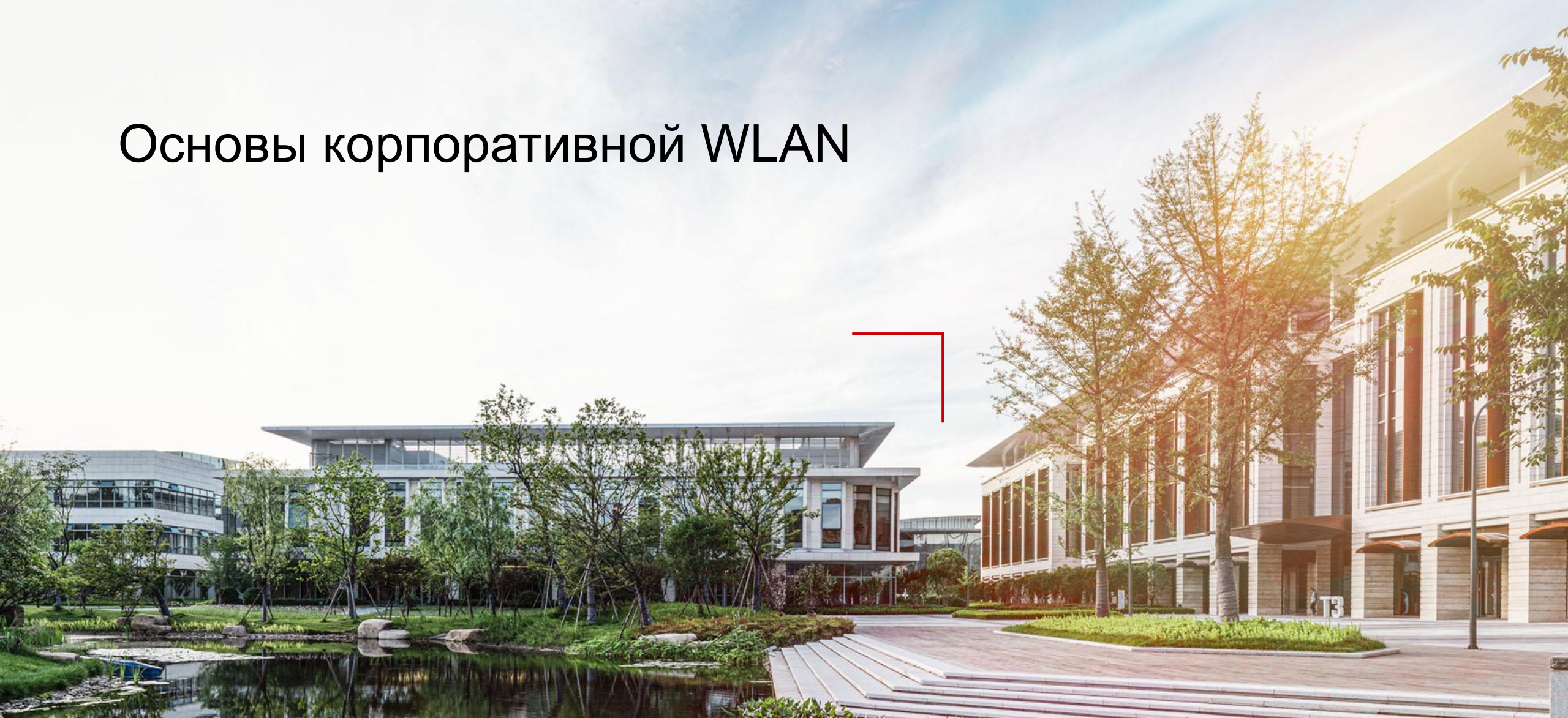


Основы корпоративной WLAN



Предисловие

- Беспроводная локальная сеть (англ. Wireless Local Area Network; Wireless LAN; WLAN) — локальная сеть, построенная на основе беспроводных технологий. При таком способе построения сетей передача данных осуществляется через радиозфир с использованием электромагнитных волн.
- Специальные стандарты для WLAN-сетей разрабатываются Институтом инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers) более известного под аббревиатурой IEEE. Первый стандарт IEEE 802.11 для беспроводных локальных сетей был принят в 1997 году. Затем IEEE вносит поправки в стандарт и формирует семейство 802.11, включая 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11e, 802.11g, 802.11i, 802.11n, 802.11ac и 802.11ax.
- В настоящем курсе описываются концепции беспроводной связи, ключевые технологии WLAN, протоколы 802.11 и технологии Wi-Fi 6.

Цели

По окончании данного курса слушатели получат следующие знания и навыки:

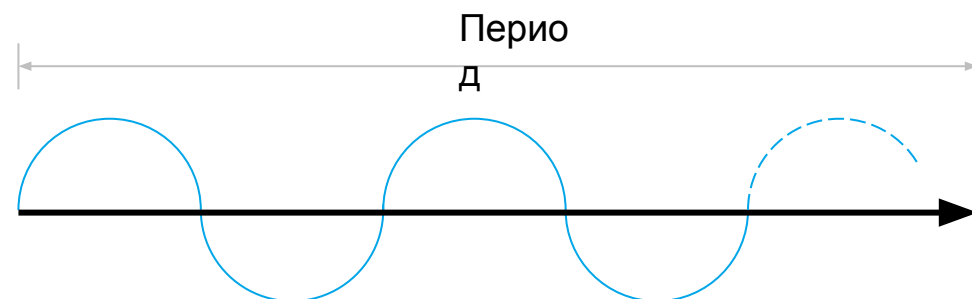
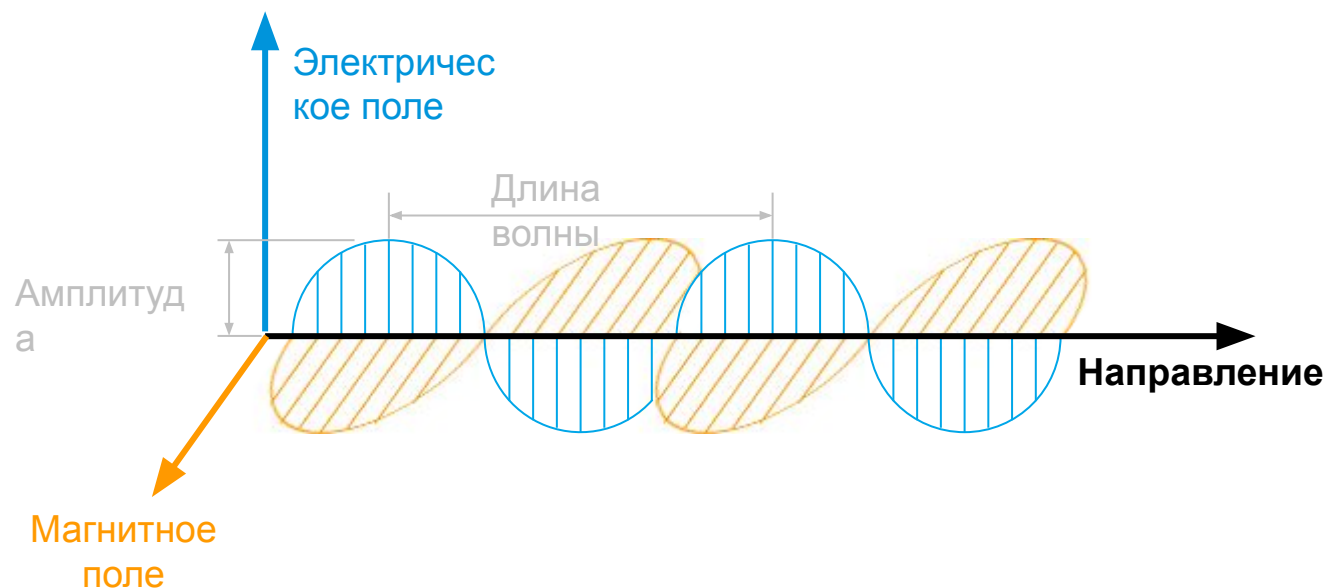
- основные концепции беспроводной связи;
- различия между протоколами 802.11 и поколения Wi-Fi;
- основные особенности Wi-Fi 6;
- основные технологии WLAN.

Содержание

- 1. Основные понятия беспроводной связи**
2. Общая информация о стандартах 802.11
3. Основные технологии WLAN

Радиоволны

- Радиоволны представляют собой электромагнитные волны.
- Электромагнитные волны (а именно электромагнитное излучение) — это синхронизированные колебания электрического и магнитного полей, которые перпендикулярны друг другу. Электромагнитные волны распространяются в пространстве со скоростью света, а силовые линии их электрического и магнитного полей располагаются под прямым углом друг к другу и к направлению движения волны.



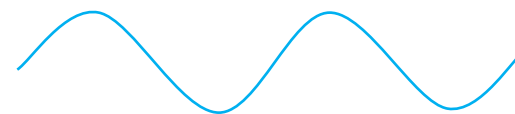
Частота — это количество повторений повторяющегося события в единицу времени.

Радиочастота и длина волны

Частота



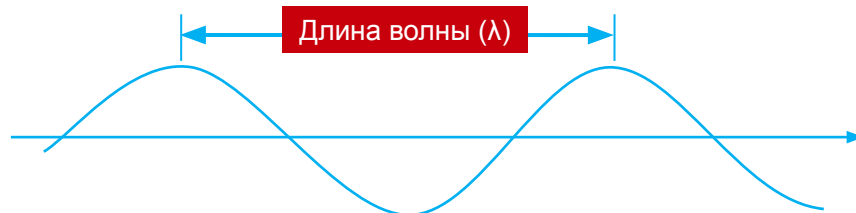
Высокая частота



Низкая частота

Частота указывает, сколько раз волна периодически изменяется за единицу времени (например, за 1 секунду).

Длина волны

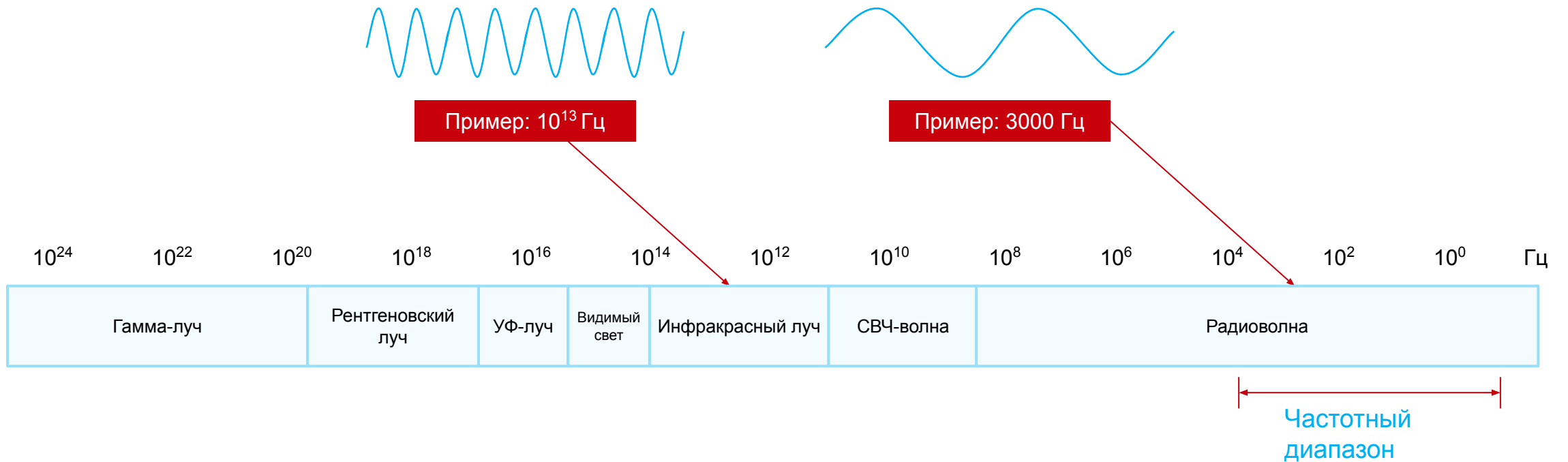


Длина волны (λ)

- Длина волны (λ) = Скорость света/Частота = C/f
- Более высокая частота означает более короткую длину волны.

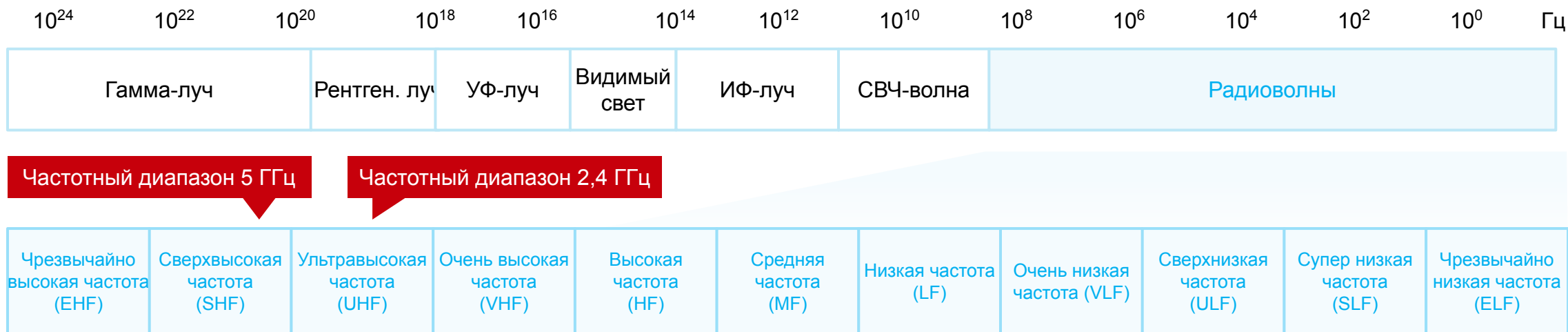
Длина волны — это пространственный период периодической волны — расстояние, на котором форма волны повторяется. Это расстояние между последовательными соответствующими точками одной и той же фазы на волне, такими как два соседних гребня или впадины.

Частота и частотный диапазон



- Распределение частот — это спектр. На рисунке выше показан спектр электромагнитных волн, который расположен в порядке убывания частоты слева направо.
- Частотный диапазон радиоволны называется полосой частот.
- WLAN-сети используют радиоволны.

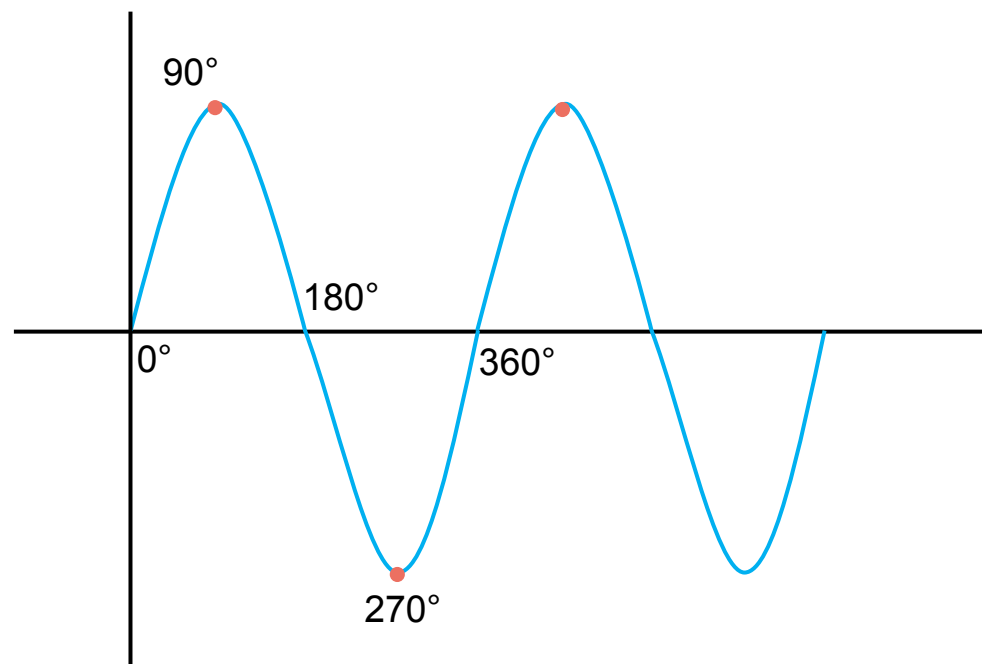
Спектр электромагнитных волн и радиоволны



- Электромагнитные волны более высокой частоты переносят большую мощность и обеспечивают более сильное прямое излучение, но также быстрее затухают во время передачи и, следовательно, поддерживают меньшее расстояние передачи.
- Радиоволна генерируется переменным током колебательного контура и может передаваться и приниматься через антенну. Радиоволна также называется радио, электрической волной или радиочастотной (RF) волной.
- Радиоволна — это электромагнитная волна с частотой от 3 Гц до примерно 300 ГГц. Ее также называют радиочастотной волной или радиочастотой. Технология радиосвязи позволяет преобразовать звуковые или другие сигналы и передавать их с помощью радио- и электромагнитных волн.
- Технология WLAN передает информацию в пространстве с помощью радиоволн в диапазонах частот 2,4 ГГц (2,4–2,4835 ГГц) и 5 ГГц (5,15–5,35 ГГц, 5,725–5,85 ГГц).

