

Kommunikációs Hálózatok 2

Adatkapcsolati réteg 3./3

Wi-Fi

Link Layer

Top-Down!

Cinkler Tibor

BME TMIT

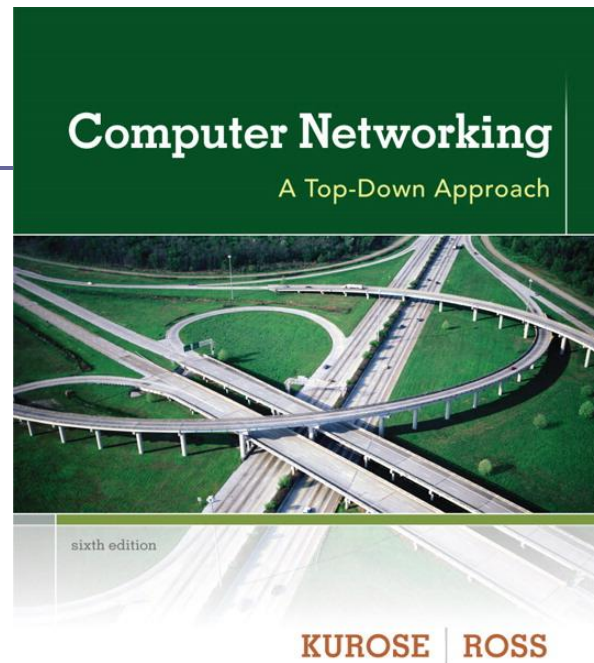
2020. május 12

Kedd 12:15 - 13:45, On-Line via Teams

<http://w3.tmit.bme.hu/kh2/>



Tananyag / Forrás



- Jim Kurose, Keith Ross:

- Computer Networking:
A Top Down Approach

- 6th edition
- Addison-Wesley
- March 2012

- If you use these slides (e.g., in a class) that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.
- Thanks and enjoy! JFK/KWR
- All material copyright 1996-2012
- J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

- <https://www.wlanpedia.org/tech/> (leg-mélyebb, -részletesebb)

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

- És egyéb jelölt források...

Adatkapcsolati réteg

- Szomszédok közti kommunikáció
- MAC cím, ARP
- Vezetékes / Vezeték nélüli
 - MPLS (kevés optikai átvitel)
 - Ethernet (optikai Ethernet)
 - Wi-Fi (Li-Fi)
- Sok más is van, de most csak a fenti 3-ra összpontosítottunk!
 - BL
 - PLC
 - (HSCSD/GPRS/EDGE), HSPA/HSPA+, LTE, 5G
 - Wi-MAX
 - stb

Wi-Fi / WLAN / ((„Wireless Fidelity”))

- IEEE 802.11
- Leggyakrabban: a, b, g, n, ac
- 802.11 a, b, g, n, ac, ad, af, ah, aj, ax, ay
- Öt generáció van itt is!!! Óvatosan!!!
 - a b g n ac



- A hiteles forrás az IEEE:
 - http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm
 - 9 folyamatban azaz kidolgozás alatt, 31 visszavont
- Nézzük meg: a, b, g, n, ac, ad, ah, aj, ax, ay
- Majd térjünk a rádiós interfészre...
 - (inkább fizikai réteg mint adatkapcsolati...)

a, b, g, n, ac, ad, ah, aj, ax, ay

Forrás:

<https://www.geckoandfly.com/10041/wireless-wifi-802-11-abgn-router-range-and-distance-comparison/> (2020 Jan. 3)

Protocol	Freq (GHz)	Bandwidth (MHz)	Indoor Range	Outdoor Range	Max Linkrate
802.11	2.4	20	20 m / 66 ft	100 m / 330 ft	
802.11a [Wi-Fi 2]	3.7/ 5	20	35 m / 115 ft	120 m / 390 ft	1.5 to 54 Mbit/s
802.11b [Wi-Fi 1]	2.4	20	35 m / 115 ft	140 m / 460 ft	1 to 11 Mbit/s
802.11g [Wi-Fi 3]	2.4	20	38 m / 125 ft	140 m / 460 ft	3–54 Mbit/s
802.11n [Wi-Fi 4]	2.4/5	20 - 40	70 m / 230 ft	250 m / 820 ft	72–600 Mbit/s
802.11ac [Wi-Fi 5]	5	20/40/80/160	35 m / 115 ft		433–6933 Mbit/s
802.11ad	60	2,160	60 m / 200 ft	100 m / 300 ft	
802.11ah	0.9				
802.11aj	45/60				
802.11ax [Wi-Fi 6]	2.4/5 and 1/6	2/80 MHz			600–9608 Mbit/s
802.11ay	60	8000	60 m / 200 ft	1000 m / 3000 ft	

Wi-Fi generációi

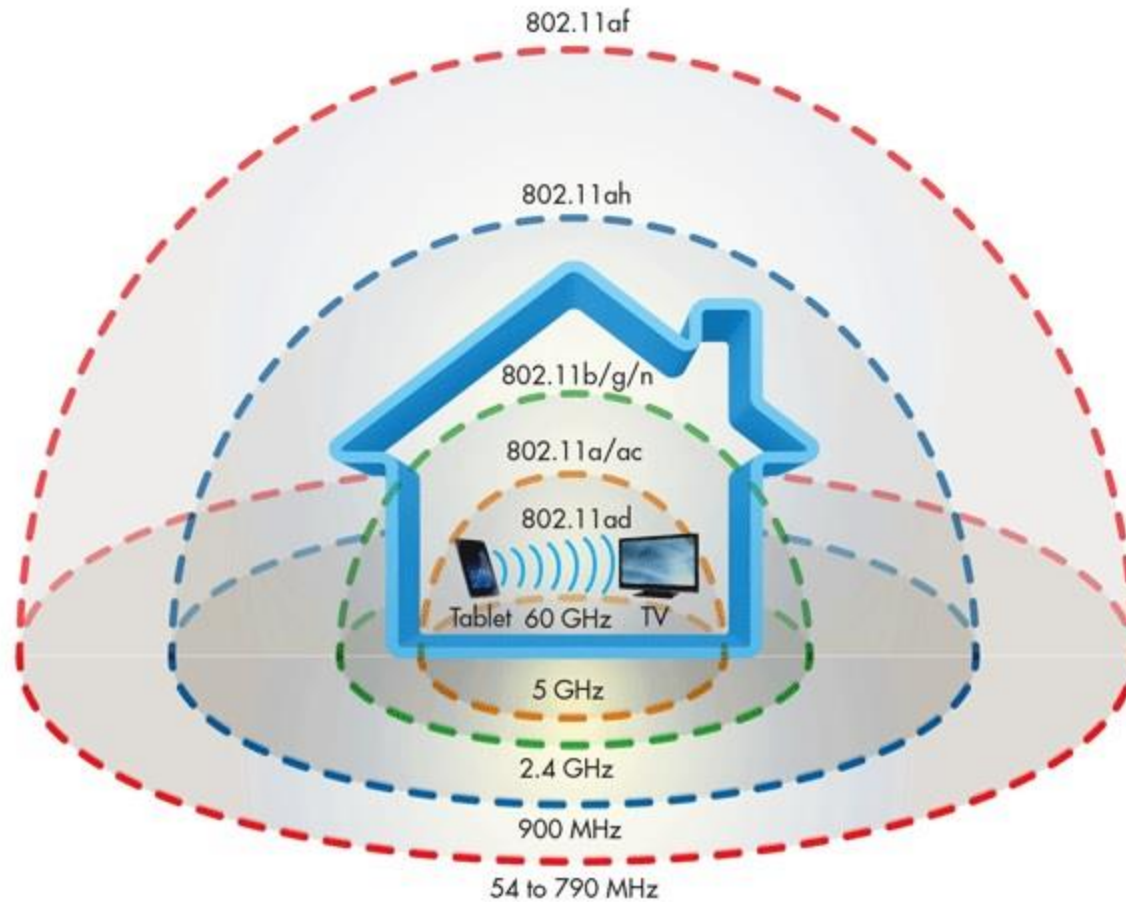
□ Forrás: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

Generation/IEEE Standard	Maximum Linkrate	Adopted	Frequency
Wi-Fi 6 (802.11ax)	600–9608 Mbit/s	2019	2.4/5 GHz 1–6 GHz ISM
Wi-Fi 5 (802.11ac)	433–6933 Mbit/s	2014	5 GHz
Wi-Fi 4 (802.11n)	72–600 Mbit/s	2009	2.4/5 GHz
Wi-Fi 3 (802.11g)	3–54 Mbit/s	2003	2.4 GHz
Wi-Fi 2 (802.11a)	1.5 to 54 Mbit/s	1999	5 GHz
Wi-Fi 1 (802.11b)	1 to 11 Mbit/s	1999	2.4 GHz

(Wi-Fi 1, Wi-Fi 2, Wi-Fi 3 are unbranded^[41] but have unofficial assignments^[42])

a, b, g, n, ac, ad, af, ah, aj, ax, ay

Használt sáv és lefedett terület...



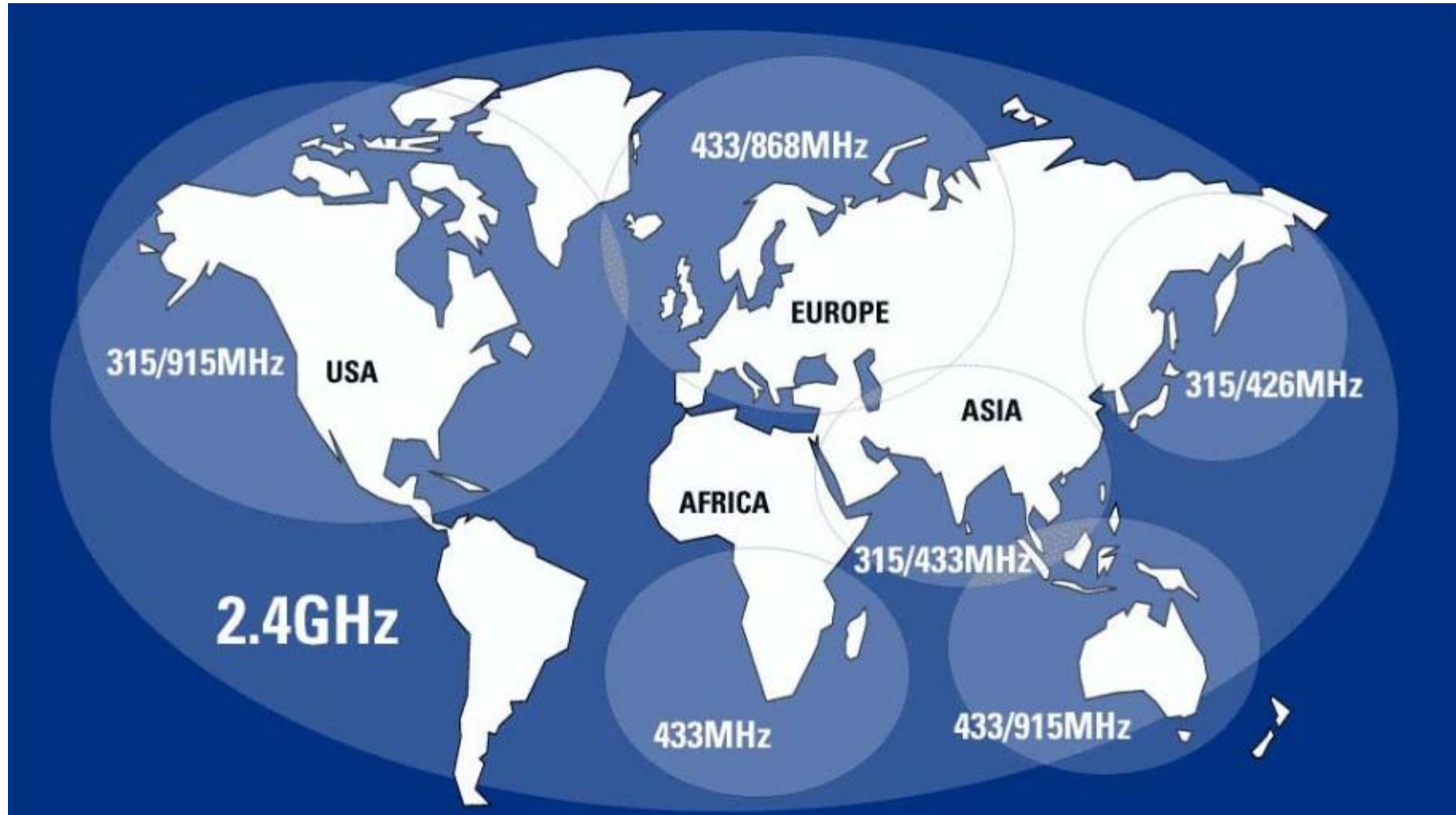
Forrás: <https://www.androidauthority.com/wifi-standards-explained-802-11b-g-n-ac-ad-ah-af-666245/>

Wi-Fi - engedélyköteles?

