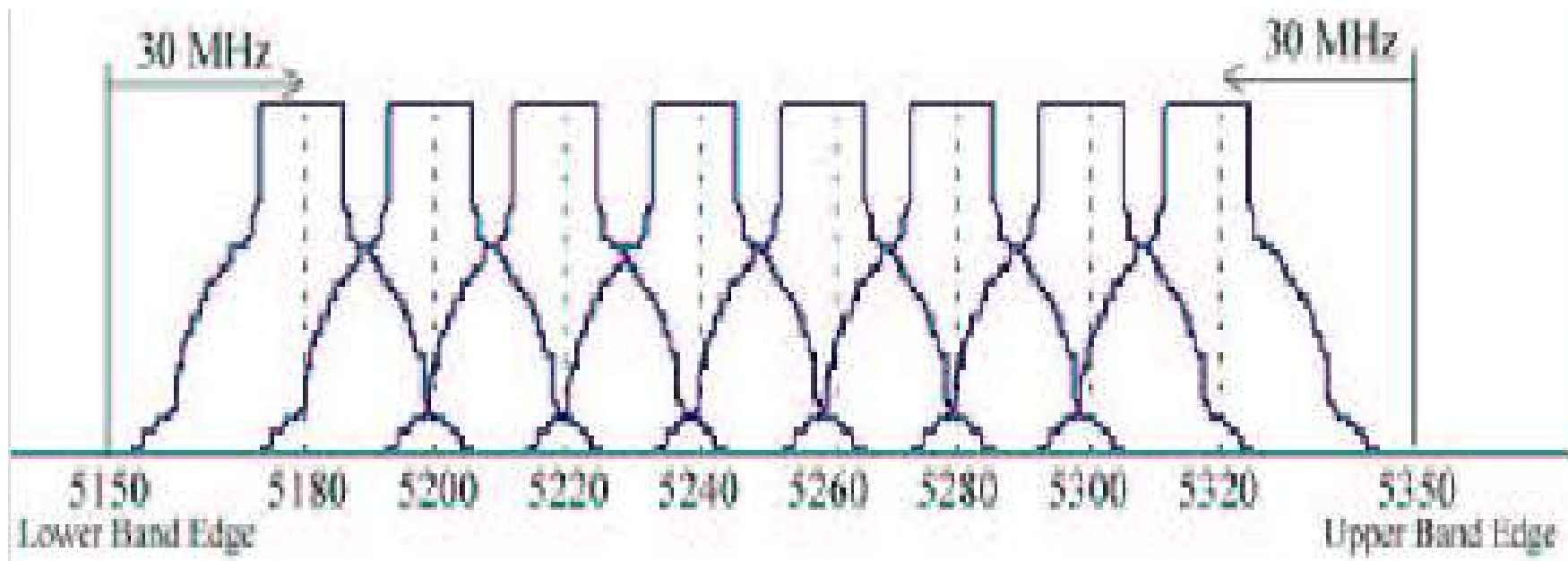
IEEE 802.11 PHY OFDM

- OFDM - (IEEE 802.11a 5GHz) sávok

Channel ID	Frequency (MHz)	Channel Set			
		Americas (-A)	Japan (-J)	Singapore (-S)	Taiwan (-T)
34	5170		x		
36	5180	X		x	
38	5190		x		
40	5200	X		x	
42	5210		x		
44	5220	X		x	
46	5230		x		
48	5240	X		x	
52	5260	X			x
56	5280	X			x
60	5300	X			x
64	5320	X			x
Cisco Maximum Peak Power (mW)*		40	40	20	40

IEEE 802.11 PHY OFDM

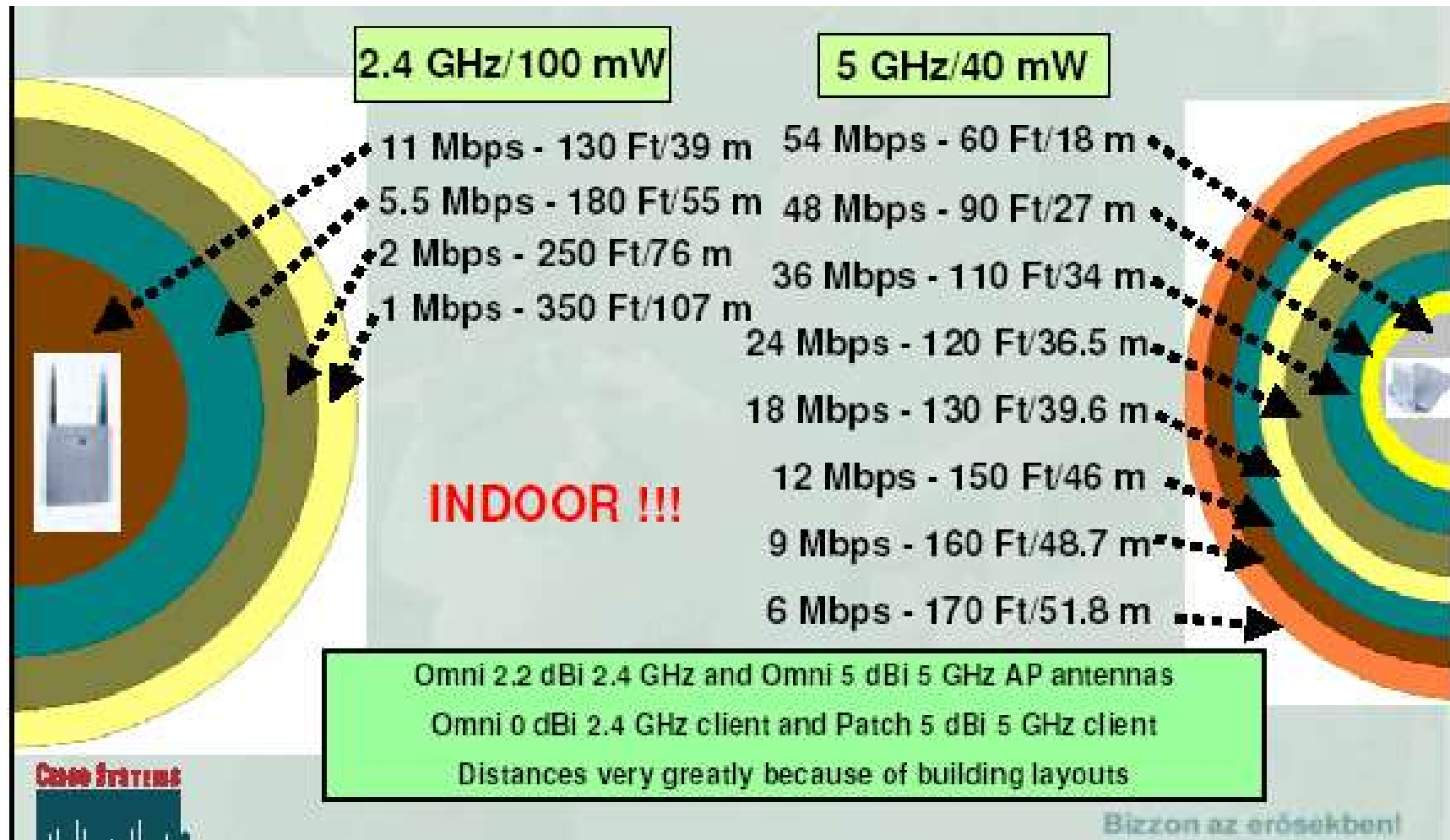
- **OFDM - (IEEE 802.11a 5GHz) 20 MHz sávok**
pl. USA



IEEE 802.11 PHY DSSS – FHSS – OFDM

- **Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)**
 - immunis a többszörös utakkal (multipath) szemben
- **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**
 - nagyobb adatátviteli sebesség
 - jobb hatótávolság
- **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**
 - jobb jel/zaj viszony (közeli reflexiók nem zavarják)
 - még nagyobb adatátviteli sebesség
 - jobb hatótávolság

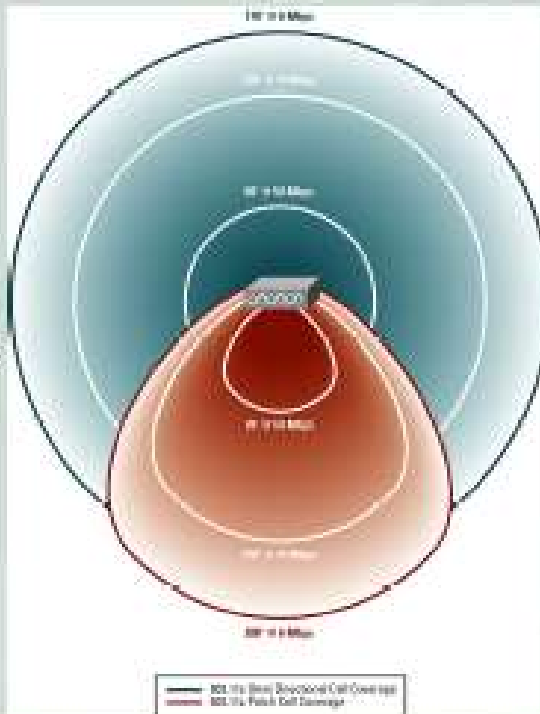
IEEE 802.11 PHY hatótávolságok



IEEE 802.11 PHY (802.11a) hatótávolságok

802.11a Omni-directional Antenna:

- Indoor:
 - 60 ft (18 m) @ 54 Mbps
 - 130 ft (40 m) @ 18 Mbps
 - 170 ft (52 m) @ 6 Mbps
- Outdoor:
 - 100 ft (30 m) @ 54 Mbps
 - 600 ft (183 m) @ 18 Mbps
 - 1000 ft (304 m) @ 6 Mbps



802.11a Patch Antenna:

- Indoor:
 - 70 ft (21 m) @ 54 Mbps
 - 150 ft (45 m) @ 18 Mbps
 - 200 ft (61 m) @ 6 Mbps
- Outdoor:
 - 120 ft (36 m) @ 54 Mbps
 - 700 ft (213 m) @ 18 Mbps
 - 1200 ft (355 m) @ 6 Mbps



Bizzon az erősekben!

IEEE 802.11 PHY (802.11b) omni-directional ant.



IEEE 802.11 PHY összefoglaló

	802.11 b	802.11 a	802.11 g
Frekvencia sáv	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Használhatóság	Világszerte	US/AP	Világszerte
Maximális sebesség	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Egyéb szolgáltatások (Interferenciák)	Vezeték nélküli telefon Mikrohullámú sütő Bluetooth	HyperLAN	Vezeték nélküli telefon Mikrohullámú sütő Bluetooth

DSSS

OFDM OFDM

- **Magasabb adatátviteli sebesség → rövidebb hatótávolság**
- **Magasabb kimenő-teljesítmény → nő a hatótávolság de csökken a telep élettartama (ha mobil)**
- **Magasabb rádió frekvencia → magasabb adatátviteli sebesség, de rövidebb hatótávolság**

IEEE 802.11n-2009 WiFi 4

- **Multiple-input multiple-output OFDM (MIMO-OFDM)**
 - **Spatial Division Multiplexing (SDM):** egy időben több antenna TX mást-mást ad (spatial data streams) ugyanazon csatornán ugyanannak a vevő több antennájának (RX)
 - Több antenna használata adáskor és vételkor is (TXxRX:spatial data streams, max 4x4:4)
 - (multi-user MIMO – több vevőnek 802.11ac)
 - **Beamforming:** antennák jelének fázis eltolt összegzése vételkor, állítása adáskor
- **Frame aggregation a MAC rétegben**
 - Több keretet küld el egymás után és azokat egyszerre nyugtázzák (Block acknowledgement – BA frame 64*16 bit (fragment number)) küldő-fogadó előre egyeztetni
- **40 MHz csatorna sáv szélesség 5GHz, vagy opcionálisan 2.4GHz esetben (20 MHz, vagy 40MHz)**

IEEE 802.11n

Modulation and coding schemes

GI: Guard Interval
MCS: Modulation and Coding Scheme (standard)

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate (m/n)	Data rate (in Mbit/s) ^[a]			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57.6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86.8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115.6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173.2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600

IEEE 802.11n

2.4 GHz csatorna használat 40 MHz csatornák esetén

Primary channel	20 MHz			40 MHz above			40 MHz below		
	Blocks	2nd ch.	Center	Blocks	2nd ch.	Center	Blocks	2nd ch.	Center
1	1–3	5	3	1–7					N/A
2	1–4	6	4	1–8					N/A
3	1–5	7	5	1–9					N/A
4	2–6	8	6	2–10					N/A
5	3–7	9	7	3–11	1	3	1–7		
6	4–8	10	8	4–12	2	4	1–8		
7	5–9	11	9	5–13	3	5	1–9		
8	6–10	12	10	6–13	4	6	2–10		
9	7–11	13	11	7–13	5	7	3–11		
10	8–12		N/A		6	8	4–12		
11	9–13		N/A		7	9	5–13		
12	10–13		N/A		8	10	6–13		
13	11–13		N/A		9	11	7–13		

IEEE 802.11ac WiFi 5 (2013, 2016)

- **80MHz csatorna sávszélesség, opcionálisan 160MHz**
- **8 MIMO spatial stream (SDM)**
- **Downlink multi-user MIMO (MU-MIMO)**
 - **4 független downlink csatorna párhuzamosan 4 felhasználónak**
 - **Beamforming**
- **IEEE 802.11ac Wave 1 (2013) 1.3 Gbit/s**
- **IEEE 802.11ac Wave 2 (2016) 2.34 Gbit/s**

IEEE 802.11ac

Modulation and
coding schemes
1 spatial stream
(max 4 streams)

index ^[a]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{[16][b]}							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7

IEEE 802.11ac WiFi 5

Advertised speeds: highest link rates in Mbit/s of all the simultaneously-usable radios in the device added up

Type	2.4 GHz band Mbit/s	2.4 GHz band config [all 40 MHz]	5 GHz band Mbit/s	5 GHz band config [all 80 MHz]	AC1900	600	3 streams @ 256-QAM	1,300	3 streams @ MCS 9
AC450 ^[17]	-	-	433	1 stream @ MCS 9	AC2100	800	4 streams @ 256-QAM	1,300	3 streams @ MCS 9
AC600	150	1 stream @ MCS 7	433	1 stream @ MCS 9	AC2200	450	3 streams @ MCS 7	1,733	4 streams @ MCS 9
AC750	300	2 streams @ MCS 7	433	1 stream @ MCS 9	AC2300	600	4 streams @ MCS 7	1,625	3 streams @ 1024-QAM
AC1000	300	2 streams @ MCS 7	650	2 streams @ MCS 7	AC2400	600	4 streams @ MCS 7	1,733	4 streams @ MCS 9
AC1200	300	2 streams @ MCS 7	867	2 streams @ MCS 9	AC2600	800	4 streams @ 256-QAM	1,733	4 streams @ MCS 9
AC1300	400	2 streams @ 256-QAM	867	2 streams @ MCS 9	AC2900	750	3 streams @ 1024-QAM	2,167	4 streams @ 1024-QAM
AC1300 ^[18]	-	-	1,300	3 streams @ MCS 9	AC3000	450	3 streams @ MCS 7	1,300 + 1,300	3 streams @ MCS 9 x 2
AC1350 ^[19]	450	3 streams @ MCS 7	867	2 streams @ MCS 9	AC3150	1000	4 streams @ 1024-QAM	2,167	4 streams @ 1024-QAM
AC1450	450	3 streams @ MCS 7	975	3 streams @ MCS 7	AC3200	600	3 streams @ 256-QAM	1,300 + 1,300	3 streams @ MCS 9 x 2
AC1600	300	2 streams @ MCS 7	1,300	3 streams @ MCS 9	AC5000	600	4 streams @ MCS 7	2,167 + 2,167	4 streams @ 1024-QAM x 2
AC1700	800	4 streams @ 256-QAM	867	2 streams @ MCS 9	AC5300 ^[22]	1000	4 streams @ 1024-QAM	2,167 + 2,167	4 streams @ 1024-QAM x 2
AC1750	450	3 streams @ MCS 7	1,300	3 streams @ MCS 9					

IEEE 802.11ax WiFi 6 (2020 draft)

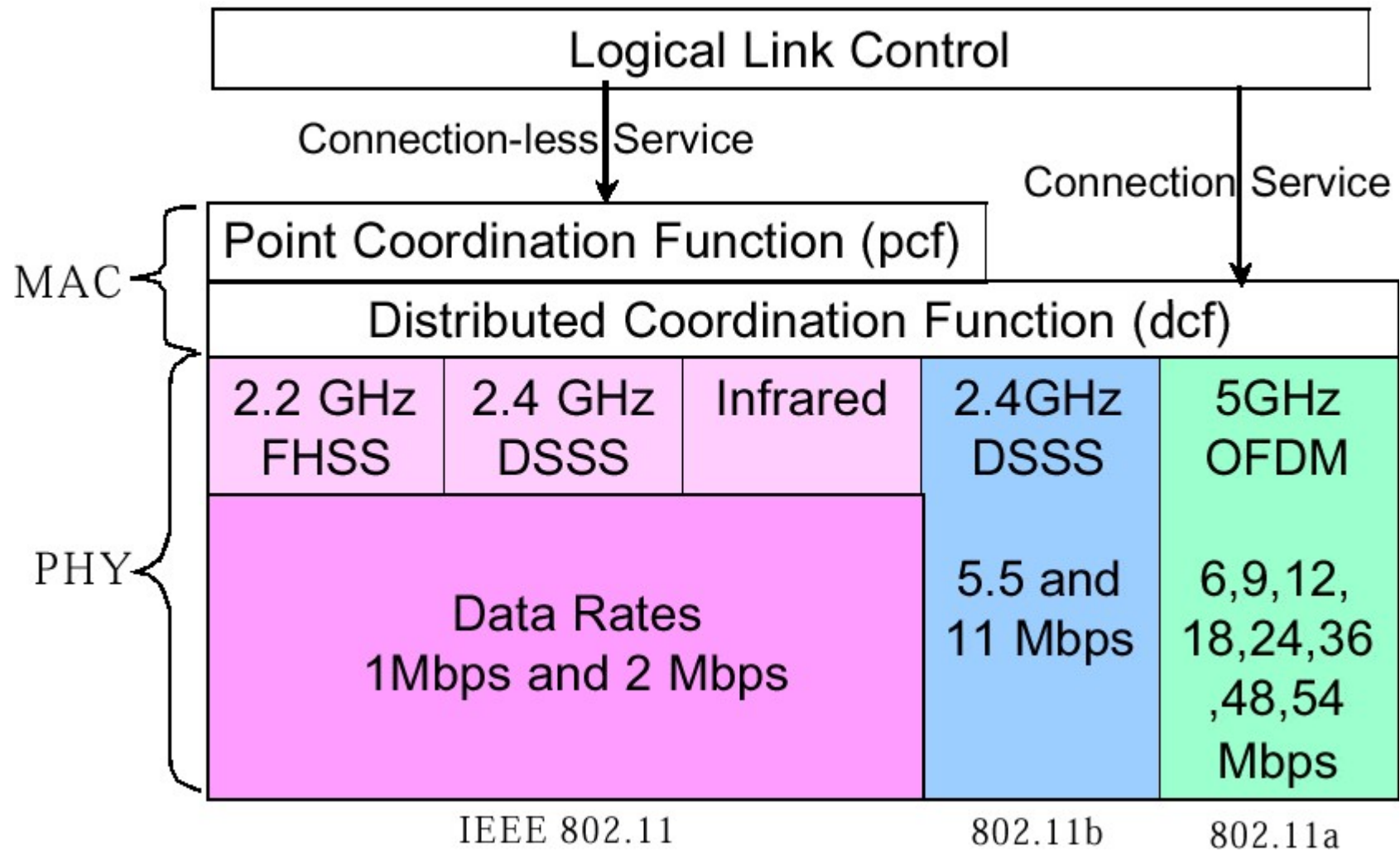
- **OFDMA Resource Units (RU)**
 - Az AP ki tudja osztani az OFDMA-t összetevő csatornákat (RU) a felhasználóknak
- **Multi-user MIMO downlink es uplink irányban is**
 - Az AP osztja ki hozzá az RU-kat az állomásoknak
- **Több RU is használható párhuzamosan versengésre**
 - (random access, ha egy állomás nincs RU-hoz rendelve)
- **„Spatial frequency reuse”**
- **Az idegen cellák állomásainak adásaira ráadhatnak**
 - (idegen cellák adásainak felismerése, adaptív threshold, vett jelszint, adásszint)
- **Dinamikus fregmentáció (változó méretre tördelés)**
 - A rendelkezésre álló RU-k kihasználása

IEEE 802.11ax

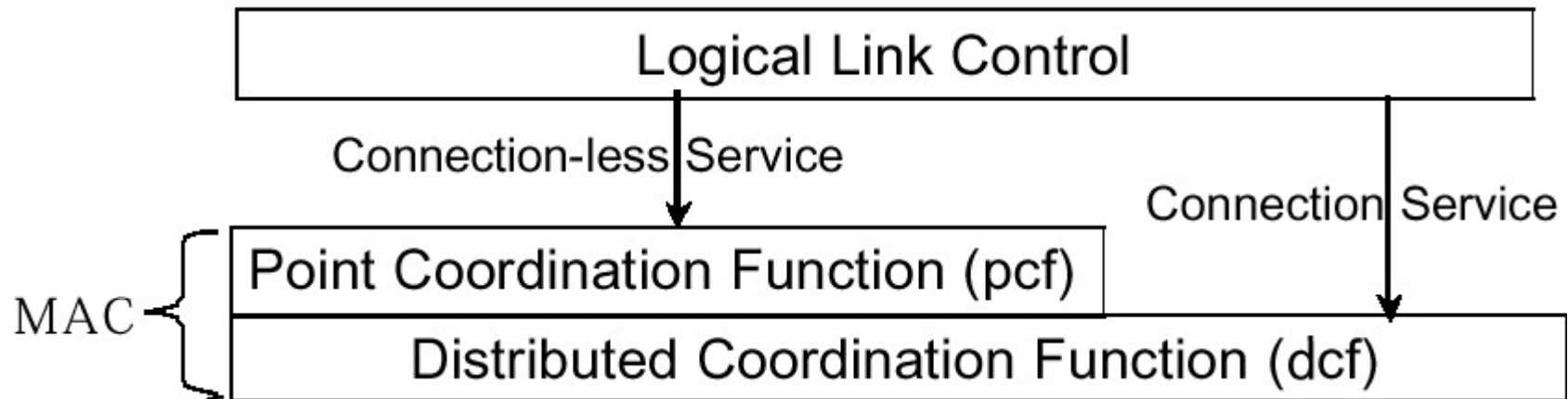
Modulation and
coding schemes
1 spatial stream
(max 4 streams)

MCS index ^[a]	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^[b]							
			20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
			1600 ns GI ^[c]	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
0	BPSK	1/2	8	8.6	16	17.2	34	36.0	68	72
1	QPSK	1/2	16	17.2	33	34.4	68	72.1	136	144
2	QPSK	3/4	24	25.8	49	51.6	102	108.1	204	216
3	16-QAM	1/2	33	34.4	65	68.8	136	144.1	272	282
4	16-QAM	3/4	49	51.6	98	103.2	204	216.2	408	432
5	64-QAM	2/3	65	68.8	130	137.6	272	288.2	544	576
6	64-QAM	3/4	73	77.4	146	154.9	306	324.4	613	649
7	64-QAM	5/6	81	86.0	163	172.1	340	360.3	681	721
8	256-QAM	3/4	98	103.2	195	206.5	408	432.4	817	865
9	256-QAM	5/6	108	114.7	217	229.4	453	480.4	907	961
10	1024-QAM	3/4	122	129.0	244	258.1	510	540.4	1021	1081
11	1024-QAM	5/6	135	143.4	271	286.8	567	600.5	1134	1201

IEEE 802.11 PHY



IEEE 802.11 MAC

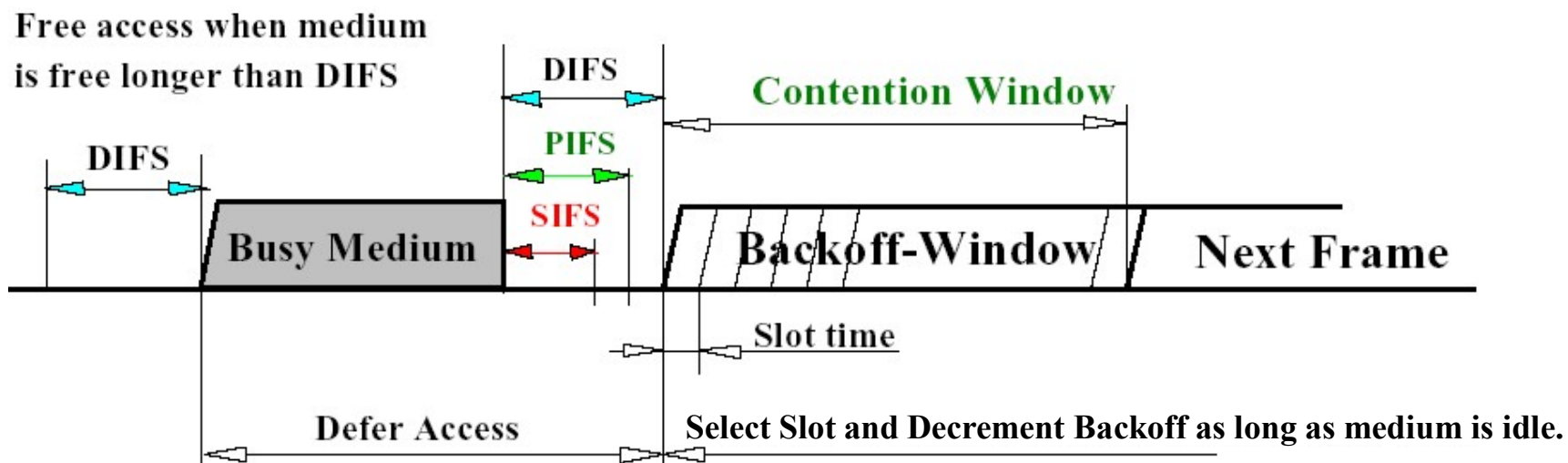


Két eltérő MAC hozzáférési forma:

- **Distributed Coordination Function (DCF)**
– versengéses CSMA/CA.
- **Point Coordination Function (PCF)**
– centralizált, ütközésmentes

DCF: CSMA/CA

- Az állomás mielőtt adni kezd belehallgat a csatornába (CSMA)
- Ha üres egy Distributed Interframe Space (DIFS) időn át, akkor adni kezd.
- Ha foglalt, akkor megvárja míg felszabadul és ezt követően véletlenszerű ideig vár (Binary Exponential Backoff – mint a 802.3-ban), majd újra próbálkozik.
- Hiba (ütközés (esetleg más zaj)) esetén új Backoff időt sorsol.



