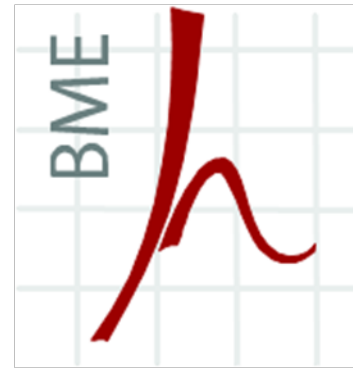




Vezeték nélküli LAN-ok

IEEE 802.11

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

Dr. Simon Vilmos
docens

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

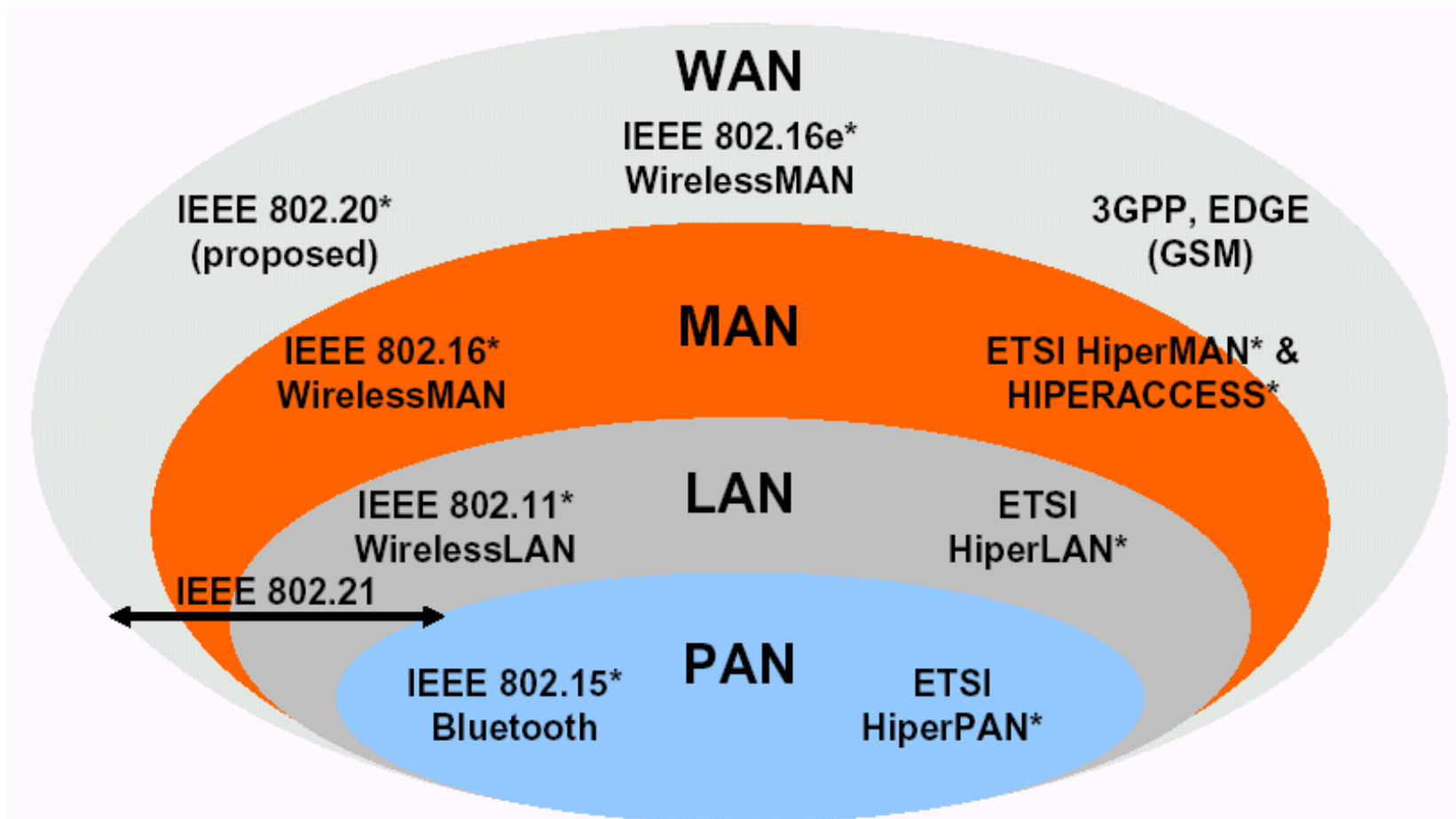


2016.október 5.

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 vezeték nélküli LAN-ok jellemzői

WLAN jellemzők:

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

Jellegzetes alkalmazások:

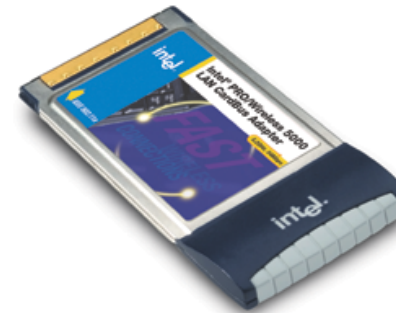
- Épületen belüli LAN-ok részeként
 - kórházak, áruházak, hotelek, egyetemi campus, műemlék-épületek
- Közeli épületek közötti kapcsolat, pl. utca felett
- Otthoni iroda, kisvállalati iroda (SOHO – small office – home office)
- Nyilvános Internet-elérési pont

WLAN-kártya



asztali számítógépekbe

AccessPoint (AP)



hordozható eszközökbe



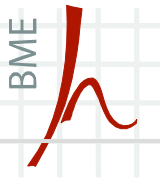
802.11-es szabványok

▪ **Különböző alszabványok**

- 802.11 – 1-2 Mbit/s, 2,4 GHz, FHSS/(DSSS/infra): nem használatos már
- 802.11a – 54 Mbit/s, 5 GHz, OFDM
- 802.11b – 11 Mbit/s, 2,4 GHz, DSSS, 11-13 csatorna
- 802.11g – 54 Mbit/s, 2,4 GHz, OFDM / DSSS, 13 csatorna
- 802.11n – akár 600 Mbit/s (4 csatornával), 2,4/5 GHz, OFDM MIMO (4 stream), több csatornás üzemmód
- 802.11ac – több mint 1Gbit/s (akár 7Gb/s!), 5GHz, szélesebb frekvenciasávok (80-160Mhz), multi-user MIMO (8 stream), 256QAM: elfogadva 2014!

▪ **További alszabványok fontos kiegészítő funkciókra**

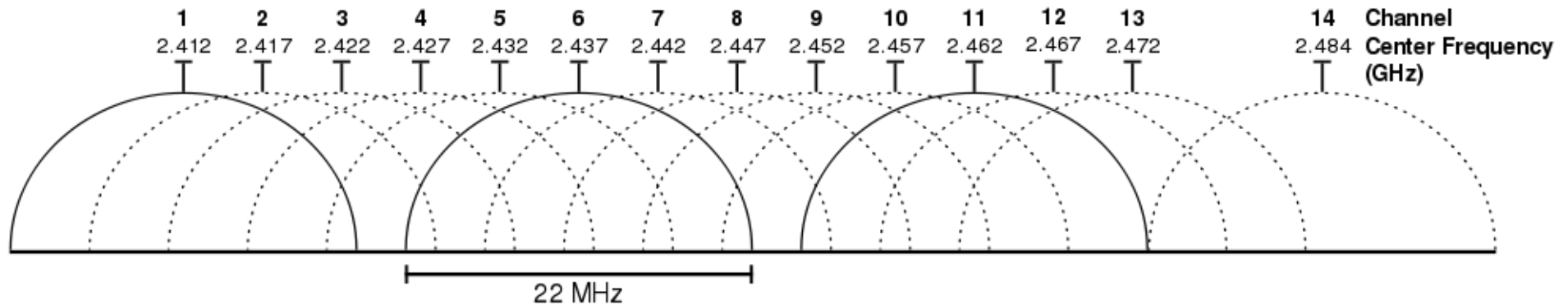
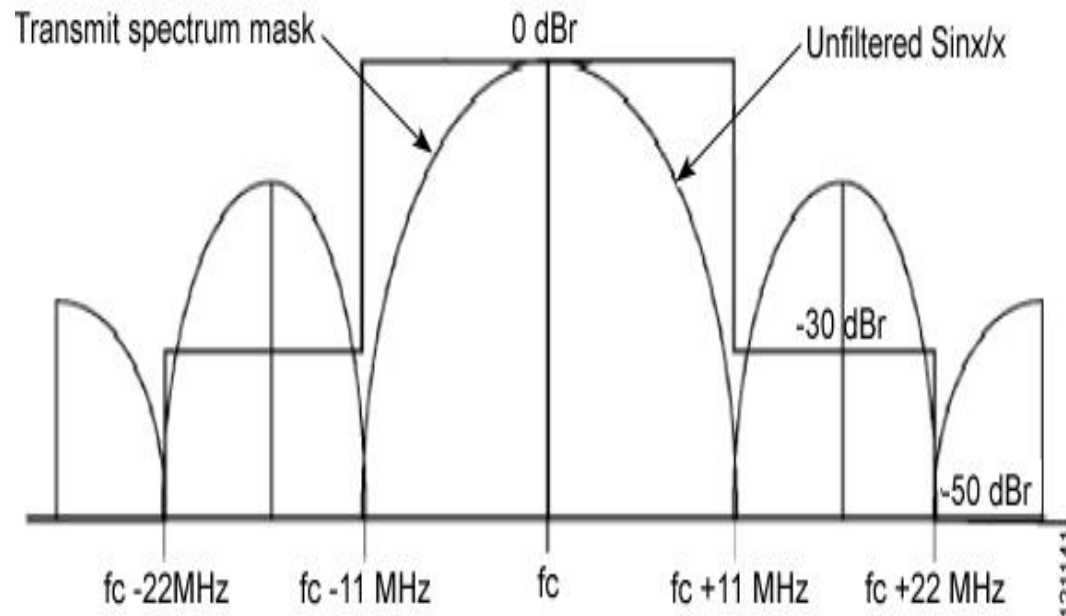
- 802.11e – QoS-támogatás
- 802.11h – automatikus teljesítményszabályozás (ATPC) és dinamikus csatornaválasztás (DFS)
- 802.11i – adatbiztonság, titkosítás (pl: WPA2 titkosítás)
- 802.11s – mesh-üzemmódú működés
- 802.11p – járművek közötti kommunikáció