- ❑ Milyen sávban?
- ❑ ISM – Industry, Science, Medicine
 - Un-Licensed Band
 - 1947 ITU definiálta, ironia: kommunikáció nincs benne
- ❑ Nincs garancia – sokminden „tolakszik” e sávban
 - Mikrosütő
 - DECT telefon
 - Drónok és egyébek távirányítása
 - IoT hálózatok (LoRa, SigFox, ZigBee)
 - Kocsi, riasztó, garázsajtó távirányító
 - Babafigyelő
 - Vezeték nélküli kamera
 - BlueTooth, stb...
 - **Sőt!** LTE Licensed-Assisted Access (LAA) és 5G!

ISM

- 433 MHz - 5.8 GHz általában jó
- Magasabb frekvencia – nagyobb fogyasztás
- Kisebb frekv. – nagyobb antenna, jobb áthatolás



Egy tucat nem licencköteles sáv világszerte

ITU-R

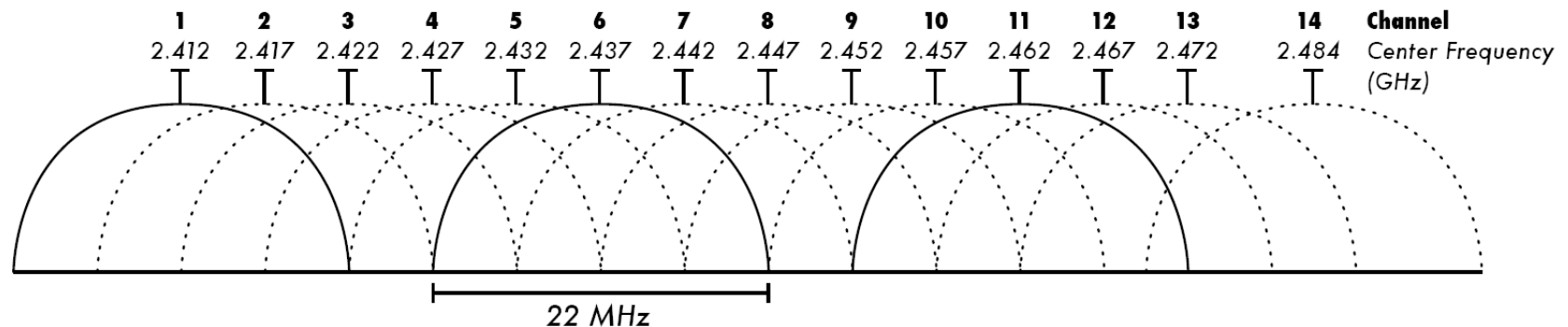


Frequency	Antenna length	Regions
27 MHz	276 cm	Worldwide
40 MHz	184 cm	Worldwide
315 MHz	12.6 cm	U.S. and Asia only
433 MHz	17.3 cm	Europe, Asia, Australia, U.S. (limited)
465 MHz	16.1 cm	FRS for use only North America
868 MHz	7.8 cm	Europe only
915 MHz	8.2 cm	U.S. and Australia only
1.227 GHz	6.1 cm	GPS L2 band
1.575 GHz	4.8 cm	GPS L1 band
1.9 GHz	3.9 cm	PCS for use in North America
2.4 GHz	3.1 cm	Worldwide (2.400 - 2.500 GHz)
5.8 GHz	1.3 cm	Worldwide (5.725 - 7.825 GHz)

Ehhez jön az 5GHz sáv!!!

A 2.4 GHz sáv: 14 csatorna

Wi-Fi 802.11 b és g csatornája

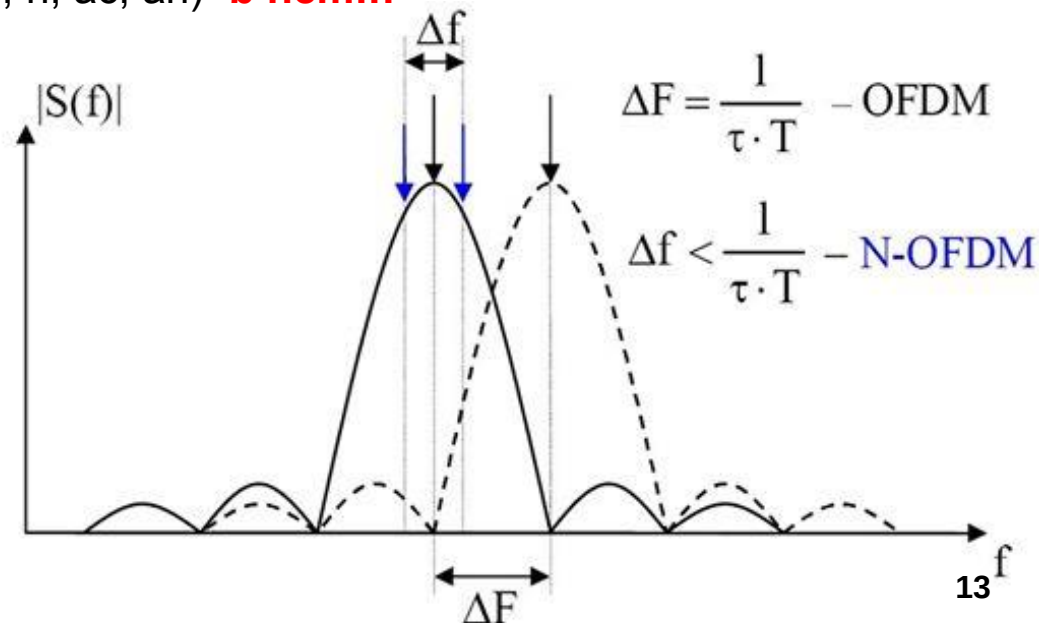


- **5 MHz-enként sávok: (mégis csak 3 !!! 1,6,11)**
 - ha 6. használjuk, 4-5 és 7-8 használatlan
 - 22 MHz-en 11 Mbps
- **DSSS: direct-sequence spread spectrum**
- **OFDM: orthogonal frequency-division multiplexing**
- **802.11g: OFDM és DSSS**

OFDM és DSSS

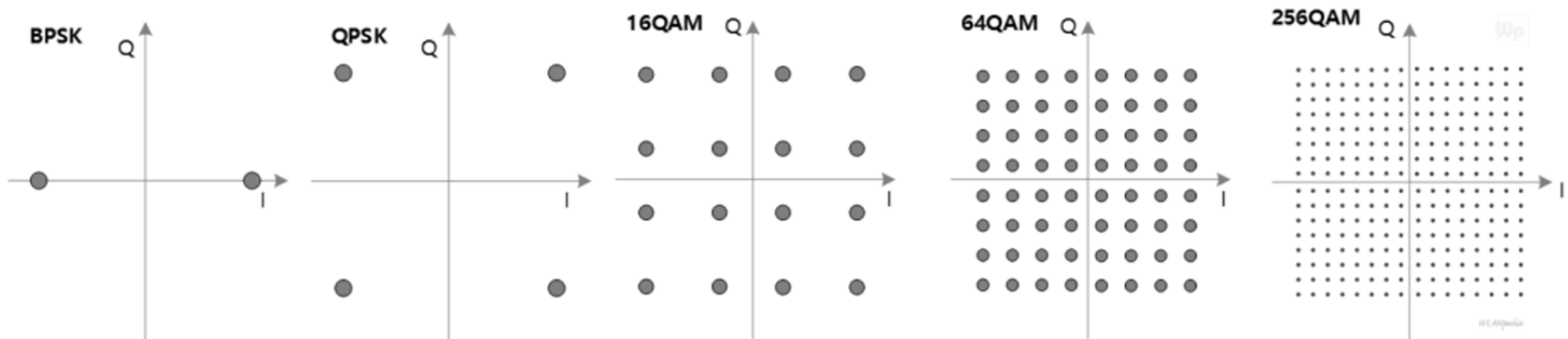
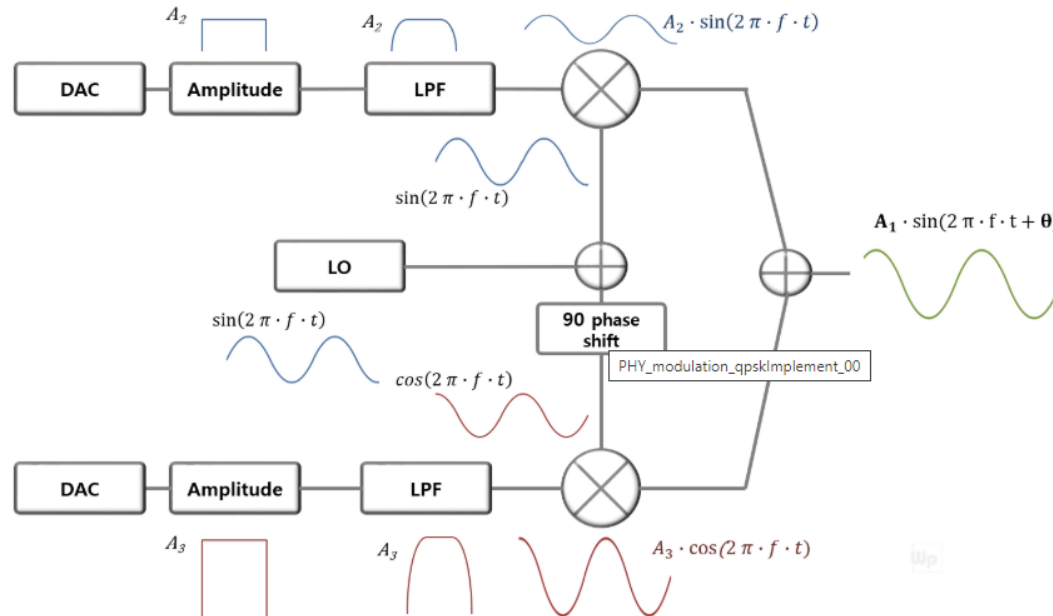
OFDM

- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
- Többvivős (frekvencia!) digitális átviteli technika
- Közeli, spektrálisan átlapolódó, ortogonális segédvivők párhuzamos átvitelre
- Pl.
 - Digitális TV és audio
 - xDSL internet hozzáférés
 - Wi-Fi hálózatok (IEEE 802.11a, g, n, ac, ah) **b nem!!!**
 - PLC
 - 4G/5G mobil kommunikáció, stb.
- Demoduláció FFT-vel
 - (Fast Fourier Transform)



WLAN / Wi-Fi modulációk

NEM KELL VIZSGÁRA!



