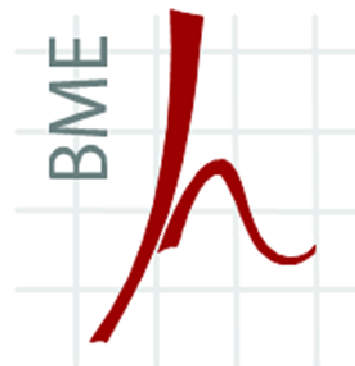




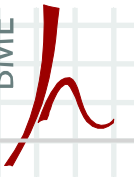
Vezeték nélküli LAN-ok IEEE 802.11

WLAN – Wireless Local Area Network
Wi-Fi – Wireless Fidelity

Dr. Simon Vilmos
adjunktus

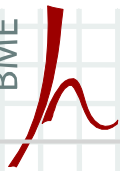
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
svilmos@hit.bme.hu



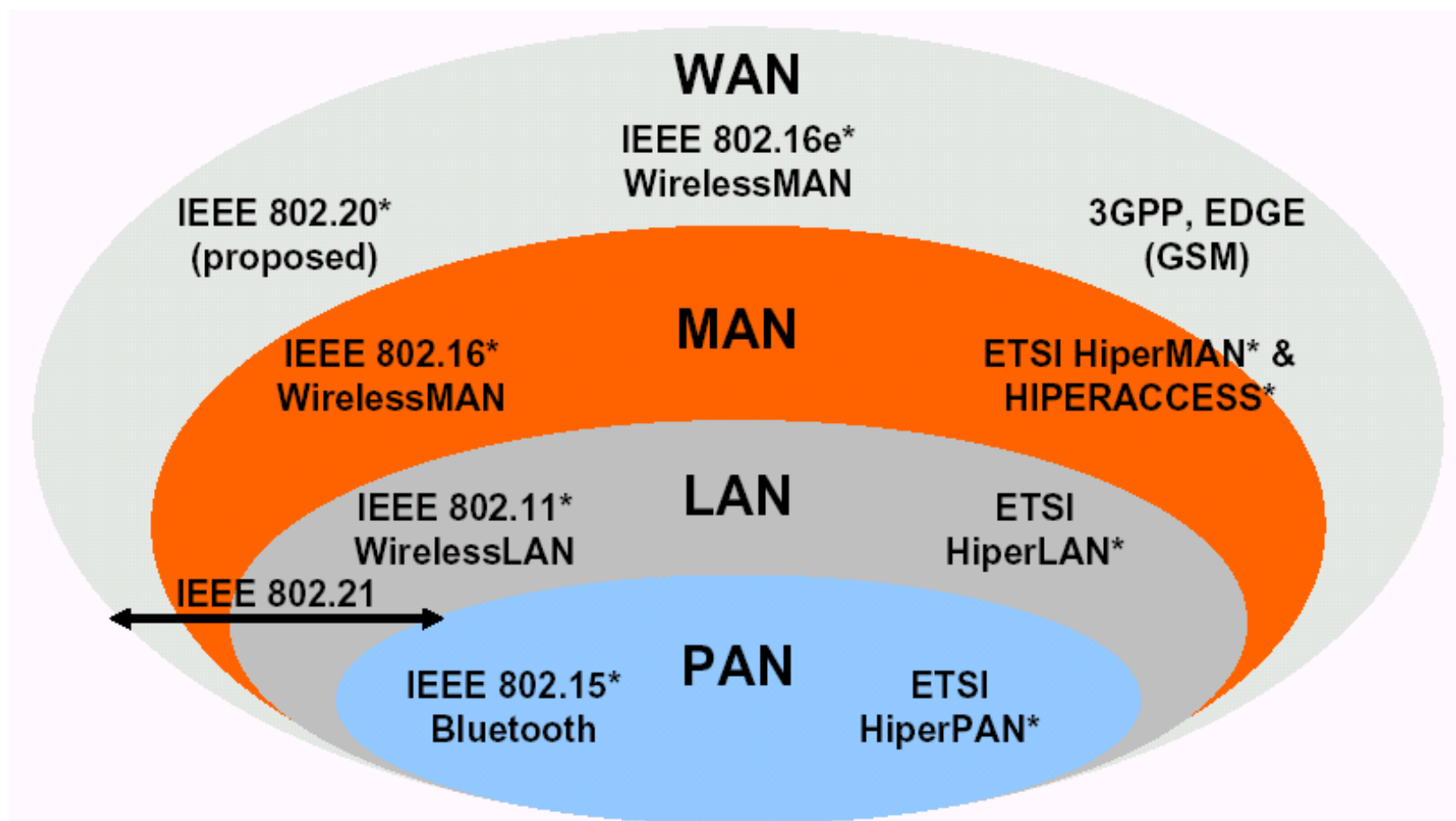


A számítógép-hálózatok klasszikus osztályozása területi lefedés szerint

- WAN – *Wide Area Network* – nagy kiterjedésű hálózat
 - távolsági megkötés nélküli, tetszőleges kiterjedésű hálózat
 - akár **globális méretű** is lehet
- MAN – *Metropolitan Area Network* – városi/nagyvárosi hálózat
 - eredetileg: egy tipikus USA-beli metropolitan area, de nem feltétlenül város
 - **néhány tíz km**
- LAN – *Local Area Network* – helyi v. lokális hálózat
 - tipikusan vállalaton, intézményen belüli hálózat
 - max. **néhány km-es** távolságok
- PAN – *Personal Area Network* – személyi hálózat



Vezetéknélküli hálózatok osztályozása kiterjedésük szerint



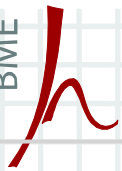
A wireless LAN-ok jellemzői

WLAN jellemzők:

- pár száz méter
- 1-2 Mbit/s-től a 100 Mbit/s-ig
- ISM sávban (engedélymentes): 2,4 GHz, 5,8 GHz

Jellegzetes alkalmazások:

- Épületen belüli LAN-ok részeként
 - kórházak, áruházak, hotelek, egyetemi campus, műemlék-épületek
- Közeli épületek közötti kapcsolat, pl. utca felett
- Otthoni iroda, kisvállalati iroda (SOHO – small office – home office)
- Nyilvános Internet-elérési pont



WLAN-eszközök

WLAN-kártya



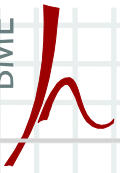
asztali számítógépekbe (PCI, ISA)



hordozható eszközökbe (PCMCIA)

AccessPoint (AP)





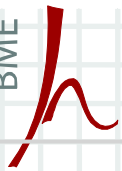
802.11-es szabványok

▪ **Különböző alszabványok**

- 802.11 – 1-2 Mbit/s, 2,4 GHz, FHSS/(DSSS/infra)
- 802.11a – 54 Mbit/s, 5 GHz, OFDM
- 802.11b – 11 Mbit/s, 2,4 GHz, DSSS, 11-13 csatorna
- 802.11g – 54 Mbps, 2,4 GHz, OFDM / DSSS, 13 csatorna
- 802.11n – akár 600 Mbit/s, 2,4/5 GHz, OFDM MIMO
- 802.11ac- fejlesztés alatt, 5GHz, max 1Gbps, multi-user MIMO, 256QAM

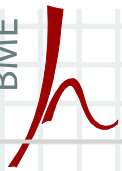
▪ **További alszabványok fontos kiegészítő funkciókra**

- 802.11e – QoS-támogatás
- 802.11h – automatikus teljesítményszabályozás (ATPC)
és dinamikus csatornaválasztás (DFS)
- 802.11i – adatbiztonság, titkosítás (pl: AES titkosítás)
- 802.11j – 802.11a - HiperLAN2 együttélés
- 802.11s – mesh-üzemmódú működés

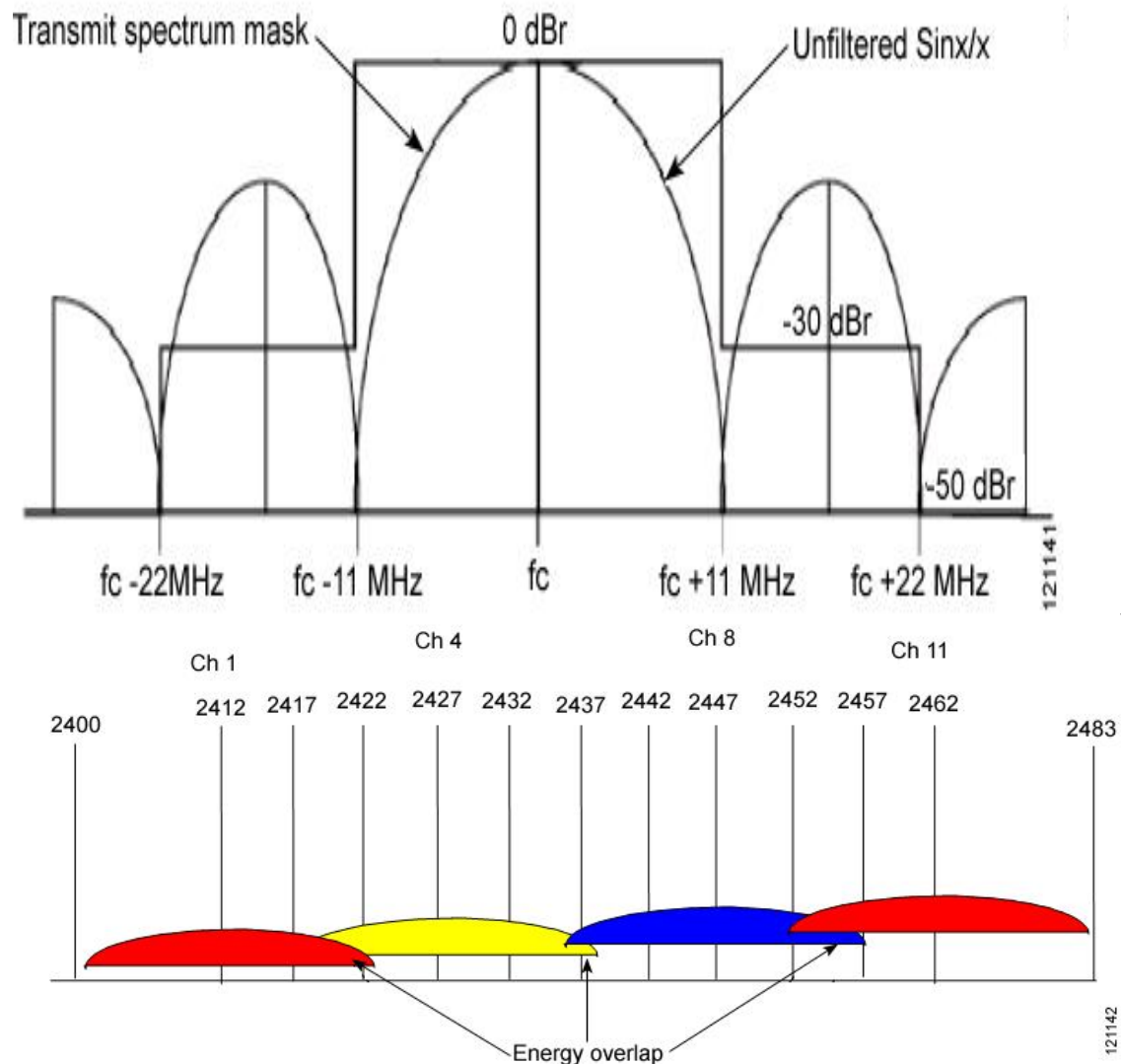


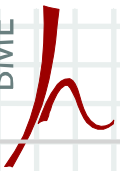
Csatornák (2,4Ghz)