DCF: CSMA/CA – MAC szintű ACK

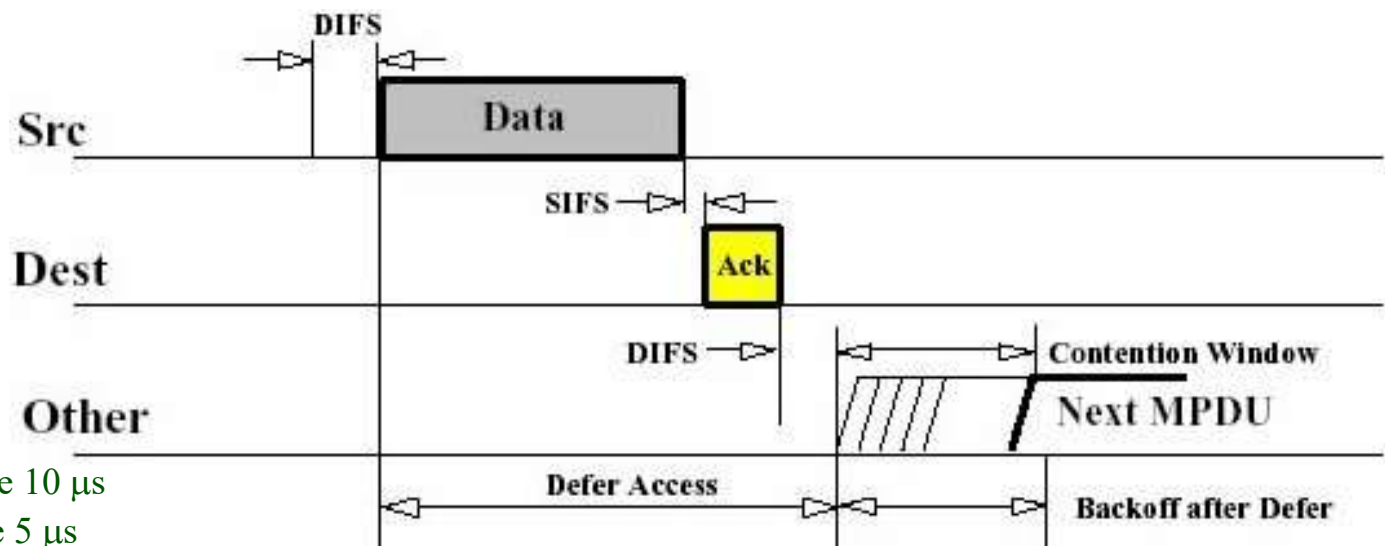
- Hiba (ütközés) felismerés – pozitív nyugta hiánya
- Ha egy állomás neki címzett hibátlan üzenetet vesz, akkor egy Short Interframe Space (SIFS) eltelte után pozitív nyugtát küld a feladónak ($SIFS + Slot = PIFS$, $PIFS + Slot = DIFS$)
- A feladó a nyugtából tudja, hogy sikeres volt a küldése
- (A többes küldéseket (pl. multicast) nem nyugtázzák.)

Slot Time: az adás megkezdésétől annak észleléséig szükséges maximális idő.

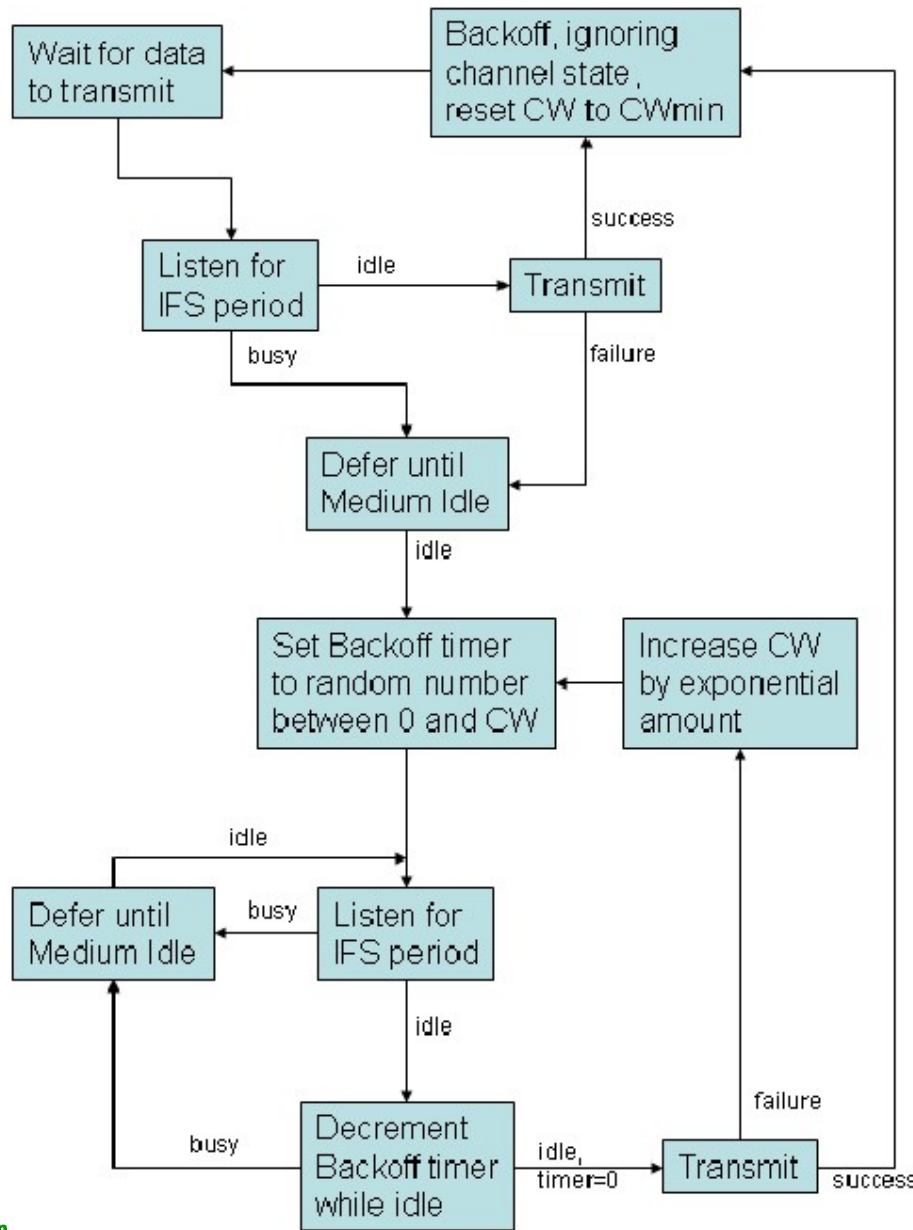
Pl. DSSS

- Slottime 20 μs
- TX to Rx turnaround time 10 μs
- Rx to Tx turnaround time 5 μs

Általános
INFORMATIKAI
Tanszék



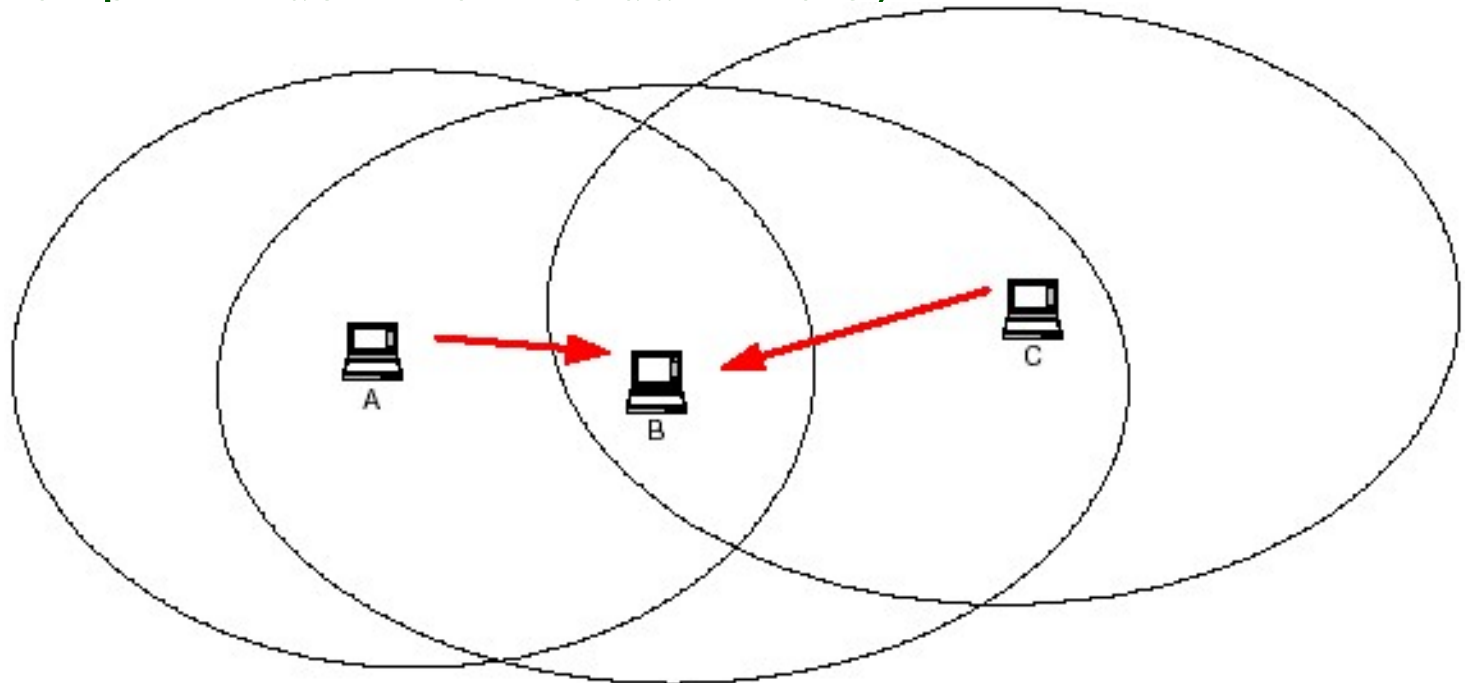
DCF: CSMA/CA – Exponential Backoff



- **CW: Contention Window**
(ezen belül sorsol egy slot számot)
- **Sikeres küldés esetén:**
 $CW = CW_{\min}$
- **A „Bacokff” időtartam csökkentését megszakítja a közeg foglaltsága (+ IFS) idő**
(nem kezdi előlről)
- Csatorna foglaltság: CS+NAV
- **Exponenciális Backoff:**
 $CW_{\text{new}} = \min(2 * (CW_{\text{old}} + 1) - 1, CW_{\text{max}})$
vagyis ua. mint 802.3
 $CW_i = 2^i - 1$, pontosabban
 $CW_i = \min(2^i - 1, CW_{\text{max}})$

Rádiós hálók – további problémák

- Alapvető gond, hogy rádiós hálózat esetén nem minden állomás hallja egymást:
- „Rejtőzködő csomópont” probléma (Hidden Node Problem)
- B hallja A, C-t; A nem hallja C-t
(kábelben ez praktikusan nem fordulhat elő)



„Rejtőzködő csomópont” probléma

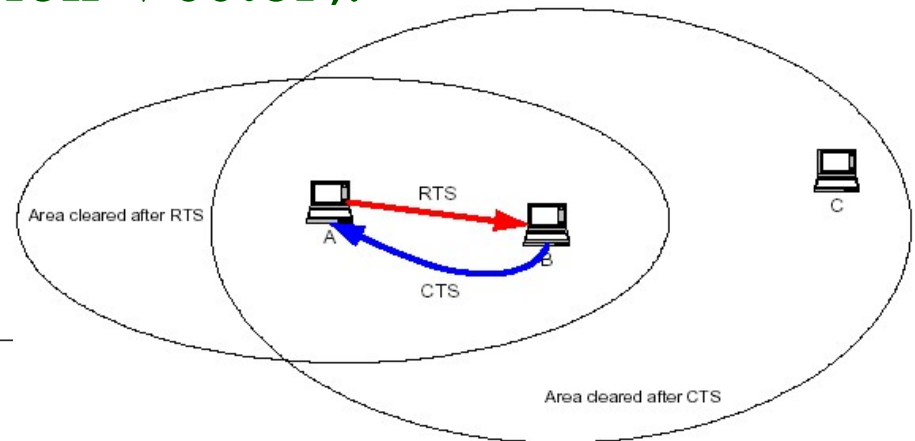
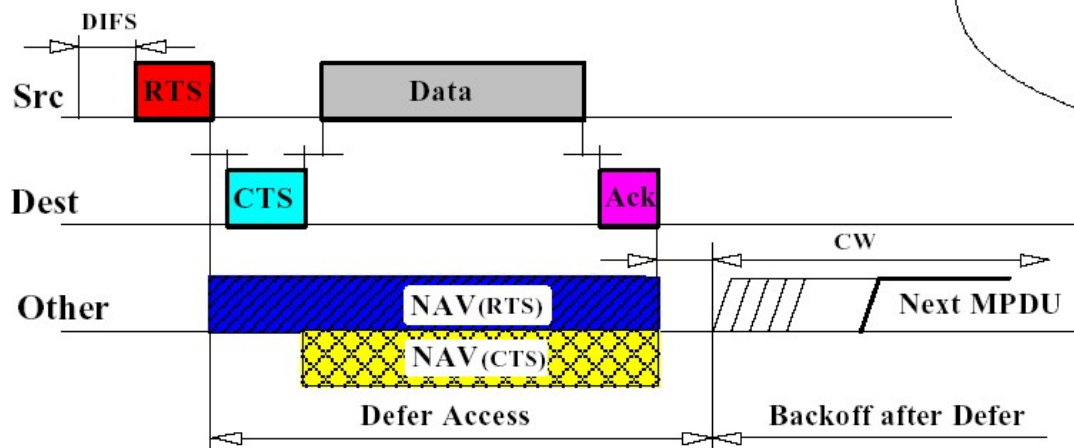
Megoldás: „Virtuális” vivőfigyelés

- Az adni kívánó állomás egy rövid (Request To Send - RTS) kerettel jelzi adás szándékát amelyben megadja a küldendő keret időtartamát (Duration mező)
- Ezt a vevő egy rövid (Clear To Send - CTS) kerettel nyugtázza amely ismétli az RTS-ben jelölt (újraszámított) időtartamot
- Minden állomás rendelkezik egy Network Allocation Vector-al (NAV) – (hálózat foglaltság vektor).
- A NAV mindig azt az időtartamot jelöli, ami a csatorna felszabadulásáig még hátravan
– az állomások ezen időtartam alatt a csatornát foglaltnak veszik még akkor is, ha adást fizikailag nem észlelik.
⇒ „Virtuális” vivőfigyelés
- Azok az állomások, melyek akár RTS-t, akár CTS-t vesznek, az abban lévő időtartam alapján frissítik a NAV-ot.

IEEE 802.11 „Virtuális” vivőfigyelés

802.11: Virtuális + valóságos vivőfigyelés

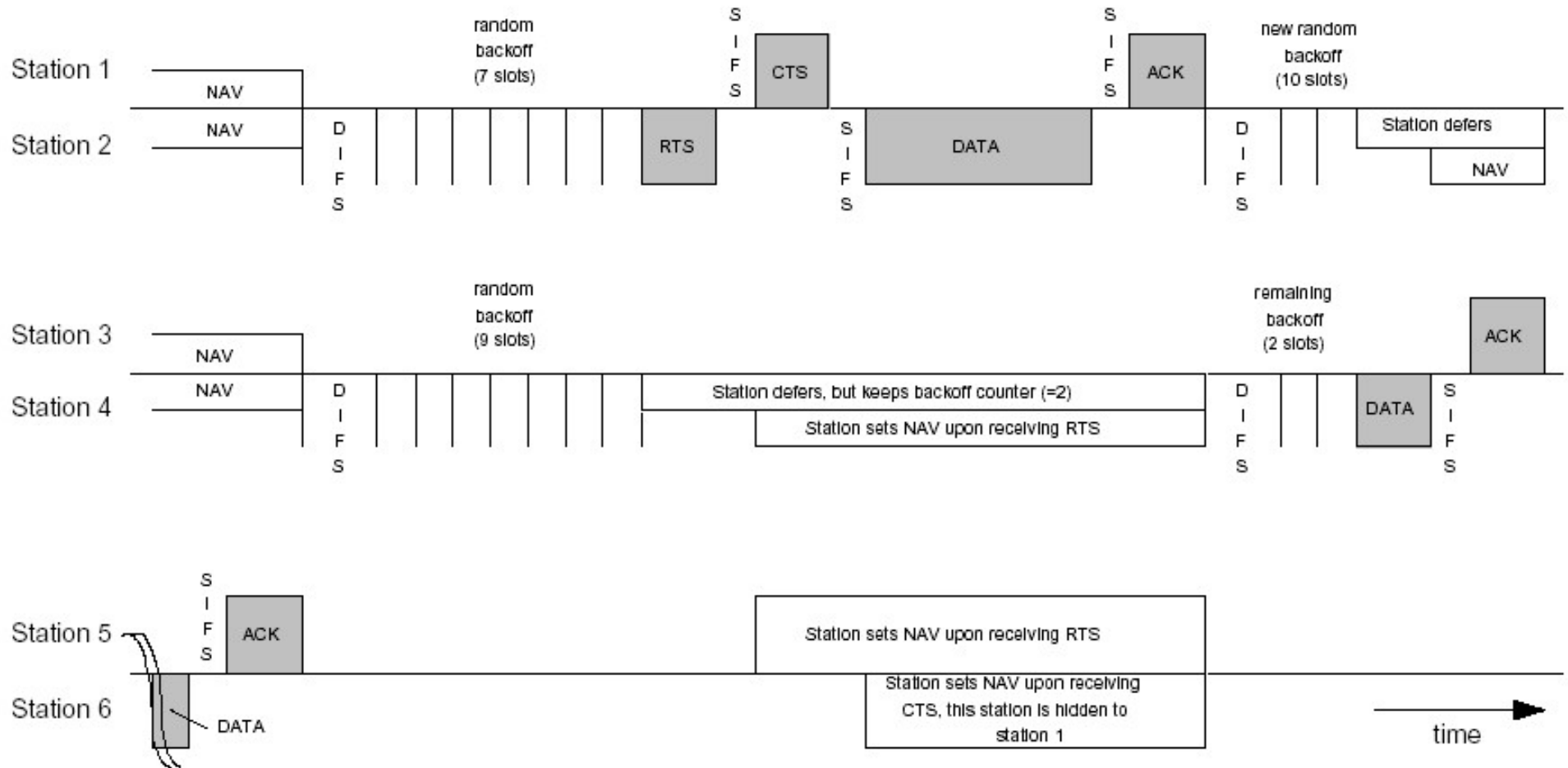
- **Ha az adó állomás nem hallatszik (RTS),**
 - nincs valóságos vivőfigyelés
- **a vevő CTS-e alapján akkor is be lehet állítani a NAV-ot (Network Allocation Vector).**
 - virtuális vivőfigyelés



IEEE 802.11 „Virtuális” vivőfigyelés

- Ha egy állomás értelmetlen keretet vesz, egy hosszabb időtartamot Extended IFS-t (EIFS) várakozik
 - így az esetleges vételi hibák nem rontják el a virtuális vivőfigyelést (a hibás keretből nem tudja biztosan, hogy mennyit kellene várakoznia)
- Az RTS/CTS mechanizmus (rövid keretek lévén) csökkenti az ütközések veszteségeit is.
- Az RTS/CTS mechanizmus tiltható.
- Meghatározható, hogy mi az a minimális keretméret, ami alatt nincs szükség az RTS/CTS mechanizmusra (rövid keretek esetén felesleges overhead)
- Nincs szükség rá továbbá, ha:
 - Kicsi a sávszélesség igény, illetve nincs nagy versengés a csatornáért (csekély forgalom, vagy kevés állomás – alacsony ütközés valószínűség) és
 - olyan helyen, ahol minden állomás hall mindenkit.

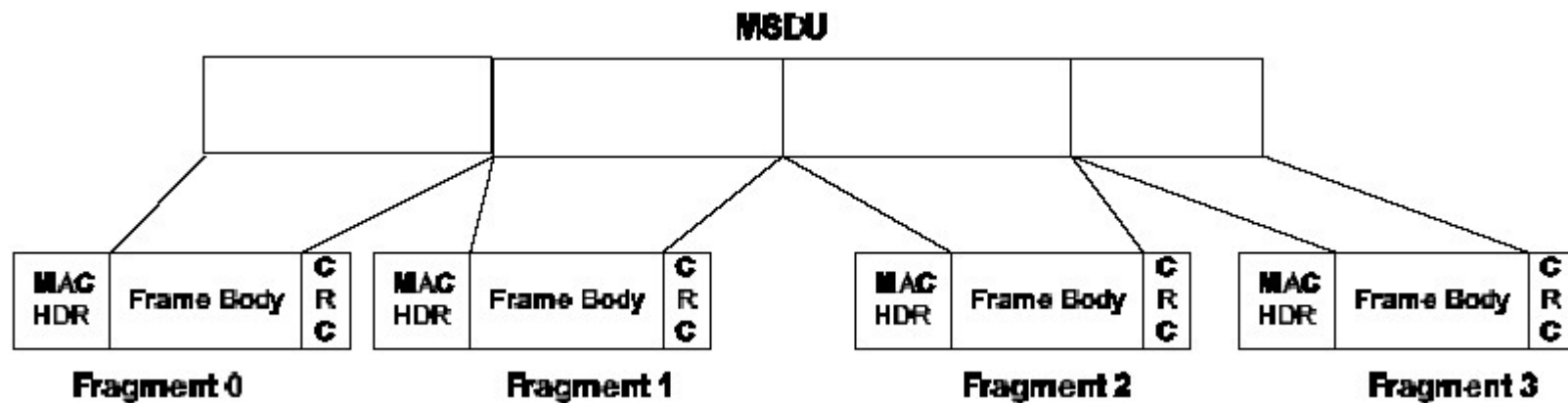
IEEE 802.11 „Virtuális” vivőfigyelés



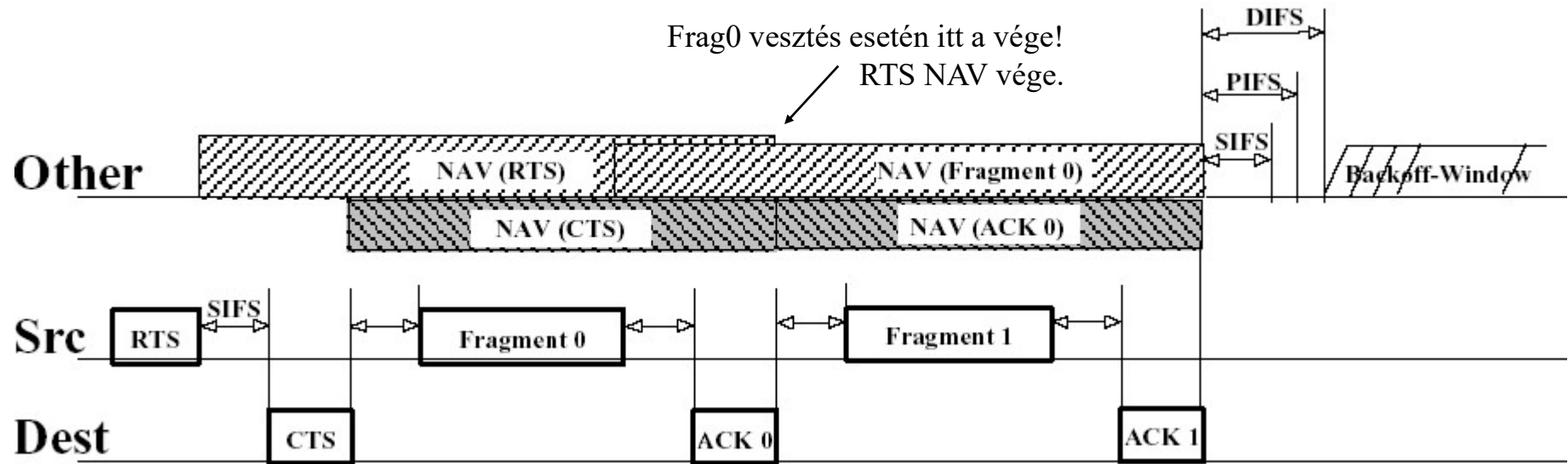
- A 6. állomás nem hallja a 2. állomás RTS-ét, csak az 1. állomás CTS-ét.

Frame Fragmentation and Reassembly

- A rádiós hálók nagyobb bithiba aránya miatt a veszteségek csökkentése érdekében célszerű rövidebb keretméreteket használni (802.3 - 1518byte max)
- Egyszerű fregmentáció – a küldő darabol + fejléc + CRC
- A fogadó nyugtázza az egyes darabokat, összeszedi majd összerakja a keretet. Ha túl sokáig kell várni valamelyik darabjára, eldobja az egészet.
- Ha az adó túl sokáig nem tud elküldeni egy darabot, ugyancsak eldobja az egész keretet.



