

Эволюция сетей Wi-Fi

3rd GEN

11a/11g



1999

4th GEN

11n



2009

5th GEN

11ac



2013

6th GEN

MaxWiFi



2018

Wi-Fi



Назначение протокола:	Беспроводная связь
Спецификация:	IEEE 802.11
Разработчик:	Wi-Fi Alliance

Протокол беспроводной связи

Wi-Fi был создан в [1991 году](#) [NCR Corporation](#) [AT&T](#) (впоследствии — [Lucent Technologies](#) и [Agere Systems](#)) в [Нью-Йорке](#) Wi-Fi был создан в 1991 году NCR Corporation/AT&T (впоследствии — Lucent Technologies и Agere Systems)

Wi-Fi — торговая марка [Wi-Fi Alliance](#) — торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта [IEEE 802.11](#). Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводное качество» или «беспроводная точность») в настоящее время развивается целое семейство стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам.

Любое оборудование, соответствующее стандарту [IEEE 802.11](#) Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть

История создания

Стандарт [IEEE 802.11n](#) Стандарт IEEE 802.11n был утверждён 11.09.2009 г. Его применение позволяет повысить скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов [802.11g](#) Стандарт IEEE 802.11n был утверждён 11.09.2009 г. Его применение позволяет повысить скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов 802.11g (максимальная скорость которых равна 54 Мбит/с), при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 600 Мбит/с. С 2011 по 2013 гг. разрабатывался стандарт IEEE [802.11ac](#). Скорость передачи данных при использовании 802.11ac может достигать нескольких Гбит/с. Большинство ведущих производителей оборудования уже анонсировали устройства поддерживающие данный стандарт.

27.07.2011 г. [Институт инженеров электротехники и](#)

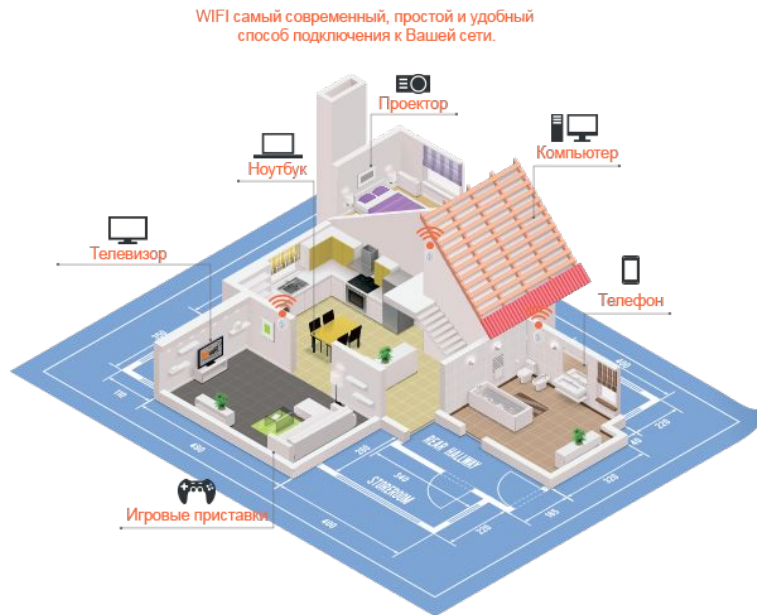
[электроники](#) 27.07.2011 г. Институт инженеров электротехники и

Wi-Fi, Общие сведения

Wireless LAN (WiFi 802.11) разрабатывалась для решения задачи беспроводного широкополосного доступа к сетям передачи данных на высоких скоростях. Основная цель и смысл технологии это предоставление мобильности пользователям с разными типами носимых устройств:

- лаптопы/нетбуки
- планшетные компьютеры
- смартфоны
- Wi-Fi радиотелефоны (VoIP over Wi-Fi) и т.п.

Пользователь доступа стандарта Wi-Fi становится не привязанным к конкретному столу или розетке Ethernet, а может перемещаться по всему офису или всей зоне покрытия сети WiFi и везде иметь доступ к данным безопасно, надежно и быстро.



Принцип работы

Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc) Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID (англ.) руссск. Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID (англ.) руссск) с помощью стандартных методов беспроводной связи.

Принцип работы

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

- ❖ Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные)
- ❖ Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
- ❖ Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)
- ❖ По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:
 - Со статическими настройками радиоканалов
 - С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
 - Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов

Преимущества Wi-Fi

- ❖ Позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, что может уменьшить стоимость развёртывания и/или расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями.
- ❖ Позволяет иметь доступ к сети мобильным устройствам.
- ❖ Wi-Fi устройства широко распространены на рынке. Гарантируется совместимость оборудования благодаря обязательной сертификации оборудования с логотипом Wi-Fi.
- ❖ Мобильность. Вы больше не привязаны к одному месту и можете пользоваться Интернетом в комфортной для вас обстановке.
- ❖ В пределах Wi-Fi зоны в сеть Интернет могут выходить несколько пользователей с компьютеров, ноутбуков, телефонов и т. д.
- ❖ Излучение от Wi-Fi устройств в момент передачи данных на порядок (в 10 раз) меньше, чем у сотового телефона.

Недостатки Wi-Fi

- ❖ В диапазоне 2,4 GHz работает множество устройств, таких как устройства, поддерживающие [Bluetooth](#) В диапазоне 2,4 GHz работает множество устройств, таких как устройства, поддерживающие Bluetooth, и др. и даже [микроволновые печи](#), что ухудшает [электромагнитную совместимость](#).
- ❖ Производителями оборудования указывается скорость на L1 (OSI), в результате чего создаётся иллюзия, что производитель оборудования завышает скорость, но на самом деле в Wi-Fi весьма высоки служебные «накладные расходы». Получается, что скорость передачи данных на L2 (OSI) в Wi-Fi сети всегда ниже заявленной скорости на L1 (OSI). Реальная скорость зависит от доли служебного трафика, которая зависит уже от наличия между устройствами физических преград (мебель, стены), наличия помех от других беспроводных устройств или электронной аппаратуры, расположения устройств относительно друг друга и т.п.
- ❖ Частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах не одинаковы. Во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в [США](#) Частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах не одинаковы. Во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в США; В [Японии](#) Частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах не одинаковы. Во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в США; В Японии есть ещё один канал в верхней части диапазона, а другие страны, например [Испания](#) Частотный

Недостатки Wi-Fi

- ❖ Как было упомянуто выше — в России точки беспроводного доступа, а также адаптеры Wi-Fi с [ЭИИМ](#), превышающей 100 мВт (20 дБм), подлежат обязательной регистрации.
- ❖ Стандарт [шифрования WEP](#) Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма). Новые устройства поддерживают более совершенные протоколы шифрования данных [WPA](#) Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма). Новые устройства поддерживают более совершенные протоколы шифрования данных WPA и [WPA2](#) Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма). Новые устройства поддерживают более совершенные протоколы шифрования данных WPA и WPA2. Принятие стандарта [IEEE 802.11i](#) Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма). Новые устройства поддерживают более совершенные протоколы шифрования данных WPA и WPA2. Принятие стандарта IEEE

Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

IEEE 802.11 – базовый стандарт для сетей Wi-Fi, который определяет набор протоколов для самых низких скоростей передачи данных (transfer).

IEEE 802.11b – описывает большие скорости передачи и вводит больше технологических ограничений. Этот стандарт широко продвигался со стороны WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) и изначально назывался Wi-Fi.

Используются частотные каналы в спектре 2.4GHz.

Ратифицирован в 1999 году.

Используемая радиочастотная технология: DSSS.

Кодирование: Barker 11 и ССК.

Модуляции: DBPSK и DQPSK,

Максимальные скорости передачи данных (transfer) в канале: 1, 2, 5.5, 11 Mbps.



Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

IEEE 802.11a – описывает значительно более высокие скорости передачи (transfer) чем 802.11b.

Используются частотные каналы в частотном спектре 5GHz. Протокол не совместим с 802.11b.

Ратифицирован в 1999 году.

Используемая радиочастотная технология: OFDM.

Кодирование: Convolution Coding.

Модуляции: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

~~Максимальные скорости передачи данных эквивалентны 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps.~~

Используются частотные каналы в спектре 2.4GHz. Протокол совместим с 802.11b.

Ратифицирован в 2003 году.

Используемые радиочастотные технологии: DSSS и OFDM.

Кодирование: Barker 11 и CCK.

Модуляции: DBPSK и DQPSK,

Максимальные скорости передачи данных (transfer) в канале:

- 1, 2, 5.5, 11 Mbps на DSSS и

- 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps на OFDM.

Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

IEEE 802.11n –Wi-Fi-стандарт, (также разрешен к применению 802.11ac). В 802.11n используются частотные каналы в частотных спектрах Wi-Fi 2.4GHz и 5GHz. Совместим с 11b/11a/11g. Хотя рекомендуется строить сети с ориентацией только на 802.11n, т.к. требуется конфигурирование специальных защитных режимов при необходимости обратной совместимости с устаревшими стандартами. Это ведет к большому приросту сигнальной информации и существенному снижению доступной полезной производительности радиointерфейса. Собственно даже один клиент WiFi 802.11g или 802.11b потребует специальной настройки всей сети и мгновенной ее существенной деградации в части агрегированной производительности.

Сам стандарт Wi-Fi 802.11n вышел 11 сентября 2009 года.

Поддерживаются частотные каналы Wi-Fi шириной 20MHz и 40MHz (2x20MHz).

Используемая радиочастотная технология: OFDM.

Используется технология OFDM MIMO (Multiple Input Multiple Output) вплоть до уровня 4x4 (4xПередатчика и 4xПриемника). При этом минимум 2xПередатчика на Точку Доступа и 1xПередатчик на пользовательское устройство.



Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

Примеры возможных MCS (Modulation & Coding Scheme) для 802.11n, а также максимальные теоретические скорости передачи данных (transfer) в радиоканале:

Здесь SGI это защитные интервалы между фреймами.

Spatial Streams это количество пространственных потоков.

Type это тип модуляции.

Data Rate это максимальная теоретическая скорость передачи данных в радиоканале в Мбит/сек.

MCS Index	Type	Coding Rate	Spatial Streams	Data Rate (Mbps) with 20 MHz CH		Data Rate (Mbps) with 40 MHz CH	
				800 ns	400 ns (SGI)	800 ns	400 ns (SGI)
0	BPSK	1 / 2	1	6.50	7.20	13.50	15.00
1	QPSK	1 / 2	1	13.00	14.40	27.00	30.00
2	QPSK	3 / 4	1	19.50	21.70	40.50	45.00
3	16-QAM	1 / 2	1	26.00	28.90	54.00	60.00
4	16-QAM	3 / 4	1	39.00	43.30	81.00	90.00
5	64-QAM	2 / 3	1	52.00	57.80	108.00	120.00
6	64-QAM	3 / 4	1	58.50	65.00	121.50	135.00
7	64-QAM	5 / 6	1	65.00	72.20	135.00	150.00
8	BPSK	1 / 2	2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	QPSK	1 / 2	2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	QPSK	3 / 4	2	39.00	43.30	81.00	90.00
11	16-QAM	1 / 2	2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	16-QAM	3 / 4	2	78.00	86.70	162.00	180.00
13	64-QAM	2 / 3	2	104.00	115.60	216.00	240.00
14	64-QAM	3 / 4	2	117.00	130.00	243.00	270.00
15	64-QAM	5 / 6	2	130.00	144.40	270.00	300.00
16	BPSK	1 / 2	3	19.50	21.70	40.50	45.00
...
31	64-QAM	5 / 6	4	260.00	288.90	540.00	600.00

Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

Важно подчеркнуть, что указанные скорости соответствуют понятию channel rate и являются предельным значением с использованием данного набора технологий в рамках описываемого стандарта (собственно эти значения, как Вы вероятно заметили, производители пишут и на коробках домашних WiFi-устройств в магазинах).

Но в реальной жизни эти значения не достижимы в силу специфики самой технологии стандарта WiFi 802.11. Например здесь сильно влияет "политкорректность" в части обеспечения CSMA/CA (устройства WiFi постоянно слушают эфир и не могут передавать, если среда передачи занята), необходимость подтверждения каждого юникастового фрейма, полудуплексная природа всех стандартов WiFi и только 802.11ac/Wave-2 сможет это начать обходить с [MU-MIMO](#) и т.д.. Поэтому практическая эффективность устаревших стандартов 802.11 b/g/a никогда не превышает 50% в идеальных условиях(например для 802.11g максимальная скорость на абонента обычно не выше 22Мб/с), а для 802.11n эффективность может быть до 60%.

Если же сеть работает в защищенном режиме, что часто и происходит из-за смешанного присутствия различных WiFi-чипов на различных устройствах в сети, то даже указанная относительная эффективность может упасть в 2-3 раза. Это касается, например, микса из Wi-Fi устройств с чипами 802.11b, 802.11g в сети с точками доступа WiFi 802.11g или устройства WiFi 802.11g/802.11b в сети с точками доступа WiFi 802.11n и т.п..