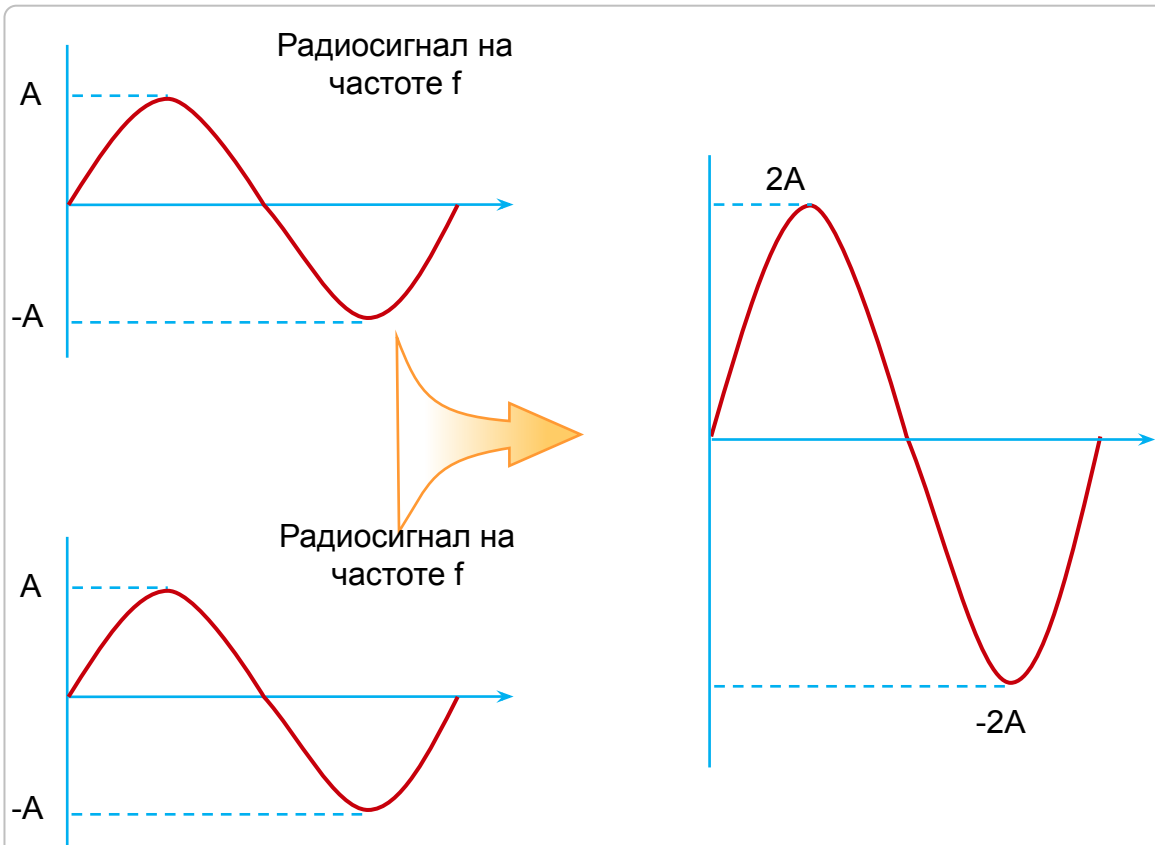
Фаза радиоволн

- Фаза радиоволны — это расстояние между точкой возникновения любой заданной волны и первым пересечением нуля. Фаза выражается в градусах или радианах.
- Каждый цикл волны составляет 360 градусов.
 - $2\pi = 360^\circ$
 - $57,3^\circ = 1$ радиан



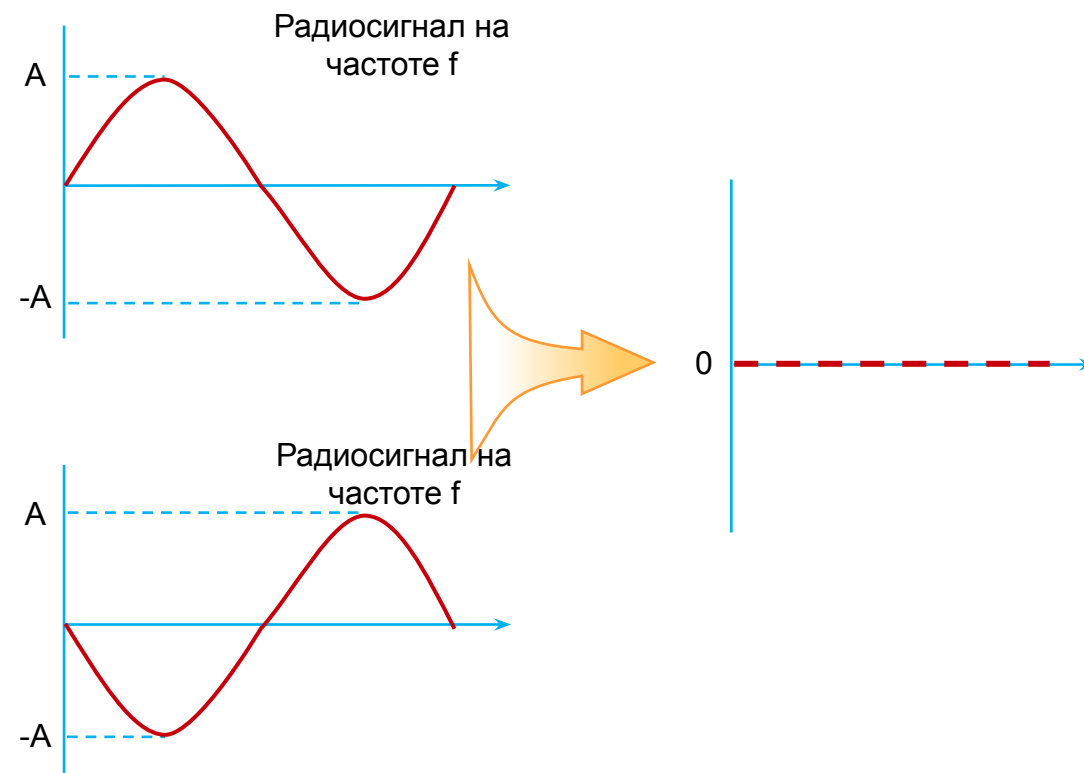
Влияние фазы на сигналы

Усиление сигнала



Если при поступлении на приемник два радиосигнала **на одной частоте** имеют **одинаковую фазу**, эти два сигнала накладываются друг на друга, мощность сигнала при этом увеличивается.

Ослабление сигнала



Если при поступлении на приемник два радиосигнала **на одной частоте** имеют **разность фаз 180°** , происходит ослабление этих двух сигналов, мощность сигнала уменьшается.

Система беспроводной связи



- В системе беспроводной связи информация может быть изображением, текстом, звуком и т.п.
- Сначала на передатчике выполняется кодирование источника. Информация преобразуется в цифровые сигналы для расчета и обработки схем, а затем в радиоволны посредством кодирования и модуляции каналов.
- Передатчик и приемник соединены с помощью интерфейсов и каналов. При проводной связи интерфейсы и кабели на устройствах видны. При беспроводной связи интерфейсы невидимы и подключены к невидимому пространству. Такие интерфейсы называются радиоинтерфейсами.

Код



Кодирование источника

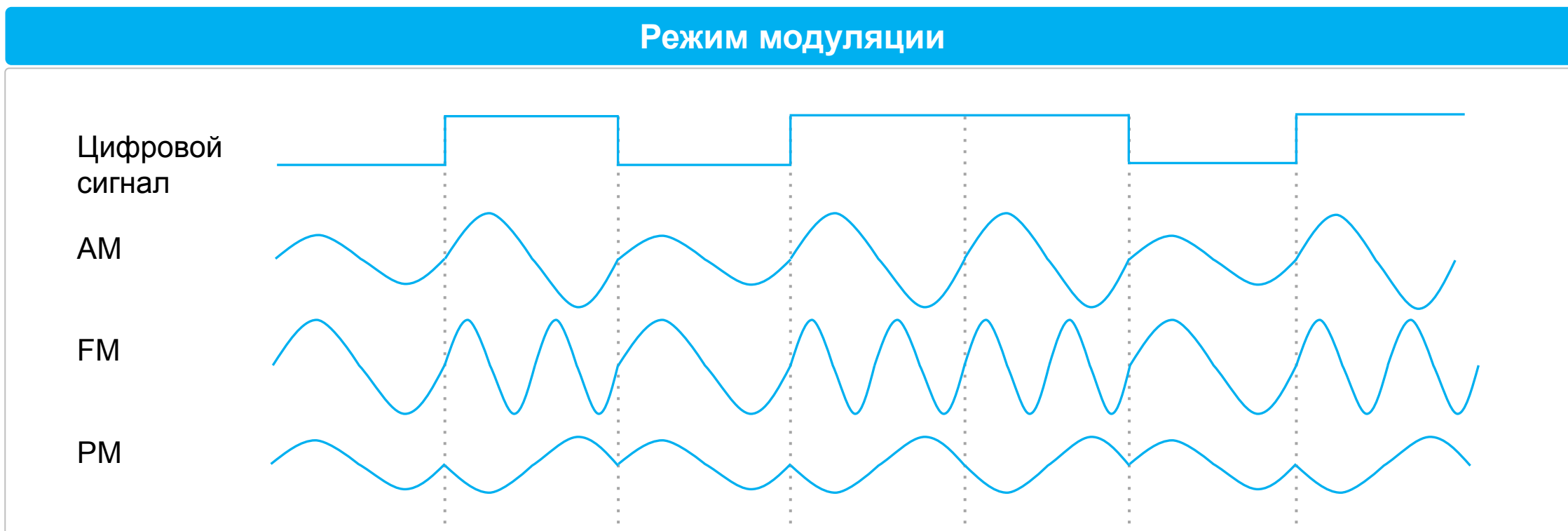
- Кодирование источника — это процесс преобразования необработанной информации в цифровые сигналы с использованием схемы кодирования.
- Информация максимально сжата без искажений.
- Для разных типов информации применяются разные схемы кодирования. Например, H.264 предназначен для кодирования видео.

Канальное кодирование

- Канальное кодирование — это технология исправления и обнаружения ошибок для повышения надежности передачи канала.
- Канальное кодирование применяется для максимального восстановления информации в приемнике, при этом снижается коэффициент битовых ошибок.
- Канальное кодирование добавляет избыточную информацию к необработанной информации и, следовательно, увеличивает длину информации.
- Отношение количества битов предварительного кодирования (то есть необработанной информации) к количеству битов посткодирования называется эффективностью кодирования или скоростью кодирования.
- **Канальное кодирование снижает скорость передачи достоверной информации, но увеличивает вероятность успешной передачи достоверной информации.** Следовательно, наилучшие характеристики и эффективность можно получить путем выбора правильной схемы кодирования для протоколов связи.

Модуляция и демодуляция

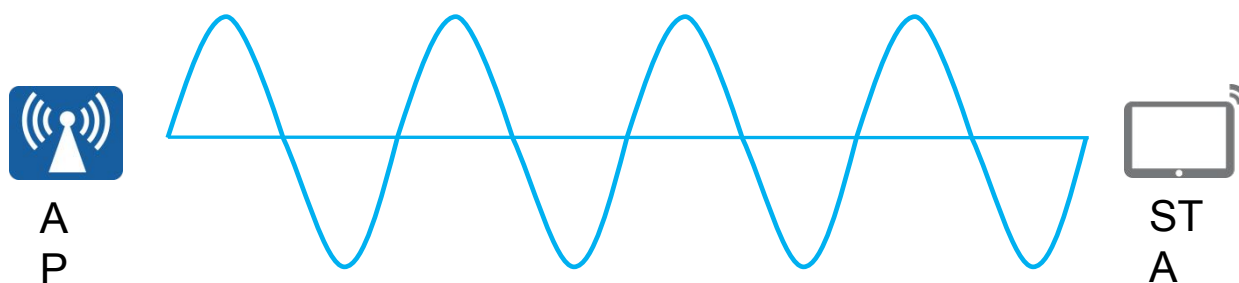
- Модуляция — это процесс, во время которого цифровые сигналы основной полосы частот преобразуются в сигналы с цифровой модуляцией, которые могут передаваться по каналу. Модуляция подразделяется на амплитудную модуляцию (AM), частотную модуляцию (FM) и фазовую модуляцию (PM).
- Демодуляция: преобразует принятые цифровые сигналы полосы частот в цифровые сигналы основной полосы частот.



Демодуляция — процесс, обратный модуляции. В процессе демодуляции полученная модулированная информация восстанавливается в цифровой сигнал на приемнике.

Несущая

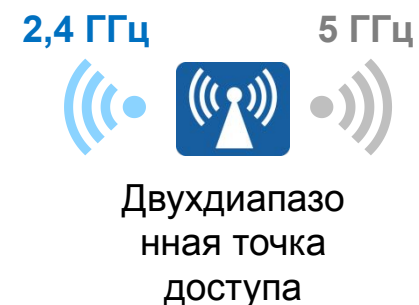
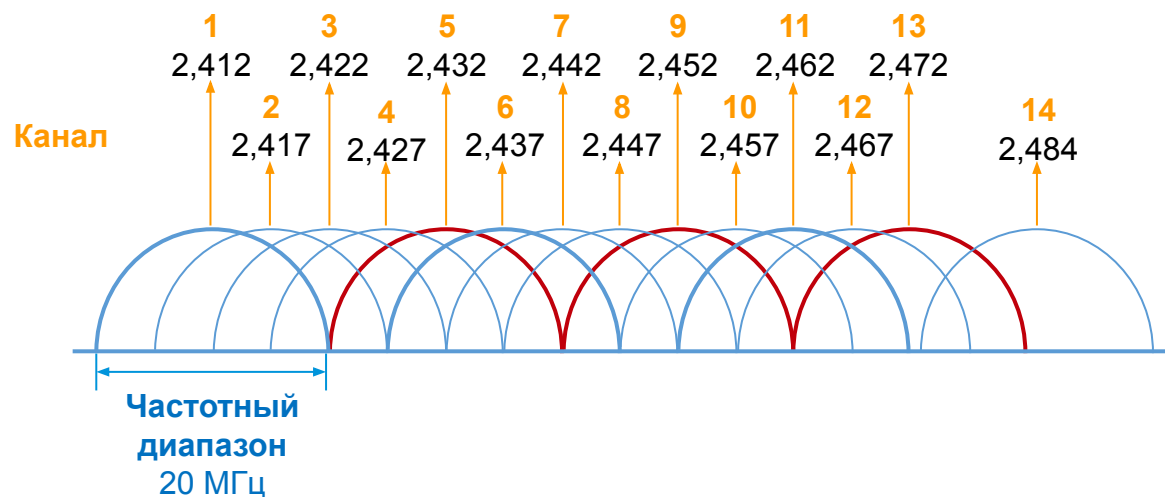
- Несущая — это радиоволна определенной частоты (в Гц). Это электромагнитная волна, частота, амплитуда или фаза которой модулируются с целью передачи голоса, музыки, изображения или других сигналов.
- Несущие — это основа беспроводной связи. На следующем рисунке показана основная (базовая) несущая, которая генерируется передатчиком и не несет никакой информации. Базовая несущая также используется в качестве неизменного сигнала на приемнике.



Бит — это наименьшая единица данных. Передатчик отправляет 0 и 1 определенным образом для передачи данных между двумя местами. Сигналы переменного или постоянного тока не передают данные. Однако в случае колебаний или незначительных изменений сигналов передатчик и приемник анализируют такие сигналы и успешно передают и принимают данные.