Frame Fragmentation and Reassembly

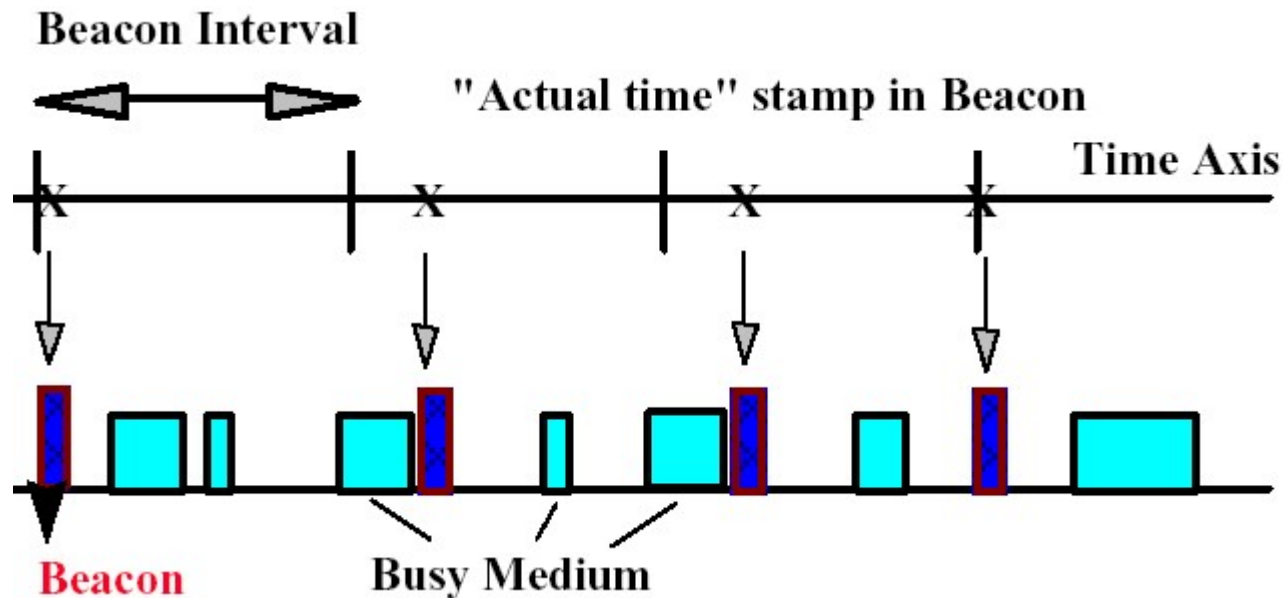


- Az egyes darabokat egyesével nyugtázza a címzett
→ Csak Unicast keretekre használható.
- Ha nem kap nyugtát az adó, véletlenszerű ideig vár és újraad
- Az adat és Ack keretek időtartam (Duration) mezője alapján az állomások frissítik NAV-jukat (fenntartják a csatorna foglaltságot – virtuális vivőfigyelés)

Új állomás belépése a BSS-be

- **Szinkronizálnia kell magát a BSS (Basic Service Set) Access Point-jához (AP)**
- **Passive Scanning**
 - addig vár, míg meg nem hallja az AP **Beacon Frame**-jét (periódikusan küldi és szinkron információkat pl. Az AP óra értékét is tartalmazza (az állomások ez alapján frissítik óráikat)).
- **Active Scanning**
 - **Request Frame**-t küld és vár az AP kötelező **Probe Response** válaszára.
- A belépni szándékozó állomást ezek után azonosítja magát az AP-nál és kapcsolódik (**Authentication, Association Process**) (ismernie kell az osztott titkos kulcsot (WEP))

Szinkronizáció

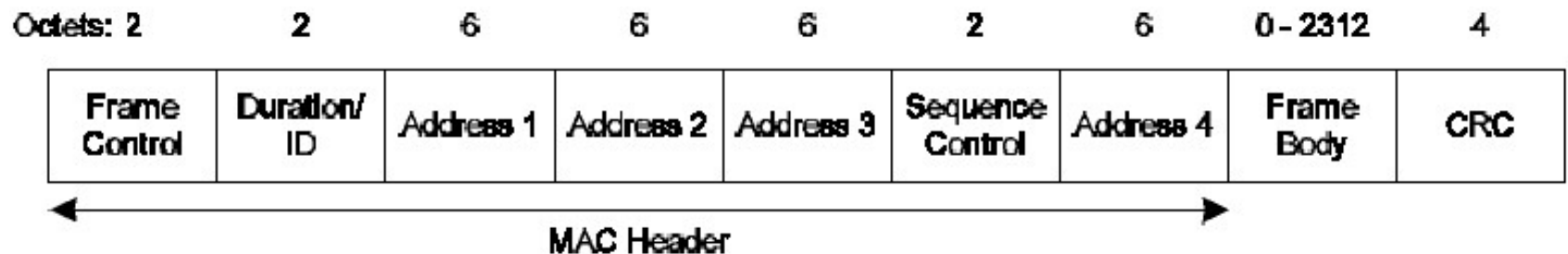


- Az AP periódikusan (Beacon Interval) Beacon kereteket küld
- A CSMA miatt ez változhat (nem az előző ténylegeshez méri a következőt, hanem az ideálishoz – így pl. power saving esetén több Beacon-on keresztül is alhat az állomás)
- A Beacon időbélyegén rajta van a feladás időpontja

802.11 keretformátum

Preamble	PLCP Header	MAC Data	CRC
----------	-------------	----------	-----

- **Preamble** (mindig 1Mbps sebességgel):
 - **Sync: 128 bit 0101...** – vevő szinkronizáció (56 bit short sync - opció pl.video)
 - **SFD: 16 bit Start Frame Delimiter** 0000 1100 1011 1101,
- **PLCP Header** (mindig 1Mbps sebességgel):
 - **PLCP Signaling Field:** a keret további részének bitsebessége
 - **PLCP_MPDU Length Word:** a MAC data byte-jainak száma
 - **Header Error Check Field:** 16 Bit CRC (CCITT CRC-16)
- **MAC Data**

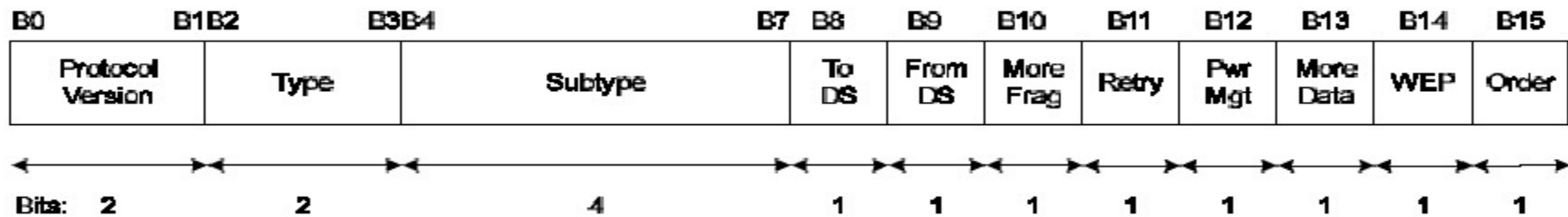


PHY: Physical Layer Convergence Protocol + Physical Medium Dependent sublayer.

(PLCP - wireless encoding)

(PMD - common interface for MAC sublayer)

802.11 keretformátum – Frame Control



- **Protocol version:** jelenleg 00
- **ToDS:** 1 ha az AP nek küldik, hogy továbbítsa a **Distribution System**-re, vagy ismételje meg azt (ugyanazon BSS, de nem halljak egymást) – egyébként 0
- **FromDS:** 1 ha az AP adja újra a **Distribution System**-ből– egyébként 0
- **More Fragments:** 1 ha még van még további darabja hátra a keretnek
- **Retry:** Ez a bit jelzi, hogy ez egy újraküldött darab (az esetleges duplikáció jelzése a vevőnek, ha az ACK veszett volna el)
- **Power Management:** A küldés után az állomás állapotot vált Power Save ↔ Active
- **More Data:** Power Management esetén ez jelzi, hogy a Poll-t követően még van további keret is az AP-ban tárolva (újabb Poll, esetleg Active állapot szükséges)
- **WEPP:** Ez a bit jelzi, ha a keret test WEPP kódolt (Wired Equivalent Privacy, az RSA RC4-re épülő titkosítás, 64-128-152 bit single shared key encrypt)
- **Order:** Ha az Unicast és Multicast keretek sorrendje nem cserélhető fel. (Pl. DEC LAT esetén)

802.11 keretformátum – Type, Subtype

Type Value b3 b2	Type Description	Subtype Value b7 b6 b5 b4	Subtype Description
00	Management	0000	Association Request
00	Management	0001	Association Response
00	Management	0010	Association Request
00	Management	0011	Reassociation Response
00	Management	0100	Probe Request
00	Management	0101	Probe Response
00	Management	0110-0111	Reserved
00	Management	1000	Beacon
00	Management	1001	ATIM
00	Management	1010	Disassociation
00	Management	1011	Authentication
00	Management	1100	Deauthentication
00	Management	1101-1111	Reserved
01	Control	0000-0001	Reserved
01	Control	1010	PS-Poll
01	Control	1011	RTS
01	Control	1100	CTS
01	Control	1101	ACK
01	Control	1110	CF End
01	Control	1111	CF End + CF-ACK
10	Data	0000	Data
10	Data	0001	Data + CF-Ack
10	Data	0010	Data + CF-Poll
10	Data	0011	Data + CF-ACK + CF-Poll
10	Data	0100	Null Function (no data)
10	Data	0101	CF-Ack (no data)
10	Data	0110	CF-Poll (no data)
10	Data	0111	CF-Ack + CF-Poll (no data)
10	Data	1000-1111	Reserved
10	Data	0000-1111	Reserved

←

Power Save - poll

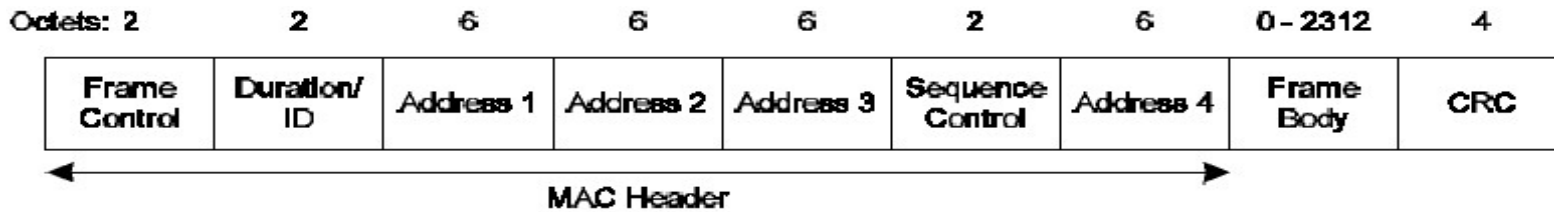
←

←

←

Contention-Free-poll

802.11 keretformátum – MAC Data

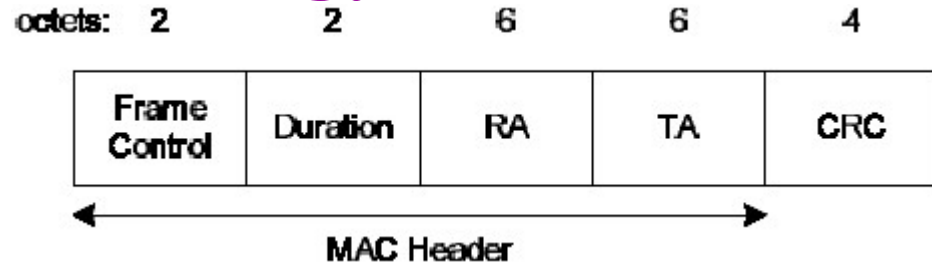


- **Duration/ID:**
 - Power-Save Poll esetén az állomás azonosító (Station ID)
 - Egyéb esetekben a NAV számításához szükséges időtartam (duration value)
- **Sequence Control:** Az ugyanazon kerethez tartozó részeket és azok sorszámát jelzi, két mezőből áll: Fragment Number (melyik keret része 12bit) és Sequence Number (hanyadik 4b)
- **CRC:** 32 bit Cyclic Redundancy Check (CCITT CRC-32)
- **Address-1:** mindig a fogadó címe a BSS állomás, vagy ToDS esetén az AP címe (**Receiver**)
- **Address-2:** mindig a küldő címe a BSS állomás, vagy FromDS esetén az AP címe (**Target**)
- **Address-3:** FromDS esetén az eredeti **Source Address**, ToDS esetén az eredeti **Destination Address**.
- **Address-4:** Wireless Distribution System esetén használják, amikor két AP között küldik a keretet

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	BSSID	SA	N/A
1	0	BSSID	SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

BSSID: az AP
MAC címe

802.11 keretformátum – gyakori keretek

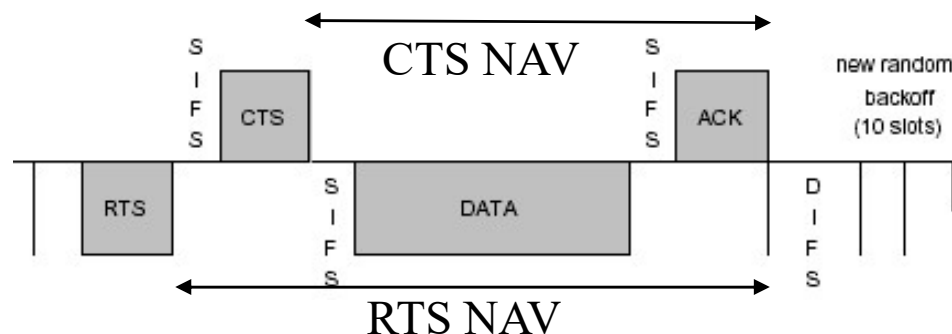


RTS keret:

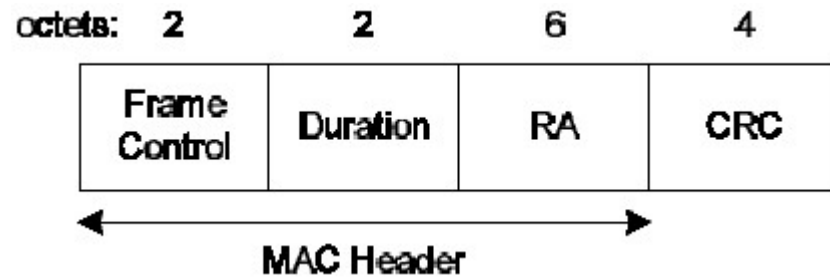
- **RA:** a címzett állomás címe (tőle várja a CTS-t)
- **TA:** az RTS keretet küldő állomás címe
- **Duration:** időtartam μsec -ban, amennyit várni kell a következő Data, vagy Management keret küldése előtt + 1db CTS + 1db ACK + 3db SIFS ideje

CTS keret:

- **RA:** a megelőző RTS keret TA-ja (Transmitter Address)
- **TA:** az CTS keretet küldő állomás címe
- **Duration:** a megelőző RTS keret Duration-ja – 1db CTS – 1db SIFS ideje (μsec).

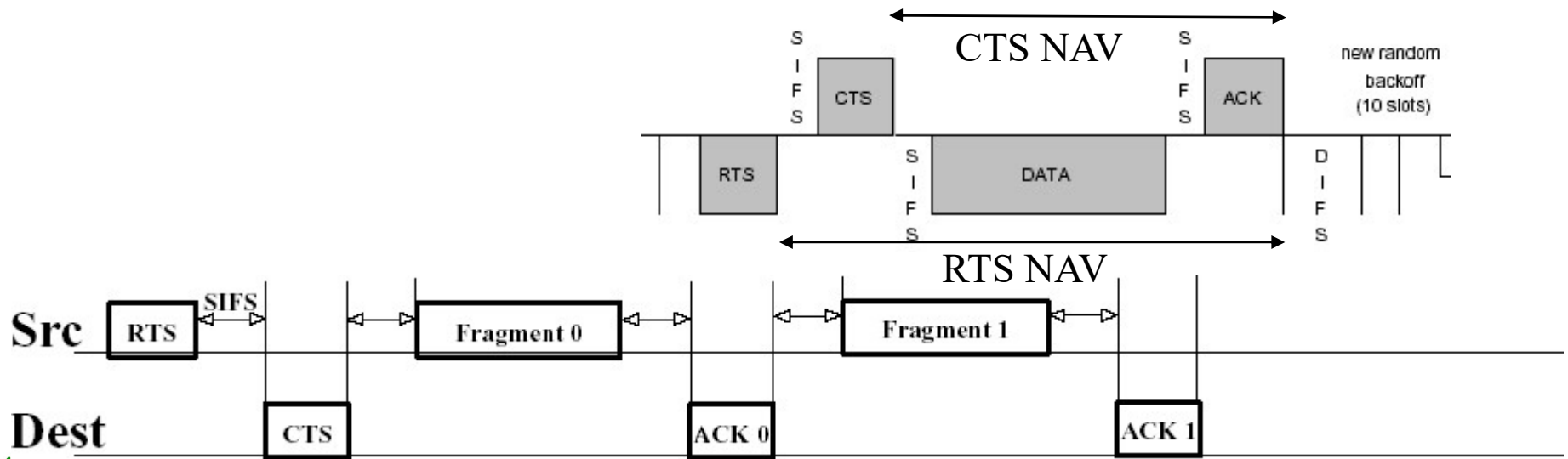


802.11 keretformátum – gyakori keretek



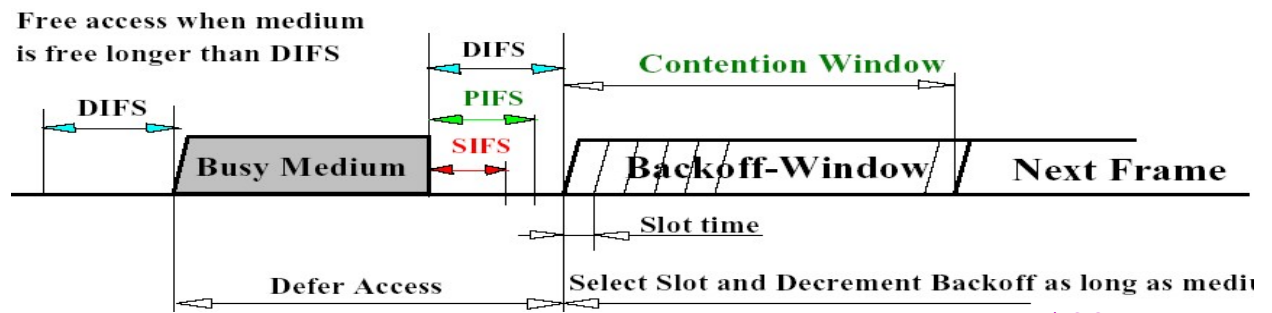
ACK keret (Frame Control: Retry bit jelzi, ha ismételt nyugta (nincs sorszáma)):

- **RA:** A nyugtázott (megelőző) keret Address-2 mezője (TA (Transmitter Address))
- **Duration:**
 - A nyugtázott keret More Fragment bitjének 0 értéke esetén 0 (itt a vége)
 - 1 esetén a nyugtázott keret Duration értéke – 1 db ACK – 1db SIFS ideje (μsec).

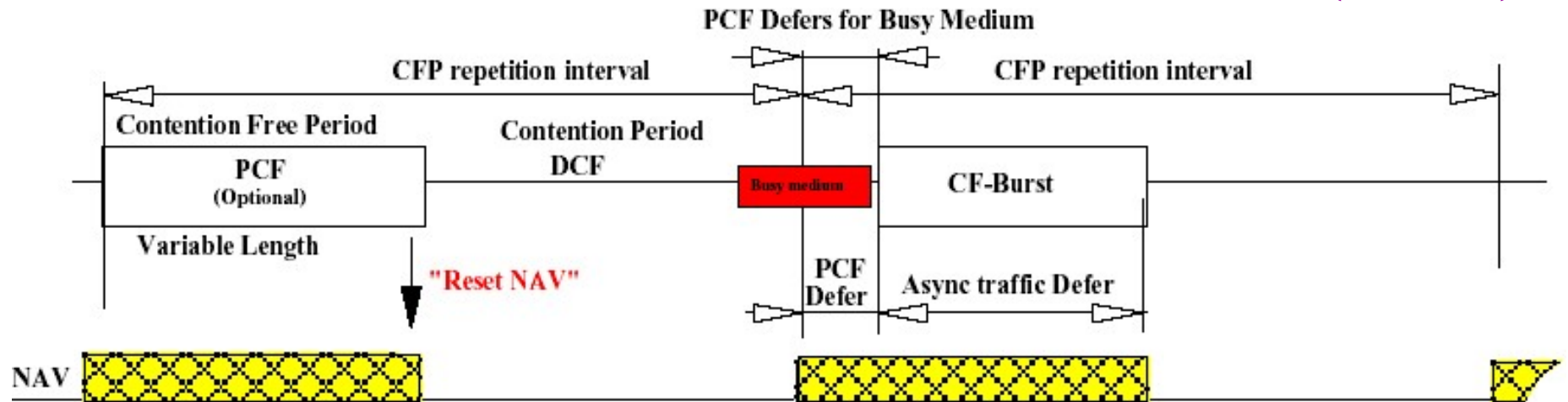


802.11 Point Coordination Function (PCF)

- Centralizált ütközésmentes közeghozzáférés vezérlés
- Használható pl. olyan időkorlátos forgalomra, mint hang, videó
- A PCF-et a Point Coordinator (PC) irányítja (az AP-n van)
- Az állomások kérhetik, hogy kerüljenek rá a PC Polling Listájára.
- Rendszeres időnként a PC (Access Point) a DCF versengés során magasabb prioritást kap – a DIFS-nél rövidebb PIFS (Point Coordination IFS) használatával
(a többi állomást megelőzve foglalja le a csatornát - a többiek egy DIFS-et várnak, mielőtt versengeni kezdenének)
- Miután megszerezte a csatornát az Access Point állomás Polling Requests keretekkel szólítja meg a kiválasztott állomásokat, hogy küldjék el adataikat (centralizált, versengésmentes időszak: contention-free period (CFP))

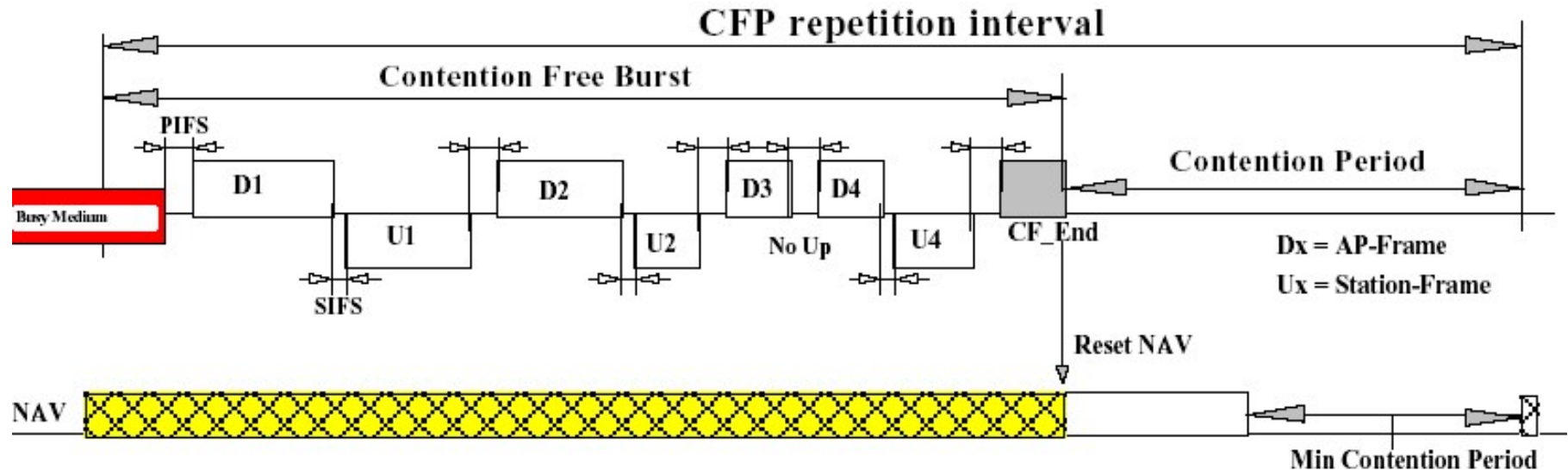


802.11 Point Coordination Function (PCF)



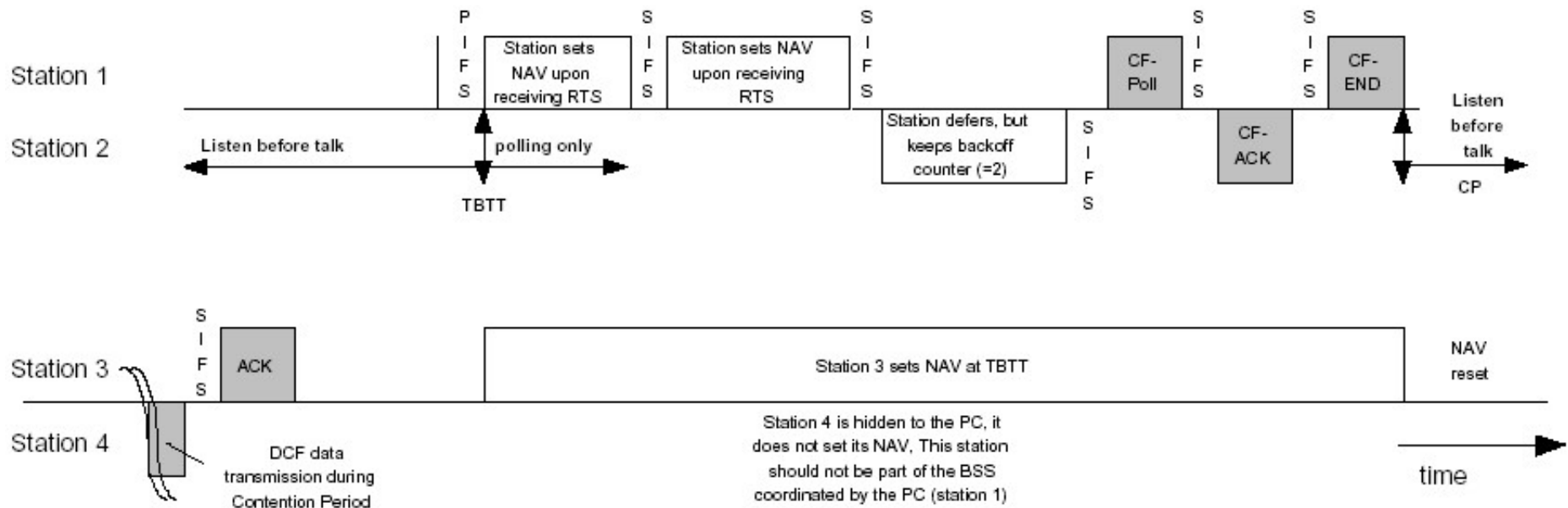
- **Versengéses és versengés nélküli (Contention Free) időszakok váltakoznak.**
- **A PC a Beacon keret Duration mezőjével (NAV állítása az állomásokon) állítja le a DCF (versengéses) időszakot.**
- **A Contention Free periódusok hossza változhat - mind a PCF, mind a DCF alatti foglaltság késleltetheti a másikat.**
(Addig egyik sem kezdődhet, míg a csatorna fel nem szabadul)
- **Annak érdekében hogy a versengő Distributed Coordination Function (DCF) forgalom is életben maradjon, a Point Coordinator-nak (PC) időt kell hagynia a DCF-re a rendszeresen ismétlődő (near-isochronous service) PCF-ek között.**
(Kötelező minimum: egy max. keretméretnyi idő annak nyugtájával együtt)