Группа стандартов WiFi IEEE 802.11

- ▣ Это стандарт беспроводных сетей IEEE 802.11ac семейства 802.11 для WiFi сетей на частотах 5-6 GHz (ГГц.). Устройства работающие на этом стандарте, обеспечивают скорость передачи данных более 1 Gbit/s (Гбит/с) до 6 Gbit/s (Гбит/с) 8x MU-MIMO* (Multi-User multiple in, multiple out). Это во много раз выше, чем существующий на данный момент 802.11n.
- ▣ Данный стандарт рассчитан на использование до 8 антенн MU-MIMO и расширение канала до 80 – 160 MHz (Мгц.) По версии компании Broadcom, данный стандарт относится к сетям нового поколения 5G.

На начало 2013 года некоторые производители, а именно: Quantenna, Broadcom, Buffalo, Cisco уже представили чипы, поддерживающие работу на стандарте IEEE 802.11ac Draft 0.1.

* **MU-MIMO** (англ. Multi-User multiple in, multiple out) (рус. Многопользовательское со многими входами и выходами)

MU-MIMO – в отличие от SU-MIMO (Single User) MU-MIMO это многопользовательская MIMO которую могут использовать сразу несколько пользователей одновременно фактически является пространственный коммутатор (свичем).

Частотные полосы и каналы Wi-Fi

Мировая практика использования нелицензируемого частотного спектра:

ISM– Industrial, Scientific, Medical

1. Industrial/Промышленный: 902 – 928 MHz (ширина 26 MHz),
2. Scientific/Научный: 2400 – 2500 MHz (ширина 100 MHz),
3. Medical/Медицинский: 5725 – 5875 MHz (ширина 150 MHz).

Здесь для сетей стандарта Wi-Fi используется в основном часть диапазона 2400 - 2500 MHz.

UNII – Unlicensed National Information Infrastructure

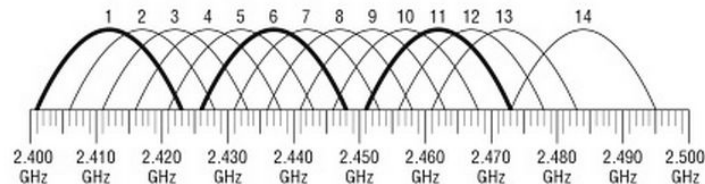
набор полос в диапазоне частот 5150 – 5825 MHz (частично используется для устройств WiFi).

Выбор корректных частотных каналов является одной из ключевых задач для [проектирования сети стандарта WiFi 802.11](#). При этом процесс выбора должен учитывать фундаментальный выбор частотной архитектуры подходящего WiFi-решения: [многоканальная или одноканальная архитектура?](#). Эта информация также крайне важна при проведении [радиообследования \(site survey\)](#) зоны покрытия будущей сети Wi-Fi.

Частотные полосы и каналы WiFi в 2.4 GHz

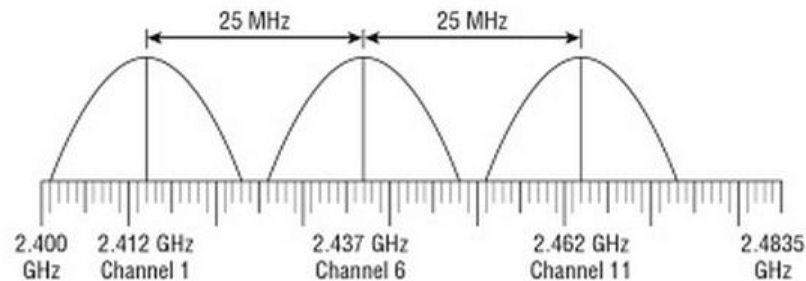
Канал WiFi	Нижняя частота	Центральная частота	Верхняя частота
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483

Общая диаграмма перекрытия частотных каналов WiFi в 2.4GHz



Частотные полосы и каналы WiFi в 2.4 GHz

В полосе частот WiFi 2.4GHz доступны 3 неперекрывающихся канала: 1, 6, 11.
Данное выделение строится на требовании IEEE по обеспечению минимума в 25MHz для разнесения центров неперекрывающихся частотных каналов WiFi. При этом ширина канала составляет 22MHz.



Частотные полосы и каналы WiFi в 5 GHz

Базовая мировая практика, которая может существенно изменяться по странам.

- UNII-1: 5150 – 5250 MHz (доступно 4 частотных канала WiFi)
- UNII-2: 5250 – 5350 MHz (доступно 4 частотных канала WiFi)
- UNII-2 Extended: 5470 – 5725 MHz (доступно 11 частотных каналов WiFi)
- UNII-3: 5725 – 5825 MHz (доступно 4 частотных канала WiFi)

Сетка рабочих каналов WiFi и частоты в 5GHz:

Канал	36	40	44	48
Центральная частота, MHz	5180	5200	5220	5240
Полоса	UNII-1			

Частотные полосы и каналы WiFi в 5 GHz

Канал	52	56	60	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140
Центральная частота, MHz	5260	5280	5300	5320	5500	5520	5540	5560	5580	5600	5620	5640	5660	5680	5700
Полоса	UNII-2														

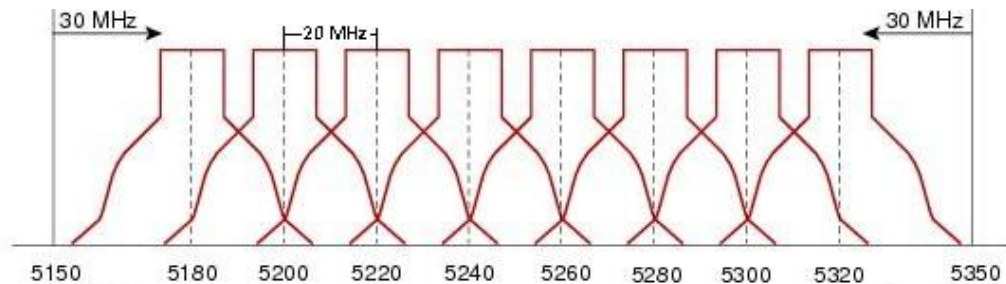
Канал	149	153	157	161
Центральная частота, MHz	5745	5765	5785	5805
Полоса	UNNI-3			

Для вычисления центральной частоты канала WiFi можно использовать следующую формулу:

$$5000+(5*N) / \text{MHz}$$

где N - это номер канала WiFi, например 36, 40 и т.д.

Формирование каналов WiFi в 5 GHz



При этом дистанция от граничных диапазонов составляет 30 MHz, а межканальное разнесение составляет 20MHz.

Порядок использования частотного спектра WiFi 2.4GHz в РФ

Канал	Нижняя частота	Центральная частота	Верхняя частота
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483

Таблица соответствует общим рекомендациям группы стандартов WiFi IEEE802.11

Здесь можно вывести следующую формулу построения ряда центральных частот каналов в РФ:

$2412 \text{ МГц} + (5 \text{ МГц} * N)$, где $N=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$.

Порядок использования частотного спектра WiFi 5GHz в РФ

Канал	Частота, ГГц	Канал	Частота, ГГц	Канал	Частота, ГГц	Канал	Частота, ГГц
34	5,17	62	5,31	149	5,745	177	5,885
36	5,18	64	5,32	15	5,755	180	5,905
38	5,19	100	5,5	152	5,76		
40	5,2	104	5,52	153	5,765		
42	5,21	108	5,54	155	5,775		
44	5,22	112	5,56	157	5,785		
46	5,23	116	5,58	159	5,795		
48	5,24	120	5,6	160	5,8		
50	5,25	124	5,62	161	5,805		
52	5,26	128	5,64	163	5,815		
54	5,27	132	5,66	165	5,825		
56	5,28	136	5,68	167	5,835		
58	5,29	140	5,7	171	5,855		
60	5,3	147	5,735	173	5,865		

Порядок использования частотного спектра WiFi 5GHz в РФ

(из Приложения к решению ГКРЧ от 28.04.2008, № 08-24-01-001)

1. Полоса 5150-5250MHz, до 100 мВт. >>> *эта полоса обычно используется для коммерческих Wi-Fi решений, использующих спектр 5GHz.*

Разрешается использование только в пределах зданий, сооружений, закрытых промышленных и складских площадках,

2. Полоса 5250-5350MHz, до 100 мВт.

Появилась информация, что данный диапазон открыт для использования внутри помещений. Проверяйте!

- Для локальных сетей служебной связи экипажа воздушного судна - разрешается использование на борту воздушных судов в районе аэропорта и на всех этапах полета,

- Для локальных сетей беспроводного доступа общего пользования - разрешается использование на борту воздушных судов в полете, на высоте не менее 3000 м,

3. 5650-5825MHz, до 100мВт.

Разрешается использование на борту воздушных судов в полете на высоте не ниже 3000 м.

Порядок использования WiFi в РФ

Краткий порядок ввода в эксплуатацию РЭС ШПД

(Беспроводная сеть передачи данных wi-fi, wi-max, 2,4 ГГц, 3,5 ГГц и 5 ГГц):

1. Материалы для проведения экспертизы отправляются в ФГУП ГРЧЦ (Главный Радиочастотный центр)
2. Положительное заключение экспертизы вместе с документами на получение лицензий на услуги передачи данных и телематические услуги с использованием радиочастотного спектра отправляется в Роскомнадзор.
3. После получения лицензий, положительное заключение экспертизы отправляется в Роскомнадзор для получения разрешения на использование частот.
4. Выполняется проект сети беспроводной передачи данных.
5. Проект отправляется в ФГУ Центр МИР ИТ для проведения экспертизы.
6. Выполняются измерения заявленных характеристик РЭС.
7. Проводятся мероприятия по сдаче объекта связи в эксплуатацию с представителями Роскомнадзора.

Только после этого можно начинать легально оказывать услуги!

Проектирование беспроводных сетей

РАДИООБСЛЕДОВАНИЕ

- Перед тем, как приступить к использованию беспроводной сети Wi-Fi, нужно обязательно произвести радиообследование. Данная процедура необходима для обеспечения бесперебойной работы оборудования при дальнейшей эксплуатации, она используется для выявления посторонних помех и шумов, которые могут воспрепятствовать нормальному использованию сети.
- Радиообследование дает наиболее полную информацию о том, как распространяется сигнал в помещении, степени его затухания в перегородках и стенах. Получить данные достаточной точности при использовании метода компьютерного моделирования не представляется возможным, поэтому радиообследование проводится только экспериментально. Проведение данной процедуры позволит настроить работу Wi-Fi наиболее эффективным образом, что особенно важно для корпоративных сетей.

Проектирование беспроводных сетей

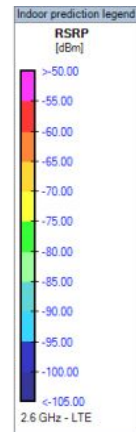
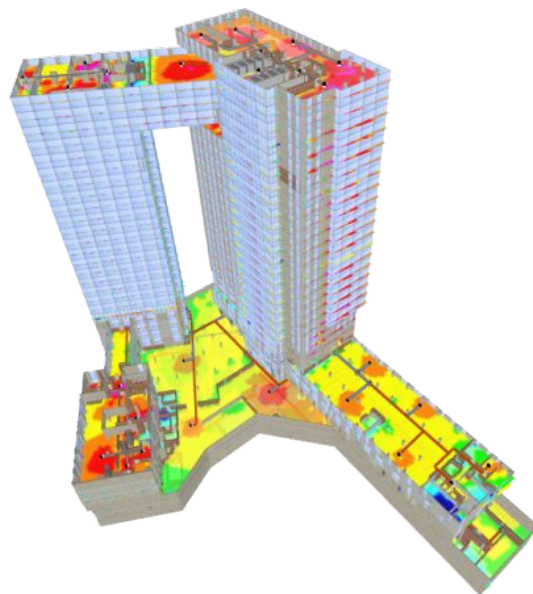
Особенности радиообследования Wi-Fi

При проведении радиообследования Wi-Fi специалист получает ответы на следующие вопросы:

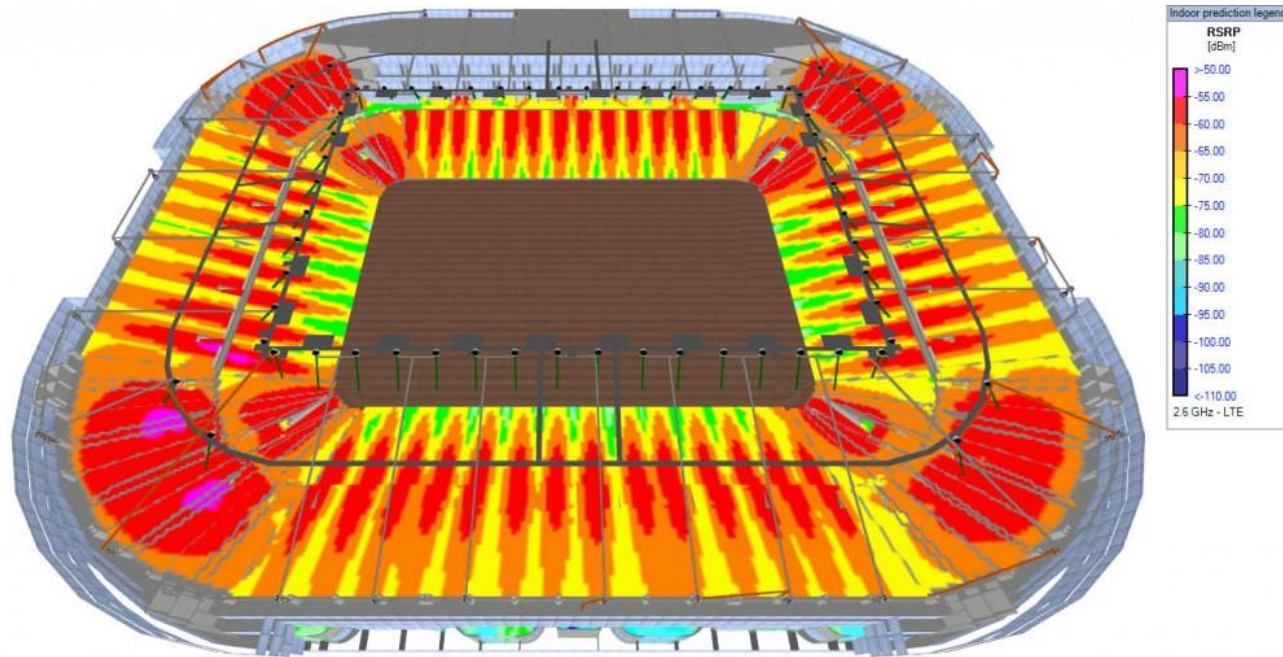
- Каким образом нужно разместить точки доступа, чтобы получить наилучшее радиопокрытие на этом объекте.
- Какова степень свободы настоящего радиозфира для внедрения новой беспроводной сети.
- Имеются ли сторонние помехи (от других беспроводных сетей).
- Имеются ли технические проблемы в работе Wi-Fi.

Перед тем, как приступить к радиообследованию, специалист подробно изучает план помещения, где планируется (или уже установлен) применение Wi-Fi. Далее, объект осматривается визуально, для выявления препятствий (например, металлического шкафа). Потом определяются места размещения точек доступа. Проводится их радиообследование (с использованием специального оборудования и в несколько этапов) и настраивается беспроводная сеть. Все результаты работы обязательно документируются.

Проектирование беспроводных сетей

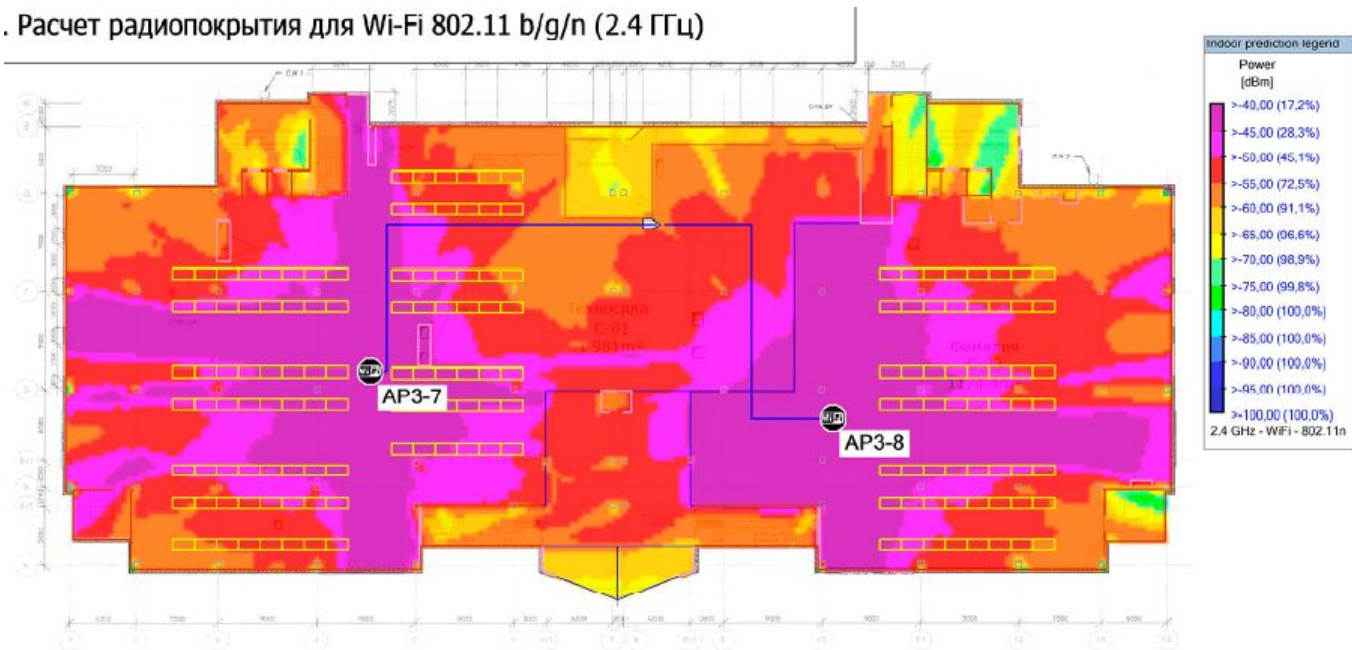


Проектирование беспроводных сетей

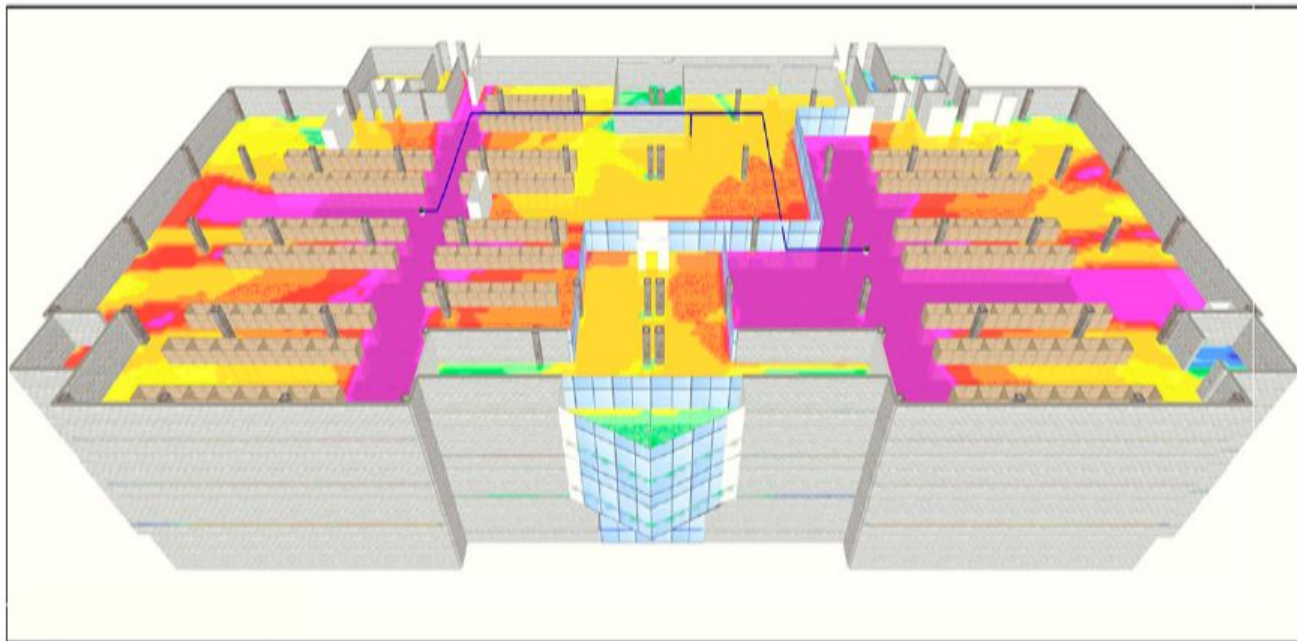


Проектирование беспроводных сетей

. Расчет радиопокрытия для Wi-Fi 802.11 b/g/n (2.4 ГГц)



Проектирование беспроводных сетей



Проектирование беспроводных сетей

- С каждым днем возрастает нагрузка на беспроводную сеть. Это происходит потому, что увеличивается количество мобильных устройств и люди стали чаще ими пользоваться. Все больше становится мобильных услуг и приложений, которые требуют большой скорости передачи. Осуществляется проектирование беспроводной сети и используются беспроводные локальные сети для разгрузки сотовых сетей.
- Значительное ухудшение характеристик сети, и недовольство ее пользователей о том, что Wi-Fi не справляется с большой нагрузкой, случается от того что не соответствует запланированная пропускная способность беспроводной локальной сети и быстрорастущий трафик. Но простые правила проектирования, обеспечат вам достаточную пропускную способность Wi-Fi сети. Как показывают удачные проекты, в одном месте удастся обслужить тысячи пользователей.
- Проектирование беспроводной сети имеет основную задачу - тщательное планирование зоны покрытия. Чтобы увеличить пропускную способность обратите внимание на такие параметры: мощность передатчиков точек доступа, нужная скорость передачи данных, применяемый диапазон частоты, распределение и ширина полос используемых каналов, тип антенн и размещения точек доступа.

Проектирование беспроводных сетей

Планируя беспроводную сеть для большого количества пользователей, обратите внимание на такие параметры:

1. Интерференция на одном канале сигналов Wi-Fi (соканальная интерференция) - самый сложный тип интерферирующего сигнала. Его большая мощность еще не значит что это хороший канал.
2. Разрешенная и требуемая скорость для передачи данных подходит для небольшого количества клиентов. Может вызвать негативные эффекты в сети с большой нагрузкой. Это потому что чем ниже скорость, тем меньше будет его суммарная пропускная способность.
3. Суммарная пропускная способность беспроводной сети зависит от ширины полосы частот.
4. Мощность передатчиков клиентских устройств. Пользователи беспроводной сети также могут сами создавать соканальную интерференцию.
5. До 254 клиентов могут подключиться к одной точке доступа, но получают они очень малую пропускную способность. Потому требуется много точек доступа и их плотная установка.
6. Производительность других компонентов сети беспроводного доступа.

Оборудование Wi-Fi



Оборудование Wi-Fi

Маршрутизатор ASUS RT-AC65U	
Стандарты	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac (2,4 ГГц + 5 ГГц)
Чипсет/контроллер	Broadcom BCM4708A0 (800 МГц) + BCM4352 + BCM43217
Память	RAM 256 Мбайт/ROM 128 Мбайт
Антенны	2 x внутренние 2x2:2 для каждого диапазона
Шифрование	64/128-бит WEP/WPA/WPA2 (Enterprise), 802.1x, WPS; 6 x гостевая сеть
Максимальная скорость	802.11ac: до 867 Мбит/с, 802.11n: до 300 Мбит/с, 802.11g: до 54 Мбит/с
Интерфейсы	5 x 10/100/1000 Мбит/с Ethernet, 1 x USB 2.0, 1 x USB 3.0
Индикаторы	Питание/WPS, 2 x Wi-Fi, 1 x LAN, 2 x WAN, 2 x USB; 5 x LAN/WAN (сзади)
Аппаратные кнопки	Питание, отключение Wi-Fi, сброс настроек, WPS

Оборудование Wi-Fi

	Возможности
Сервисы	Двойной WAN; Сервер DLNA, FTP, SMB; Принт-сервер; IPv6 (Static/DHCP, 6to4, 6in4, 6rd); Менеджер закачек (BitTorrent, NZB, HTTP, ED2K); AiCloud
Проброс портов	Virtual Server, Port Triggering, UPnP, DMZ; Контроль доступа
Поддержка QoS	WMM, контроль полосы пропускания
Сервисы Dynamic DNS	Asus, DNS-O-Matic, DynDns, Comexe, NO-IP, Tunnelbroker, TZO, ZoneEdit
Проброс VPN	PPTP, L2TP, IPSec, PPPoE; RTSP, SIP, H.263; Встроенный PPTP-сервер
Брандмауэр	Защита от DoS, SPI, фильтрация по IP/URL/ключевым словам

Оборудование Wi-Fi

The screenshot displays the ASUS AiCloud management interface. On the left is a navigation sidebar with the following items: Диспетчер трафика, Родительский контроль, USB-приложение, AiCloud (highlighted), Дополнительные настройки, Беспроводная сеть, Локальная сеть, Интернет, IPTV, VPN сервер, Брандмауэр, Администрирование, Системный журнал, and Сетевые утилиты. The main content area contains the following instructions:

- Скачайте приложение ASUS AiCloud для телефона или планшета с:
- Подключите устройство iOS или Android к RT-AC56U через Wi-Fi. Мастер AiCloud поможет Вам в процессе установки.
- Теперь Вы можете подключиться к USB-накопителю и сетевым устройствам (Samba), подключенным к RT-AC56U.

