



802.11B-TŐL WI-FI 6-IG – A WI-FI EVOLÚCIÓJA

ELŐADÓ:

SZÁNTAI PÉTER

ANTENNA HUNGÁRIA ZRT.

HÁLÓZATFEJLESZTÉSI OSZTÁLY

SENIOR WIFI HÁLÓZATI SZAKÉRTŐ

WI-FI (WIFI, WIFI VAGY WIFI)

- Az IEEE által kifejlesztett vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt (WLAN) megvalósító, széleskörűen elterjedt szabvány (IEEE 802.11) népszerű neve.
- [802.11] - 802.11b (Wi-Fi 1) - 802.11a (Wi-Fi 2) - 802.11g (Wi-Fi 3) - 802.11n (Wi-Fi 4) - 802.11ac (Wi-Fi 5) - 802.11ax (Wi-Fi 6) – [802.11be - (Wi-Fi 7)]

802.11

- **1997**
- **1 vagy 2 Mbit/s**
- **Háromféle fizikai réteg:**
 - **Infravörös**
 - **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)**
 - **DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)**
- **Frekvencia: 2,4 GHz**
- **Csatorna szélesség: 22 MHz**

802.11B – WI-FI 1

- 1999.
- 2,4 GHz
- 11 Mbit/s elméleti maximális sávszélesség
- DSSS
- Nagyobb interferencia, jobb terjedés



802.11A – WI-FI 2

- 1999.
- 5 GHz
- 54 Mbit/s elméleti maximális sávszélesség
- OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing)
- Kisebb interferencia, rosszabb terjedés

802.11G – WI-FI 3

- 2003.
- 2,4 GHz
- 54 Mbit/s elméleti maximális sávszélesség
- OFDM



802.11N – WI-FI 4

- 2009.
- 2,4 és 5 GHz
- 20/40 MHz csatorna szélesség
- MIMO antenna + Spatial Division Multiplexing (SDM) (4x4:4)
- Frame aggregation
- Short guard interval (400ns)
- 600 Mbit/s elméleti maximális sávszélesség (72 Mbit/s - 20MHz, 1x1)



MCS

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00
16	3	BPSK	1/2	19.50	21.70	40.50	45.00
17	3	QPSK	1/2	39.00	43.30	81.00	90.00
18	3	QPSK	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
19	3	16-QAM	1/2	78.00	86.70	162.00	180.00
20	3	16-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
21	3	64-QAM	2/3	156.00	173.30	324.00	360.00
22	3	64-QAM	3/4	175.50	195.00	364.50	405.00
23	3	64-QAM	5/6	195.00	216.70	405.00	450.00
24	4	BPSK	1/2	26.00	28.80	54.00	60.00
25	4	QPSK	1/2	52.00	57.60	108.00	120.00
26	4	QPSK	3/4	78.00	86.80	162.00	180.00
27	4	16-QAM	1/2	104.00	115.60	216.00	240.00
28	4	16-QAM	3/4	156.00	173.20	324.00	360.00
29	4	64-QAM	2/3	208.00	231.20	432.00	480.00
30	4	64-QAM	3/4	234.00	260.00	486.00	540.00
31	4	64-QAM	5/6	260.00	288.80	540.00	600.00

802.11AC – WI-FI 5

- 2013. Wave 1, 2016. Wave 2 (MU-MIMO, 160 MHz, 4x4)
- 5 GHz
- 20/40/80/160 MHz csatorna szélesség
- Maximum 8 spatial stream
- MU-MIMO (Downlink multi-user MIMO)
- 256 QAM (MCS 8/9)
- 6933 Mbit/s elméleti maximális sávszélesség (433 Mbit/s – 80MHz 1x1)