- Pl. egy felosztás: 2.4000–2.4835 GHz sávban:
 - 13 db 22 MHz-es csatorna, egymástól 5 MHz-re a középfrekvencia
- Spektrális maszk minden csatornára (átlapolódás miatt)
 - Frekvencia közepétől 30dB-es csillapítás +/-11Mhz-re
- Egyszerre lehet használni pl. 1.,6.,11.csatornát átlapolodás nélkül
 - Közel-távol probléma akkor is gond lehet!
- Így is interferencia: mikrosütő, cordless telefon, Bluetooth
- 5Ghz-es sávban 23 nem átlapolódó csatorna

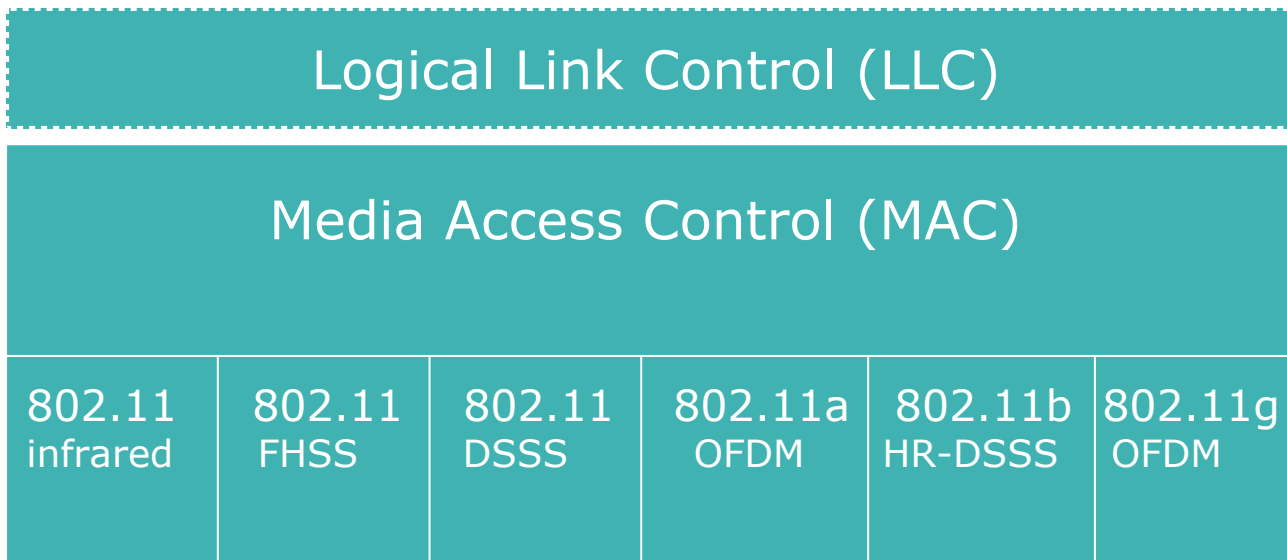


Spektrális maszk, 802.11b



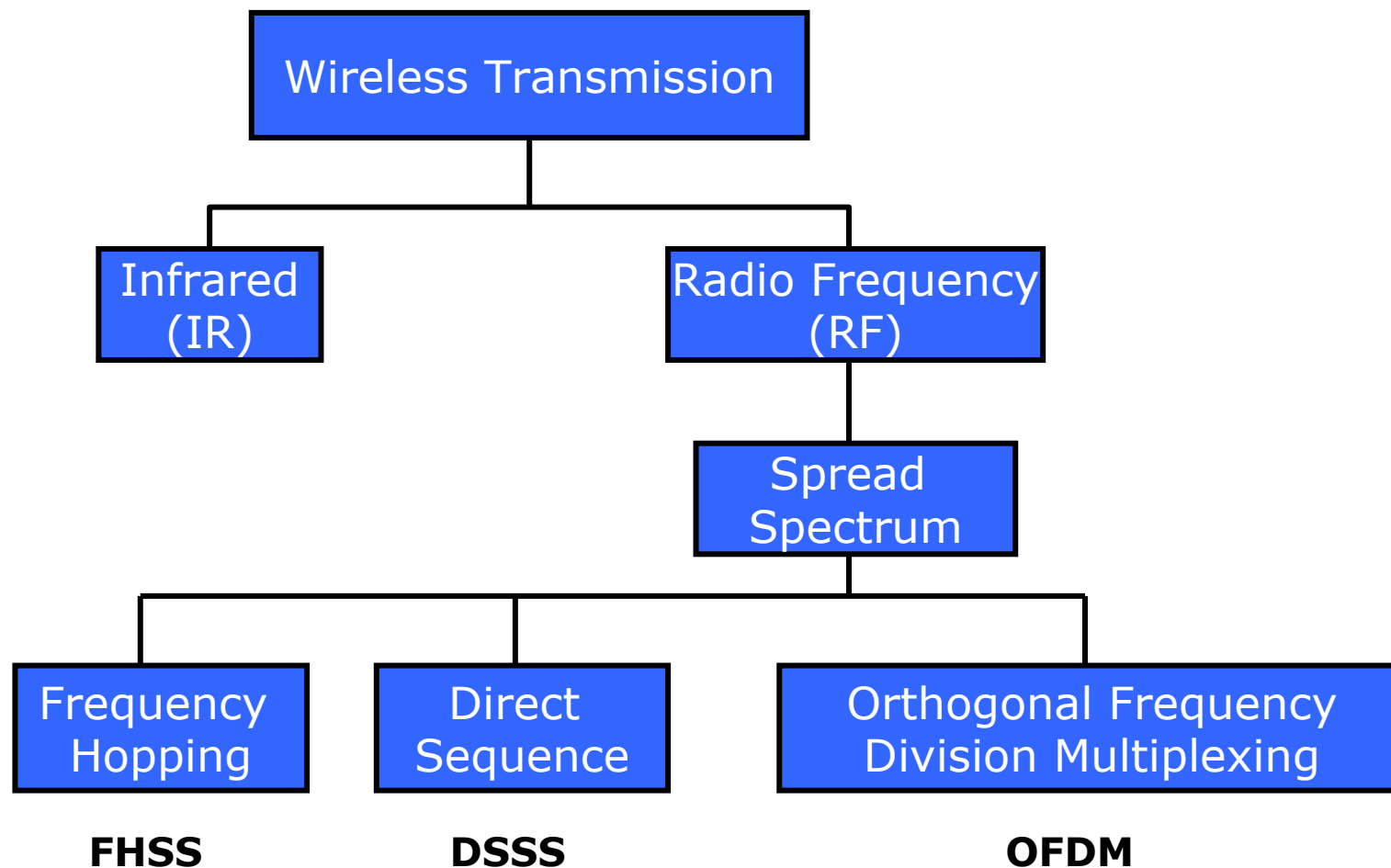


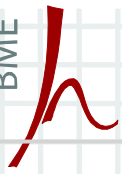
802.11 szabványok



Szabványváltozatok a különböző rétegeknek megfelelően

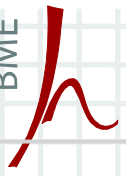
A vezeték nélküli kommunikáció fizikai formái



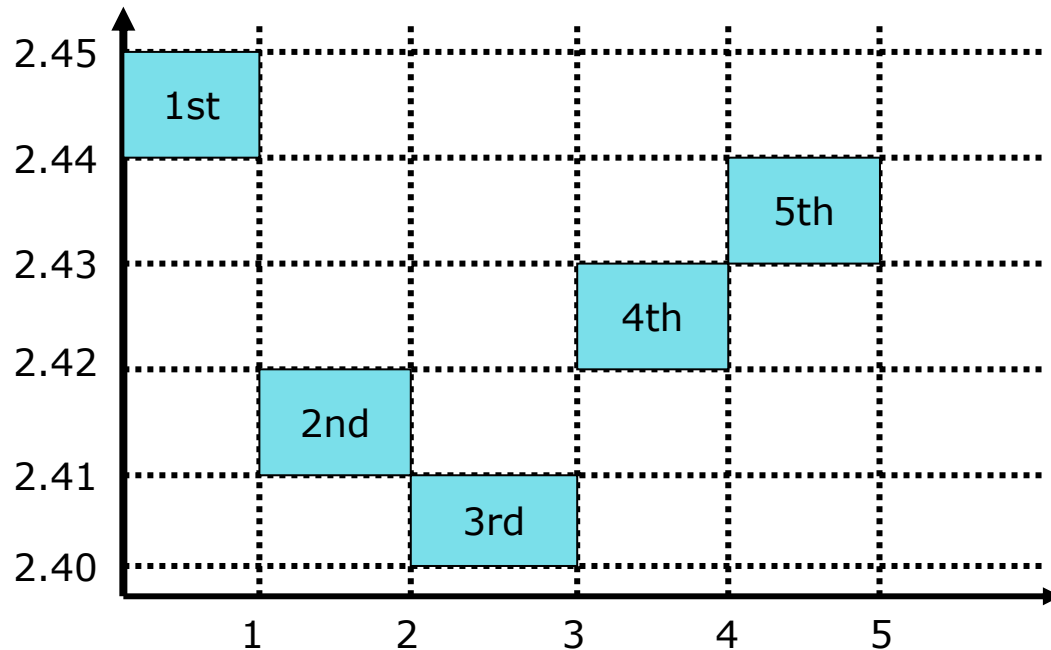


DSSS: detekció, zavarvédetség

- Detekció: **korrelációs vevő**, a kódolásnál alkalmazott álvéletlen jelsorozattal, szinkronban
 - A korrelációs detektor maximumot ad az adott chip-időn belül és alacsony értékeket más helyeken
 - A zajjal, zavarokkal nincs korreláció
 - Többutas terjedés esetén az interferáló jelekkel kicsi a korreláció
- A **chip-frekvencia („processing gain”)** megválasztása
 - Hosszú kód: jó zavarvédetség
 - Rövid kód: kisebb sáv szélesség igény
- IEEE 802.11 : 11 bites szórás
 - FCC: min. 10 az ISM sávban
 - 11-es érték nem túl nagy: **mérsékelt zavarvédetség, de jó sáv szélesség-gazdálkodás**



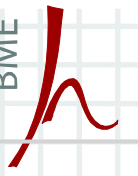
Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) *



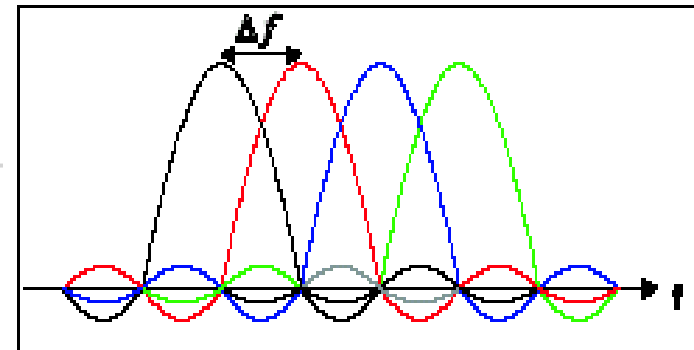
- Több frekvenciát használ
- Példa:
 - 10 MHz helyett 50 MHz-et használ
 - Az első bit (vagy bitek egy csoportja) 2,44 GHz-en, a második bit 2,41 GHz-en, míg a harmadik bit 2,30 GHz-en kerül kiküldésre

FHSS: fő paraméterek

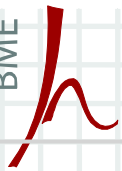
- Lassú és gyors frekvenciaugratás
 - Bitsebesség $>$ vagy $<$ a hopping-sebességnél
- A 2.4 GHz ISM sávban:
 - Min. 75 frekvencia használata
 - Max. 400 ms egy frekvencián, ha 400, akkor 2,5 ugrás/s;
 - FHSS $\Leftrightarrow$ DSSS
 - Különböző sáv szélesség igény és adatsebességek
 - FHSS védettebb a keskenysávú zavarokkal szemben
 - mivel az egész ISM sávra kiterjed, a DSSS csak egy részére