- Вы можете настроить **Переадресация портов** или **DMZ** для получения доступа к частным IP-адресам. Для AiCloud используйте порты 8082 и 443. Вы можете изменить настройки портов [здесь](#). Подробную информацию смотрите в FAQ [Переадресация портов FAQ](#) и [DMZ FAQ](#).
- Для просмотра и прослушивания необходимо широкополосное подключение к сети Интернет. Смотрите рекомендации ниже:
 - 768 Кбит или выше для музыки.
 - 5 Мбит и выше для SD видео.
 - 15 Мбит и выше для 720p видео.
 - 30 Мбит и выше для потокового 1080p HD видео.Скорость загрузки может варьироваться в зависимости от провайдера и других факторов. Если Вы не знаете скорость Вашего подключения к Интернет, обратитесь к провайдеру или воспользуйтесь онлайн-тестом с компьютера, подключенного к роутеру.

Cloud Disk

Для создания облачного диска необходимо установить в роутер USB-накопитель, затем включить облачный диск **ON**(включить). Для доступа к облачному диску используйте учетную запись роутера.
Адрес облачного диска <https://router.asus.com>

Smart Access

Smart access получает настройки из Сетевого Окружения, например учетные записи пользователей, общие папки и прочее. Это позволяет получать доступ к домашней сети (**Network Place/Samba**) в любое время, в любом месте.
Функция WOL (Wake-On-LAN) позволяет разбудить компьютер с любого устройства в сети.
Что такое **WOL** ?

Smart Sync

Для использования Smart Sync нужно войти в учетную запись **ASUS webstorage**, затем включить облачный диск и Smart Sync. Убедитесь, что к роутеру подключен USB-накопитель.
Запустите AiCloud, на облачном диске выберите **ПЕРЕЙТИ**

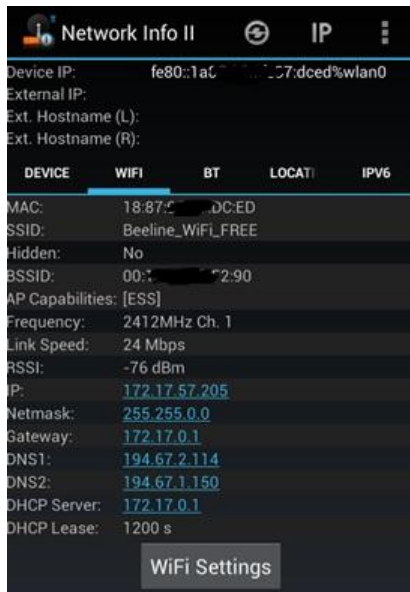
Мобильные приложения для анализа сетей стандарта Wi-Fi (WiFi Analyzer)

Можно снимать показатели уровня сигнала от различных Wi-Fi-источников, определять уровни загруженности [частотных каналов Wi-Fi](#), перекрытие между каналами, направление на источник и т.д..

(Помните только, что это именно анализатор сигнала Wi-Fi частоты и не стоит пытаться снять показатели излучения микроволновой печи!, для этого служат анализаторы физического уровня)



Мобильные приложения для анализа сетей стандарта Wi-Fi (Network Info II)



Здесь Вы можете в компактном виде получить много полезной информации о точке доступа и сети WiFi-стандарта в целом.

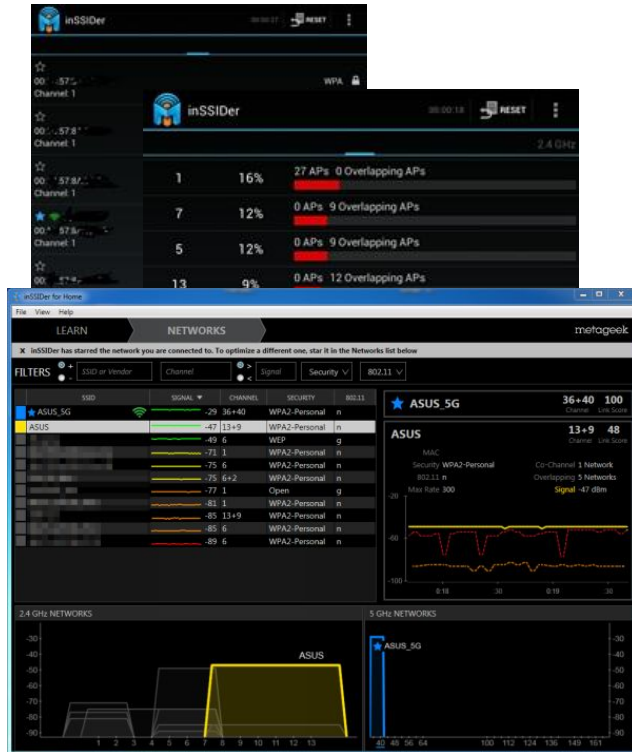
Мобильные приложения для анализа сетей стандарта Wi-Fi (Fing)



Fing выполняет исследование радиообстановки, собирая данные о всех Wi-Fi устройствах и предоставляет список. Полезно бывает сразу получить название производителя устройства, в данном случае производитель точки доступа это Nortel



Мобильные приложения для анализа сетей стандарта Wi-Fi (inSSIDer)



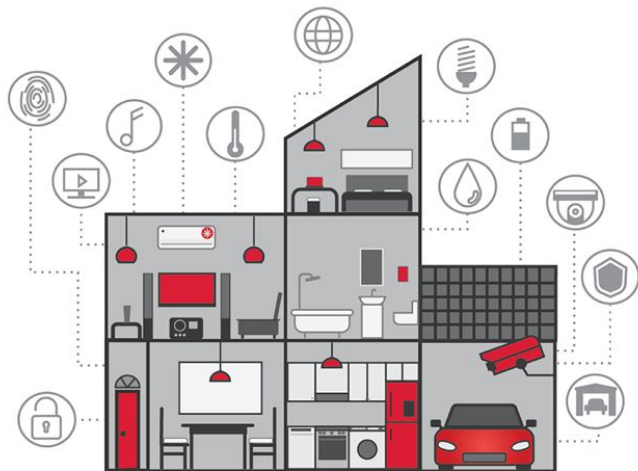
Вы получаете список окружающих точек доступа с их параметрами и режимом мини-радиообследования прямо в основном экране, где отрисовывается график сигнала той точки, к которой присоединилось ваше устройство с этим приложением.

Полезный функционал здесь дает возможность видеть сразу количество точек работающих на каждом частотном канале и количество точек, перекрывающих один частотный канал

Развитие технологий

IEEE	802.11a/g	802.11n (HT)	802.11ac (VHT)
Частотный диапазон	2,4 и 5 ГГц	2,4 и 5 ГГц	5 ГГц
Модуляция	64-QAM	64-QAM	256-QAM
Ширина канала	20 МГц	До 40 МГц	До 160 МГц
MIMO	-	До 4 потоков	До 8 потоков
MU-MIMO	-	-	Да
Макс. скорость передачи данных	54 Мбит/с	600 Мбит/с	6 933 Мбит/с

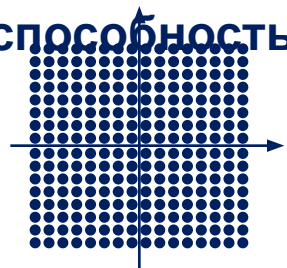
802.11ac vs 802.11ax



IEEE	802.11ac (VHT)	802.11ax
Частотный диапазон	5 ГГц	2,4 и 5 ГГц
Модуляция	256-QAM	1024-QAM
Ширина канала	20, 40, 80, 80+80, 160	20, 40, 80, 80+80, 160
Время символа OFDM	3.2 us	12.8 us
Ширина Subcarrier	312.5 kHz	78.125 kHz
MIMO	8 потоков	8 потоков
MU-MIMO	Да	Да + Uplink
Макс. скорость передачи данных, 160 MHz	866 Мбит/с (1 SS) 6 933 Мбит/с (8 SS)	1 201 Мбит/с (1 SS) 9 608 Мбит/с (8 SS)

Wi-Fi 6 или Wi-Fi 5

Большая
пропускная
способность



1024 QAM

8x8 MU-MIMO

- Скорость до **9,6** Гбит/с
- Увеличение пропускной способности в **4** раза

Высокий уровень
параллельного
доступа

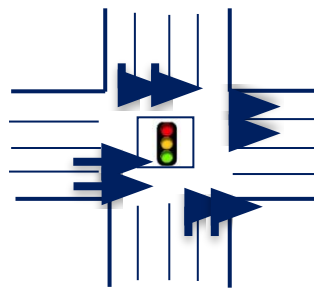


UL/DL OFDMA

UL/DL MU-MIMO

- Подключение **1024** STA к одной AP
- Увеличение количества одновременных пользователей в **4** раза.

Низкая
задержка



OFDMA

Пространственное повторное
использование каналов

- Задержка сервиса снижена до **20мс**
- Средняя задержка снижена на **30%**

Низкое
энергопотреблен
ие



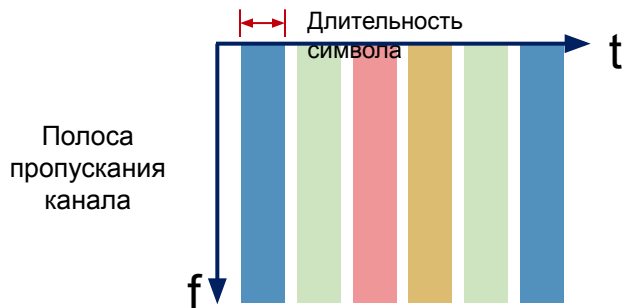
TWT

Только 20 МГц

- Целевое время пробуждения (TWT)
- Энергопотребление STA снижено на **30%**

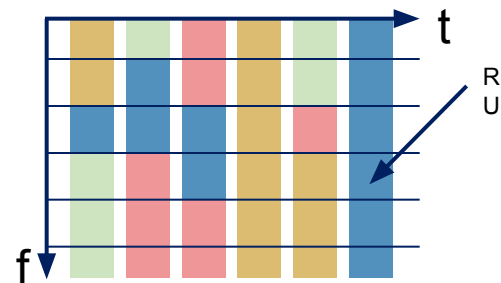
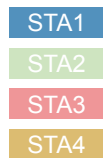
Технология Wi-Fi 6: OFDMA

- Множественный доступ с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA) используется для различения пользователей по частоте. По сравнению с традиционным FDMA, OFDMA значительно улучшает использование спектра. OFDMA обеспечивает одновременную передачу данных нескольких пользователей, 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.



Wi-Fi 5 OFDM

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

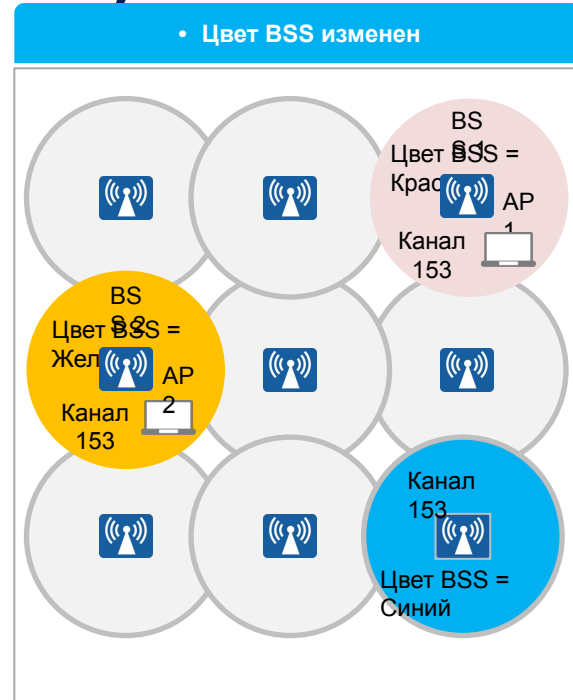
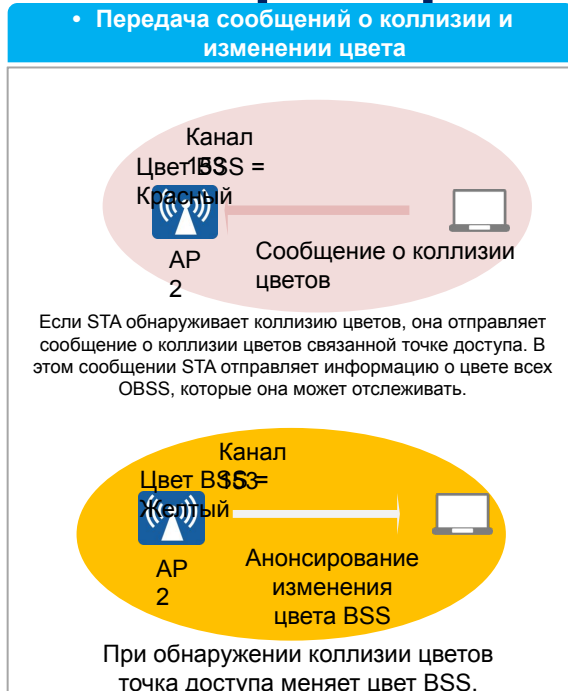
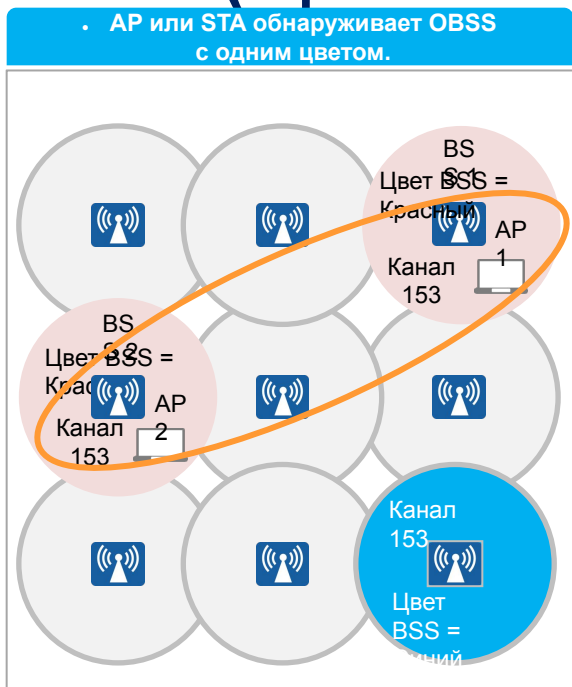


Wi-Fi 6 OFDMA

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-временные ресурсы остаются неизменными.