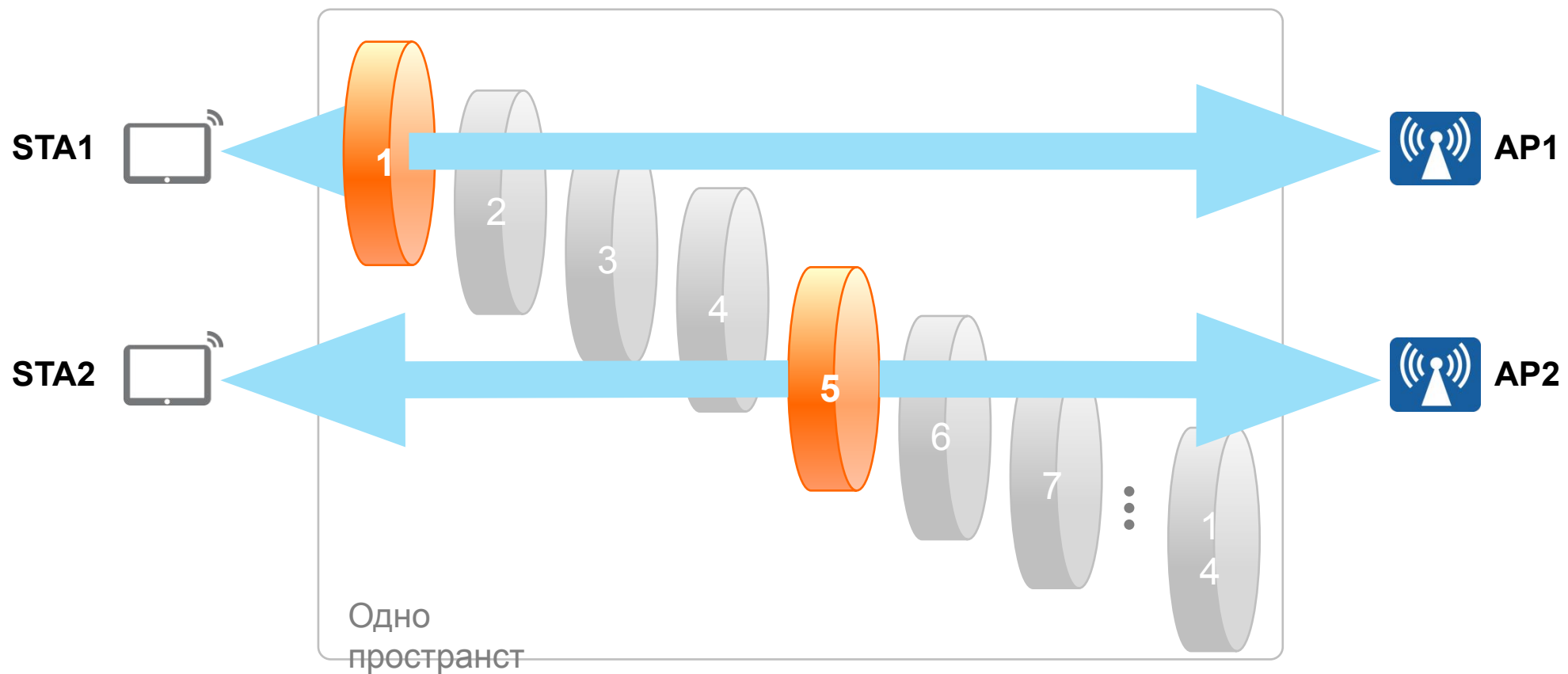
Преобразованный сигнал может различаться между 0 и 1 и называется сигналом несущей. Процесс настройки сигнала для создания сигнала несущей называется модуляцией.

Канал



- **Канал:** канал используется для передачи информации. Радиоканал — это канал, используемый радиоволнами для передачи информации в пространстве. Учитывая, что радиоволны распространены повсеместно, случайное использование ресурсов спектра может привести к помехам. Следовательно, помимо определения доступных диапазонов частот, протоколы беспроводной связи также должны точно разделять диапазоны частот. Каждый частотный диапазон — это канал.
- **Перекрывающиеся каналы:** перекрывающиеся каналы, например, каналы 1 и 2, создают помехи друг для друга.
- **Неперекрывающиеся каналы:** неперекрывающиеся каналы не создают помех друг для друга. Обычно только каналы 1, 6 и 11 являются неперекрывающимися каналами в полосе частот 2,4 ГГц. **Стандарт 802.11b (полоса пропускания: 22 МГц) больше не применяется для WLAN.** Каналы 1, 5, 9 и 13 не являются перекрывающимися, если не учитывать проблему совместимости.

Наглядное представление каналов

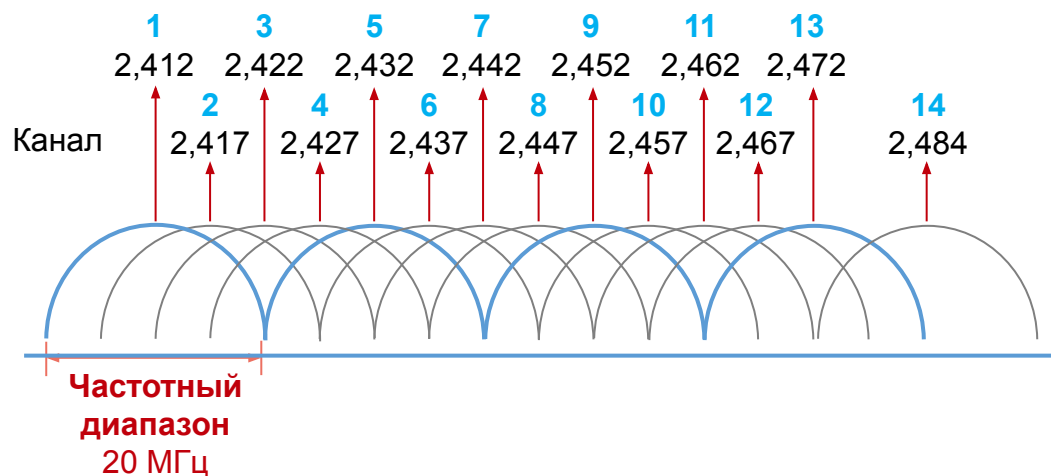


Соседние точки доступа в одном пространстве должны использовать неперекрывающиеся каналы.

  Канал

Каналы 2,4 ГГц и 5 ГГц

Каналы в полосе частот 2,4 ГГц



Полоса частот 2,4 ГГц разделена на 14 перекрывающихся каналов, каждый с полосой частот 20 МГц (кроме 802.11b). Обычно каналы 1, 5, 9 и 13 являются неперекрывающимися.

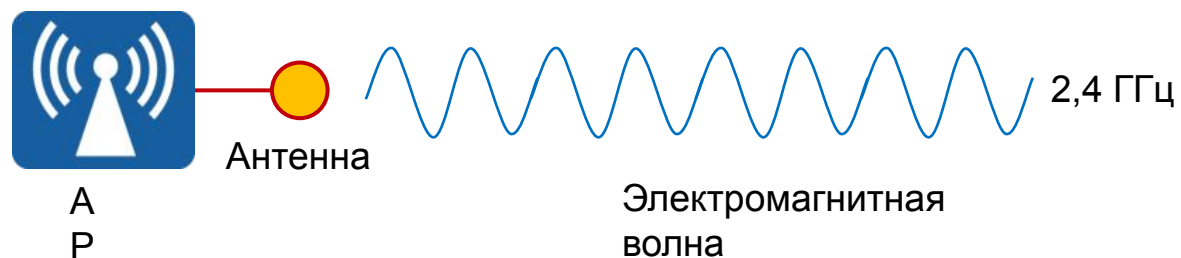
Каналы (неперекрывающиеся) в полосе частот 5 ГГц



Полоса частот 5 ГГц имеет больше ресурсов спектра и неперекрывающиеся каналы. Доступные каналы в диапазоне 5 ГГц различаются в зависимости от страны и региона.

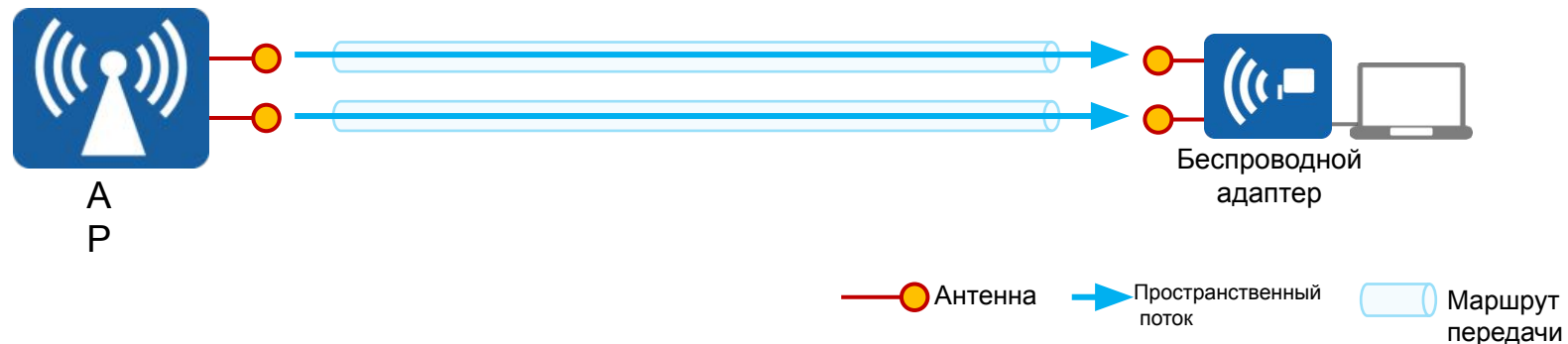
Радиоволна, частотный диапазон, антенна

- WLAN используют радиоволны для передачи данных. Радиоволна генерируется переменным током колебательного контура и может передаваться и приниматься через антенну. Радиоволна также называется электрической волной или радиочастотной (RF) волной.
- Частотный диапазон радиоволны называется полосой частот.
- Антенна — это преобразователь, который преобразует направленные волны, передаваемые по линии передачи, в электромагнитные волны, передаваемые в пространстве, или наоборот. Антенна используется с радиоустройством для передачи или приема электромагнитных волн.



Пространственный поток

- Радиосистема одновременно отправляет несколько радиосигналов. Каждый набор сигналов называется пространственным потоком.
- Пространственный поток отправляется с антенны передатчика. Каждый пространственный поток следует по независимому маршруту к приемнику. Беспроводная система может передавать и принимать пространственные потоки и различать сигналы, предназначенные для различных пространственных направлений.
- В большинстве случаев пространственный поток может быть установлен между передающей (TX) антенной и приемной (RX) антенной. Например, если AP имеет четыре антенны и STA имеет четыре антенны, между AP и STA могут быть установлены четыре пространственных потока.
- Однако 802.11ac и 802.11ax определяют, что одно радиоустройство поддерживает максимум восемь пространственных потоков. То есть, даже если AP и STA имеют по 12 антенн, между ними может быть установлено только восемь пространственных потоков.



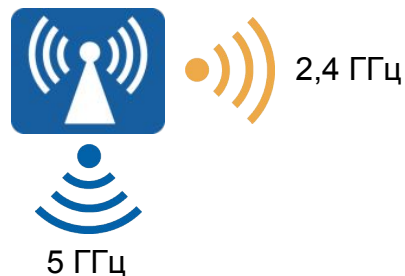
Однодиапазонные, двухдиапазонные и трехдиапазонные точки доступа

Однодиапазонная точка доступа



Однодиапазонные точки доступа работают в полосе частот 2,4 ГГц или 5 ГГц и применяются в сценариях, когда станции STA работают в одной полосе частот.

Двухдиапазонная точка доступа



Двухдиапазонные точки доступа работают в диапазонах частот 2,4 ГГц и 5 ГГц и применяются в большинстве основных сценариев WLAN.

Трехдиапазонная точка доступа



Трехдиапазонные точки доступа имеют два радиомодуля, один — для диапазона частот 5 ГГц, другой — для диапазона 2,4 ГГц. Они применяются для электронных классов, в сценариях с высокой плотностью посетителей, а также в торговых центрах и супермаркетах.

Один радиомодуль может использовать несколько антенн для обмена данными между точками доступа (AP) и станциями (STA) по нескольким пространственным потокам, повышая скорость передачи данных.

Помехи

- В области связи сигнал представляет собой сообщение. Например, электрические сигналы с разными амплитудами, частотами или фазами могут представлять разные сообщения.
- Помехи — это нарушение приема полезных сигналов.

Помехи от устройств без Wi-Fi



Инфракрасный пульт дистанционного управления



Микроволновая печь



Беспроводной телефон



Радиолокационная станция

Помехи от устройств Wi-Fi



• Устройства Wi-Fi, такие как несанкционированные точки доступа и устройства Ad-Hoc, передающие беспроводные сигналы, могут создавать помехи сигналам Wi-Fi.

• Если на территории, на которой развернуто большое количество точек доступа, каналы не оптимизированы или имеется недостаточное количество неперекрывающихся каналов, возникают межканальные помехи.

Помехи и загрузка канала

- Загрузка канала также называется коэффициентом использования канала.
 - Для передатчика данных загрузка канала — это отношение времени использования радиоканала для эффективной передачи пакетов, к общему времени использования канала.
 - Загрузка канала = Продолжительность, в течение которой канал занят / Общее время использования канала
- Помехи WLAN увеличивают выдержку времени в конфликтной ситуации. Когда несколько устройств передают данные одновременно, возникает коллизия (конфликт) радиоинтерфейса. В результате получатель не может нормально анализировать пакеты. Передатчик повторно передает пакеты по истечении времени выдержки, в результате увеличивается время ожидания в режиме незанятости и снижается коэффициент использования канала.



Теоретическая скорость и скорость внедрения

- Теоретическая скорость — это максимальная скорость передачи данных, которую позволяет достичь стандарт. Например, 802.11ac Wave 2 обеспечивает теоретическую скорость передачи данных 6,9 Гбит/с.
- Скорость внедрения — это максимальная скорость передачи данных, которую может достичь продукт, разработанный поставщиком в соответствии со стандартом.

Стандарт		Год выпуска	2,4 ГГц	5 ГГц	Теоретическая скорость	Скорость внедрения Huawei
Wi-Fi 4	802.11n	2009	√	√	2,4 ГГц: 450 Мбит/с 5 ГГц: 600 Мбит/с	2,4 ГГц: 450 Мбит/с 5 ГГц: 600 Мбит/с
Wi-Fi 5	802.11ac Wave 1	2013	—	√	3,74 Гбит/с	1,3 Гбит/с
	802.11ac Wave 2	2015	—	√	6,9 Гбит/с	1,73 Гбит/с
Wi-Fi 6	802.11ax	2019	√	√	2,4 ГГц: 1,15 Гбит/с 5 ГГц: 9,6 Гбит/с	2,4 ГГц: 1,15 Гбит/с 5 ГГц: 9,6 Гбит/с

Содержание

1. Основные понятия беспроводной связи
- 2. Основные технологии WLAN**
3. Общая информация о стандартах 802.11

IEEE 802 и эквивалентная модель TCP/IP

- Технология WLAN реализована на основе стандартов IEEE 802.11.
- Стандарты 802.11 расположены на двух нижних уровнях эквивалентной модели TCP/IP.
 - Уровень канала данных обеспечивает доступ к каналу, адресацию, проверку кадра данных, обнаружение ошибок и механизмы обеспечения безопасности.
 - Физический уровень передает битовые потоки по радиointерфейсу, например, указывает полосы частот.



Обзор основных технологий WAN

Основные технологии физического (PHY) уровня

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM)

Множественный доступ с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA)

MIMO

Основные технологии уровня MAC

Множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA)

Запрос на отправку (RTS)/Очистка перед отправкой (CTS)

Межкадровое пространство (IFS)

Соединение каналов

Агрегация кадров

Подтверждение блока (BA)

Технологии 802.11 PHY

- На физическом уровне 802.11 использует три технологии:
 - Скачкообразная перестройка частоты (FH или FHSS)
 - Прямая последовательность (DS или DSSS)
 - Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM)

Поднесущая

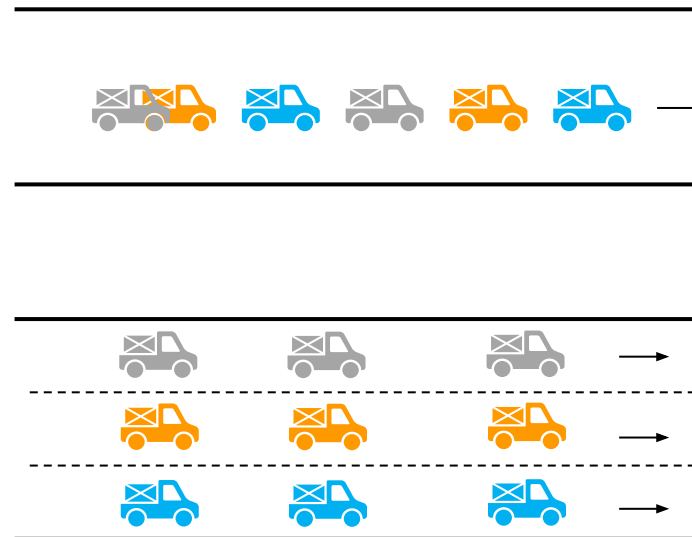
- Канал — это радиоволна определенной частоты. Каждый пользователь использует частоту для передачи и приема информации.
- Поднесущая — это подканал, используемый в процессе связи с несколькими несущими.
- Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) относится к классу схем модуляции с несколькими несущими. Несколько поднесущих в одном канале модулируются независимо и передаются параллельно, улучшая использование спектра канала.