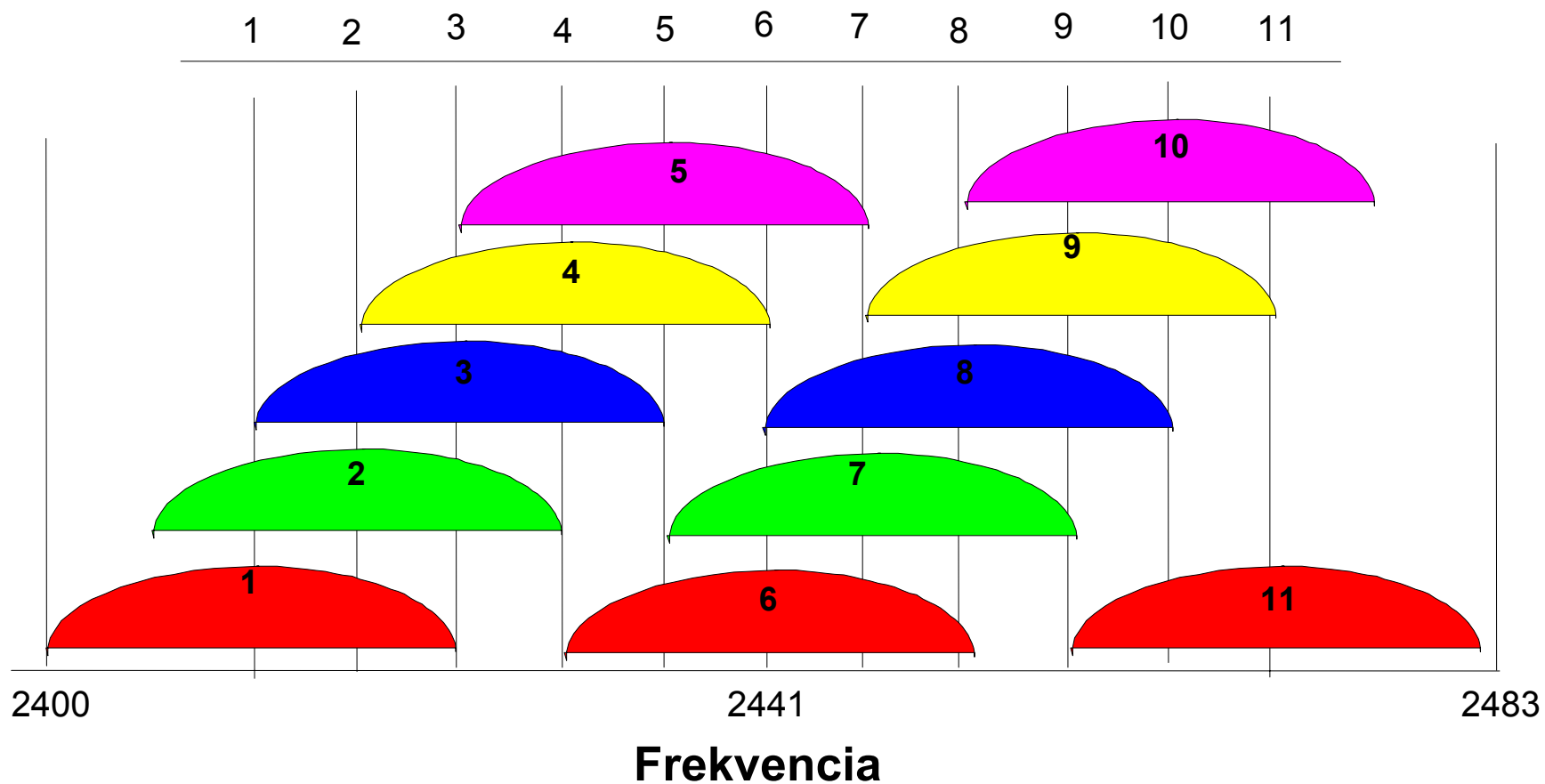
Orthogonal Frequency Division Multiplexing

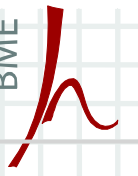


- A sáv felosztása sok részsávra
 - ezekben továbbítjuk a párhuzamosított jelfolyamot
 - részsávon belül QAM (16 v. 64) vagy PSK (B v. Q)
- A spektrum hatékony kihasználása: **„ortogonális” vivőkkel**
 - a sávok nem diszjunktak, a spektrumok „össze vannak tolva”, egymásba átlógnak
 - viszont szétválaszthatók, mert eleget tesznek a **Nyquist-elv**nek



Csatornakiosztás





OFDM előnyei-hátrányai

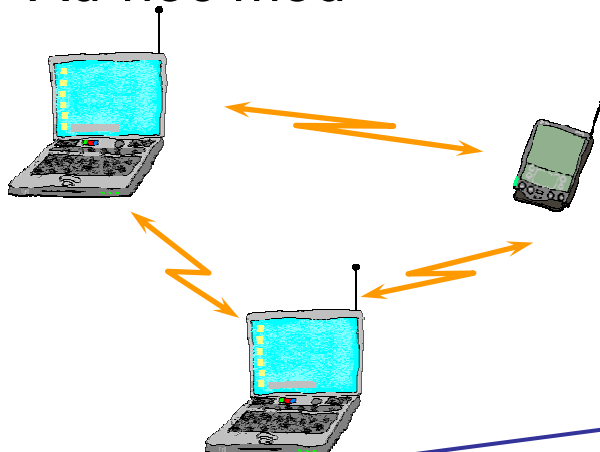
+:

- Jó védetség a ISI, keskenysávú interferencia és frekvencia szelektív fading ellen
- Magas spektrális hatékonyság

-:

- Érzékeny a Doppler-effektusra és frekvencia szinkronizációra

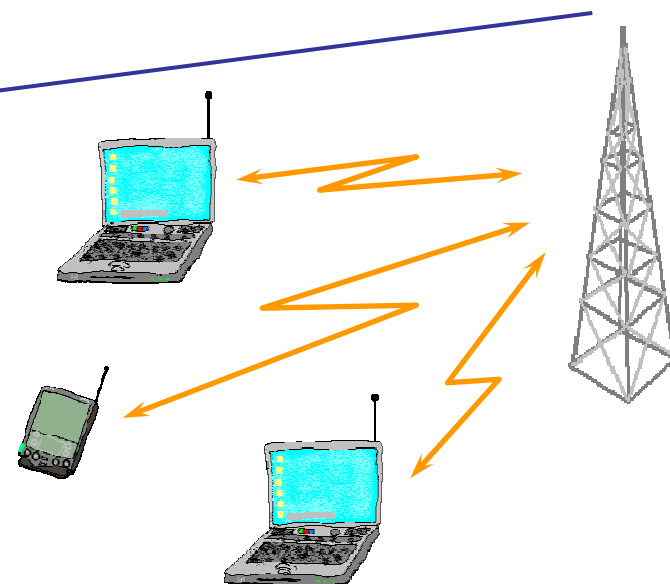
■ Ad-hoc mód



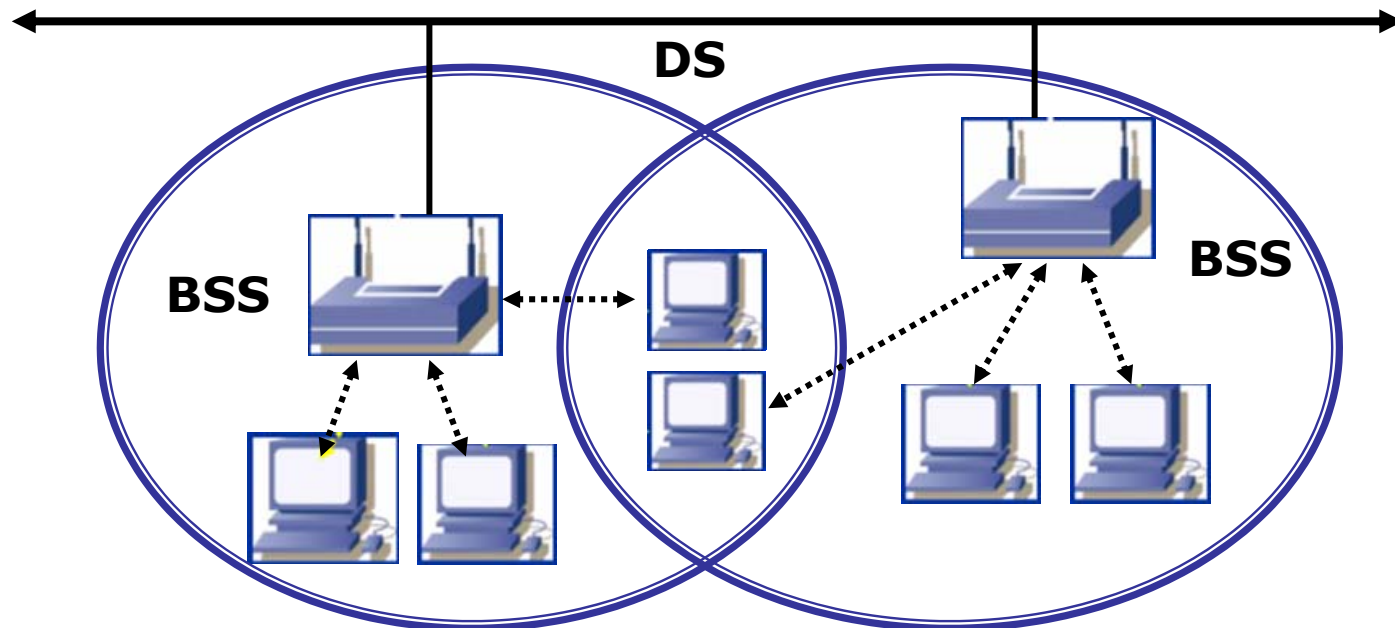
- Részei: csak kliensek
- Kommunikáció: **peer-to-peer**
- Eseti hálózatok esetén

■ Infrastruktúra mód

- Részei: Access Point (AP) + kliensek
- Kommunikáció: csak **AP-kliens**
- AP: kapcsolat a vezetékes és a vezeték nélküli hálózat között



WLAN-ok topológiája (BSS és ESS)