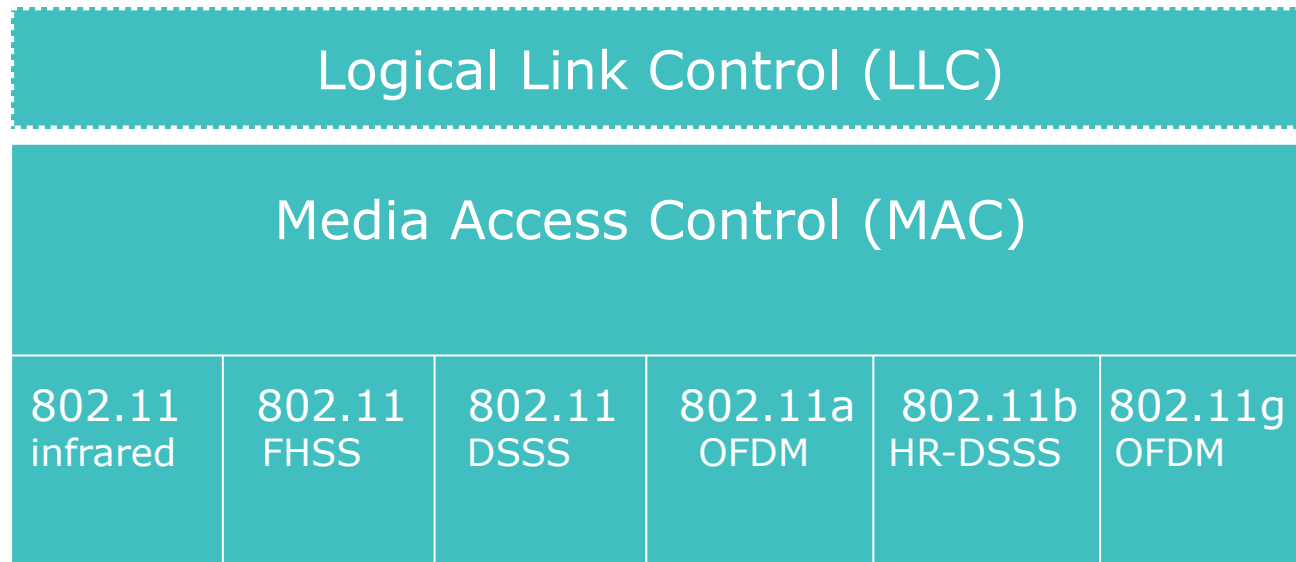
Csatornák (2,4Ghz)

- Pl. egy felosztás: 2.4000–2.4835 GHz sávban:
 - 13 db 22 MHz-es csatorna, egymástól 5 MHz-re a középfrekvencia (EU)
- **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, baby monitor
- 5Ghz-es sávban 23 nem átlapolódó csatorna

Spektrális maszk, 802.11b

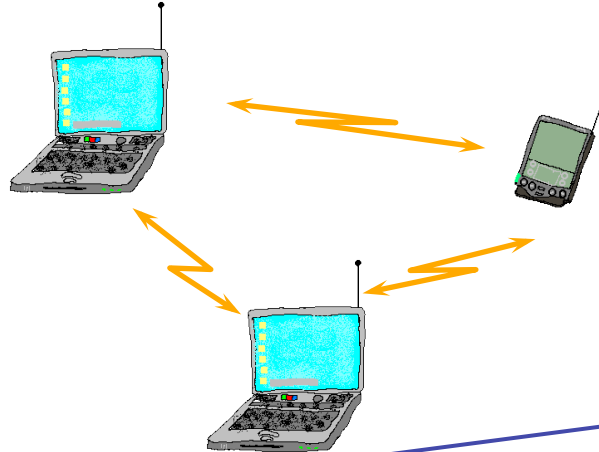


802.11 szabványok



Szabványváltozatok a különböző rétegeknek megfelelően

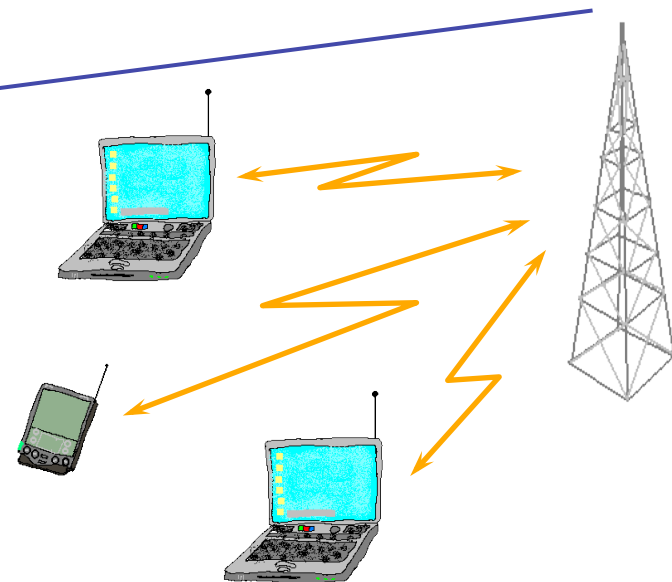
- Ad-hoc mód



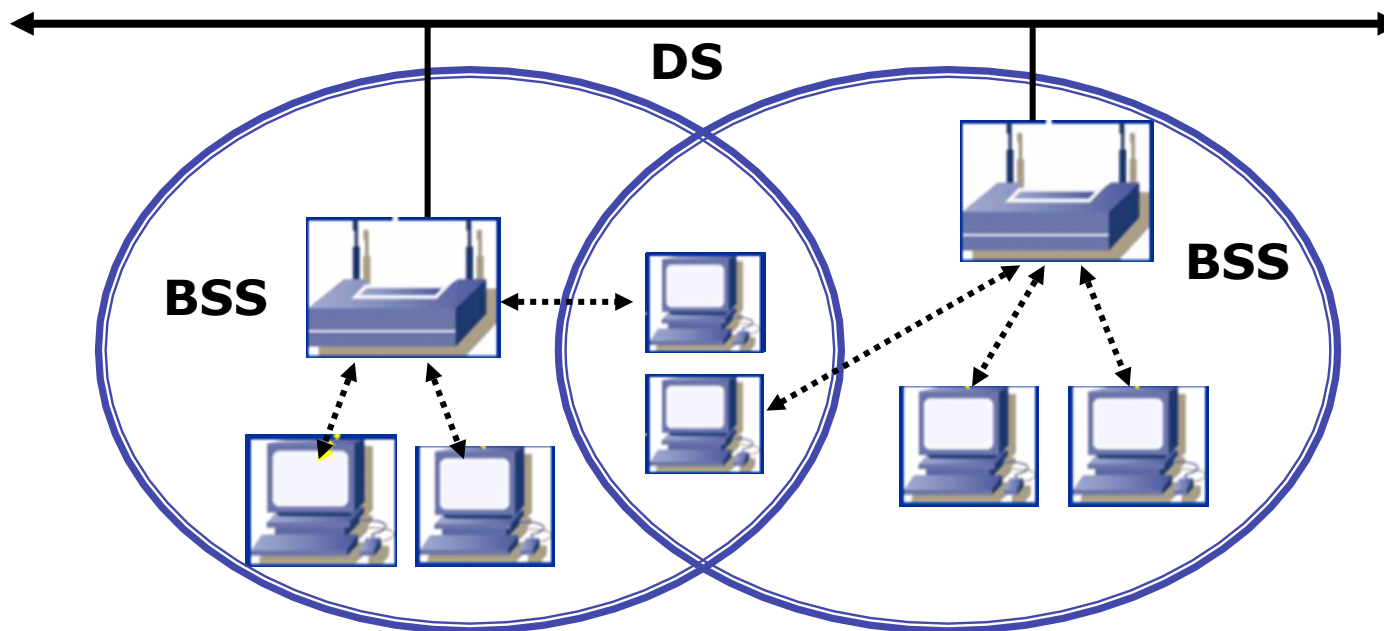
- Részei: csak kliensek
- Kommunikáció: **peer-to-peer**
- Eseti hálózatok esetén
- Pl. Wi-Fi Direct

- 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)

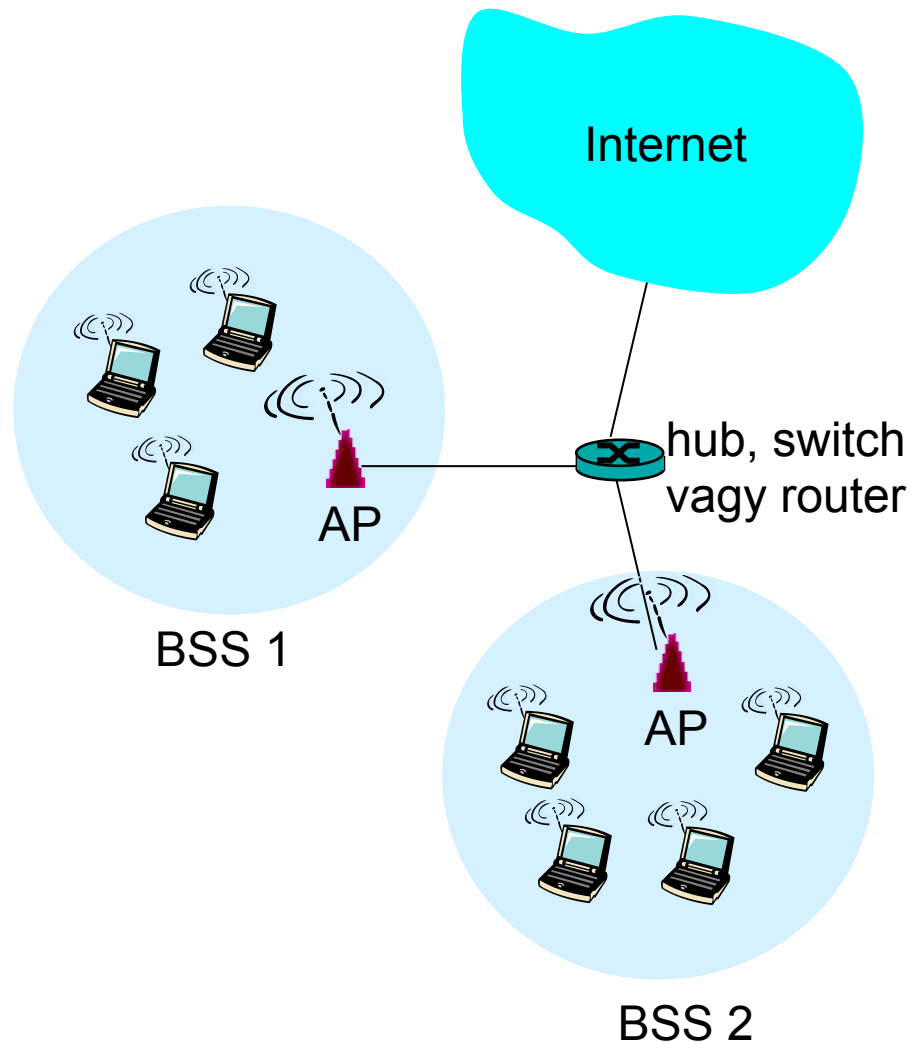


Basic Service Set (BSS) – AP és az általa vezérelt/kiszolgált állomások $\neq$ AP által lefedett terület

