



5. WiFi/Bluetooth/Zigbee

Dr. Bilicki Vilmos

Szoftverfejlesztés Tanszék

Tartalom

- ▶ Fizikai közeg
- ▶ 802.11
- ▶ Bluetooth
- ▶ ZigBee



Fizikai közeg

Jellemző	Bluetooth	802.11b	802.11g	802.11a	ZigBee 802.14
Spektrum	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz 868/915 MHz
Max Átv.	725 kbps	11 Mbps	54 Mbps	54Mbps	
Frekv. Vál.	FHSS	DSSS	OFDM	OFDM	DSSS
Közeg. H.	Mester	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	Mester
Teljesítmény	100 mW	1W	100 mW	100 mW	10mA



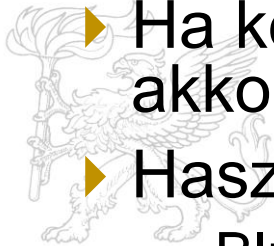
Szórt Spektrum

- ▶ Célja a jel keskeny spektrumát egy szélesebb spektrumra kenni
 - Biztonságosabb lesz
 - Védettebb lesz a természetes és mesterséges zajok ellen
- ▶ Típusai
 - FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum
 - DSSS - Direct-Sequence Spread Spectrum
 - OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing



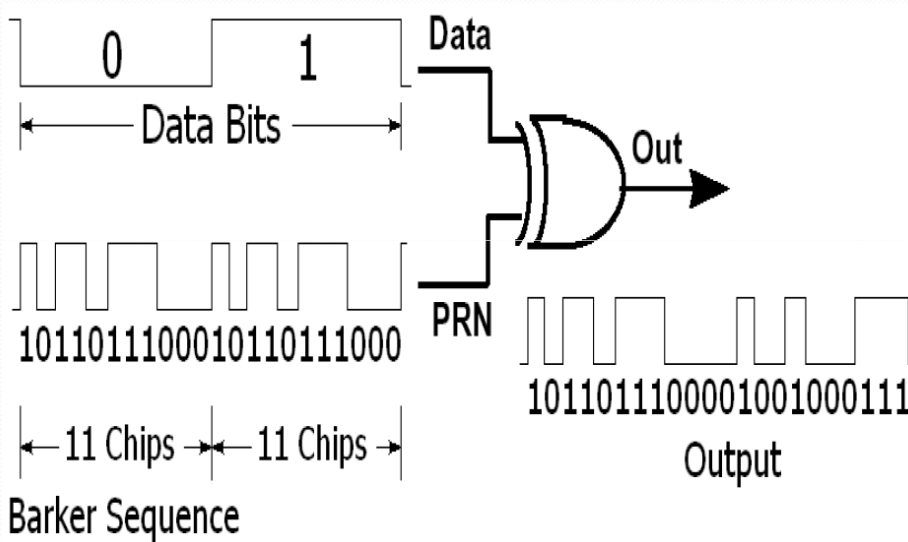
FHSS

- ▶ Frekvencia Ugrásos Szórt Spektrum esetében az adás közben egy álvéletlen szekvencia alapján változtatják a csatornákat a vevő és az adó oldalon is.
- ▶ Előnyei:
 - Ellenálló a keskenysávú zajok ellen
 - Nehéz lehallgatni
 - Többen is használhatják ugyanazt a frekvenciasávot (olyanokkal is megoszthatja akik csak szűk sávokat használnak)
- ▶ Ha két adó-vevő pár álvéletlen sorozata ortogonális akkor párhuzamosan kommunikálhatnak
- ▶ Használata:
 - Bluetooth: 79 1 MHz-es csatorna, 1600 csatorna váltás/s



DSSS

- ▶ Közvetlen Szekvenciás Szórt Spektrum (pl.: GPS)
- ▶ Az adat egy nagy sebességű álvéletlen sorozattal van kizáró vagy művelettel összefűzve
 - Barker szekvencia - 10110111000
 - CKK - Complementary Code Keying (64 8 bites kódszó nagy közöttük a távolság)



Data Bit	DSSS Output
0	10110111000
1	01001000111

DSSS – BPSK/QPSK

- ▶ Bináris vagy Kvadratúra Fázis Ugrásos Moduláció
- ▶ Az XOR kimenetet egy vivő frekvenciára modulálják BPSK vagy QPSK segítségével



BPSK Encoding

XOR Output	Phase Change
0	0
1	π

QPSK Encoding

2-Bit (d0,d1) XOR Output (d0 is the first bit in time)	Phase Change
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$

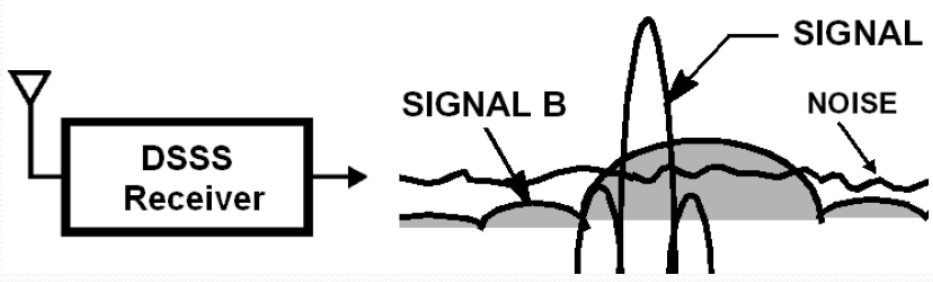
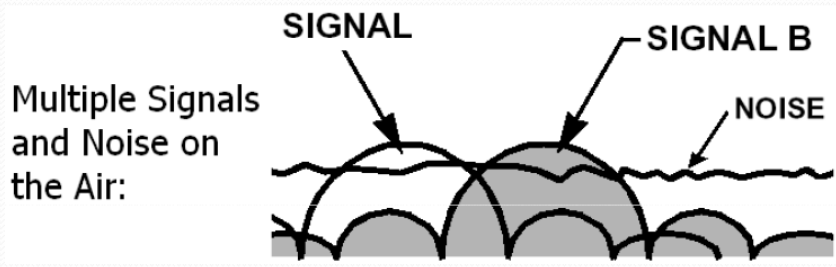
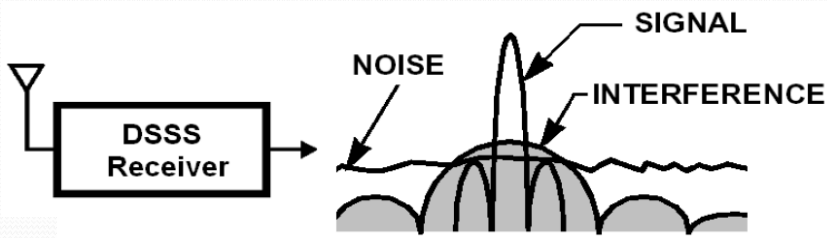
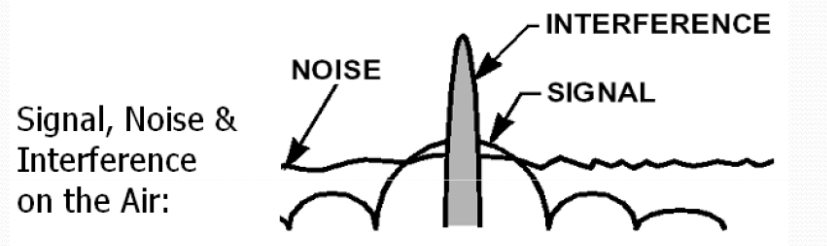
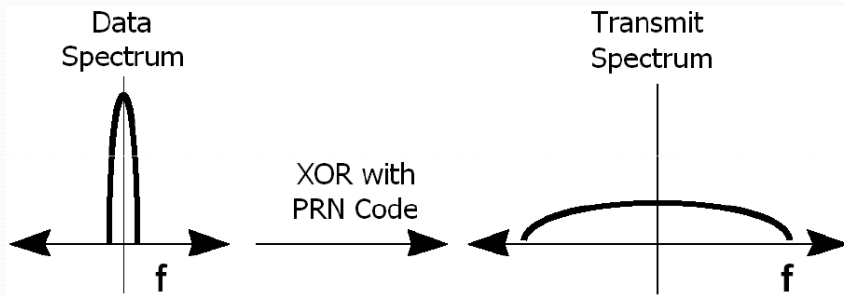


DSSS összefoglaló

Data rate	Code length	Modulation
1 Mbps	11 (Barker sequence)	BPSK
2 Mbps	11 (Barker sequence)	QPSK
5.5 Mbps	8 (CCK)	QPSK
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK

Data rate	Symbol rate	Bits/Symbol
1 Mbps	1 MSps	1
2 Mbps	1 MSps	2
5.5 Mbps	1.375 MSps	4
11 Mbps	1.375 MSps	8

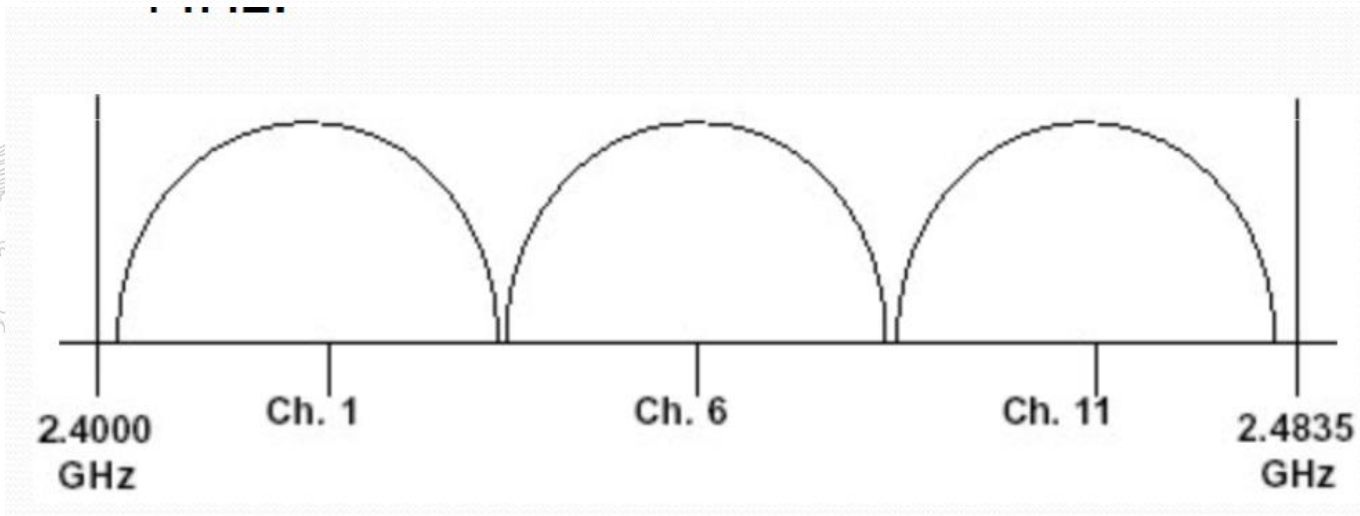
Az álvéletlen sorozat hatása



802.11 b

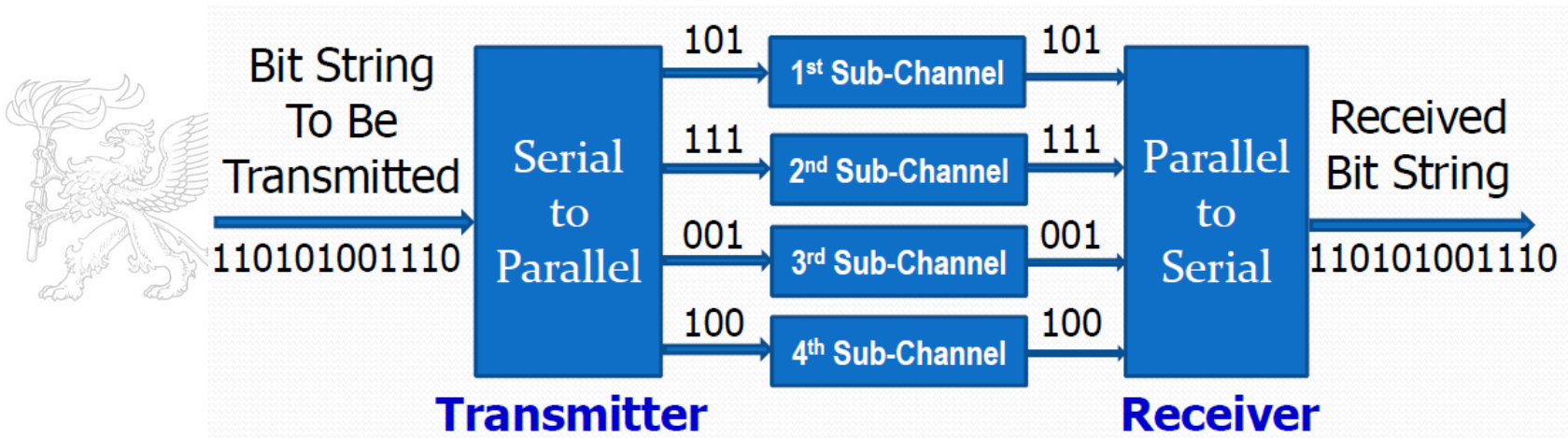
CHANNEL	FREQUENCY
1	2412 MHz
2	2417 MHz
3	2422 MHz
4	2427 MHz
5	2432 MHz
6	2437 MHz
7	2442 MHz

