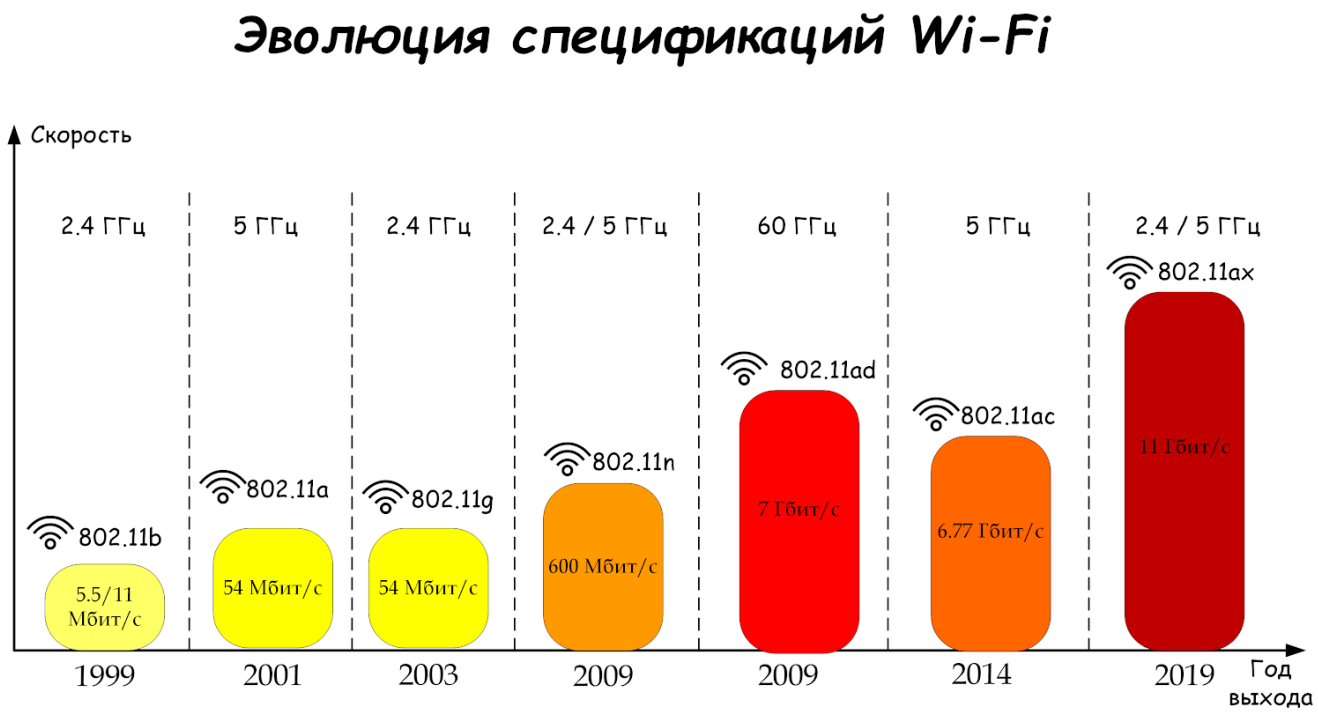
Обзор технологии Wi-Fi

Введение



Wi-Fi остается одной из наиболее перспективных технологий беспроводной связи. Она стремительно развивается и принимает в себя новые беспроводные решения, позволяющие увеличить скорость передачи данных. Даже с развитием LTE-сетей, Wi-Fi не остается в стороне, а скорее получает дополнительную ветку развития, разгружая трафик в наиболее востребованных участках сети.

Wi-Fi для применения внутри помещений в рамках установленной законодательством мощности излучения не требует получения разрешения на использование частот. Кроме того, организация Wi-Fi-сети в условиях дома или небольшого офиса довольно проста, благодаря чему, зачастую, можно обойтись своими силами. Тем не менее, при проектировании сети с высокими требованиями к качеству связи, плотности покрытия и пропускной способности, как правило, прибегают к помощи специалистов. Развертывание Wi-Fi-сети занимает на порядок меньше времени по сравнению с прокладкой СКС до рабочих мест. Именно за простоту настройки, развертывания, относительную дешевизну и удобство, Wi-Fi по праву считают одной из перспективных и активно развивающихся технологий.

Требования к Wi-Fi-оборудованию описаны в наборе стандартов IEEE 802.11. С выпуском каждого нового стандарта, к 802.11 добавлялась буква, например, 802.11a/b/n и т.д. На сегодняшний день насчитывается несколько десятков разновидностей стандартов Wi-Fi. Не все стандарты были направлены на увеличение скорости передачи данных, некоторые из них затрагивают вопросы безопасности (например, 802.11i), другие включали описание работы роуминга (802.11r) и т.д.