802.11 PCF – CF-Burst



- **CF-Burst: aktív Polling bit (CF_Poll) a CF-Down (Dx) keretkeben** (A PC kezdi Beacon keret küldésével – NAV a többi állomásnak) – sorban azon állomásoknak, akik kértek CF szolgáltatást a PC-től.
- **A lekérdezett állomás rögtön válaszol (Ux) – adatok és nyugta** (“ACK Previous Frame” bit).
- **A válaszok (lekérdezések) változó hosszúságúak lehetnek**
- **A PC utolsó kerete (CF_End) törli a NAV-ot – CFP vége.**

802.11 Point Coordination Function (PCF)



- Station 1: PC polling állomás, station 2 és station 3 a Beacon keret alapján beállítja a NAV-ját a teljes CFP időtartamra – de ha a station 4 nem hallja a station 1-et, akkor DCF-ben marad.
- **A PC PIFS-et használ így nem zavarják a DIFS-et használó DCF állomások**

802.11 Power Saving

- Mobil állomások esetén fontos lehet az energiafogyasztás csökkentése
- A 802.11 lehetővé teszi az állomások **adatvesztés nélküli altatását** (sleep)

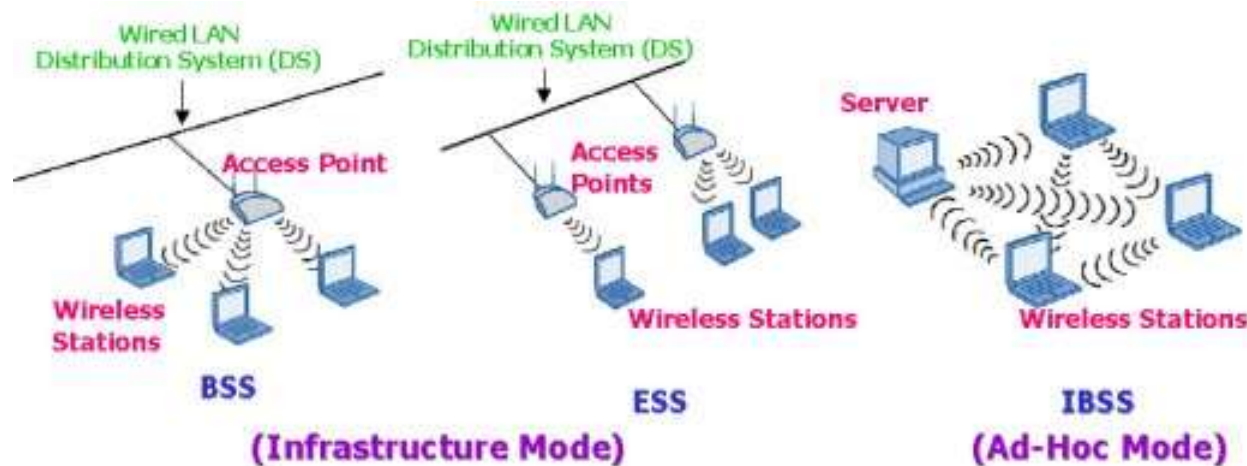
Alapötlet:

Az AP számon tartja, hogy mely állomások vannak pillanatnyilag Power Saving üzemmódban, és az azoknak címzett forgalmat tárolja mindaddig míg azok nem kérik azokat (Power Save (PS) Poll), vagy aktívvá nem válnak.

- Mindemellett a Beacon Frame-ekben az AP periódikusan hirdeti, hogy mely állomásoknak tárol kereteket (bitek a Traffic Indication Map-ban).
- Így ezek az állomások felébredhetnek amikor az AP a Beacon keretet küldi.
- Majd ha van rájuk váró üzenet, akkor azokat a polling request (PS Poll) üzenettel elkérhetik az AP-től.
- A Multicasts és Broadcasts kereteket ugyancsak tárolja az AP és egy előre (az alvó állomások által) **ismert időpontban újraküldi** (a Beacon keretben hirdeti, hogy még hány Beacon van hátra, mielőtt küldené őket) – **így azok erre az időre felébredhetnek** (ha szükségük van ilyen keretekre).
- PS alatt az állomás kereshet más BSS-eket is (**Active, or Passive Scanning**)

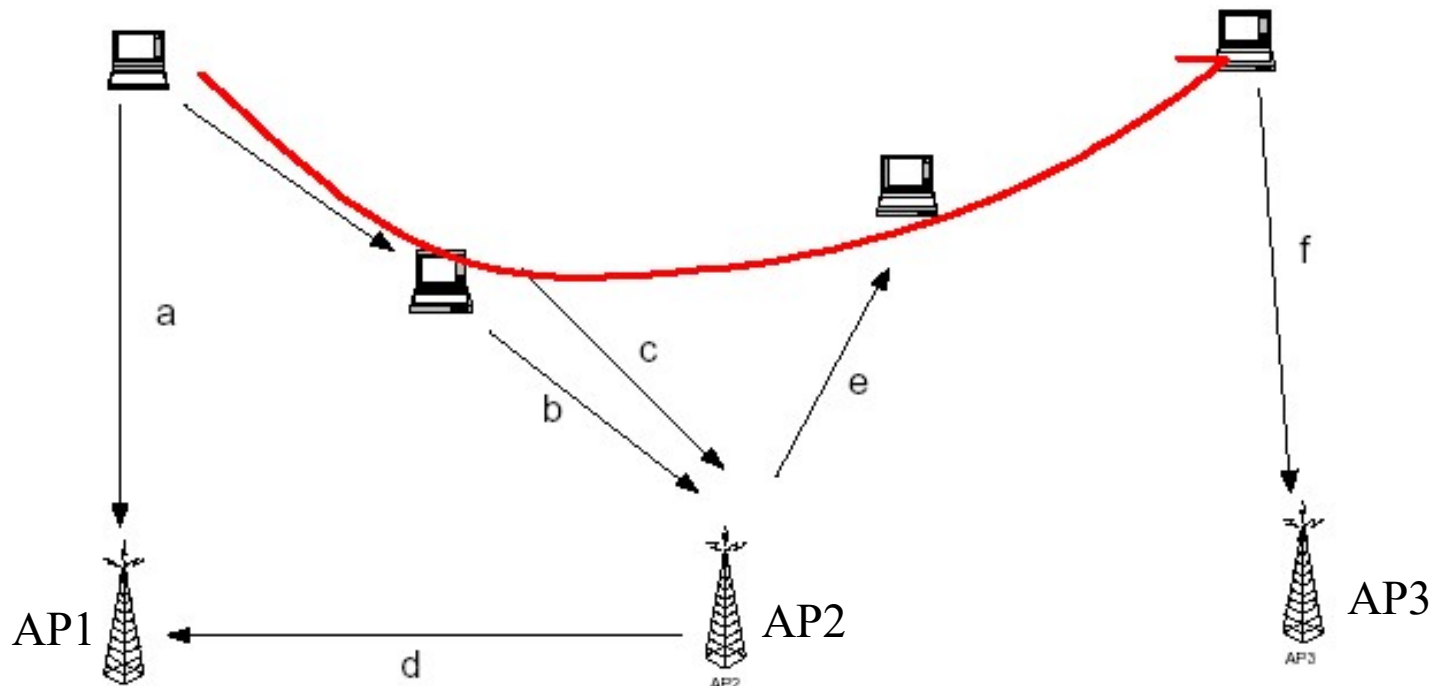
802.11 Ad-Hoc Networks

- A 802.11 hálózat üzemeltetéséhez nincs feltétlenül szükség Access Point állomásra, ilyenkor az egyik állomás veszi át részben annak funkcióit (“ad-hoc” mode) pl. Beacon Generation, synchronization, stb.
- Ilyenkor komplexebb AP funkciókra, mint pl. két állomás közötti keret továbbításra (framerelaying), vagy az állomások Power Saving üzemmódjára nincs lehetőség.



802.11 Roaming

- ESS esetén a mobil állomás vándorolhat a BSS-ek között



(a) ---- The station finds AP1, it will authenticate and associate.

(b) ---- As the station moves, it may pre-authenticate with AP2.

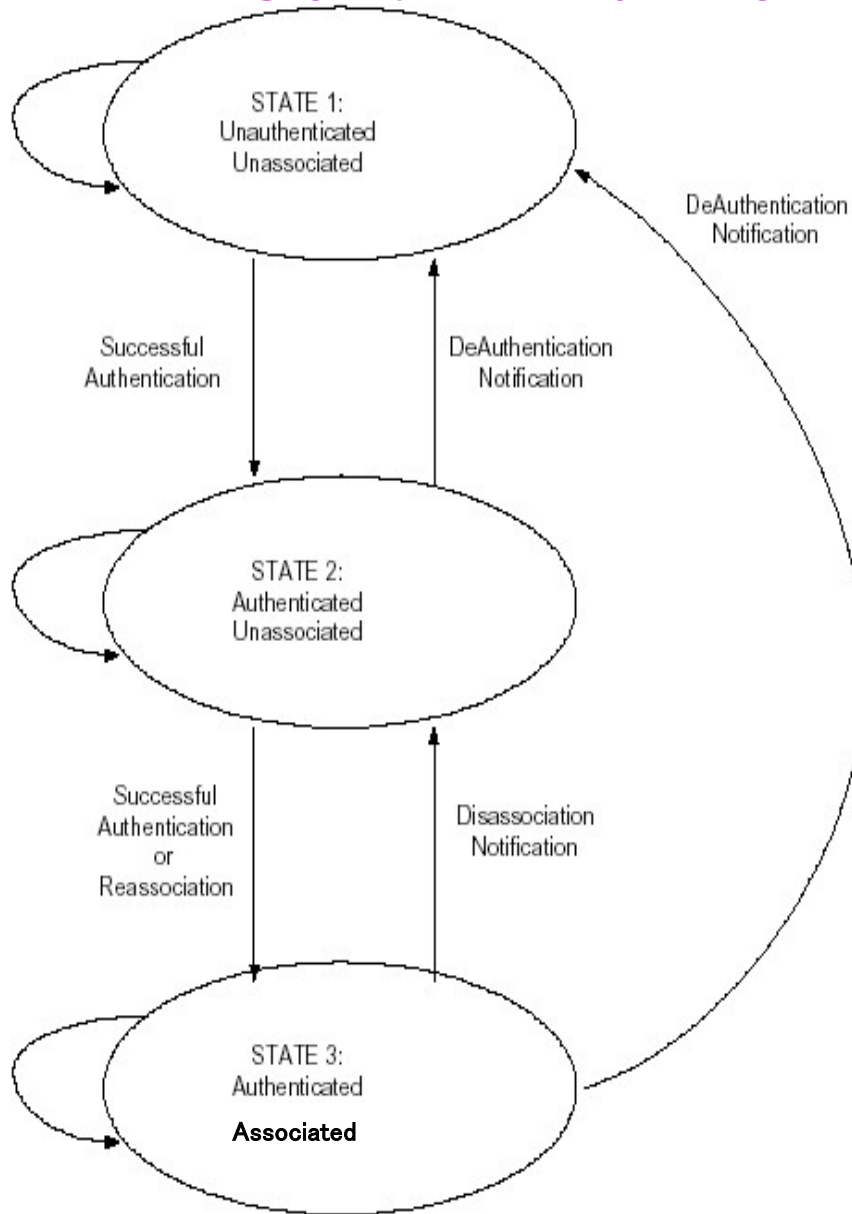
(c) ---- When the association with AP1 is no longer desirable, it may reassociate with AP2.

(d) ---- AP2 notify AP1 of the new location of the station, terminates the previous association with AP1.

(e) ---- At some point, AP2 may be taken out of service. AP2 would disassociate the associated stations.

(f) ---- The station find another access point and authenticate and associate.

802.11 Authentication - Association



- **Egy állomás több BSS-ben is lehet „Authenticated”**
(Preauthentication - Roaming),
de csak egyben „Associated”
- **Authentication:**
 - egy mobil állomás azonosítja magát az AP-nél (de lehet bármely két állomás között is)
- **Association:**
 - **Bejelentkezés**, minden Assigned állomás kap egy AID azonosítót
- **Reassociation:**
 - **Átjelentkezés**, az új AP szól a réginek

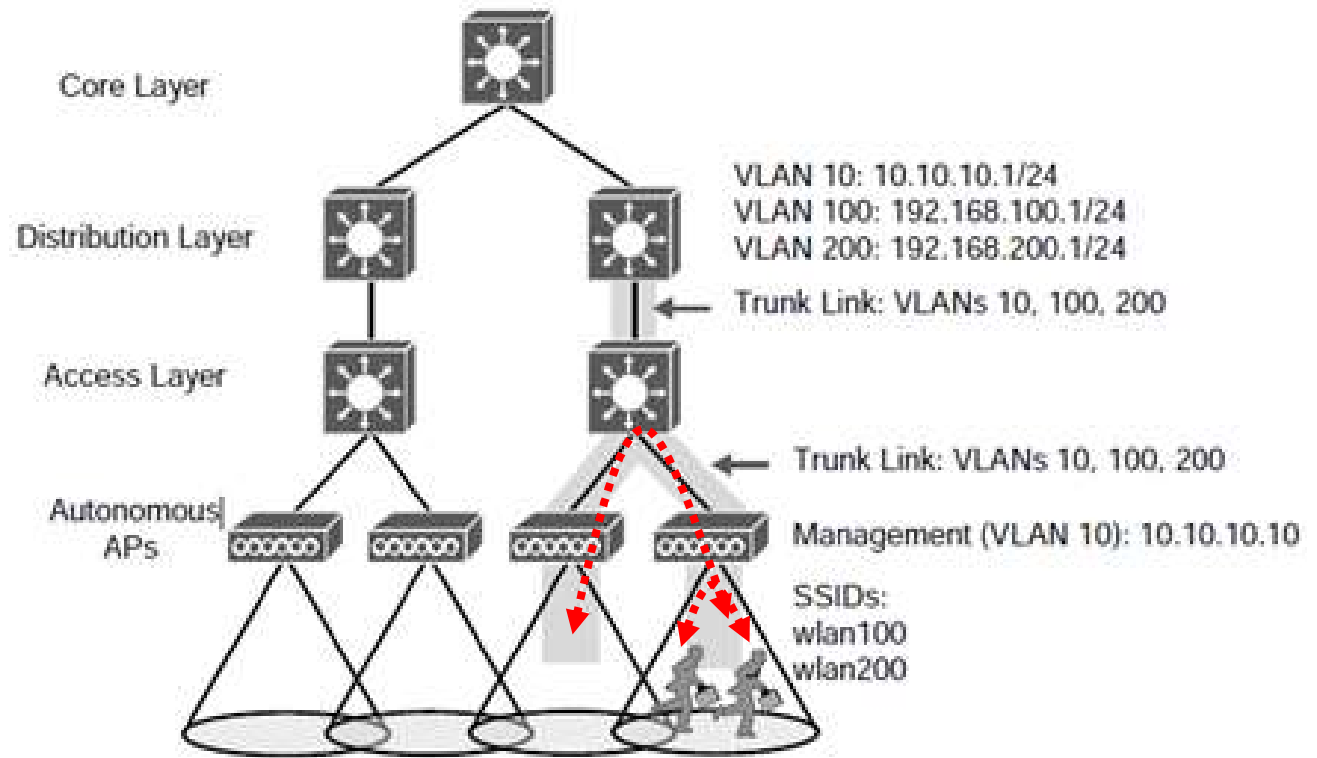
802.11 Authentication

- Egy állomás saját kilétét igazolja egy másik állomás előtt (pl. AP)
- **Két módszer:**
 - “Open system authentication” – ellenőrzés nélküli „bemutatkozás” (mindig sikeres)
 - “Shared key authentication algorithm” – egykulcsos titkosítás alapú.
- **Shared key authentication:**
 - Mindkét állomás rendelkezik a titkos WEP kulccsal (egykulcsos)
 - Az autentkáció kezdetén az A állomás (pl. mobil) megküldi B-nek (pl. AP) az azonosítóját.
 - Válaszként B ugyancsak megküldi az azonosítóját és egy „challenge text”-et
 - Az A állomás válaszként visszaküldi azt a titkos WEP kulccsal kódolva.
 - A B állomás ugyanazzal a titkos kulccsal dekódolja azt. Ha a dekódolás sikeres, a B állomás autentikálta A-t (ha nem, akkor hibaüzenetet küld).
- Egy állomás több másíknál is autentikálhatja magát.
- Mindig a mobil állomás autentikálja magát (az AP ellenőriz).
- *Hiányosságok:* Pl. kalóz állomás (az SSID (AP MAC cím) ismeretében) beacon kereteket küldhet és terhelheti (kérdeszgeti - válaszolnak) az állomásokat (Denial of Service Attack).

802.11 Association

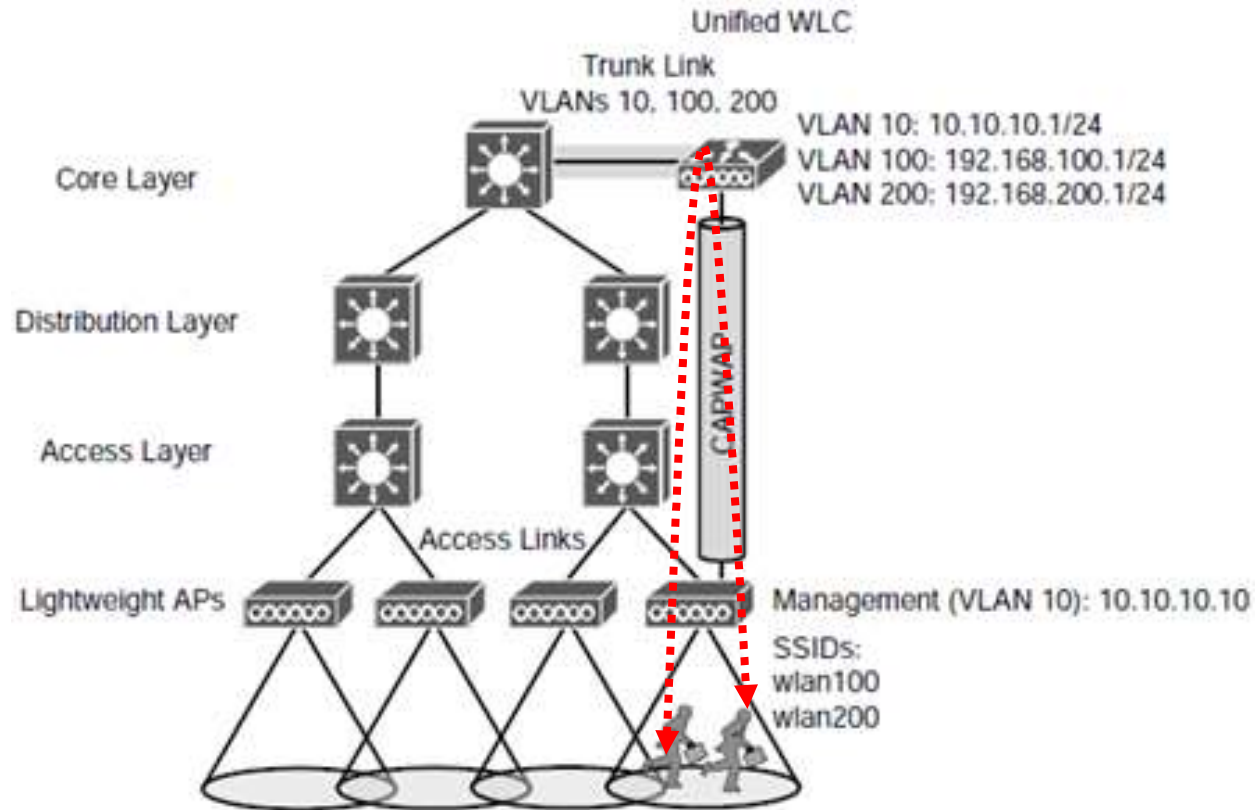
- **Kizárólag a sikeres autentikáció után lehetséges.**
- **A mobil állomás kéri az AP-t** (association request), hogy **kapcsolódhasson a WLAN-hoz.**
- **A kapcsolódási kérelem tartalmazza az állomás képességeit** pl. adatsebesség, PHY opciók, CF szolgálatok, WEP támogatása, illetve a max. Power Saving időt amit az állomás igényel (az AP bufferel).
- **Az AP válasza** (association response) tartalmazza a kérelem eredményét (**success/failure** – elutasítás esetén annak okát).
- A sikeres kapcsolódást (**association**) követően az AP felelős az állomás forgalmának továbbításáért (akár a BSS-en belül, akár a DS-re)
- Ha egy állomás elveszti a kapcsolatot egy BSS-el (annak AP-jával) – új asszociáció egy másik BSS AP-jával.
- Majd **Reassociation Request** az új AP felé (melyben megadja a régi AP címét) – **az új AP bejelenti a régi AP-nek a mobil állomás átjelentkezését** (ott az asszociáció törlődik) a DS (Distribution System) ezután már az új AP-n keresztül éri el az állomást.

Wireless LAN - Autonomous Topology



- Önálló AP-k
- Mindegyiket külön kell konfigurálni
- Egy, vagy több BSS, ESS

Wireless LAN -Lightweight AP Topology



WLC: Wireless LAN Controller – közös menedzsment, bridge, az AP realtime 802.11

CAPWAP tunnel: Control And Provisioning of Wireless AP

- A VLAN-ok Layer 3 kapcsolatát a WLC biztosítja
- A CAPWAP tunnel access link, nem trunk, több VLAN, vagy WLAN esetén is
- Az egy cellán belüli kliensek forgalma is a WLC-n keresztül halad

Az IEEE 802.4 szabvány vezérjeles sín (Token Bus)

- A General Motors és gyártásautomatizálással foglalkozó vállalatok fejlesztették ki
- A jellemzők:
 - 75 Ω -s koax; analóg moduláció; 1,5 vagy 10 Mbps
 - busz topológia, de az állomásokat logikai gyűrűbe veszik: minden állomás ismeri a megelőző (bal) és a következő (jobb) szomszédját.
 - A logikai gyűrűn vezérjel (token) - speciális vezérlő keret “kering”.
 - Mindig az adhat, aki a vezérjelet birtokolja.
 - Ha az adást befejezte, a vezérjelet továbbküldi logikai szomszédjának (ha nincs adnivalója, rögtön továbbítja)

Az IEEE 802.4

- **A maximális késleltetés korlátos!**
 - Egy állomás a vezérjelet csak egy meghatározott ideig (token-holding time) (T_{TH}) birtokolhatja.
 - Ha ez lejárt, akkor is tovább kell adnia a vezérjelet, ha még lenne adnivalója.
 - n számú állomás esetén $n * T_{TH}$ időt kell várni egy keret elküldésére.
- **Prioritások vannak a keretekre:**
 - 4 prioritás osztály: 0, 2, 4, 6;
 - mindegyiknek saját sora van.
 - A vezérjel visszatartási időn belül 4 időzítés az egyes sorok max. adásidejére (először 6, majd 4, ...)

802.4 keret szerkezet



PA : Előtag (Preamble) - szinkronizáció

FD : Keret határoló (Frame delimiter) - kezdet és végjelző (analóg kódolás sértés, eltér a normális 0 és 1 kódolásától)

FC: Keretvezérlő - az adat és vezérlőkereteket különbözteti meg

- adatkeret esetén a keret prioritását jelzi
- vezérlés esetén a különböző vezérlési funkciók meghatározása
(Pl. 00001000 - token vezérjel átadáskor)

DA: Célcím (Destination Address) -- MAC cím, mint a 802.3-ban

SA: Forrás (Source Address) -- MAC cím

Data: az adatmező sokkal hosszabb lehet mint a 802.3-ban, itt nem tartja úgy fel a rendszert, mint a CSMA/CD)

FCS : Ellenőrző összeg (Frame Check Sequence)

A gyűrű karbantartása

- Új állomás felvétele
 - A vezérjelet birtokló állomás rendszeres időközönként Solicit-successor keretvezérlő keretet küld, mely tartalmazza a saját és az őt követő állomás címét,
 - majd egy válaszablak (respond window) időt vár.
 - ezen idő alatt jelentkezhetnek a két cím közé eső című állomások (ha több is jelentkezik, külön mechanizmus az ütközések feloldására)
 - A jelentkező állomás lesz a logikailag következő állomás (beékelődik).

A gyűrű karbantartása

- Állomás kilépése (Pl. $P \rightarrow X \rightarrow S$ sorból X kilépése)
 - X állomás P -nek egy Set-successor keretvezérlő keretet küld, mely tartalmazza S címét, majd kilép.
 - Ezután P S -nek adja tovább a tokenet.
- Gyűrű indulása
 - Ha egy állomás érzékeli, hogy egy ideje nincs forgalom, Claim-token keretvezérlő keretet küld.
 - Ha erre nincs válasz, előállít egy vezérjelet (token), és létrehoz egy gyűrűt, amiben csak ő van benne: majd Solicit-successor: hív másokat a belépésre.