CHANNEL	FREQUENCY
8	2447 MHz
9	2452 MHz
10	2457 MHz
11	2462 MHz
12	2467 MHz
13	2472 MHz
14	2484 MHz



OFDM

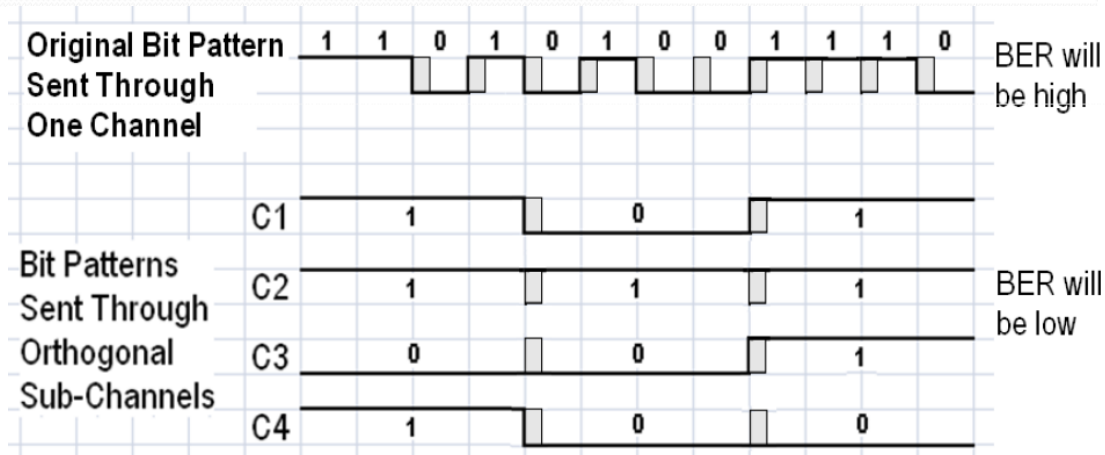
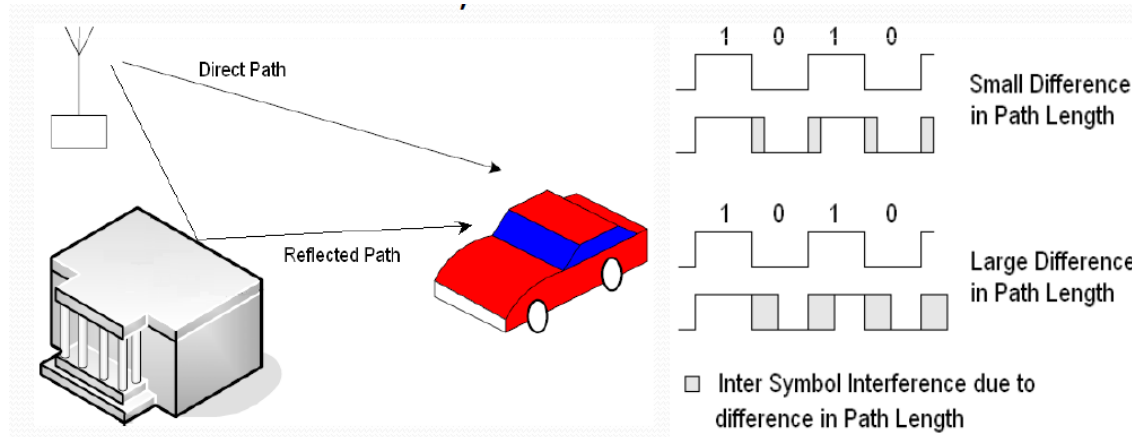
- ▶ Ortogonális Frekvencia Osztásos Multiplexálás
- ▶ A kommunikációs csatornát ortogonális alcsatornákra bontja ($f_1 = n \cdot f_0$ és $f_2 = m \cdot f_0$, $S_1 = A_1 \sin(2\pi n f_0 t + a_1)$ és $S_2 = A_2 \sin(2\pi m f_0 t + a_2)$)
- ▶ Az átviendő bit lánc N bit láncra van bontva amelyek az ortogonális csatornákon párhuzamosan vannak átküldve





OFDM hosszú bitek

- ▶ Védettebb a zajok és a többutas terjedés ellen



BER: Bit Error Rate

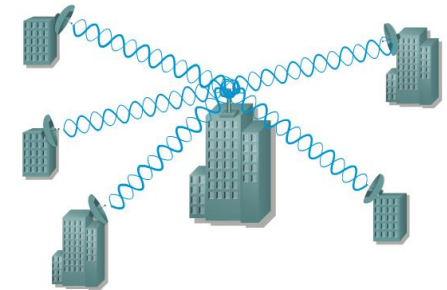
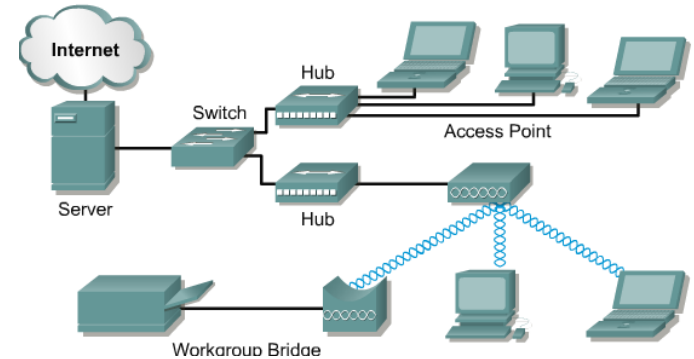
WiFi

- ▶ IEEE 802.11, Wi-Fi Alliance
- ▶ Előnyei:
 - Dinamikus infrastruktúra (bérelt épület, helyiség)
 - Skálázható infrastruktúra
 - Olcsó infrastruktúra
 - Gyorsan kiépíthető infrastruktúra
 - Szabad mozgás
- ▶ Tipikus sebesség:
 - 11 Mbit/s-54 Mbit/s
 - Ez gyakran elegendő (xDSL kapcsolat)
- ▶ Tipikus felhasználási területek:
 - WLAN – helyi hálózat
 - Site – Site összeköttetés (40 Km)
 - WISP
- ▶ Használt frekvencia sávok:
 - 2,4 GHz
 - 5 GHz
- ▶ Ettől persze még van vezetékes összeköttetés is



Speed	860 Kbps	1 and 2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps
Network	Proprietary		Standards-Based	
Analog Radio	900 MHz	2.4 GHz		5 GHz

		IEEE 802.11 begins drafting	802.11 ratified	802.11a,b ratified	802.11g drafted			
1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002



IEEE 802.11 család

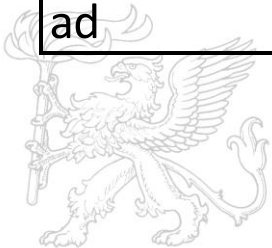
802.2 LLC	Data Link Layer
802.11 MAC	
FH, DS, IR, CCK (b), OFDM (a or g)	
Physical Layer (PHY)	

▶ Jellemzői:

- Határok nélküli médiumot használ
 - A külső jelek ellen védtelen
 - A közeg jóval kevésbé megbízható mint a vezetett hullámú összeköttetés esetében
 - Dinamikus topológia (akkor is ha senki sem mozog)
 - A kapcsolat hiánya miatt egyes állomások rejtve maradhatnak (nem igaz mindenki hall mindenkit)
 - Időfüggő, aszimmetrikus terjedési tulajdonságok
- ▶ A MAC és a Fizikai réteget definiálja
- MAC Service Data Unit MSDU átvitele az LLC-k között
- ▶ Vezetékes hálózatban a MAC cím a helyet is kijelöli
- ▶ Vezetékmentes hálózatban a címzett az állomás (Station - STA)

802.11 család

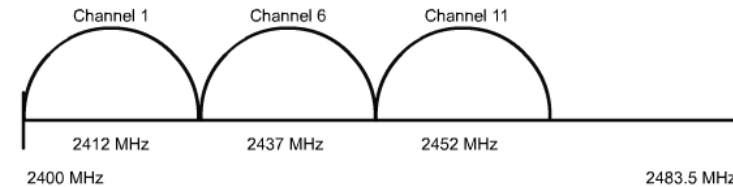
802.11 verzió	Frekvencia	Adat sebesség	MIMO	Moduláció	Beltéri	Kültéri
	2.4	1.2	1	DSSS/FHSS	20	100
a	5	54	1	OFDM	35	120
b	2.4	11	1	DSSS	38	140
g	2.4	54	1	OFDM/DSSS	70	140
n	2.4/5	150	4	OFDM	70	250
ac	2.4/5	866	8	OFDM		250
ad	2.4/5/60	7000				



IEEE 802.11b

- ▶ Az eredeti 802.11 1-2 Mbit/s DSSS
- ▶ 5.5, 11 MBit/s
- ▶ 2.4 GHz
- ▶ HR/DSSS – High Rate Direct Sequence Spread Spectrum
- ▶ Complementary Code Keying

Channel Frequencies for 802.11b (High Rate PHY)							
CHNL_ID	Frequency MHz	Regulatory Domains					
		X'10' FCC	X'20' IC	X'30' ETSI	X'31' Spain	X'32' France	X'40' MKK
1	2412	X	X	X	-	-	-
2	2417	X	X	X	-	-	-
3	2422	X	X	X	-	-	-
4	2427	X	X	X	-	-	-
5	2432	X	X	X	-	-	-
6	2437	X	X	X	-	-	-
7	2442	X	X	X	-	-	-
8	2447	X	X	X	-	-	-
9	2452	X	X	X	-	-	-
10	2457	X	X	X	X	X	-
11	2462	X	X	X	X	X	-
12	2467	-	-	X	-	X	-
13	2472	-	-	X	-	X	-
14	2484	-	-	-	-	-	X



	Spreading Code	Modulation Technology	Data Rate
2.4 GHz DSSS	Barker Code	DBPSK	1 Mbps
2.4 GHz DSSS	Barker Code	DQPSK	2 Mbps
2.4 GHz DSSS	CCK	DQPSK	5.5 Mbps
2.4 GHz DSSS	CCK	DQPSK	11 Mbps

IEEE 802.11a

- ▶ 5 Ghz-en működik
- ▶ 54 MBit/s
- ▶ Nem tud együttműködni a 2.4 GHz-es verziókkal
- ▶ OFDM: 52 csatorna – adatátvitelre 48 van használva egyszerre, 4 irányításra van használva

Coding Technique	Modulation technology	Data Rate
OFDM	BPSK	6 Mbps
OFDM	BPSK	9 Mbps
OFDM	QPSK	12 Mbps
OFDM	QPSK	18 Mbps
OFDM	16QAM	24 Mbps
OFDM	16QAM	36 Mbps
OFDM	64QAM	48 Mbps
OFDM	64QAM	54 Mbps

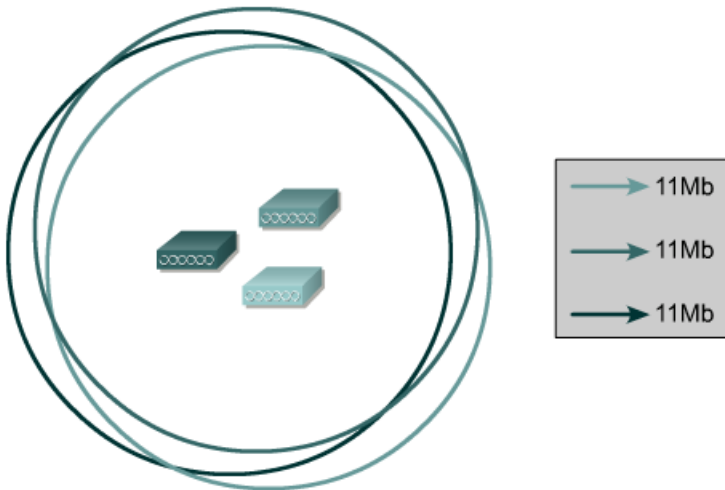


IEEE 802.11g

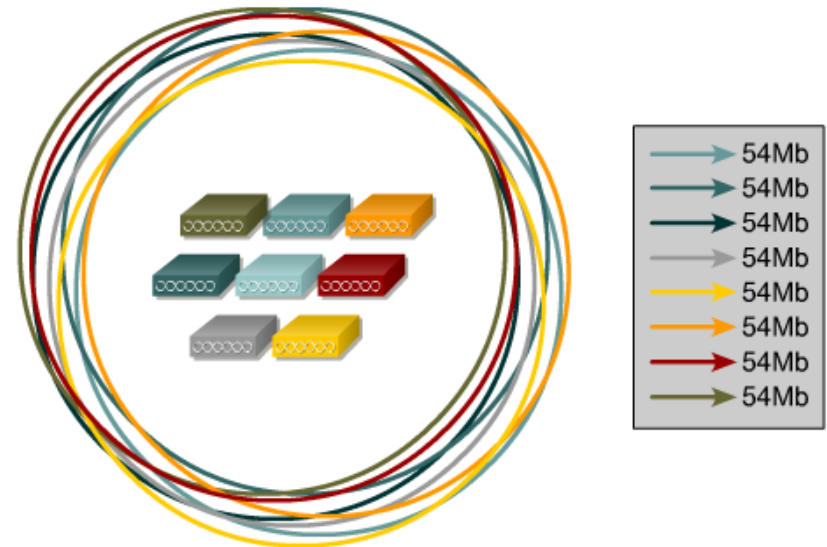
- ▶ Nem mindenhol használható az 5Ghz-es sáv
- ▶ 2.4 GHz-en működik, együtt tud működni a régi rendszerekkel
- ▶ 54 MBit/s
- ▶ Nagyobb (> 20MBit/s) sebességekhez OFDM
- ▶ Kisebb sebességeknél CCK

Skálázhatóság

- ▶ Frekvencia újrahasonítás
- ▶ 802.11b – 3 teljesen különálló csatorna
- ▶ 802.11a - 8 teljesen különálló csatorna



Total Cell Bandwidth is up to 33Mbps theoretical



Eight non-overlapping channels. Total Cell Bandwidth is up to 432 Mbps theoretical.

