

Эволюция Wi-Fi

1997	1999	2003	2009	2013	2021	
IEEE 802.11 До 2 Мбит/с 2,4 ГГц	IEEE 802.11b До 11 Мбит/с 2,4 ГГц	IEEE 802.11a До 54 Мбит/с 5 ГГц	IEEE 802.11g До 54 Мбит/с 2,4 ГГц	IEEE 802.11n До 600 Мбит/с 2,4 ГГц 5 ГГц GI 0,4 / 0,8 мкс MIMO	IEEE 802.11ac До 6933 Мбит/с 5 ГГц GI 0,4 / 0,8 мкс MU-MIMO	IEEE 802.11ax До 9608 Мбит/с 2,4 ГГц 5 ГГц 6 ГГц GI 0,8 / 1,6 / 3,2 мкс OFDMA
Приняты первые спецификации Wi-Fi	Основан альянс Wi-Fi Alliance	Доступен новый диапазон частот	Доступна потоковая передача музыки	Доступна потоковая передача видео	Доступна потоковая передача HD / Ultra HD видео	Доступна поддержка IoT-решений

Преимущества Wi-Fi 6

- Скорость передачи данных до 9,6 Гбит/с
- Увеличение ёмкости сети (рост числа одновременно подключенных устройств)
- Улучшенные возможности контроля сети
- Повышенная пропускная способность в среде с множеством подключенных устройств
- Низкое энергопотребление, увеличение времени автономной работы подключенных устройств

Сравнение 802.11ac и 802.11ax

Технология	802.11ac	802.11ax	Описание
OFDMA		●	Повышает спектральную эффективность путем нарезки каналов на меньшие по размеру подканалы
QAM	256-QAM	1024-QAM	Позволяет кодировать десять бит информации на каждый символ вместо восьми
MU-MIMO	● Downlink	● Downlink + Uplink	Общий объём передаваемой информации возрастает благодаря одновременной передаче или приему множества пространственных потоков между точкой доступа и клиентскими устройствами
BSS Coloring		●	Метод идентификации перекрывающихся базовых наборов услуг. В его основе лежит цветное кодирование
Механизм TWT		●	Уменьшает энергопотребление устройств
Пространственные потоки	4	4 - 8	Общий объём передаваемой от точки доступа информации увеличивается кратно количеству потоков
Фрагментация	Статическая	Динамическая	Динамическая фрагментация позволяет разбивать пакет на фрагменты разной длины, что повышает эффективность передачи данных
Расстояние между поднесущими	312,5 кГц	78,125 кГц	Уменьшенный интервал между поднесущими позволяет увеличить их количество и, соответственно, скорость передачи данных

OFDMA

Распределение ресурсных блоков (RU) OFDMA для канала 20 МГц

6 Guard 5 Guard

9 x 26 RU = 2 МГц
5 x 52 RU = 4 МГц
3 x 106 RU = 8 МГц
1 x 242+3 DC RU = 19 МГц

Передание данных с использованием OFDM Передача данных с использованием OFDMA

Модуляция 1024-QAM

256-QAM: 8 бит в 1 символе

1024-QAM: 10 бит в 1 символе

Увеличение пропускной способности на 25%

Скорость передачи 802.11ax для одного пространственного потока

Схемы модуляции / кодирования и скорость подключения

Индекс MCS ¹	Тип модуляции	Скорость кодирования	Скорость передачи данных (Мбит/с) ²					
			Каналы 20 МГц (242 RU)		Каналы 40 МГц (484 RU)		Каналы 80 МГц (996 RU)	
			GI ³ 1,6 мкс	GI 0,8 мкс	GI 1,6 мкс	GI 0,8 мкс	GI 1,6 мкс	GI 0,8 мкс
0	BPSK	1/2	8,1	8,6	16,3	17,2	34	36
1	QPSK	1/2	16,3	17,2	32,5	34,4	68,1	72,1
2	QPSK	3/4	24,4	25,8	48,8	51,6	102,1	108,1
3	16-QAM	1/2	32,5	34,4	65	68,8	136,1	144,1
4	16-QAM	3/4	48,8	51,6	97,5	103,2	204,2	216,2
5	64-QAM	2/3	65	68,8	130	137,6	272,2	288,2
6	64-QAM	3/4	73,1	77,4	146,3	154,9	306,3	324,3
7	64-QAM	5/6	81,3	86	162,5	172,1	340,3	360,3
8	256-QAM	3/4	97,5	103,2	195	206,5	408,3	432,4
9	256-QAM	5/6	108,3	114,7	216,7	229,4	453,7	480,4
10	1024-QAM	3/4	121,9	129	243,8	258,1	510,4	540,4
11	1024-QAM	5/6	135,4	143,4	270,8	286,8	567,1	600,4

¹MCS 9 применима не ко всем комбинациям ширины канала и количества пространственных потоков
²Второй поток удваивает теоретическую скорость передачи данных, третий - утраивает ее и т. д.
³GI обозначает защитный интервал

Механизм TWT

Механизм TWT (Target Wake Time) уменьшает энергопотребление устройств. Точка доступа и беспроводная станция согласуют расписание, которое определяет когда и как часто станция должна просыпаться, чтобы отправить или принять данные. Это позволяет эффективно увеличивать время сна устройств и значительно экономить ресурс батареи, что особенно важно для IoT.

Beacon Trigger Trigger

Спящий режим Активен Спящий режим

Спящий режим Активен

MU-MIMO

Общий объём передаваемой информации в единицу времени возрастает благодаря одновременной передаче и приему множества пространственных потоков между точкой доступа и клиентскими устройствами. Чем больше MIMO-радиомодулей установлено в точке доступа, тем более эффективно используется доступная полоса частот. В Wi-Fi 6 может использоваться схема MU-MIMO 8x8.

BSS Coloring

BSS Coloring - функция пространственного «цветового» разделения каналов. «Раскраска» BSS позволяет сети Wi-Fi 6 передавать данные с уникальным «цветовым» маркером и устанавливать параллельные беспроводные подключения, не создавая друг другу помех.

Element ID	Length	Element ID Extension	HE Operation Parameters	BSS Color Information	Basic HE-MCS & NSS Set	VHT Operation Information	Max Co-Hosted BSSID Indicator	6 GHz Operation Information
1	1	1	3	1	2	0 или 3	0 или 1	0 или 5

BSS Color: 6 Partial BSS Color: 1 BSS Color Disabled: 1

→→→ Кадры внутри BSS
→→→ Внешние кадры