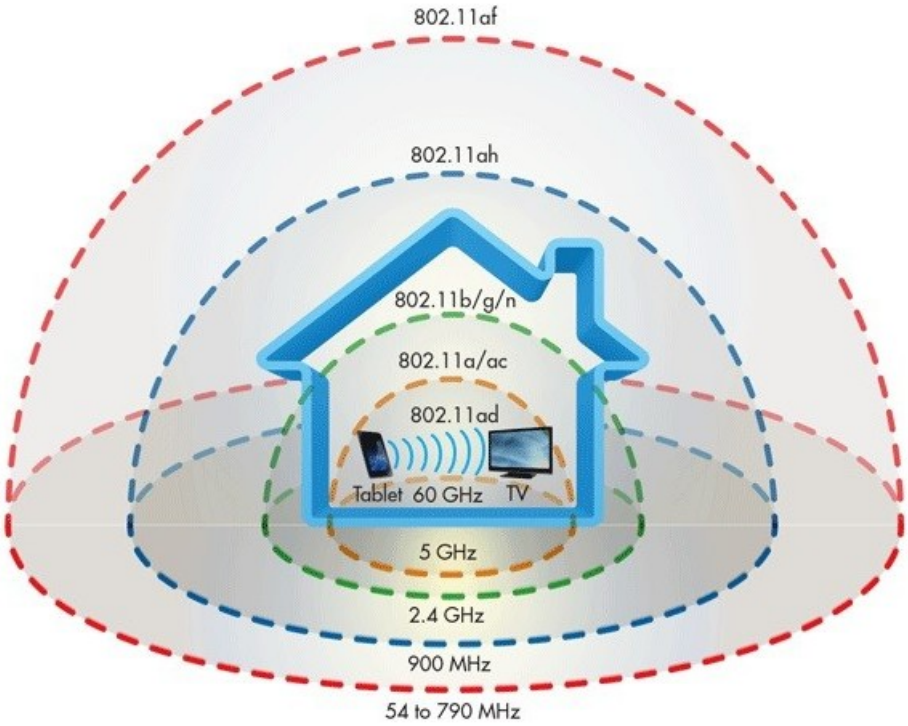
В таблице ниже приведены стандарты беспроводной связи Wi-Fi, в которых производилось увеличение скоростей передачи данных:

Стандарт	Диапазон	Год выхода	Примерная скорость, Мбит/с
802.11	2.4 ГГц	1997	1
802.11b	2.4 ГГц	1999	5 (11)
802.11a	5 ГГц	2001	54
802.11g	2.4 ГГц	2003	54
802.11n	2.4 / 5 ГГц	2009	600
802.11ac	5 ГГц	2014	7000

802.11ad	60 ГГц	2009	7000
802.11ax	2.4 / 5 ГГц	2019	11 000
802.11ay	60 ГГц	в разработке	20 000

При этом следует отметить, что не все перечисленные стандарты Wi-Fi служат для организации беспроводных локальных сетей как привычные нам роутеры, работающие в диапазонах 2.4 и 5 ГГц (стандарты 802.11 a/b/g/n/ac). Такие стандарты как 802.11ad и 802.11ay изначально планировалось выпустить для передачи данных на небольшие расстояния – от 1 до 10 метров – и, в перспективе, использовать их для организации высокоскоростных интерфейсов передачи данных, например для подключения мониторов к ПК и передачи изображения в формате 8K. Однако, в результате развития 5G-сетей и переходом в диапазон до 100 ГГц, устройства с поддержкой 802.11ad стали применяться для организации радиодоступа вне помещений (но для таких частот должны быть обеспечены условия прямой видимости).

Таким образом, у Wi-Fi большое будущее, которое позволит использовать данную технологию в совершенно разных приложениях. Несомненно, данная технология найдет свое место как в 5G-сетях, IoT-решениях, так и в VR-приложениях:



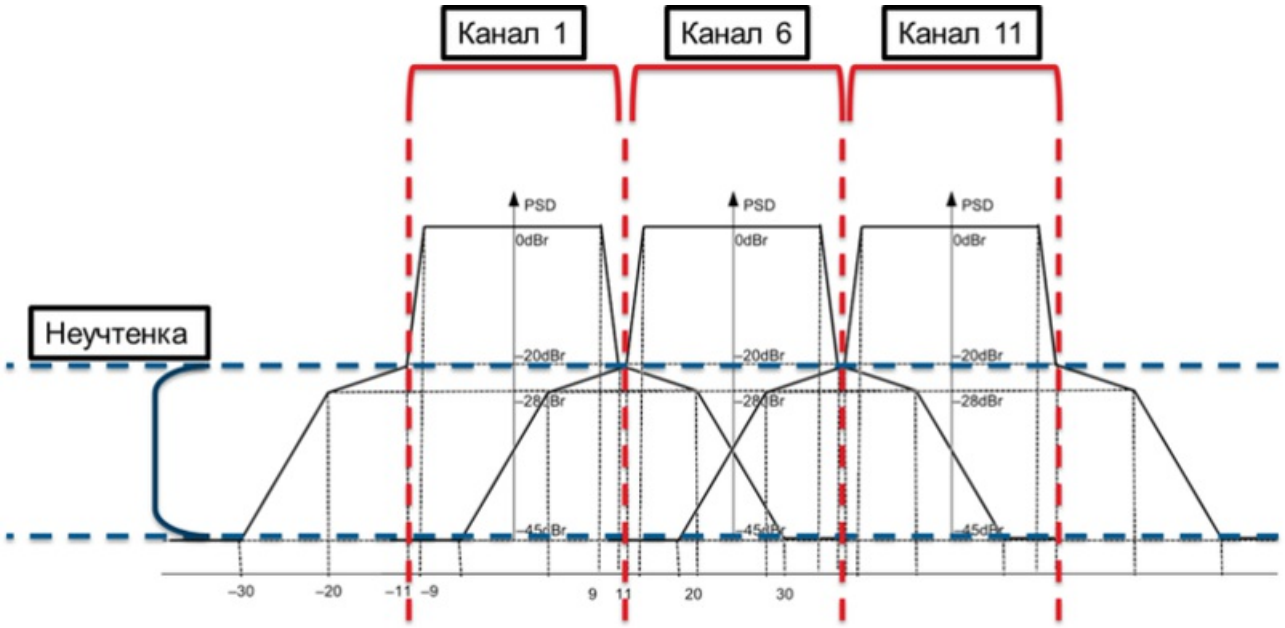
Применимость различных стандартов Wi-Fi

Частотные диапазоны Wi-Fi-сетей

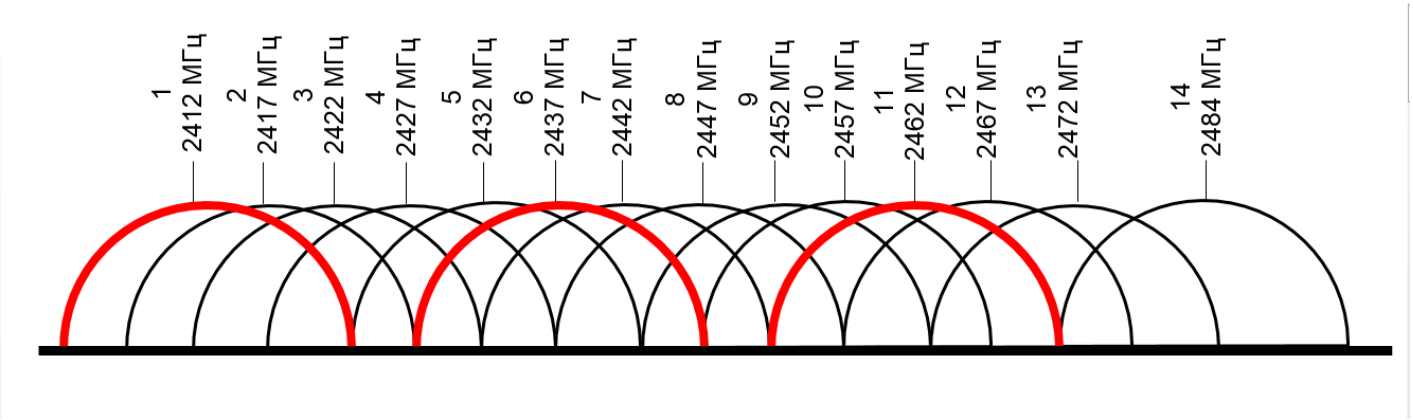
Диапазон 2.4 ГГц

Большинство обычных клиентских маршрутизаторов и бытовых Wi-Fi-устройств работает в двух частотных диапазонах: 2,4 ГГц (802.11 b/g/n) и 5 ГГц (802.11 a/n/ac).

В диапазоне 2,4 ГГц стандартами определено 14 каналов. Некоторые из них могут быть недоступны в ряде стран (например, 14 канал разрешен для использования только в Японии). Каналы с номерами 1, 6 и 11 считаются полностью не пересекающимися по частотам и называются, как ни странно, "непересекающимися". Но на деле всегда остается "неучтенка", и если точки доступа расположены достаточно близко друг к другу, то и непересекающиеся каналы становятся пересекающимися:

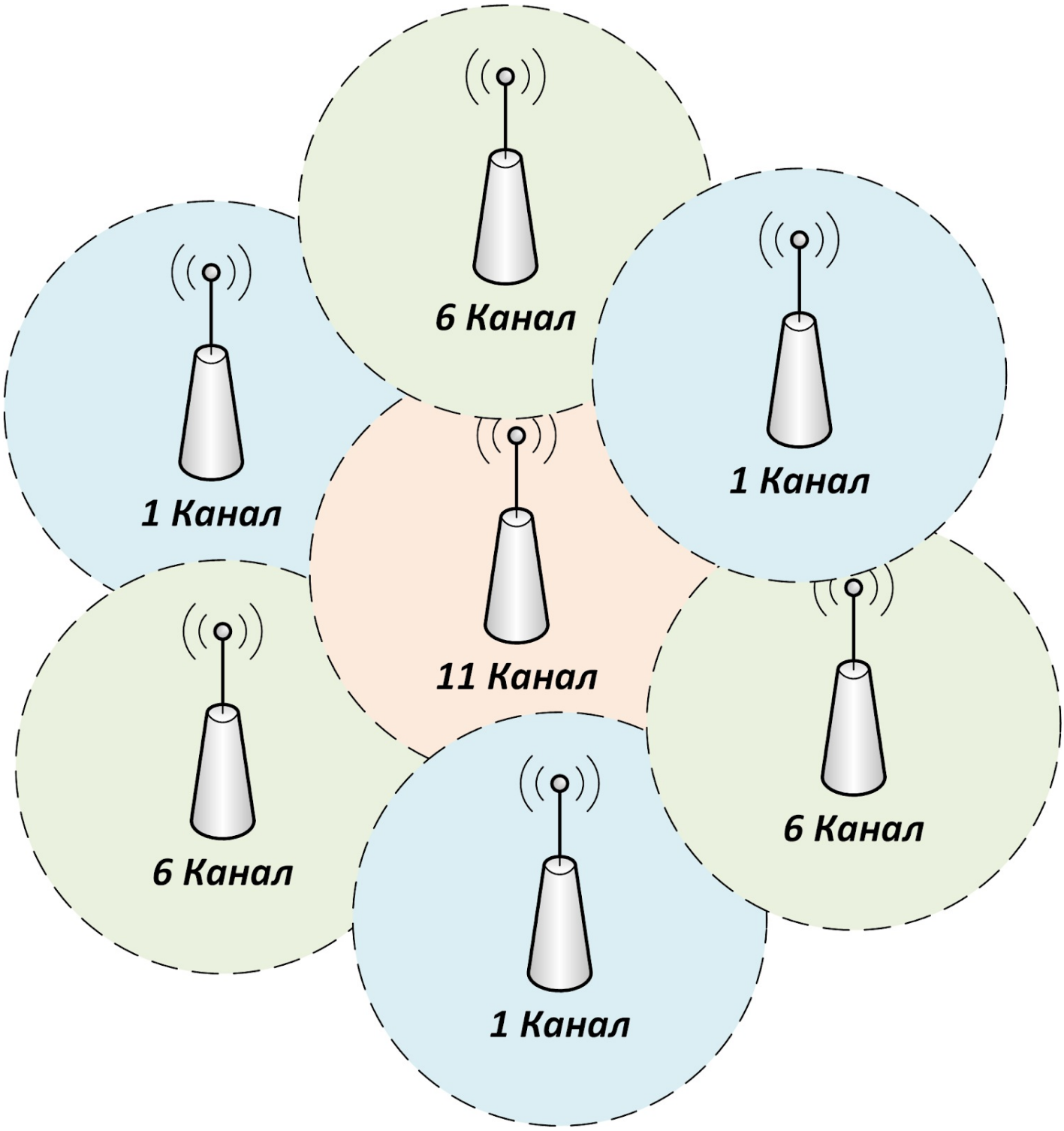


Каждый канал занимает ширину в 20 МГц. В некоторых случаях, стандартами разрешено использовать ширину канала равную 40 МГц (см. раздел Агрегация каналов). Номера каналов и их центральные частоты приведены на рисунке.



Каналы Wi-Fi в диапазоне 2.4 ГГц

Использование непересекающихся каналов удобно в том случае, когда требуется организовать равномерное радиопокрытие таким образом, чтобы рядом расположенное оборудование не мешало друг другу, увеличивая тем самым стабильность и качество связи:



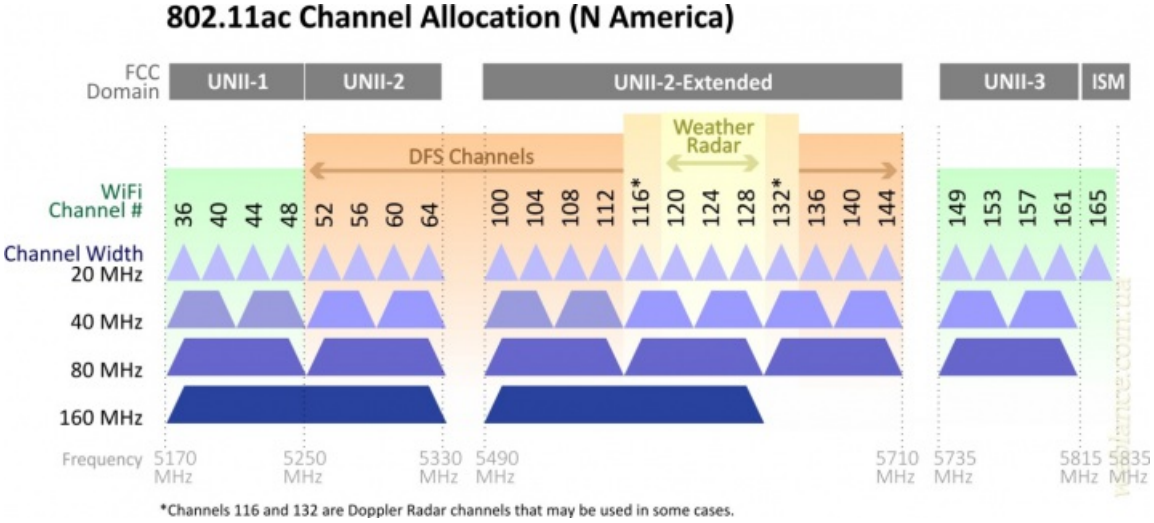
Одним из недостатков диапазона 2,4 ГГц является его высокая загруженность и малое количество каналов. Помехи для Wi-Fi-сети могут создавать не только другие Wi-Fi-устройства и точки доступа, но и Bluetooth-устройства, работающие в этом же частотном диапазоне. Даже обычная бытовая СВЧ-печь способна очень сильно влиять на качество соединения в диапазоне 2,4 ГГц. Для минимизации взаимных влияний мощность Wi-Fi-передатчиков строго ограничена и регламентирована. Использование мощного передатчика требует получения разрешения в радиочастотном центре.