Elemek



- ▶ Vezetékmentes hálózati csatolók
- ▶ Hozzáférési pontok (Access Point)
 - Egy önálló vezetékmentes hálózat központja
 - Nagy hálózatokban több AP van és közöttük vándorolnak a felhasználók
- ▶ Vezetékmentes hidak
 - Több hálózat összekötésére használják



MAC szolgáltatások

► Szolgáltatási:

■ Szinkron adat szolgáltatás

- MSDU csere
- Legjobb szándék szerinti, nincs garancia

■ Biztonsági szolgáltatás

- Transzparens az LLC számára
- Station – to – Station
- Wireless Equivalent Privacy WEP
 - » Titkosság
 - » Megbízhatóság
 - » Hozzáférés vezérlés

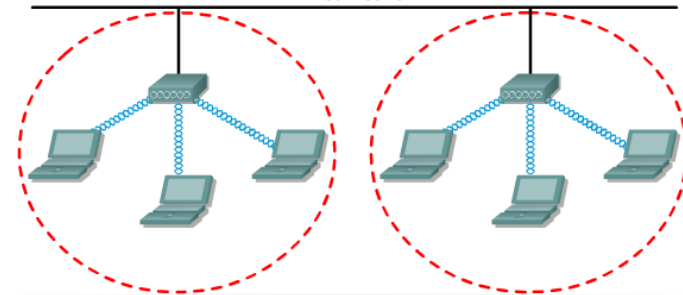
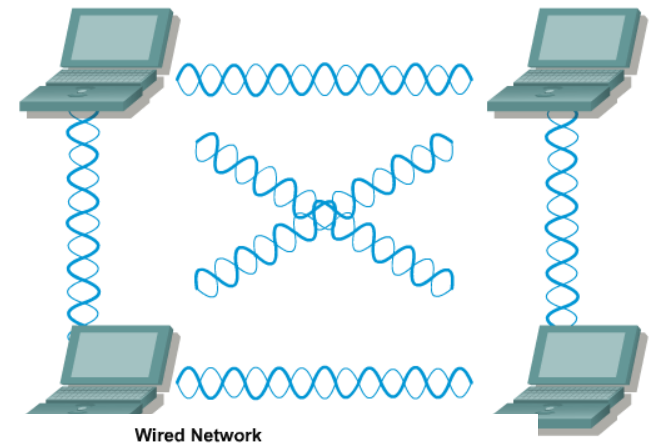
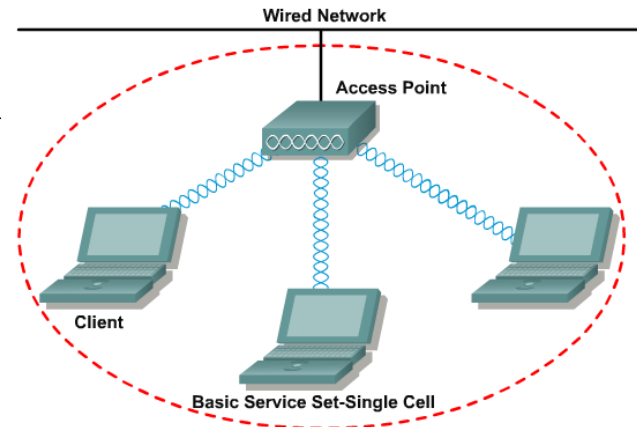
■ MSDU sorbarendezés

- Unicast/Multicast/Broadcast



Logikai architektúrák

- ▶ Az LLC számára transzparens!
- ▶ Basic Service Set (BSS)
 - Infrastruktúra mód BSS (AP - BSSID)
 - Independent BSS (IBSS)
 - Ad-Hoc, Peer-To-Peer
- ▶ Distribution System (DS), WDS
 - Közös csatorna
- ▶ Extended Service Set (ESS)
- ▶ Roaming
 - A 802.11-en nincs közvetlen roaming támogatás



Coverage may overlap to provide roaming capabilities

WDS – L2 tarnszparencia

- ▶ Vezetékmentes Elosztó Rendszer
 - Hozzáférési pont rendszer
 - Fő (main) – tipikusan vezetékes kapcsolattal bír
 - Átjátszó (relay)
 - Távoli (remote) – a kliensek ehhez kapcsolódnak
 - MAC cím megtartó
- ▶ Fajtái:
 - Vezetékmentes híd – az AP kommunikálnak egymással a kliensek nem férnek hozzá
 - Vezetékmentes ismétlő



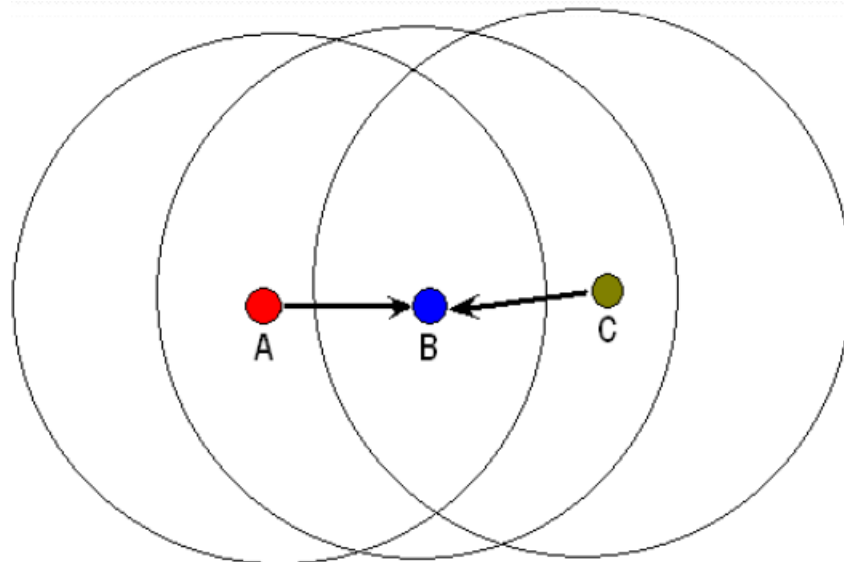
IAPP – L3 transzparencia

- ▶ Inter Access Point Protocol
- ▶ 802.11F
 - Vándorlás
 - Scanning (n másodperc), authentication, association, re-association
 - Terhelés elosztás
- ▶ ESS szintű biztonságos információcsere
- ▶ Központon keresztüli IP-MAC csere



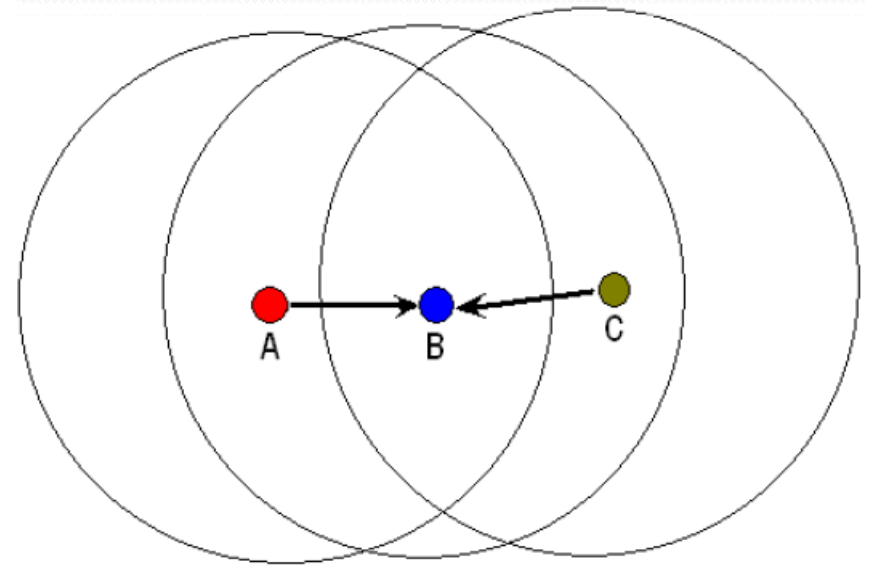
Rejtett állomás problémája

- ▶ A B csomópont A és C csomópontok kommunikációs távolában van, de A és C kívül esik egymás kommunikációs távolságán (csillapítás, ...)
- ▶ A ad B-nek B nem tudja venni mert C zavarja, ezt sem A sem C nem veszi észre



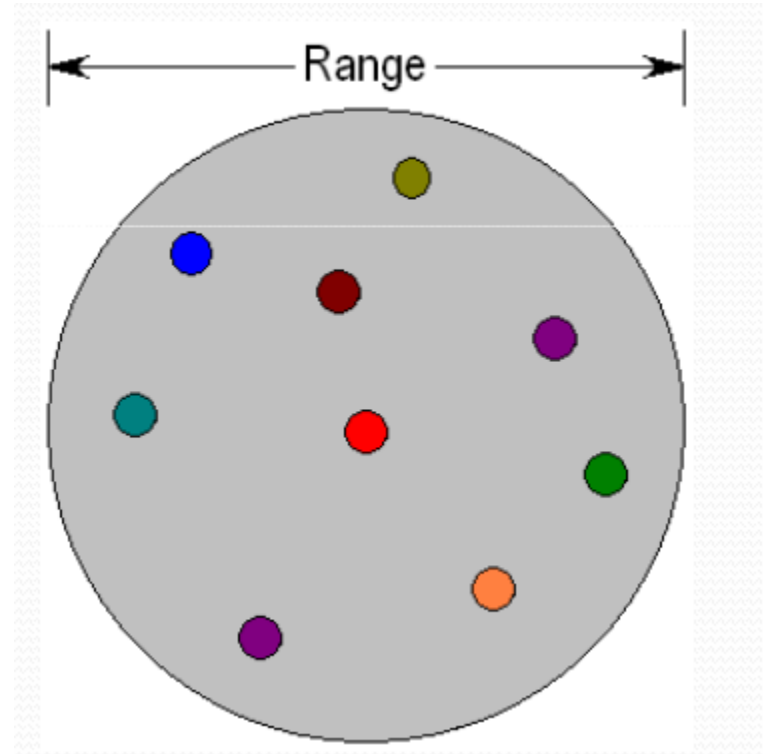
Megoldás

- ▶ RTS/CTS keretek (Request to Send / Clear to Send)
- ▶ Adásra Kész / Vételre Kész
- ▶ A többi kerethez viszonyítva rövid keretek
- ▶ Működése:
 - A és C is küldhet RTS keretet
 - B egyikre válaszol
 - A másik megvárja az ACK keretet és csak utána küld új RTS keretet



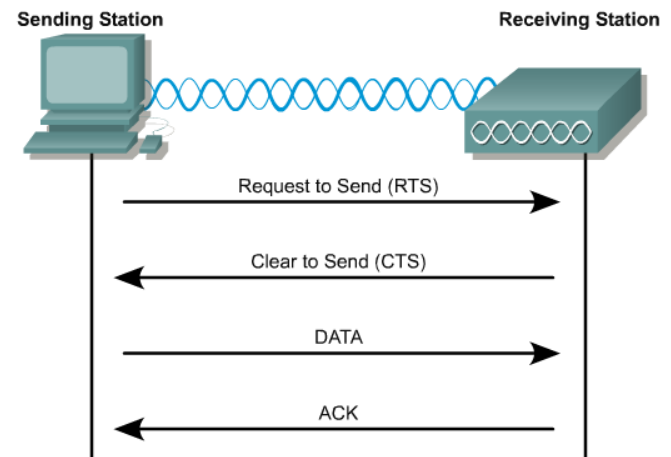
Nem minden esetben kell

- ▶ Ha minden csomópont egymás hatótávolságán belül van akkor ez nem szükséges
- ▶ Ha nincs gyakori ütközés akkor sem biztos, hogy kell



MAC architektúra

- ▶ Közeg hozzáférés vezérlés
 - Distributed Coordination Function (DCF) - CSMA/CA. Ad-Hoc és Infrastruktúra módban is használják
 - Point Coordinate Function (PCF) – csak infrastruktúra módban
- ▶ Egy-egy BSS-en belül mindkét módszer használható időosztásban
- ▶ Keret típusok:
 - Adat
 - Vezérlés
 - Menedzsment
- ▶ Vivő érzékelés
 - Fizikai
 - Virtuális (Network Allocation Vector - NAV)
- ▶ MAC szintű nyugtázás
 - Pozitív nyugta (ha OK akkor nyugta)