A gyűrű karbantartása

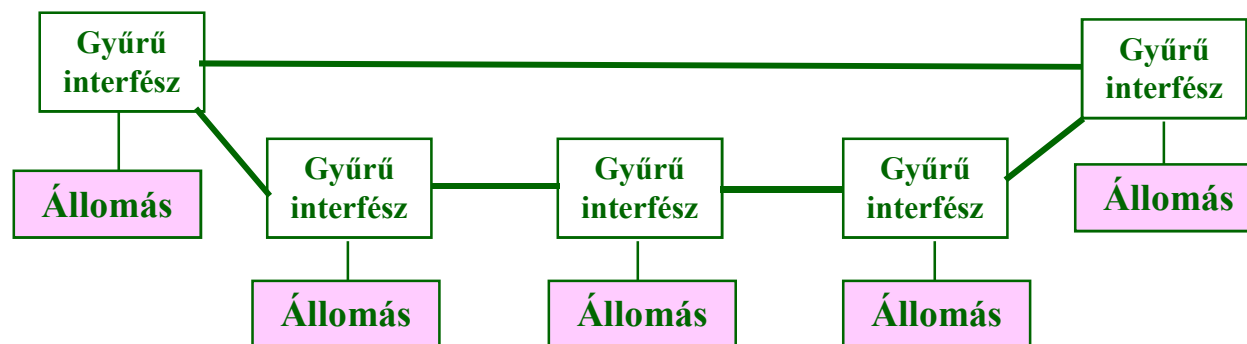
- **Vezérjel elvesztés (a követő állomás elromlik)**
 - **Ha egy állomás tokenet küld szomszédjának figyelni,**
 - hogy az küld-e keretet vagy vezérjelet.
 - Ha nem küld, újabb vezérlő keretet küld neki (hátha csak megsérült az előző keret).
 - Ha erre sem reagál (pl. kikapcsolták):
 - **Who-follows keretvezérlő keretet küld a (szomszédos) követő címre (a „rossz” szomszédjának címezve).**
 - Ha valaki érzékeli, hogy az őt megelőző cím ezzel azonos, Set-successor keretet küld vissza, saját magát megjelölve új szomszédnak.
 - Ezzel a hibás állomás kikerül a gyűrűből.
 - **Ha a Who-follows-ra nincs válasz, újraépíti a gyűrűt.**

A gyűrű karbantartása

- A vezérjel birtokosának meghibásodása esetén:
a gyűrű újraindul.
- Többszörös vezérjel:
 - Ha egy állomás, amely a vezérjelet birtokolja vezérjelet észlel, akkor a **sajátját eldobja**. Így előbb-utóbb csak egy vezérjel marad.

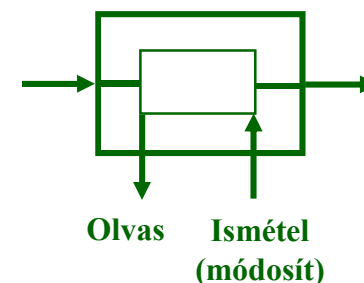
Az IEEE 802.5 szabvány vezérjeles gyűrű (Token Ring)

- Az IBM fejlesztette ki, kompatibilis az IBM Token Ring-el
- Valódi pont-pont kapcsolatokból álló gyűrű topológia (egyirányú gyűrű)
- Kiszámítható felső korlátú csatorna-hozzáférést biztosít (a max. késleltetés itt is korlátos)



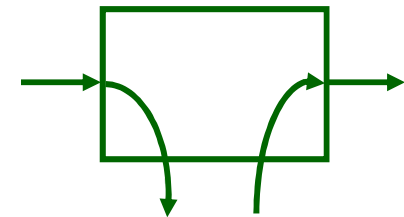
IEEE 802.5

- **A fizikai közeg**
 - Árnyékolt sodrott érpár (2-2 ér ad és vesz)
 - Különbségi Manchester kódolás
 - magas-alacsony feszültség szint: $\pm (3,0 - 4,5 \text{ V})$
 - 1, 4, 16 Mbps sebesség
(IBM Token Ring: csak 4 és 16)
- **A gyűrű interfész**
 - Vételi üzemmódnál
 - vesz egy bitet, továbbítja az állomásnak
(az szükség esetén módosíthatja)
 - és egy bites késleltetéssel átadja az interfésznek,
 - ami továbbítja a következő állomásnak
(ismétlés, az átmenő keret néhány bitjének esetleges változtatásával)



IEEE 803.5

- **A gyűrű interfész**
 - **Adási üzemmódnál**
 - a gyűrűt „megszakítja”,
 - és az állomástól kapott biteket (a saját keretet) továbbítja (saját adatok adása).
 - **A vétel/adás váltás 1 bitidő alatt zajlik le** (pufferelni kell előre az elküldendő keretet)



A közeg-hozzáférési protokoll

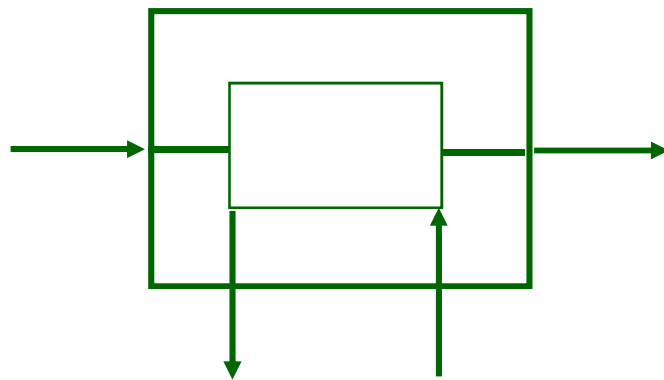
- A tétlen gyűrűn vezérjel kering
- Ha az állomás adni akar,
 - megvárja a vezérjelet és leveszi a gyűrűről;
 - felhasítja a gyűrűt és adni kezd;
 - leszedi a saját kereteit;
 - ha nincs több adni valója, vagy lejár a vezérjel visszatartási idő, továbbítja a vezérjelet.
- Gond: a teljes vezérjelnek el kell férnie a gyűrűn!
Számolnunk kell a gyűrű „tárolókapacitását”!

A gyűrű tárolókapacitása

- A „tárolókapacitás” két összetevője
 - a jel késleltetése a közegen (a jel „tárolódik” a közegen, mialatt a jelterjedés sebességével terjed - ez az összeköttetések tárolókapacitása) plusz
 - a jel késleltetése az állomásokon (minden interfész 1 bitet késleltet: 1 bitet tárol).
- Az összeköttetések tárolókapacitása:
1 bit "fizikai" hossza
 - S bps sebesség esetén $1/S$ sec-onként kerül ki 1 bit a közegre;
 - Ha a jelterjedés sebessége R, akkor 1 bit R/S hosszt igényel a gyűrűn.
 - Pl: $S=1\text{Mbps}$, $R=200\text{m}/\mu\text{sec} \Rightarrow 1\text{bit } 200\text{m}$
(1000m területű gyűrű 5 bitet tárol)
 - Ehhez adódik a gyűrűinterfészek tárolókapacitása
 - Ha ez kevesebb mint a vezérjel mérete, valamely állomásnak további késleltetést kell beiktatnia

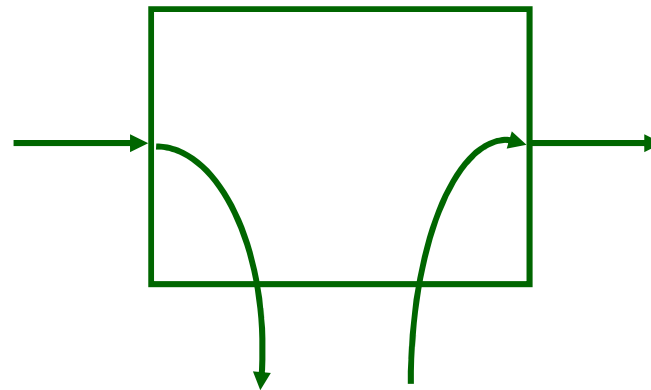
A gyűrű interfész:

Vétel (1 bit késleltetés)



Olvas **Ismétel**
(esetleg
módosít)

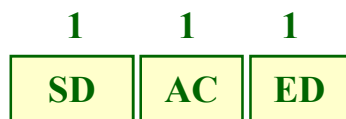
Adás (a gyűrű megszakítása)



Mivel adáskor a gyűrűt megszakítja, egy keret jóval hosszabb is lehet, mint a gyűrű tárolókapacitása!

A keretformátumok

Vezérjel keret (Token Frame)



összesen 3 bájt, forgalommentes gyűrűn ez jár körbe

SD : Keretjelző (Start delimiter)

AC: Access control byte, itt: vezérjel keretkezdő (1 bit módosításával azonnal adatkezdő szekvenciává alakulhat)

ED: Végjelző - End delimiter

Adatkeret



AC: Access control byte, itt: adat-keretkezdő:

(1 bit módosításával vezérjel-kezdő szekvenciává alakítható)

FC: Keretvezérlés (Frame control)

FCS : Ellenőrző összeg (Frame Check Sequence)

ED: Végjelző - End delimiter

FS: keret státusz (Frame status)

A MAC protokoll

- Az adni kívánó állomás (várja a tokent, várja és kapja a biteket, továbbítja azokat.

A bitek lehetnek: adatkeret bitek, vezérlőkeret bitek, és keretkezdő (SD):

- SD biteket észlel (az SD és ED az adatbitektől való megkülönböztetés érdekében érvénytelen különbségi Manchester kód: HH v. LL)
- Az AC bitjeit véve (és ismételve) felismeri, hogy tokent kapott.
- 1bitet megváltoztatva átalakítja adatkeretvé, (a többi bitet is veszi, de tovább azokat már nem küldi)
- elküldi az AC után a saját adatkeretének tartalmát az FC, DA, SA, Adat, FCS, ED és FS bitjeit.
- Mindez jóval hosszabb lehet, mint a gyűrű tárolókapacitása, ezért még el sem küldte a teljes keretét, miközben már érkezhet hozzá vissza annak eleje, ezért már küldés közben kezdheti eltávolítani saját keretét a gyűrűről.

A MAC protokoll

- A vezérjelet az állomás legfeljebb a vezérjel tartási ideig (token holding time) tarthatja, ezalatt több keretet is küldhet, de ha az idő lejár, tovább kell adja a token (SD+AC+ED bájtokat kell küldenie, AC-ban a megfelelő bitet beállítva).
 - A token holding time alapértéke 10msec, de más idő is konfigurálható.
- A keret kezdetjelző SD és végjelző ED adatbitektől való megkülönböztethetőségének érdekében érvénytelen különbségi Manchester kód mintát tartalmaznak (HH v. LL).

Az adatkeret mezői

1	1	1	2 v. 6	2 v. 6	≥ 0 , nincs határ	4	1	1
SD	AC	FC	DA	SA	Data	FCS	ED	FS

- **AC: Hozzáférési bájt tartalmazza**
 - a vezérjel bitet,
 - a figyelő bitet (jelezheti, hogy ment egy kört a keret),
 - a prioritásbiteket,
 - a lefoglalásbiteket.
- **FC: keretvezérlés bájt az adat- és vezérlőkeretek megkülönböztetésére**
- **DA, SA: Cél- és forráscím, ua., mint 802.3, 802.4**
- **FCS: Ellenőrző összeg, CRC, ciklikus redundancia kód, hibajelzés (mint a 802.3, 802.4)**
- **ED: Végjelző, a keret végét jelzi, továbbá az E bitet tartalmazza.**
 - Az E bitet bármelyik interfész 1-re állíthatja, ha hibát érzékel (pl. érvénytelen formátumot)

Az adatkeret mezői

1	1	1	2 v. 6	2 v. 6	≥ 0 , nincs határ	4	1	1
SD	AC	FC	DA	SA	Data	FCS	ED	FS

- **FS: Keret státusz, A és C biteket tartalmaz**
 - **A bit:** ha egy keret megérkezik a célállomáshoz, az áthaladása során az interfész 1-re állítja;
 - **C bit:** 1-be állítja, ha be is tudja másolni a memóriájába;
 - Ebből, ha az A és C:
 - 0 0 : célállomás nem létezik (pl. nincs bekapcsolva);
 - 1 0: létezik, de nem tudta fogadni a keretet;
 - 1 1: létezik és le is másolta a keretet.
 - Az A és C bitek az ellenőrző összeg hatáskörén kívül esnek, ezért megduplázva viszik át őket!
- A CRC, az ED-beli E bit és az FS jelezhet hibát.

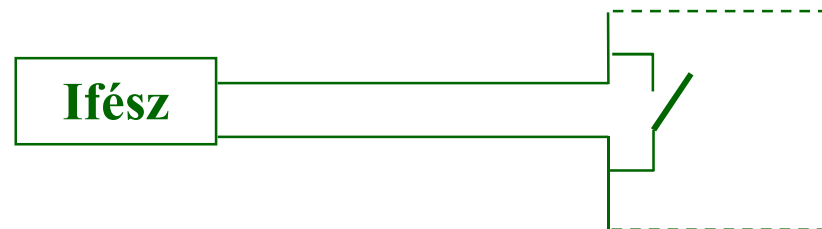
Prioritáskezelés

1	1	1	2 v. 6	2 v. 6	≥ 0 , nincs határ	4	1	1
SD	AC	FC	DA	SA	Data	FCS	ED	FS

- Az AC (hozzáférés mező) prioritás és lefoglalásbiteket is tartalmaz
- Ha egy állomás n prioritású keretek akar küldeni, nem elég a token, meg kell várnia, míg egy ennél kisebb vagy egyenlő prioritású token érkezik ...(ha magasabb jön: buzgón továbbíthatja azt, de nem a saját keretét ...)
- Viszont az áthaladó keret lefoglalásbitjeit beállíthatja a kívánt szintre, ha az korábban alacsonyabb szinten állt.
- Végül az adó befejezván az adást, a továbbküldendő token prioritását a lefoglalásbiteknek (legmagasabb igénynek) megfelelően állítja
 - ha ez magas, magas lesz a token prioritása: jó a lefoglalónak...
 - ha alacsony: jó többeknek, mindenkinek ...
- Vegyük észre, van esély a "starvation"-ra, a vezérjel prioritása egyre emelkedik
- A vezérjeles busznál sáv szélesség megosztás van időzítésekkel, ott nincs ilyen gond

A gyűrű fizikai hibáinak kezelése

- Ha kábel szakad, interfész/állomás kiesik: a fizikai gyűrű megszakad, működésképtelen lesz az egész hálózat.
- Huzalközpont beépítésével védekezhetünk
 - a huzalközpontban relé (aktív interfész nyitva tartja, hibás, kikapcsolt zárja) rövidzárhat (kizárva a hibás hálózatrészt)
 - Rövidzárással folytonossá válik a gyűrű (fennmarad a működőképesség)



Gyűrű karbantartás

- Szemben a decentralizált vezérjeles sánnel, itt centralizált a karbantartás
- Minden gyűrűben van pontosan egy **felügyelő állomás** (monitor station): ő felel a karbantartásért
- Bármely állomás lehet felügyelő
 - Gyűrű indulásakor (vagy a felügyelő meghibásodásakor) versenyprotokoll alapján választják ki
 - Az első állomás, amelyik észreveszi, hogy nincs felügyelő
 - Claim-token keretvezérlésű (FC) vezérlőkeretet küld, és
 - ha ez úgy érkezik vissza hozzá, hogy közben nem kap más által küldött Claim-token keretet, ő lesz a felügyelő.

A felügyelő feladatai

- **Vezérjel vesztés figyelése (időzítéssel ellenőrzi)**
 - ha állomás-számszor vezérjel-visszatartási idő-t meghaladóan nincs vezérjel: kiüríti a gyűrűt és új vezérjelet generál.
- **Hibás keretek eltávolítása (érvénytelen formátumú, hibás CRC)**
 - gyűrű megtisztítása és új vezérjel.
- **Árvakeretek eltávolítása (árva, amit a feladó nem távolít el)**
 - minden áthaladó keretben beállítja az **AC** figyelőbitjét,
 - ha már be van állítva: már ment egy kört, leszedi az árvakeretet.

A felügyelő feladatai

- Gyűrű tároló kapacitás állítása (elférjen a 24 bites token)
 - Ha a kapacitás ennél kisebb, pótlólagos késleltetést (tárolást) iktat be.
- Gyűrű szakadási helyének behatárolása
 - Ha egy állomás valamely szomszédját működésképtelennek érzékeli, speciális “beacon” vezérlésű kereteket küld a feltételezhetően hibás állomás címére.
 - A monitor ezek alapján a huzalközpont segítségével kiiktathatja a hibás állomásokat.
- A centralizált karbantartás talán kevésbé megbízható, mint a vezérjeles buszé. Pl. monitor meghibásodik, de továbbra is küld Active-monitor-present kereteket: az egész leáll ...

Az FDDI

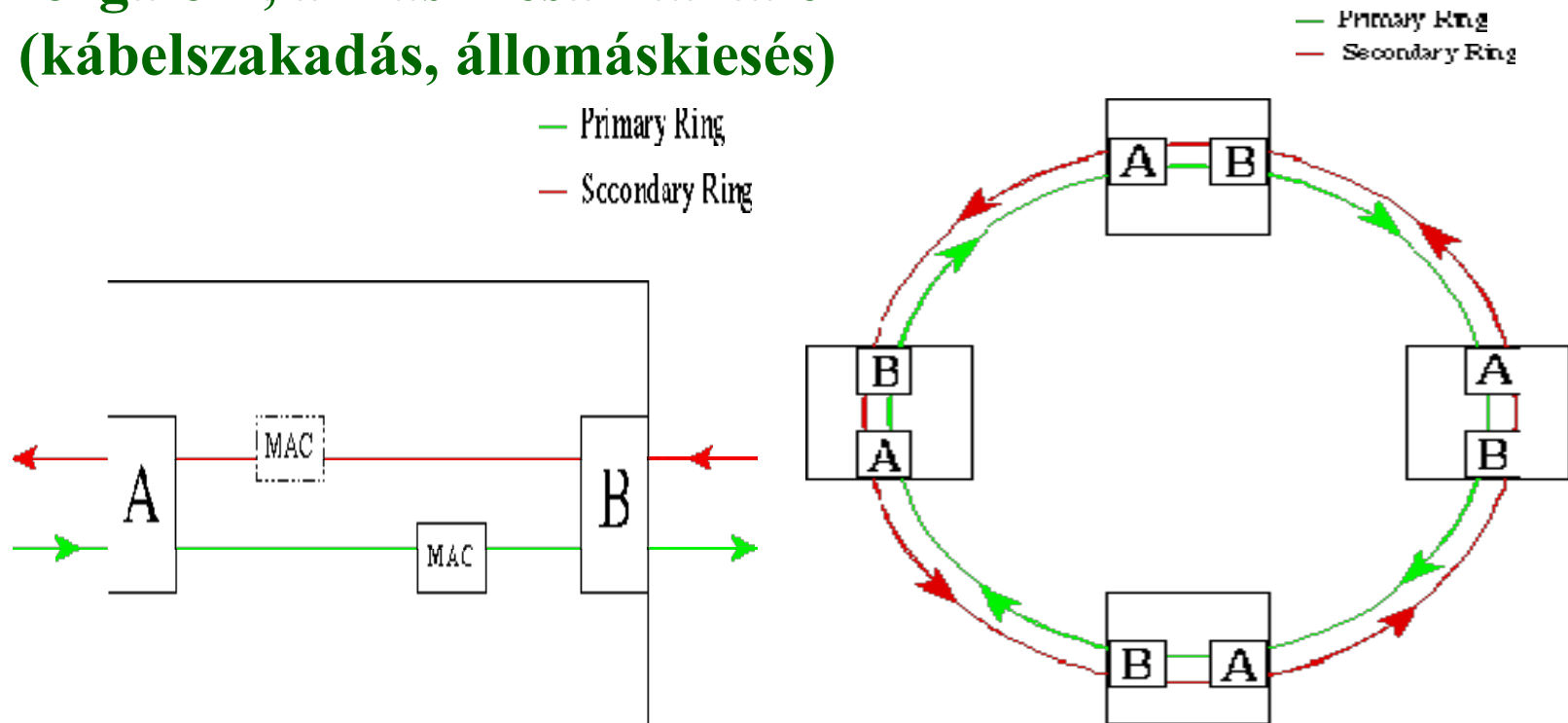
- **Fiber Distributed Data Interface:**
optikai szál as elosztott adatinterfész
- **Az FDDI protokoll modellje a 802.5 protokollon alapszik**
- **Nagyteljesítményű optikai szál as vezérjeles gyűrű**
 - Létezik csavart érpáras (CDDI) is: Copper DDI
- **LAN-MAN hálózat**
 - max 200 Km áthidalása;
 - max 1000 állomás;
 - 100 Mbps

Az FDDI

- Igen elterjedt – volt (Pl. ME gerinchálózat 2000 előtt még ilyen volt)
- Napjainkban egyre inkább kiszorítja
 - Lan-ok esetén a Fast és Gigabit Ethernet (100BaseFX/TX, 1000BaseX/T), mert sokkal olcsóbb, illetve gyorsabb;
 - MAN-ok esetén az ATM (WAN kapcsolat is (távközlési szabvány))
- Van olyan változata is, amelyik képes szinkron adatokat kezelni (pl. vonalkapcsolt PCM jeleket): FDDI-II.

FDDI fizikai réteg

- Multi- vagy monomódusú optikai szál
- Kettős (két ellentétes irányú) gyűrű
 - Csak az elsődleges gyűrűn van forgalom, a másik csak tartalék (kábelszakadás, állomáskiesés)



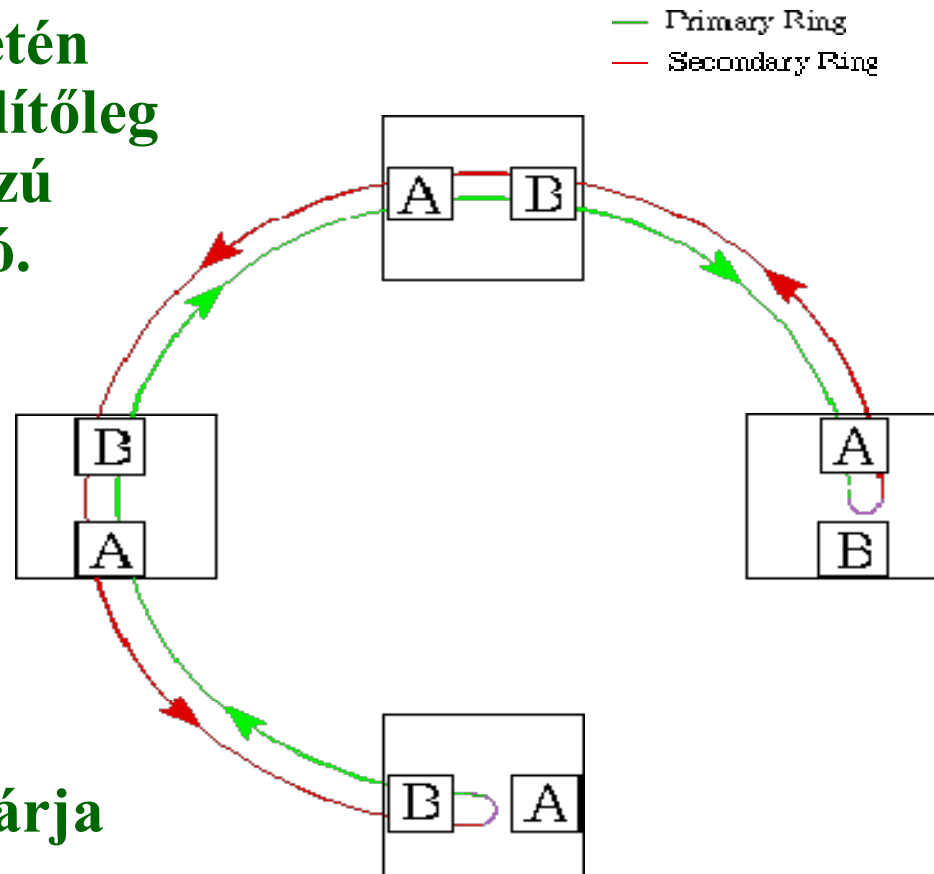
FDDI fizikai hiba javítás

Kábelszakadás esetén egyetlen, megközelítőleg kétszer olyan hosszú gyűrűvé alakítható.

(A hibával szomszédos állomások visszahurkolnak)

Bypass switch: az inaktív állomás mechanikusan kizárja magát a gyűrűből.

Itt is lehet huzalközpont



FDDI állomástípusok

- **Kétfajta állomás**
 - **DAS (Dual Attached Station):** mindkét gyűrűhöz csatlakozó;
 - **SAS (Single AS):** csak egy gyűrűhöz csatlakozó.
- **Vegyes hálózat esetén FDDI koncentrátort alkalmaznak**
 - a kettős gyűrű aktív gyűrűjéhez kapcsolja a SAS állomások egyetlen gyűrűjét.

Az FDDI kódolás

- **Ún. 4 az 5-ből (4B/5B) kódolás**
 - 4 megkülönböztetendő jelzésből
 - 5 bites csoportokat kódolnak
- **Nem Manchester kódolás,**
 - mert a 100 Mbps 200 baud-ot igényelne!
- **Előnye a sávszélesség megtakarítás,**
- **hátránya, hogy nem önszinkronizáló a kód.**
 - Ezért minden keret elején hosszú előtag a vevő szinkronizációjához,
 - az órák legalább 0,005% pontosságúak;
 - legfeljebb 4500 byte hosszú lehet egy keret.
(A keretidő alatt ne essen ki a bitszinkronból.)

32 kombináció lehet
16 az adatoknak;
3 határoló;
2 vezérlés;
3 HW jelzés
8 nem használt

Az FDDI MAC protokollja

- Vezérjeles gyűrű, mint a 802.5.
- Egy állomás akkor adhat, ha vezérjelet kap.
- A kereteket a feladó állomás távolítja el a gyűrűről (mindenki a saját keretét).
- Ha az adást befejezte, rögtön továbbadja a vezérjelét (szemben a 802.5-tel, melynek meg kell várnia, míg a feladott kerete visszatért). Itt a max 1000 állomás, 200 Km hossz miatt túl sokat kellene várni).
- Ebből: a gyűrűn több vezérjel és keret is keringhet!