Extended Service Set (ESS) – több összekötött BSS (ugyanaz az SSID)

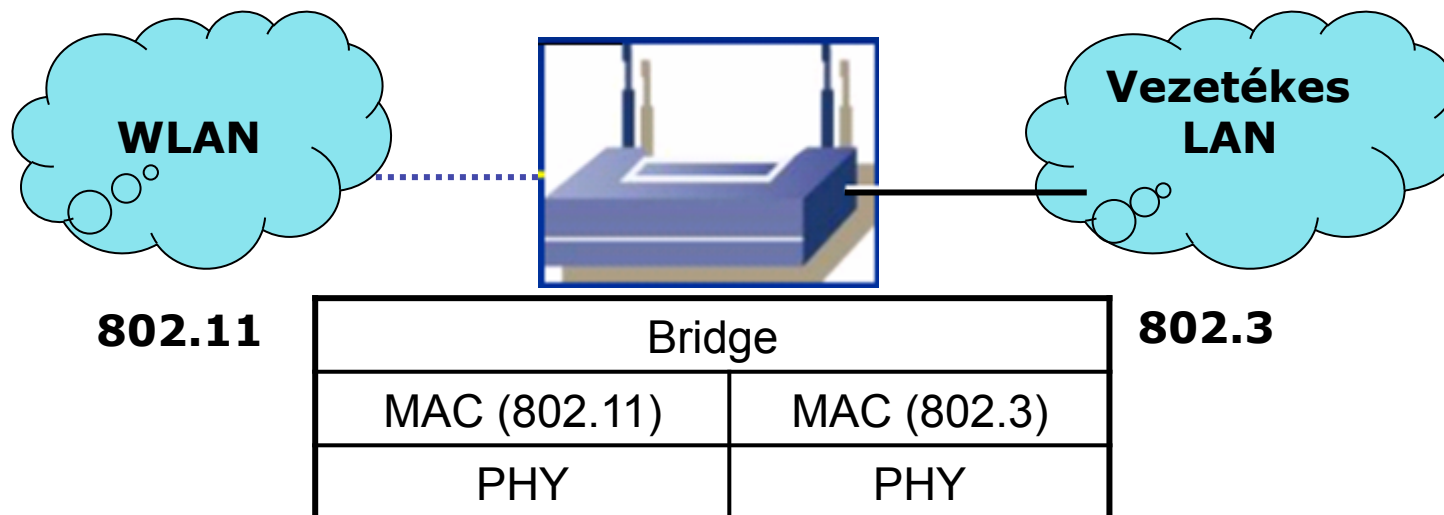
Distribution System (DS) – elosztóhálózat (gerinc)

Csatlakozás az AP-hez

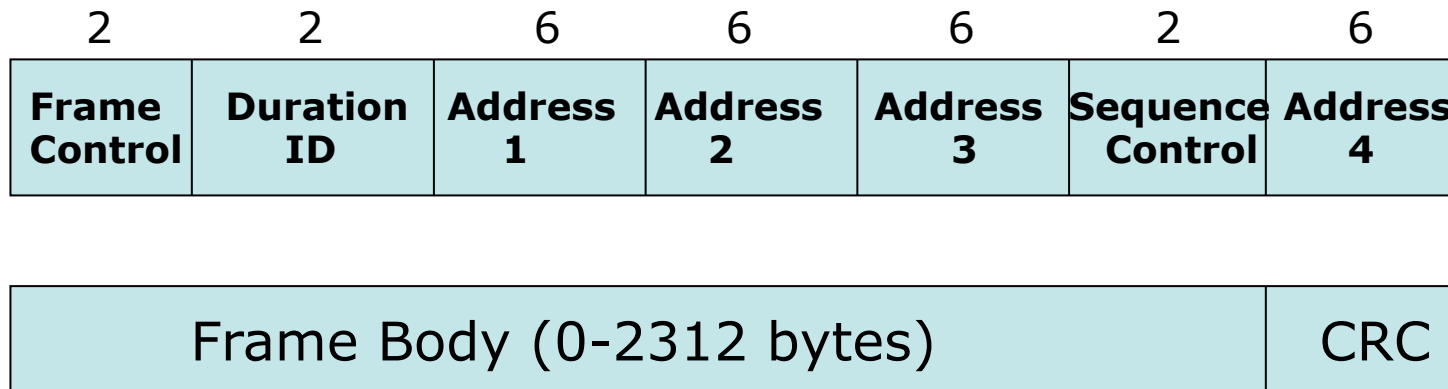


- állomás:
 - szkenneli a csatornákat, **beacon kereteket** keresve
 - beacon keretben: AP neve (SSID) és MAC címe
 - kiválasztja az AP-t
 - DHCP-vel IP címet kap az AP alhálózatából (lásd később)

Wireless Access Point (WAP) – Bridge



802.11 keretformátum



Frame Control: vezérlési keretmező (hogyan kell értelmezni a keretet)

Duration ID: foglalások időtartama (pl. RTS-CTS)

Sequence Control: csomagok sorszáma (sorrend biztosítása, duplikáció elkerülése)

Frame Body: adat (0-2312 byte)

CRC: adatintegritásra

Vezérlési keretmező (Frame control)

Fontos almezők:

- Típus (2 bit): vezérlési, adat vagy menedzsment keret
 - Vezérlési: ACK, RTS, CTS (lásd később)
 - Menedzsment: Beacon
 - időbélyeg, SSID, ad hoc/infrastruktúra, FHSS/DSSS paraméterek, versenymentes időszak paraméterei
- ToDS-FromDS (1-1 bit): elosztóhálózatba/ból
 - BSS-en belüli kommunikáció esetén 00

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

BSSID: Basic Service Set ID

DA: Destination Address (Célcím)

SA: Source Address (Forráscím)

„00”-eset



11-22-33-01-01-01



11-22-33-02-02-02

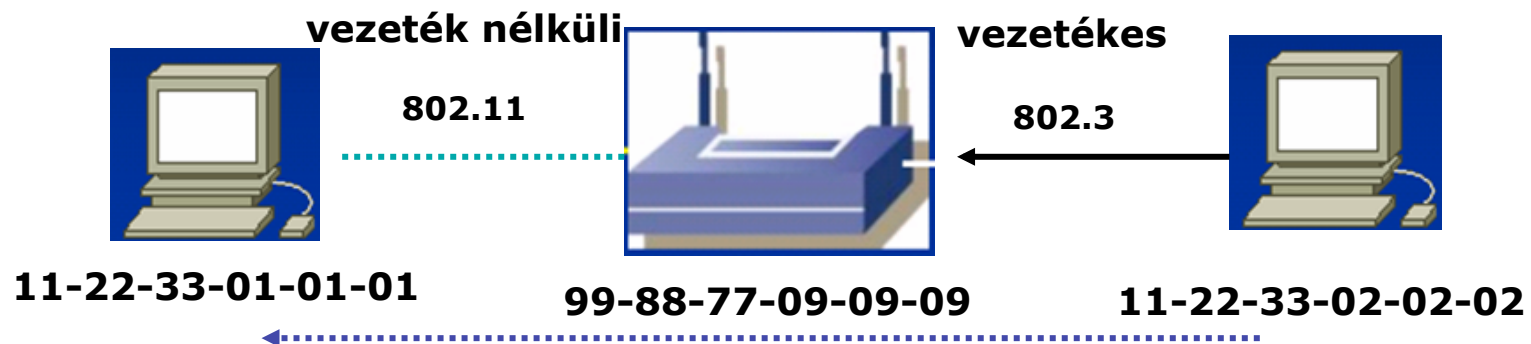


A1: 11-22-33-01-01-01
A2: 11-22-33-02-02-02
A3: BSS ID
A4: nem használt

DA

SA

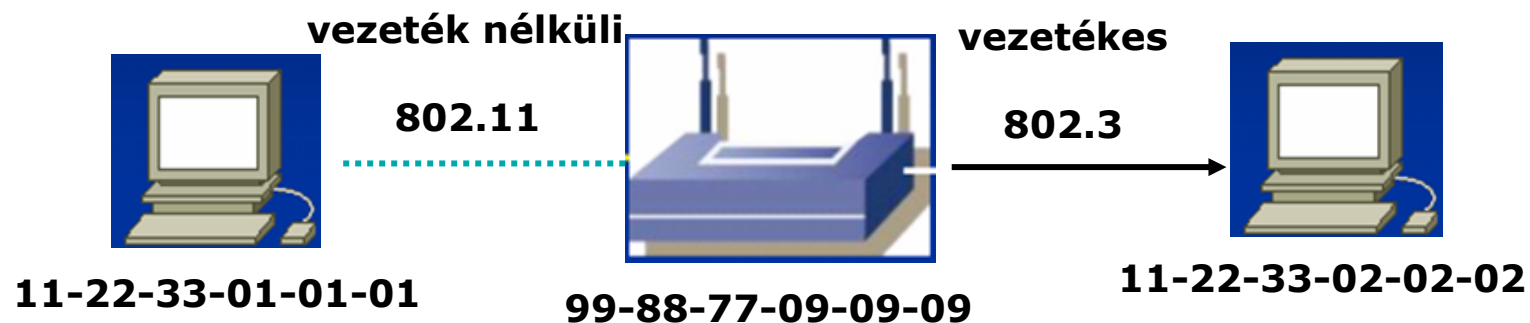
„01”-eset (vezetékesből vezeték nélkülibe)