Технология Wi-Fi 6: окраска (цветовая маркировка) BSS

- Окраска (Coloring) BSS — это метод повышения скорости пространственного повторного использования (SR) и уменьшения потребления ресурсов на уровне MAC, вызванных перекрывающимися наборами базовых услуг (OBSS). Целью окраски BSS является повышение скорости SR и одновременное снижение скорости передачи на физическом уровне (PHY) между узлами (то есть уменьшение значения MCS), независимо от помех между BSS.



Технология Wi-Fi 6: TWT

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

Почему TWT?



Без TWT: каждая STA в состоянии «пробуждения».



Z^Z



Z^Z

TWT: сервис независимого пробуждения

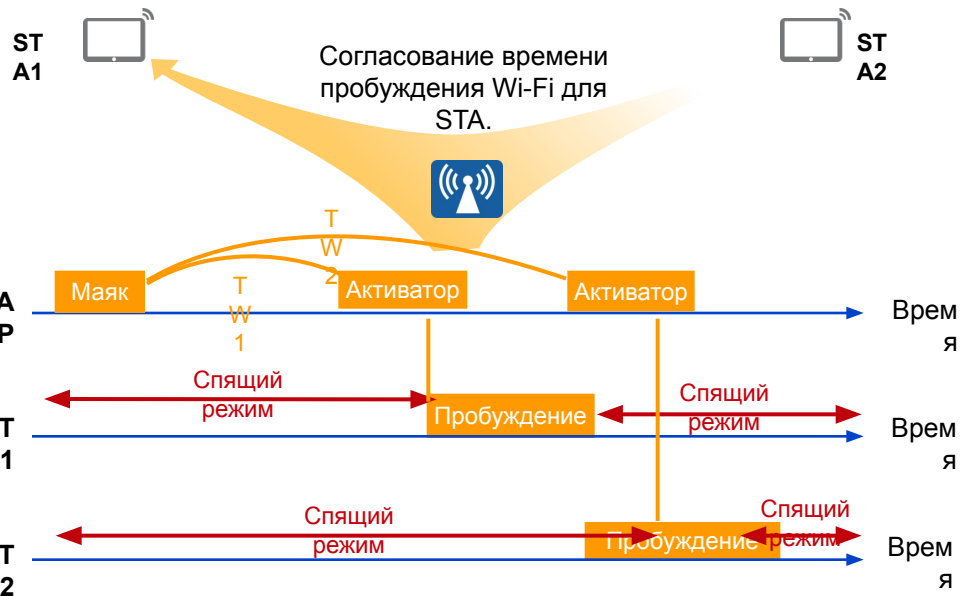


Z^Z

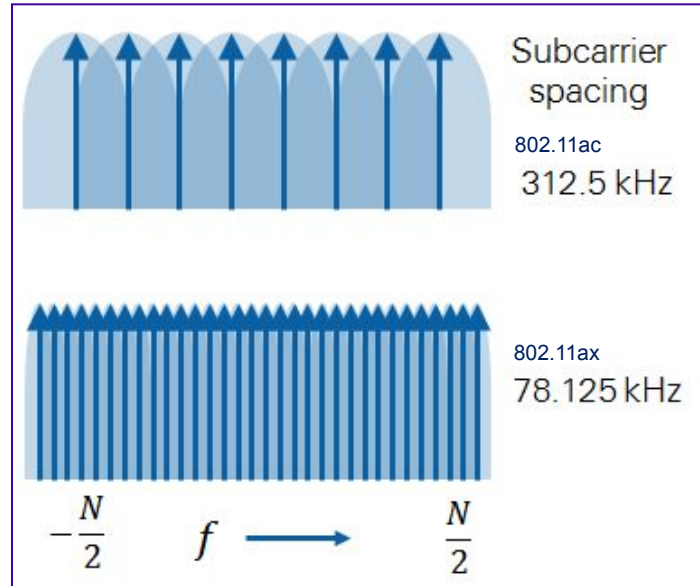


Z^Z

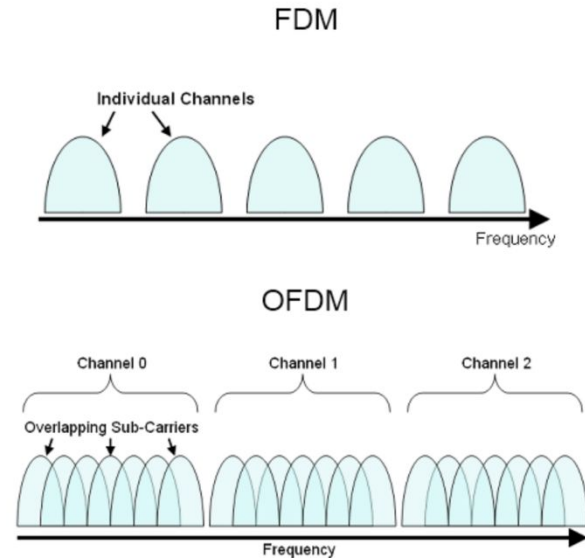
Реализация TWT



802.11ax – OFDM

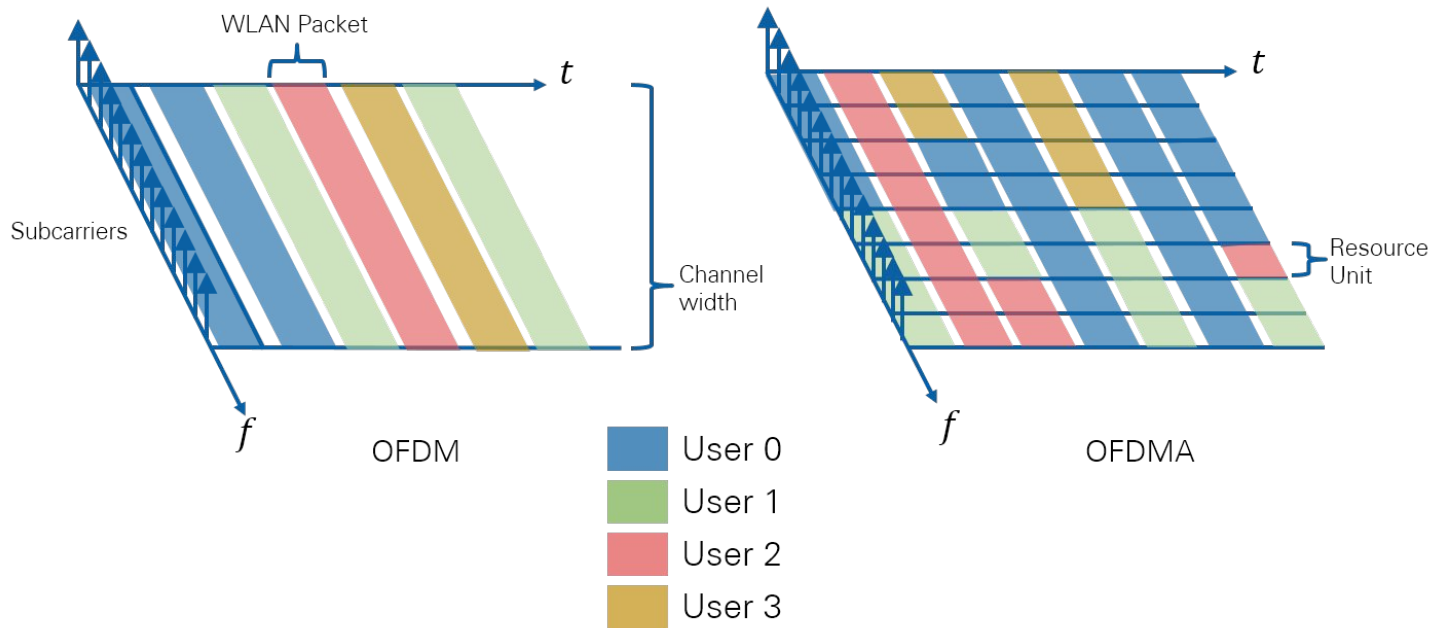


В 802.11ax ширина subcarrier была снижена в четыре раза



OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing
<http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2015/3/how-ofdm-subcarriers-work>

802.11ax – OFDMA



OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Количество пользователей OFDMA

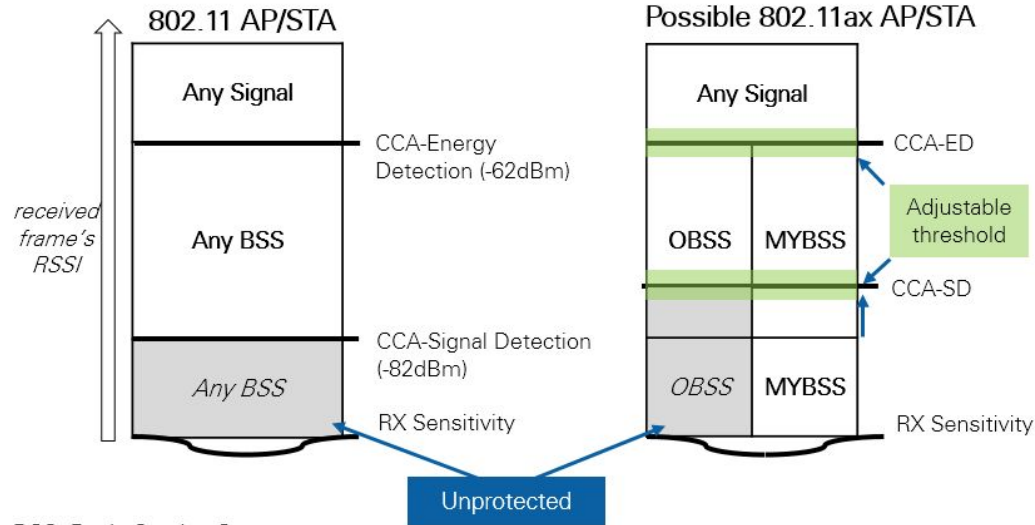
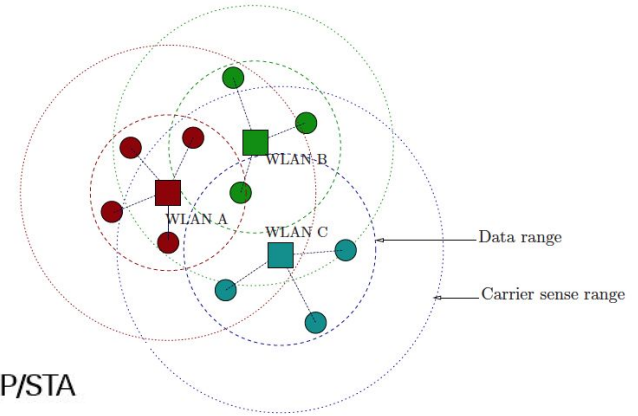
Resource Unit	20CH	40CH	80CH	160(80+80) CH
26 subcarriers	9	18	37	74
52 subcarriers	4	8	16	32
106 subcarriers	2	4	8	16
242 subcarriers	1	2	4	8
484 subcarriers	-	1	2	4
996 subcarriers	-	-	1	2
2x996 subcarriers	-	-	-	1

Uplink MU-MIMO

Клиенты передают данные
одновременно



802.11ax – Spatial Reuse



BSS: Basic Service Set
OBSS: Overlapping BSS

IEEE 802.11ax – High Efficiency Wireless

- Работает в двух диапазонах 2,4 и 5 ГГц
- Модуляция до 1024-QAM
- Каналы: 20, 40, 80, 80+80, 160 МГц
- В четыре раза больше Subcarrier
- Поддержка множественного доступа OFDMA
- MU-MIMO Downlink и Uplink
- Режим работы MU-MIMO + OFDMA
- Режимы Spatial Reuse и Target Wake Time
- Предельная скорость ПД 9608 Мбит/с с 8 потоками
- Throughput в четыре раза больше, чем в 802.11ac