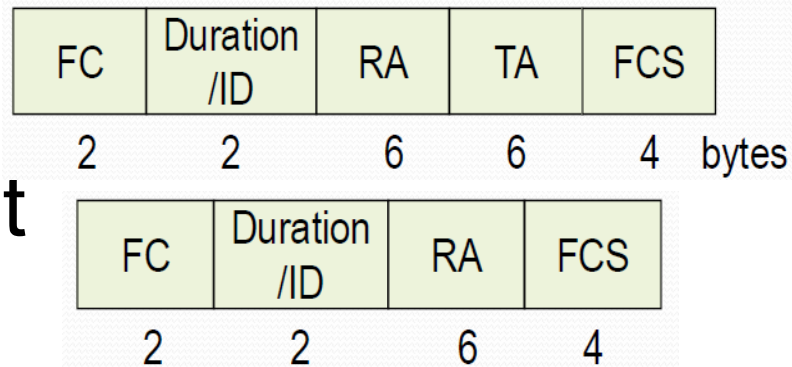
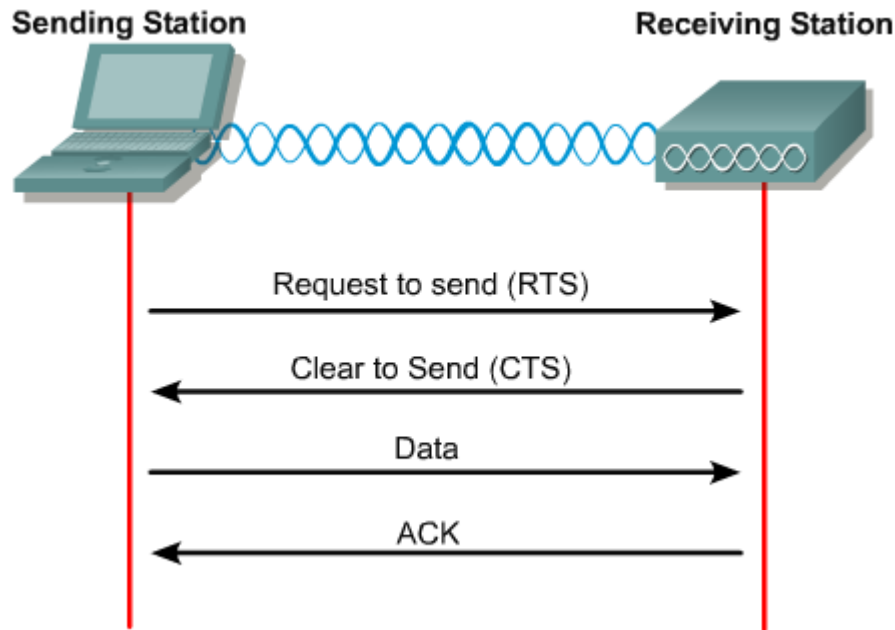
Menedzsment keretek

- ▶ Azonosítás keret
- ▶ Hozzárendelés kérés
- ▶ Hozzárendelés válasz
- ▶ Vivő keret:
- ▶ Azonosítás vége keret:
- ▶ Hozzárendelés vége keret
- ▶ Felderítő keret
- ▶ Felderítő válasz keret
- ▶ Újra hozzárendelés keret
- ▶ Újra hozzárendelés válasz keret

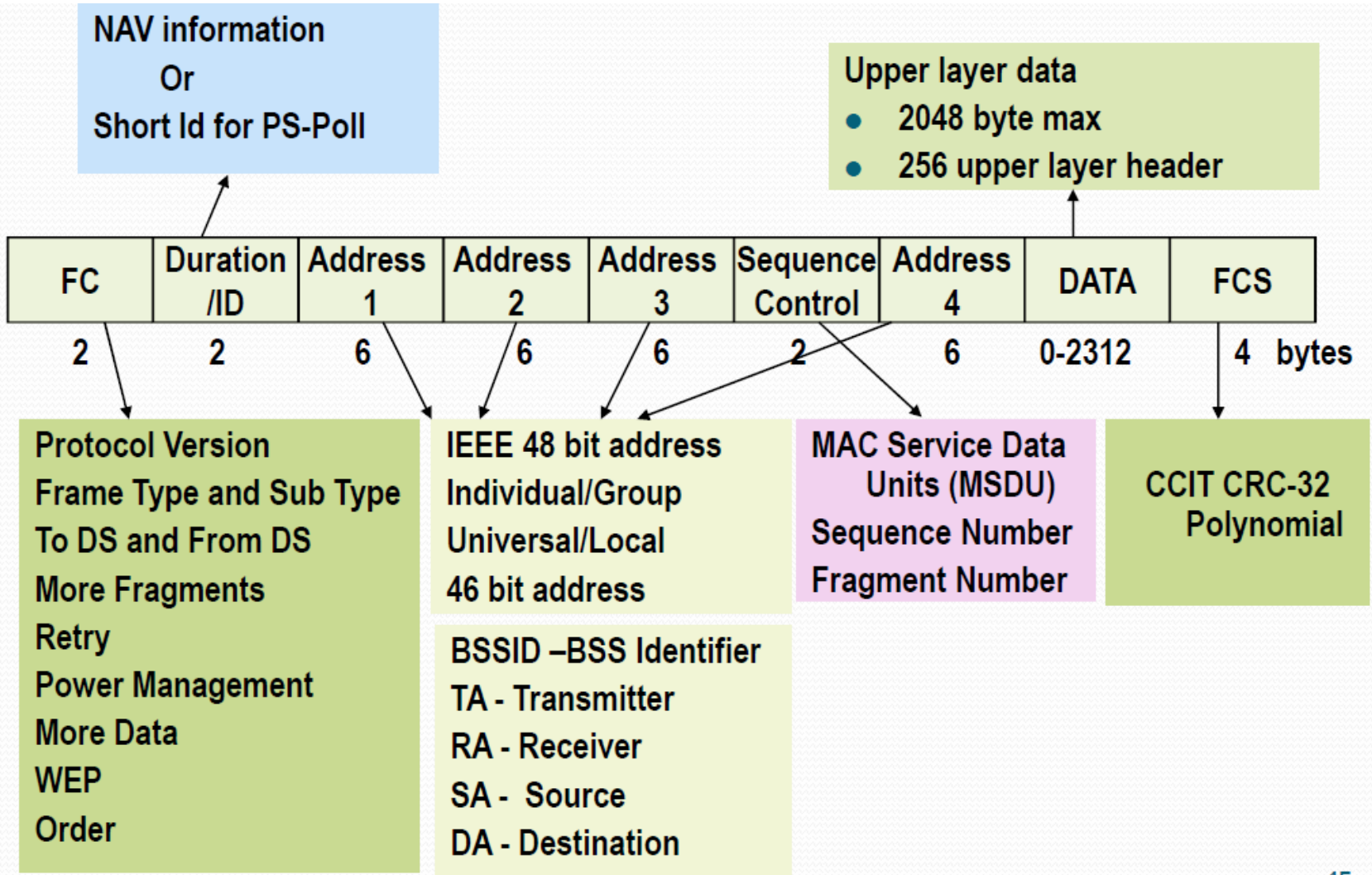


CSMA/CA

- ▶ CA
 - Virtuális
 - Fizikai
- ▶ Médium lefoglalás
 - RTS
 - CTS
- ▶ Minden keret tartalmazza az igényelt időtartamot is



Általános Keret Formátum



MAC cím formátum

Eset	DS-nek	DS-től	1. cím	2. cím	3. cím	4. cím
Ad-Hoc	0	0	DA	SA	BSSID	-
Infrasturktúra AP-től	0	1	DA	BSSID	SA	-
Infrasturktúra AP-nek	1	0	BSSID	SA	DA	-
infrasturktúra DS-en belül	1	1	RA	TA	DA	SA

- ▶ DS – Distribution System
- ▶ AP- Access Point
- ▶ DA – Destination Address
- ▶ SA - Source Address
- ▶ BSSID – Basic Service Set Identifier (AP MAC)
- ▶ RA – Receiver Address
- ▶ TA – Transmitter Address



STA indulás

- ▶ Vivő keretek után kutat
 - Ezekben megtalálja az:
 - ESS id-t (SSID)
 - Az AP MAC címét (BSSID)
- ▶ Kiválasztja az AP-t
- ▶ Azonosítja magát
- ▶ Hozzárendelés
- ▶ DHCP, ...

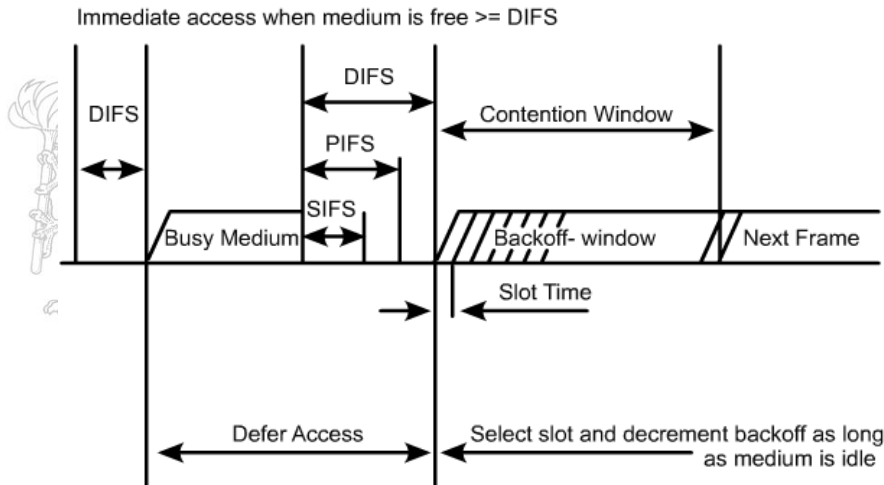


Keretek közti idő

▶ Interframe Space (IFS)

▶ 4 prioritási szint

- Short Interframe Space (SIFS) – RTS/CTS, Adat/ACK, elég hosszú ahhoz, hogy az adó állomás vevő módba tudjon kapcsolni
- PCF Interframe Space (PIFS) – ezzel tudja az AP átvenni az irányítást PCF esetén
- DCF Interframe Space (DIFS) – ha új adatot szeretne adni
- Extended Interframe Space (EIFS) – olyan keretet kapott amit nem tud értelmezni (ne zavarjon bele a CTS/RTS-be)



Biztonság

- ▶ Miért kell ezzel foglalkoznunk?
- ▶ A portás nem elég!
- ▶ A vezetékmentes hálózat nem ér véget a cég bejáratánál!
- ▶ Mérleg
 - Transzparens hozzáférés (Hozzáférés, Teljesítmény, Könnyű használat, Kezelhetőség, Rendelkezésreállítás)
 - Biztonság (Azonosítás, Jogosultságkezelés, Naplózás, Titkosság kezelés, Adat integritás kezelés, Adat megbízhatóság kezelése)



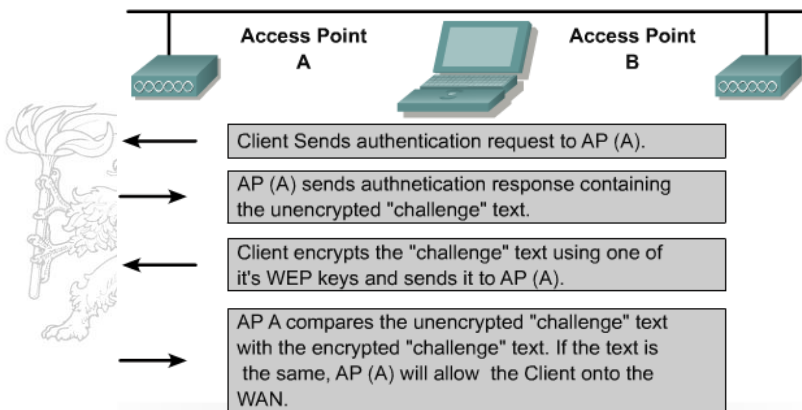
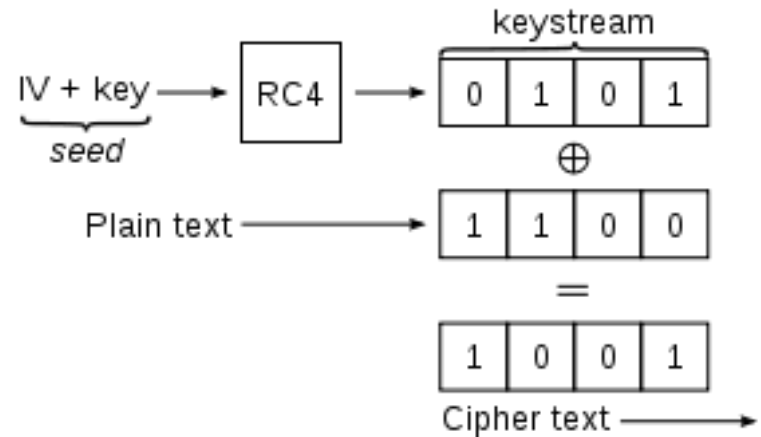
Régi védelmi megoldások

- ▶ A régi LAN-okban nem volt érdekes, drága volt és egyedi
- ▶ Service Set Identifier (SSID)
 - 1-32 bájt
 - SSID broadcast
 - Minden SSID megengedése
- ▶ MAC cím szűrés

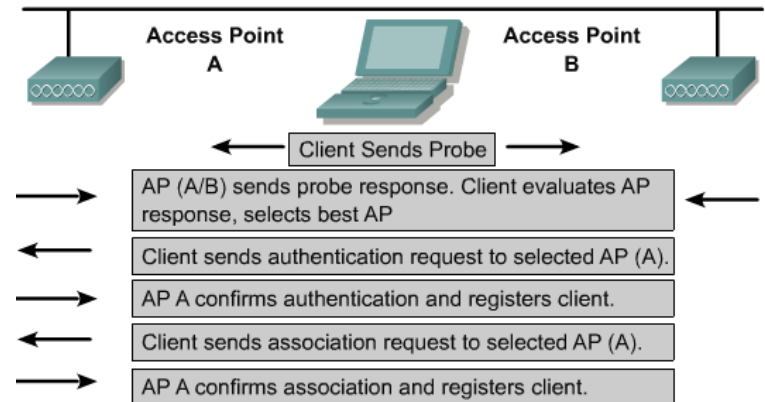


Wired equivalent privacy (WEP)

- ▶ RC4-es szimmetrikus titkosításon alapul
- ▶ 40 bites kulcs (egyres implementációkban 128 bites)
- ▶ Előre elosztott közös kulcs
 - Default kulcsok, aki megszerzi az tud kommunikálni
 - Minden állomás minden állomással külön kulcsot használ
- ▶ Kliens AP hozzáférés
 - Open Authentication
 - Shared Key Authentication



Shared key authentication uses WEP encryption during the client association process.