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

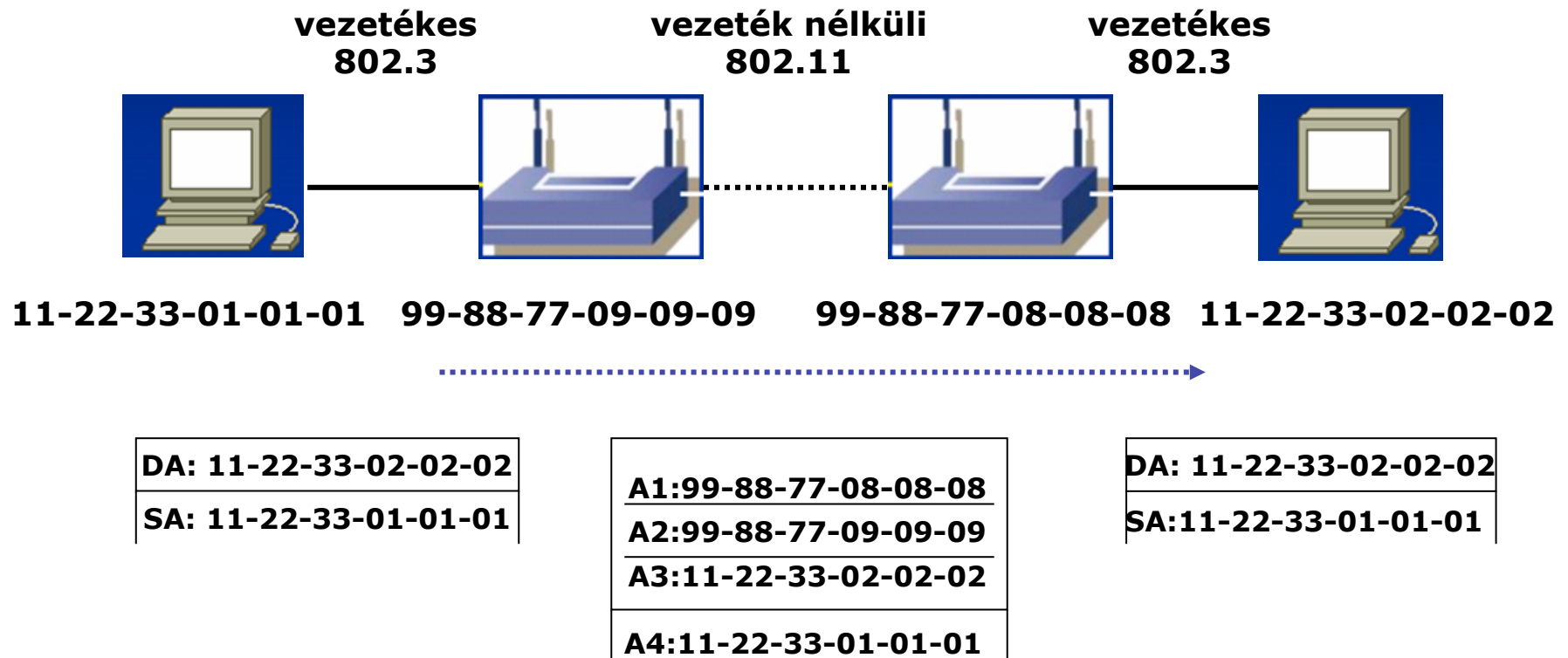
„10”-eset (vezeték nélküliből vezetékesbe)



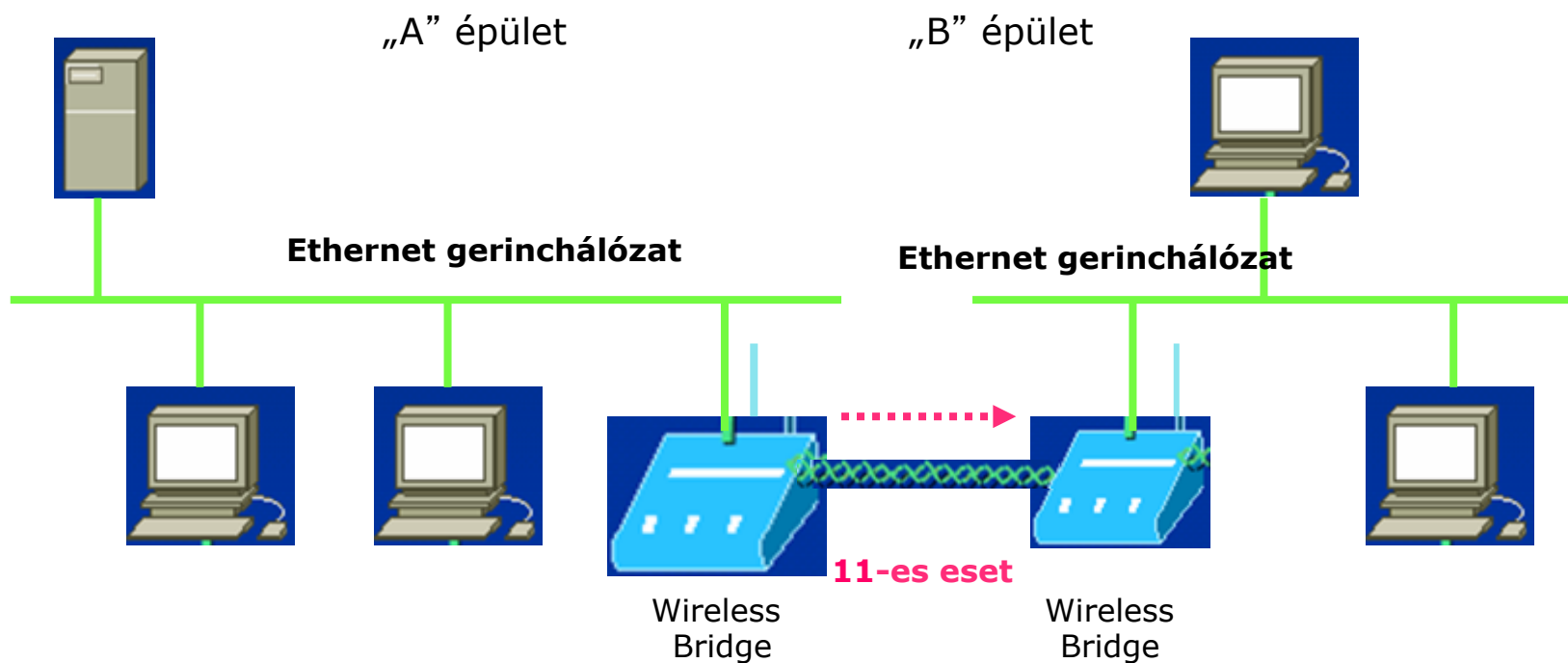
A1: 99-88-77-09-09-09
A2: 11-22-33-01-01-01
A3: 11-22-33-02-02-02
A4: nem használt

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

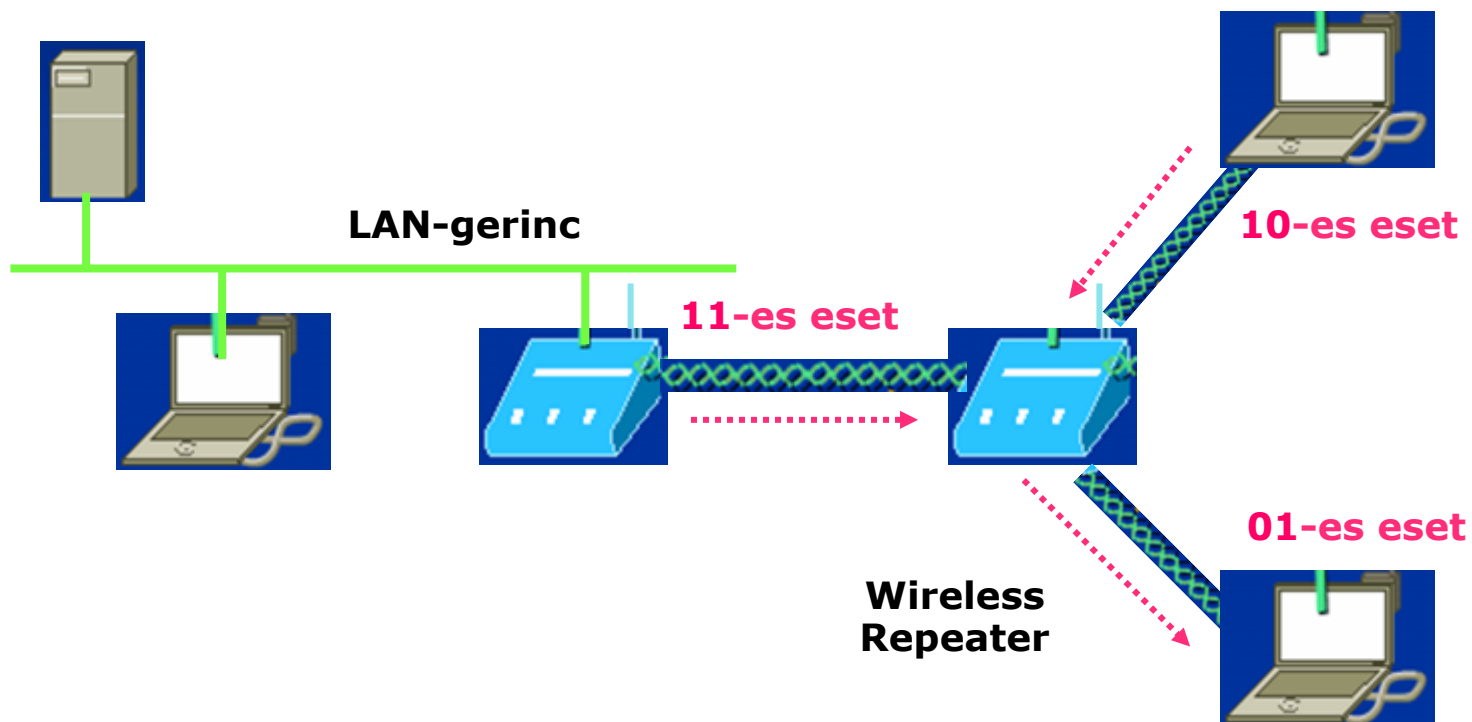
„11”-eset (vezeték nélküli összekapcsolás)