BPSK (1bit), QPSK(2bit), 16QAM(4bit), 64QAM(6bit), 256QAM(8bit, $256=2^8$)

Forrás: <https://www.wlanpedia.org/tech/phy/modulation-constellation/>

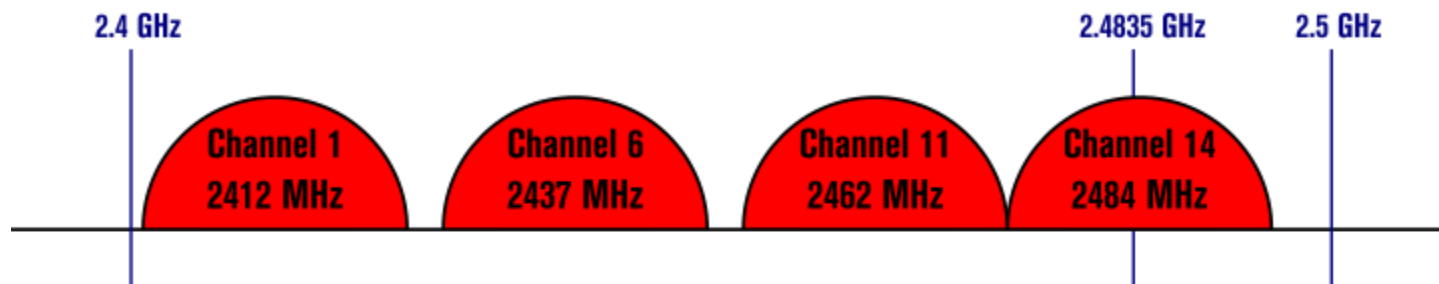
OFDM és DSSS

□ DSSS

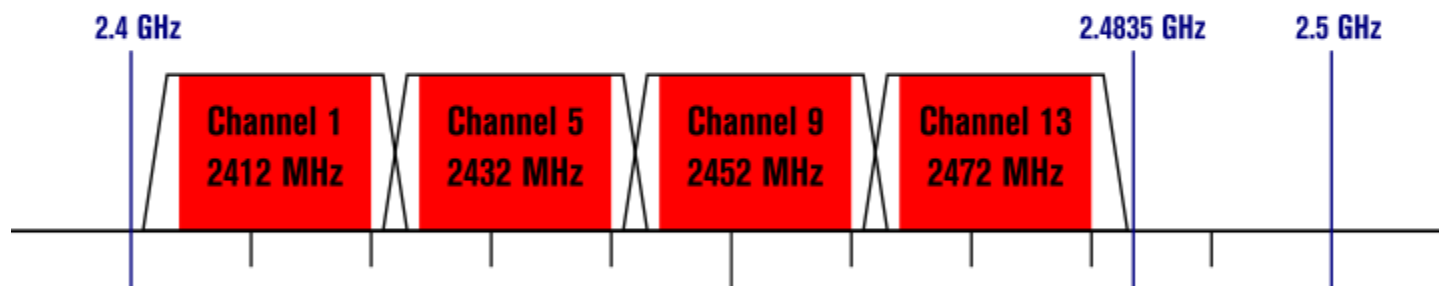
- Direct-Sequence Spread Spectrum
- Szórt spektrumú modulációs technika (spread-spectrum)
- Csökkenti az interferenciát
- Adásnál „szétkenjük” szélesebb spektrumra, vételnél visszaállítjuk az eredeti keskeny spektrumra
- Pl.:
 - CDMA (Code-Division Multiple Access)
 - 802.11b is ezt használja
 - GPS, Galileo, Glonass

Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

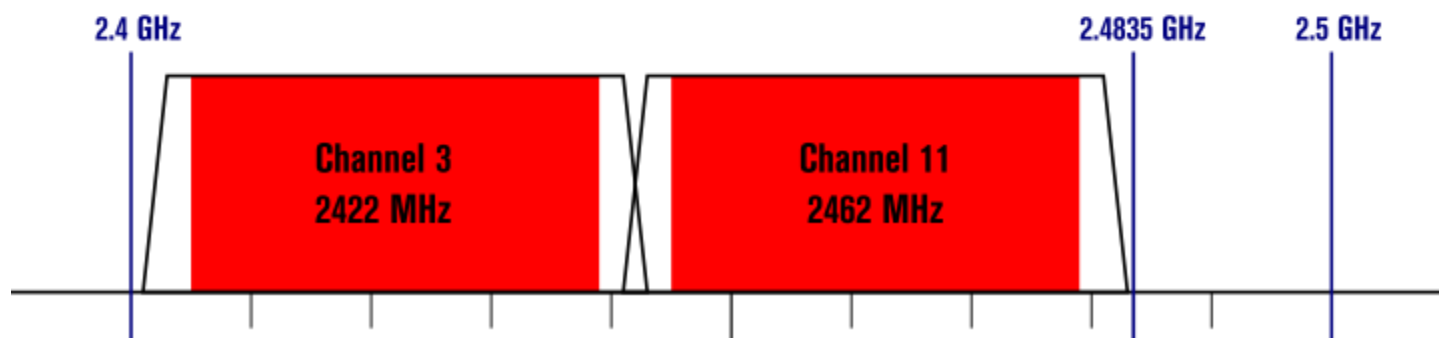
802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width – 16.25 MHz used by sub-carriers



802.11n (OFDM) 40 MHz ch. width – 33.75 MHz used by sub-carriers



Csak három csatorna?

- 1, 6 és 11 csatorna?
- Nagyobb frekvencia – nagyobb energia, de rosszabban megy át falon, stb-n... („penetráció”)
 - (pl. basszus messzebre szól mint magas, de nem tudjuk honnan...)
- Pl. 433 MHz-en ~5.5x nagyobb táv hidalható át mint 2.4 GHz-en azonos adóteljesítménnyel
 - $(2\,400\text{ MHz} / 433\text{ MHz} = 5.5)$

5 GHz sávban

- Elvileg 600 Mbps lehet
- Channel bonding
 - Összefogunk csatornákat
 - Csak 5GHz-es sávban, 2.4 GHz-esben NEM

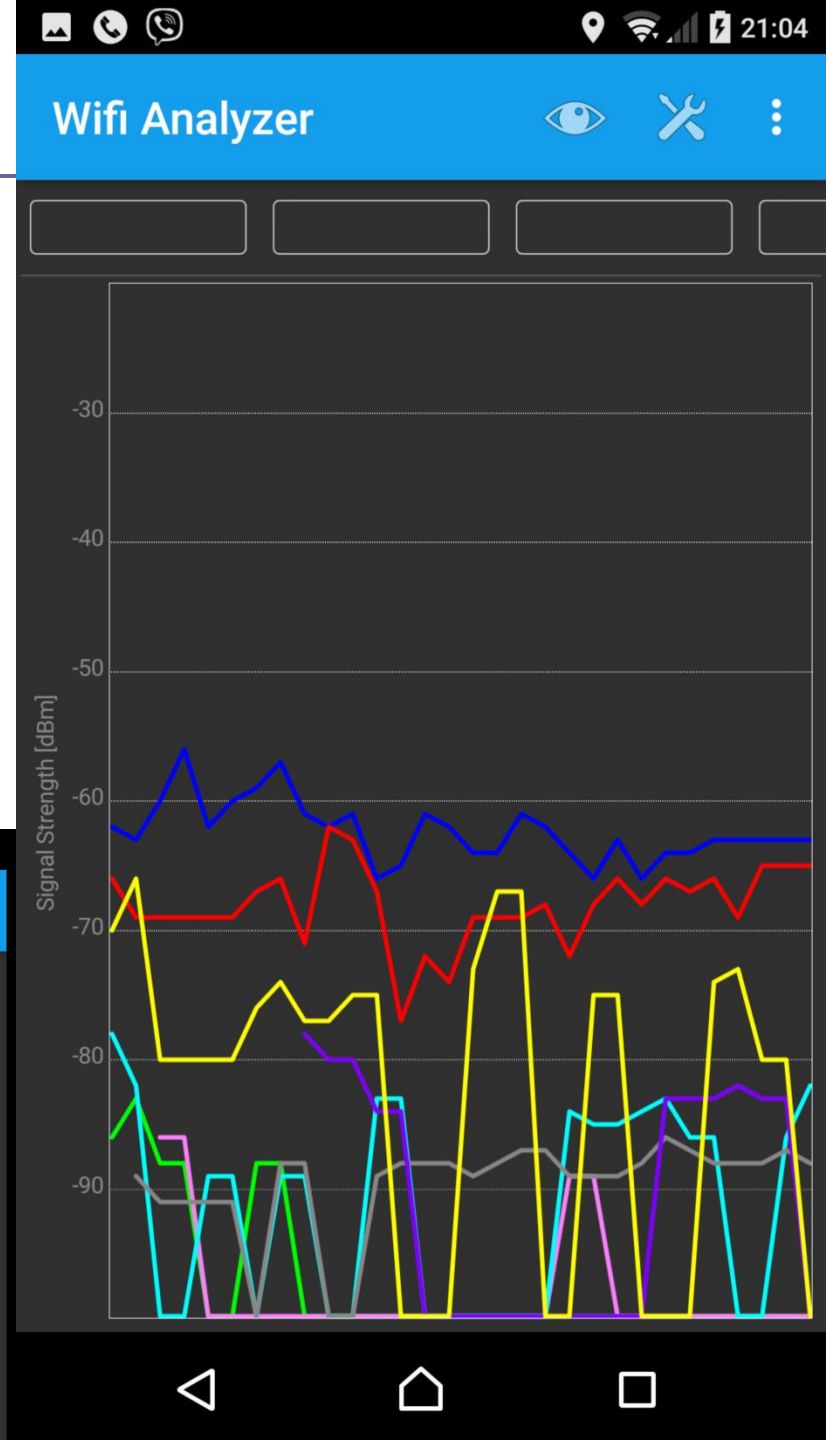
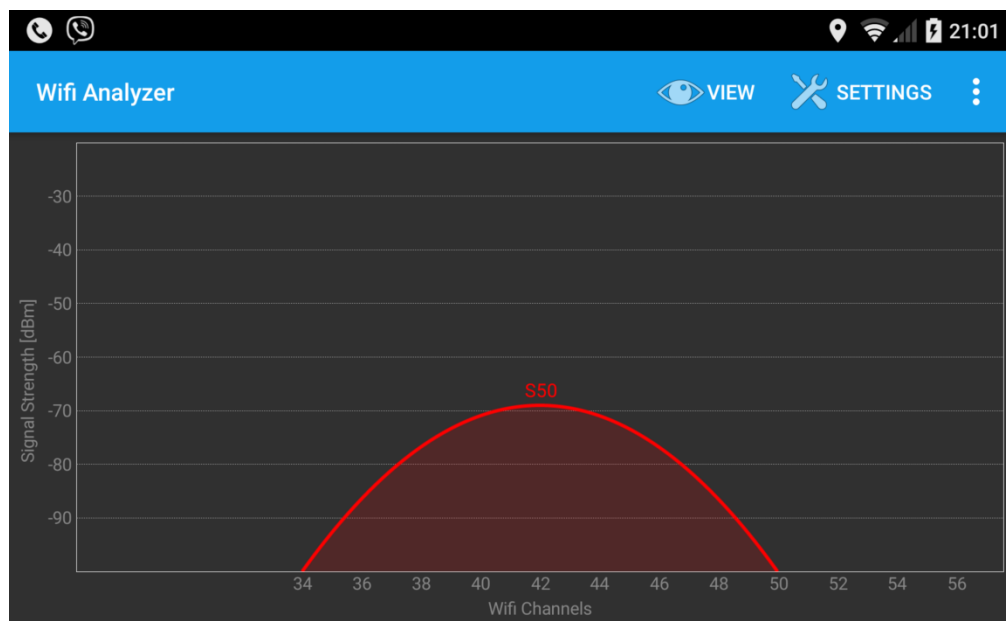
Channel	Frequency
36	5180
40	5200
44	5220
48	5240
52	5260
56	5280
60	5300
64	5320
100	5500
104	5520
108	5540
112	5560
116	5580
132	5660
136	5680
140	5700
149	5745
153	5765
157	5785
161	5805
165	5825

NEM KELL VIZSGÁRA!