Более перспективным, с точки зрения меньшей загруженности и наличия большего числа каналов, является частотный диапазон 5 ГГц.

Диапазон 5 ГГц

В частотном диапазоне 5 ГГц доступно 23 неперекрывающихся канала по 20 МГц. Можно даже отметить, что 5-гигагерцовый диапазон состоит только из неперекрывающихся каналов, так как на такой частоте перекрытие создает существенные коллизии. Здесь уже можно использовать не только ширину 20/40 МГц, но и каналы шириной в 80 МГц (основной + вспомогательный). Ниже

изображено расположение каналов в диапазоне 5 ГГц:



- Первый блок (Lower, нижний) каналов UNII-1 лежит в диапазоне частот от 5180 до 5240. При этом доступные непересекающиеся каналы по 20 МГц: 36, 40, 44, 48;
- Второй блок (Middle, средний) UNII-2 лежит в диапазоне частот от 5260 до 5320. При этом доступные непересекающиеся каналы по 20 МГц: 52 56 60 64;
- Третий блок (Extended, расширенный) UNII-2 лежит в диапазоне частот от 5500 до 5700. При этом доступные непересекающиеся каналы по 20 МГц: 100 104 108 112 116 120 124 128 132 136 140;
- Четвертый блок UNII-3 - частота от 5745 до 5805, доступные непересекающиеся каналы по 20 МГц: 149 153 157 161;
- Отдельно существуют 3 группы каналов: Japan (каналы: 8, 12, 16; диапазон 5040-5080) US Public Safety (каналы: 184, 188, 192, 196; диапазон 4920-4980) ISM (канал 165, частота 5825);
- Стандартом 802.11ac предусмотрено использование групп UNII-1, UNII-2 (обе) и UNII-3, т.е. суммарно 23 канала. Благодаря чему, при использовании ширины канала в 80 МГц, доступно 5 непересекающихся каналов. Этой же спецификацией предусмотрена возможность объединения 2-х каналов по 80 МГц, что в итоге дает 160 МГц.

Carrier Aggregation - агрегация каналов

Под агрегацией следует понимать логическое объединение нескольких параллельных каналов передачи в один. Стандартами допускается использование полосы пропускания 40 МГц в диапазоне 2,4 ГГц. В диапазоне 5 ГГц ширина каналов может быть увеличена до 40, 80, 160 МГц с занятием частот соседних каналов для увеличения пропускной способности сети:



Это и называется агрегированием. В случае использования широкой полосы пропускания, стабильность соединения может снижаться в силу взаимных влияний различных сетей друг на друга. Однако, несомненно, увеличение ширины канала позволяет многократно увеличить скорость передачи данных.

Технологии, применяемые в оборудовании Wi-Fi

В этом разделе приводится описание технологий, которые нашли применение в беспроводных сетях стандарта 802.11 и позволили многократно увеличить скорости передачи данных – MIMO и Beamforming.

MIMO - Multiple Input Multiple Output

Технология MIMO оказала большое влияние на развитие Wi-Fi. Буквально несколько лет назад никто не думал о том, что будут существовать беспроводные устройства с пропускной способностью в сотни мегабит в секунду. Возникновение новых скоростных стандартов связи, в том числе 802.11n произошло во многом благодаря MIMO.

Наиболее простое определение, которое можно дать технологии MIMO – это многопотоковая передача данных. Аббревиатура переводится с английского как "несколько входов, несколько выходов". В отличие от своего "родителя" (Single Input / Single Output), в устройствах с поддержкой MIMO сигнал передается на одном радиоканале с помощью нескольких приемников и передатчиков.

Одной из основных характеристик технологии MIMO является количество антенн, работающих на прием и передачу. Обозначается NxM, где N - количество передающих антенн, а M - приемных. Например, MIMO типа 3x2 означает, что радиосистема имеет 3 передающие антенны и 2 принимающие. Кроме того, в MIMO применяется пространственное мультиплексирование. Иначе говоря, технология одновременной передачи данных нескольких пакетов по одному каналу. Благодаря такому "уплотнению" канала, его пропускную способность можно увеличить в два и более раз.