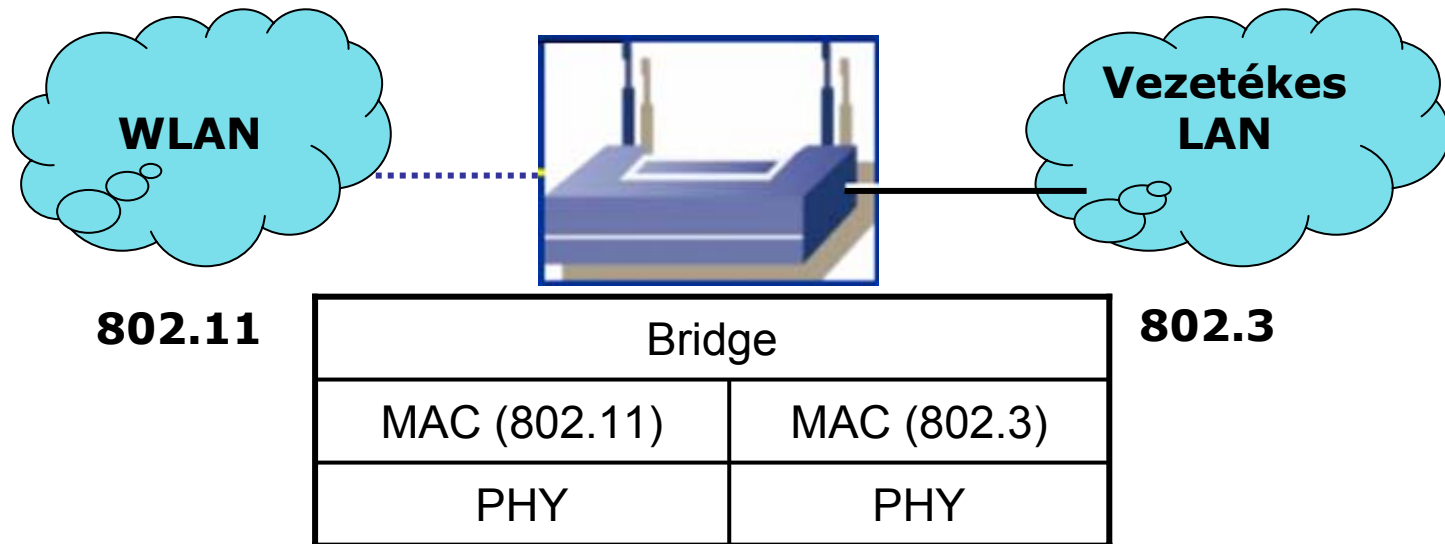


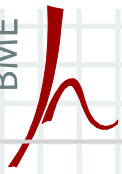
Basic Service Set (BSS) – egy cella

Extended Service Set (ESS) – több cella

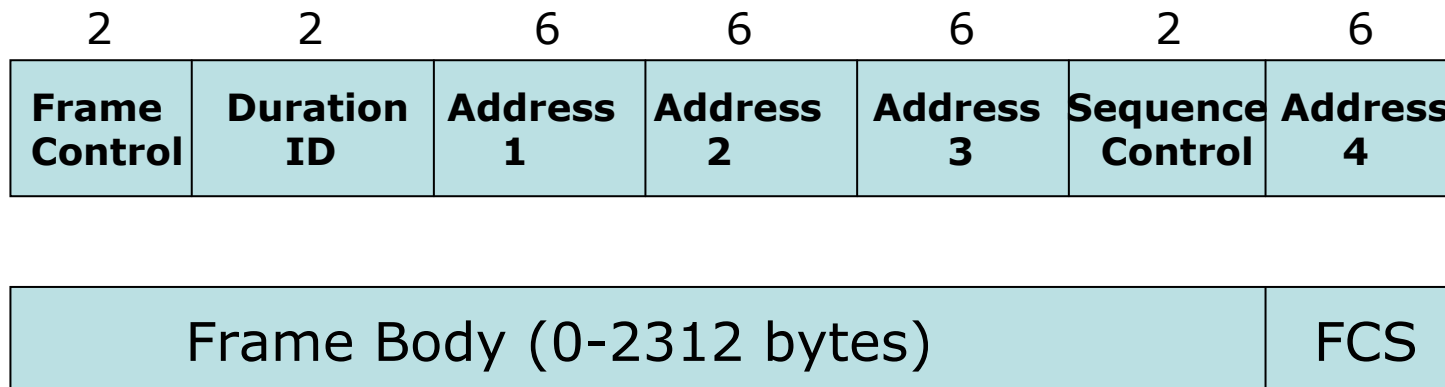
Distribution System (DS) – elosztóhálózat (gerinc)

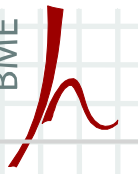
Wireless Access Point (WAP) – Bridge





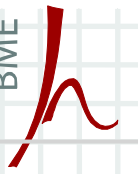
802.11 keretformátum





Vezérlési keretmező (Frame control)

- Protokoll verzió (2bit)
- Típus (2 bit): vezérlési, adat vagy menedzsment keret
- ToDS-FromDS (1-1 bit): elosztóhálózatba/ból
 - BSS-en belüli kommunikáció esetén 00
- További bitek:
 - fragmentáció
 - újraadott keret
 - teljesítményszabályozás stb.



802.11 címek

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	DA	SA	BSSID	N/A
0	1	DA	Sending AP	SA	N/A
1	0	Receiving AP	SA	DA	N/A
1	1	Receiving AP	Sending AP	DA	SA

DS: Distribution System

DA: Destination Address (Célcím)

BSSID: Basic Service Set ID

SA: Source Address (Forráscím)

„00”-eset



11-22-33-01-01-01



11-22-33-02-02-02

A1: 11-22-33-01-01-01

DA

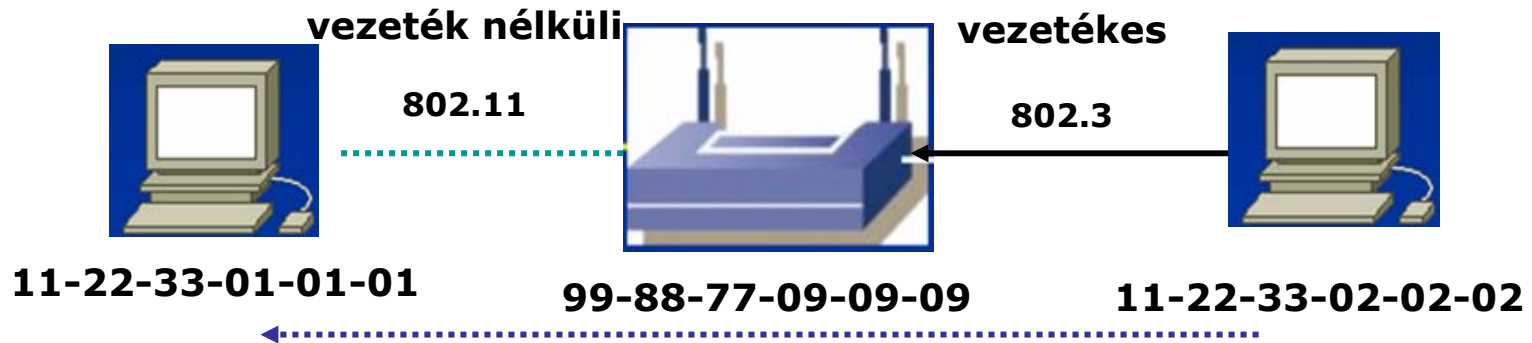
A2: 11-22-33-02-02-02

SA

A3: BSS ID

A4: nem használt

„01”-eset (vezetékesből vezeték nélkülibe)



A1: 11-22-33-01-01-01

A2: 99-88-77-09-09-09

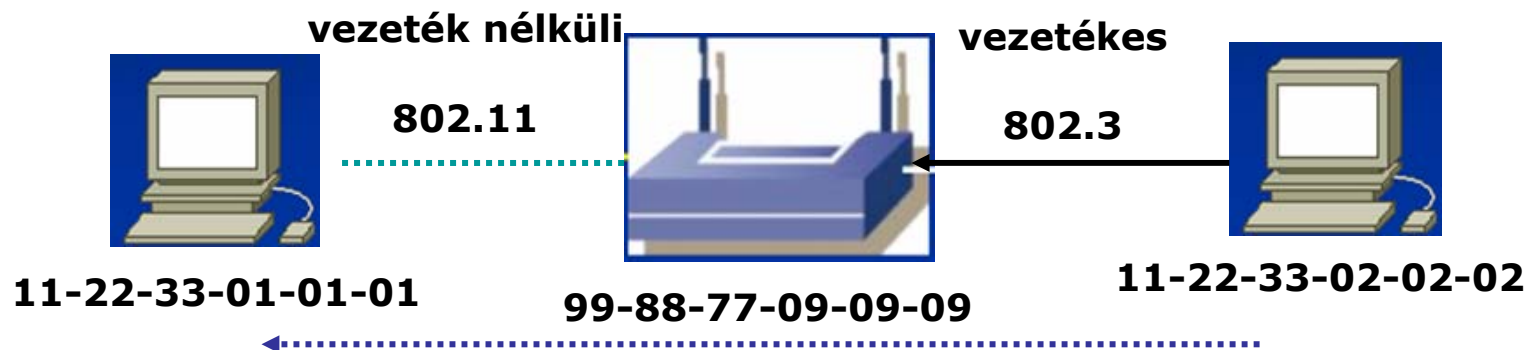
A3: 11-22-33-02-02-02

A4: nem használt

DA: 11-22-33-01-01-01

SA: 11-22-33-02-02-02

„10”-eset (vezeték nélküliből vezetékesbe)



A1: 99-88-77-09-09-09

A2: 11-22-33-01-01-01

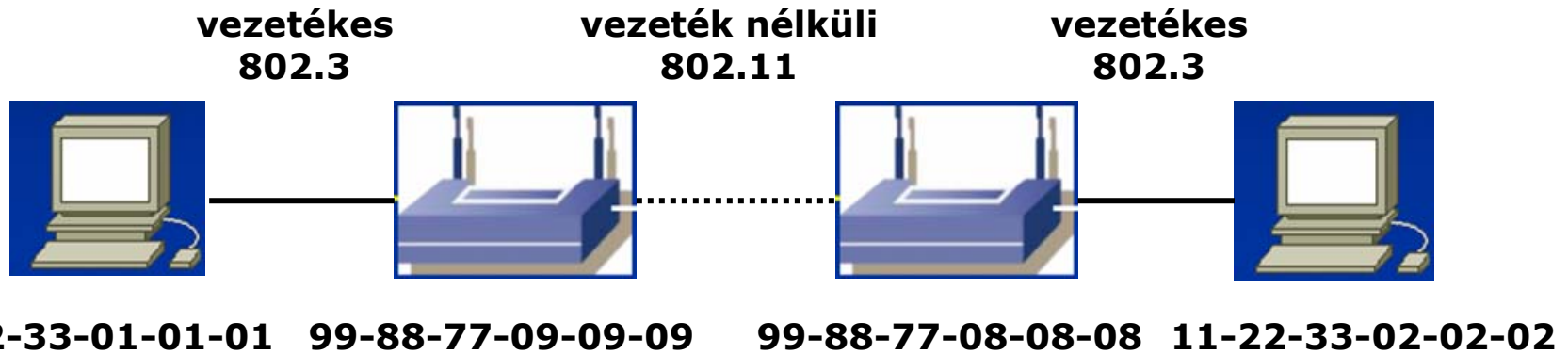
A3: 11-22-33-02-02-02

A4: nem használt

DA: 11-22-33-02-02-02

SA: 11-22-33-01-01-01

„11”-eset (vezeték nélküli összekapcsolás)