Open authentication uses clear text transmission to allow a client to associate to an access point.

Problémák a WEP-pel

▶ Azonosítás

- Gép alapú, nincs felhasználó azonosítás
- A kliens nem azonosítja a hálózatot
- A meglévő azonosítási adatbázisokat nem használja

▶ Kulcs menedzselés

- Statikus kulcsok
- Meg vannak osztva a gépek és az AP között
- Ha egy eszközt ellopnak..

▶ RC-4 alapú WEP kulcsok

- Gyenge algoritmus
- Az üzenet integritása nincs biztosítva





802.11i

- ▶ 802.1x
 - EAP
 - RADIUS
- ▶ Advanced Encryption Standard

Security Requirements for WLANs

First generation security

- SSID
- Static 40 or 128- bit WEP

Second generation security

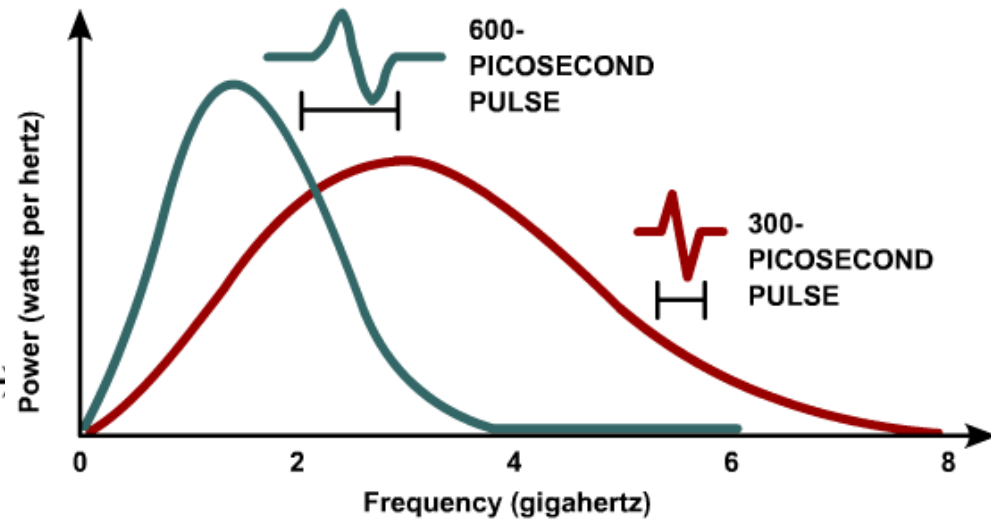
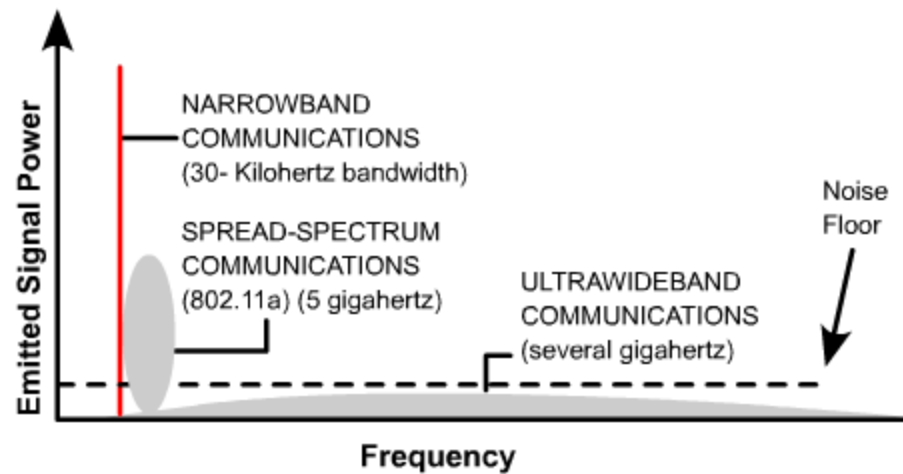
- Centralized user-based authentication (ACS 2000 v2.60 integrated with network logon)
- Dynamic 128- bit WEP
- VPN
- Access control lists

Leading edge security

- TKIP
- MIC
- AES
- Rogue AP detection

A jövő/jelen

- ▶ 802.11n ~ 200m , 1 Gbit/s
- ▶ UWB ~ 10m, 1,5 Gbit/s
- ▶ Wireless USB, 600 Mbit/s



Bluetooth

- ▶ 2.4 GHz-es tartomány, FHSS
- ▶ Rövid hatótáv (<10m)
- ▶ Aszinkron adat és szinkron hang szolgáltatás
- ▶ Sávszélesség 700 kbps
- ▶ Nem kell infrastruktúra (ad-hoc)
- ▶ Alacsony fogyasztás



Pikóhálózat

- ▶ A csomópontok lehetnek mesterek vagy szolgák
 - Egy vagy több szolga tud egy mesterhez csatlakozni – Pikóhálózat
 - A mester adja meg az ugrási mintát a pikóhálózat részére, minden szolgának ezt kell használnia
 - Max 7 szolga csatlakozhat egy mesterhez (3 bites cím)
- ▶ Egyéb üzemmódok
 - Parkolt: az eszköz nem vesz részt a pikóhálózatban, de a mester tud róla és gyorsan újraaktiválható
 - Készenlét: az eszköz nem vesz részt a pikóhálózatban

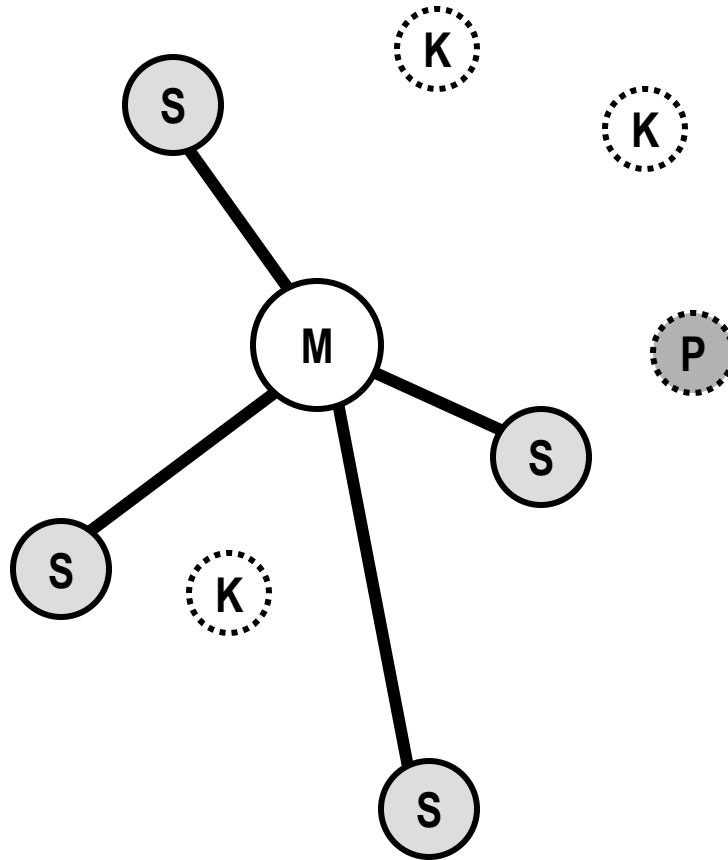


Működési módok

Működési módok

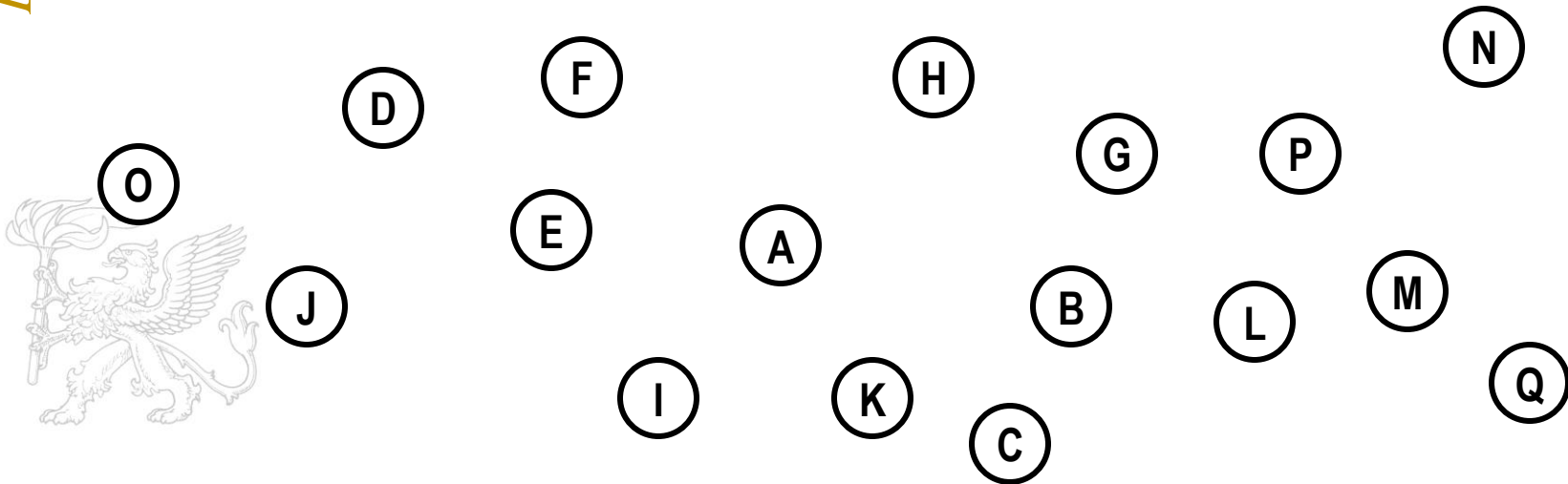


Pikóhálózat



Pikóhálózat létrehozás

- ▶ Kezdetben az eszközök csak magukról tudnak
 - Nincs szinkronizáció
 - Mindenki készenléti üzemmódban figyel (1,28 másodpercenként 10ms-ig kérdezősködés/kiértésítés)
 - Minden eszköz lehet mester és szolga



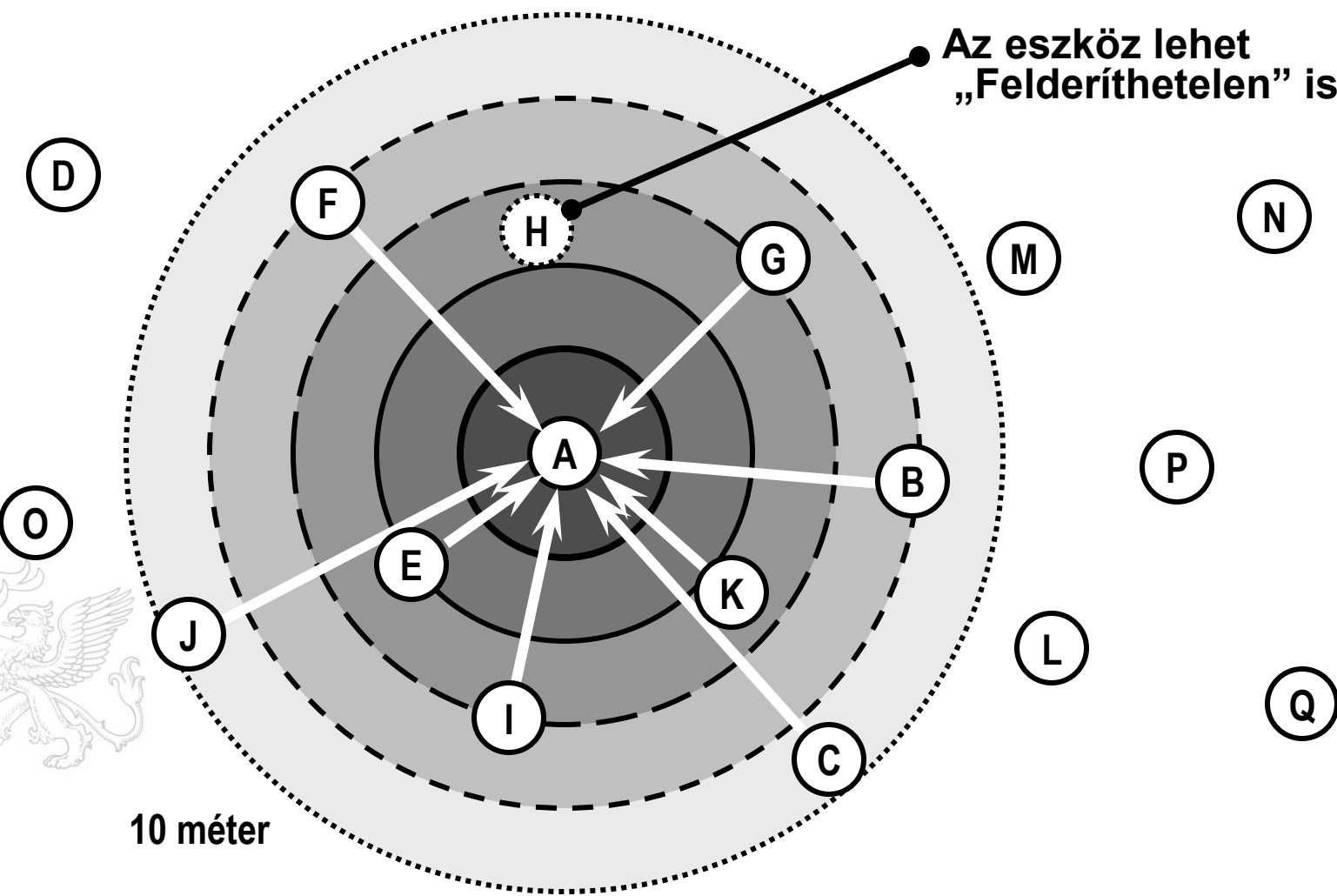
Pikóhálózat létrehozás

- ▶ A pikóhálózatot létrehozó eszköz lesz a mester
 - Kérdezősködik a jelenlévő eszközök után
- ▶ Címzés
 - Aktív eszközök (AMA) 3 bites aktív tag eszköz cím (Active Member Address)
 - A parkolt eszközök 8 bites parkolt tag eszköz címet kapnak (parked member address PMA))
 - A készenlétben lévő eszközök nem kapnak címet