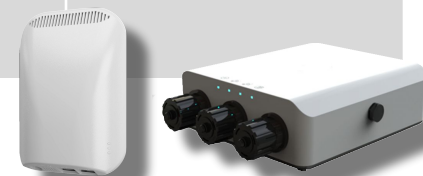
За развитием стандарта можно следить здесь:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/6928663/>

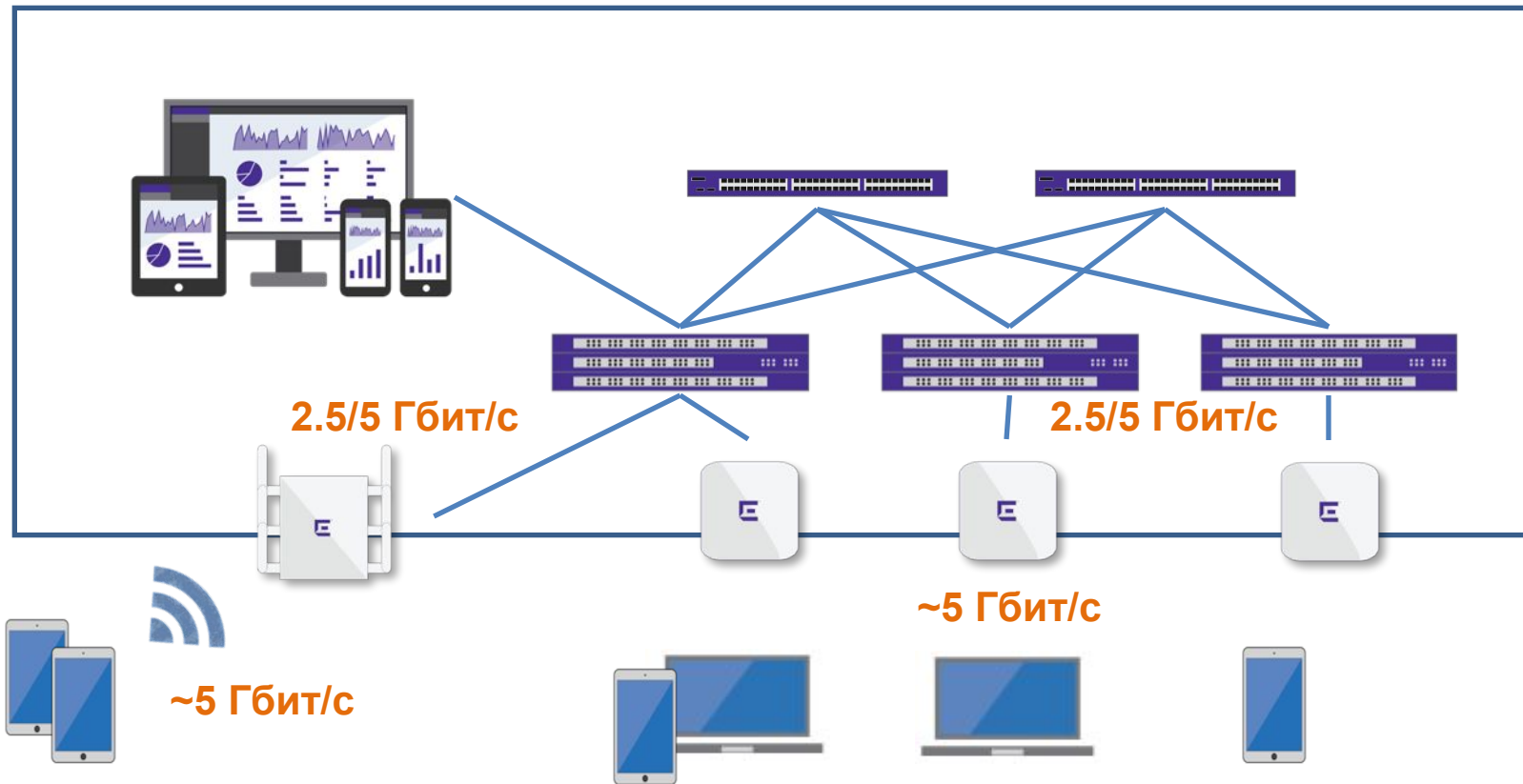
http://www.ieee802.org/11/Reports/tgax_update.htm

Продукты 802.11ax

Q3'CY2018	Q4'CY2018	Q4'CY2018	Q4'CY2018	CY2019
<p><u>Ultra-Performance</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Внутренняя ТД 802.11ax 4x4 • UL и DL OFDMA • Два диапазона (2.4G + 5G or 5G Low + 5G High) • Порты 2.5G/5G • Встроенный BLE/802.15.4 • Выбор ОС при загрузке (campus distributed mode) • Встроенные антенны • IoT и Cloud 	<p><u>Ultra-Performance (Расширенный ΔT°)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Внутренняя ТД 802.11ax 4x4 • UL и DL OFDMA • Два диапазона (2.4G + 5G or 5G Low + 5G High) • Порты 2.5G/5G • Выбор ОС при загрузке (campus distributed mode) • Внешние антенны • IoT и Cloud 	<p><u>Ultra-Performance (Всепогодная)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 802.11ax 4x4 • UL и DL OFDMA • Два диапазона, настройка радио • Три радио (выделенный WIDS/WIPS) • Порты 2.5G/5G • Встроенный BLE/802.15.4 • NEMA 6, IP67 • Внутренние и внешние антенны • Wall, pole, and VMM mounting • Выбор ОС при загрузке (campus distributed mode) 	<p><u>Ultra-Performance</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Три радио • 802.11ax 4x4 • UL и DL OFDMA • Два диапазона (2.4G + 5G or 5G Low + 5G High) • Порты 2.5G/5G • Встроенный BLE/802.15.4 • Выбор ОС при загрузке (campus distributed mode) • Встроенные антенны • IoT и Cloud 	<p><u>Performance</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 802.11ax 8x8 • 802.11ax 2x2 • VDSL2 / G.HN T6 <p><u>Workgroup & Small Office</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Два диапазона • 4 x 10/100/1000 E/N • SFP+ copper fiber uplink (1G/2.5G) • Внешний БП с выходом PoE



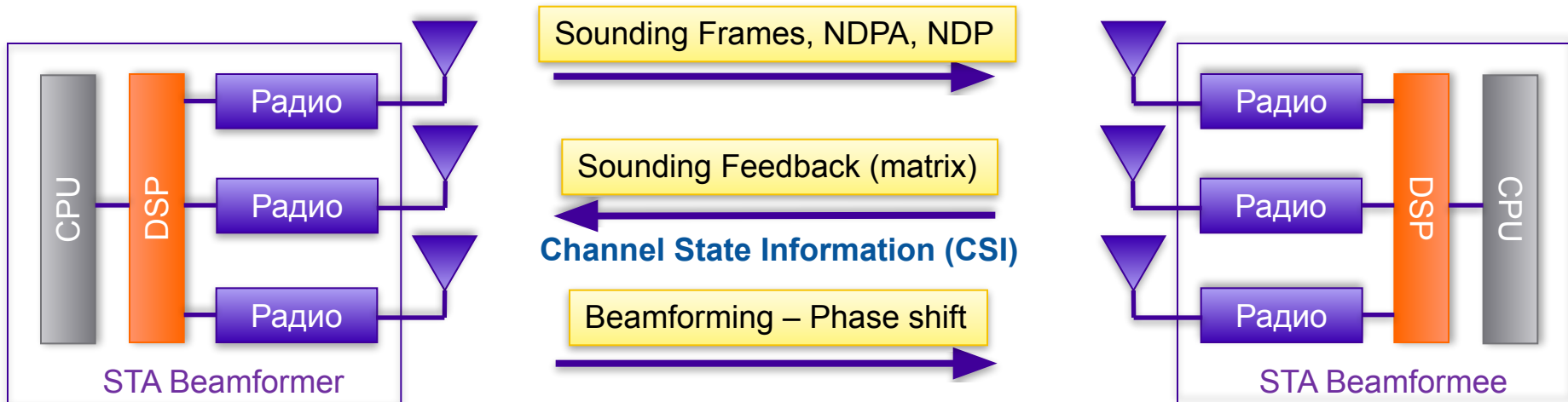
802.11ax и проводная инфраструктура





MU-MIMO Details

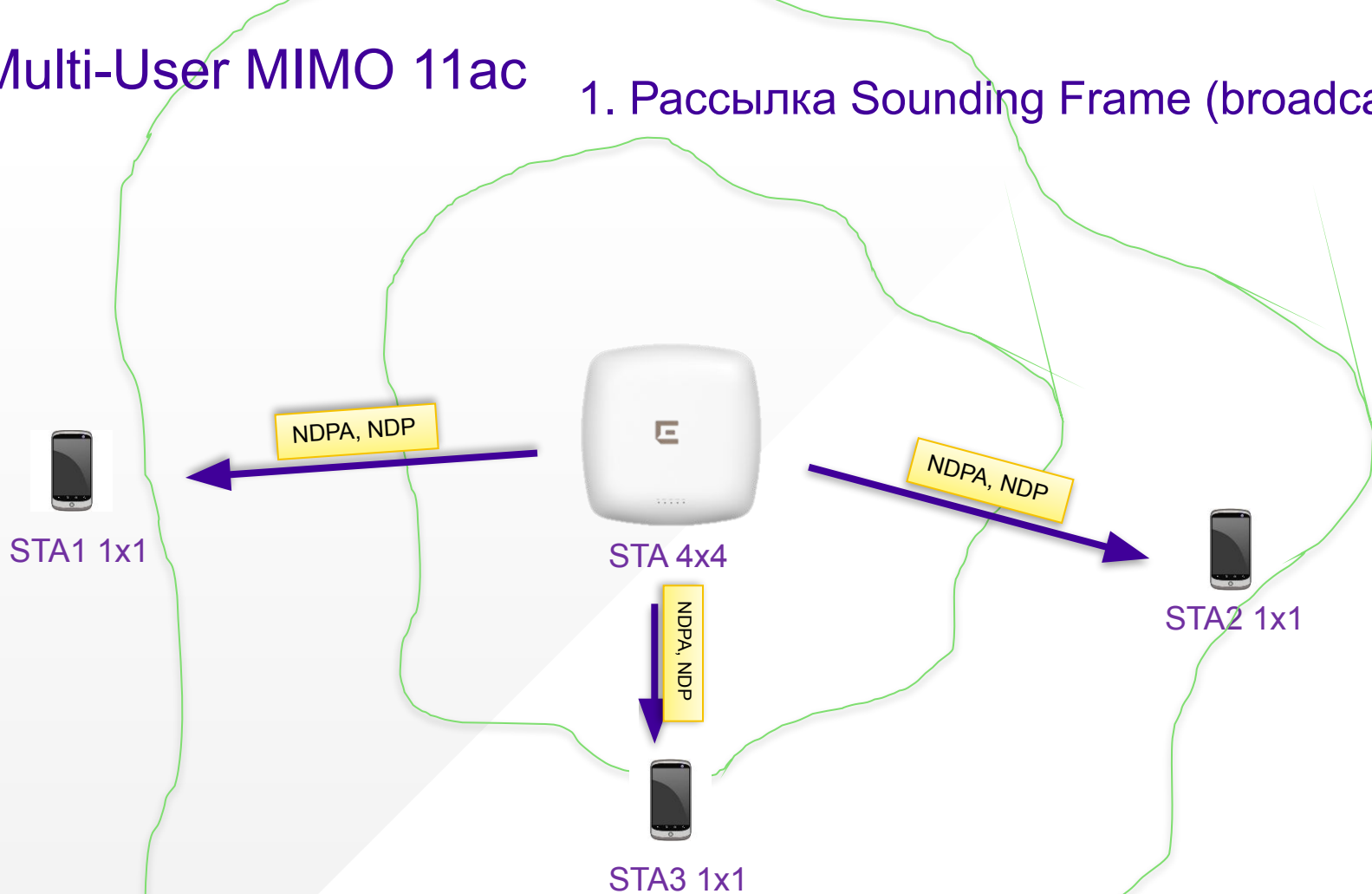
Explicit Transmit Beamforming (TxBF) – как и в 802.11ac



В каждый момент времени Тх знает, как его сигнал видит другая сторона, и может динамически изменять разность фаз для «перенаправления» сигнала