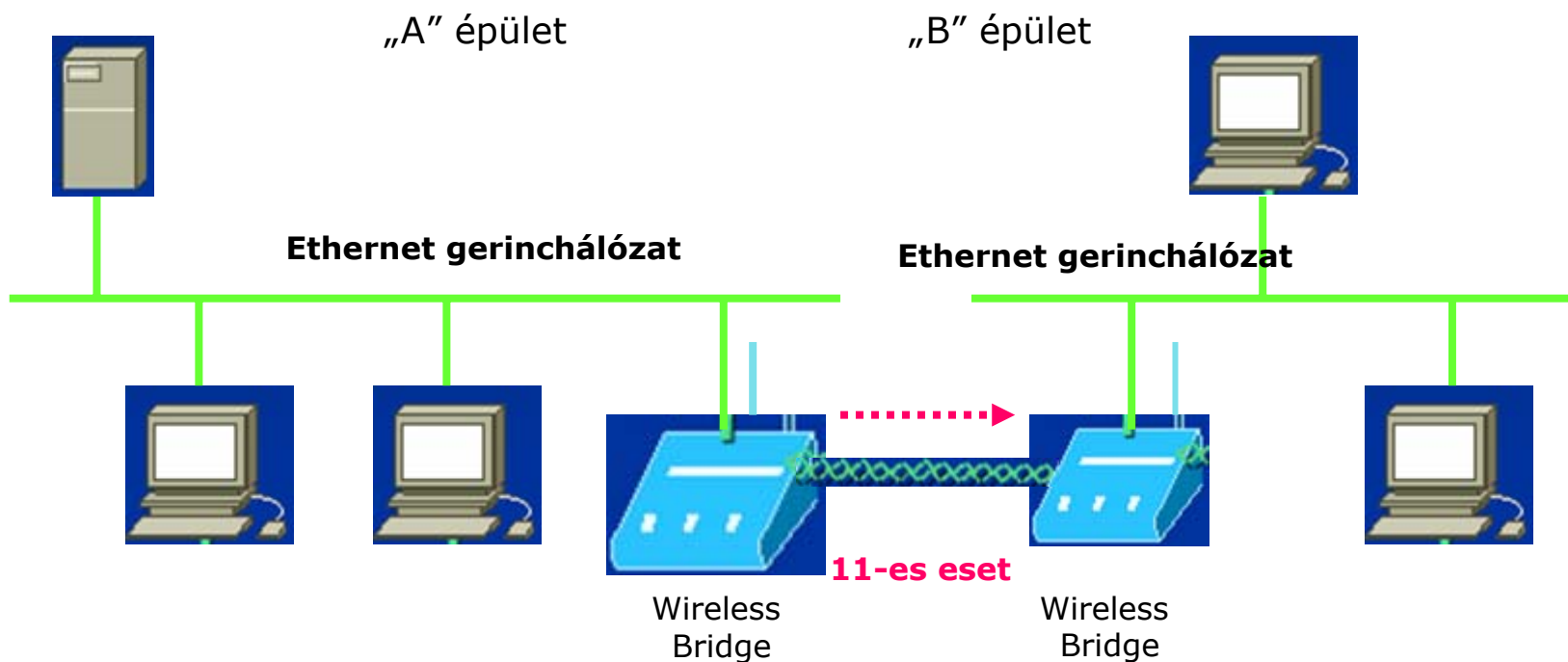


DA: 11-22-33-02-02-02
SA: 11-22-33-01-01-01

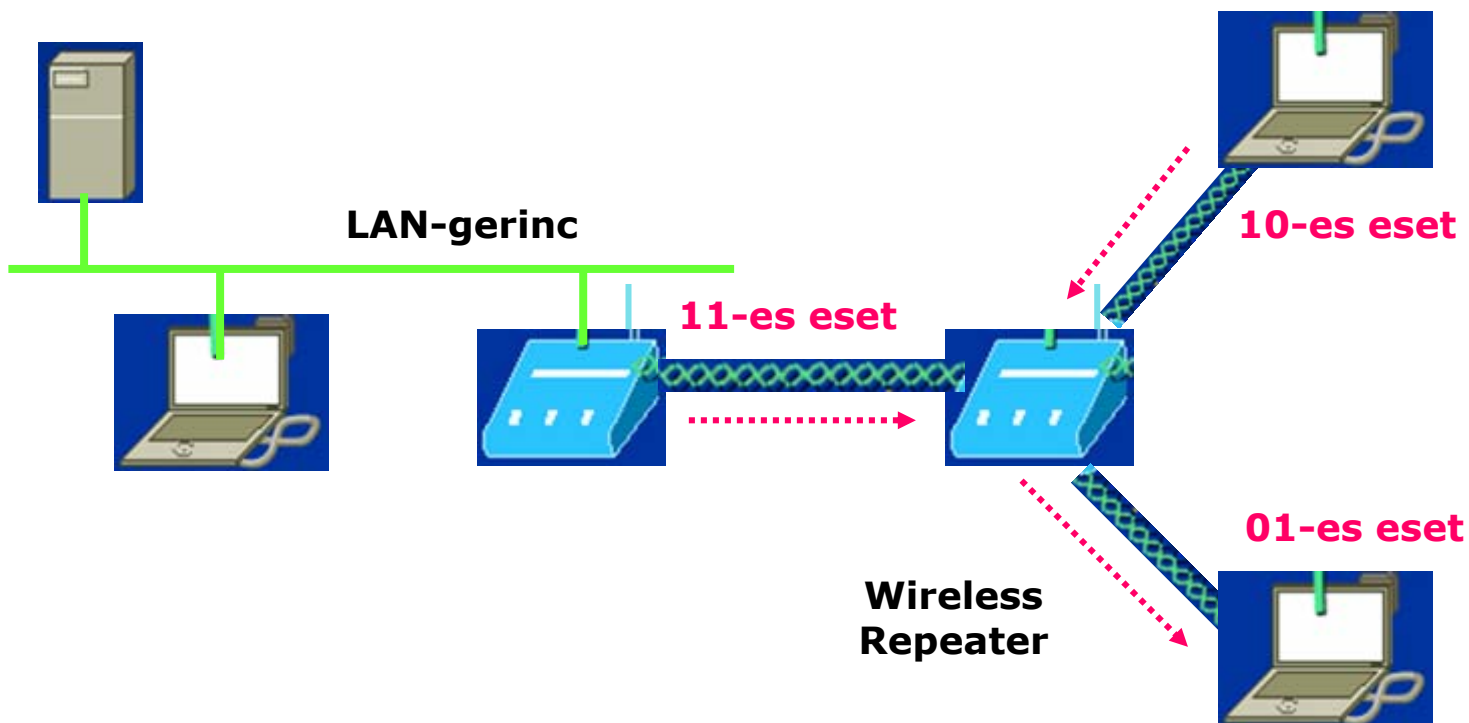
A1:99-88-77-08-08-08
A2:99-88-77-09-09-09
A3:11-22-33-02-02-02
A4:11-22-33-01-01-01

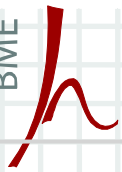
DA: 11-22-33-02-02-02
SA:11-22-33-01-01-01

Vezeték nélküli híd (bridge)



Vezeték nélküli ismétlő (repeater)



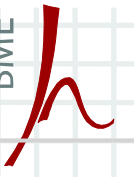


802.11 MAC-réteg- Hozzáférési módszerek

- Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance – CSMA/CA
 - Nem CSMA/CD (802.3), **CS**, de nem **CD**
 - Vezeték nélküli LAN-okban nem lehet ütközést detektálni
- Két hozzáférési módszer:
 - **Distributed Coordination Function (DCF)**
 - **Point Coordination Function (PCF)**

Distributed Coordination Function (DCF)

- A MAC alsó alrétege
- CSMA/CA
 - Collision Avoidance – Ütközés-elkerülés
- Nincs ütközésdetekció
 - az állomások nem képesek észlelni a máshonnan érkező jelek által létrehozott ütközést
- Különböző értékű IFS-ek (Inter Frame Space)
 - Short IFS (SIFS) – rövid IFS vezérlőüzenetek számára
 - PCF IFS (PIFS)
 - DCF IFS (DIFS) – adatkeretek számára



SIFS-PIFS-DIFS

■ SIFS:

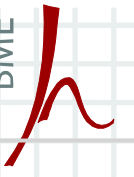
- Magas prioritású adások esetén: ők férnek legelőbb a csatornához
- Pl. SIFS után: ACK, CTS
- Konstans értékű (10 v. 16 μ s)
- Reduced IFS (RIFS): 802.11n szabványban, még rövidebb

■ PIFS: PCF képes AP várakozási ideje

- $\text{PIFS} = \text{SIFS} + \text{Részidő}$

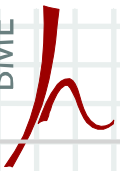
■ DIFS: adatkereteknek

- $\text{DIFS} = \text{SIFS} + (2 * \text{Részidő})$

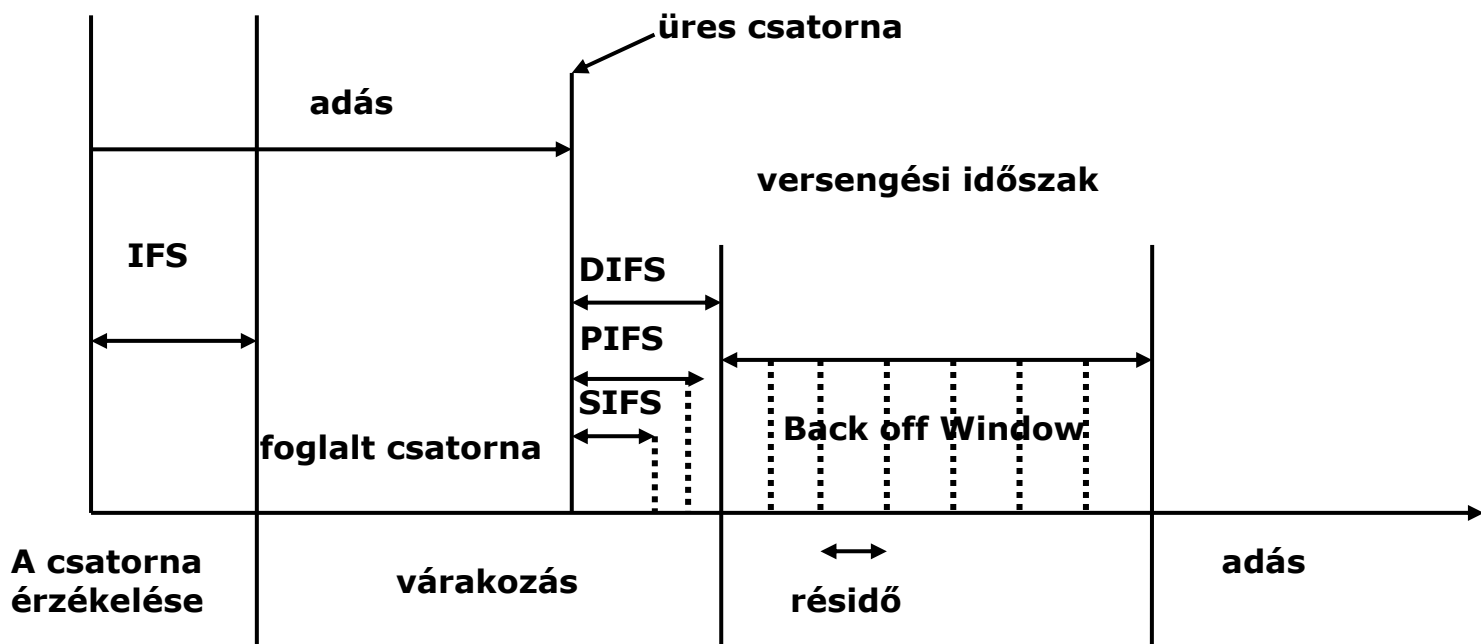


DCF algoritmus

- Ha a csatorna szabad, az állomás vár, hogy szabad maradjon (D)IFS ideig. Ha igen, ad.
- Ha a csatorna foglalt (vagy már az elején, vagy azzá válik az IFS alatt), az állomás tovább figyel.
- Amikor a csatorna szabaddá válik, az állomás vár (D)IFS ideig, majd egy véletlen késleltetést választ. Amikor az letelik, megkezdheti az adását.
- Sikeres adás esetén ACK-ot vár a vevőtől.