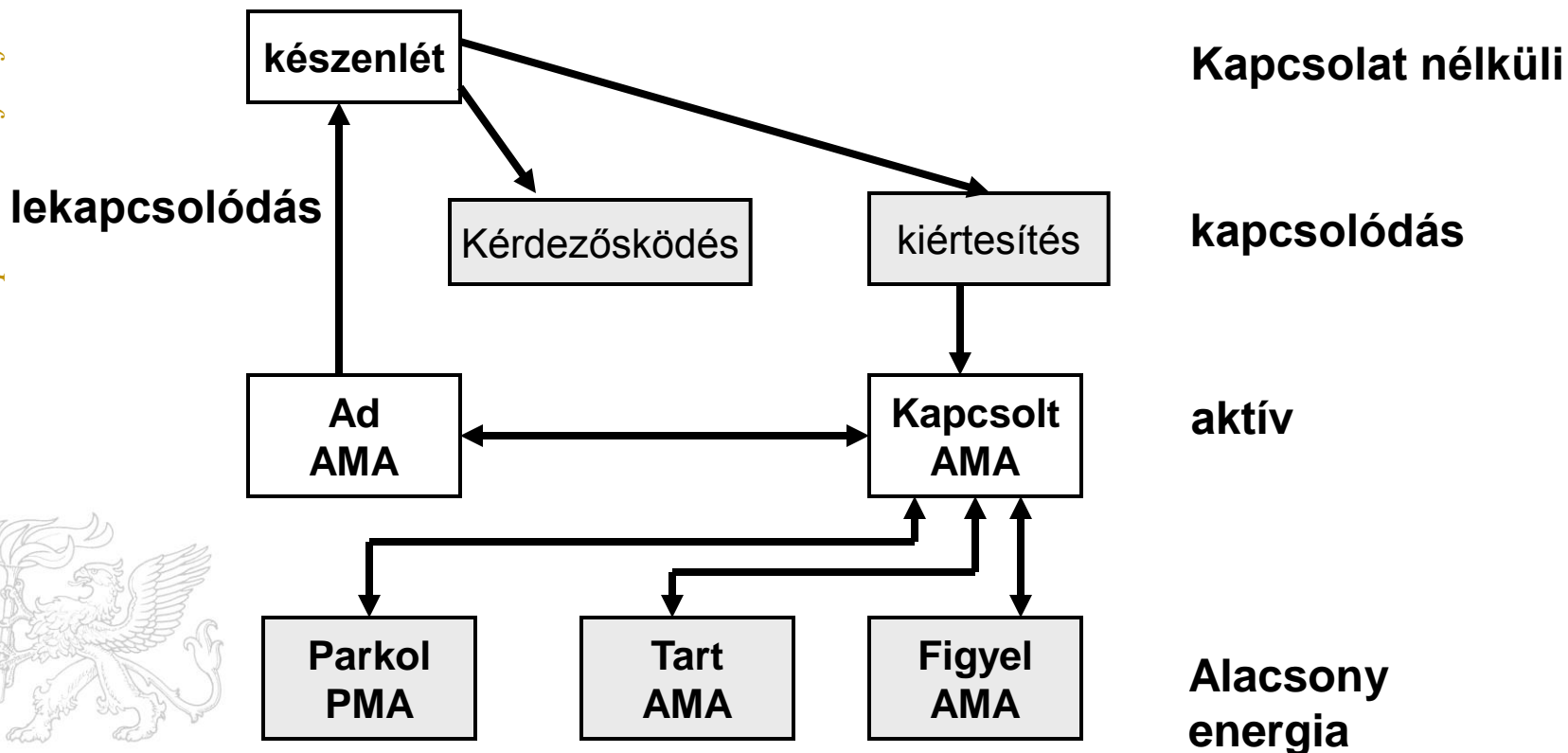




Kérdezősködés



Állapotok



Csatlakozás egy pikóhálózathoz

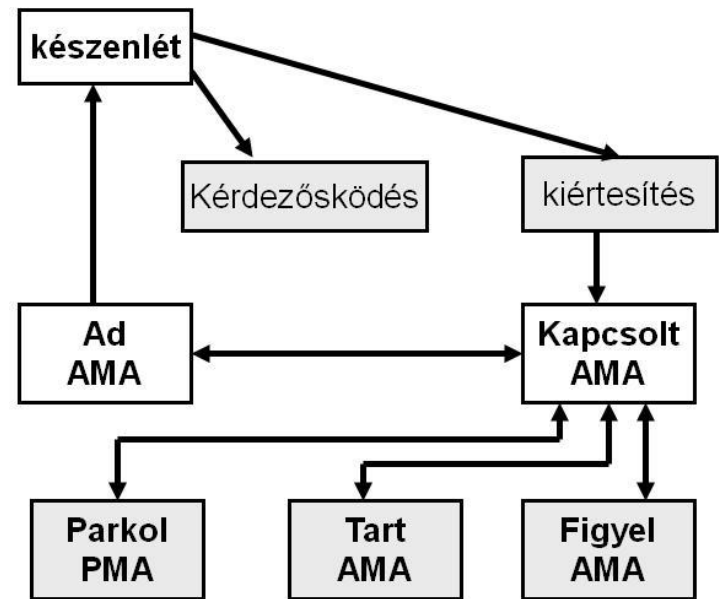
A készenléti állapotban lévő eszközök periodikusan hallgatnak

Ha egy eszköz létre szeretne hozni egy pikóhálózatot akkor kérdezősködést küld ki minden ébresztő csatornán

- A pikóhálózat mesterévé válik
- Ha a kérdezősködés sikeres volt akkor kiértésítés üzemmódba vált

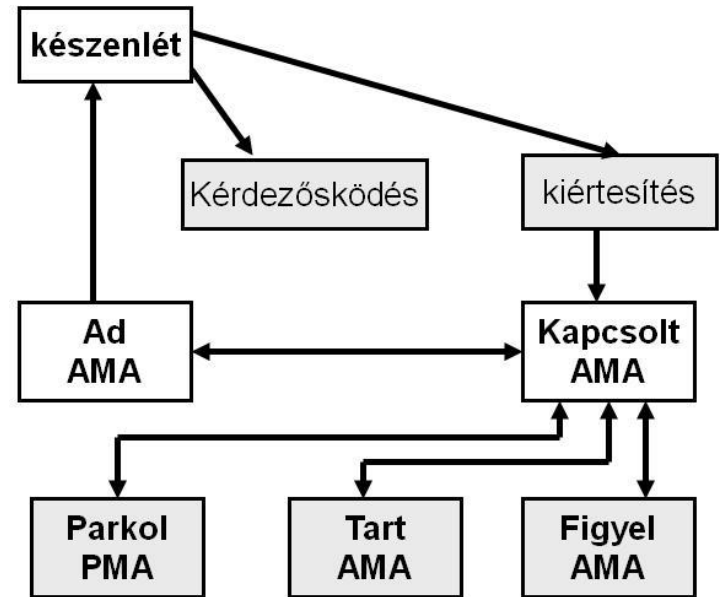
A készenléti állapotban lévő eszközök a kérdezősködésre az ID-jükkel válaszolhatnak

- Ez esetben a mester szolgáivá válnak



Kiértesítés és a kapcsolt állapotok

- ▶ Az eszköz válasza után a mester beszélhet az egyes eszközökkel
 - Kiad egy AMA címet
 - A szolgák szinkronizálják az ugrási szekvenciát a mesterrel
- ▶ Aktív állapotban a mester és a szolgák hallgatnak/adnak és vesznek
 - A lecsatlakozás segítségével mehet egy eszköz újra készenléti állapotba



Alacsony fogyasztású állapotok

► Figyelő

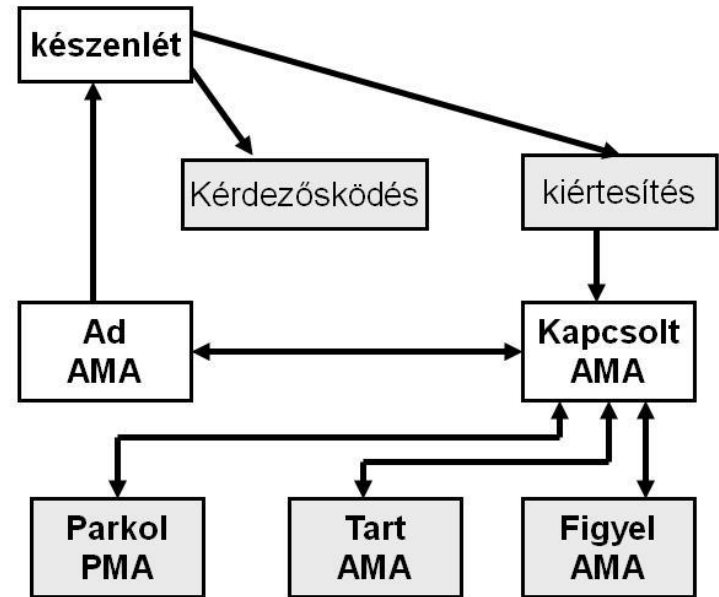
- A szolga ritkábban figyel
- A mester dedikált időszeletek oszt ki ehhez

► Tartó

- A szolga megszünteti az ACL adást de folytatja az SCO keretek forgalmazását

► Parkoló

- A szolga elengedi az AMA címét
- Az ugró kódot még szinkronizálja és időnként figyel



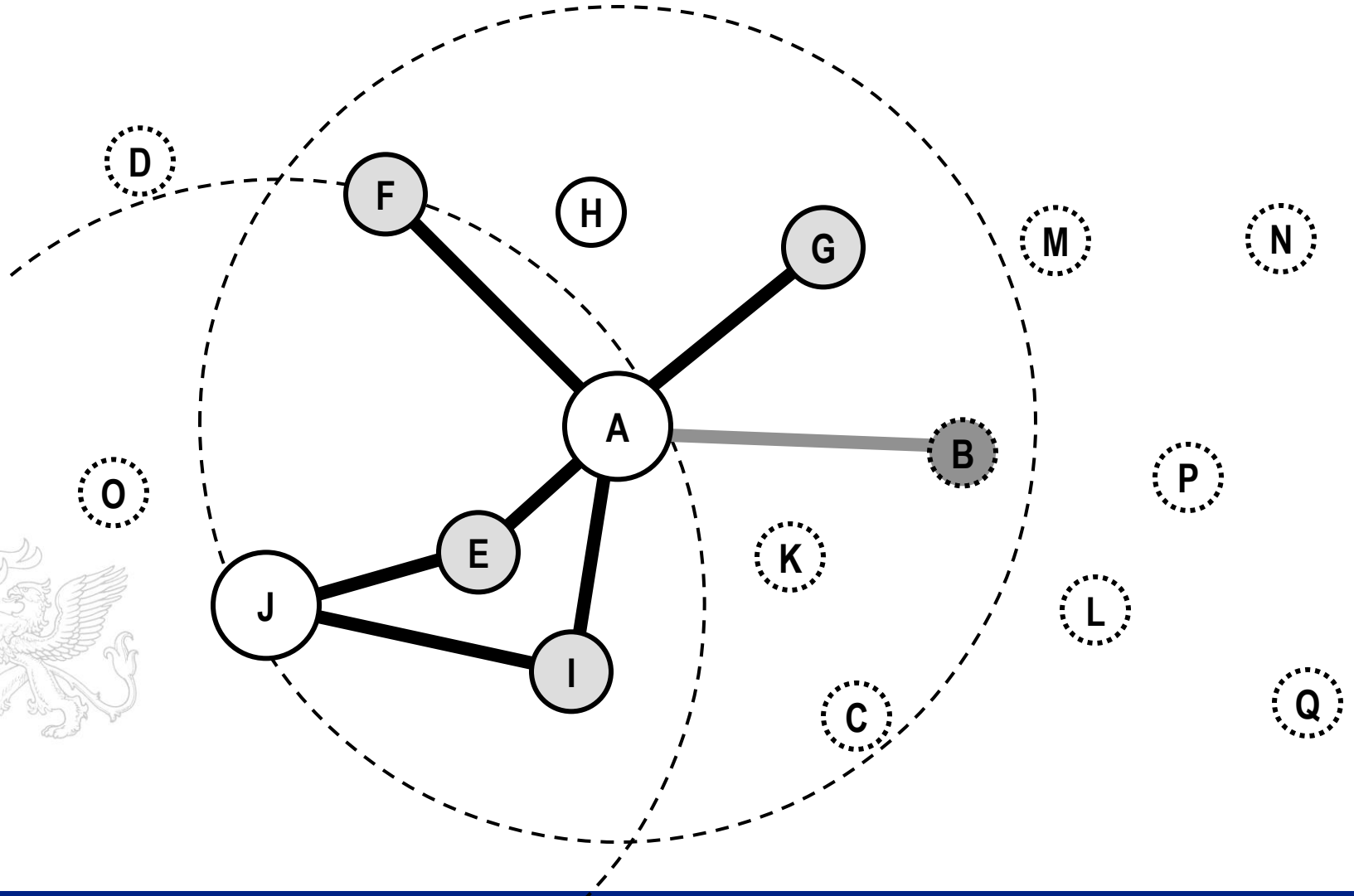
Elszórt hálózatok (1)