Az FDDI MAC protokollja

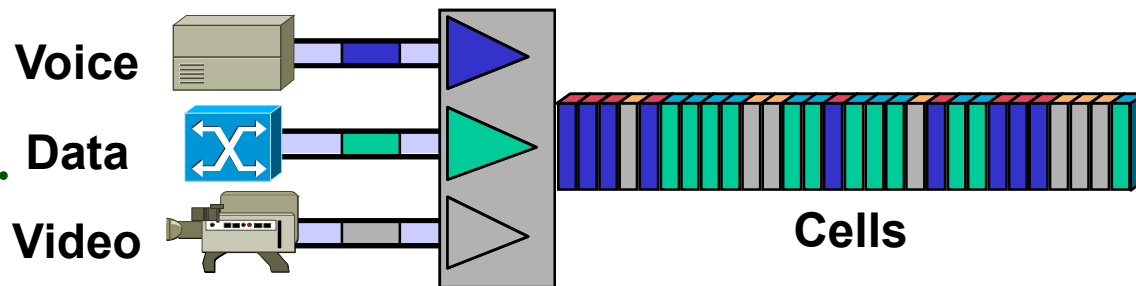
- **Az adatkeretek hasonlóak a 802.5-éhez**
 - pl. keret státusz bájtban nyugtázási bitek vannak)
- **A prioritások hasonlóak a 802.4-éhez (token bus)**
 - minden állomásnak vezérjel körbejárasi órája, ami
 - méri az időt az utolsó vezérjel észlelésétől,
 - az egyes vezérjel menetekben más prioritások adhatnak.

FDDI II.

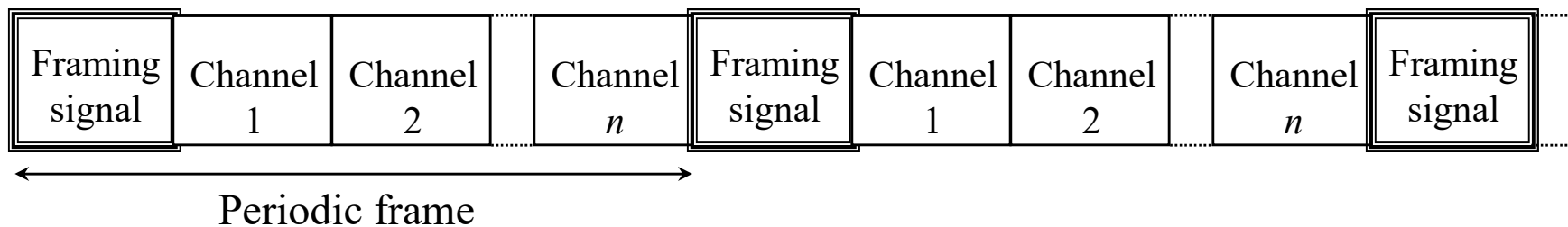
- Szinkron forgalom esetén (FDDI II.)
 - egy mesterállomás szinkronkereteket generál 125 μ sec-onként (PCM: 8000 minta/sec)
 - a szinkronkeretet:
 - fejrész;
 - 16 byte adat;
 - 96 byte vonalkapcsolt adat (max 96 PCM csatorna, 96 $\rightarrow$ 4db T1(4*24), vagy 3 db E1 (3*32))
 - 1 szinkronkeret 125 μ sec-onként: 6,144 Mbps;
 - max 16 szinkronkeret: 1536 PCM csatorna $\rightarrow$ 98,3 Mbps
 - Ha egy állomás egy vagy több időrést szerez egy szinkronkeretben, mindaddig az övé, míg fel nem szabadítja

Az ATM

- **Asynchronous Transfer Mode**
 - nagysebességű, kapcsolatorientált;
 - LAN-ok és WAN-ok esetén is;
 - fejlesztése a része volt a szélessávú ISDN fejlesztésnek;
 - 100 Mbps és Gbps közötti teljesítmény;
 - komplex berendezéseket és SW-t igényel
 - üvegszálás médium, kapcsolók;
 - kis, fixméretű keretekben (cell)
 - hang,
 - adat és
 - videó továbbítás.



- Transfer mode
 - a specific way of transmitting and switching information in a network
- Synchronous transfer mode (STM)
 - a data unit associated with a given channel is identified by its position (TDM)
 - predefined channel bit rates
($n \cdot 64\text{kbs}$, E1: 2.048Mbps)
 - end to end synchronous circuit



- **Asynchronous Transfer Mode (ATM)**

- a data unit associated with a specific virtual channel may occur in any position

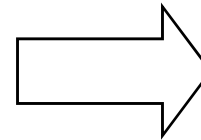
- flexibility of bit rate allocation !
(e.g. bandwidth allocation on demand)

- some problems:

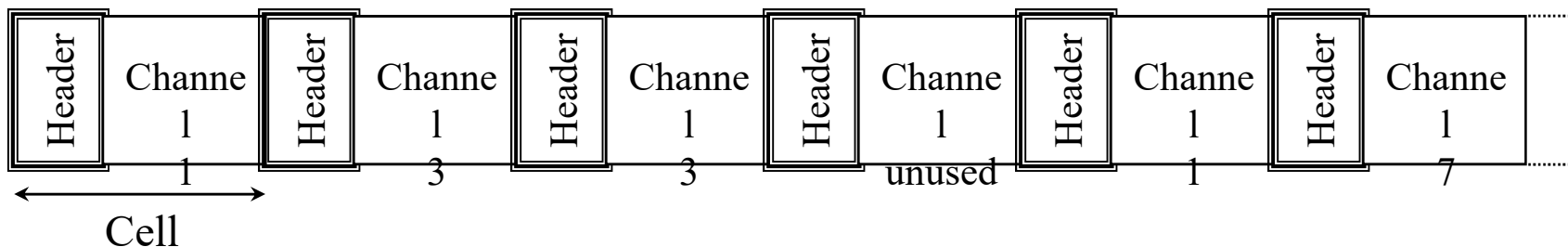
- impacts of possible cell loss

- cell transfer delay

- cell delay variation

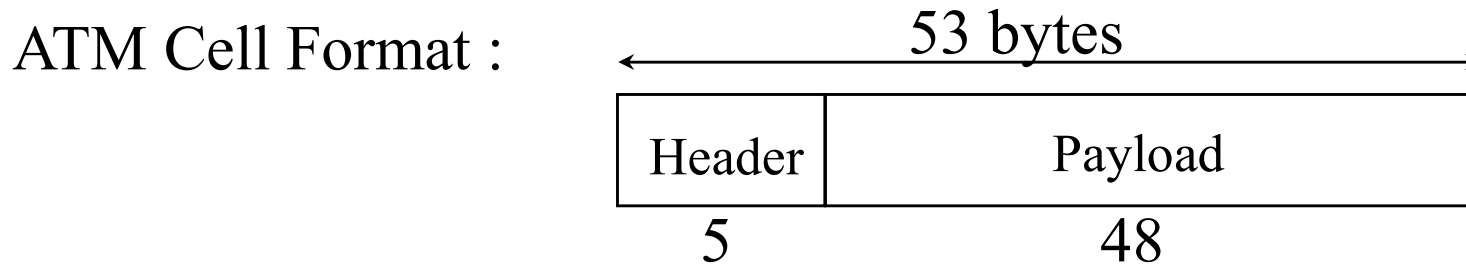


**Quality
of
Service**

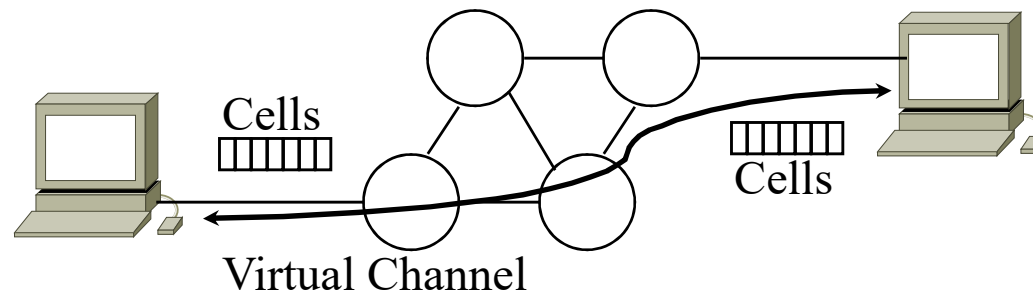


ATM - fundamentals

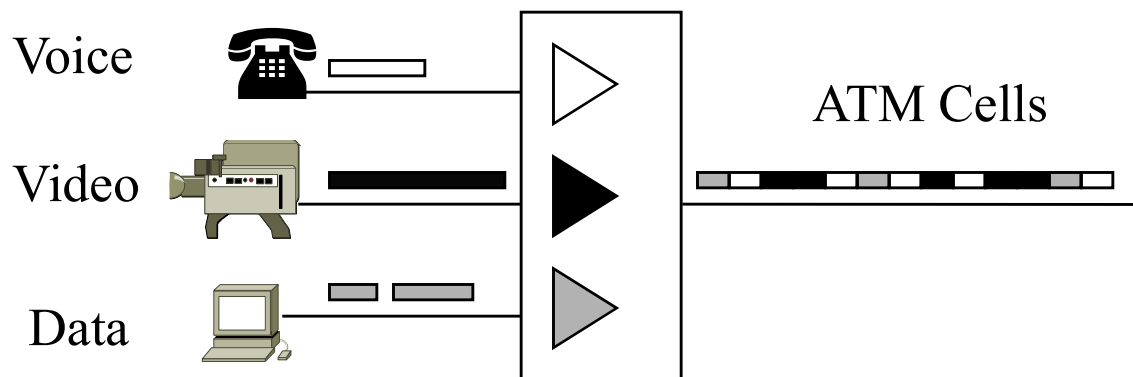
- **Small fixed-size cells (5+48 byte, header+payload)**
 - too long → higher delays
 - too short → too many overhead



- Connection oriented - cell switching
 - low overhead → low processing time and delay

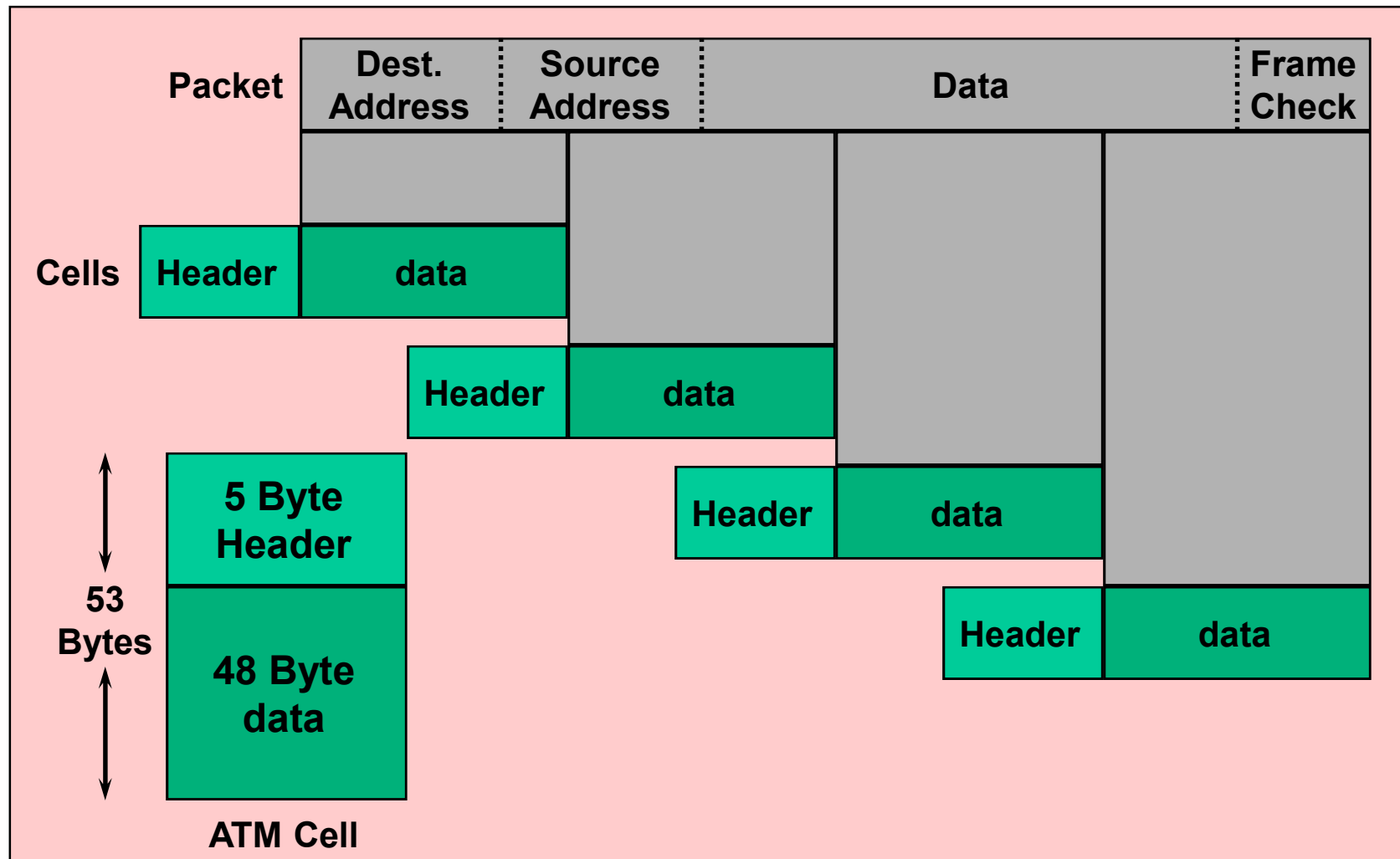


- **Flexible, application independent
(conversion of application data units to/from cells), it
can handle**
 - **low or high bit rate connection or**
 - **dynamic bandwidth allocation**

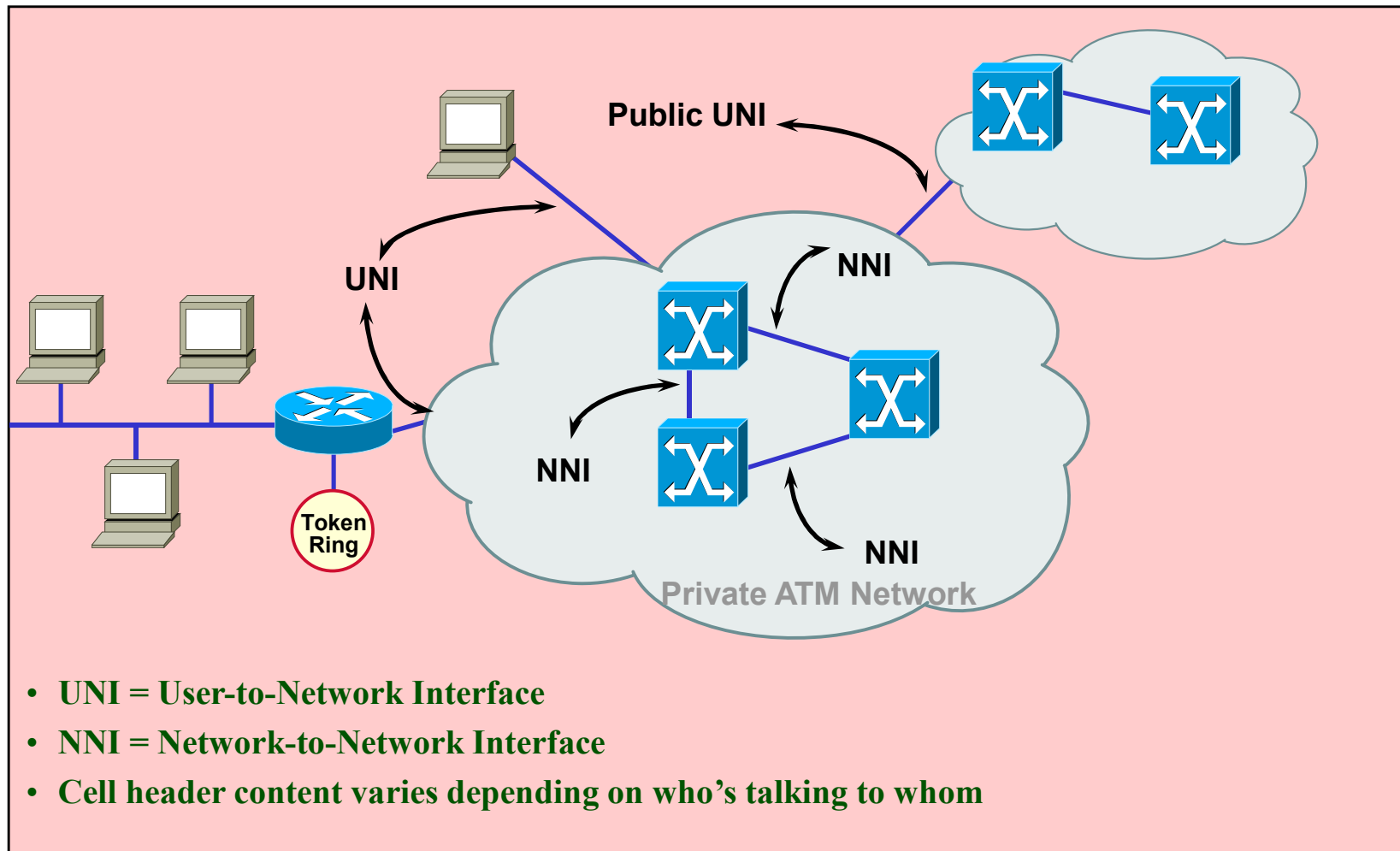


- Both LAN and WAN technology
 - 20 bytes structured hierarchical address format

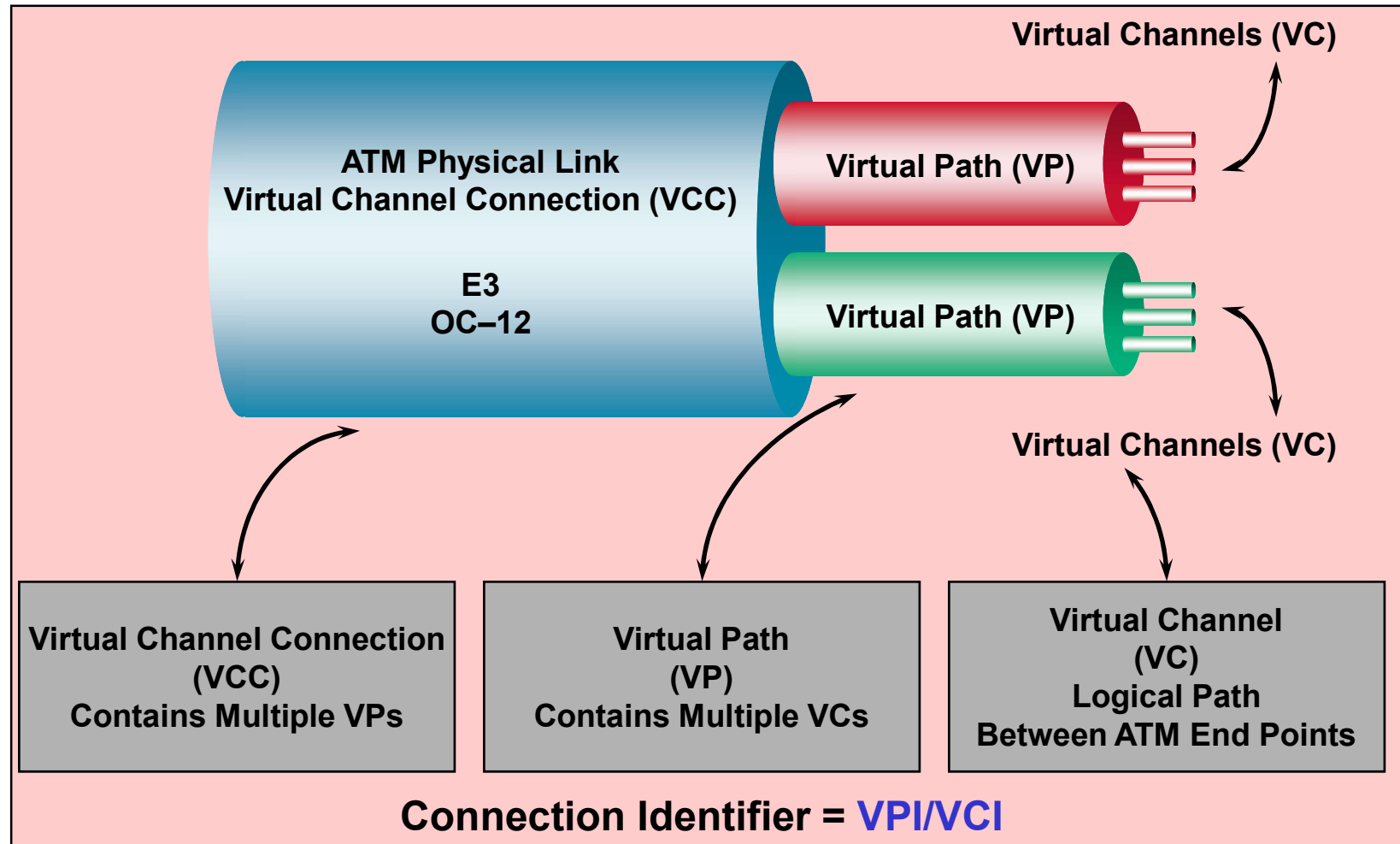
ATM cellák a keretekből



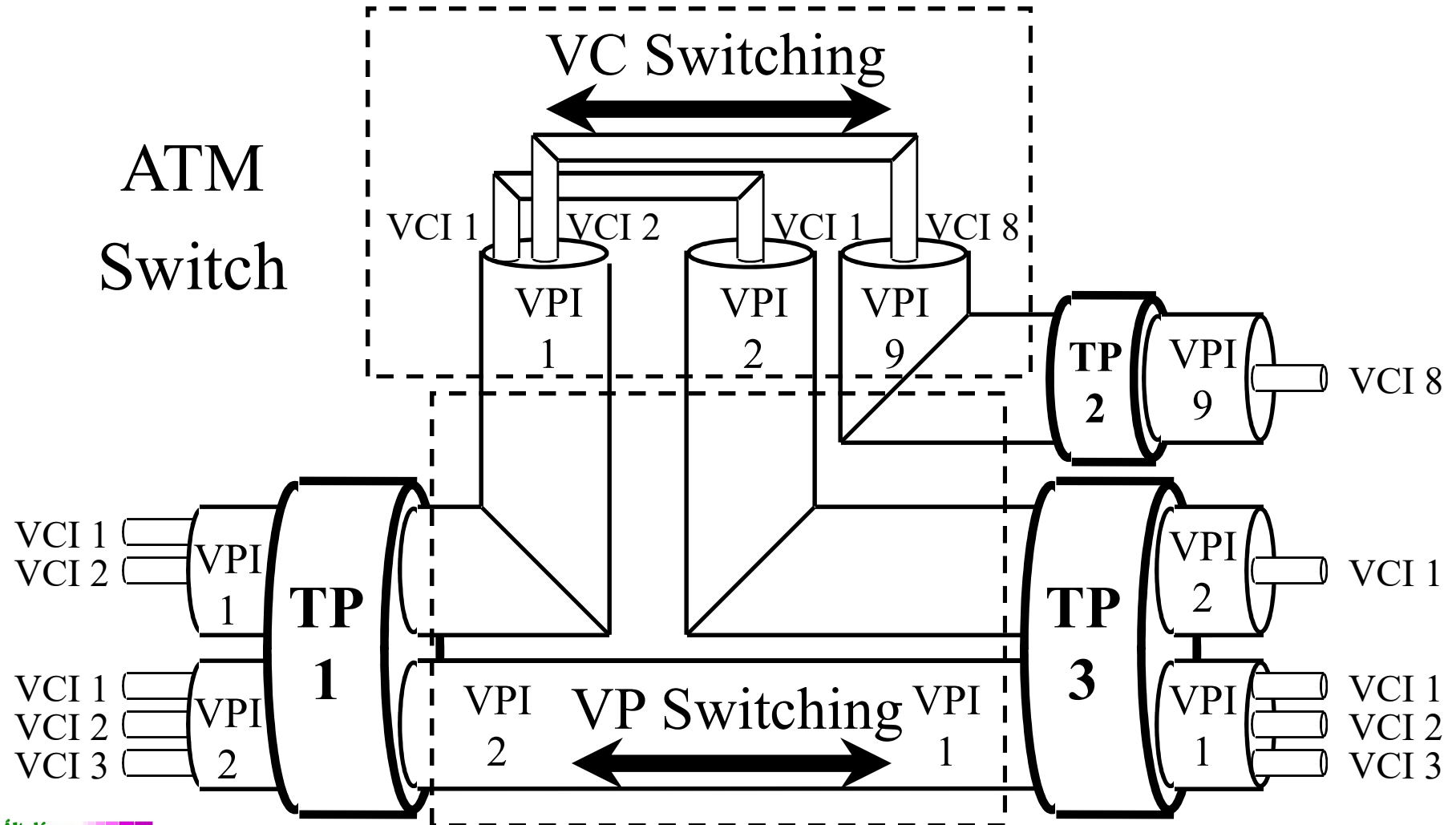
ATM Signalling



Virtual Path és Virtual Channel



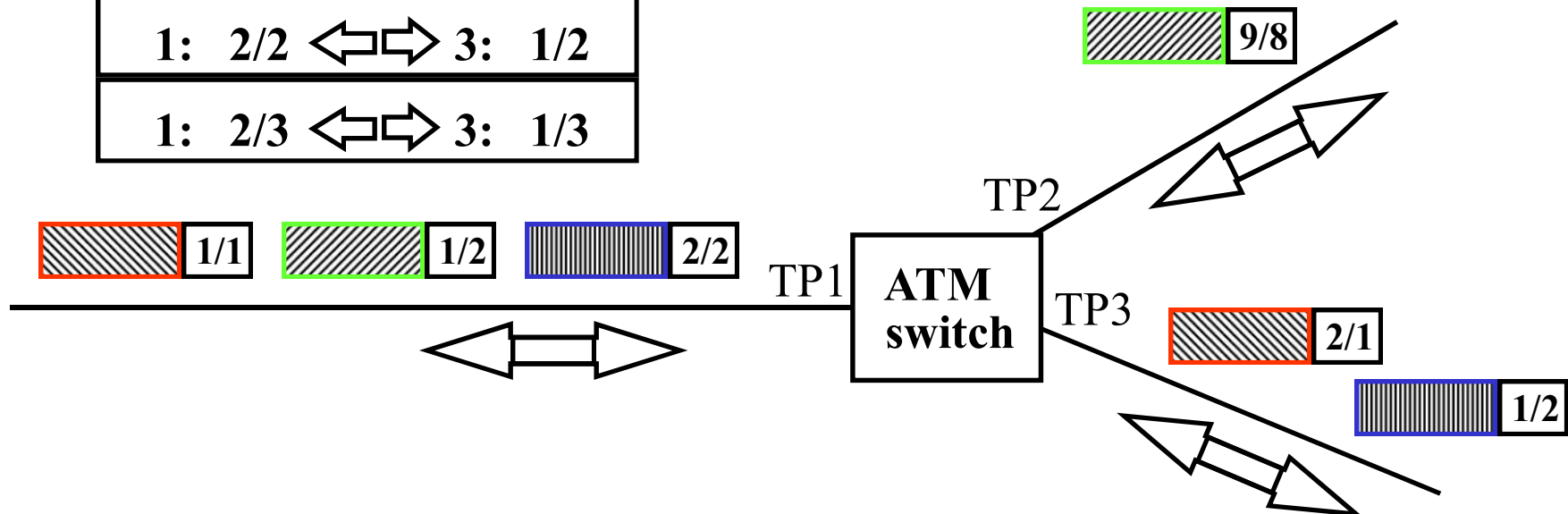
- Egy kapcsolatnak más-más VPI/VCI azonosítója lehet valamennyi Transmission Path-on