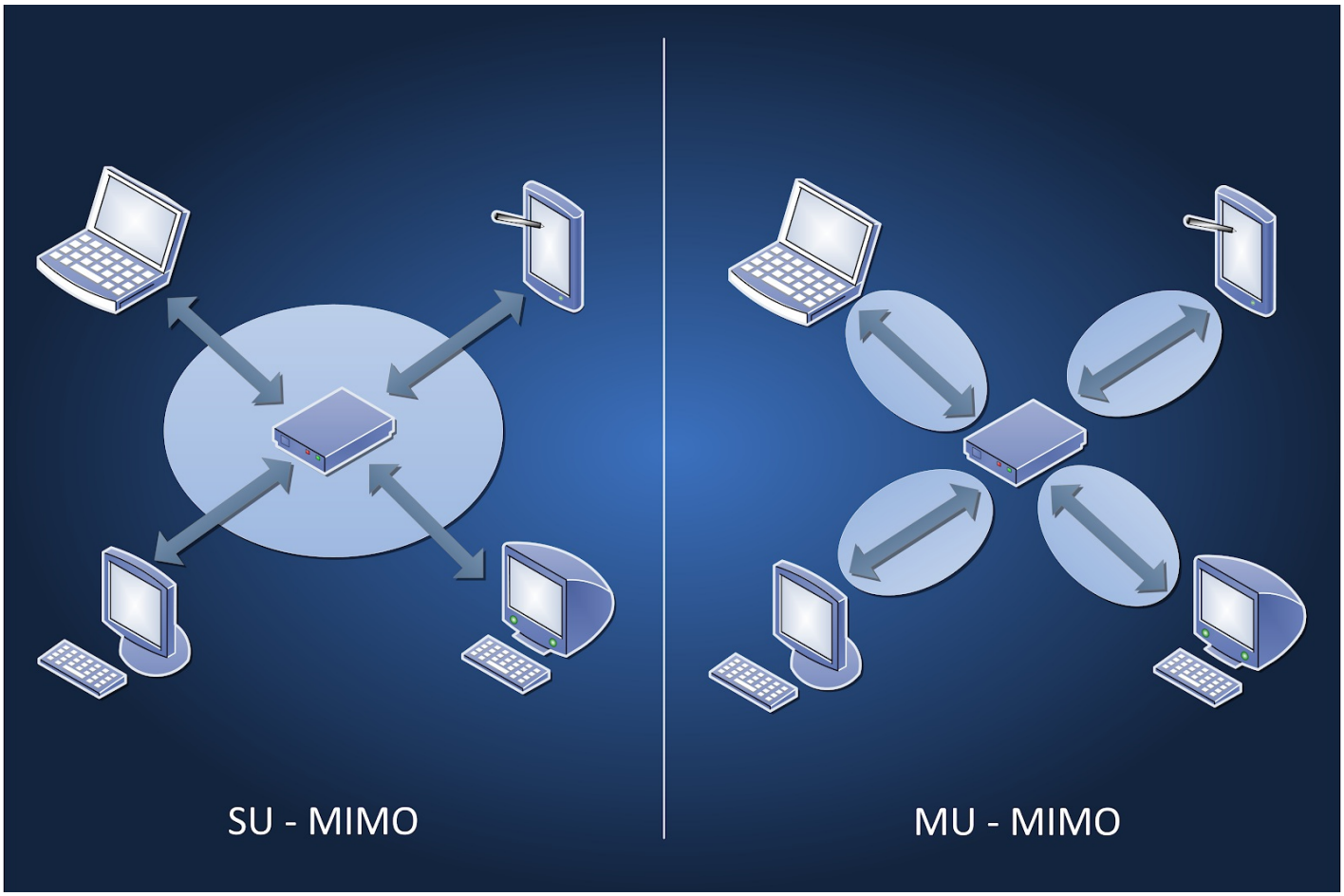
Как только технология беспроводной передачи данных Wi-Fi начала пользоваться большим спросом, быстро стали возрастать и требования к скорости. Впервые технология MIMO появилась в стандарте 802.11n, который дал возможность увеличить канальную скорость беспроводного соединения с 54 Мбит/сек до 600 Мбит/сек. Стандарт 802.11n дает возможность применять как стандартную ширину канала в 20 МГц, так и использовать широкополосную линию в 40 МГц. Таким образом можно получить в несколько раз увеличенную пропускную способность каналов, которые используются в данный момент. С помощью объединения MIMO с более широкой полосой пропускания канала, получается достаточно мощный способ повышения физической скорости передачи.

Типы MIMO

Для различного количества пользователей, между которыми в одно и тоже время идет передача данных, существует два типа технологий:

SU-MIMO – система для одного пользователя (Single User - SU). Используется, когда в определенный промежуток времени потоки данных идут только к одному пользователю. Технология предоставляет многоканальные входные и выходные потоки одному устройству. Пока Wi-Fi-устройство адресата получает или принимает данные, другие пользователи находятся в ожидании.

MU-MIMO – система для нескольких пользователей (Multi User - MU). Позволяет нескольким пользователям принимать одновременно потоки данных. Она опирается на технологии SU-MIMO, но дает одновременную связь точки доступа с несколькими устройствами. MU-MIMO создает до 4 одновременных подключений, передавая по 4 потока данных одновременно. В результате пользователи не делят между собой соединение и улучшается производительность сети.



Разница между технологиями SU и MU-MIMO

Особенности технологии

До появления стандарта 802.11ax, технология MU-MIMO работала только в диапазоне 5 ГГц. С появлением 802.11ax MU-MIMO стала доступной и на 2.4 ГГц. В продаже сетевого оборудования появляется все больше двухдиапазонных маршрутизаторов с поддержкой данной технологии.