Входные данные: 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1...

Поднесущая 1: 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1...

Поднесущая 2: 0 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0...

Поднесущая 3: 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0...



Когда OFDM не включен, один канал позволяет одновременно использовать только одну единственную поднесущую.

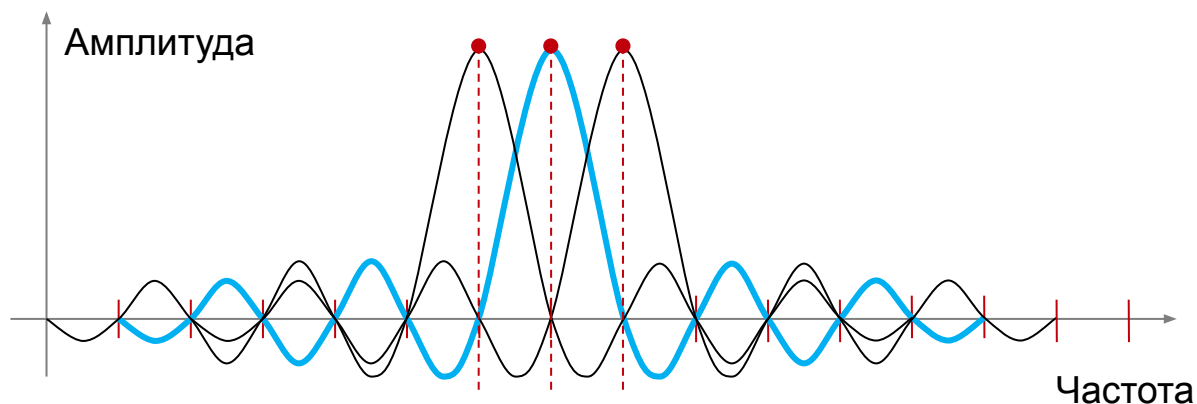
Когда включен OFDM, один канал делится на несколько подканалов, и несколько поднесущих могут передаваться параллельно.

OFDM

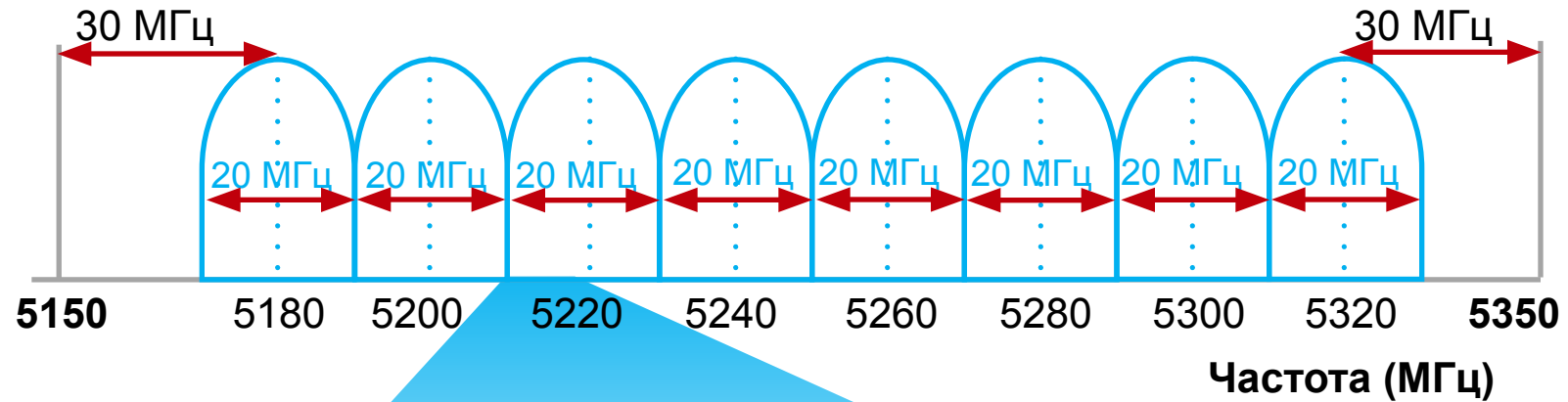
OFDM

- OFDM — это технология модуляции с несколькими несущими. Разделение канала на несколько ортогональных подканалов позволяет преобразовать высокоскоростные последовательные цифровые сигналы в низкоскоростные параллельные потоки данных и модулировать их на подканалы для передачи. Несущие, соответствующие ортогональным подканалам, обычно называются поднесущими.
- OFDM позволяет использовать ортогональные поднесущие. Когда одна поднесущая достигает пика волны, а другая находится в точке пересечения нуля, они не мешают друг другу.

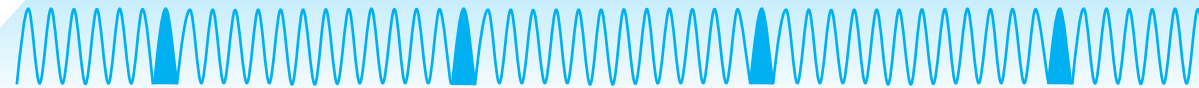
- **Поднесущие** в системе OFDM перекрываются, но не мешают друг другу, потому что они ортогональны друг другу.
- На рисунке слева сигнал передается по трем поднесущим. Пик индивидуальной волны каждой поднесущей используется для кодирования данных, на что указывают красные точки. Когда поднесущая, отмеченная синим цветом, достигает своего пика волны и выравнивается с нулевыми амплитудами двух других поднесущих, они ортогональны друг другу.



Канал 5 ГГц OFDM



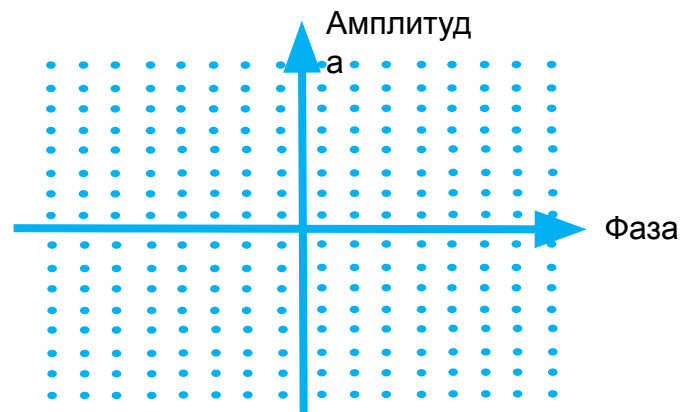
Каждая поднесущая занимает
полосу частот 312,5 кГц.



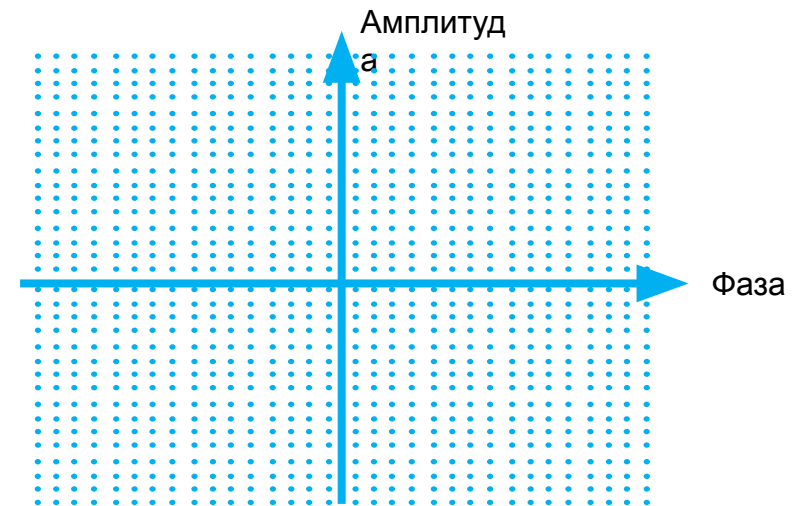
48 подканалов используются для передачи данных, а 4 подканала используются для опорной фазы.

Технология модуляции подканалов OFDM

- Доступные схемы модуляции OFDM:
 - Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)
 - Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)
 - **Квадратурная амплитудная модуляция (QAM)**
- QAM использует амплитуду и фазу несущей для передачи информации.



Wi-Fi 5
Диаграмма созвездия 256-QAM

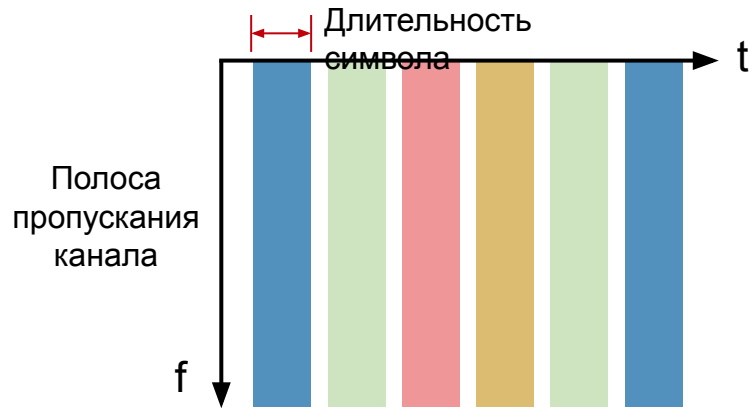


Wi-Fi 6
Диаграмма созвездия 1024-QAM

По сравнению с 256-QAM, 1024-QAM увеличивает скорость каждого пространственного потока на 25%.

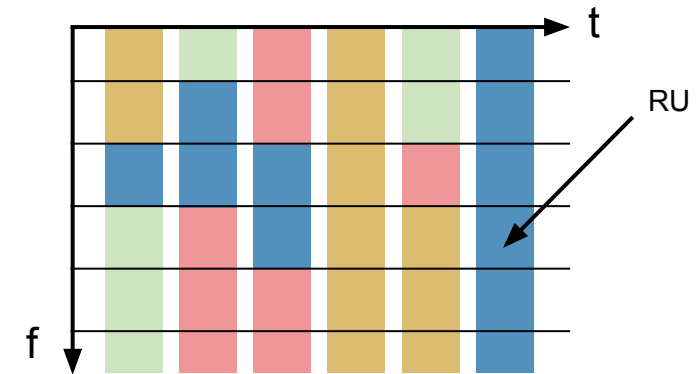
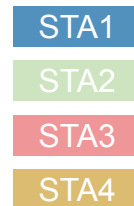
OFDMA (1/3)

- OFDMA используется, чтобы различать пользователей по частоте. По сравнению с традиционным FDMA, OFDMA значительно улучшает использование спектра. OFDMA обеспечивает одновременную передачу данных нескольким пользователям, что увеличивает эффективность радиointерфейса, значительно сокращает задержку работы приложений и снижает вероятность отсрочки и коллизии.
- Единица ресурса (RU):
 - 802.11ax делит существующие полосы пропускания 20, 40, 80 и 160 МГц на несколько RU.
 - 802.11ax определяет семь типов RU: 26 тонов, 52 тона, 106 тонов, 242 тона, 484 тона, 996 тонов и 2x996 тонов. Пользователь может передавать данные по нескольким RU одновременно. Например, полоса пропускания 80 МГц может быть разделена максимум на 37 RU, которыми могут одновременно пользоваться 37 пользователей.



Wi-Fi 5 OFDM

Четыре пользователя (станции (STA) на рисунке) занимают ресурсы канала отдельно в разных временных сегментах. В каждом временном сегменте один пользователь занимает все поднесущие для отправки пакетов данных.

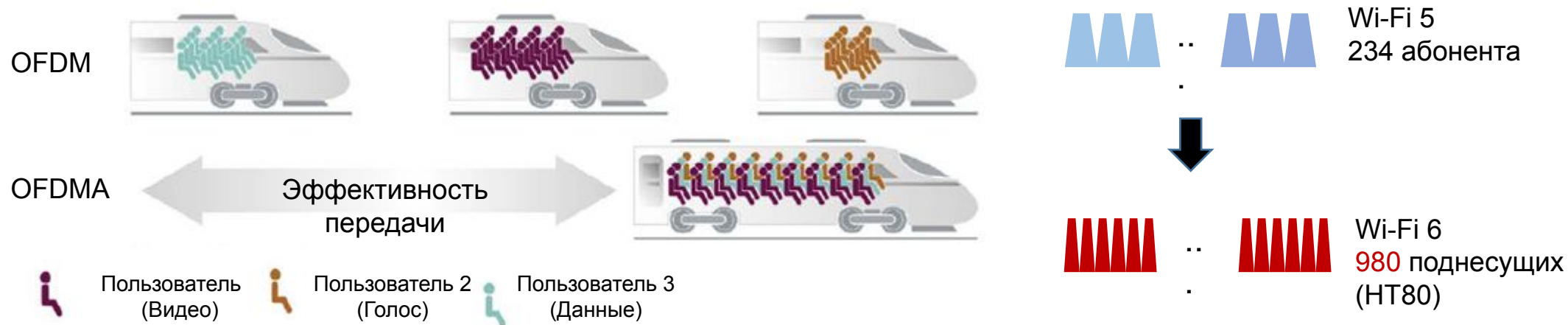


Wi-Fi 6 OFDMA

Данные этих четырех пользователей передаются в RU. Следовательно, 802.11ax позволяет нескольким пользователям передавать данные в один и тот же момент времени, когда общие частотно-временныe ресурсы остаются неизменными.

OFDMA (2/3)

- OFDMA делит радиоканал на множество подканалов (поднесущих) в частотной области и выделяет ресурсы в каждом радиоканале нескольким RU.
- Пользовательские данные передаются по RU вместо того, чтобы занимать весь канал. Таким образом, несколько пользователей могут одновременно передавать данные в каждом временном сегменте без очереди или конкуренции, тем самым сокращая время ожидания в очереди и повышая эффективность передачи данных. Следовательно, OFDMA идеально подходит для многопользовательских сценариев, когда передается большое количество небольших пакетов данных, например, в сценариях IoT или для передачи речи.



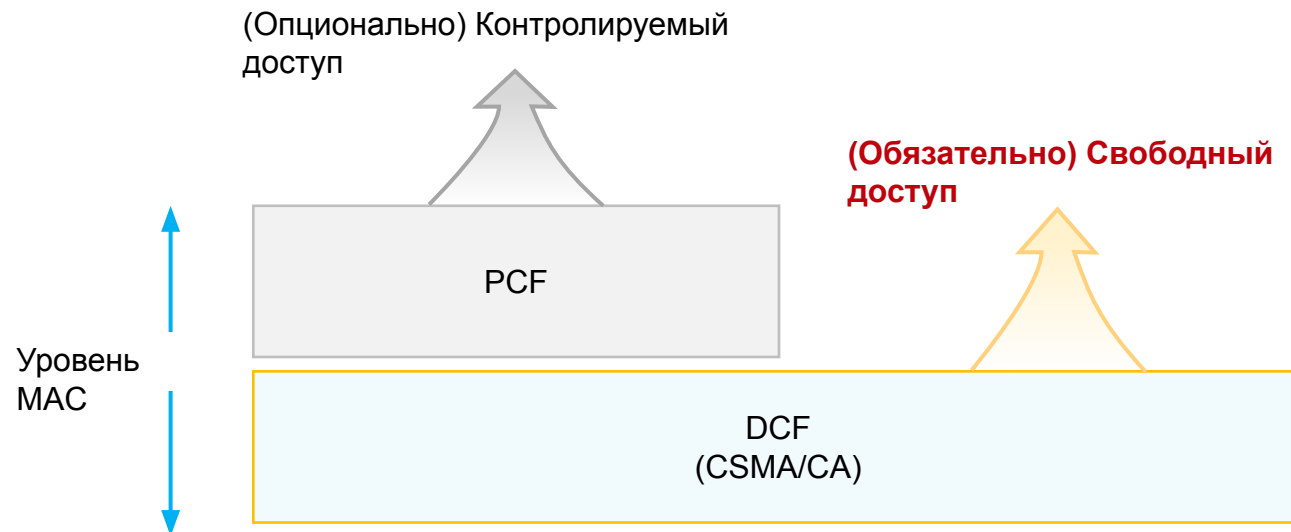
OFDMA (3/3)

- OFDMA разделяет ресурсы всего канала на несколько поднесущих, которые затем делятся на несколько групп в зависимости от типа RU. Каждый пользователь может занимать одну или несколько групп RU для соответствия различным требованиям к полосе пропускания. В следующей таблице указано максимальное количество RU при разной полосе пропускания канала.