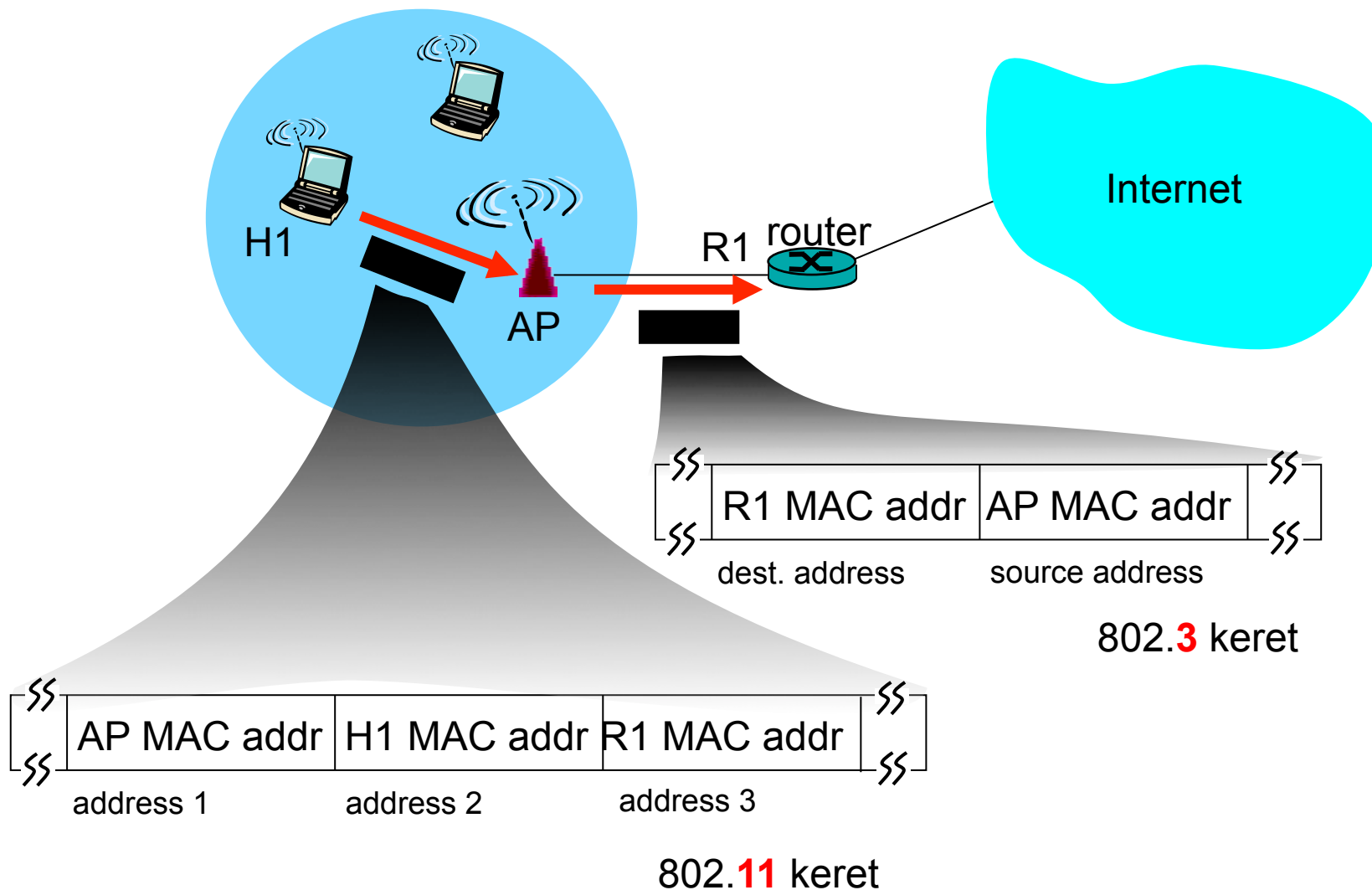
Vezeték nélküli híd (bridge)



Vezeték nélküli ismétlő (repeater)

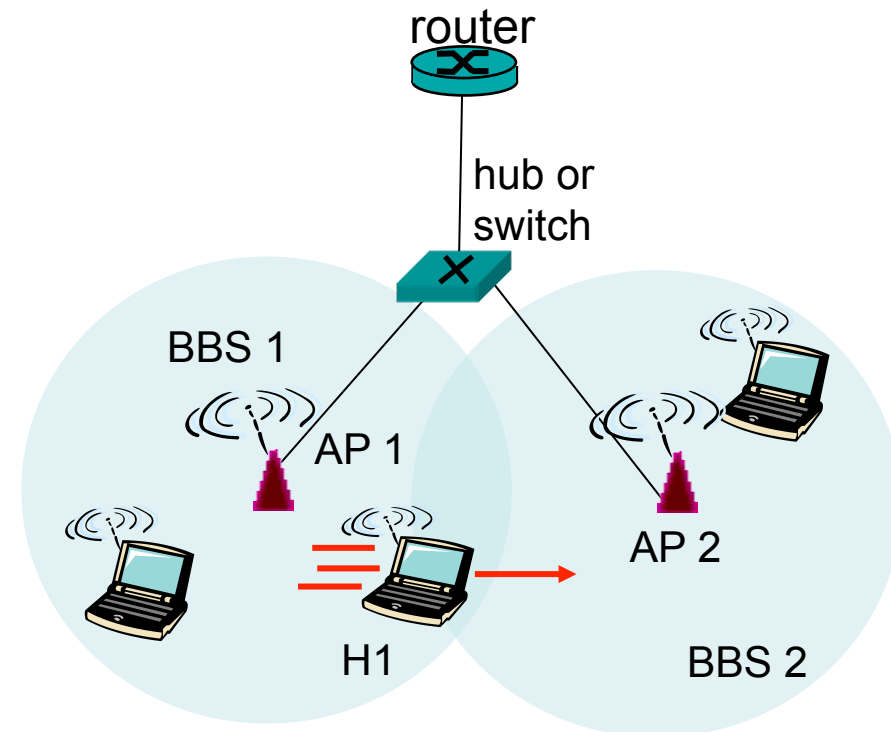


802.11 keret: címzés



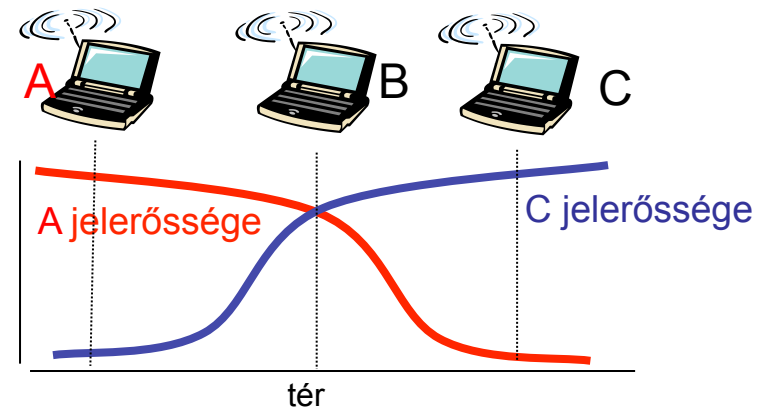
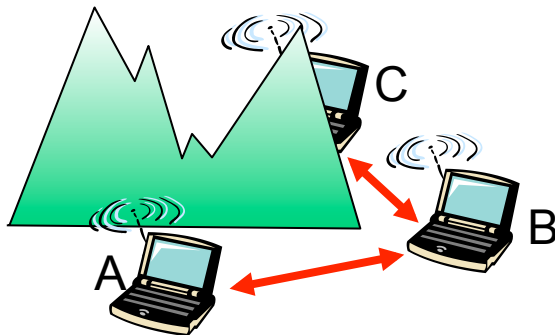
Mozgás az alhálózaton belül

- H1 ugyanabban az alhálózatban marad: IP cím változatlan lehet
- switch: melyik AP-hoz kapcsolódik H1?
 - öntanulás: switch feljegyzi H1 kerete honnan érkezett és melyik portján lehet elérni



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 problémás ütközést detektálni (rejtett terminál, fading)



- Két hozzáférési módszer:
 - Distributed Coordination Function (DCF)**
 - Point Coordination Function (PCF)**

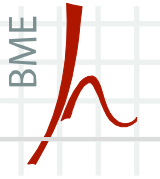
Distributed Coordination Function (DCF)

- CSMA/CA
 - Collision Avoidance – Ütközés-elkerülés
- Különböző értékű **IFS-ek (Inter Frame Space)**
 - Short IFS (SIFS) – rövid IFS vezérlőüzenetek számára
 - PCF IFS (PIFS)
 - DCF IFS (DIFS) – adatkeretek számára

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

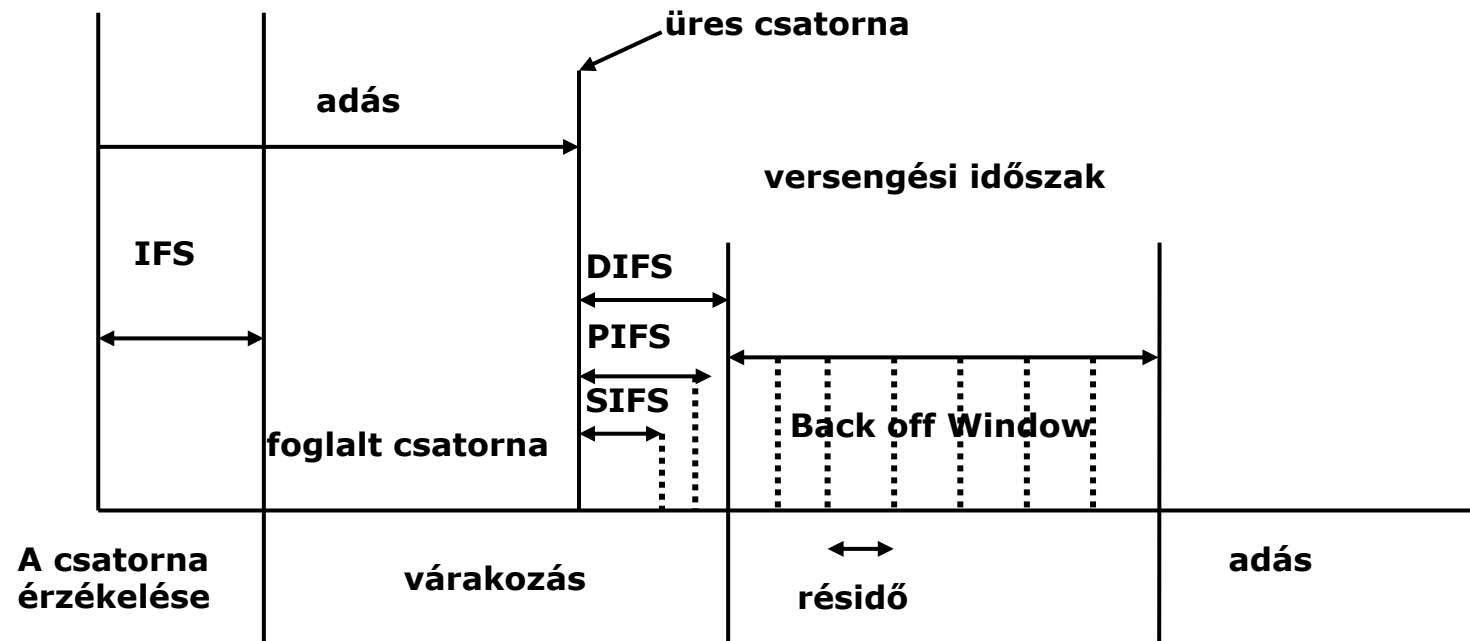
- **DIFS:** adatkereteknek
 - $\text{DIFS} = \text{SIFS} + (2 * \text{Részidő})$



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, megkezdí az adását.
- Sikeres adás esetén ACK-ot vár a vevőtől.