CSMA/CA (DCF)



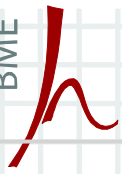
DIFS: DCF IFS

PIFS: PCF IFS

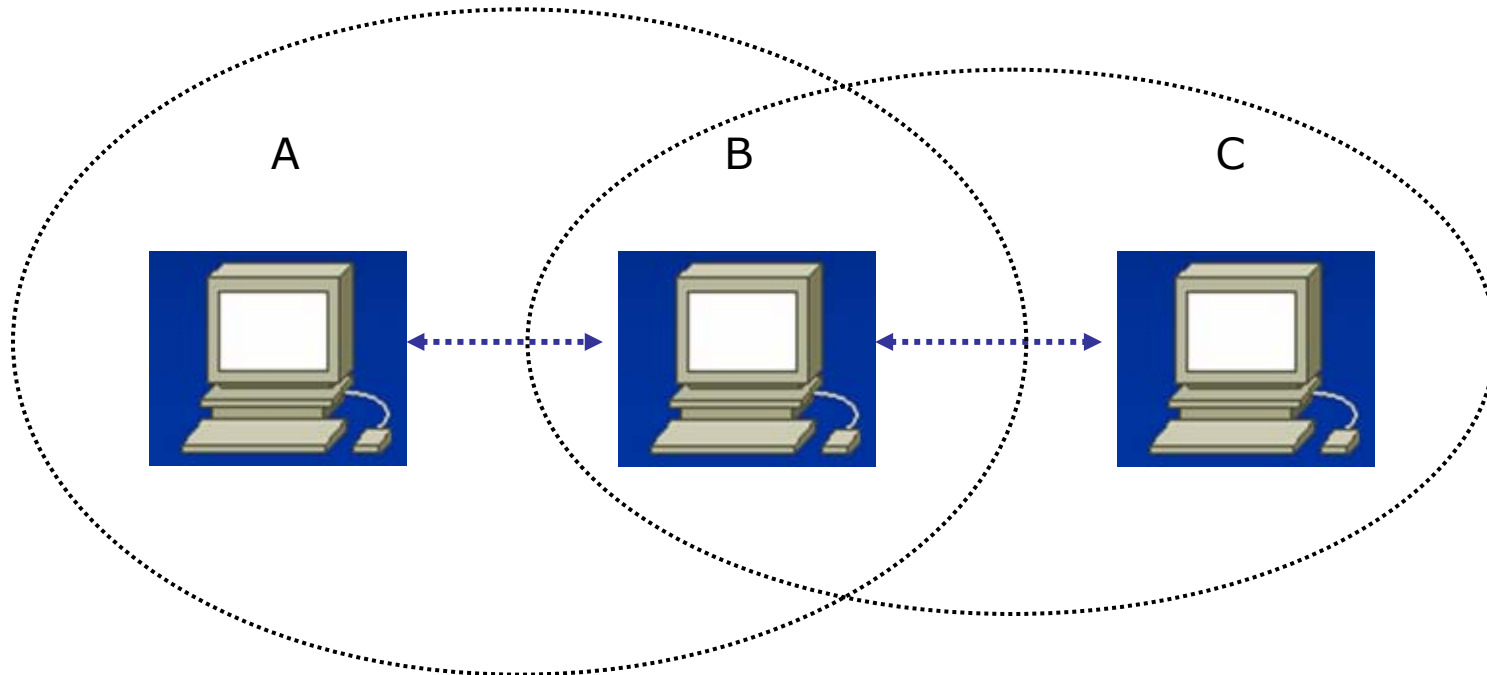
SIFS: Short IFS

Az exponenciális backoff algoritmus

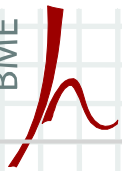
- $\text{Backoff_Time} = \text{INT}(\text{CW} * \text{RND}()) * \text{Slot_Time}$
 - CW – Contention Window
 - Kezdetben 31, majd 63, 127 stb. A késleltetést itt résidőben (Slot_Time) mérjük
 - Résidő
 - Úgy kerül megválasztásra, hogy azalatt az állomás biztosan érzékelhesse a csatorna foglaltságát
 - 20 μs (DSSS), 50 μs (FHSS)
 - RND()
 - Véletlen számot generáló függvény 0 és 1 között



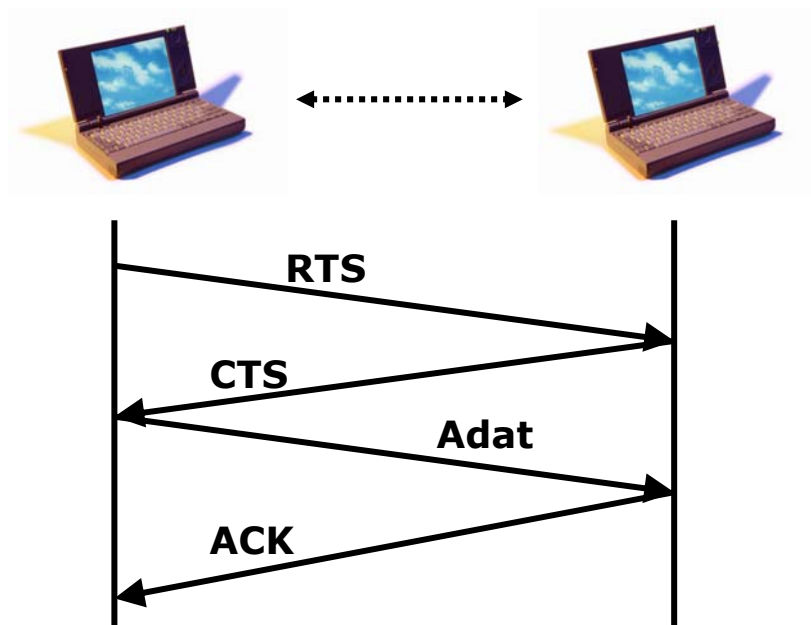
A rejtett állomás problémája



A kommunikál B-vel. C nem tud erről, ezért ő is elkezd B-nek üzeneteket továbbítani. Ez B-nél ütközéshez vezet.



Megoldás: RTS/CTS Handshaking



RTS – Request To Send
(küldés kérése)

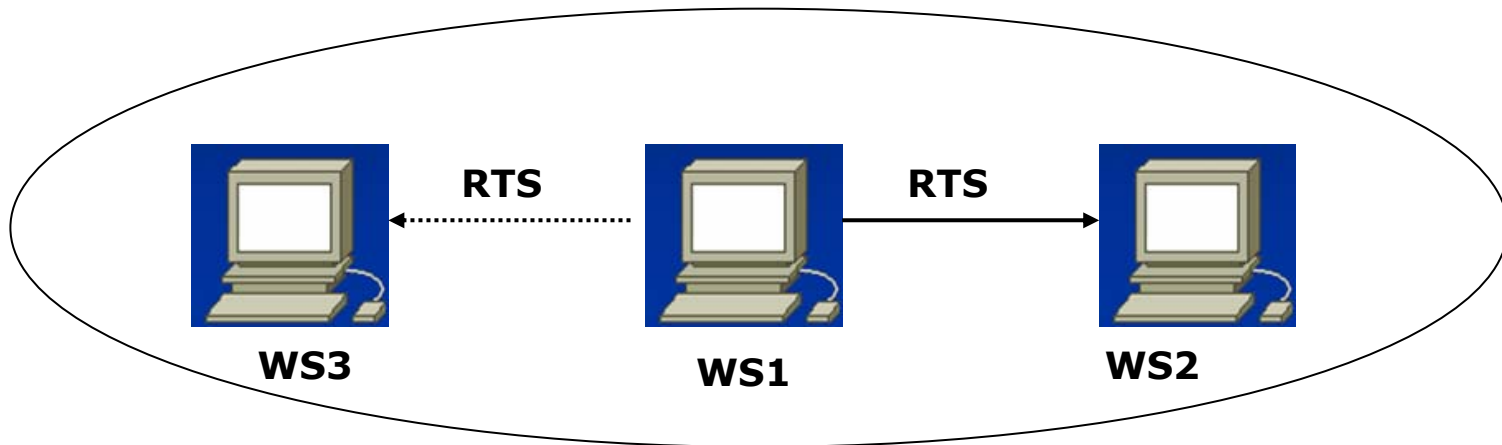
CTS – Clear To Send
(szabad küldeni)

ACK – ACKnowledgement
(nyugta)

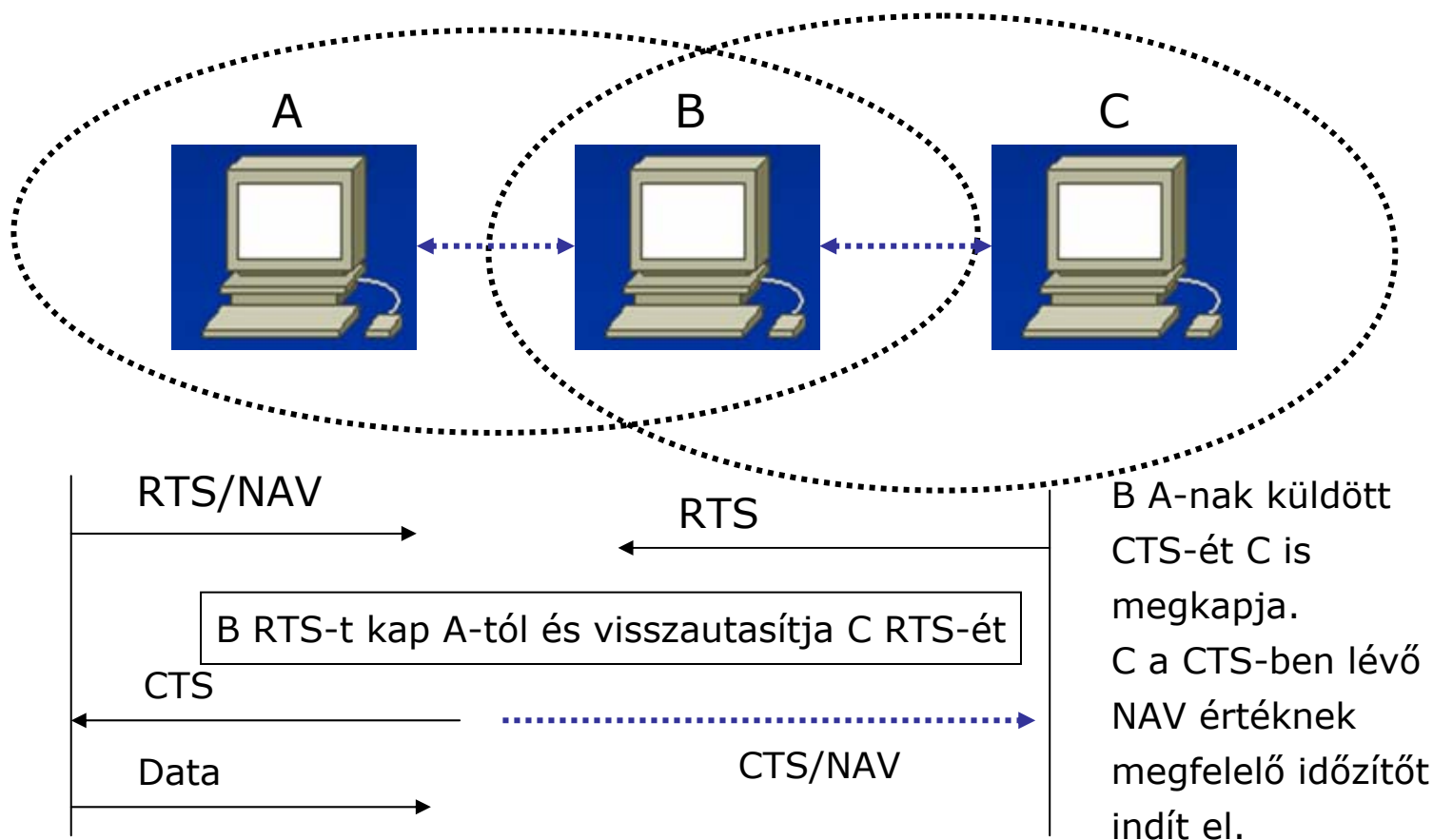
- A WLAN-oknál opcionális eljárás

Network Allocation Vector (NAV)

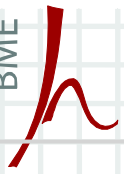
- Minden RTS keret tartalmazza azt az időt, ameddig az állomás el akarja foglalni a csatornát
- NAV: számláló a többi állomásnál, amelyeknek NAV ideig várniuk kell, mielőtt megnéznék, hogy a csatorna szabad-e
- Amikor az állomás (WS1) RTS-t (vagy CTS-t) küld, a többi (WS2 és WS3) elindítja a NAV-ot