Тип RU	CBW20	CBW40	CBW80	CBW160 и CBW80+80
RU 26 тонов	9	18	37	74
RU 52 тона	4	8	16	32
RU 106 тонов	2	4	8	16
RU 242 тона	1-SU/MU-MIMO	2	4	8
RU 484 тона	—	1-SU/MU-MIMO	2	4
RU 996 тонов	—	—	1-SU/MU-MIMO	2
RU 2x996 тонов	—	—	—	1-SU/MU-MIMO

Уровень MAC 802.11

- Канал WLAN совместно используется всеми STA, и только одна STA может передавать данные в один момент времени. Следовательно, для координации процедур передачи и приема данных каждой STA необходим механизм выделения канала. 802.11 предлагает следующие два способа координации на уровне MAC:
 - Распределённая функция координации (Distributed coordination function, DCF): использует механизм CSMA/CA, чтобы каждая STA могла посоревноваться за канал передачи данных.
 - Точечная функция координации (Point Coordination Function, PCF): использует централизованный алгоритм управления доступом для того, чтобы STA передавали кадры данных по очереди (способом, похожим на режим Round-Robin) для того, чтобы предотвратить коллизии.



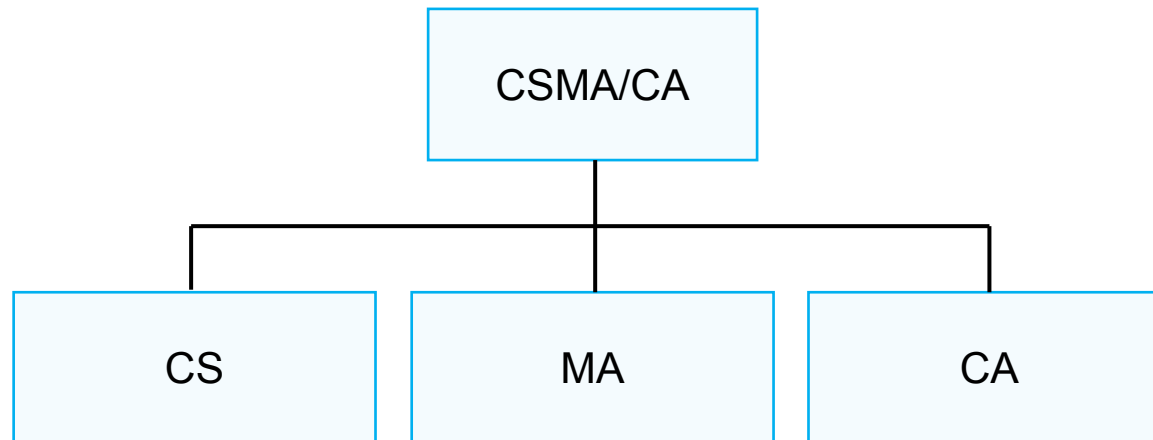
DCF — обязательна, PCF — не обязательна. DCF, ядром которого является CSMA/CA, широко используется в отрасли.

Что такое CSMA/CA?

CSMA/CA

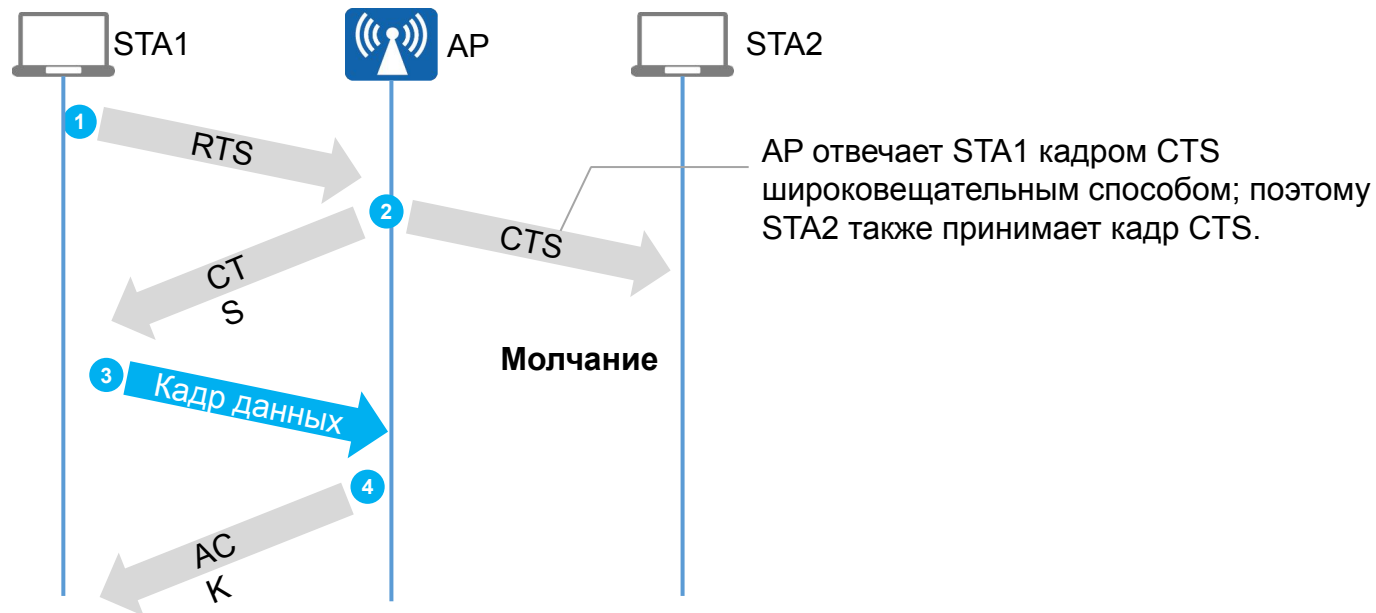
Протоколы 802.11 используют механизм множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA) для предотвращения потери ресурсов передачи при обнаружении коллизий.

- CS: перед передачей данных станция проверяет, свободен ли канал, чтобы уменьшить вероятность коллизии.
- MA: данные, отправленные одной станцией, могут быть получены несколькими станциями.
- CA: разработан, чтобы минимизировать вероятность возникновения коллизий.



RTS/CTS

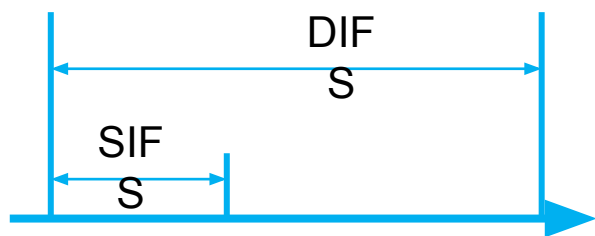
- Механизм запроса на отправку (RTS)/очистки перед отправкой (CTS) используется стандартами 802.11 для уменьшения коллизий, возникающих в результате проблем скрытых узлов.
 - Кадр RTS используется для сохранения права на использование канала. STA, которые получают кадр RTS, хранят молчание.
 - Кадр CTS используется точкой доступа для ответа на кадр RTS. Другие STA, которые получают кадр CTS, хранят молчание.
- Ядро RTS/CTS разрешает передатчику резервировать каналы и избегать коллизий последующих больших кадров данных с помощью небольших резервных пакетов (кадры RTS/CTS).



IFS

Межкадровое пространство (IFS)

- Чтобы избежать коллизий, протоколы 802.11 определяют условие, что перед отправкой следующего кадра все STA ждут очень короткое время. В течение этого периода STA продолжают прослушивать состояние канала. Этот период известен как IFS.
- IFS зависит от типа кадра. Более короткий IFS применяется к кадрам с более высоким приоритетом, отправка которых осуществляется в предпочтительном порядке.
- Когда среда передачи становится занятой передачей кадров с более высоким приоритетом, передача кадров с более низким приоритетом должна быть отложена. Это позволяет снизить вероятность коллизий.



Короткий IFS (SIFS): короткое время ожидания 16 мкс (802.11ax) и высокий приоритет

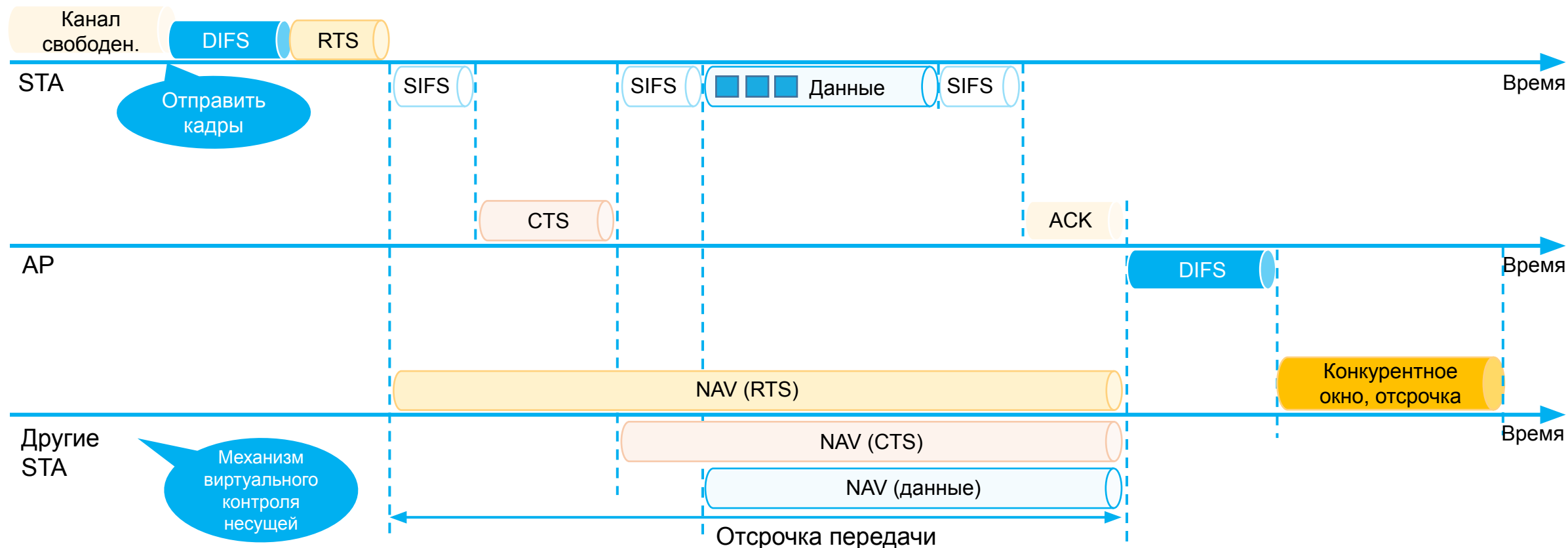
- Разделяет кадры при каждом обмене. В течение этого периода STA должна иметь возможность переключаться из режима передачи в режим приема. Кадры SIFS, включая кадры ACK, CTS и контрольные кадры, имеют наивысший приоритет и требуют немедленного ответа.

Распределенная функция координации IFS (DIFS): длительное время ожидания и низкий приоритет.

- Передает кадры данных и кадры управления в режиме DCF.
- DIFS — это самое короткое время, в течение которого среда остается свободной. Если среда остается свободной в течение времени, превышающего DIFS, STA может сразу получить доступ к среде.

Основные технологии CSMA/CA

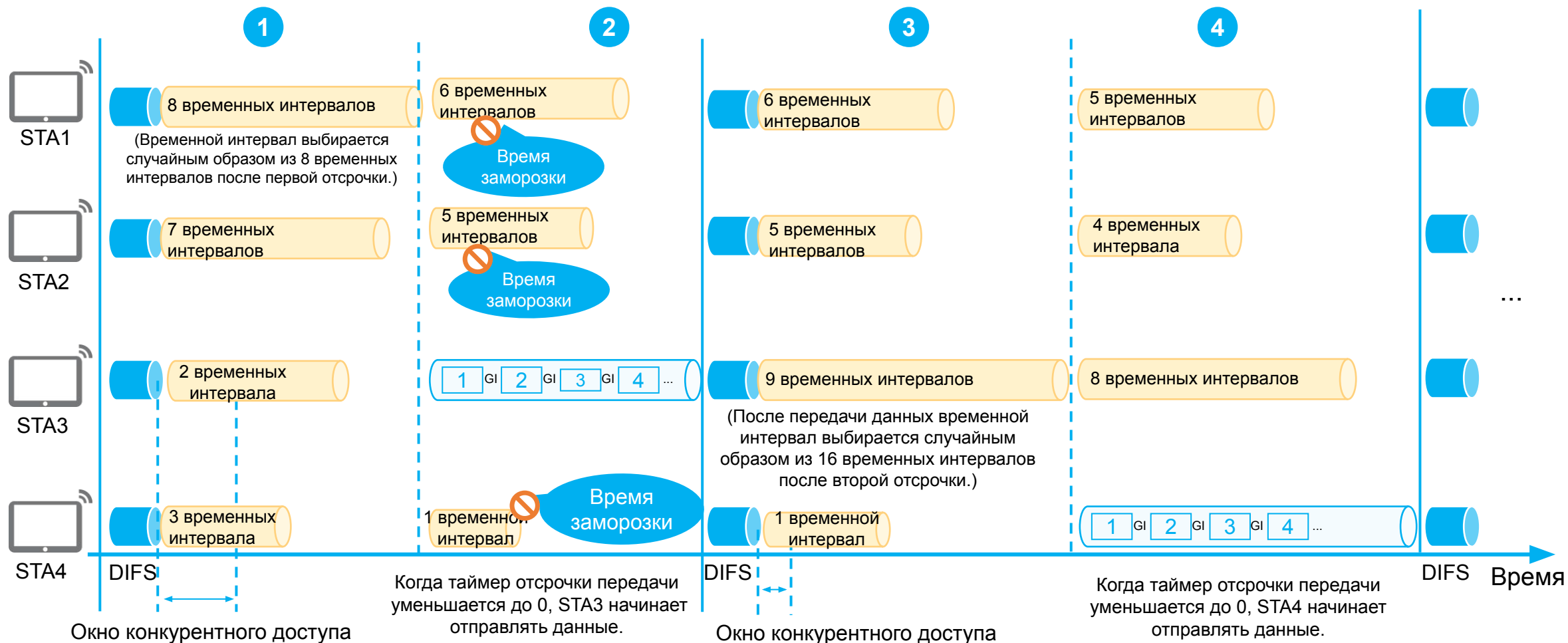
- 802.11 определяет физический контроль несущей на радиоинтерфейсе. STA начинает отправлять первый кадр MAC после DIFS, только если обнаруживает, что канал свободен.



Когда STA обнаруживает поле Duration в заголовке кадра MAC, который передается по каналу, STA настраивает собственный NAV.

NAV определяет время, необходимое для завершения передачи кадра данных, чтобы переключить канал в свободное состояние.

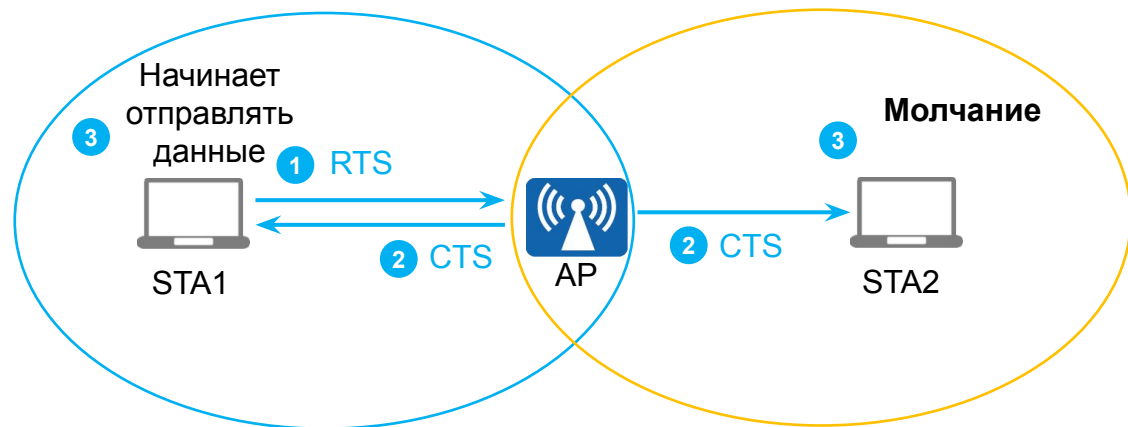
Механизм случайной отсрочки передачи 802.11



Согласно 802.11, время отсрочки передачи должно быть целым числом, кратным времени временного интервала. Для i -ой отсрочки один временной интервал выбирается случайным образом из временных интервалов 2^{2+i} ($i \leq 6$). Самое короткое время отсрочки — это окно конкурентного доступа.

RTS/CTS: скрытый узел

- Проблема со скрытым узлом возникает, когда STA может связываться с AP, но не может напрямую связываться с другими STA, связанными с этой AP.