Wifi Anlyzer

Otthon

(5 GHz sáv)



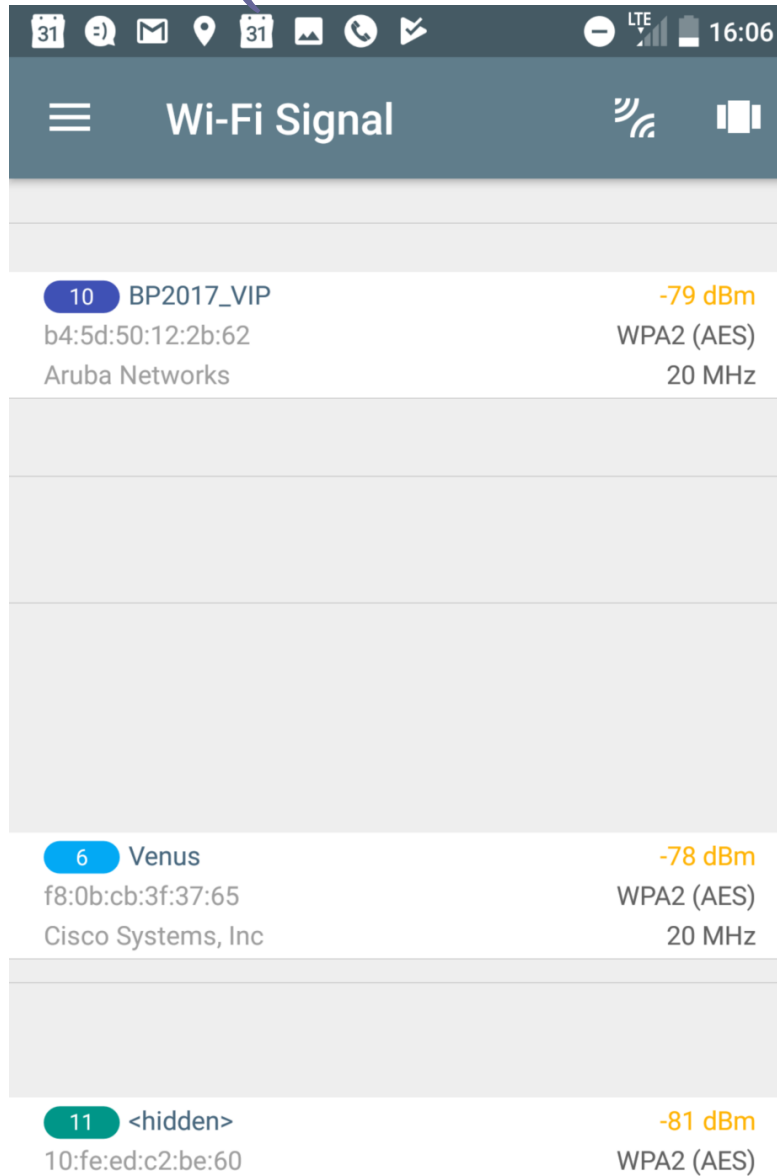
NetAnalyzer MTA-n (5 GHz sáv)

Wi-Fi Signal			Wi-Fi Signal			Wi-Fi Signal		
2c:33:11:38:46:dd	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	40 MHz	1c:e6:c7:1c:36:5a	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	40 MHz	
48 Venus	80 MHz	48 Mars	-66 dBm	36 merkur	-84 dBm			
2c:33:11:38:46:da	WPA2 (AES)	9c:4e:20:5d:a8:29	40 MHz	9c:4e:20:c8:c8:6f	WPA2 (AES/TKIP)			
Cisco Systems, Inc	80 MHz	48 189	-66 dBm	Cisco Systems, Inc	40 MHz			
52 eduroam	-81 dBm	9c:4e:20:5d:a8:2d	WPA2 (AES)	36 eduroam	-85 dBm			
1c:e6:c7:1c:36:5e	WPA2/WPA (AES/TKIP)	Cisco Systems, Inc	40 MHz	9c:4e:20:c8:c8:6e	WPA2/WPA (AES/TKIP)			
Cisco Systems, Inc	40 MHz	48 eduroam	-66 dBm	Cisco Systems, Inc	40 MHz			
52 merkur	-81 dBm	9c:4e:20:5d:a8:2e	WPA2/WPA (AES/TKIP)	36 189	-85 dBm			
1c:e6:c7:1c:36:5f	WPA2 (AES/TKIP)	Cisco Systems, Inc	40 MHz	9c:4e:20:c8:c8:6d	WPA2 (AES)			
Cisco Systems, Inc	40 MHz	149 dd-wrt	-68 dBm	Cisco Systems, Inc	40 MHz			
52 merkur	-82 dBm	c4:6e:1f:a6:b7:e1	20 MHz	36 Mars	-85 dBm			
2c:33:11:13:ee:ff	WPA2 (AES/TKIP)	TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD.	-74 dBm	9c:4e:20:c8:c8:69	WPA2 (AES)			
Cisco Systems, Inc	80 MHz	52 Mars	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	40 MHz			
52 189	-82 dBm	1c:e6:c7:1c:36:59	40 MHz	36 eduroam	-88 dBm			
2c:33:11:13:ee:fd	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	-77 dBm	f8:0b:cb:3f:37:6e	WPA2/WPA (AES/TKIP)			
Cisco Systems, Inc	80 MHz	48 189	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	80 MHz			
52 189	-82 dBm	2c:33:11:38:46:dd	80 MHz	36 merkur	-90 dBm			
1c:e6:c7:1c:36:5d	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	-78 dBm	f8:0b:cb:3f:37:6f	WPA2 (AES/TKIP)			
Cisco Systems, Inc	40 MHz	48 eduroam	WPA2/WPA (AES/TKIP)	Cisco Systems, Inc	80 MHz			
52 Venus	-82 dBm	2c:33:11:38:46:de	80 MHz	132 <hidden>	-92 dBm			
2c:33:11:13:ee:fa	WPA2 (AES)	Cisco Systems, Inc	-78 dBm	4c:5e:0c:89:bb:65				
Cisco Systems, Inc	80 MHz	48 Mars	WPA2 (AES)	Routerboard.com	20 MHz			
52 Venus	-82 dBm	2c:33:11:38:46:d9						

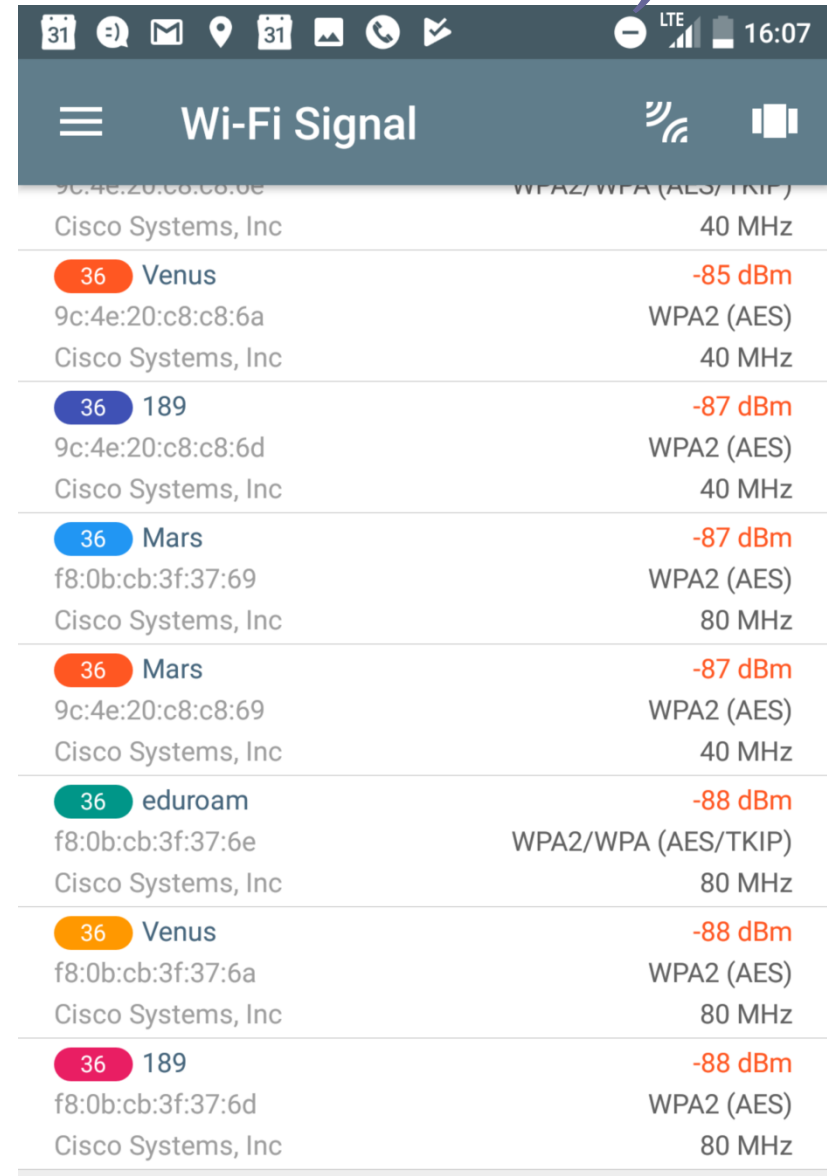
NetAnalyzer MTA-n

NEM KELL VIZSGÁRA!

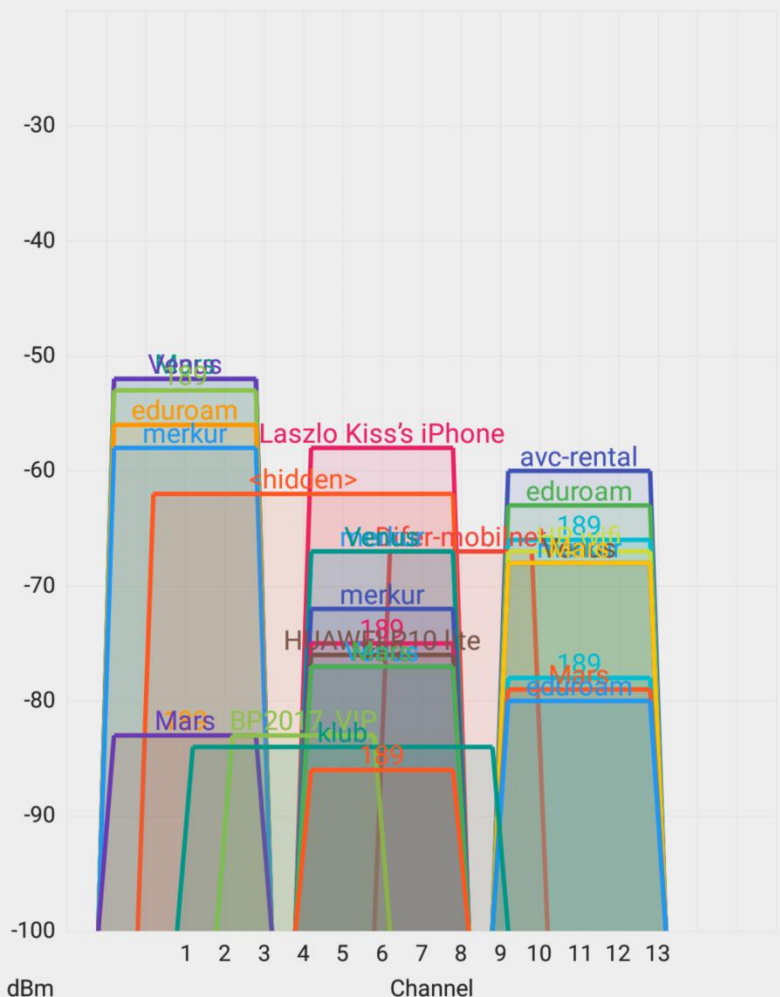
(2.4 GHz és 5 GHz sáv)



SSID	Signal Strength	MAC Address	Security	Channel
10 BP2017_VIP	-79 dBm	b4:5d:50:12:2b:62	WPA2 (AES)	20 MHz
6 Venus	-78 dBm	f8:0b:cb:3f:37:65	WPA2 (AES)	20 MHz
11 <hidden>	-81 dBm	10:fe:ed:c2:be:60	WPA2 (AES)	20 MHz