CSMA/CA (DCF)



DIFS: DCF IFS

PIFS: PCF IFS

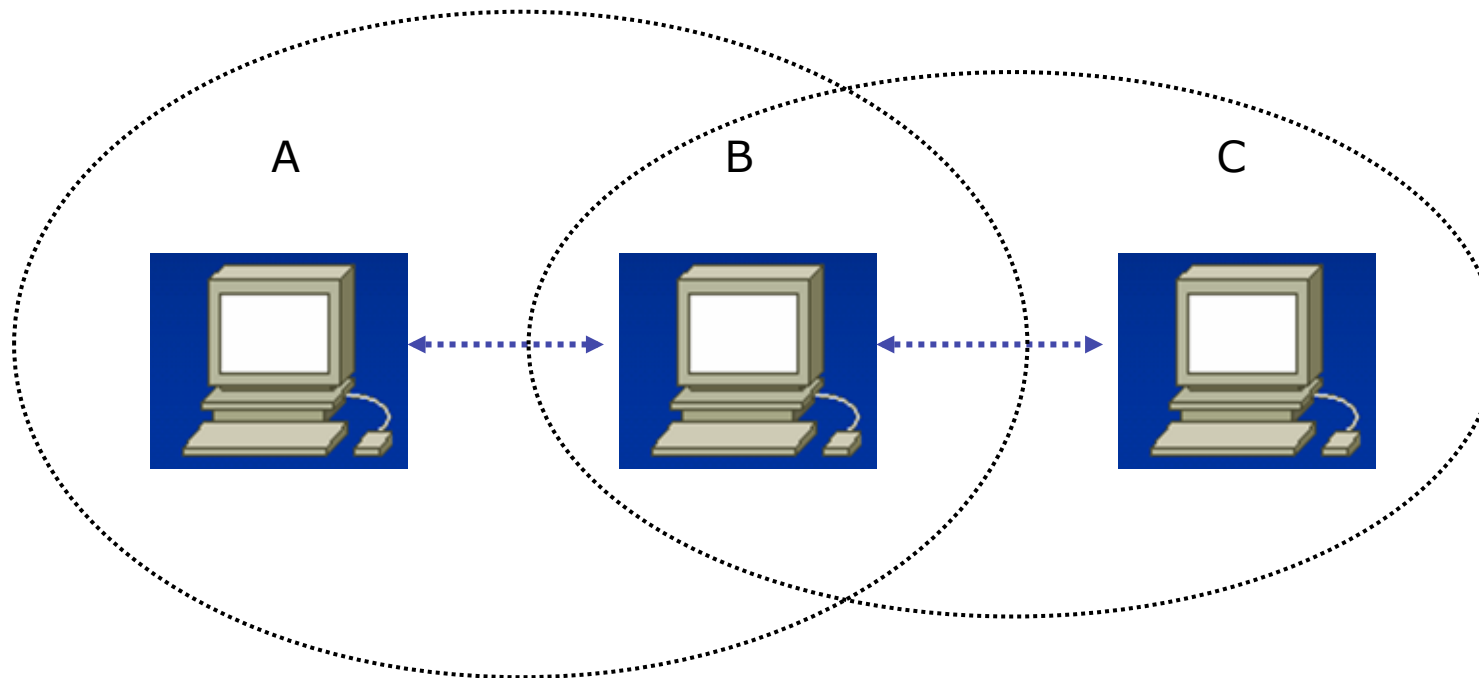
SIFS: Short IFS

$SIFS < \text{résidő} < PIFS < DIFS$

Az exponenciális backoff algoritmus

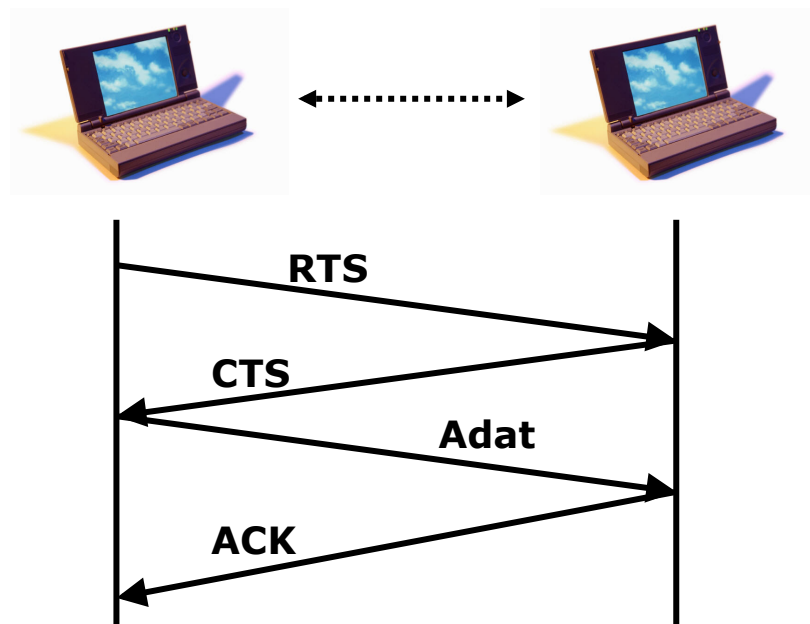
- $\text{Backoff_Time} = \lfloor \text{CW} * \text{RND}() \rfloor * \text{Slot_Time}$
 - A késleltetést itt **résidőben** (Slot_Time) mérjük
 - Úgy kerül megválasztásra, hogy ez idő alatt az állomás biztosan érzékelhesse a csatorna foglaltságát
 - 20 μs v. 50 μs
 - **CW – Contention Window**
 - Kezdetben 31 (első foglaltság), majd 63 (második), 127 (harmadik) stb.
 - **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)

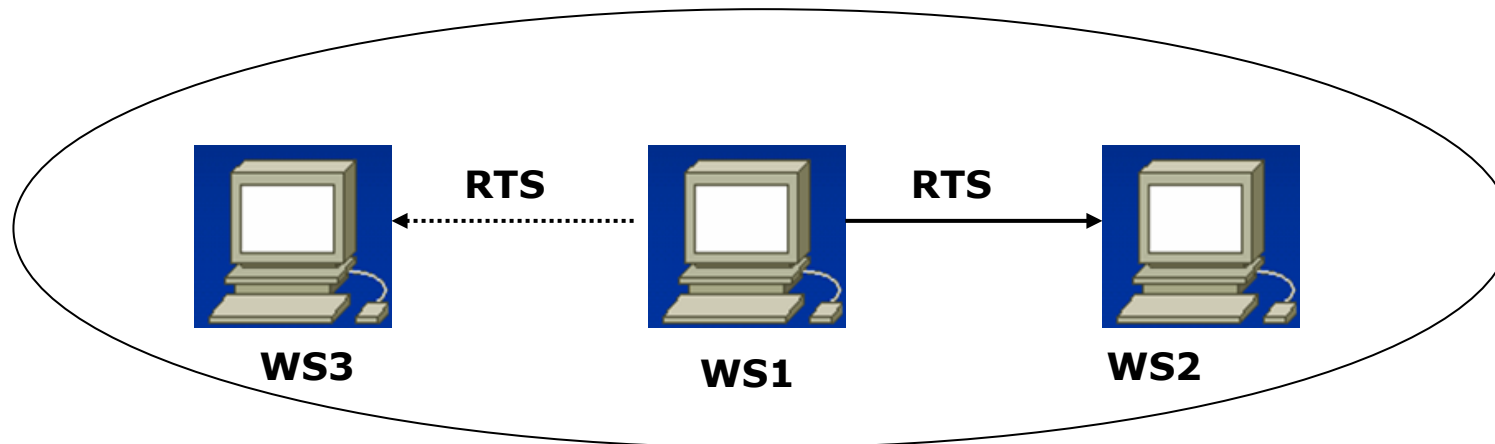
CTS – Clear To Send
(szabad küldeni)

ACK – ACKnowledgement
(nyugta)