- ▶ Az átlapolódó pikóhalózatoknak más (ortogonális) ugrási szekvenciát kell használniuk
 - Ütközések lezsnek, ha különböző pikóhalózatok ugyanazt a frekvenciát használják ugyanabban az időben
- ▶ Egy-egy eszköz több pikóhalózatnak is tagja lehet, így elszórt hálózatot alkot
 - Egy eszköz csak egy hálózatban lehet mester
 - Tetszőleges számú hálózatban lehet szolgál



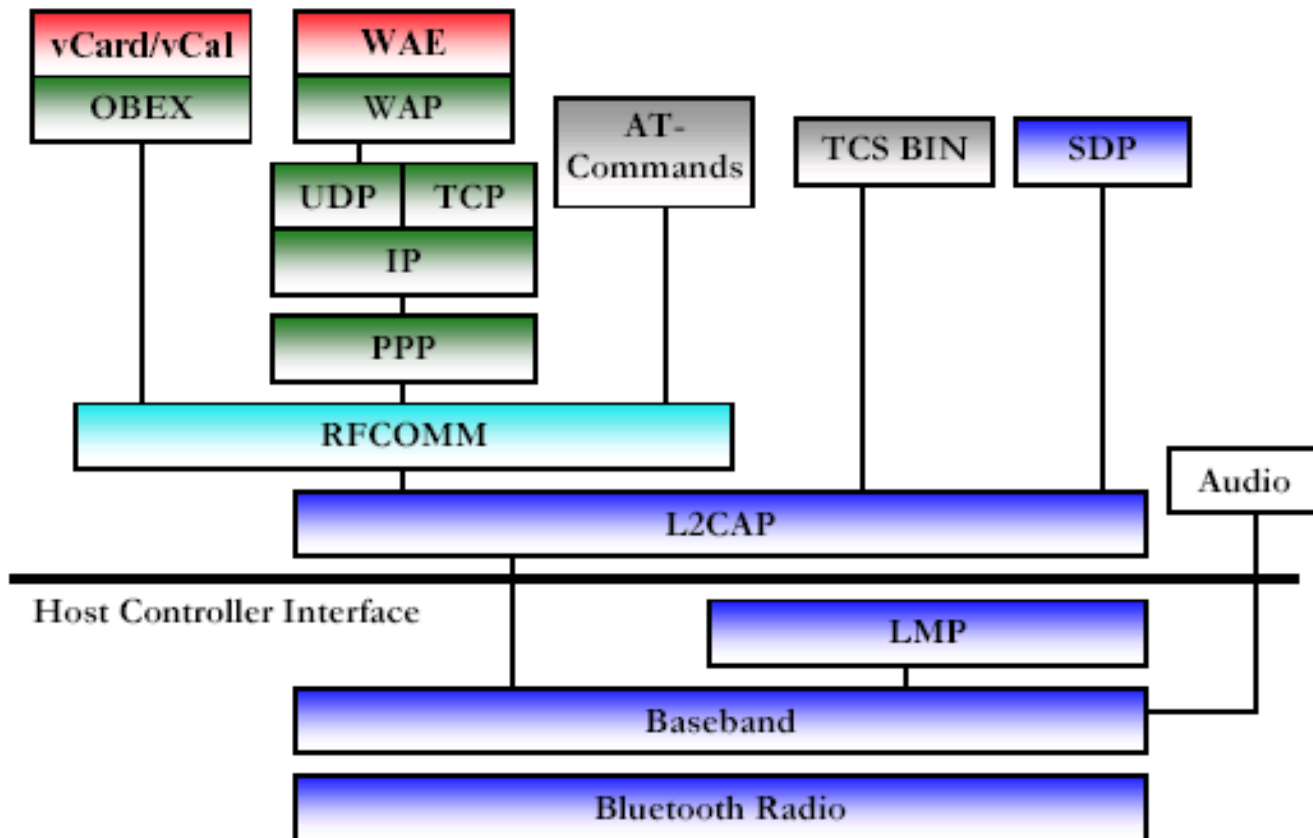


Elszórt hálózat(2)



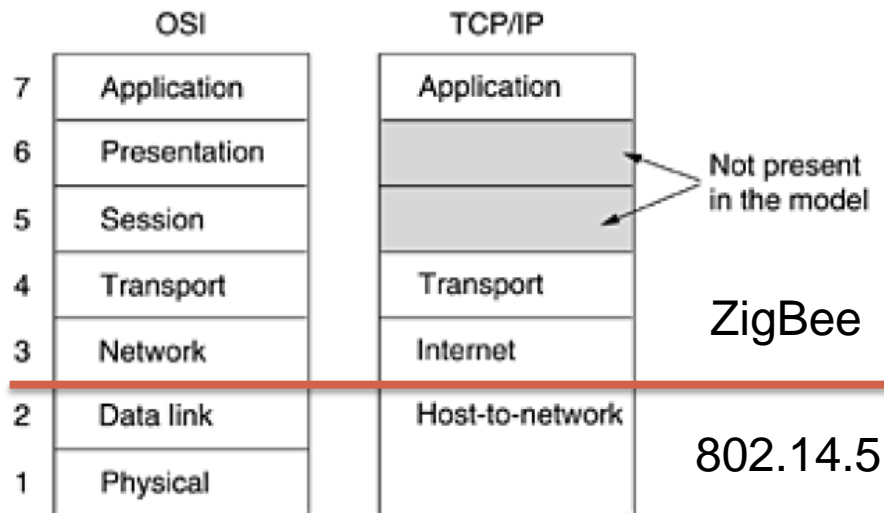
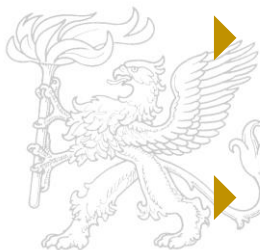


Protokoll verem

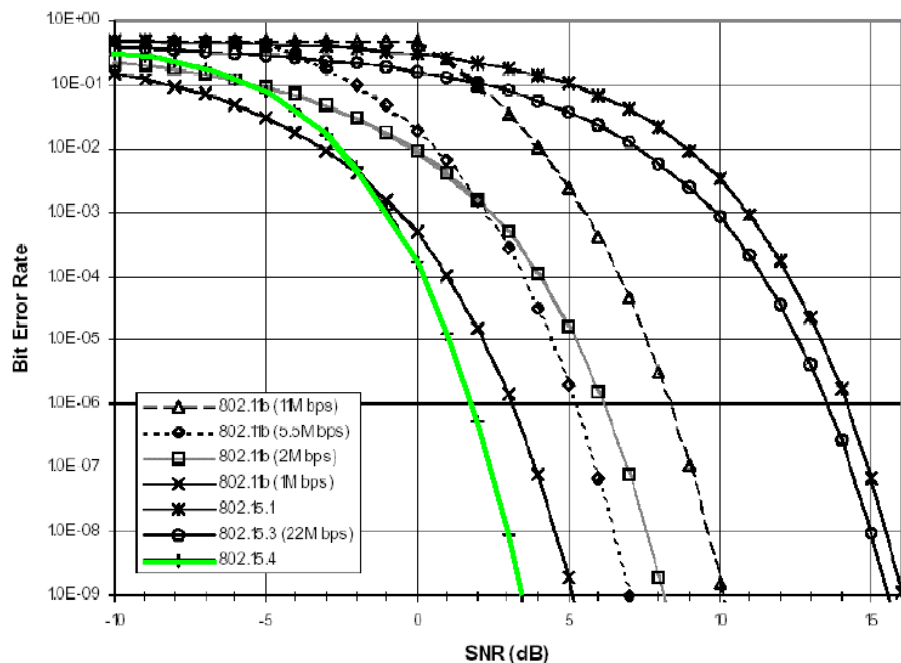


ZigBee

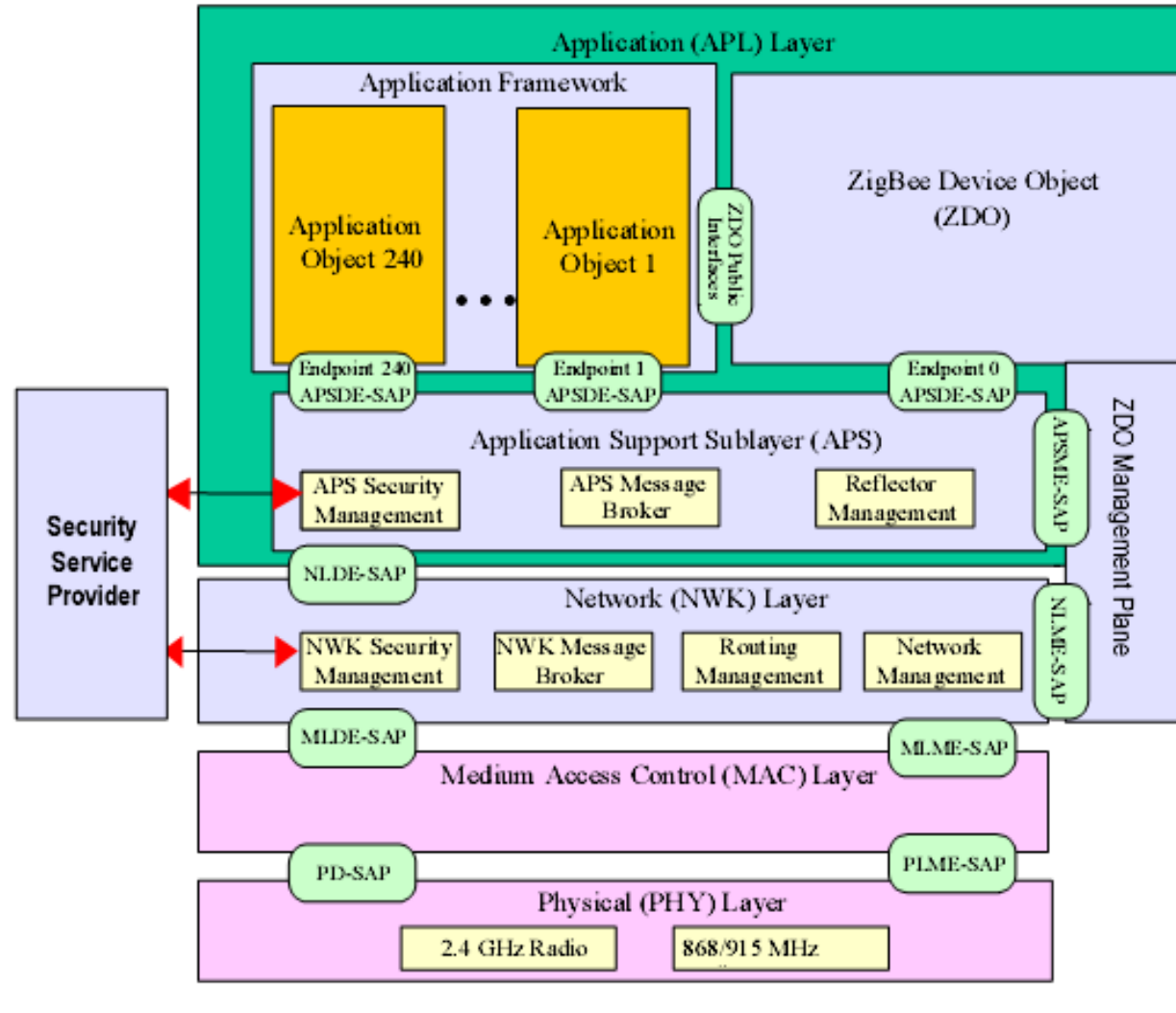
- ▶ Motiváció
 - ▶ Energia fogyasztás: 10 mA vs 100 mA (BT)
 - ▶ Bithiba arány
 - ▶ Ad-Hoc hálózat kialakítása (65000 csomópont)
 - ▶ Biztonság (AES 12 bit)
 - ▶ Távolság: LoS 75m
 - ▶ QoS: garantált időszel