ATM Switching Table

Port TP VPI/VCI Port TP VPI/VCI

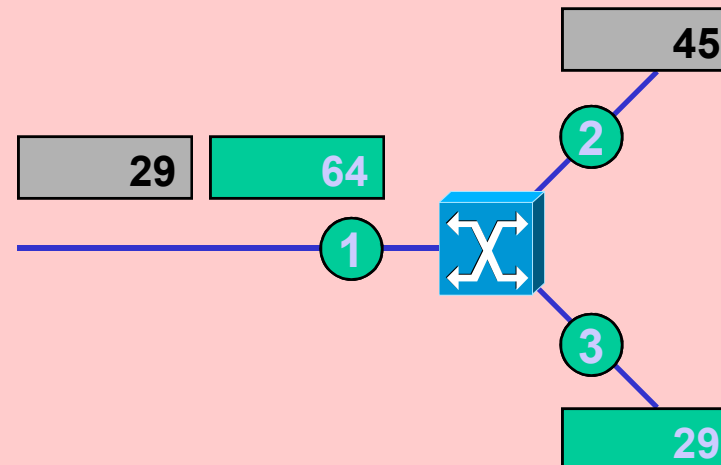
1: 1/1	↔	3: 2/1
1: 1/2	↔	2: 9/8
1: 2/1	↔	3: 1/1
1: 2/2	↔	3: 1/2
1: 2/3	↔	3: 1/3



ATM Switches

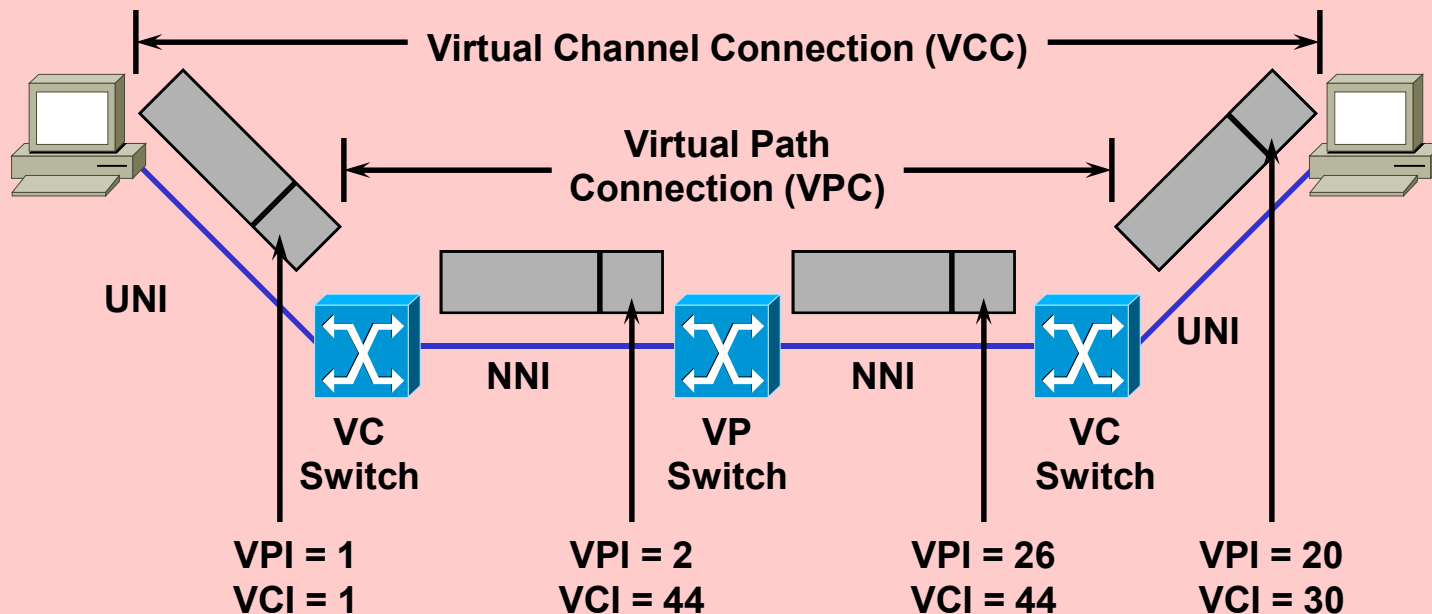
- ATM switches translate VPI/VCI values
- VPI/VCI value unique only per interface
e.g.: locally significant and may be re-used elsewhere in network

Input		Output	
Port	VPI/VCI	Port	VPI/VCI
1	29	2	45
2	45	1	29
1	64	3	29
3	29	1	64

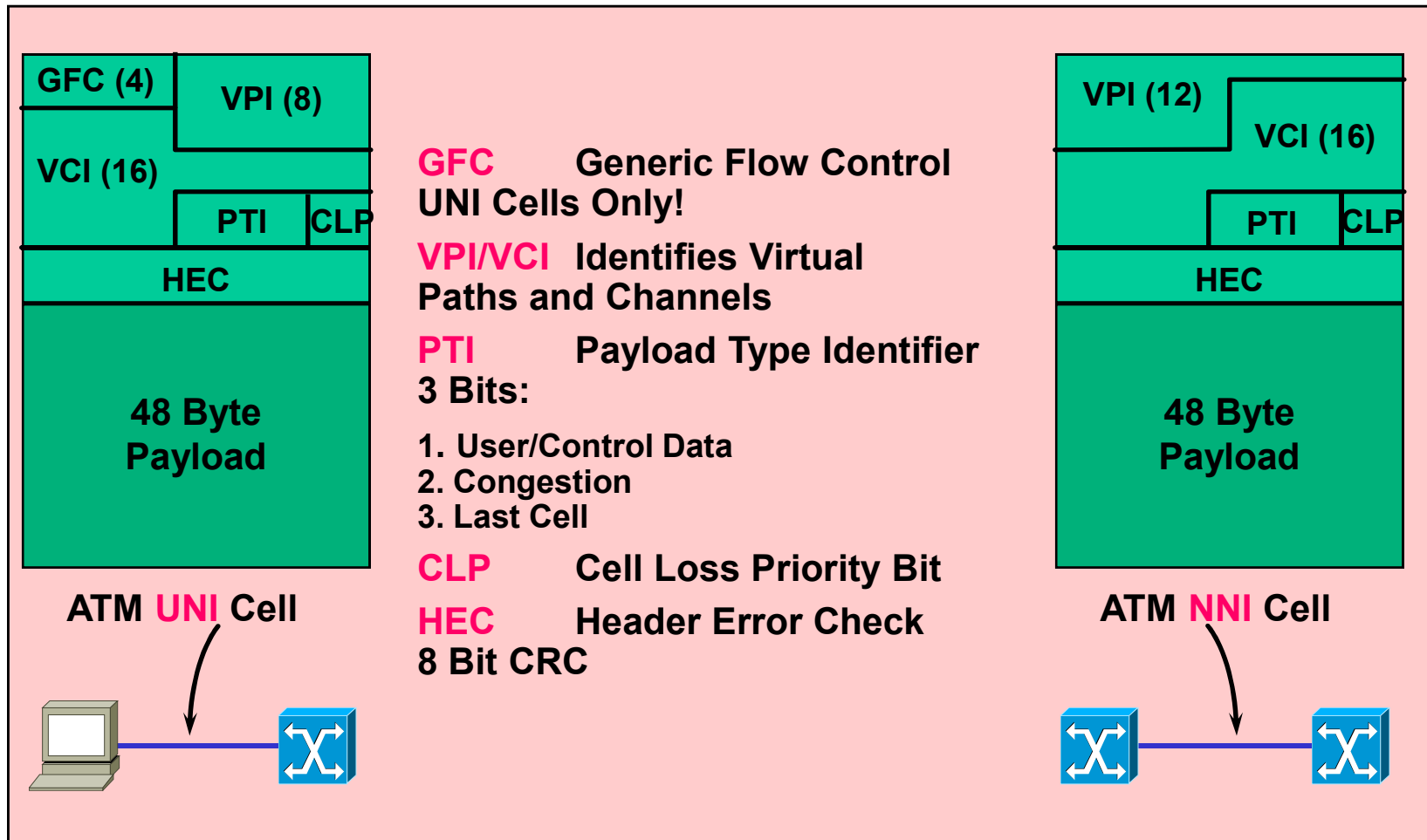


Virtual Channels and Virtual Paths

- This hop-by-hop forwarding is known as cell relay/switching



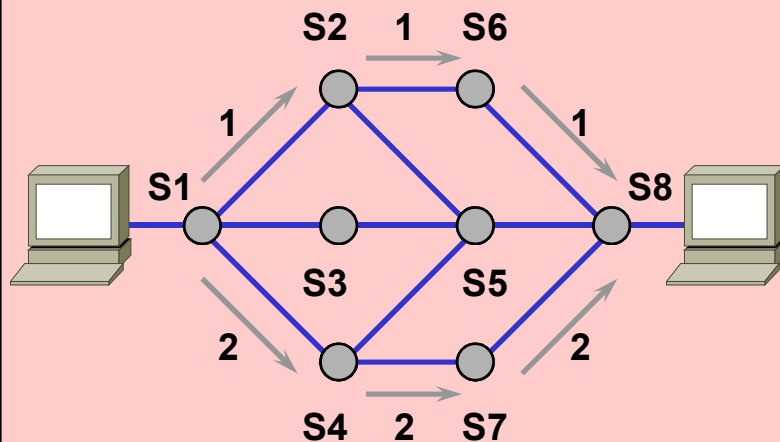
ATM Cell Header Details



Connection Types

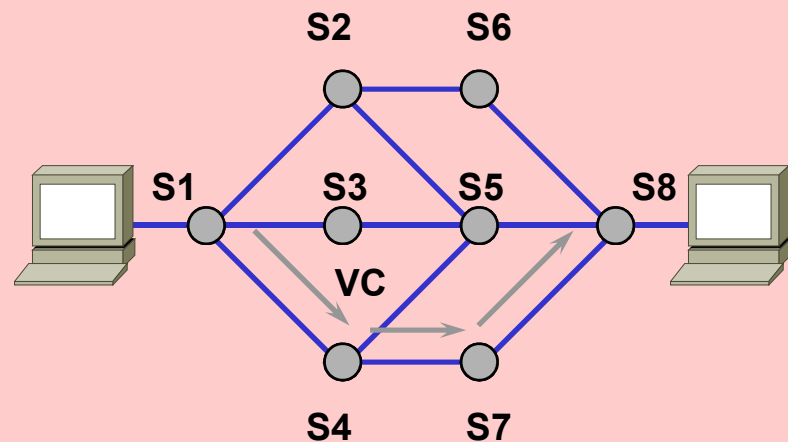
Connectionless: Packet Routing

- Path 1 = S1, S2, S6, S8
- Path 2 = S1, S4, S7, S8
- Data can take different path and can arrive out of order



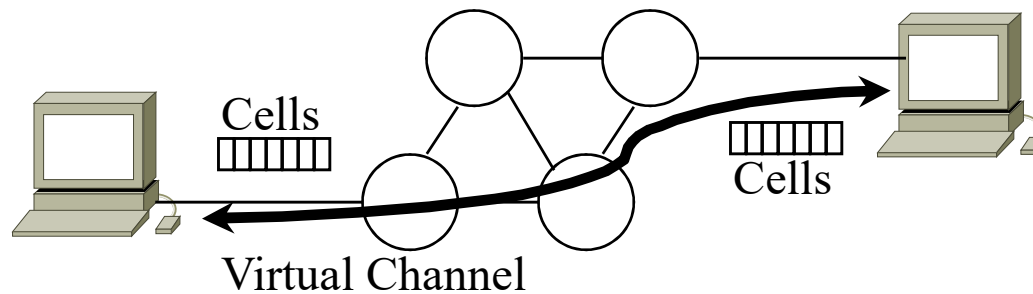
Connection Oriented: Cell Switching

- VC = S1, S4, S7, S8
- Data takes the same path and arrives in sequence



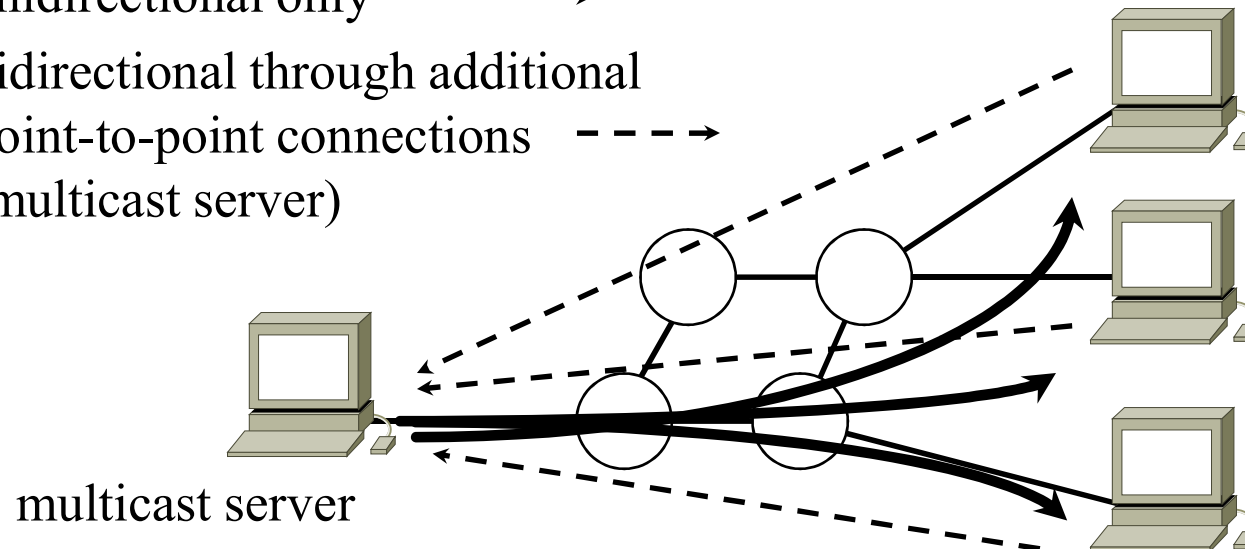
- **Point-to-point** connection types

- unidirectional or bidirectional



- **Point-to-multipoint** connection types

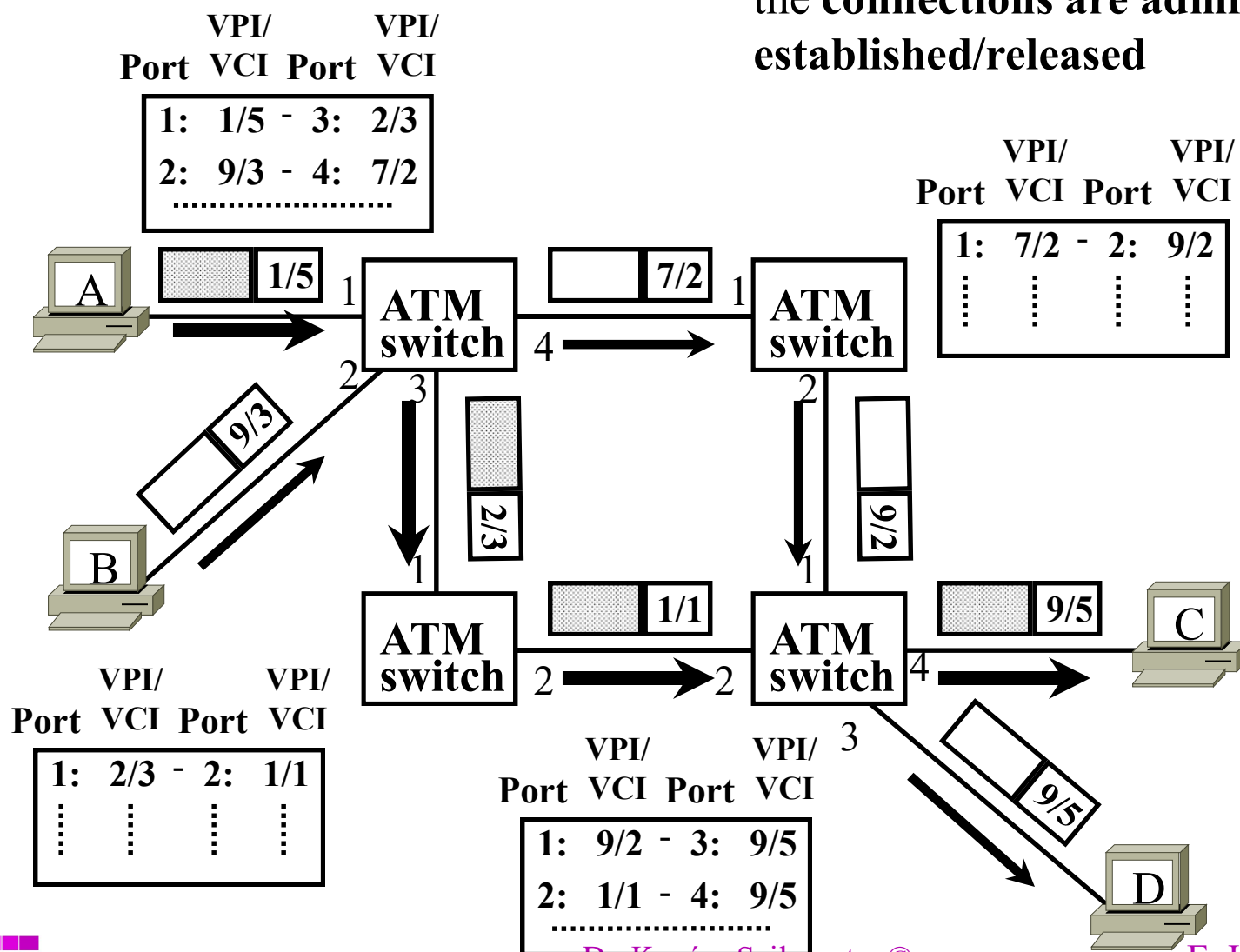
- unidirectional only →
- bidirectional through additional point-to-point connections (multicast server) - - - - -



Connection Services

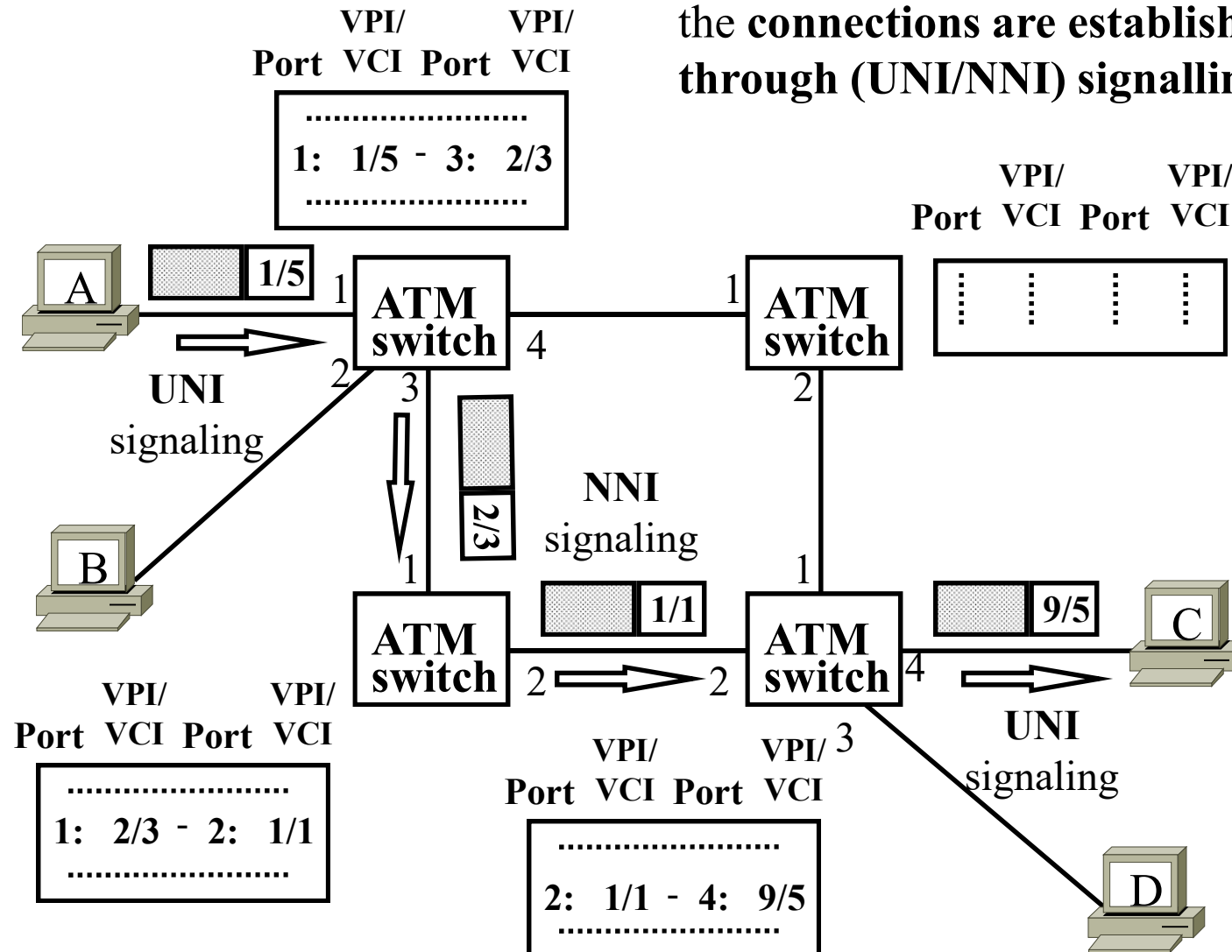
- Permanent Virtual Circuit (PVC)

VPI/VCI tables are handled manually, the **connections are administratively established/released**



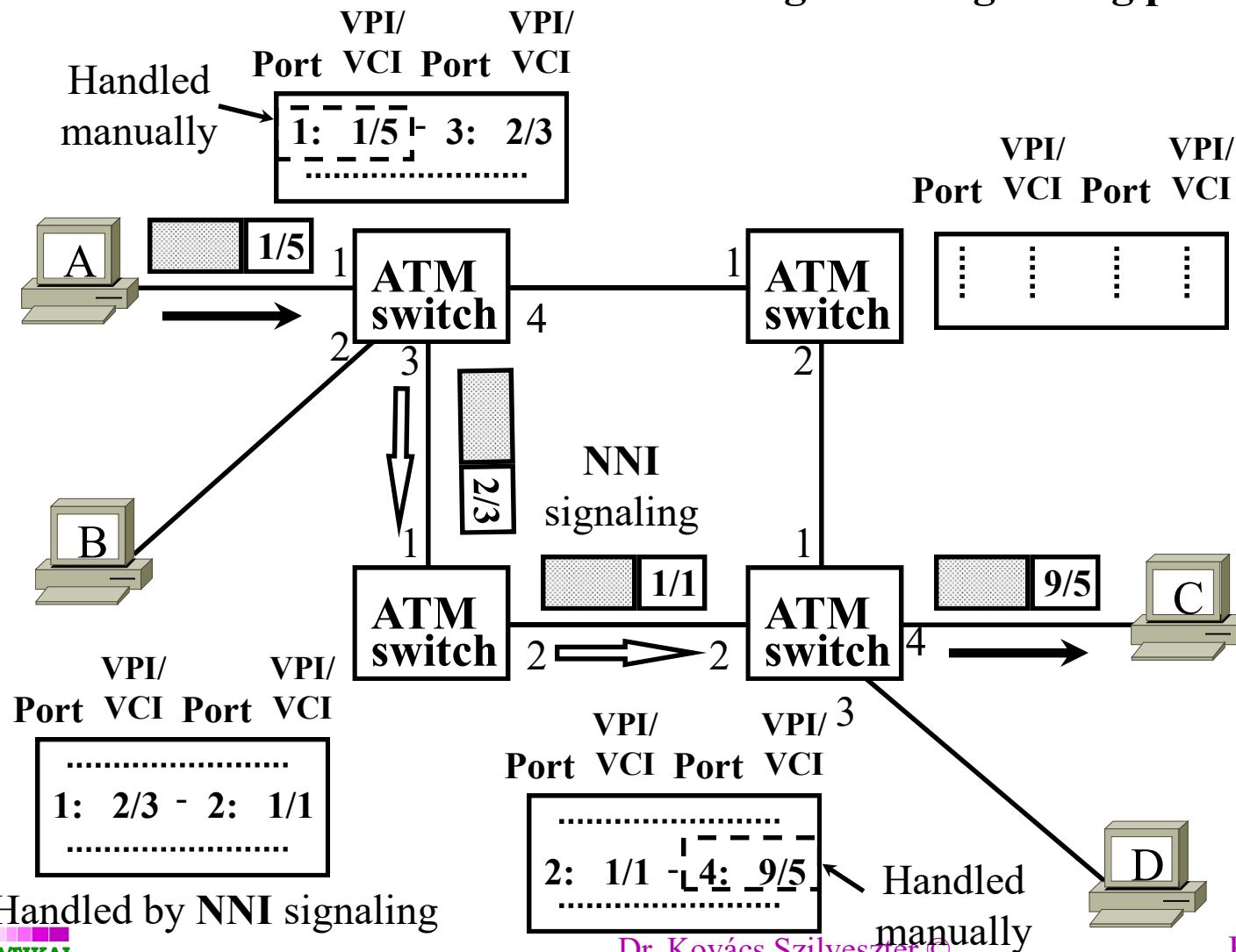
- Switched Virtual Circuit (SVC)