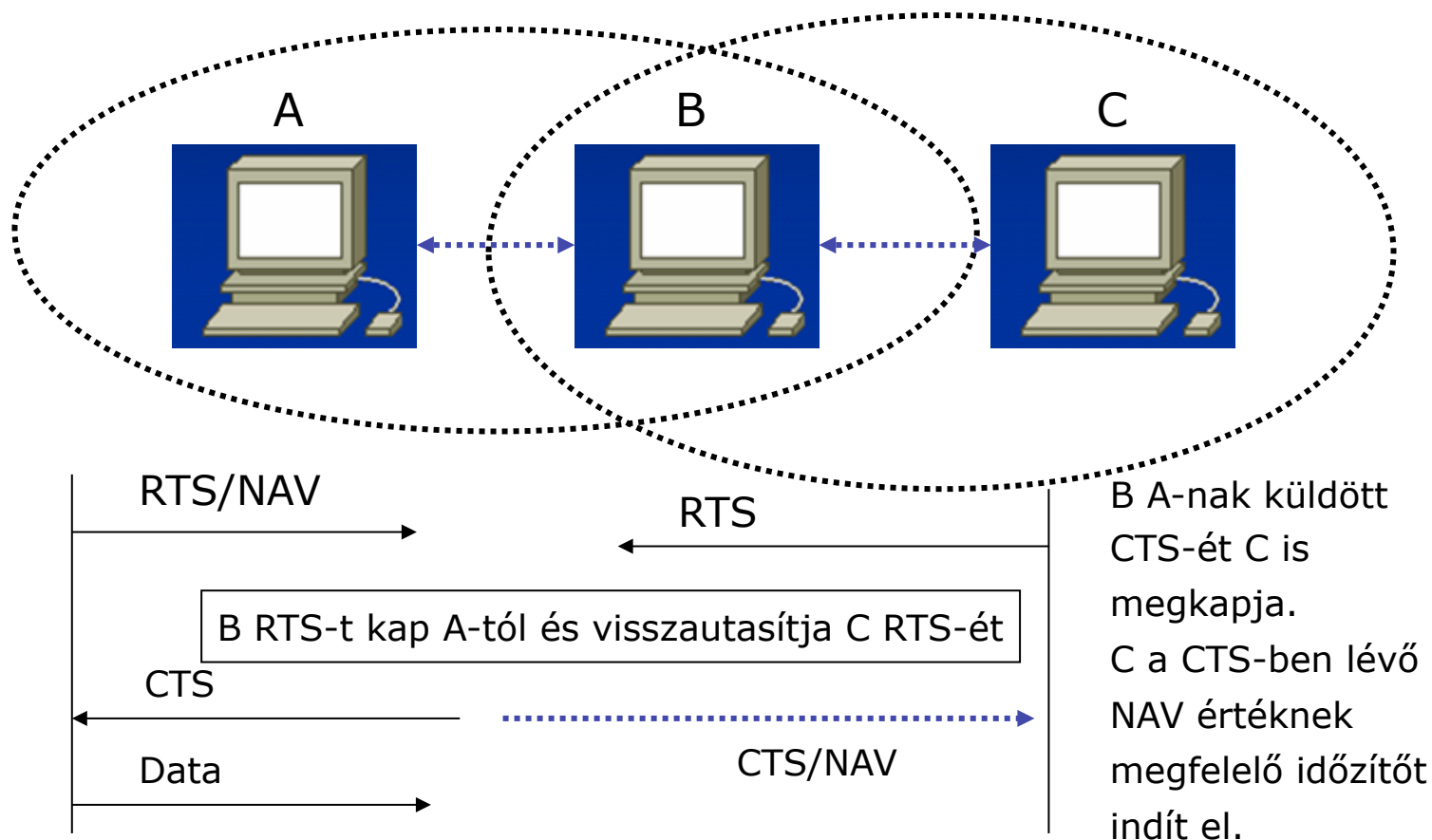
- A WLAN-oknál opcionális eljárás

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) **elindítják a NAV-ot**



RTS/CTS + NAV: Megoldás a rejtett állomás problémájára

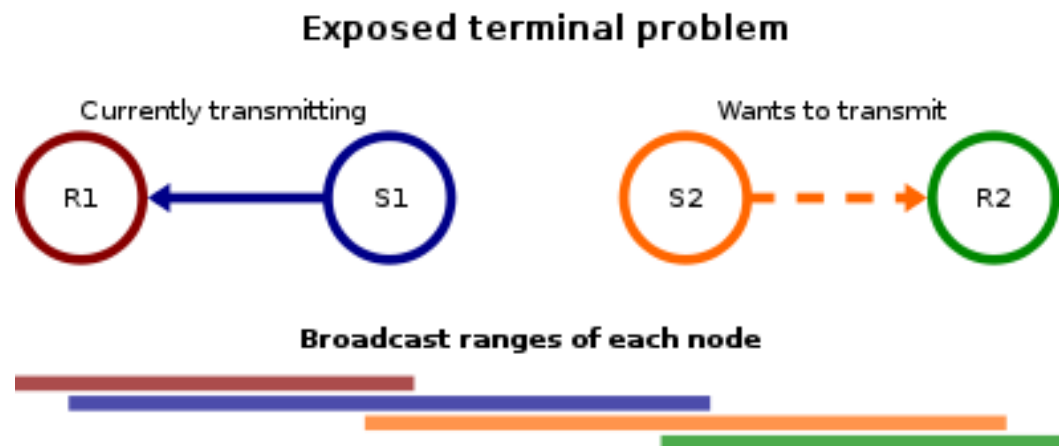


- Fizikailag foglalt
 - Az állomás foglaltnak érzékeli a rádiócsatornát

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

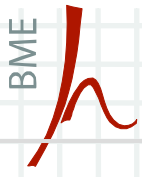
Exponált terminál probléma

- Ha hall a szomszédos állomástól RTS-t, de CTS-t nem: exponált terminál lehet, így adhat
- Nem mindig oldja meg az RTS/CTS mechanizmus



RTS/CTS értékelése

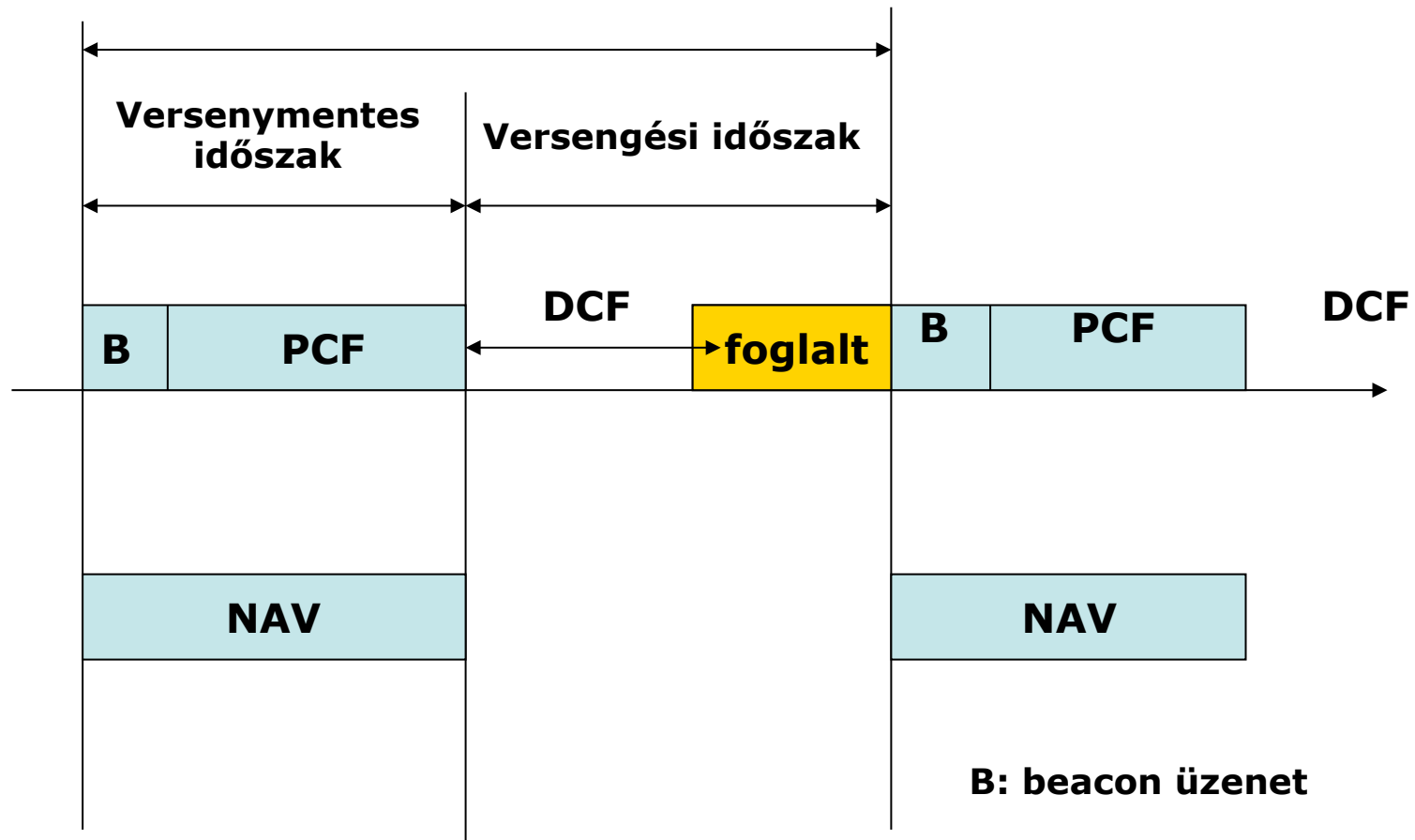
- WLAN-oknál opcionális eljárás
- Előnyös használni ha:
 - a rejtett állomás probléma fennállhat
 - nagy verseny van
 - sok nagy forgalmú állomás
 - nagyobb méretű keretek esetén
 - a rövidebb keretek (RTS/CTS) ütköznek, nem a hosszabb adatkeretek
- Hátrány
 - Kisebb a felhasználható adatsebesség
 - 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