802.11b, 802.15.x BER Comparison



ZigBee protokoll verem



- IEEE 802.15.4 defined
- ZigBee™ Alliance defined
- End manufacturer defined
- Layer function
- Layer interface



ZigBee elemek

- ▶ Koordinátor (IEEE 802.15.4 FFD – ZigBee ZBC)
 - Egy van belőle a hálózatban
 - Kapu más hálózatok felé
 - Menedzseli a hálózatot (létrehozza,...)
 - Minden eszköz kommunikál vele
 - Forgalomirányító funkcionális
- ▶ Forgalomirányító (IEEE 802.15.4 FFD – ZigBee ZBR)
 - Opcionális
 - Megnöveli a lefedettséget
 - Kezeli a lokális címkiosztást
- ▶ Vég eszköz (IEEE 802.15.4 RFD – ZigBee ZBE)
 - A legolcsóbb
 - Csak a koordinátorral beszél
 - Alacsony fogyasztásra optimalizált



ZigBee címzés

▶ Címek:

- Egyedi 64 bites cím (IEEE 802.15.4)
- 16 bites hálózati cím (65000 elem)
- 256 alcím az alegységeknek

▶ Felderítés

- Pont-pont ismert hálózat esetén
- Üzenetszórás ismeretlen hálózat esetén

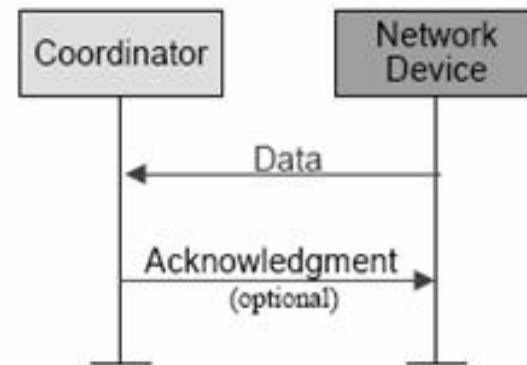
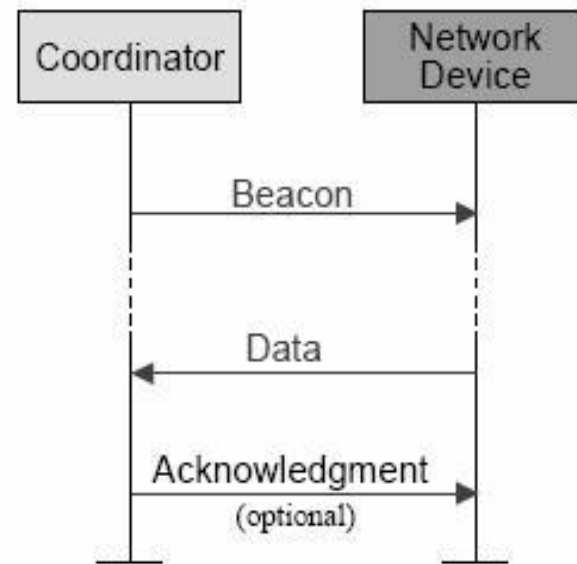
■ Válasz:

- ZBC/ZBR-Response: IEEE cím + hálózati cím + minden ismert hálózati cím

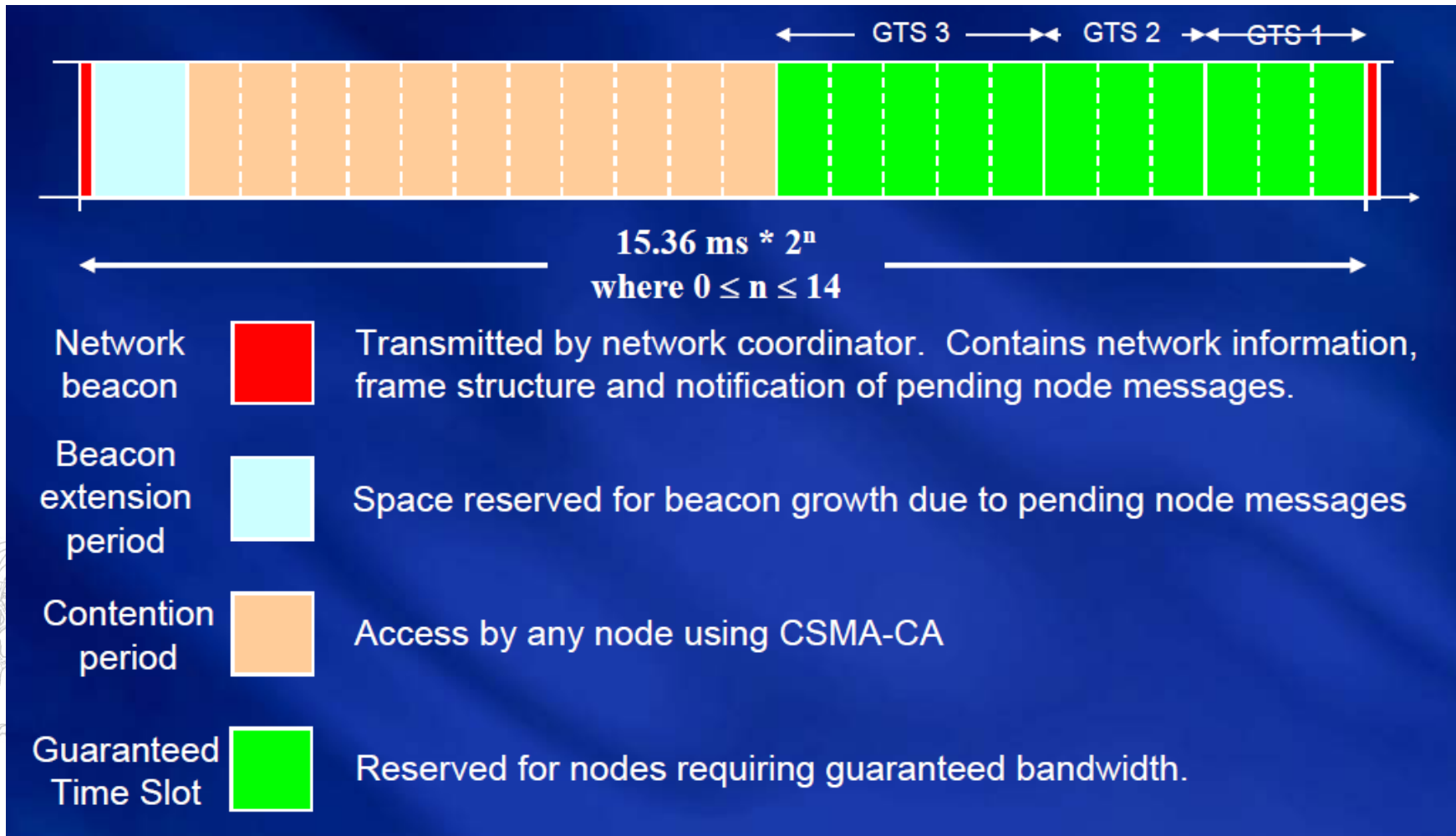


Kommunikációs módok

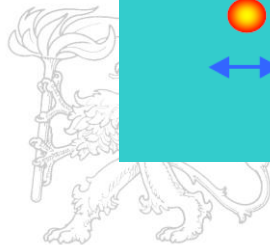
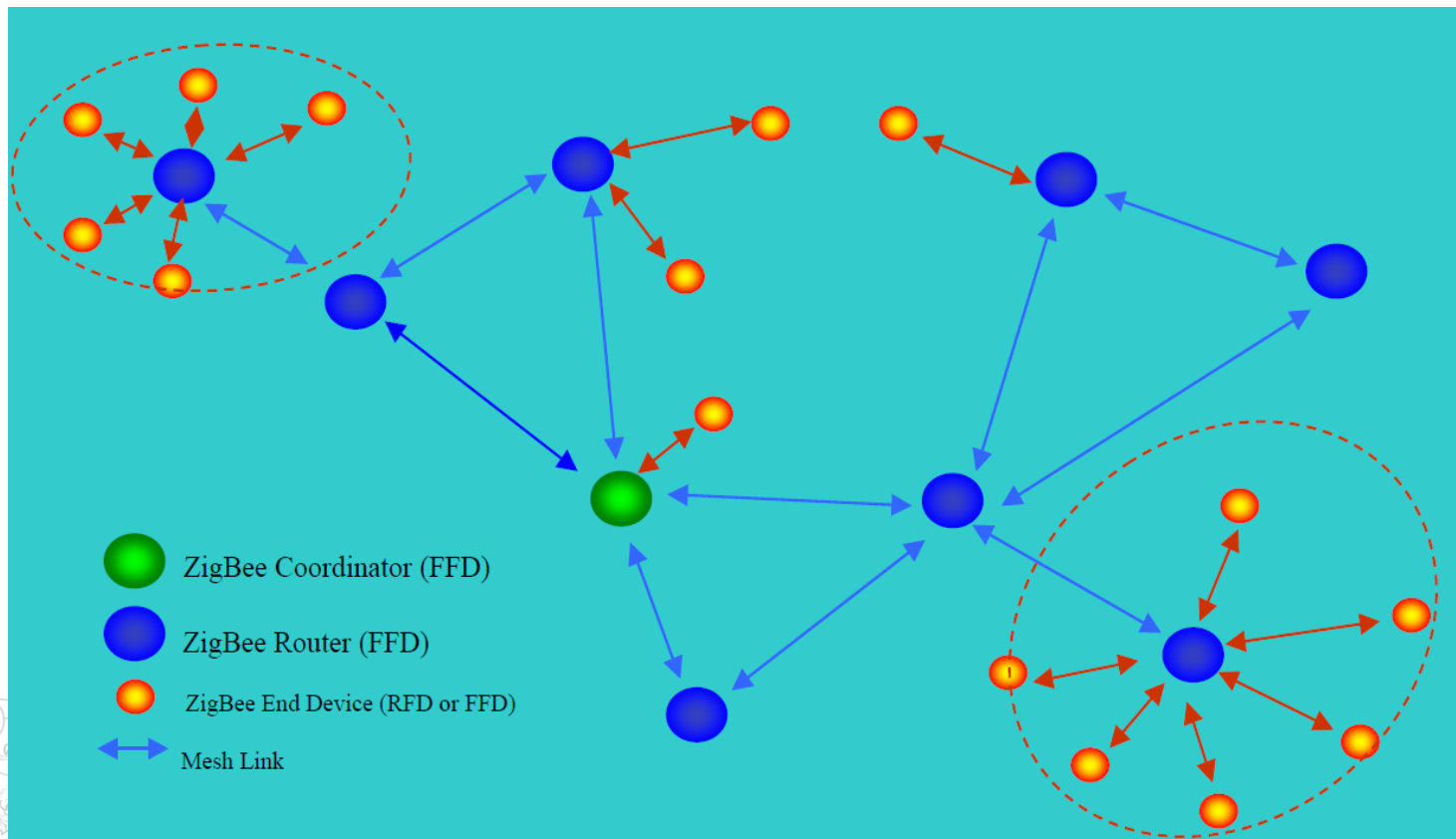
- ▶ Periodikus adat
- ▶ Időszakos adat
- ▶ Ismétlődő adat
 - Garantált időszelet
- ▶ Üzem módok
 - Vivő mód: precíz ütemezés mindkét oldal alvó állapotba kerül
 - Nem vivő mód
 - A koordinátor és a forgalomirányítók nem mehetnek alvó állapotba



Vivő mód

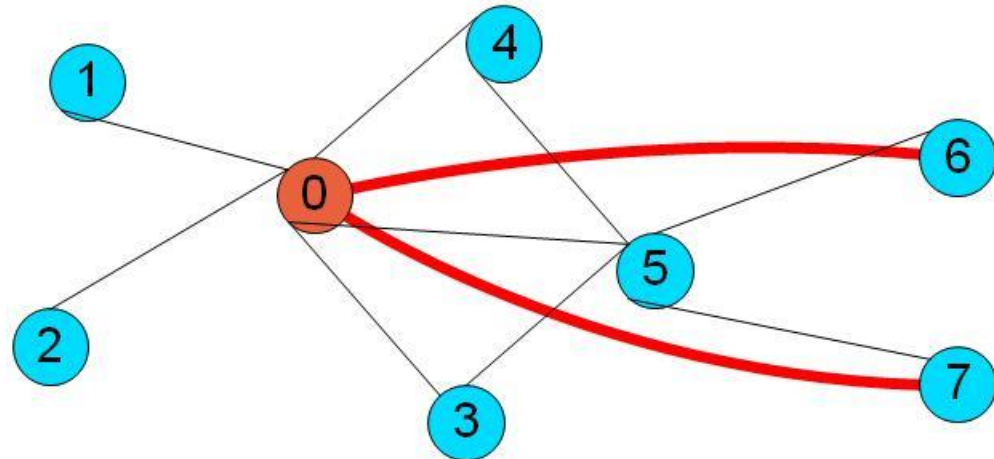


Topológiák



Forgalomirányítás

- ▶ Címmel kódolt hierarchia
- ▶ Reaktív forgalomirányítás



Tartalom

- ▶ Fizikai közeg
- ▶ 802.11
- ▶ Bluetooth
- ▶ ZigBee



A következő előadás tartalma

- ▶ Hálózati réteg
 - Címzés, forgalomirányítás
 - Csomagok
 - IPv4, IPv6 protokollcsalád
 - Forgalomirányítás
 - Forgalomirányító architektúra