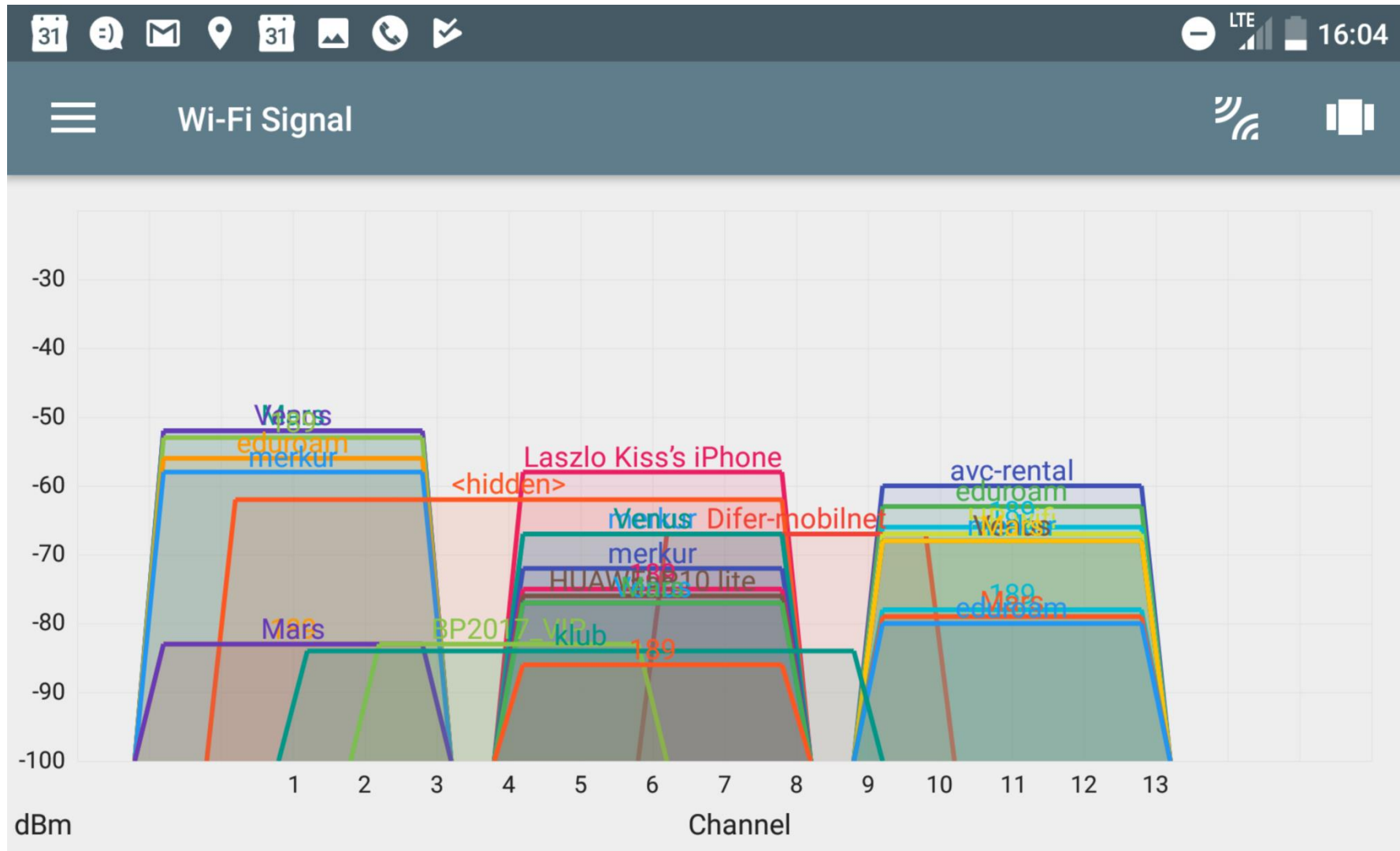
SSID	Signal Strength	MAC Address	Security	Channel
36 Venus	-85 dBm	9c:4e:20:c8:c8:6a	WPA2 (AES)	40 MHz
36 189	-87 dBm	9c:4e:20:c8:c8:6d	WPA2 (AES)	40 MHz
36 Mars	-87 dBm	f8:0b:cb:3f:37:69	WPA2 (AES)	80 MHz
36 Mars	-87 dBm	9c:4e:20:c8:c8:69	WPA2 (AES)	40 MHz
36 eduroam	-88 dBm	f8:0b:cb:3f:37:6e	WPA2/WPA (AES/TKIP)	80 MHz
36 Venus	-88 dBm	f8:0b:cb:3f:37:6a	WPA2 (AES)	80 MHz
36 189	-88 dBm	f8:0b:cb:3f:37:6d	WPA2 (AES)	80 MHz



NEM KELL VIZSGÁRA! 2.4 GHz sáv

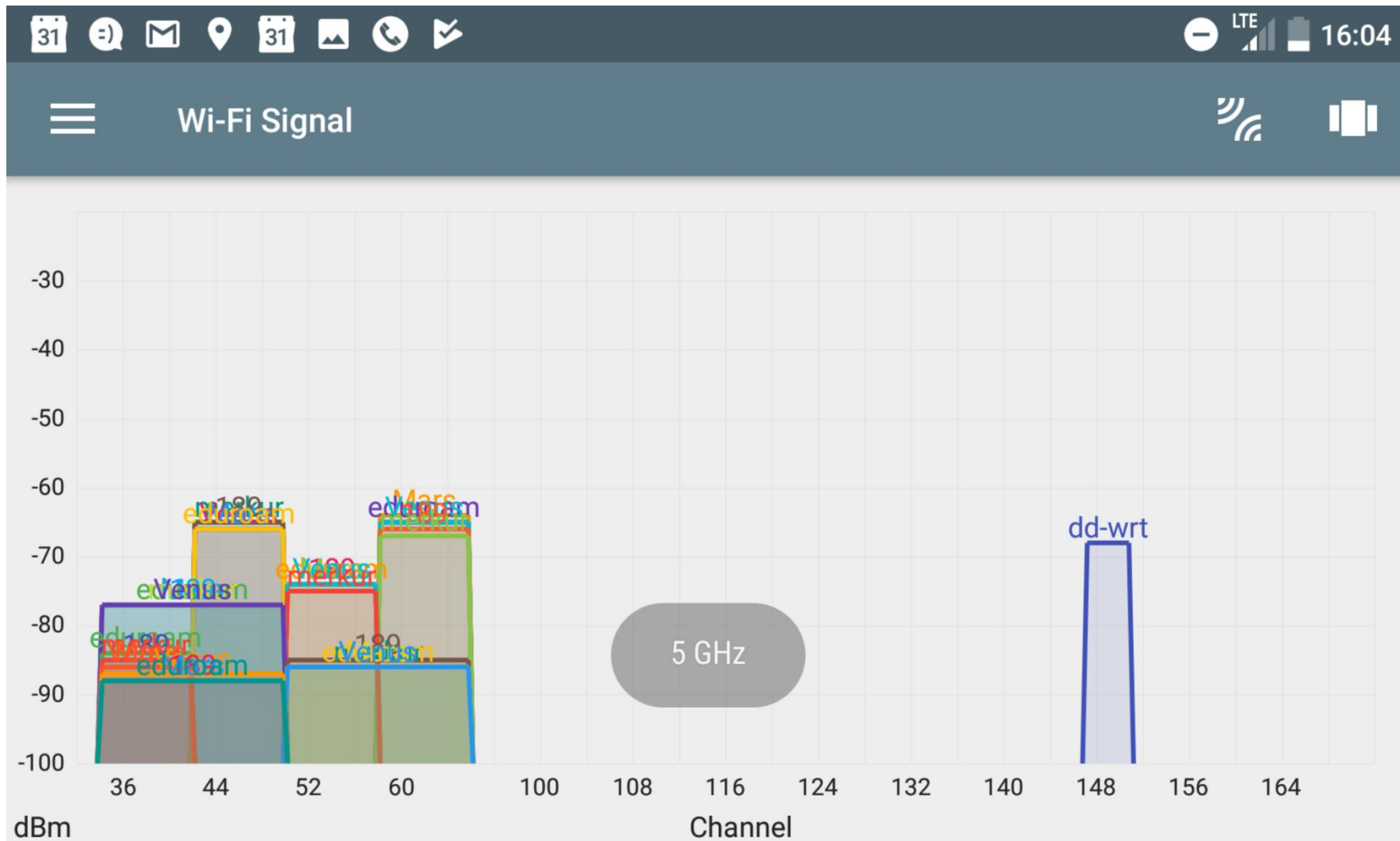
2.4 GHz sáv

NEM KELL VIZSGÁRA!



5 GHz sáv

NEM KELL VIZSGÁRA!



MTA-n 5 GHz sáv

NEM KELL VIZSGÁRA!