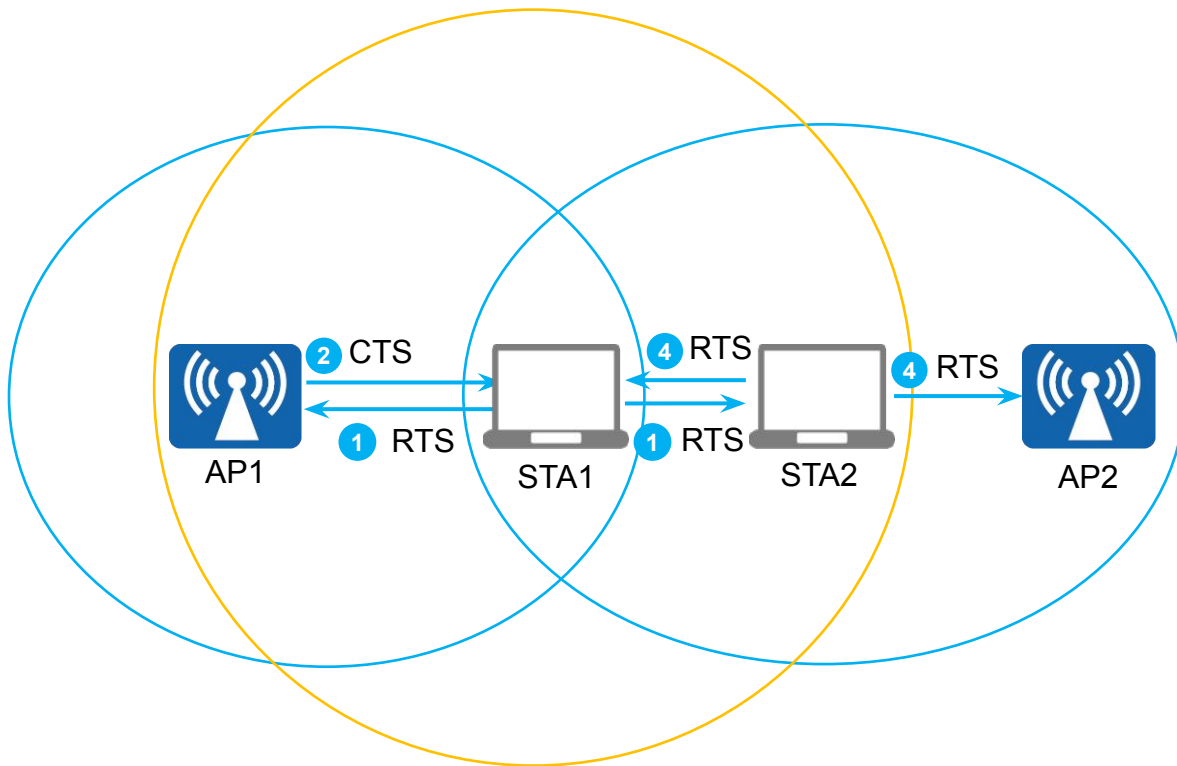
STA1 и STA2 являются скрытыми узлами по отношению друг к другу.

- 1 STA1 отправляет кадр RTS, чтобы зарезервировать доступ к каналу.
- 2 После получения кадра RTS точка доступа передает кадр CTS в качестве ответа.
- 3 После получения кадра CTS от AP, STA1 готова к отправке данных.
- 4 STA2 принимает кадр CTS, отправленный AP, и узнает, что текущий канал занят. STA2 хранит молчание и не отправляет данные.

Поскольку расстояние между STA1 и STA2 слишком велико, STA1 и STA2 не могут обнаружить друг друга.

RTS/CTS: открытый узел

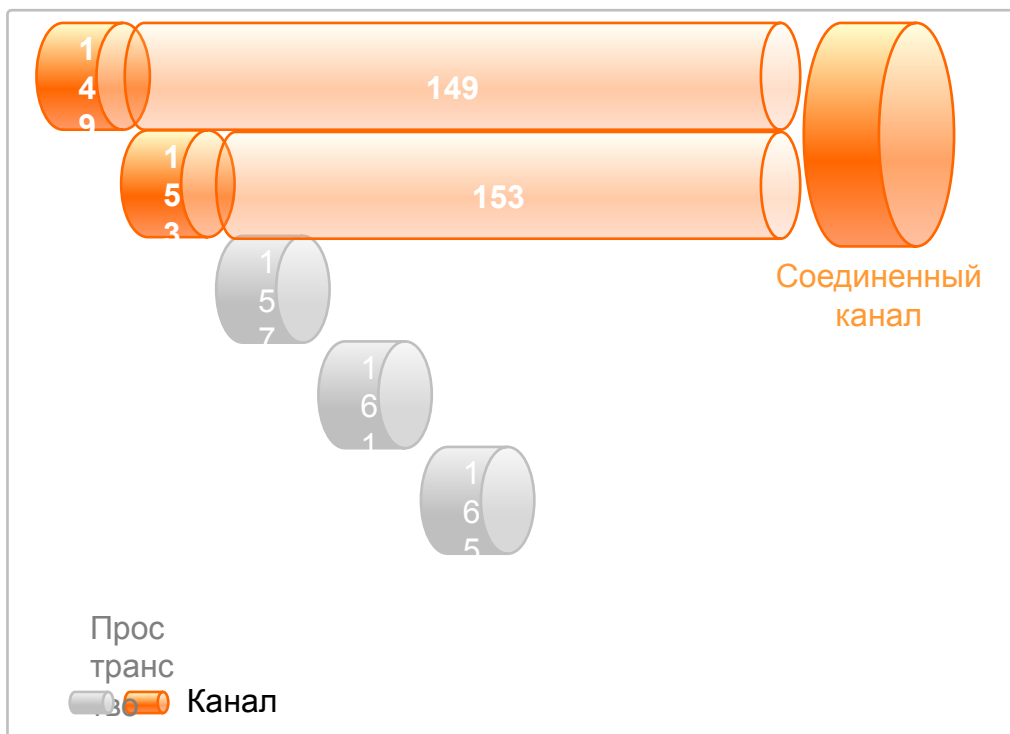
- Проблема открытого узла возникает, когда STA устанавливает связь с другими STA, связанными с AP, но не может напрямую связываться с AP.



STA1 и STA2 являются открытыми узлами по отношению друг другу.

- 1 STA1 передает кадр RTS, чтобы зарезервировать доступ к каналу.
- 2 После получения кадра RTS точка доступа передает кадр CTS в качестве ответа.
- 3 STA2 принимает кадр RTS от STA1, а не кадр CTS от AP1.
- 4 STA2 передает кадр RTS, чтобы зарезервировать доступ к каналу.

Соединение каналов



- При соединении двух или более соседних неперекрывающихся каналов в один канал, скорость передачи может быть увеличена вдвое.
- Для беспроводных технологий увеличение ширины канала может напрямую увеличить пропускную способность. Это напоминает дорогу. Если дорога расширяется, пропускная способность дороги увеличивается.
- В стандартах 802.11 полоса пропускания радиоинтерфейса составляет 20 МГц. За счет соединения двух соседних каналов 20 МГц в канал 40 МГц скорость передачи увеличивается вдвое. В 802.11ac и более поздних стандартах восемь каналов можно соединить в канал 160 МГц. Скорость передачи данных превышает 1000 Мбит/с.

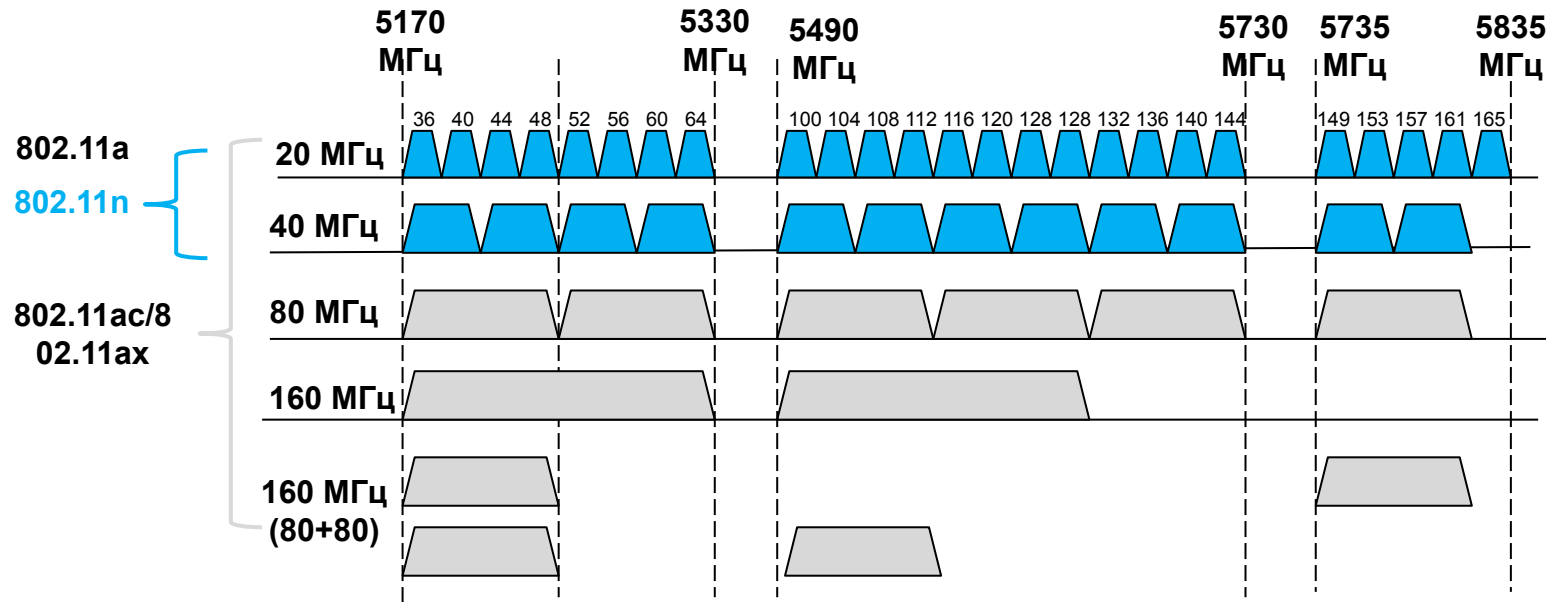
Соединение каналов 2,4 ГГц



- Соединение каналов может соединить два соседних неперекрывающихся канала шириной 20 МГц в канал 40 МГц, увеличивая скорость передачи данных. Например, канал 1 и канал 5 могут быть соединены, и канал 9 и канал 13 могут быть соединены.
- Один из двух каналов 20 МГц является основным, а другой — вспомогательным. Основной канал используется для передачи **пакетов маяка (beacon)** и **некоторых пакетов данных**, а вспомогательный канал используется для передачи других пакетов.

Полоса частот 2,4 ГГц поддерживает соединение каналов, чтобы получить максимальную полосу пропускания 40 МГц.

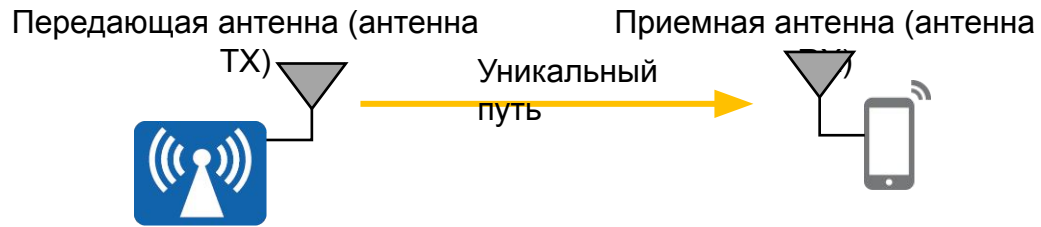
Соединение каналов 5 ГГц



- Два соседних канала 20 МГц могут быть соединены в канал 40 МГц. Один из двух каналов 20 МГц является основным, а другой — вспомогательным.
 - Например, в канале 149 полоса пропускания 40 МГц настраивается за счет соединения с другим каналом. То есть полоса пропускания 40 МГц реализуется при связывании каналов 149 и 153. Канал 149+ указывает, что канал 40 МГц доступен при соединении канала 20 МГц с центральной частотой 149 и канала 20 МГц с центральной частотой 153.
- Два соседних канала 40 МГц соединяются в канал 80 МГц, а два соседних канала 80 МГц соединяются в канал 160 МГц.
- Основной канал используется для передачи пакетов управления и контроля. Соединенный канал свободен только тогда, когда свободен его основной канал.

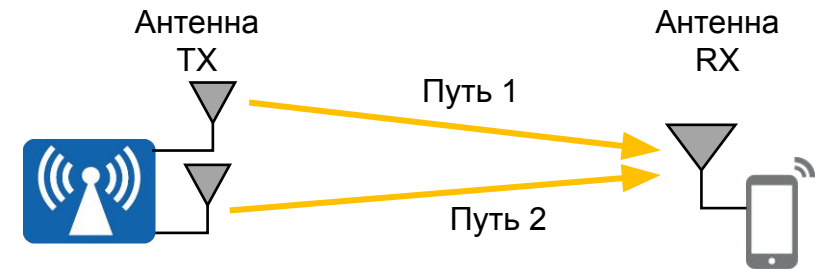
Если два соседних канала 20 МГц соединены и центральная частота вспомогательного канала 20 МГц ниже, чем у основного канала, соединенный канал называется xxxplus. В противном случае соединенный канал называется xxxminus.

SISO, MISO, SIMO и MIMO



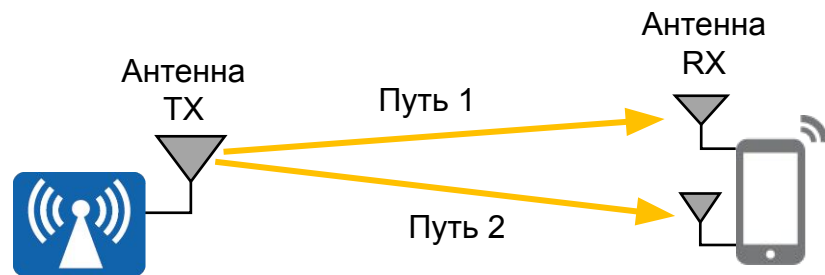
Один вход, один выход (SISO)

Между антенной TX и антенной RX существует уникальный путь, по которому передается один сигнал. Каждый сигнал определяется как один пространственный поток.



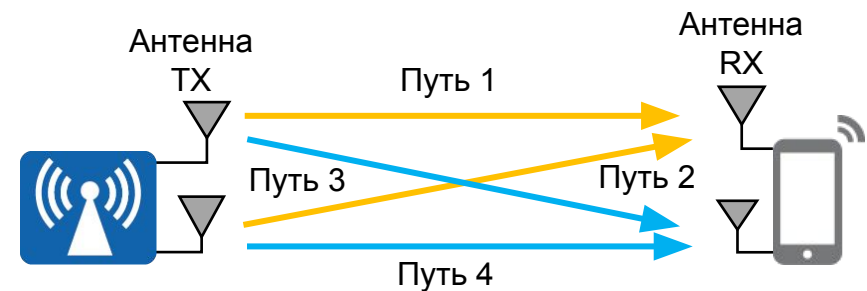
Несколько входов, один выход (MISO)

Между антеннами TX и антенной RX есть два пути. Существует только одна антенна RX, и поэтому антенны TX могут отправлять только одни и те же данные по двум путям. Аналогично системе SIMO.



Один вход, несколько выходов (SIMO)

Между антеннами TX и антенной RX есть два пути. Данные отправляются с одной антенны TX, и поэтому передается только один сигнал, что вдвое увеличивает надежность передачи.



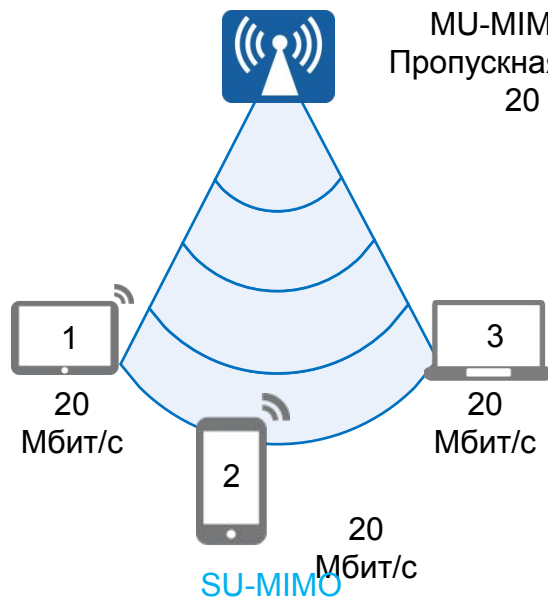
Несколько входов, несколько выходов (MIMO)

Между антеннами TX и RX есть два пути, по которым одновременно передаются два сигнала, тем самым удваивая скорость передачи.