VPI/VCI tables are automatically handled ,
the **connections are established/released**
through (UNI/NNI) signalling procedure

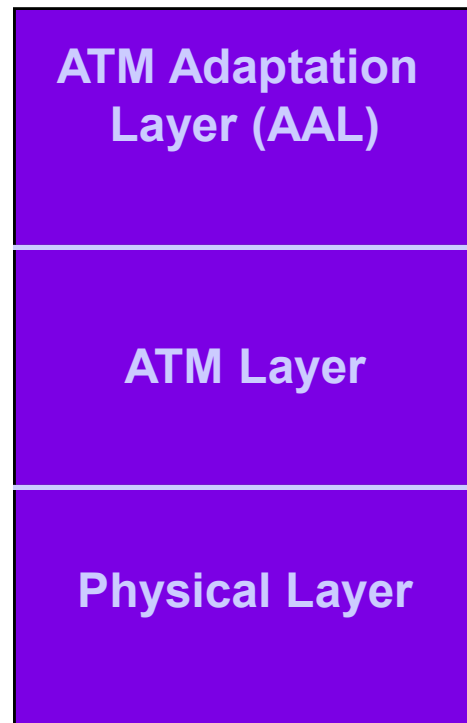


- **Soft Permanent Virtual Circuit (Soft PVC)**

- User - network connections are established/released administratively
- Network - network connections through NNI signalling procedure

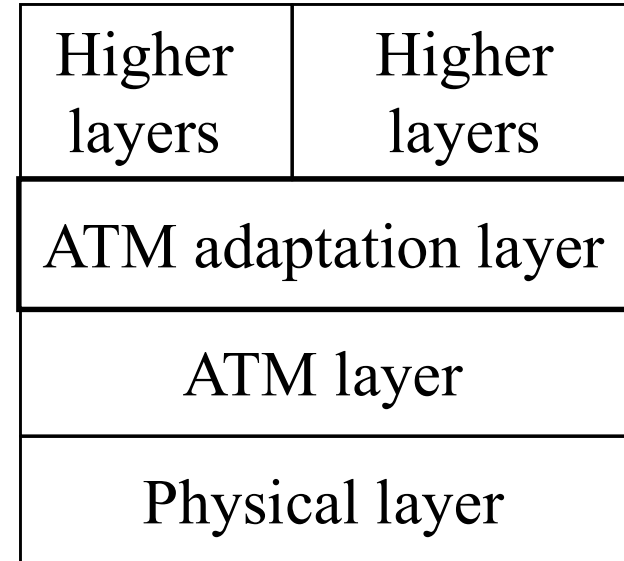
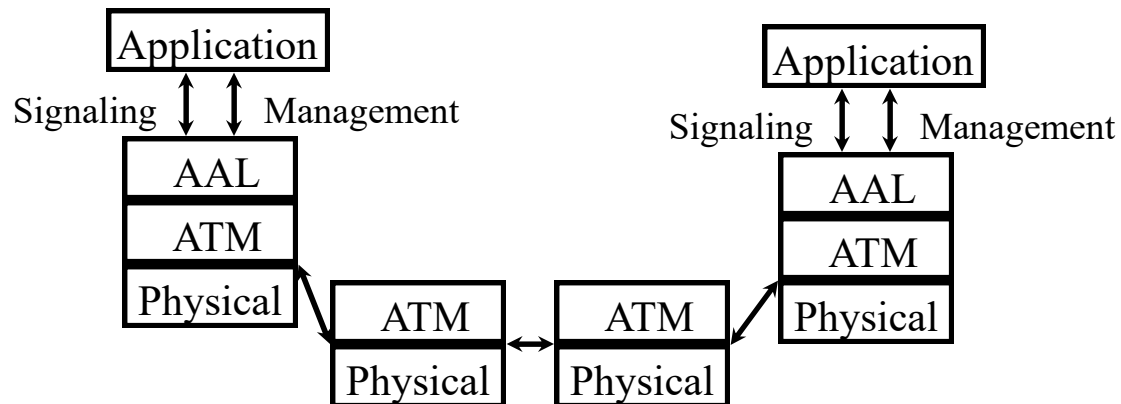


ATM Reference Model



- **Physical Layer:**
 - **Transmission Convergence (TC)**
 - **Physical Media Dependent (PMD)**
- **ATM Layer:** Cell header insertion or removal, Cell Relay, Multiplexes or demultiplexes cells of different connections. Provides VPI/VCI values in header and ensures that cells stay in the correct order.
- **ATM Adaption Layer (AAL):**
 - **Convergence Sublayer (CS)**
 - **Segmentation and Reassembly (SAR)**

The ATM Reference Model



- **ATM adaptation layer (AAL)**

- adaptation of services provided by the ATM layer to the requirements of the higher layer

- set-up/terminate end-end virtual channel

- segmentation/reassembly of messages to/from cells

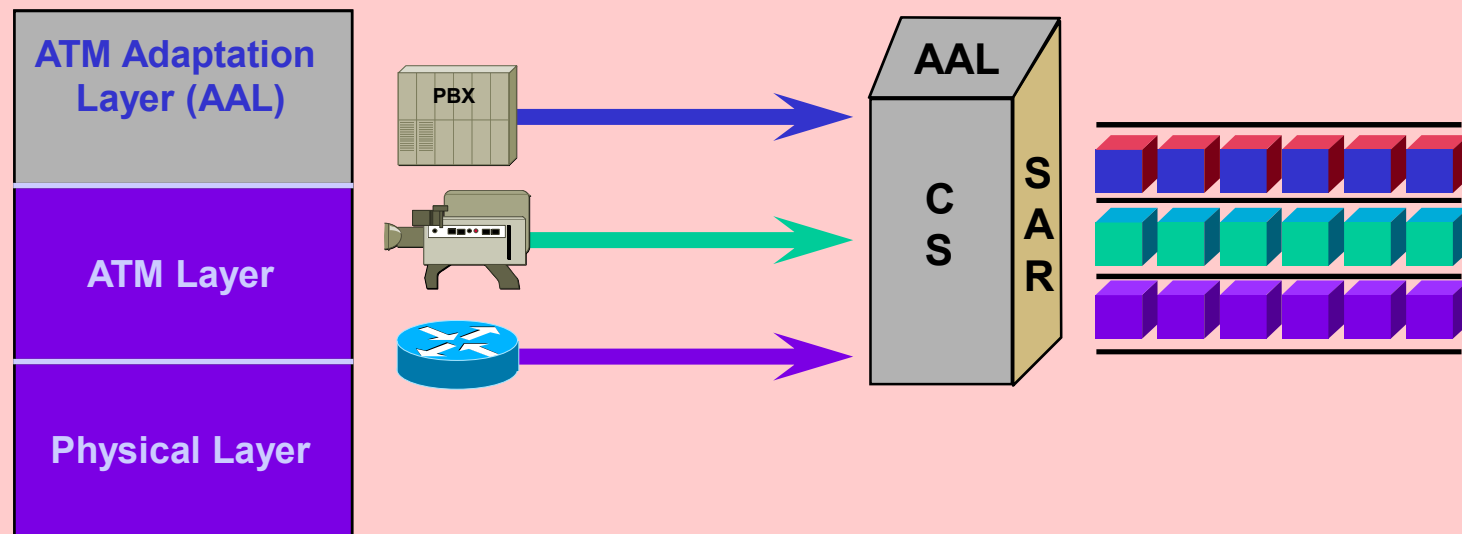
- control Quality of Service delivery

- flow control

ATM Adaptation Layer—AAL

$AAL = QoS + SAR$

- CS—assigns different AAL's/QoS for different traffic types
- SAR—cell $\leftrightarrow$ packet



ATM Adaptation Layer (cont)

ATM Adaptation Layer (AAL) ATM Layer Physical Layer	Class	Service Categories	Bit Rate	Connection Mode	Timing Concern	Application Examples
	A	AAL1	CBR (Constant)	Connection-Oriented	Yes	- Bandwidth and throughput guaranteed - Good for voice and video
	B	AAL2	VBR (Variable) VBR-AT and VBR-NRT	Connection-Oriented	Yes	- Best effort bandwidth and throughput - Good for live video, multimedia, LAN-to-LAN
	C	AAL5	ABR (Available)	Connection-Oriented	No	- Best effort with congestion feedback - Reliable delivery of bursty traffic if latency okay
	D	AAL3/4	UBR (Un-specified)	Connection-less	No	- No guarantee - For SMDS/LAN

ATM Service Classes and the Quality of Service

(According to the ATM Forum)

	Constant Bit Rate	Variable Bit Rate Real Time	Variable Bit Rate Non RT	Available Bit Rate	Unspecified Bit Rate
Cell Loss Ratio	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Unspecified</i>
Cell Transfer Delay Cell Delay Variation	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Mean CTD only</i>	<i>Un- specified</i>	<i>Unspecified</i>
Peak Cell Rate	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>
Sustainable Cell Rate Burst Tolerance	<i>n/a</i>	<i>Specified</i>	<i>Specified</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Minimum Cell Rate	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>Specified</i>	<i>n/a</i>

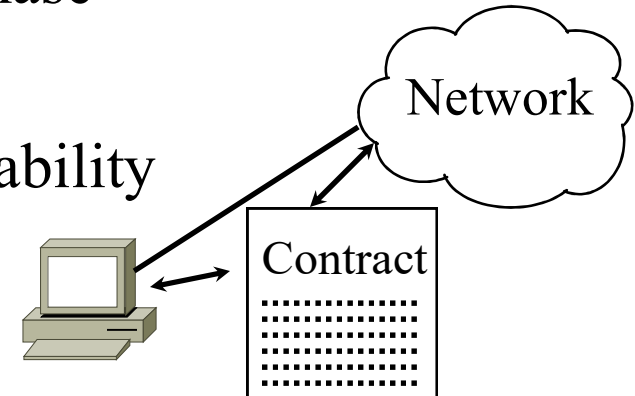
n/a : Not applicable

Mechanisms to achieve a specified QoS

- **Connection Admission Control (CAC)**
 - **negotiation** of the **traffic contract** is between the user and the network in the call establishment phase
- **Usage and Network Parameter Control (UPC, NPC)**
 - **‘Traffic Policing’** - a set of actions taken by the network to **monitor** and **control** that the **traffic contract** is **respected** in terms of traffic offered and validity of the ATM connection, at the user access and the network access respectively
- **Traffic Shaping**
 - **altering the traffic characteristics** on the user side to **ensure conformance to the traffic contract**, e.g. reducing the peak cell rate by buffering

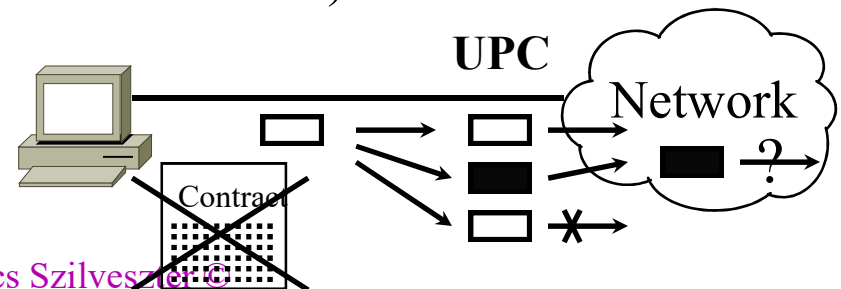
Connection Admission Control (CAC)

- **negotiation** of the **traffic contract** is between the user and the network in the call establishment phase
- CAC is provided with:
 - the required ATM layer transfer capability
 - the source traffic descriptors
 - the required QoS class
- a connection can only be accepted if sufficient network resources are available to establish the connection end-to-end with is required quality of service
 - e.g. for a required CBR service class the available link capacity needs to be checked; for a required UBR service class the available buffer space could be the primer factor to be considered



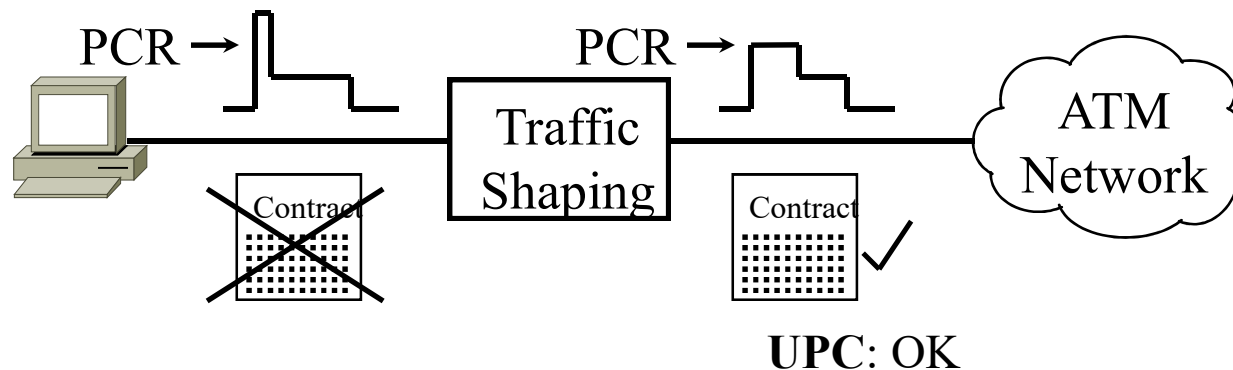
Usage and Network Parameter Control (UPC, NPC)

- **‘Traffic Policing’** - a set of actions taken by the network to **monitor** and **control** that the **traffic contract is respected**
- Checking the validity of VPI/VCI values
- Monitoring the traffic volume entering the network from all active VP and VC connections to ensure that the agreed parameters are not violated
- **In case of traffic contract violation** UPC/NPC can
 - **discarding cells** that violate the negotiated parameters
 - the ‘guilty’ connection may be released
 - **tagging of violating cells** and discard later if necessary (CLP - congestion loss priority bit in ATM header)
 - do nothing (**forwarding**)



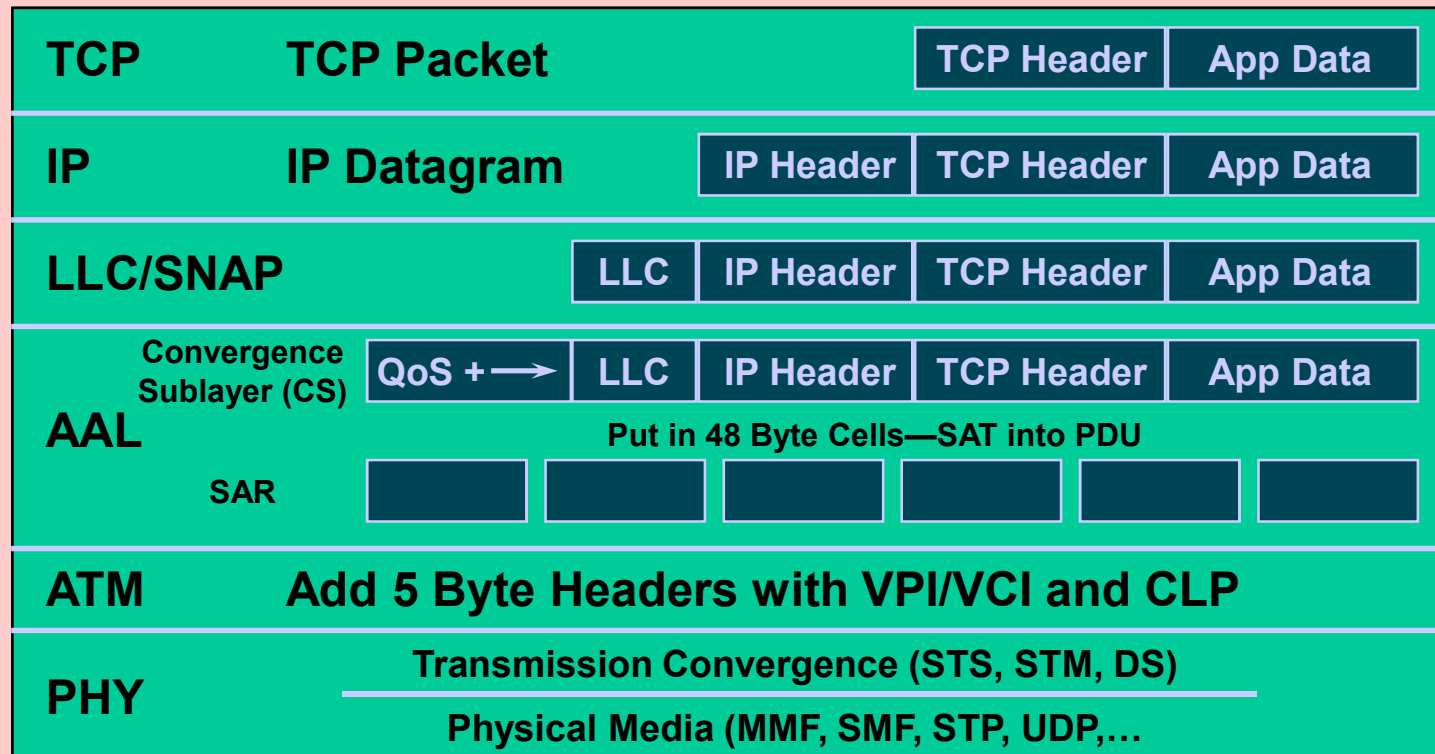
Traffic Shaping

- altering the traffic characteristics on the user side to ensure conformance to the traffic contract, e.g. reducing the peak cell rate by buffering - better network utilisation, but increased cell transfer delay



A Day in the Life of a Cell

ATM Payload Processing



Gyakorlat

- **1. feladat Ethernet ütközések valószínűsége**
 - **Két egy perisztens CSMA/CD állomás** hosszú (többkeretes) állományok elküldésével próbálkozik. Miután egy keretet valamelyikük elküldött, **bináris exponenciális visszatartás algoritmust** használatával ismét versengeni kezdenek a csatorna használatáért.
 - **Kérdés:**
Mi a valószínűsége annak, hogy a versenyhelyzet n kör után feloldódik?

Gyakorlat

• 1. feladat megoldás:

- **Tegyük fel, hogy „egyszerre” indulnak** – egyikük sem ütközött korábban – és az **egyik megszerezte a csatornát**
- **1 perzisztens CSMA/CD:**
Ha adni akar – megvárja míg a csatorna kiürül és **rögtön** adni kezd
Ha ütközik, véletlenszerű ideig vár (bin. exp. visszatartás)
- **Bináris exponenciális visszatartás:**
az i -ik ütközés után az állomás $0 - 2^i - 1$ közötti számot sorsol és ennyi időre vár. Ha $10 \leq i < 16$, $0 - 1023$ között sorsol, ha $i=16$, feladja.
(Az egyszerre indulók újból ütköznek, ha egyforma számot sorsolnak)

– **Mi az 1, 2, ... n. ütközés valószínűsége?**

- Az **első** ütközés valószínűsége: $P_{1\ddot{u}} = 1$;
hiszen 1 perzisztens CSMA/CD -ről van szó!

- A 2. ütközés valószínűsége
(mindkettő egyformát sorsol):

$$P_{2\ddot{u}} = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \right) \cdot 2 = \frac{1}{2}$$

- ...

- **Az n. ütközés valószínűsége:**

$$P_{n\ddot{u}} = \left(\frac{1}{2^{n-1}} \cdot \frac{1}{2^{n-1}} \right) \cdot 2^{n-1} = \frac{1}{2^{n-1}}$$

0	0	1/4
0	1	1/4
1	0	1/4
1	1	1/4

Gyakorlat

- **1. feladat megoldás:**

- **A pontosan 1 ütközés valószínűsége:**
(egyszer ütközik, de másodszorra már átmegy)

$$P_1 = P_{1\ddot{u}} \cdot (1 - P_{2\ddot{u}}) = 1 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}$$

- **A pontosan n. ütközés valószínűsége:**

$$P_n = 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \dots \cdot \frac{1}{2^{n-1}} \cdot \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) = \frac{1}{2^{\frac{n-1}{2}}} \cdot \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) = \frac{2^n - 1}{2^{\frac{n^2+n}{2}}}$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} i = n \cdot \frac{n-1}{2}$$

$$P_n = \frac{2^n - 1}{2^{\frac{n^2+n}{2}}}$$

Gyakorlat

- 1. feladat megoldás:
 - Mi a versengési körök átlagértéke?

$$\bar{n} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot P_n$$

(igen jól becsülhető az első 5 tagjával)

$$\bar{n} \cong 1 \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 0.375 \cdot 3 \cdot 0.109 \cdot 4 \cdot 0.0146 \cdot 5 \cdot 0.00095$$

$$\bar{n} \cong 1.641$$

n = 1	$P_1 = \frac{1}{2} = 0.5$
n = 2	$P_2 = \frac{3}{2^3} = \frac{3}{8} = 0.375$
n = 3	$P_3 = \frac{7}{2^{\frac{12}{2}}} = \frac{7}{64} = 0.109$
n = 4	$P_4 = \frac{15}{2^{\frac{20}{2}}} = \frac{15}{2^{10}} = 0.0146$
n = 5	$P_5 = \frac{31}{2^{\frac{30}{2}}} = \frac{31}{2^{15}} = 0.00095$
n = 6	$P_6 = \frac{63}{2^{21}} = 3 \cdot 10^{-5}$
n = 7	$P_7 = \frac{127}{2^{28}} = 4.7 \cdot 10^{-7}$
n = 8	$P_8 = \frac{255}{2^{36}} = 4 \cdot 10^{-9}$
n = 9	$P_9 = \frac{511}{2^{45}} = 1.45 \cdot 10^{-11}$
n = 10–15	$P_{10-15} = \frac{1023}{2^{55}} = 2.84 \cdot 10^{-14}$

Mi „fér el” a gyűrűn?

- **Ha:**
 - **S** - a közeg adatsebesség [bps]
 - τ - a jelkésleltetési idő [sec]
 - **R** - a jelterjedési sebesség $R = L / \tau$ [m/sec]
 - **L** - a gyűrű hossza [m]
- **Akkor:**
 - **Hány bit fér el a közegen?** $B = S * \tau = S * L/R$ [bit]
 - **1 bit hány métert igényel?** $mpb = R/S$ [m/bit]
 - **1 méter hány bitet hordoz?** $bpm = S/R$ [bit/m]
 - **Ha a gyűrű interfészek össztárolókapacitása: N [bit]**
($N = \text{állomásszám[db]} * \text{interfészenkénti tárolókapacitás[bit/db]}$)
 - **A gyűrű teljes tárolókapacitása: B + N [bit]**

2. feladat Vezérjeles gyűrű

- Egy 4 Mbps-os vezérjeles gyűrűnek 10msec-os a vezérjel tartási ideje.
- Mekkora a gyűrűn továbbítható leghosszabb keret?
- Megoldás
 - Max. kerethossz, ha a max. vezérjeltartási ideig ad:

$$4 * 10^6 - 10 * 10^{-3} = 4 * 10^4 \text{ [bit]}$$

3. feladat vezérjeles sín

- Egy vezérjeles sínen 4 proiritásosztályt alakítunk i az alábbi módon:
 - Amikor a vezérjel megérkezik egy állomáshoz, az időzítő óra nullázódik. Az állomás ekkor a 6-os prioritású kereteket kezdi küldeni, egészen addig, míg az óra el nem éri a T6 értéket; ekkor 4-es prioritású keretek küldésére tér át a T4 időpontig; majd a 2-es ill. 0-ás prioritásúakra a T2 ill. T0 időpontig.
A T0 időpont elérésekor továbbadja a vezérjelet.
 - Ha minden állomás T6, T4, T2 és T0 időzítési értéke rendre 40, 80, 90, 100 msec-nak felel meg, akkor a teljes sávszélesség hányad része jut az egyes prioritás osztályokhoz?

3. feladat vezérjeles sín

- **Megoldás:**

Adás	Meddig	Tartam	A forgalom
6-os osztályú kereteket	0 → T6:	40 msec	$40/100 = 40 \%$
4-es osztályú kereteket	T6 → T4:	40 msec	$40/100 = 40 \%$
2-es osztályú kereteket	T4 → T2:	10 msec	$10/100 = 10 \%$
0-ás osztályú kereteket	T2 → T0:	10 msec	$10/100 = 10 \%$

4. feladat Vezérjeles gyűrű

- Hány méter kábel okoz 5 Mbps átviteli sebesség és 200 m/μsec jelterjedési sebesség mellett ugyanolyan 1 bites késleltetést, mint a vezérjeles gyűrű gyűrűinterfésze?

- Megoldás

$$S = 5 \cdot 10^6 \text{ bps};$$

$$R = 200 \cdot 10^6 \text{ m/s};$$

$$\text{mpb} = ?$$

$$\text{mpb} = \frac{R}{S} = \frac{200 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6} = 40 \text{ [m/bit]}$$

- 1 bitnek 40 méter felel meg, vagy
- 1 bitet 40 méter hordoz.