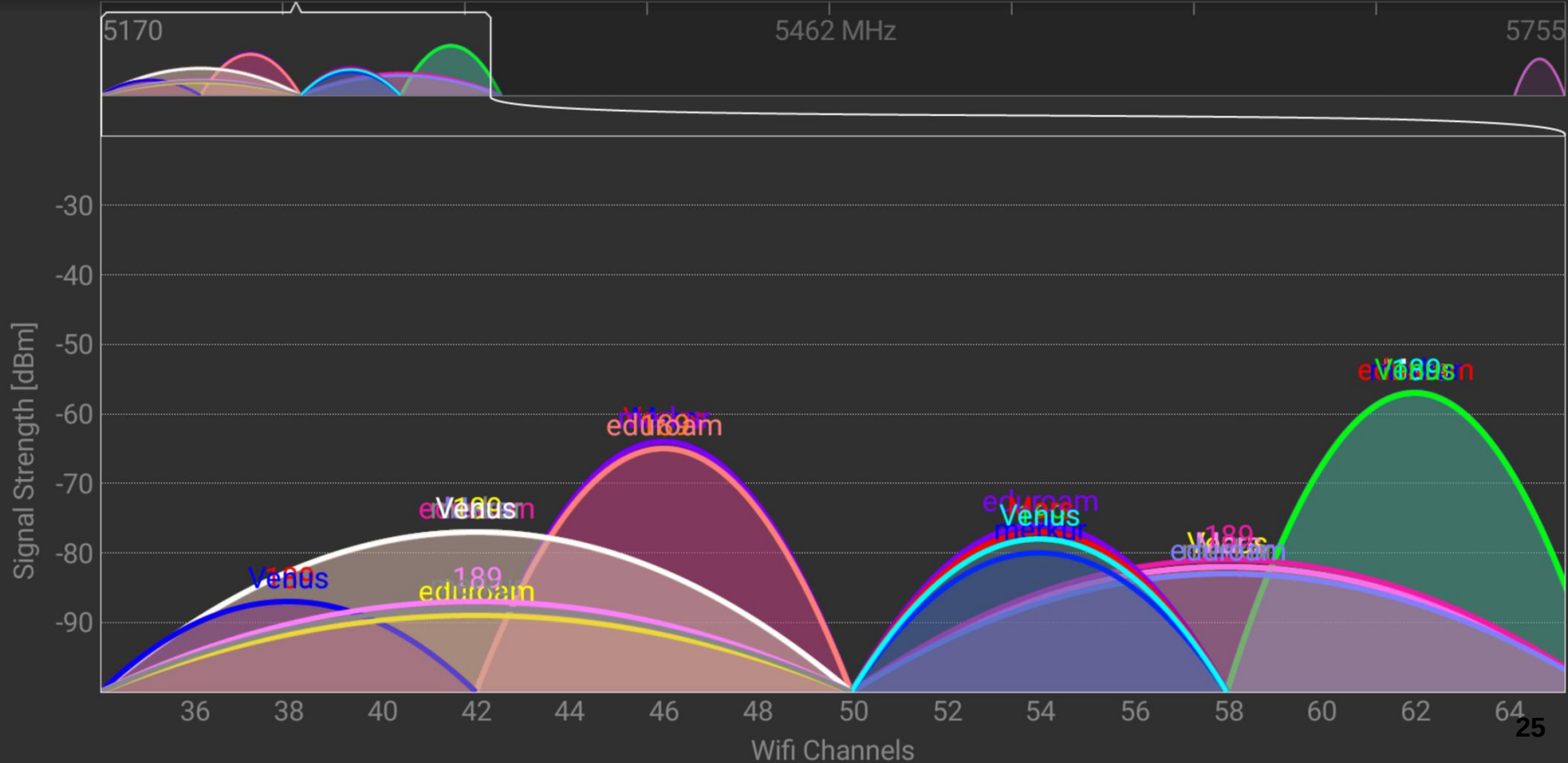


LTE 16:02

Wifi Analyzer

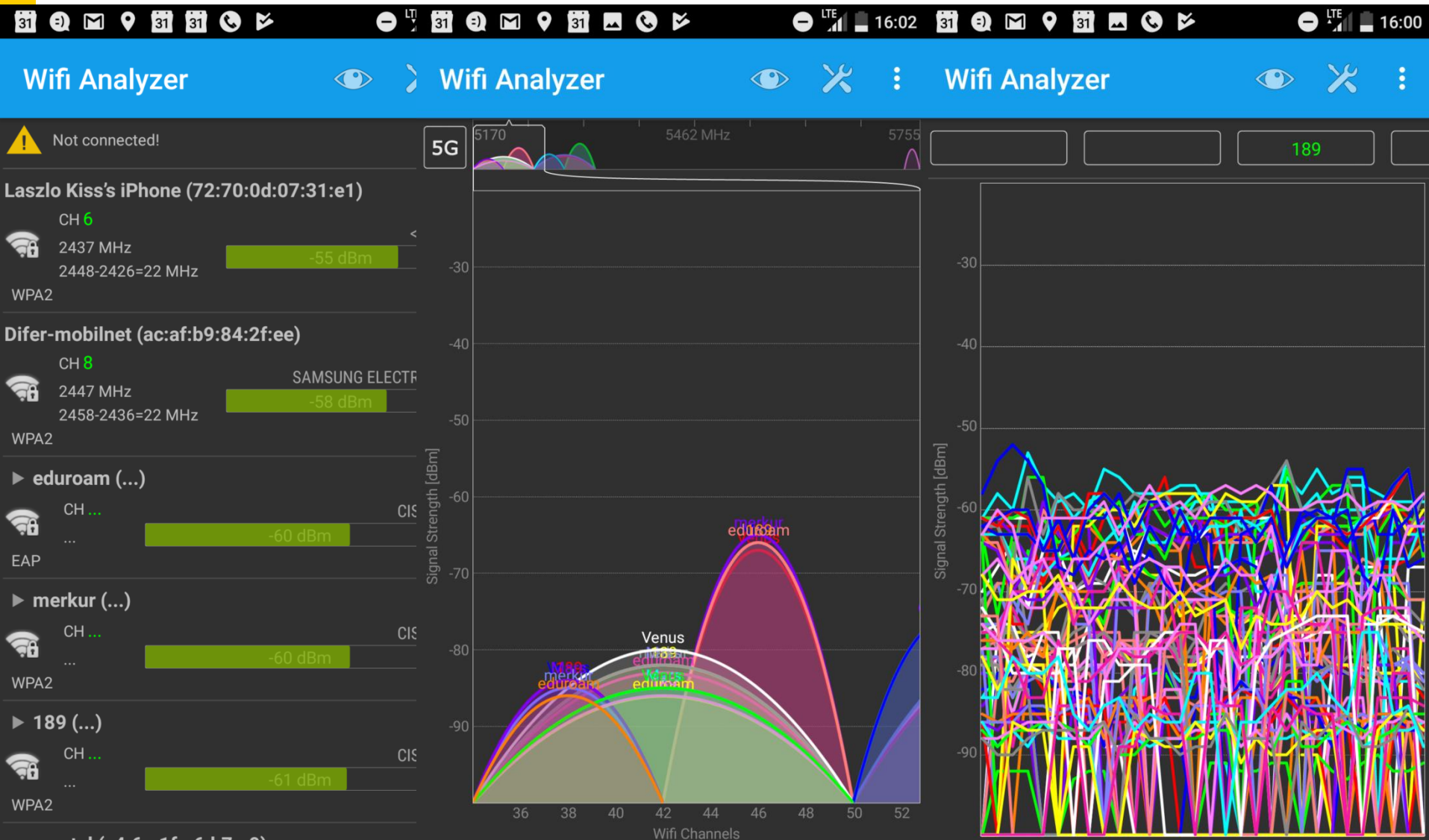
VIEW

SETTINGS



5 GHz sáv

NEM KELL VIZSGÁRA!



Többszörös közeghozzáférés

□ Osztott közeg!!! → ütközés

- Ethernet szegmentált!
- De „Éter” szegmentálható? (Wi-Fi) **NEM!** ☹️

Sőt:

- Nagyobb jelcsillapítás
- Interferenciák („Zajok”)
- Többutas terjedés

□ „CSMA/CD” és „CSMA/CA”

- CSMA – „belehallgat” az „éterbe”
 - Carrier-sense multiple access
- CD – észleli az ütközést és vár (esetleg megszakítja az adást)
 - Collision Detection (ütközésérzékelés)
- CA – kontroll üzenettel nézi van-e ütközés, ha észlel ütközést vár, ha nem akkor „foglal” időrést
 - Collision Avoidance
- CR – prioritásokat kezel
 - Collision Resolution

Adatkapcsolati rétegbeli csatlakozás

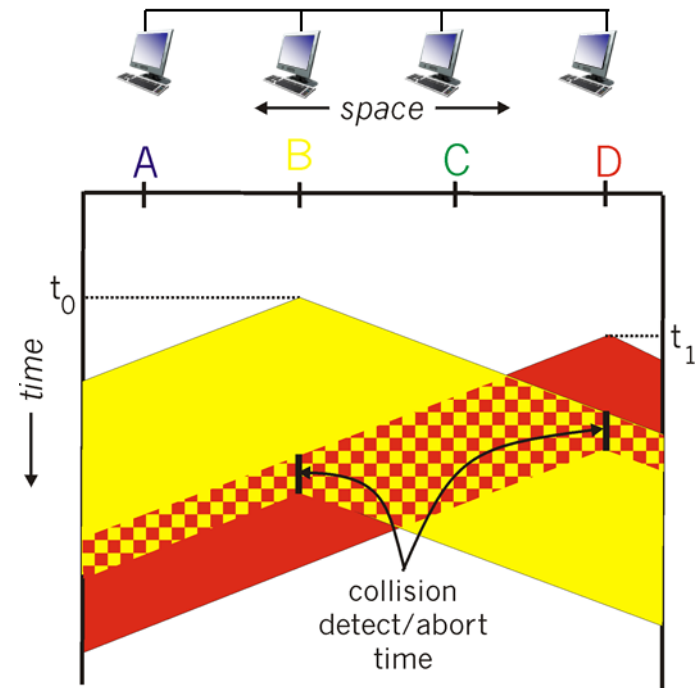
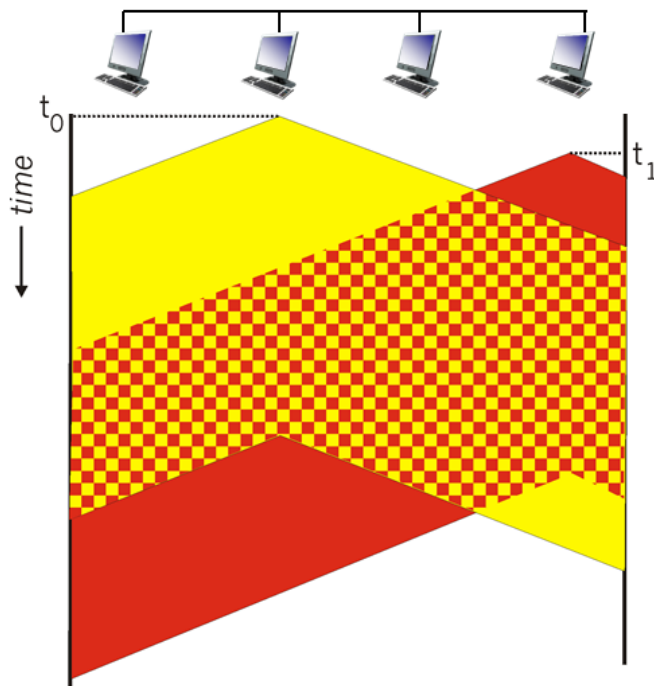
- Host csatlakozik AP-hez
 - szkenneli a csatornákat
 - Vár „beacon” keretet mely tartalmazza az AP nevét (SSID-jét) és MAC címét
 - SSID: Service Set Identifier (32-byte)
 - Ha egynél több AP van, akkor választ (Association Request)
 - Ezt AP nyugtázza (Association Response)
 - Authentikáció általában történik
 - Általában DHCP-vel kap IP címet az adott AP alhálózatában
- Ez volt a passive scanning
- Lehet active is: a Host kezdeményez:
 - Probe Request keretet broadcastol

CSMA/CA

- CSMA adás előtt belehallgat az éterbe
- CSMA/CD előtte, de közben is belehallgat az éterbe
 - 802.11 nincs CD („közben is belehallgat”) mert
 - Amit küld az sokkal erősebb mint amit vesz – nem hallaná
 - Rejtett terminál, fading, stb miatt nem hallaná
 - Ha érzékelni nem tudjuk, hát kerüljük el!
 - Hogyan?
- CSMA/CA (Collision Avoidance)
 - Mintegy csatorna foglalás

CSMA és CSMA-CD

- Csak adás előtt hallgat bele a csatornába
- Adás előtt és közben hallgat a csatornába
 - Ha ütközést észlel leállít



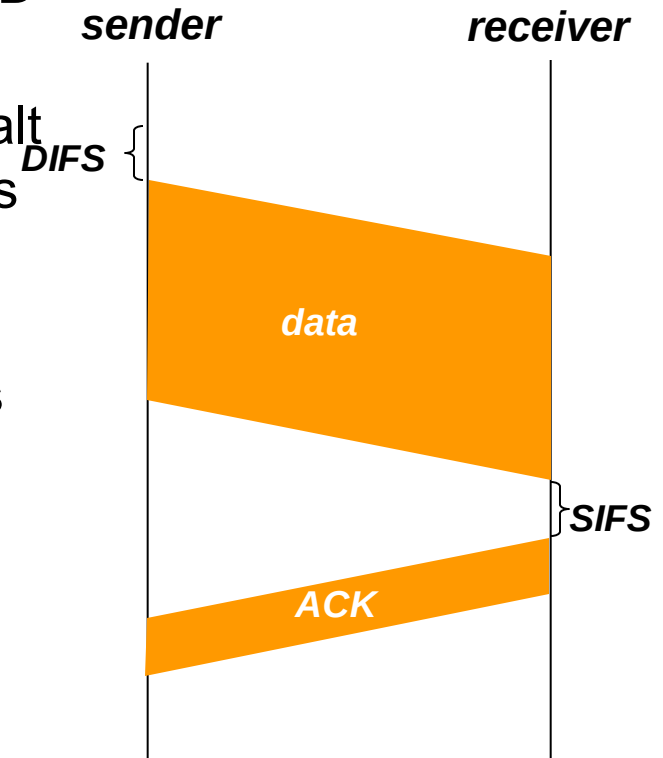
IEEE 802.11 MAC Protocol: CSMA/CA

802.11 Küldő (sender)

- 1 Ha **DIFS** ideig szabad a kontroll (érzékelő azaz „sense”) csatorna küldj egy keretet (CD itt nincs!)
- 2 Ha az (érzékelő azaz „sense”) csatorna foglalt akkor véletlen „backoff” idő visszaszámlálás után ha érkezett nyugta (ACK) akkor küld
Ha nincs nyugta (ACK) akkor a backoff időzítőt nagyobb véletlen értékre állítjuk és ismételjük második lépést