DL Multi-User MIMO 11ac

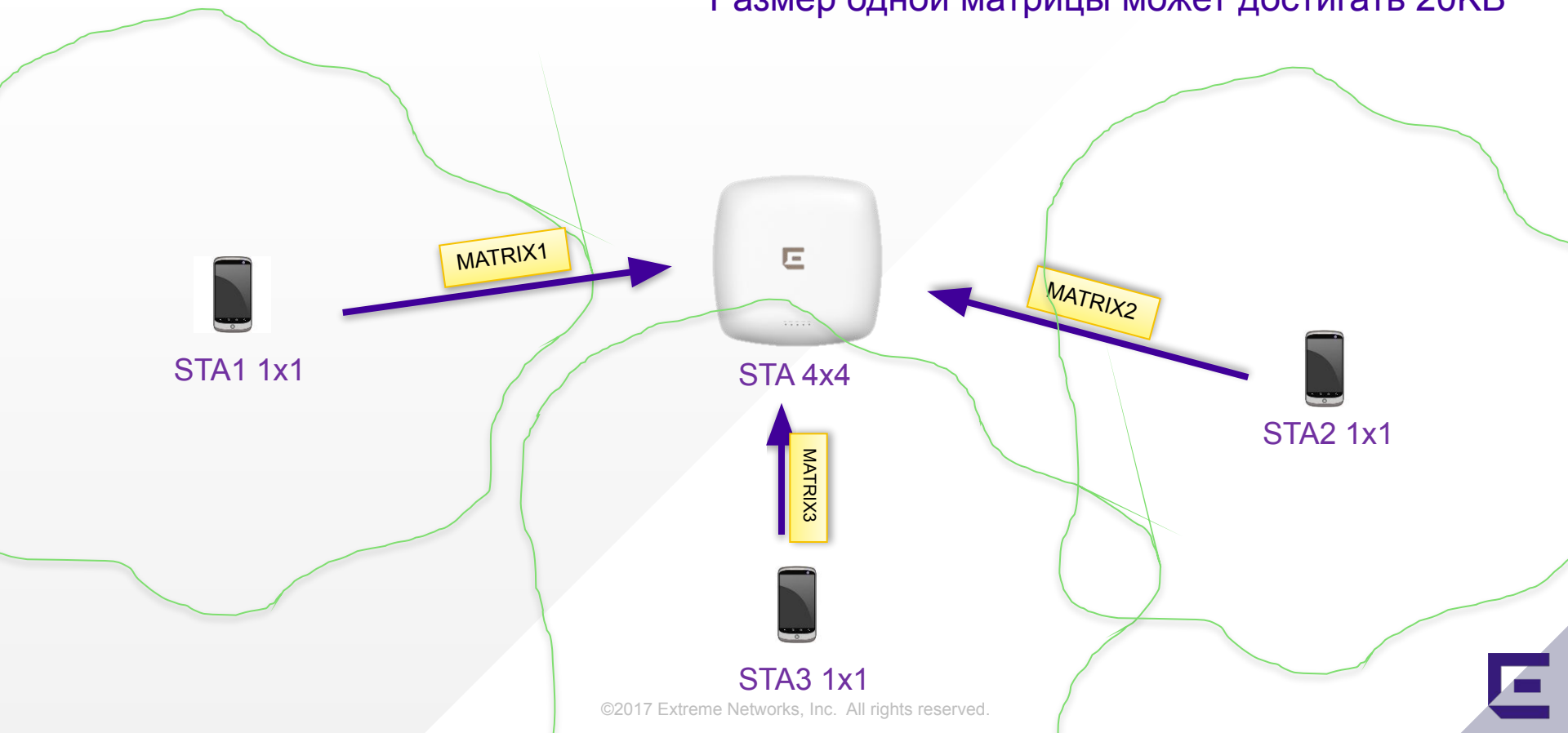
1. Рассылка Sounding Frame (broadcast)



DL Multi-User MIMO 11ac

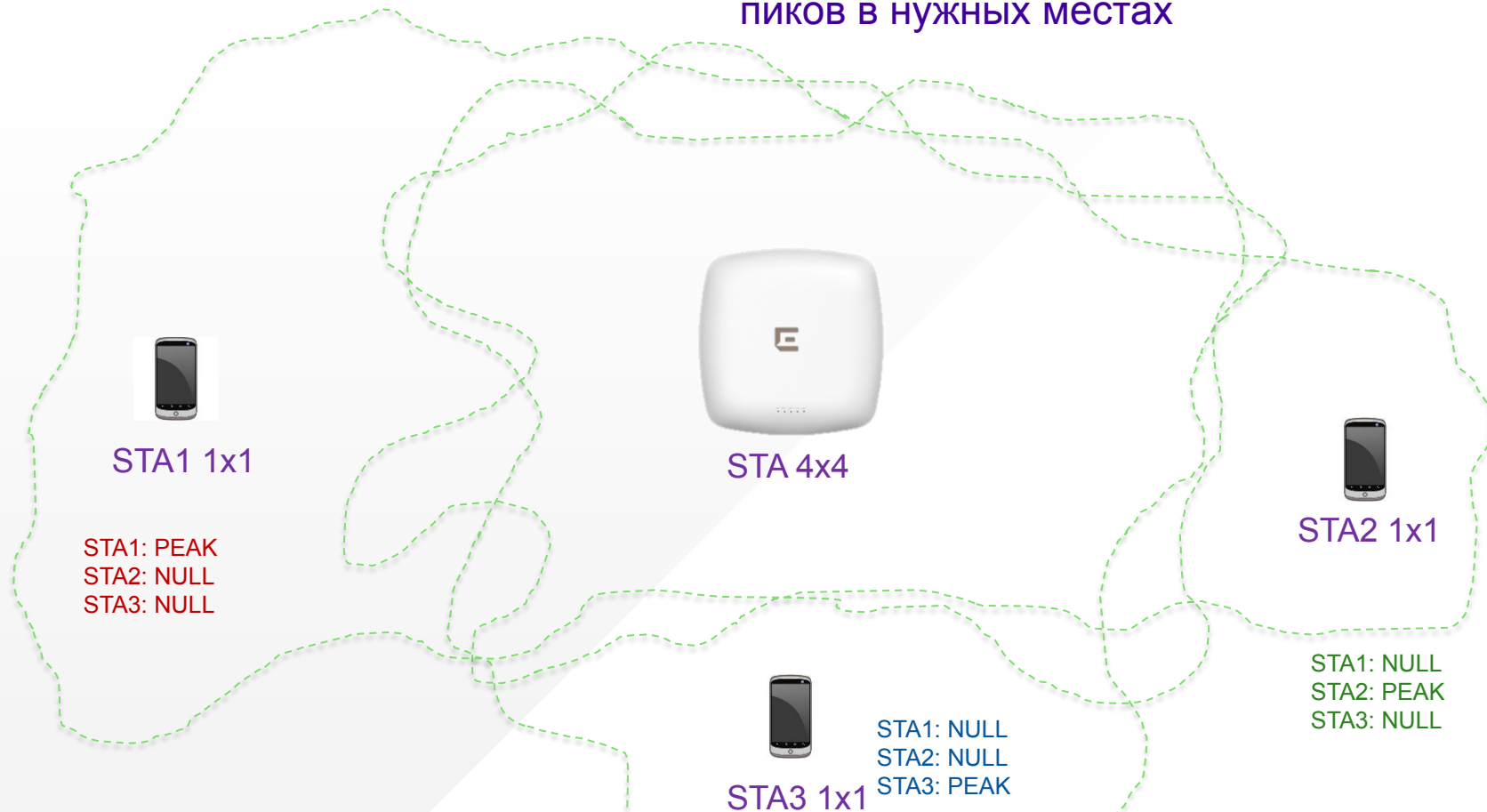
2. Получение ответов (матриц) от STA (unicast)

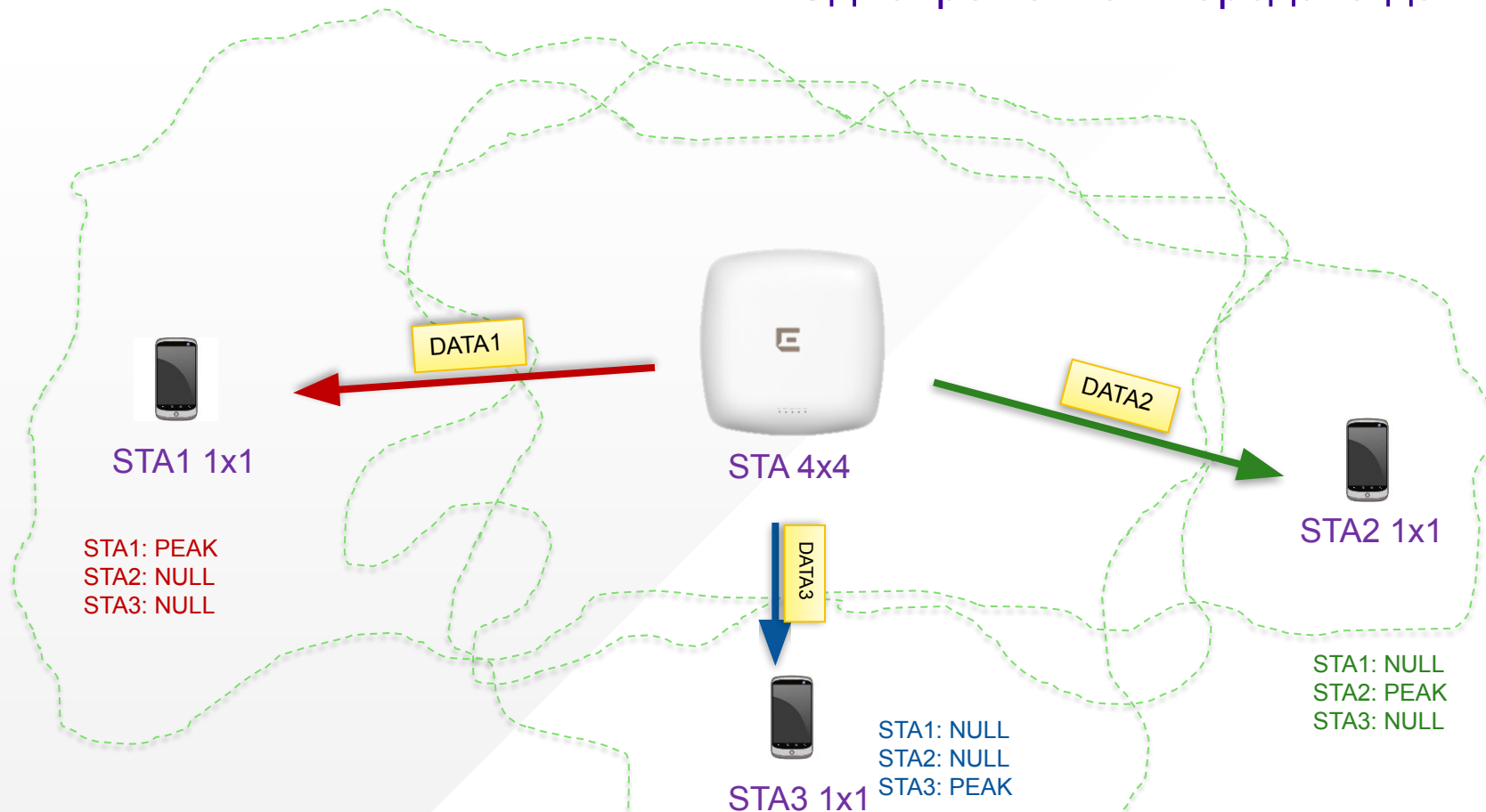
Размер одной матрицы может достигать 20KB