MU-MIMO использует технологию Beamforming. Благодаря ей, сигналы распространяются не хаотично, а в направлении беспроводного устройства. Эта направленность позволяет увеличить дальность сигнала и повысить скорость передачи данных.

К сожалению, невозможно обслуживать бесконечное количество пользователей и потоков данных. Например, роутер с поддержкой трех потоков может одновременно работать только с тремя Wi-Fi-устройствами без задержек.

Чтобы пользоваться преимуществами метода, принимающее устройство должно иметь поддержку MU-MIMO. В данном случае, достаточно одной антенны и пользовательское устройство примет поток данных от роутера.

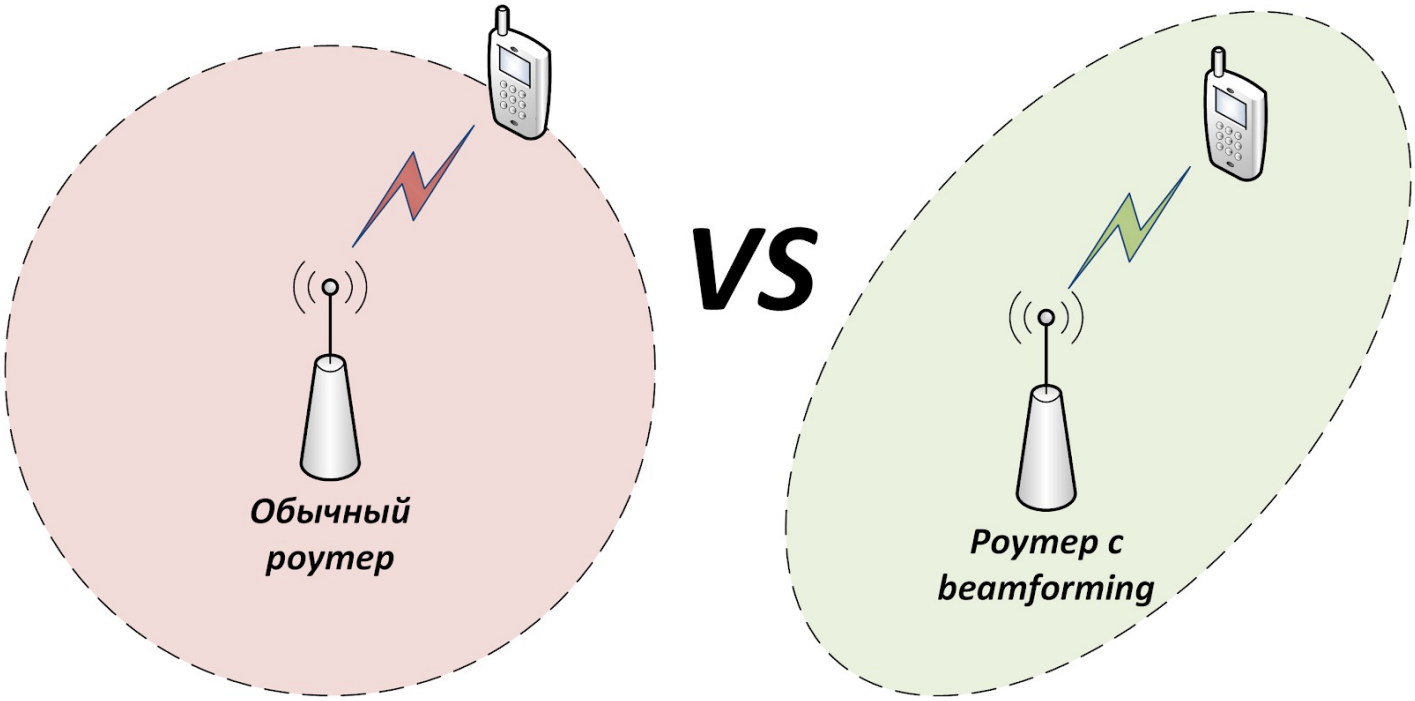
Компании, выпускающие смартфоны, роутеры, точки доступа и другие сетевые устройства уже заложили в них поддержку технологии. Как гарантируют производители, во многих современных устройствах, они учли также аппаратные требования для поддержки MU-MIMO, и теперь достаточно обновить ПО на своем гаджете, и пользователь получит поддержку данной технологии.

Сигнал, который передается с помощью архитектуры MU-MIMO, сложно перехватить, что повышает безопасность беспроводной сети.

На первых этапах развития технологии существовала трудность совмещения устройств, работающих с поддержкой MIMO и без нее. Однако на данный момент это уже не так актуально – практически каждый современный производитель беспроводного оборудования использует ее в своих устройствах. Также, одной из проблем при появлении технологии передачи данных с помощью нескольких приемников и нескольких передатчиков, являлась цена устройства.

Beamforming - автоматическое формирование луча

В последних моделях Wi-Fi-маршрутизаторов все чаще можно увидеть такую "опцию" как Beamforming. Beamforming, согласно техническим спецификациям современных Wi-Fi-устройств, это технология, позволяющая направлять излучаемый сигнал не во все стороны, как это происходит обычно, а "концентрированно" в сторону абонента. Это увеличивает отношение сигнал/шум, и как следствие - скорость передачи данных:



Особенно это актуально в местах, где много различных перекрытий сигналов и множество других источников радиопомех, работающих в нелицензируемом диапазоне частот 2.4 и 5 ГГц.