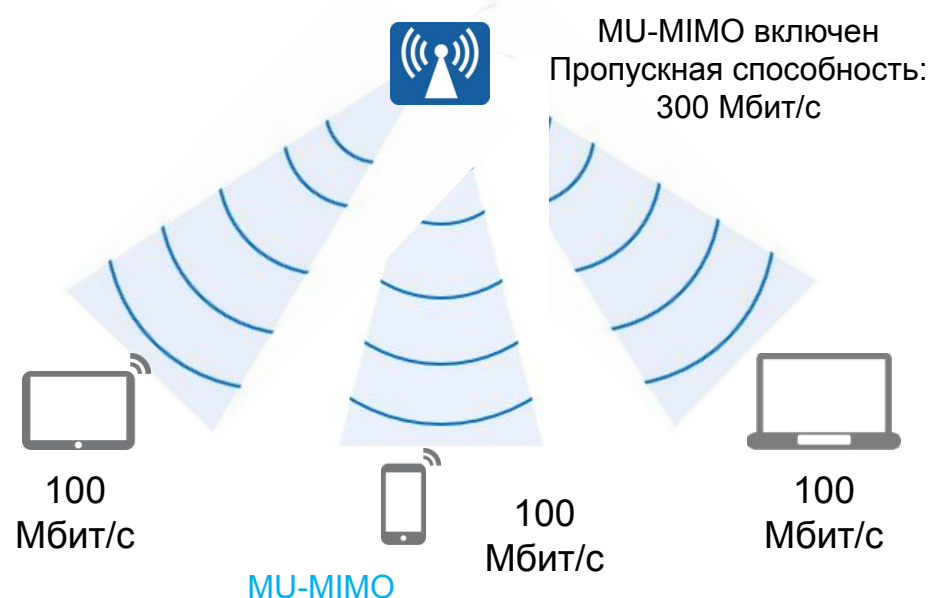
MU-MIMO

Многопользовательский MIMO (MU-MIMO)

- AP использует ресурсы пространственной области для одновременной связи с несколькими STA.
- Механизм CSMA-CA, используемый WLAN, позволяет одновременно занимать только один канал только одной STA. В течение этого периода другие STA не могут связываться с AP. Для оптимизации использования ресурсов канала появляется система MU-MIMO. Если эта функция включена, то STA с поддержкой MU-MIMO, могут формировать группу MU для одновременного приема данных нисходящей линии связи из одного и того же канала радиointерфейса. При этом повышается эффективность канала и общая пропускная способность нисходящей линии связи.



За один раз AP отправляет данные на одну STA.



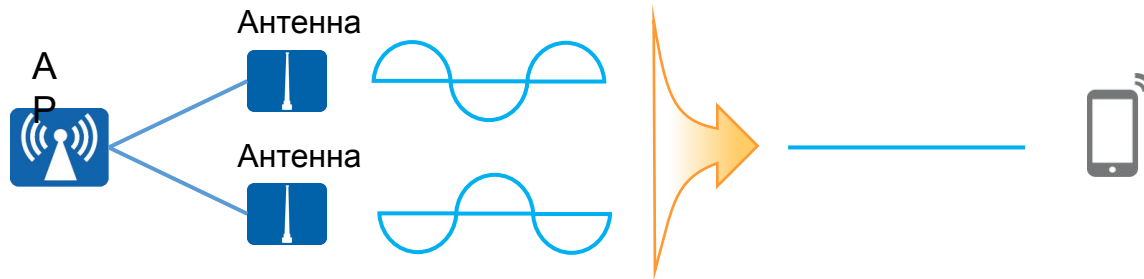
Точка доступа 3T3R одновременно отправляет данные максимум трем станциям.

MIMO: формирование пучка

Формирование пучка

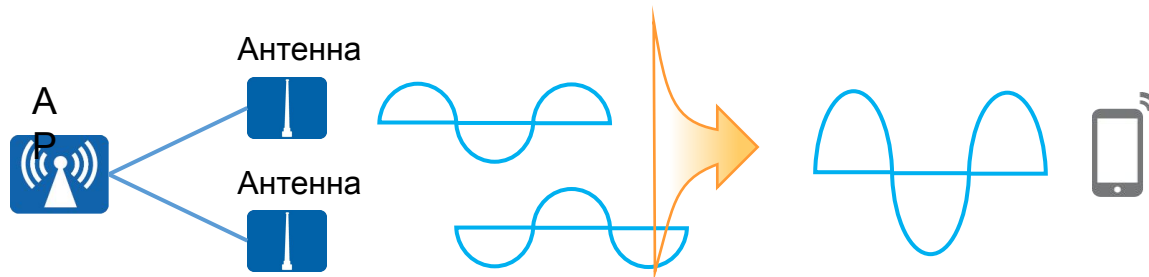
- Если передатчик имеет несколько антенн TX, выполняется настройка сигналов, передаваемых от каждой антенны, для повышения уровня сигнала на приемнике.

Слепая зона



Технология формирования пучка применяется в среде, где на приемнике есть только одна антенна и нет никаких препятствий. Если технология формирования пучка не используется, сигналы, поступающие на приемник, могут быть сдвинуты по фазе.

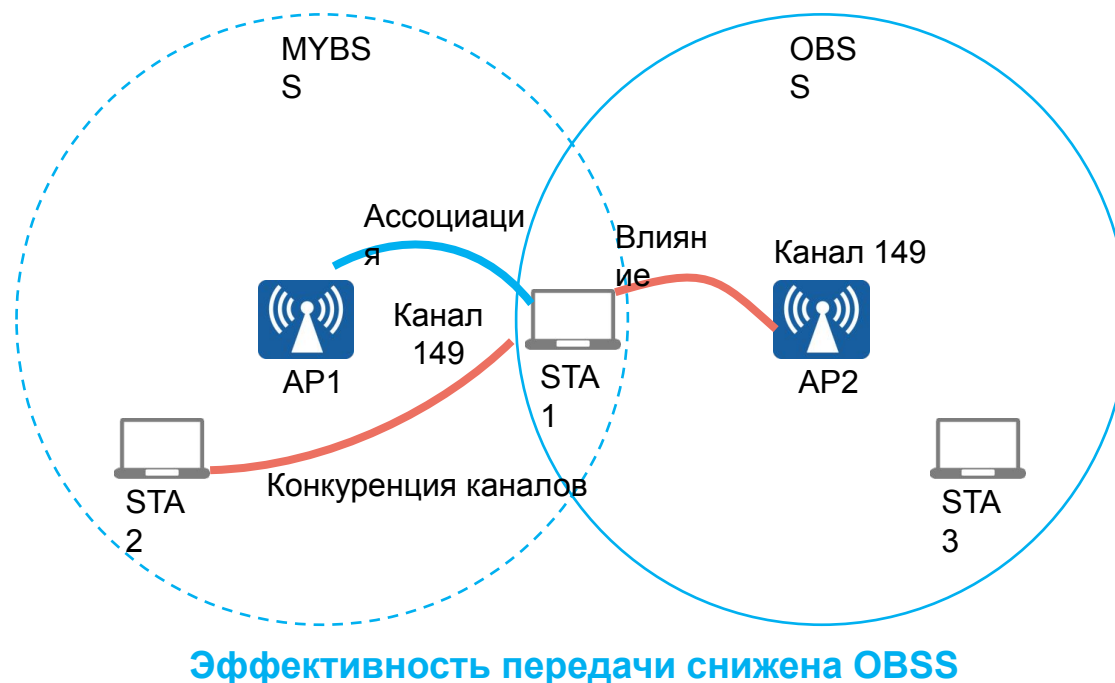
Формирование пучка



Благодаря технологии формирования пучка сигналы, поступающие в приемник, имеют положительную фазу и поэтому усиливаются, что также увеличивает отношение сигнал/шум на приемнике.

OBSS

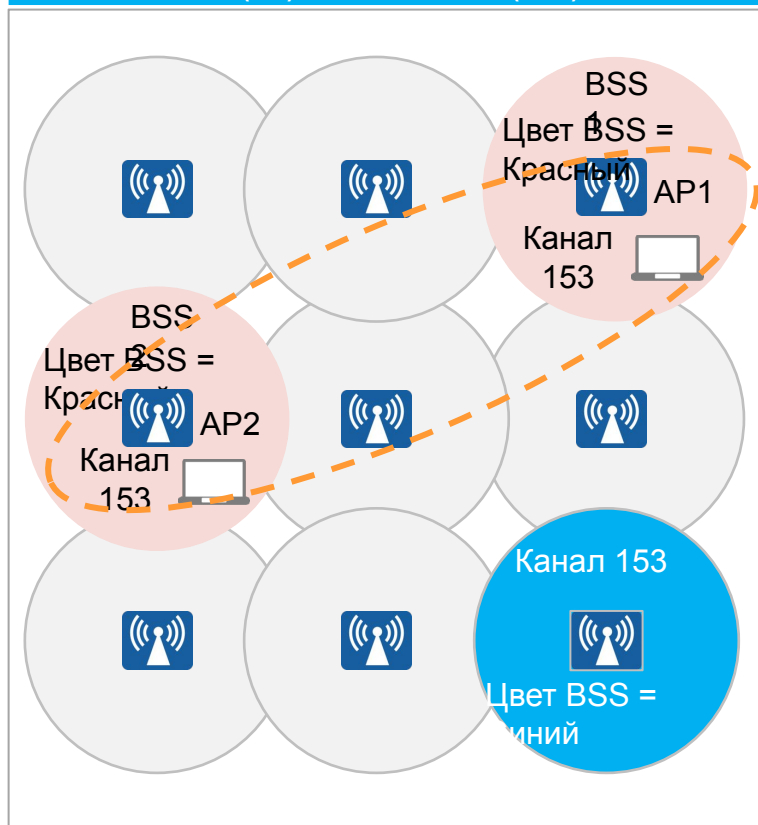
- Базовая единица WLAN — это базовый набор услуг (BSS), который состоит из одной фиксированной точки доступа и нескольких станций STA.
- Если STA1 связана с AP1, BSS AP1 является MYBSS для STA1. STA1 также находится в перекрывающемся базовом наборе служб (OBSS). Это означает, что STA1 может получать пакеты от AP2. В этом случае BSS AP2 является OBSS для STA1. Для STA1 кадры из MYBSS являются кадрами внутри BSS, а кадры из OBSS — кадрами между BSS. Связь в OBSS может вызвать отсрочку STA1, что снижает эффективность передачи.



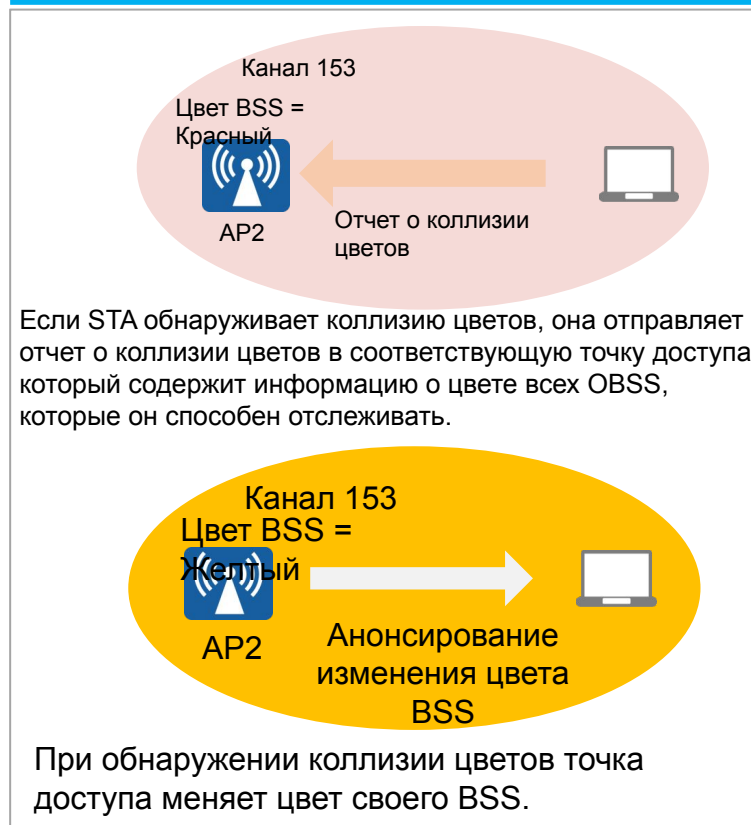
Окраска (Coloring) 802.11ax BSS

- Окраска (маркировка) BSS — это метод повышения эффективности пространственного повторного использования (SR) и уменьшения потребления ресурсов на уровне MAC, вызванных перекрывающимися BSS (OBSS). Окраска BSS улучшает пространственное повторное использование за счет уменьшения помех между BSS, которые влияют на скорость передачи между узлами на физическом (PHY) уровне (т.е., сокращает значение MCS).

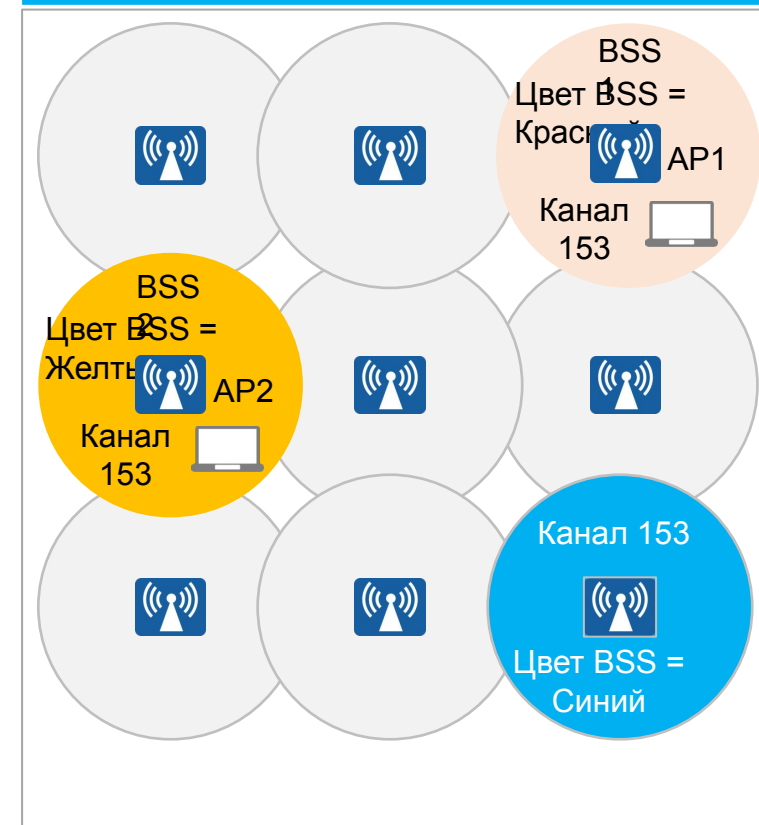
1. OBSS одного цвета, обнаруженные точками доступа (AP) или станциями (STA)



2. Отчет о коллизии цветов и изменение цвета



3. После изменения цвета BSS



TWT

На срок службы батареи STA в основном влияют **приложения с высоким потреблением энергии.**

Почему TWT?



Без TWT: каждая STA в состоянии пробуждения.



TWT: сервис независимого пробуждения



Реализация TWT



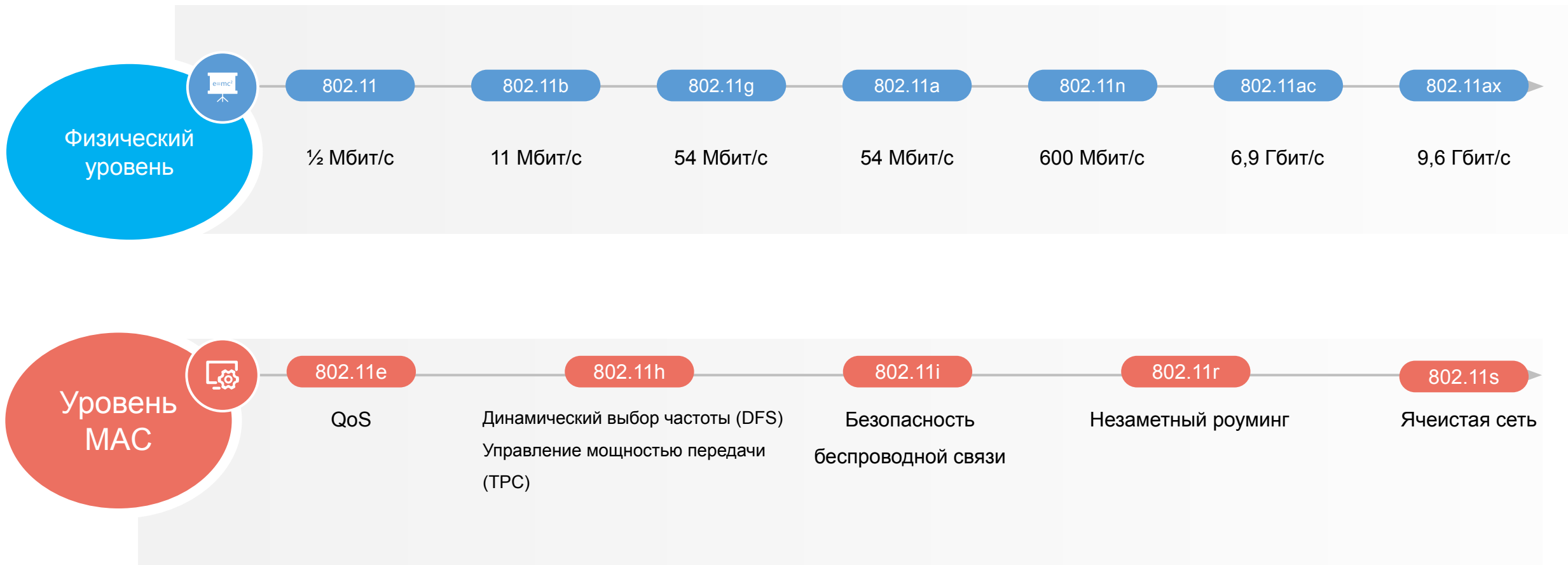
Согласуйте время пробуждения Wi-Fi для STA.