DL Multi-User MIMO 11ac

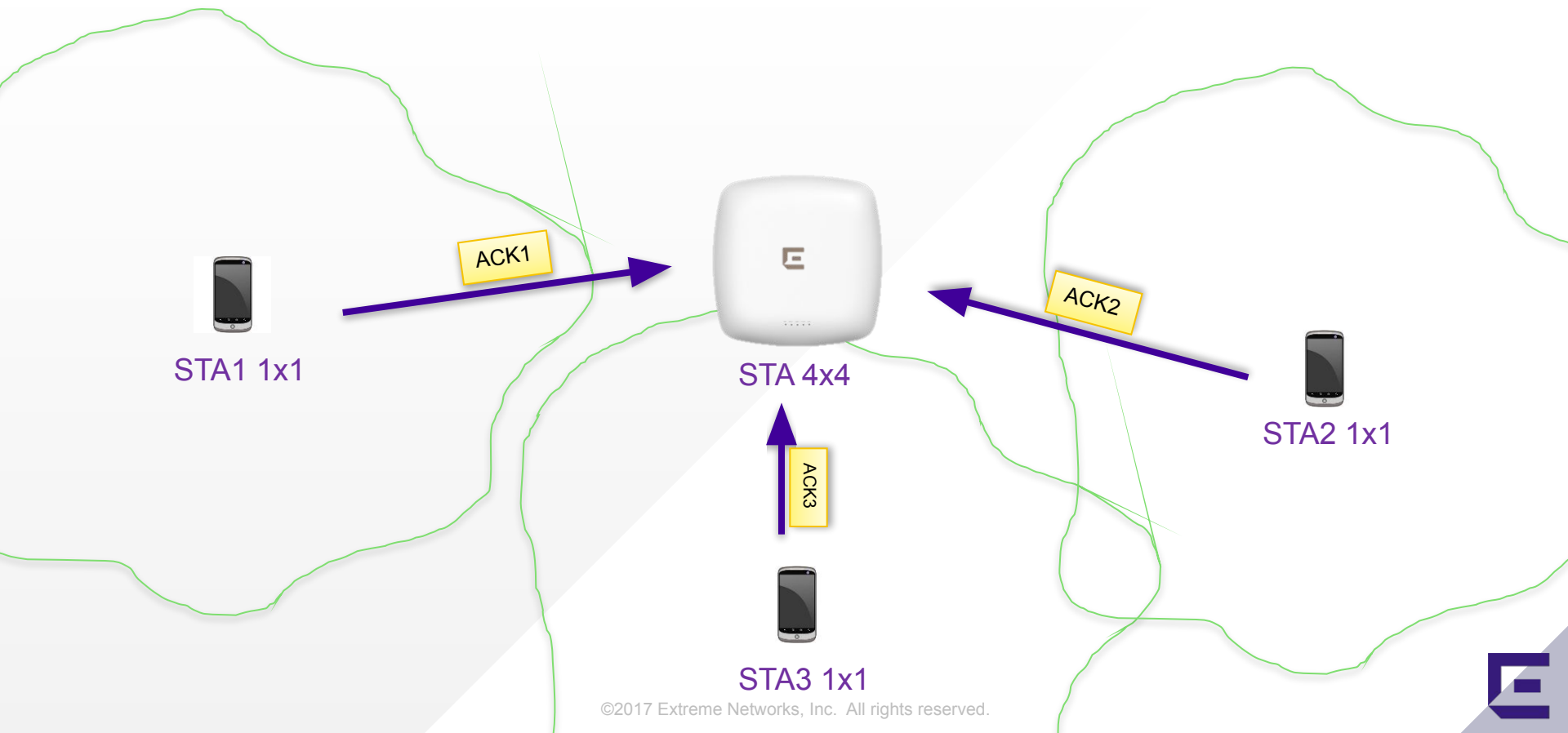
3. Использование TxBF для создания нулей и пиков в нужных местах





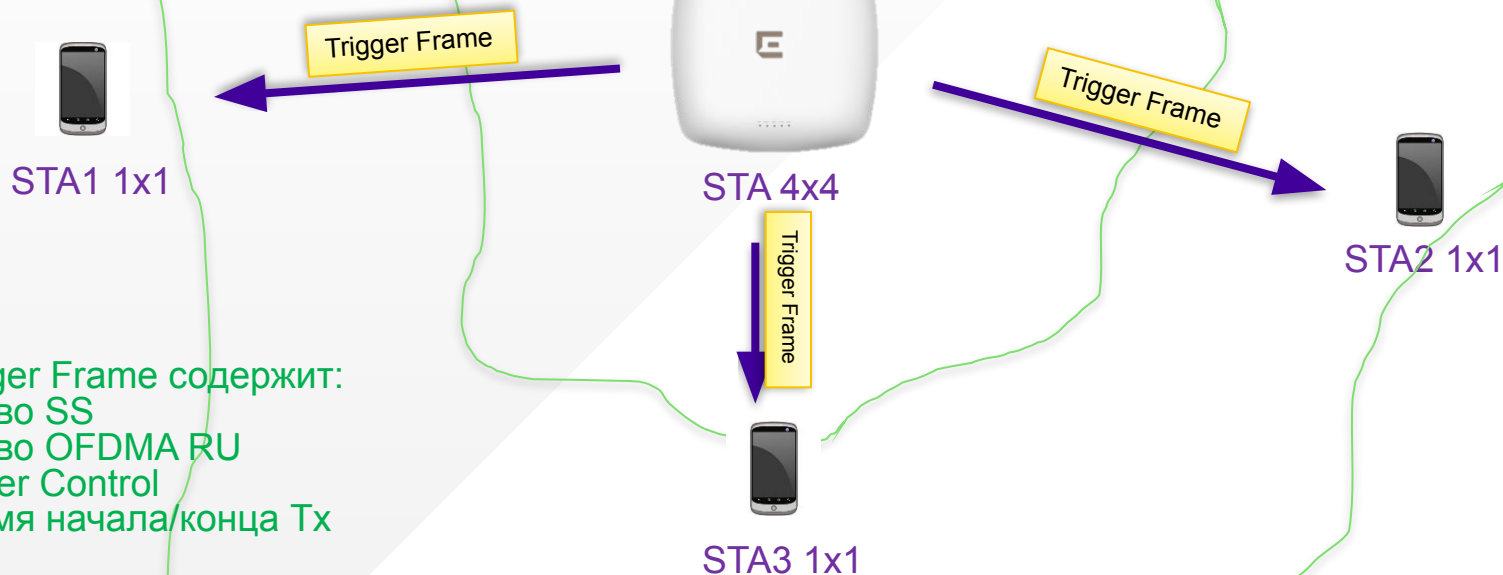
DL Multi-User MIMO 11ac

5. Получение ACK фреймов (unicast)



UPLINK MU-MIMO 11ax

1. Рассылка Trigger frame

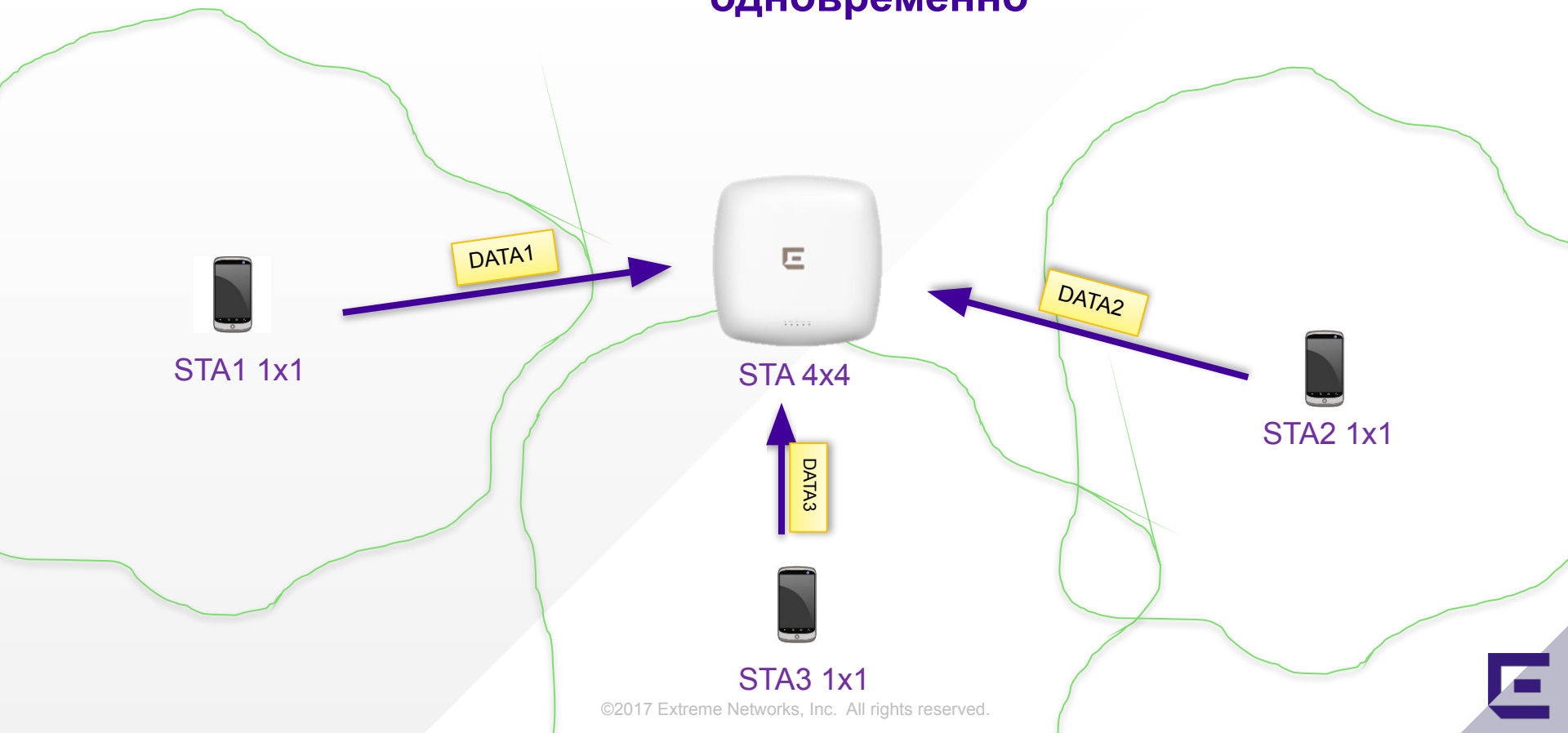


Trigger Frame содержит:
- кол-во SS
- кол-во OFDMA RU
- Power Control
- Время начала/конца Tx



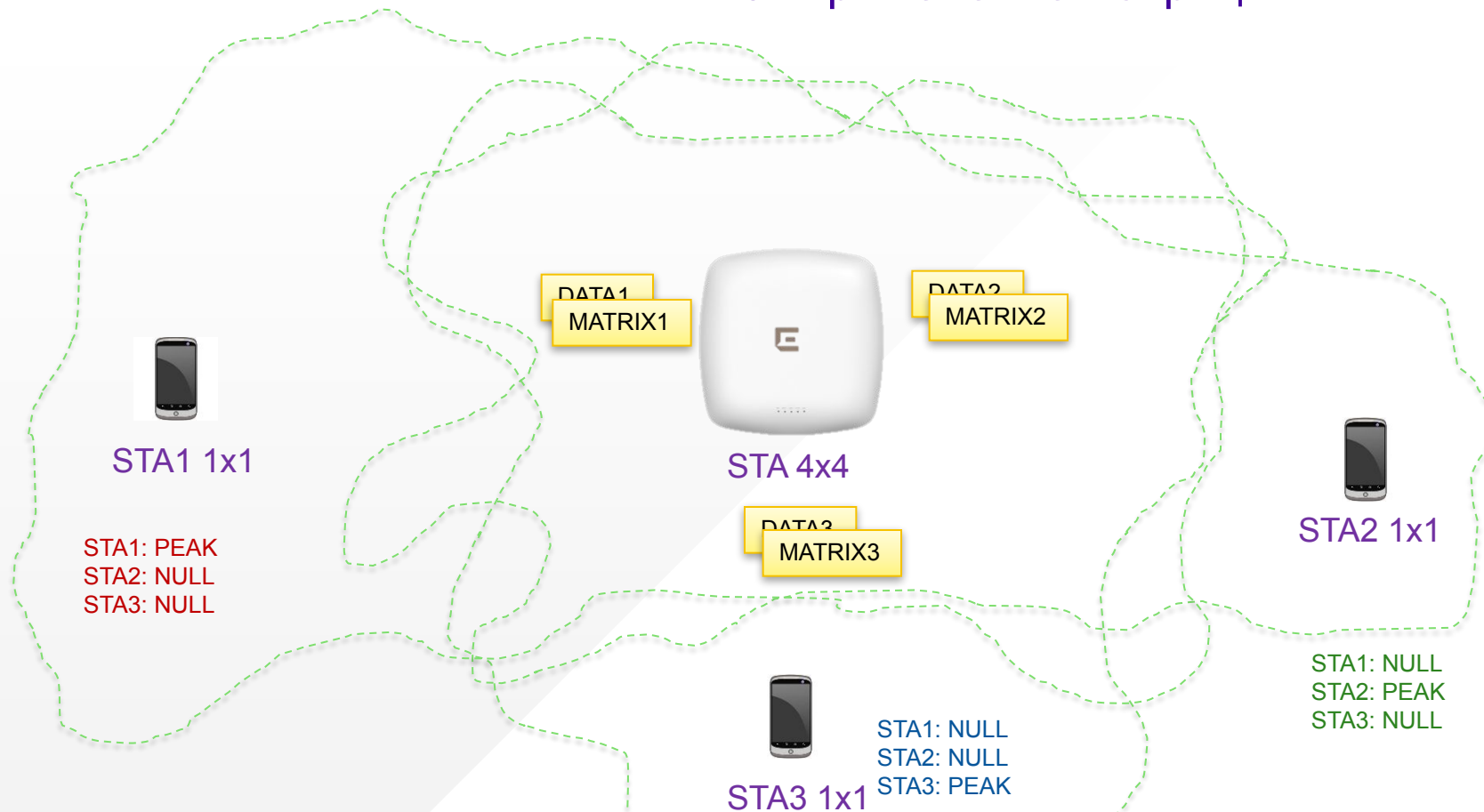
UPLINK MU-MIMO 11ax

2. Клиенты передают данные
одновременно



UPLINK MU-MIMO 11ax

3. Применение матриц TxBF к DATA



UPLINK MU-MIMO 11ax

4. Рассылка ACK frame