RTS/CTS + NAV: Megoldás a rejtett állomás problémájára

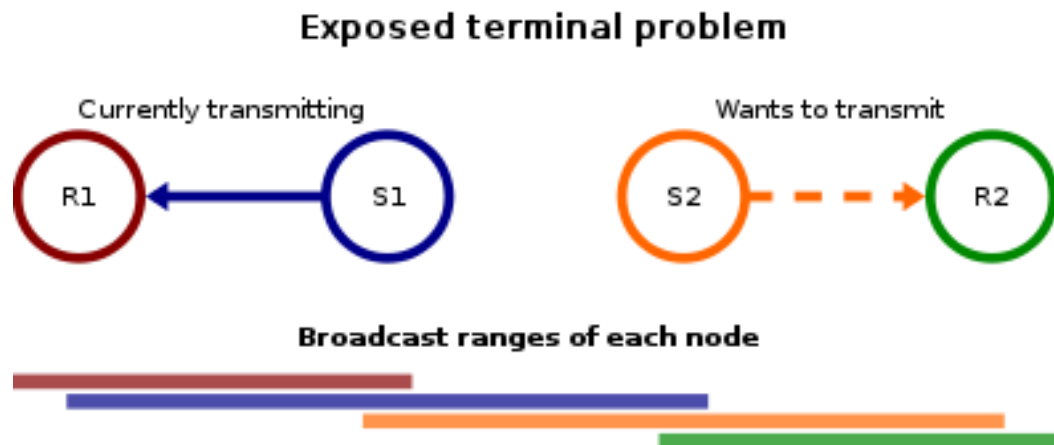


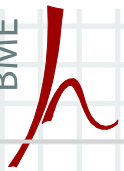
- Fizikailag foglalt
 - Az állomás foglaltnak érzékeli a rádiócsatornát
- „Virtuálisan” foglalt
 - Az állomás RTS-t vagy CTS-t vesz, amely jelzi hogy a csatorna foglalt lesz a NAV időtartamán



Exponált terminál probléma

- RTS/CTS csak akkor oldja meg, ha az állomások szinkronizáltak és egyezik a csomagméretük és adatrátájuk
- Ha hall a szomszédos állomástól RTS-t, de CTS-t nem: exponált terminál lehet, így adhat
- Gyakorlatban nem oldja meg



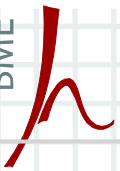


RTS/CTS értékelése

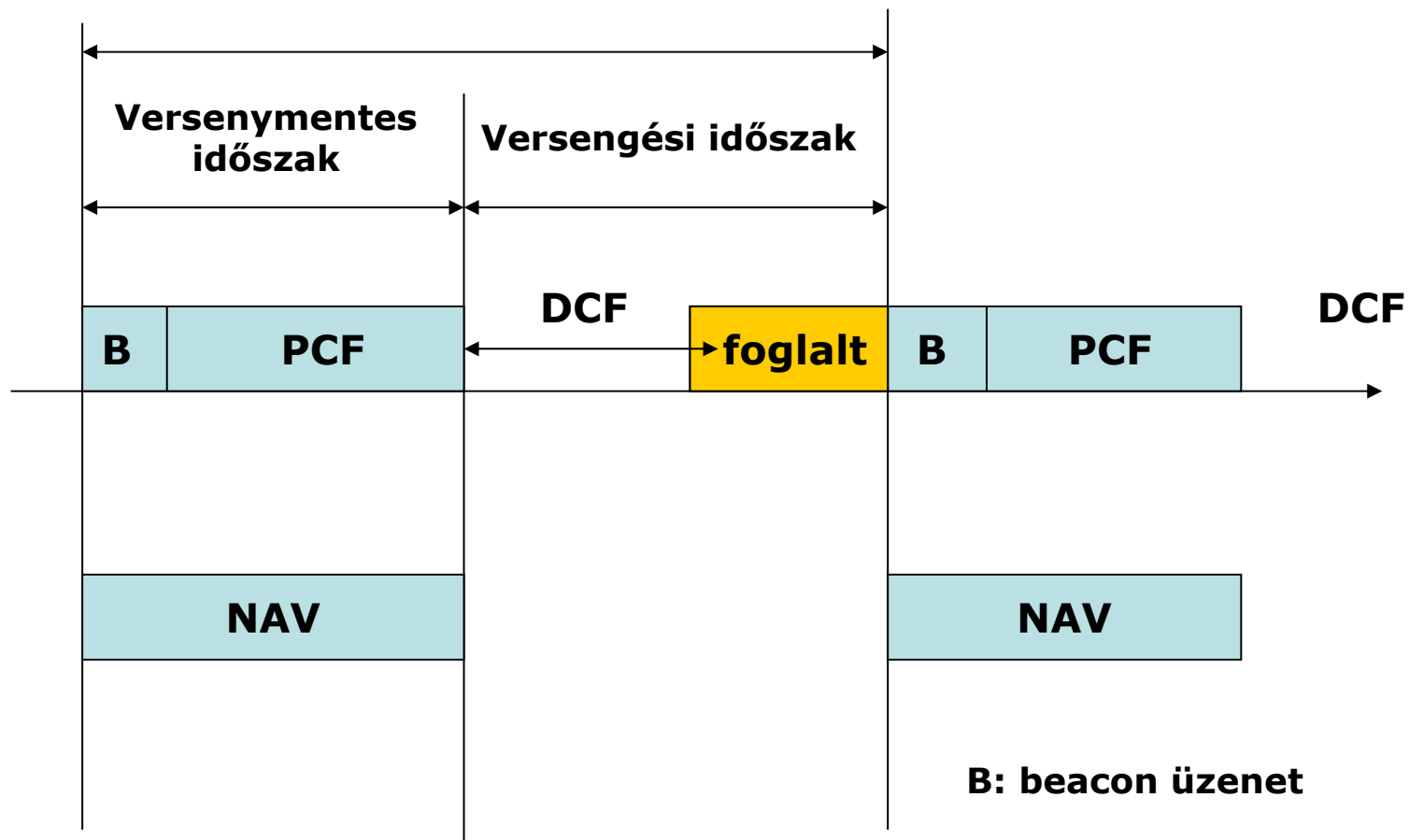
- WLAN-oknál opcionális eljárás
- Előnyös használni, ha
 - a rejtett állomás probléma fennállhat
 - nagy verseny van
 - sok nagy forgalmú állomás
 - a rövidebb keretek (RTS/CTS) ütköznek, nem a hosszabb adatkeretek
- Hátrány
 - Kisebb a felhasználható adatsebesség
 - RTS/CTS-re fordított idő kiesik
 - Jelentősen megnőhet a késleltetés

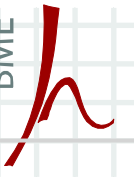
Point Coordination Function (PCF)

- 1) Opcionális és ha van, a DCF „felett”, azzal együttesen valósítják meg
- 2) Egyetlen AP vezérli a hozzáférést
- 3) Az AP által küldött jelzőüzenet (beacon) hatására az állomások beszüntetik a DCF működést
- 4) Az AP lekérdezi sorban az állomásokat
⇒ Garantált a maximális késleltetés
- 5) Egy állomás csak akkor adhat, ha kérdezik
- 6) Prioritásokat is lehet az állomásokhoz rendelni, így időérzékeny alkalmazások is támogathatók



A PCF időbeli működése





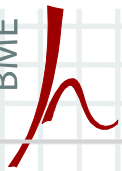
DCF vs. PCF

- DCF hátrányai:
 - Sok kommunikáló terminál esetén sok ütközés
 - Nincsenek proritások, nincs QoS
 - Ha egyszer megszerzi egy terminál a csatornát, sokáig tarthatja

- PCF:
 - Van QoS, de nem elterjedt

Szolgáltatásminőség biztosítása (QoS) a WLAN-okban: a 802.11e szabvány

- **HCF – Hybrid Coordination Function**
- Kétféle MAC-módszer, DCF-PCF analógia
- Forgalmi osztályok (Traffic Category): pl. e-mail alacsony, Voice over WLAN magas prioritású
- **EDCA – Enhanced Distributed Channel Access**
 - Versenyzés: prioritásos kevesebb ideig vár
 - Van itt is versenymentes idő: hang és video számára
- **HCCA – HCF Controlled Channel Access**
 - Mint PCF, de AP bármikor elrendelhet versenymentes periódust, egyébként EDCA verseny
 - Nem csak állomás, hanem **forgalomosztály ütemezés** is
 - Előre veszi a magasabb prioritású osztályt (**per-session service**)
 - Legbonyolultabb CF, állomásokon DCF felett is működhet, AP-n új ütemező kell, ritkán valósítják meg

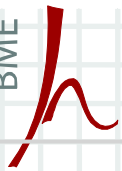


WLAN-ok teljesítőképessége

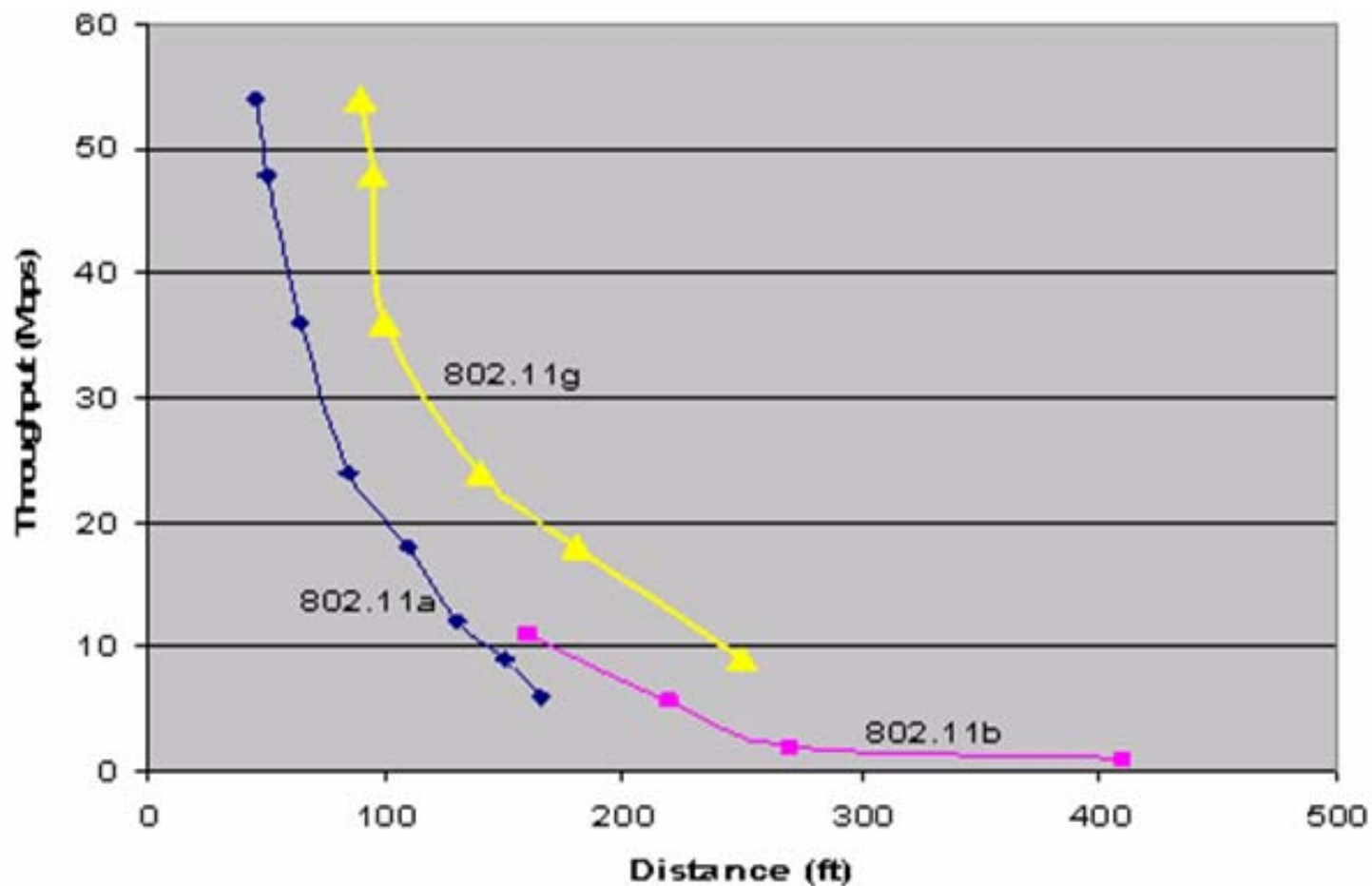
	802.11b	802.11a	802.11g
Elméleti maximális sebesség [Mbit/s]	11	54	54
UDP [Mbit/s]	7,1	30,5	30,5
TCP [Mbit/s]	5,9	24,4	24,4

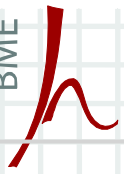
A teszt laboratóriumi körülmények között zajlott 10 m-nél kisebb távolságból.