MCS

MCS	Modulation	Bits per Symbol	Coding Ratio	20-MHz		40-MHz		80-MHz		160-MHz	
				800ns	400ns	800ns	400ns	800ns	400ns	800ns	400ns
1 Spatial Stream				Data Rate (Mbps)							
MCS 0	BPSK	1	1/2	6.5	7.2	13.5	15.0	29.3	32.5	58.5	65.0
MCS 1	QPSK	2	1/2	13.0	14.4	27.0	30.0	58.5	65.0	117.0	130.0
MCS 2	QPSK	2	3/4	19.5	21.7	40.5	45.0	87.8	97.5	175.5	195.0
MCS 3	16-QAM	4	1/2	26.0	28.9	54.0	60.0	117.0	130.0	234.0	260.0
MCS 4	16-QAM	4	3/4	39.0	43.3	81.0	90.0	175.5	195.0	351.0	390.0
MCS 5	64-QAM	6	2/3	52.0	57.8	108.0	120.0	234.0	260.0	468.0	520.0
MCS 6	64-QAM	6	3/4	58.5	65.0	121.5	135.0	263.3	292.5	526.5	585.0
MCS 7	64-QAM	6	5/6	65.0	72.2	135.0	150.0	292.5	325.0	585.0	650.0
MCS 8	256-QAM	8	3/4	78.0	86.7	162.0	180.0	351.0	390.0	702.0	780.0
MCS 9	256-QAM	8	5/6	N/A	N/A	180.0	200.0	390.0	433.3	780.0	866.7
8 Spatial Streams				Data Rate (Mbps)							
MCS 0	BPSK	1	1/2	52.0	57.8	108.0	120.0	234.0	260.0	468.0	520.0
MCS 1	QPSK	2	1/2	104.0	115.6	216.0	240.0	468.0	520.0	936.0	1040.0
MCS 2	QPSK	2	3/4	156.0	173.3	324.0	360.0	702.0	780.0	1404.0	1560.0
MCS 3	16-QAM	4	1/2	208.0	231.1	432.0	480.0	936.0	1040.0	1872.0	2080.0
MCS 4	16-QAM	4	3/4	312.0	346.7	648.0	720.0	1404.0	1560.0	2808.0	3120.0
MCS 5	64-QAM	6	2/3	416.0	462.2	864.0	960.0	1872.0	2080.0	3744.0	4160.0
MCS 6	64-QAM	6	3/4	468.0	520.0	972.0	1080.0	2106.0	2340.0	4212.0	4680.0
MCS 7	64-QAM	6	5/6	520.0	577.8	1080.0	1200.0	2340.0	2600.0	4680.0	5200.0
MCS 8	256-QAM	8	3/4	624.0	693.3	1296.0	1440.0	2808.0	3120.0	5616.0	6240.0
MCS 9	256-QAM	8	5/6	N/A	N/A	1440.0	1600.0	3120.0	3466.7	6240.0	6933.3

Figure 1. 802.11ac PHY data rates for 1 and 8 spatial streams [3]

Type	2.4 GHz band ^[a] Mbit/s	2.4 GHz band config [all 40 MHz]	5 GHz band Mbit/s	5 GHz band config [all 80 MHz]
AC450 ^[15]	-	-	433	1 stream @ MCS 9
AC600	150	1 stream @ MCS 7	433	1 stream @ MCS 9
AC750	300	2 streams @ MCS 7	433	1 stream @ MCS 9
AC1000	300	2 streams @ MCS 7	650	2 streams @ MCS 7
AC1200	300	2 streams @ MCS 7	867	2 streams @ MCS 9
AC1300	400	2 streams @ 256-QAM	867	2 streams @ MCS 9
AC1300 ^[16]	-	-	1,300	3 streams @ MCS 9
AC1350 ^[17]	450	3 streams @ MCS 7	867	2 streams @ MCS 9
AC1450	450	3 streams @ MCS 7	975	3 streams @ MCS 7
AC1600	300	2 streams @ MCS 7	1,300	3 streams @ MCS 9
AC1700	800	4 streams @ 256-QAM	867	2 streams @ MCS 9
AC1750	450	3 streams @ MCS 7	1,300	3 streams @ MCS 9
AC1900	600 ^[d]	3 streams @ 256-QAM	1,300	3 streams @ MCS 9
AC2100	800	4 streams @ 256-QAM	1,300	3 streams @ MCS 9
AC2200	450	3 streams @ MCS 7	1,733	4 streams @ MCS 9
AC2300	600	4 streams @ MCS 7	1,625	3 streams @ 1024-QAM
AC2400	600	4 streams @ MCS 7	1,733	4 streams @ MCS 9
AC2600	800 ^[d]	4 streams @ 256-QAM	1,733	4 streams @ MCS 9
AC2900	750 ^[e]	3 streams @ 1024-QAM	2,167	4 streams @ 1024-QAM
AC3000	450	3 streams @ MCS 7	1,300 + 1,300	3 streams @ MCS 9 x 2
AC3150	1000 ^[e]	4 streams @ 1024-QAM	2,167	4 streams @ 1024-QAM
AC3200	600 ^[d]	3 streams @ 256-QAM	1,300 + 1,300 ^[f]	3 streams @ MCS 9 x 2
AC5000	600	4 streams @ MCS 7	2,167 + 2,167	4 streams @ 1024-QAM x 2
AC5300 ^[20]	1000 ^[e]	4 streams @ 1024-QAM	2,167 + 2,167	4 streams @ 1024-QAM x 2