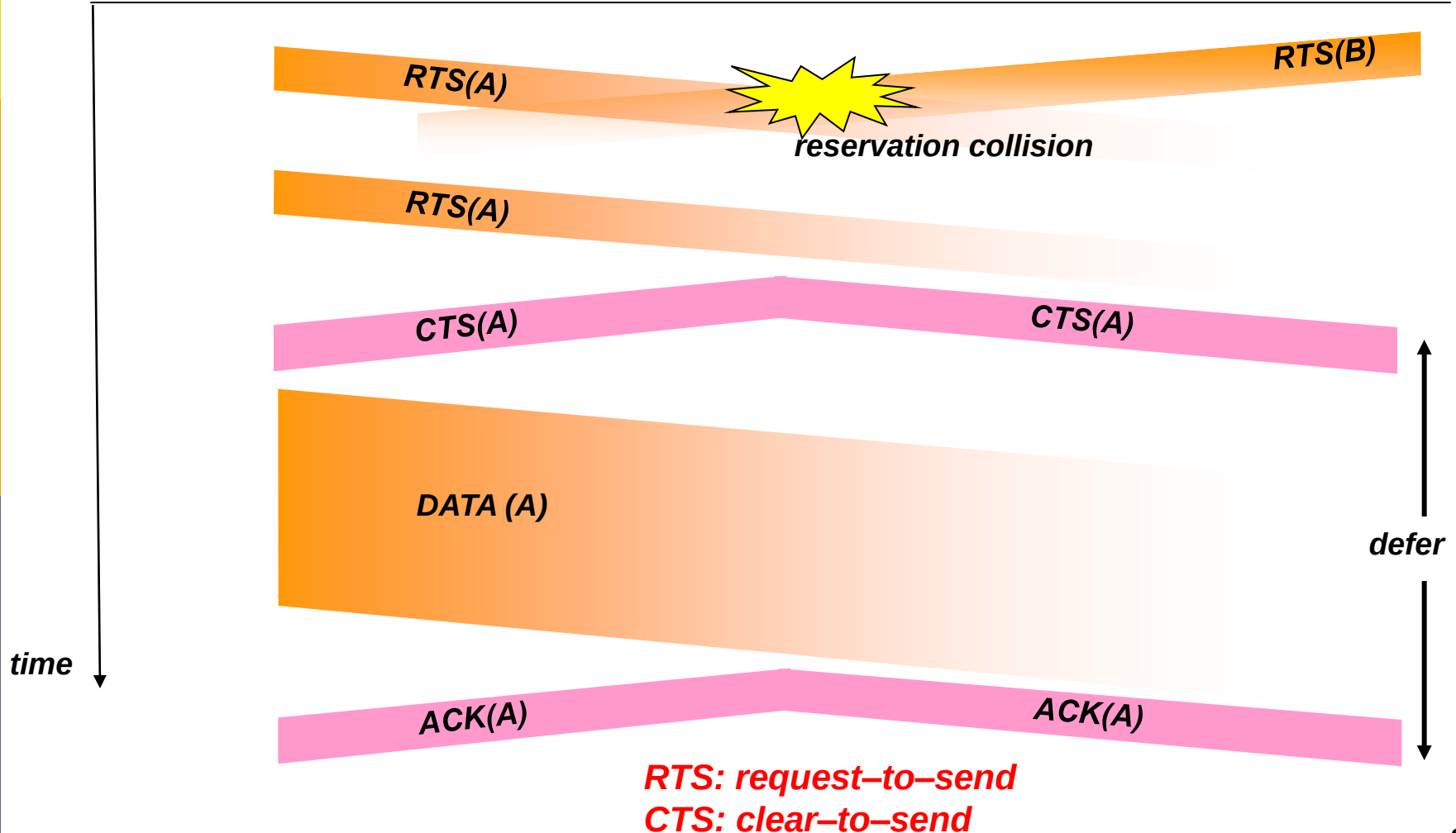
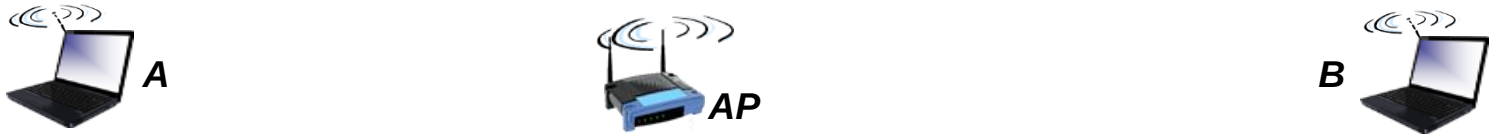
802.11 (Vevő) receiver

- Ha a keret megérkezett akkor nyugtázza
- SIFS idő után ACK
- Nyugta fontos a rejtett terminál probléma miatt

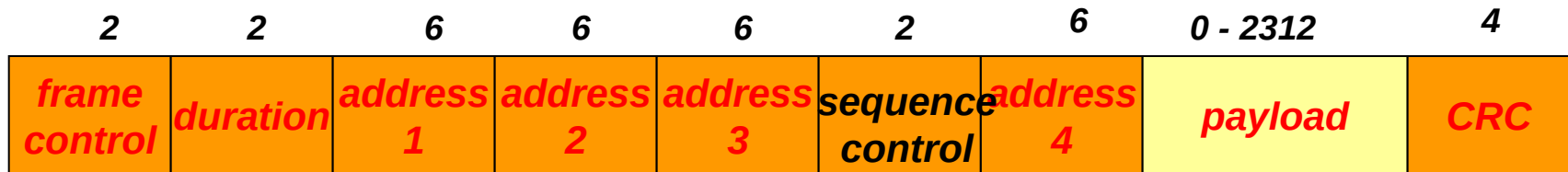


- CSMA/CA (Collision Avoidance)
 - Mintegy csatorna foglalás
 - CSMA-val küld egy kis request-to-send (RTS) keretet
 - Erre AP broadcastol egy clear-to-send CTS keretet
 - Ezt minden host hallja: küldő küld, többi vár

CSMA-CA (Collision Avoidance): RTS-CTS exchange



802.11 frame: addressing



Address 1: MAC address of wireless host or AP to receive this frame

Címzett

Address 2: MAC address of wireless host or AP transmitting this frame

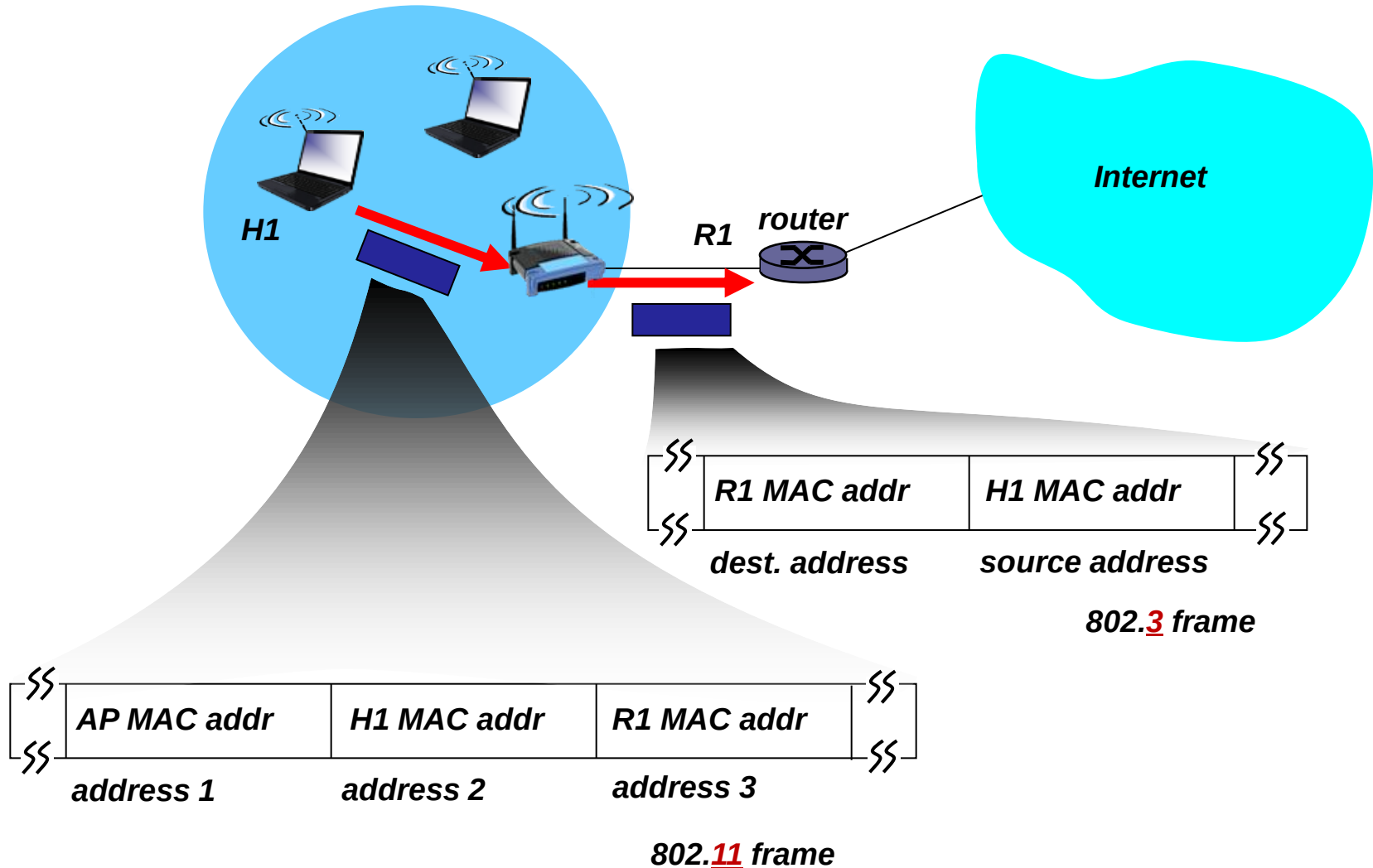
Feladó

Address 3: MAC address of router interface to which AP is attached

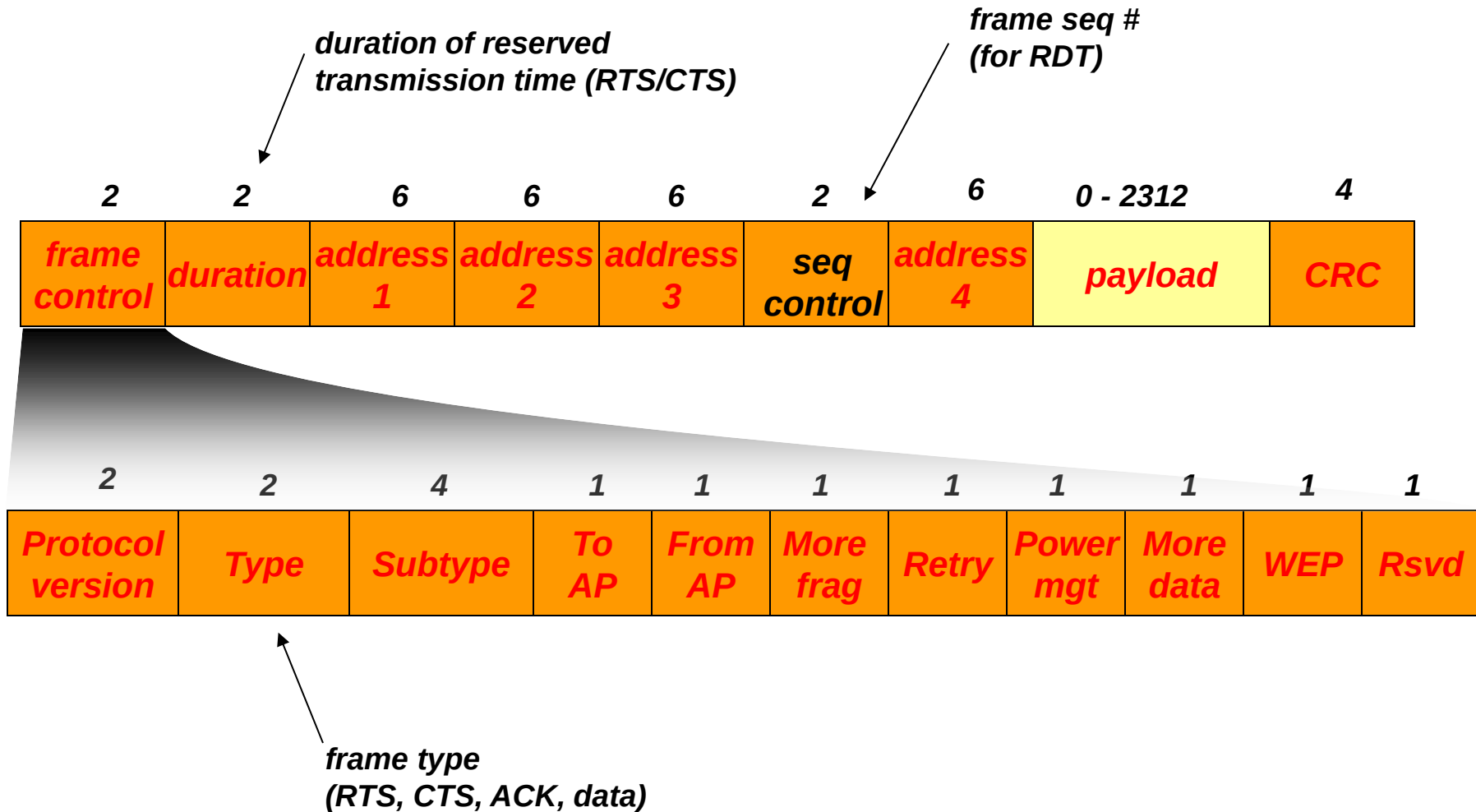
AP uplink

Address 4: used only in ad hoc mode

802.11 frame: Eth - Wi-Fi átjárás



802.11 frame (keret)



Wi-Fi adatbiztonság!