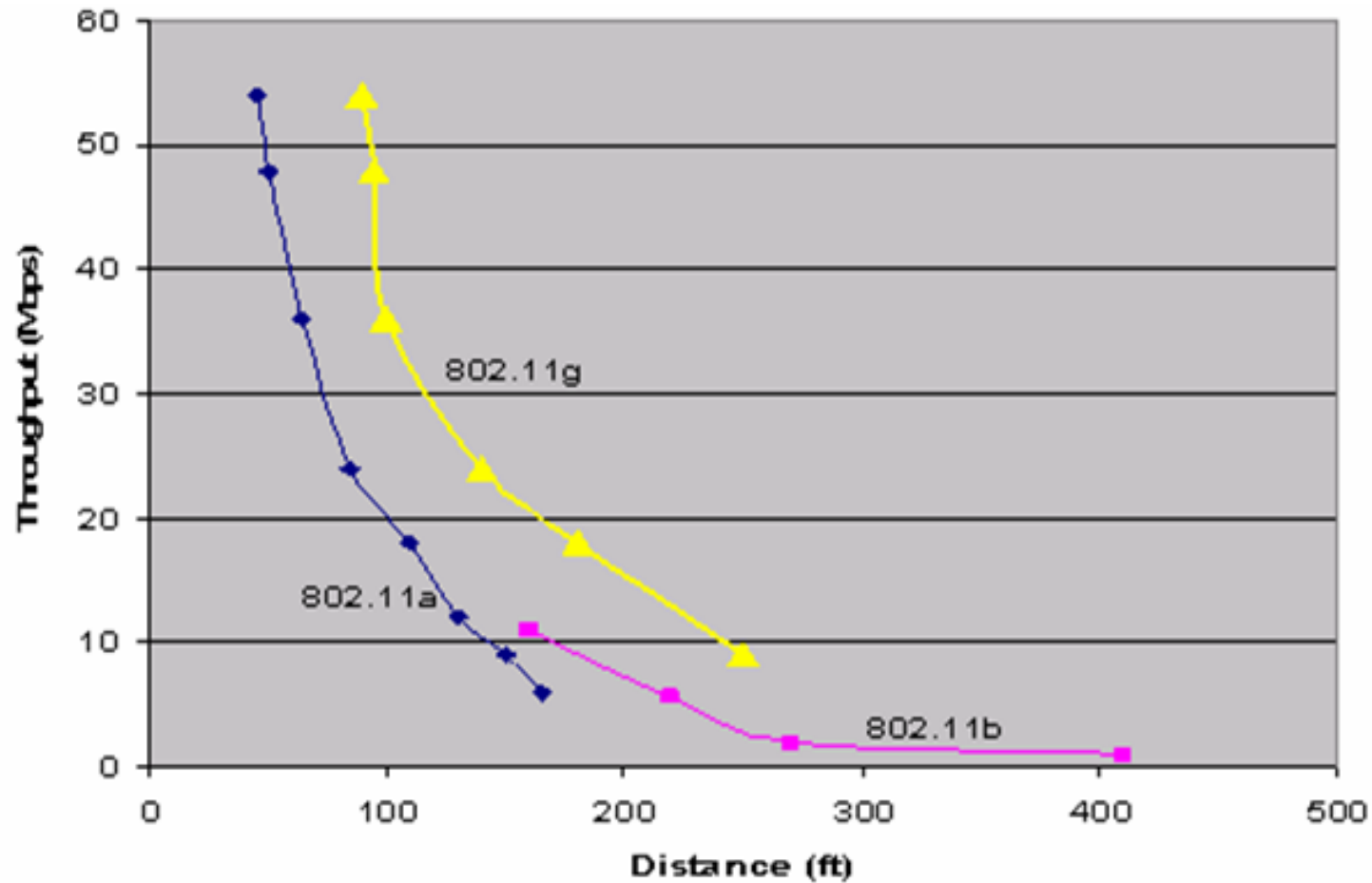
WLAN-ok teljesítőképessége

	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

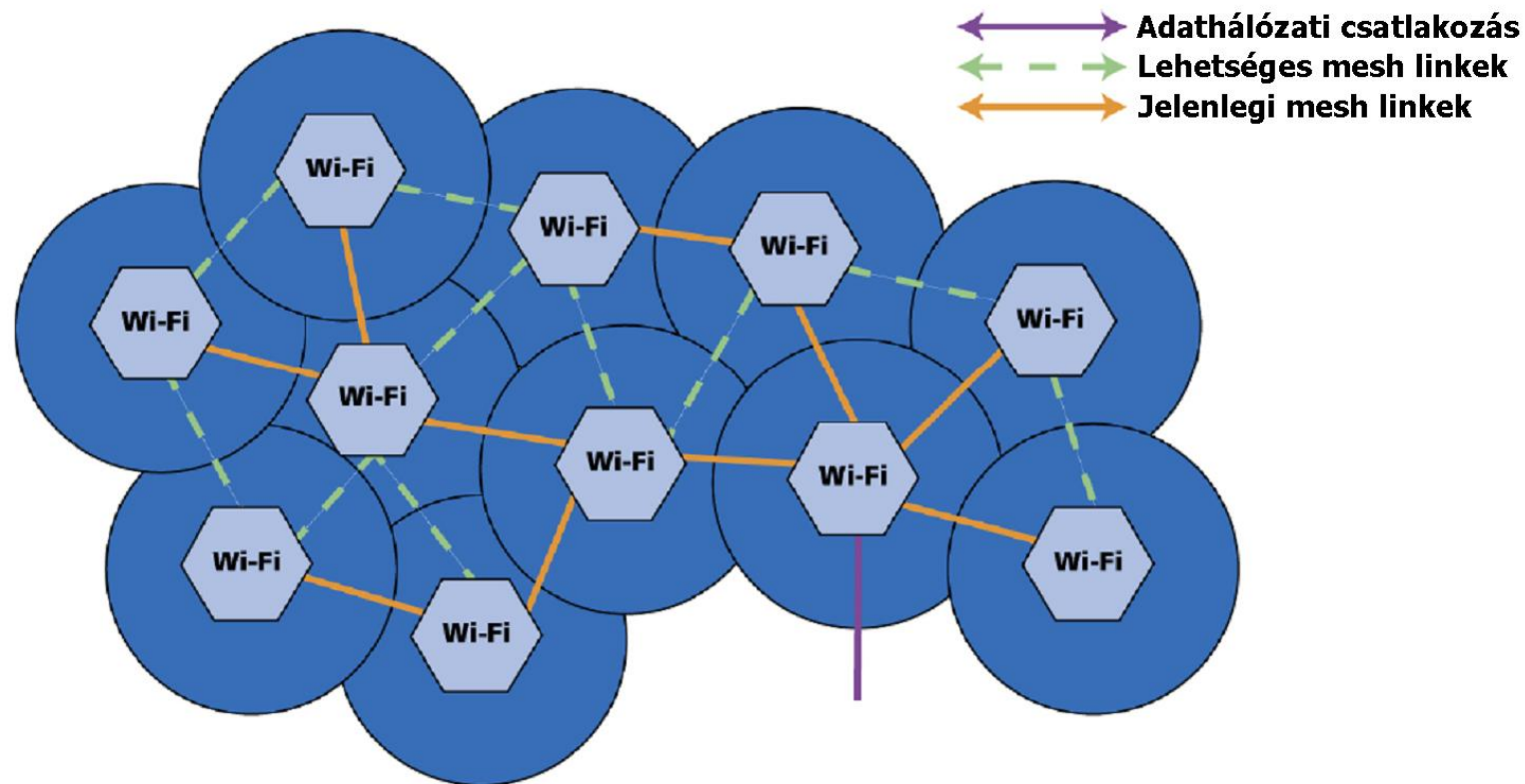
A teszt laboratóriumi körülmények között zajlott 10 m-nél kisebb távolságból.

"WLAN Testing with IXIA IxChariot", IXIA White Paper

A WLAN teljesítőképessége (átvitel)

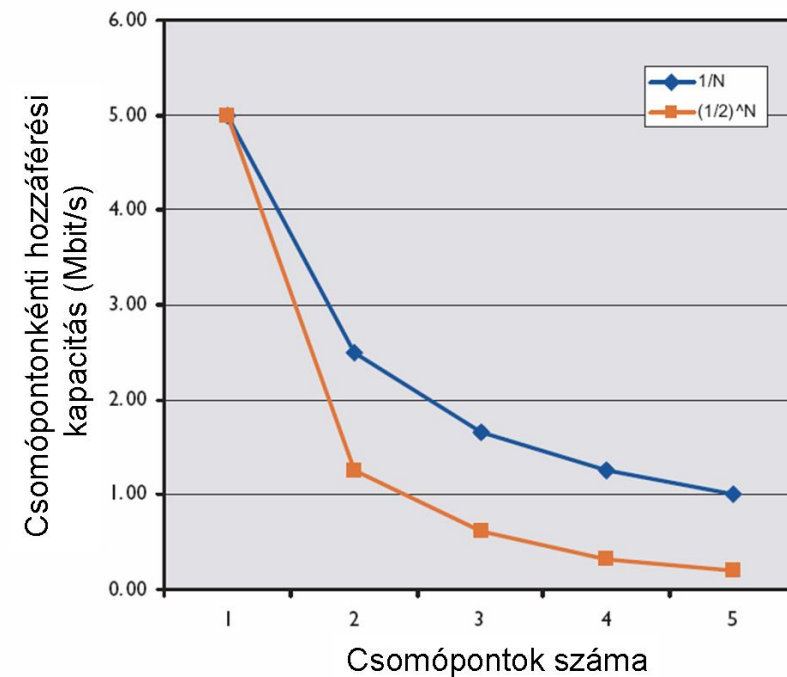
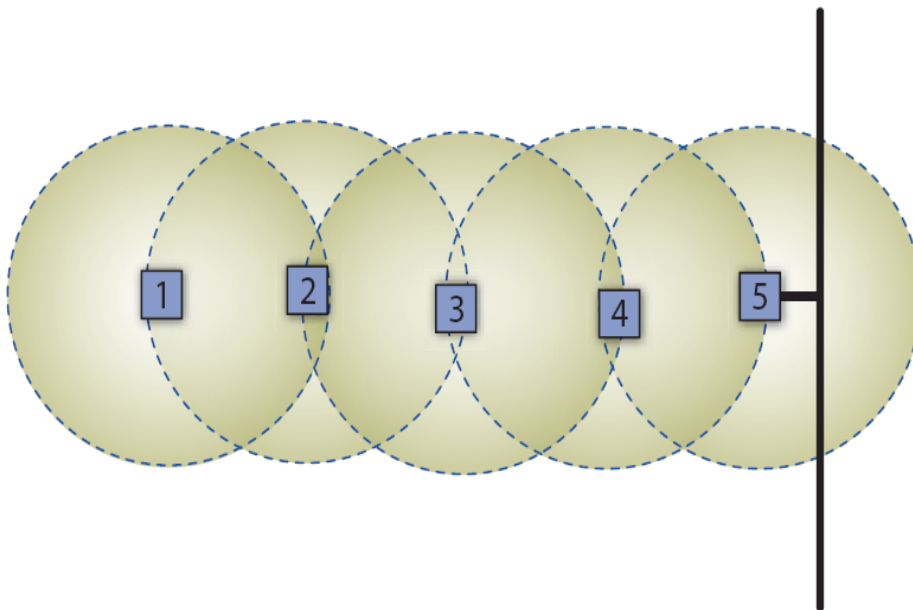


Mesh-hálózatok kialakítása WLAN- eszközökből: a 802.11s szabvány



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

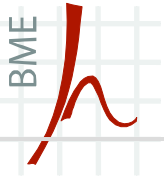
- Elméletileg akár 600 Mbit/s
 - 4 adatfolyam, 64QAM, 40Mhz csatorna esetén
- MIMO technikával
 - Több adó és több vevő antenna
 - 2X2:2, 3X3:2, 4X4:4 (adó/vevőantenna/adatfolyam száma)
- Keret aggregáció: overhead csökkenés



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 5GHz-es sáv a javasolt
 - de nem írja elő kizárólagosan a szabvány
- 'n' hálózathoz együtt kell élnie a 'b/g' meglévő hálózatokkal
- Praktikus megoldás: duál rádiós AP
 - 5GHz: 'n'
 - 2,4GHz: 'b/g'

802.11 ac: új szabvány

- A szabvány 2014 januárjában lett elfogadva
- 802.11n-re alapoz, de
 - 80 vagy 160 MHz csatorna (vs. 40 MHz)
 - 5 GHz-en
 - 8 adatfolyam (vs. 4): multiuser MIMO
 - Magasabb szintű moduláció: 256QAM (vs 64QAM)
- Elméleti max. adatátviteli ráta: 8 folyam, 160MHz-es csatorna, 256QAM – majdnem 7Gb/s
- Gyakorlatban 2-3 folyam : 1.7-2.5Gb/s között



- 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 (nem igazán segít)
 - MAC-cím alapú szűrés
 - WEP, WEP2, WPA, WPA2 engedélyezése

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. LAN-ok összekapcsolása
- III. Vezeték nélküli LAN-ok
 - az IEEE 802.11-es család

Kérdések?

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Dr. Simon Vilmos

docens

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

svilmos@hit.bme.hu