802.11AX – WI-FI 6

- 2021?
- 1-6 GHz
- Eddigi fejlesztések az elméleti sebességek növeléséről szóltak
- De a fizikai rétegben továbbra is problémát jelent a média hozzáférés (CSMA/CA)
- A tényleges TCP átvitel a hirdetett data rate 50%-a körül volt
- - > Spektrális hatékonyság növelése
 - OFDMA, MU-MIMO (downlink és uplink), TWT, 1024-QAM
- WPA3



OFDMA

- **Orthogonal Frequency-Division Multiple Access**
- **Több kliens kiszolgálása egyidejűleg különböző sub-carriereken**
- **Központilag vezérelt médium hozzáférés**
- **Négyszer annyi subcarrier mint ac esetén (20 MHz: 64 -> 256)**
- **Csatorna felosztása RU-kra (Resource Unit)**
- **Az AP RU-kat rendel a csatlakozott kliensek adására és vételére**
- **-> a versengési overhead elkerülhető, ami növeli a hatékonyságot sok kliens esetén**

MU-MIMO

- Eddig csak downlink irányban, most már uplink irányban is
- Nem ugyanaz mint az OFDMA!
- Több kliens kiszolgálása egyidejűleg különböző spatial streamen
- Maximum 8 kliens kiszolgálása egyidőben (ac – 4)
- Hátránya: spatial diversity szükséges, sűrű környezetben nem hatékony
- Ritka környezetben, nagy sáv szélesség igényű, nagy csomagok küldésekor előnyösebb

EGYÉB HATÉKONYSÁG NÖVELŐ ESZKÖZÖK

- **BSS coloring: saját és szomszédos forgalom megkülönböztetése**
- **Két NAV (Network Allocation Vector)**
- **TWT (Target Wake Time): fogyasztás csökkentés és hatékonyabb média hozzáférés**
- **Guard interval: 0,8, 1,6 vagy 3,2 μ s multipath tolerancia**
- **1024-QAM: 25%-al nagyobb átvitel**

WPA3

- **Protected Management Frames**
- **128-bit AES helyett már 192-bit AES (Enterprise)**
- **PSK -> Simultaneous Authentication of Equals (SAE)**
- **Open -> Opportunistic Wireless Encryption (OWE)**
- **WPS -> Wi-Fi Device Provisioning Protocol (DPP)**

802.11BE – WI-FI 7

- **Extremely High Throughput (EHT)**
- **320 MHz csatorna szélesség és a nem folytonos spektrum hatékonyabb kihasználása**
- **Multi-band/multi-channel aggregáció**
- **16 spatial stream és MIMO protokoll fejlesztések**
- **Multi-Access Point Coordination (koordinált és egyesített átvitel)**
- **Enhanced link adaptation and retransmission protocol (Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ))**
- **Time-Sensitive Networking (TSN) kiterjesztések alacsony késleltetésű real-time forgalmakhoz**
- **4096-QAM**