Следует отметить, что главной сложностью при внедрении beamforming в устройства является сложность настройки антенн в сочетании с грамотным программным обеспечением. В недорогих моделях роутеров зачастую наличие beamforming является лишь маркетинговым ходом. Сильно повысить стабильность приема в отдаленных участках помещения не получится. Beamforming стал частью стандарта, начиная с 802.11ac, во втором поколении этих устройств (wave 2).

MCS в Wi-Fi сетях

MCS - это общепринятая аббревиатура Modulation and Coding Scheme (модуляция и схема кодирования), которая обозначает сразу несколько параметров передачи сигнала:

- **Тип модуляции.** Модуляция - это метод передачи данных. Чем сложнее модуляция, тем выше скорость передачи данных. Более сложные модуляции требуют хороших условий передачи, низкого уровня помех и отсутствия препятствий на пути прохождения сигнала.
- **Скорость кодирования информации.** Этот параметр указывает на то, какая часть потока данных фактически используется для передачи "полезной" информации. Это значение выражается в виде дроби, например, 5/6 или 83,3% используемого потока данных.
- **Количество пространственных потоков.** Используя технологию MIMO, в настоящее время возможно запускать до 8 пространственных потоков. Фактически это позволяет использовать одну и ту же область частотного пространства для передачи и приема нескольких потоков данных.
- **Ширина канала передачи.** Это значение определяет, какая ширина канала будет использована для передачи. Ширина канала может быть максимум 40 МГц для диапазона 2.4 ГГц и 160 МГц для диапазона 5 ГГц. В диапазоне 60 ГГц ширина канала может составлять до 2 ГГц (стандарт 802.11ad/ay).
- **Длительность защитного интервала.** Защитный интервал фактически представляет собой очень короткую паузу между передачей пакетов, чтобы можно было игнорировать любую ложную информацию. Более длительные интервалы защиты обеспечивают более надежную беспроводную связь.

Чем выше индекс MCS, тем "сложнее" вышеперечисленные параметры передачи. Значение индексов MCS для различных стандартов Wi-Fi приводится в таблице ниже. В расширенной виде с таблицей MCS можно ознакомиться по ссылке.

Реализуемые значения MCS для стандартов Wi-Fi

SNR-Сигнал/Шум		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
802.11b	20 MHz	None	None	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1
802.11ag	20 MHz	None	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3
802.11n	20 MHz	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2
802.11n	40 MHz	None	None	None	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1
802.11ac	20 MHz	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2
802.11ac	40 MHz	None	None	None	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1
802.11ac	80 MHz	None	None	None	None	None	None	None	MCS 0	MCS 0	MCS 0
802.11ac	160 MHz	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None

Модуляция
None = Grey
BPSK = Red
QPSK = Orange
16-QAM = Yellow
64-QAM = Blue
256-QAM = Green

SNR-Сигнал/Шум		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
802.11b	20 MHz	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3
802.11ag	20 MHz	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 7
802.11n	20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6
802.11n	40 MHz	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4
802.11ac	20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6
802.11ac	40 MHz	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4
802.11ac	80 MHz	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3
802.11ac	160 MHz	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3

802.11b
MCS 0 - DBPSK
MCS 1 - DQPSK
MCS 2 - DQPSK
MCS 3 - DQPSK

SNR-Сигнал/Шум		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
802.11b	20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3
802.11ag	20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	20 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	40 MHz	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11ac	20 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 8	MCS 8
802.11ac	40 MHz	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11ac	80 MHz	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6
802.11ac	160 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6

802.11a/g
MCS 0 - BPSK
MCS 1 - BPSK
MCS 2 - QPSK
MCS 3 - QPSK
MCS 4 - 16-QAM
MCS 5 - 16-QAM
MCS 6 - 64-QAM
MCS 7 - 64-QAM

SNR-Сигнал/Шум		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
802.11b	20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3
802.11ag	20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	40 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11ac	20 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	40 MHz	MCS 7	MCS 8	MCS 8	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	80 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 8	MCS 8	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	160 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 8	MCS 8	MCS 9

802.11n
MCS 0 - BPSK
MCS 1 - QPSK
MCS 2 - QPSK
MCS 3 - 16-QAM
MCS 4 - 16-QAM
MCS 5 - 64-QAM
MCS 6 - 64-QAM
MCS 7 - 64-QAM

SNR-Сигнал/Шум		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
802.11b	20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3
802.11ag	20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11n	40 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7
802.11ac	20 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	40 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	80 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9
802.11ac	160 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9

802.11ac
MCS 0 - BPSK
MCS 1 - QPSK
MCS 2 - QPSK
MCS 3 - 16-QAM
MCS 4 - 16-QAM
MCS 5 - 64-QAM
MCS 6 - 64-QAM
MCS 7 - 64-QAM
MCS 8 - 256-QAM
MCS 9 - 256-QAM