- <https://www.ghacks.net/2015/03/24/secure-your-wireless-router/>
 - HF!
-
- Wifi Analyzer
 - Net Analyzer

Kis Wi-Fi történelem

□ IEEE 802.11-1997

- FHSS (frequency-hopping spread spectrum)
- DSSS (direct sequence spread spectrum)
- 2.4GHz-es sávban és infravörös
- 1-2 Mbps-ra korlátozott adatsebesség
- Laza szabvány – interoperabilitási problémák

IEEE 802.11b 1999 - igen népszerű!

- ❑ 802.11a és 802.11b kiegészítések 1999-ben
- ❑ 1999 WiFi Alliance
- ❑ DSSS: 22 MHz-re szétkenve
- ❑ Jobb SNR
- ❑ CCK (complimentary code keying)
- ❑ 11 Mbps, visszalép 5.5, 2 és 1Mbps-ra

IEEE 802.11a 1999

- ❑ Kora előtt született (valamivel 802.11b előtt is...)
- ❑ Nem értették - Nem kellett
- ❑ Nem kompatibilis a 11a és 11b
- ❑ 5 GHz
- ❑ OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)
- ❑ Minden csatorna 64 segédvivőre oszlott
- ❑ 54 Mbps max átviteli sebesség, de 48, 36, 24, 18, 12, 9 és 6 Mbps is támogatott
- ❑ Többutas terjedés hatását csökkenti
- ❑ Nagyobb frekvencia – drágább – nem lett népszerű
- ❑ <https://www.ghacks.net/2015/03/19/wifi-basics-part-2-standards-and-amendments-through-802-11n/>

IEEE 802.11g 2003 nagyon népszerű!

- 11b árával, 11b sávjában (2.4GHz)
- 11a modulációjával (OFDM)
- 11b-vel visszafelé kompatibilis
- Wi-Fi 11g miatt felvirágzik
- ISP-k Wi-Fi-t beépítik CPE-jükbe (customer premises equipment)
- 802.11-2007: 11a, 11b és 11g „ráncfelvarrás”

IEEE 802.11n 2009

- 11a és 11g továbbfejlesztése
- A 2.4 és 5 GHz együttes használata
- Javított OFDM, ugyanúgy 64 segédvivőn
- Több segédvivő együttes használata
- MIMO
 - multiple-input multiple-output
 - akár 4 párhuzamos jel
 - Mindegyik 75 vagy 150 Mbps
 - MAX 600 Mbps
 - 1-6 antenna az eszközön
- 802.11-2012
 - minden eddigi benne

Spatial Streams	Channel Width (MHz)	Max Speed (Mbps)
1	20	72
1	40	150
2	20	150
2	40	300
3	40	450
4	40	600

MIMO

- Több bemenet – több kimenet
- 3x3, 4x4
- 3x3:3, 4x4:4 – 3 vagy 4 párhuzamos jel
- Vagy Beam Forming...
 - Nyalábképezés
 - „Konstruktív interferencia”
- 11n – defacto szabvány

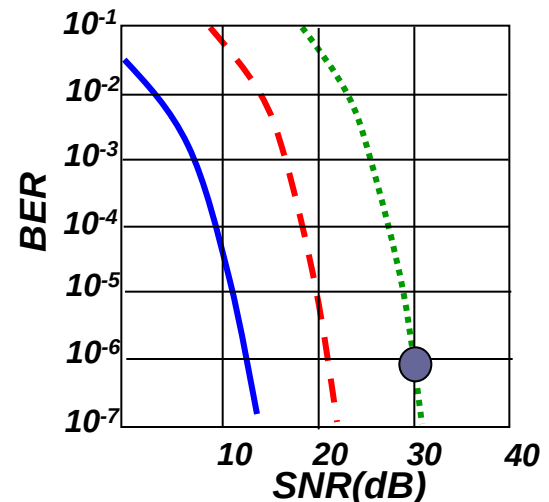


Adaptive Coding

- 802.11a/b/g/n
- jelminőség, BER, stb függvényében
- változtatja a modulációs technikákat
 - 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
- Rosszabb körülmények:
 - Akkor ugyanazon sávon kisebb bps
 - És fordítva

- BER: Bit Error Rate
- SNR: Signal to Noise Ratio

..... QAM256 (8 Mbps)
- - - QAM16 (4 Mbps)
— BPSK (1 Mbps)
● operating point



IEEE 802.11ac 2014 január

- 11n továbbfejlesztése
- Csak 5 GHz, 2.4 GHz NEM!!!
- Lefedettség csökken
- De bps növekszik!!!
 - Csatorna összefogás – max 8
 - Csatornánként 256-QAM
 - (Quadrature Amplitude Modulation)
 - Max 8x8 MIMO
 - Visszafelé teljesen kompatibilis

 - UE: 1-4 antenna...

□ Beamforming

- Szelektív
- Zajelnyomás
- Hatótávnövelés

□ MU-MIMO

- 8 párhuzamos jel
- De 4 különböző eszköz felé!!!
- Lehet nagy az adási sebesség
 - Ezáltal kevesebbet van az „éterben”
 - Ezáltal kevesebbet fogyaszt

□ MIMO

- SS spatial streams 1-4 (térben)
- MU multi-user MIMO (MU-MIMO)
- Beamforming
- 802.11ac
- 2-8 antenna: 2x2, 3x3, 4x4, 6x6, 8x8
- 52 subcarriers for 20 MHz channel
- 108 subcarriers for 40 MHz
- 234 subcarriers for 80 MHz
- 486 subcarriers for 160 MHz
- https://www.arubanetworks.com/assets/wp/WP_80211acInDepth.pdf

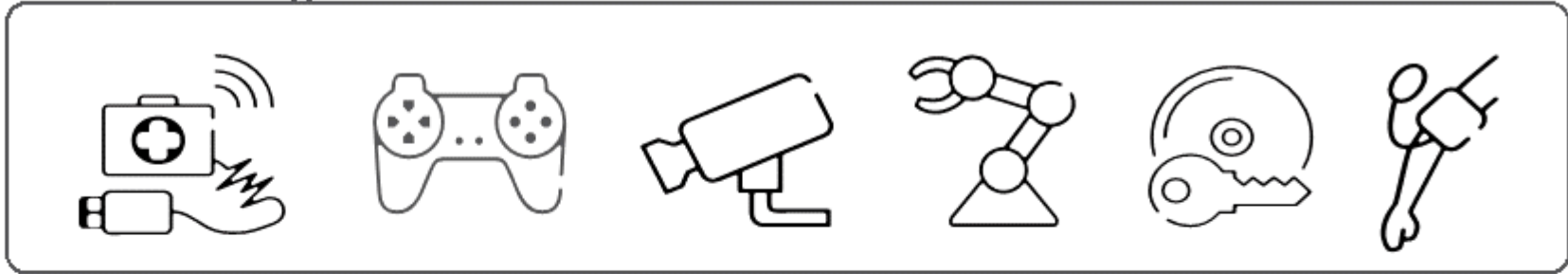
Kitérő: IoT: Mi is az?

- ❑ IoT is "the infrastructure of the information society."
- ❑ Okos város (okos iroda, okos otthon, automatizálás)
- ❑ Okos mezőgazdaság
- ❑ Okos közlekedés és szállítmányozás
- ❑ Okos energetikai rendszer, energiamenedzsment
- ❑ Okos egészségügy
- ❑ Gyártás (Ipar 4.0)
- ❑ Környezet figyelés
- ❑ Infrastruktúra menedzselés

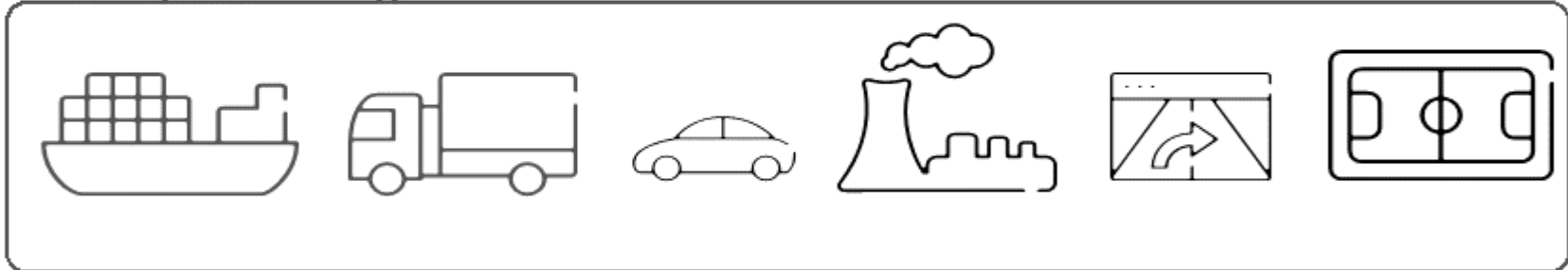
Kitérő: IoT: Mi is az?

- 2021-re 15 000 000 000 eszköz lesz „behálózva”
<https://www.ericsson.com/research-blog/5g/iot-networking/>

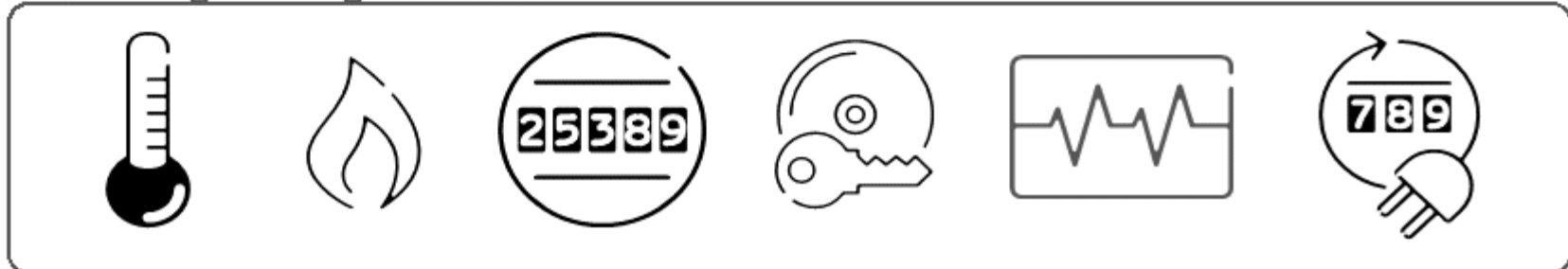
Smart “things”



Transport “things”



Sensing “things”



Kitérő:

- IoT
- IIoT
- 5G
 - Massive IoT
 - URLLC IoT
- Témalabor

- NB-IoT, Cat-M1, LoRa, 5G