"WLAN Testing with IXIA IxChariot", IXIA White Paper

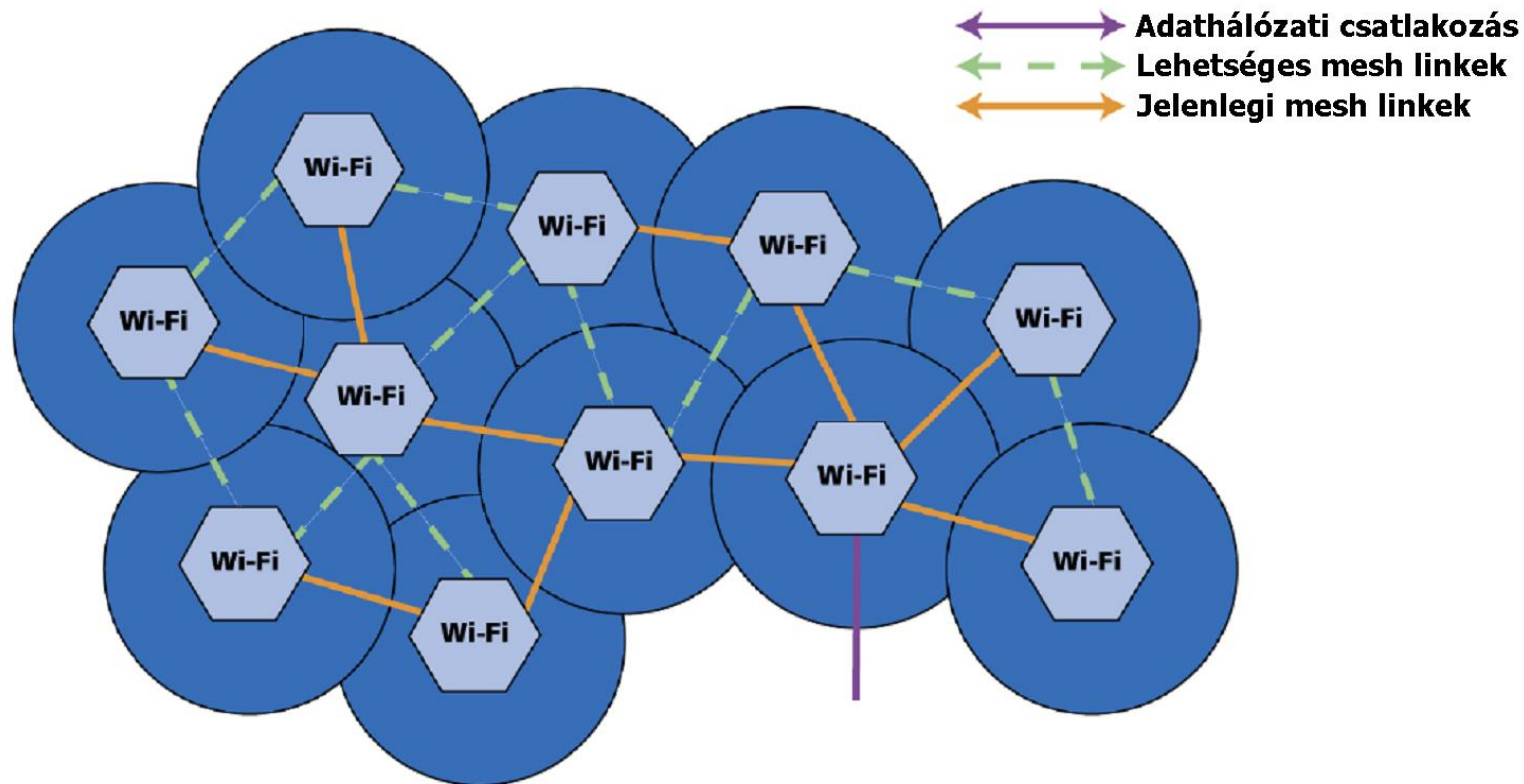


A WLAN teljesítőképessége (átvitel)

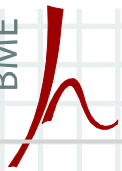




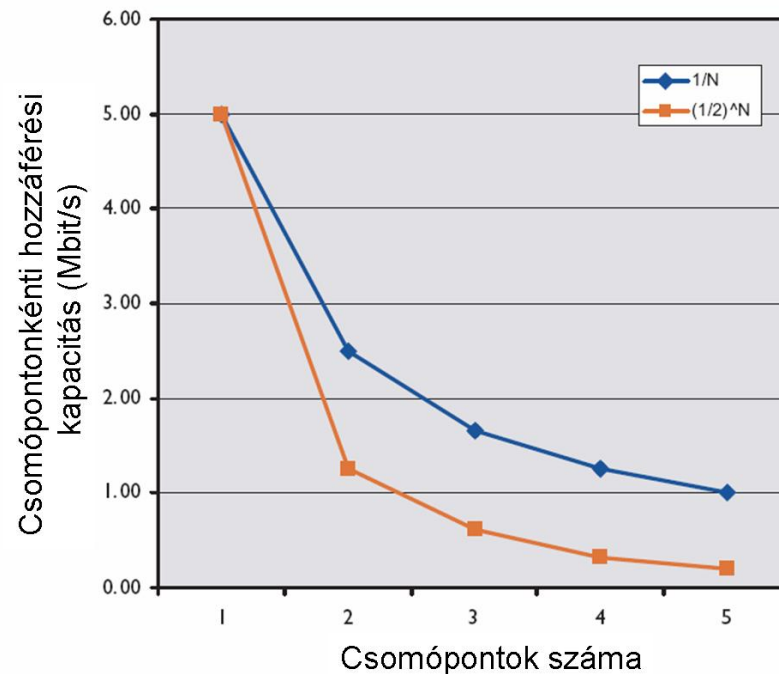
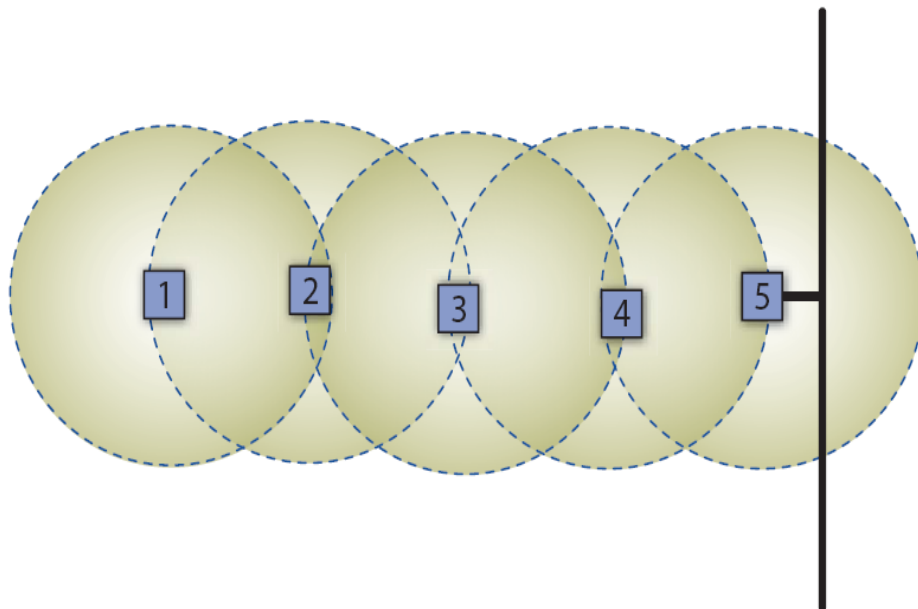
Mesh-hálózatok kialakítása WLAN- eszközökből: a 802.11s szabvány



Az ad-hoc mód továbbfejlesztésének tekinthető.



Láncba kapcsolt mesh csomópontok: a hozzáférési kapacitás csökkenése

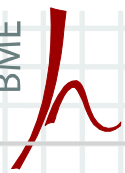


Megoldás: duális ill. többszörös rádiók

Igen nagy sebességű WLAN: a 802.11n szabvány

- Elméletileg akár 600 Mbit/s
 - 4 adatfolyam, 64QAM, 40Mhz csatorna esetén
- MIMO technikával
 - Több adó és több vevő antenna
 - 2X2:2, 3X3:2, 4X4:4
(adó/vevőantenna/adatfolyam száma)
- Keret aggregáció (overhead csökkenés)
- Zajosabb csatornán illetve nem közvetlen rálátás (NLOS) esetén jobb vétel

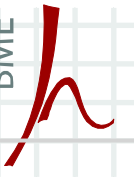




Az eddigi szabványok és az 'n'

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Standard approved by IEEE	January 2000	December 1999	June 2003	Expected in 2007
Maximum data rate	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Different data rate configurations	8	4	12	576
Typical range	75 feet	100 feet	150 feet	150 feet
Modulation technologies (1)	OFDM	DSSS, CCK	DSSS, CCK, OFDM	DSSS, CCK, OFDM+
RF band	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz and 5 GHz
Number of spatial streams and antennas	1	1	1	Up to 4
Channel width	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz or 40 MHz
Number of channels	23	3	3	26

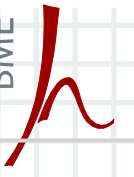




802.11 b, g, n együttélése

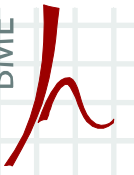
- Az 'n' szabványra az 5MHz-es sáv a javasolt (de nem írja elő kizárólagosan a szabvány)
- 'n' hálózatnak együtt kell élnie a 'b/g' meglévő hálózatokkal
- Praktikus megoldás: duál rádiós AP
 - 5MHz: 'n'
 - 2,4MHz: 'b/g'

- Evolúció
 - WEP (Wired Equivalent Privacy): kezdeti könnyen feltörhető titkosítás
 - WEP2, WPA (Wi-Fi Protected Access) : WEP továbbfejlesztései, kicsit erősebbek annál, de nem kell a WEP-hez képest hardverválttatás
 - WPA2: erős titkosítás és hitelesítés új hardveren, 802.11i definiálja
- Jótanácsok
 - Használaton kívüli WLAN-eszközök kikapcsolása
 - SSID közzététel tiltása
 - MAC-cím alapú szűrés
 - WEP, WEP2, WPA, WPA2 engedélyezése
 - lehetőleg egyéni (nem PSK) kulccsal



Összefoglalás a lokális hálózatokról

- I. Az „Ethernet”
 - IEEE 802.3 Ethernet (a „klasszikus” E.)
 - IEEE 802.3u Fast Ethernet
 - IEEE 802.3z Gbit/s Ethernet
 - IEEE 802.3ae 10 Gbit/s Ethernet
- II. Két további IEEE 802-es szabványú LAN és egy ANSI-szabványú, amely átmenet volt a MAN felé
 - „Token bus” – 802.4
 - „Token ring” – 802.5
 - FDDI (ANSI)
- III. LAN-ok összekapcsolása
- Vezeték nélküli LAN-ok
 - az IEEE 802.11-es család



Kérdések?

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Dr. Simon Vilmos
adjunktus

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
svilmos@hit.bme.hu