Содержание

1. Основные понятия беспроводной связи
2. Основные технологии WLAN
- 3. Общая информация о стандартах 802.11**

Семейство IEEE 802.11



Стандарты IEEE 802.11 и поколения Wi-Fi

Стандарт		Год выпуска	Частотный диапазон	Технологии физического уровня	Схема модуляции	Количество пространственных потоков	Полоса пропускания канала (МГц)	Теоретическая скорость
–	802.11	1997	2,4 ГГц	IR, FHSS, DSSS	–	–	20	2 Мбит/с
–	802.11b	1999	2,4 ГГц	DSSS/CCK	–	–	22	11 Мбит/с
–	802.11a	1999	5 ГГц	OFDM	–	–	20	54 Мбит/с
–	802.11g	2003	2,4 ГГц	OFDM	64-QAM	–	20	54 Мбит/с
Wi-Fi 4	802.11n	2009	2,4 ГГц, 5 ГГц	OFDM DSSS/CCK	64-QAM	4	20, 40	2,4 ГГц: 450 Мбит/с 5 ГГц: 600 Мбит/с
Wi-Fi 5	802.11ac Wave 1	2013	5 ГГц	OFDM SU-MIMO	64-QAM	4+4	20, 40	3,74 Гбит/с
	802.11ac Wave 2	2015	5 ГГц	OFDM DL MU-MIMO	256-QAM	8	20, 40, 80, 160, 80+80	6,9 Гбит/с
Wi-Fi 6	802.11ax	2019	2,4 GHz, 5 GHz	OFDMA DL MU-MIMO UL MU-MIMO	1024-QAM	4+8	20, 40, 80, 160, 80+80	2,4 ГГц: 1,15 Гбит/с 5 ГГц: 9,6 Гбит/с

802.11a/b/g

- 802.11a (5 ГГц)
 - OFDM
 - Скорости передачи данных: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, Мбит/с
 - Работа в безлицензионном диапазоне частот 5 ГГц; доступно 23 неперекрывающихся канала
- 802.11b (2,4 ГГц)
 - Метод прямой последовательности для расширения спектра (DSSS)
 - Скорости передачи данных: 1, 2, 5,5, 11, Мбит/с
 - Полоса пропускания канала: 22 МГц
- 802.11g (2,4 ГГц)
 - OFDM
 - Скорости передачи данных: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с и скорости, поддерживаемые 802.11b
 - Совместимость с станциями 802.11b

802.11n

Рабочая группа IEEE 802.11 создала группу по разработке стандартов для высокой пропускной способностью (High Throughput, HT) в 2002 году. Официальный выпуск IEEE 802.11n на основе MIMO-OFDM состоялся в 2009 году. 802.11n увеличивает пропускную способность сети по сравнению с двумя предыдущими стандартами — 802.11a и 802.11g. Максимальная скорости передачи данных значительно увеличена.



Точка доступа Huawei,
совместимая с 802.11n
(с внешними антеннами)

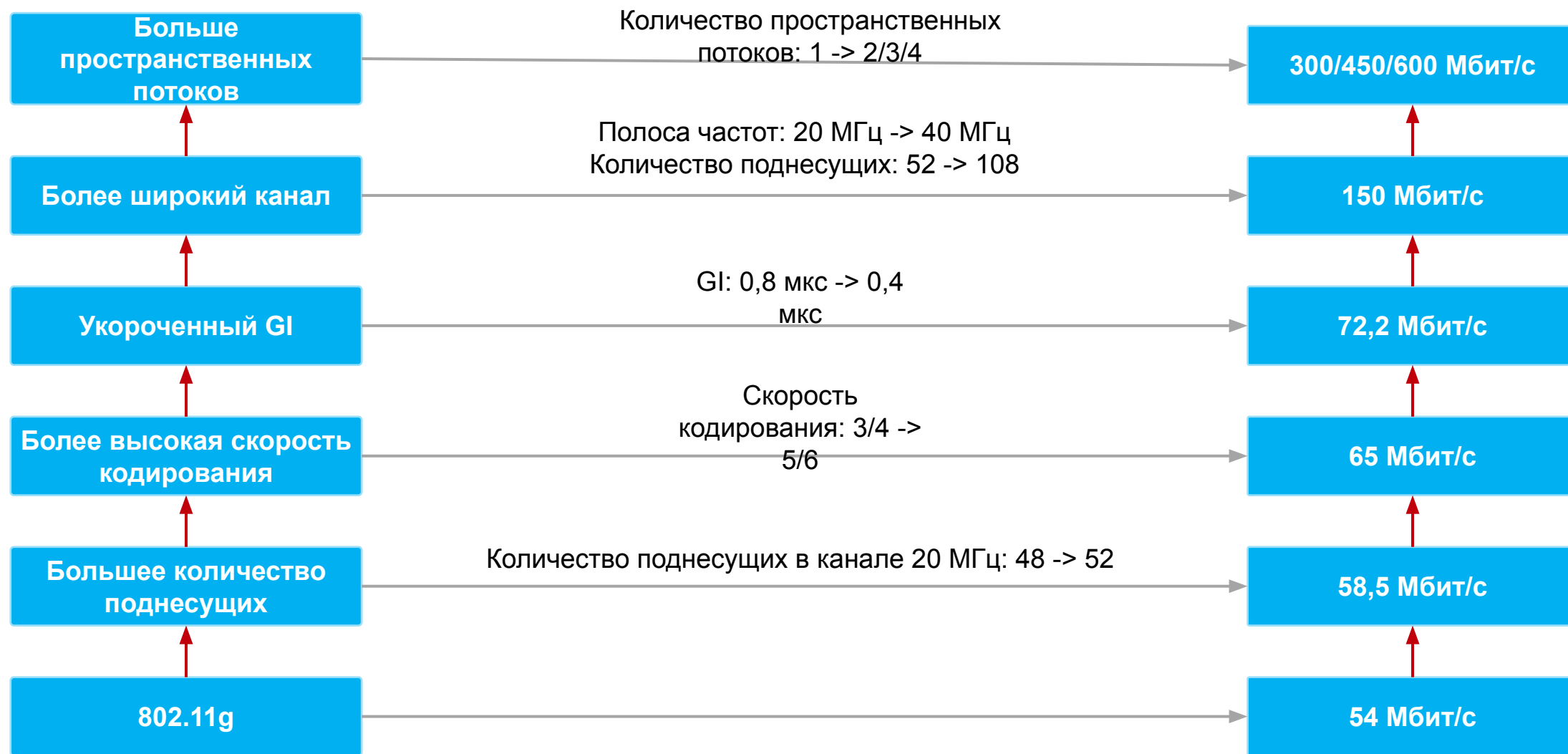
Частотный диапазон	Стандарты 802.11 и максимальные теоретические скорости	
2,4 ГГц	802.11g: 54 Мбит/с	802.11n: 450 Мбит/с
5 ГГц	802.11a: 54 Мбит/с	802.11n: 600 Мбит/с

802.11n вводит множество новых технологий, которые открывают новые возможности для пользователей, способствуют развитию отрасли WLAN и помогают популяризировать Wi-Fi. До сих пор в действующей сети используется большое количество 802.11n STA.

**Принципиально
новые
технологии**



Основные технологии 802.11n



802.11ac

В 2014 году рабочая группа IEEE 802.11 официально выпустила стандарт 802.11ac, который также известен как стандарт VHT (очень высокая пропускная способность). Это означает, что скорость передачи данных в WLAN достигает гигабитного уровня. Необходимо отметить, что 802.11ac поддерживает **только полосу частот 5 ГГц**.



Точка доступа Huawei,
совместимая с
802.11ac

Частотный диапазон	Стандарты 802.11 и максимальные теоретические скорости	
2,4 ГГц	802.11n: 450 Мбит/с	802.11ac: не поддерживается
5 ГГц	802.11n: 600 Мбит/с	802.11ac Wave 2: 6,9 Гбит/с

Высокая пропускная способность всегда была целью стандартов Wi-Fi. 802.11ac, основываясь на первоначальных технологиях, реализовал прорыв и обеспечил более высокую пропускную способность. По сравнению с 802.11n, 802.11ac увеличивает максимальное количество поддерживаемых пространственных потоков с четырех до восьми и увеличивает полосу пропускания канала с 40 МГц до 160 МГц. Стандарт 802.11ac также представляет технологию MU-MIMO для поддержки одновременной многопользовательской передачи по нисходящему каналу.

**Принципиально
новые технологии**



802.11ax

IEEE 802.11ax, представляемый Wi-Fi Alliance на рынке как Wi-Fi 6, также известен как стандарт High-Efficiency Wireless (HEW). 802.11ax поддерживает диапазоны частот 2,4 ГГц и 5 ГГц и обратно совместим с 802.11a/b/g/n/ac.

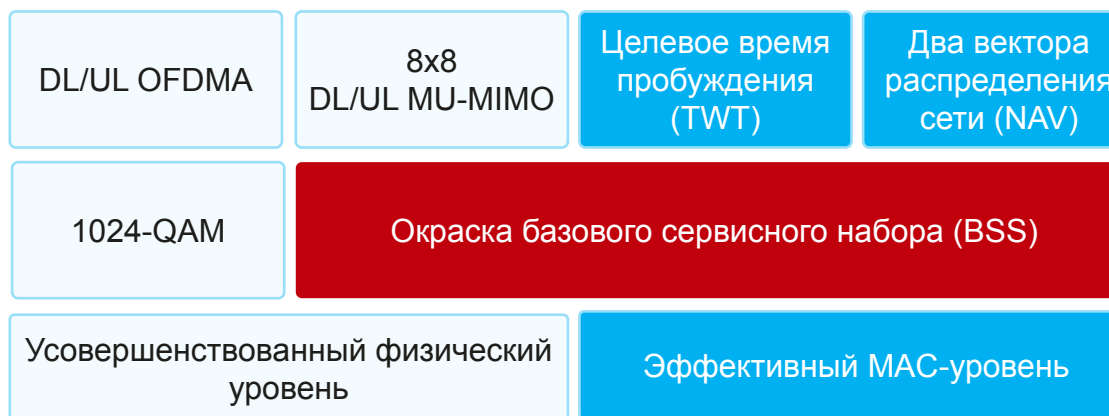
Частотный диапазон	Стандарты 802.11 и максимальные теоретические скорости	
2,4 ГГц	802.11n: 450 Мбит/с	802.11ax: 1,15 Гбит/с
5 ГГц	802.11ac Wave 2: 6,9 Гбит/с	802.11ax: 9,6 Гбит/с

Для достижения более высокой пропускной способности 802.11ax использует большинство технологий 802.11ac и переопределяет технологию множественного доступа с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA). Поддерживает более узкое разнесение поднесущих и использует схему модуляции и кодирования 1024-QAM (MCS). Кроме того, 802.11ax представляет технологию UL MU-MIMO, которая обеспечивает теоретическую скорость точек доступа Wi-Fi 6 выше 10 Гбит/с и улучшает пропускную способность и качество обслуживания (QoS) в сценариях высокой плотности.



Точка доступа Huawei, совместимая с 802.11ax

**Принципиально
НОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



Теоретическая скорость передачи данных Wi-Fi 6: 10,75 Гбит/с

Скорость устройства = $\frac{\text{Кол-во пространственных потоков} \times \text{Кол-во кодовых битов на поднесущую} \times \text{Скорость кодирования} \times K}{\text{Символ} + GI}$

$$\text{Скорость при 2,4 ГГц} = \frac{4 \times 10 \text{ bits} \times 5/6 \times 468}{(12.8 + 0.8) \times 10^{-6} \text{ s}} = 1147 \times 10^6 \text{ bps} = 1147 \text{ Мбит/с}$$

$$\text{Скорость при 5 ГГц} = \frac{8 \times 10 \text{ bits} \times 5/6 \times 1960}{(12.8 + 0.8) \times 10^{-6} \text{ s}} = 9607 \times 10^6 \text{ bps} = 9607 \text{ Мбит/с}$$

Символ и GI

	802.11ac и более ранние версии	802.11ax
Быстрое преобразование Фурье (FFT)	64 точки	256 точек
Разнесение поднесущих	312,5 кГц	78,125 кГц
Длительность символа	3,2 мкс	12,8 мкс
Короткий GI	0,4 мкс	/
GI	0,8 мкс	0,8 мкс
2 x GI	/	1,6 мкс
4 x GI	/	3,2 мкс

MCS и скорость кодирования

Скорость	MCS	Количество поднесущих	Скорость кодирования
VMCS8	256-QAM	8	3/4
VMCS9	256-QAM	8	5/6
VMCS10	1024-QAM	10	3/4
VMCS11	1024-QAM	10	5/6

Скорость установления связи по радиointерфейсу

1. 802.11ax
2. 8x8 MIMO
3. GI
4. 1024-QAM
5. Скорость кодирования каналов: 5/6
6. 160 МГц, 1960 допустимых поднесущих (5 ГГц)
7. 40 МГц, 468 допустимых поднесущих (2,4 ГГц)

Количество допустимых поднесущих

		802.11ac и более ранние версии	802.11ax
FFT		64 точки	256 точек
Разнесение поднесущих		312,5 кГц	78,125 кГц
Количество допустимых поднесущих	20 МГц	52	234
	40 МГц	108	468
	80 МГц	234	980
	160 МГц	468	1960

Почему 802.11ax не может использовать технологию короткого защитного интервала (Short GI)?

До 40 МГц при 2,4 ГГц
До 160 МГц при 5 ГГц

Вопросы

1. Какие технологии используются на физическом уровне 802.11?
2. В чем заключается суть технологии MIMO?

Заключение

- В настоящем курсе основное внимание уделено основам и технологиям WLAN, основным сведениям о стандартах 802.11 и подробной информации о технологиях физического уровня и уровня MAC 802.11.
- По завершении этого курса вы получите основные знания о WLAN, особенно о преимуществах Wi-Fi 6.

Рекомендации

- Основные сведения о 802.11ax (Wi-Fi 6):

https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100102755/d5da9bbc?idPath=24030814|21782164|21782201|22318528#EN-US_TOPIC_0189760680

- Официальный документ по технологии Huawei Wi-Fi 6 (802.11ax):

<https://e.huawei.com/en/material/networking/wlan/f3ae84efd98d440eb457b4caf405b509>

Спасибо за внимание!

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。

Донесение цифровых данных
до каждого человека, дома и
организации для полностью

Взаимосвязанного
всего мира.
Авторские права © Huawei Technologies Co., Ltd. 2020.

Информация, представленная в данном документе, может содержать прогностические высказывания, включая, в том числе, заявления о будущих результатах финансово-хозяйственной деятельности, будущих линейках продукции, новых технологиях и прочее. Существует ряд факторов, которые могут привести к тому, что фактические результаты и достижения будут отличаться от результатов, явно или косвенно описанных в указанных прогностических высказываниях. Следовательно, представленная информация носит справочный характер и не является офертой или акцептом. Компания Huawei может вносить изменения в представленную информацию в любое время без предварительного уведомления.



История изменений

Не для печати

Код курса	Продукт	Версия продукта	Версия курса
H12-311	WLAN	V200R19C10	3.0

Составлено/ID сотрудника	Дата	Проверено/ID сотрудника	Новый/Обновление
Яо Сяньбинь (Yao Xianbin) WX288536	28.06.2020	Новая группа WLAN	Новый