

Базовые положения стандарта IEEE 802.11n для сетей Wi-Fi

Стандарт **802.11n** для сетей Wi-Fi был утвержден организацией IEEE (Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике) 11 сентября 2009 года.

В основе стандарта **802.11n**:

- Увеличение скорости передачи данных;
- Увеличение зоны покрытия;
- Увеличение надежности передачи сигнала;
- Увеличение пропускной способности.

Концепция 802.11n

Стандарт **802.11n** включает в себя множество усовершенствований по сравнению с устройствами стандарта 802.11g.

Устройства **802.11n** могут работать в одном из двух диапазонов 2.4 или 5.0 ГГц.

На физическом уровне (PHY) реализована усовершенствованная обработка сигнала и модуляции, добавлена возможность одновременной передачи сигнала через четыре антенны.

На сетевом уровне (MAC) реализовано более эффективное использование доступной пропускной способности. Вместе эти усовершенствования позволяют увеличить теоретическую скорость передачи данных до 600 Мбит/с – увеличение более чем в десять раз, по сравнению с 54 Мбит/с стандарта 802.11a/g (в настоящее время эти устройства уже считаются устаревшими).

В реальности, производительность беспроводной локальной сети зависит от многочисленных факторов, таких как среда передачи данных, частота радиоволн, размещение устройств и их конфигурация. При использовании устройств стандарта **802.11n**, крайне важно понять, какие именно усовершенствования были реализованы в этом стандарте, на что они влияют, а также как они совмещаются и сосуществуют с сетями устаревшего стандарта 802.11a/b/g беспроводных сетей. Важно понять, какие именно дополнительные особенности стандарта **802.11n** реализованы и поддерживаются в новых беспроводных устройствах.

Многоканальный вход/выход (MIMO)

Одним из основных моментов стандарта **802.11n** является поддержка технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output, Многоканальный вход/выход).

С помощью технологии MIMO реализована способность одновременного приема/передачи нескольких потоков данных через несколько антенн, вместо одной.

Стандарт **802.11n** определяет различные антенные конфигурации "MxN", начиная с "1x1" до "4x4" (самые распространенные на сегодняшний день это конфигурации "3x3" или "2x3"). Первое число (M) определяет количество передающих антенн, а второе число (N) определяет количество приемных антенн. Например, точка доступа с двумя передающими и тремя приемными антеннами является "2x3" MIMO-устройством.



Чем больше устройство **802.11n** использует антенн для одновременной работы передачи/приема, тем будет выше максимальная скорость передачи данных. Однако, само по себе использование нескольких антенн не увеличивает скорость передачи данных или расширение диапазона. Основным в устройствах стандарта **802.11n** является то, что в них

реализован усовершенствованный метод обработки сигнала, который и определяет алгоритм работы ММО-устройства при использовании нескольких антенн. Конфигурация "4x4" при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 600 Мбит/с, конфигурация "3x3" при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 450 Мбит/с, в то время как конфигурации "2x3" и "1x2" обеспечивают скорость до 300 Мбит/с.

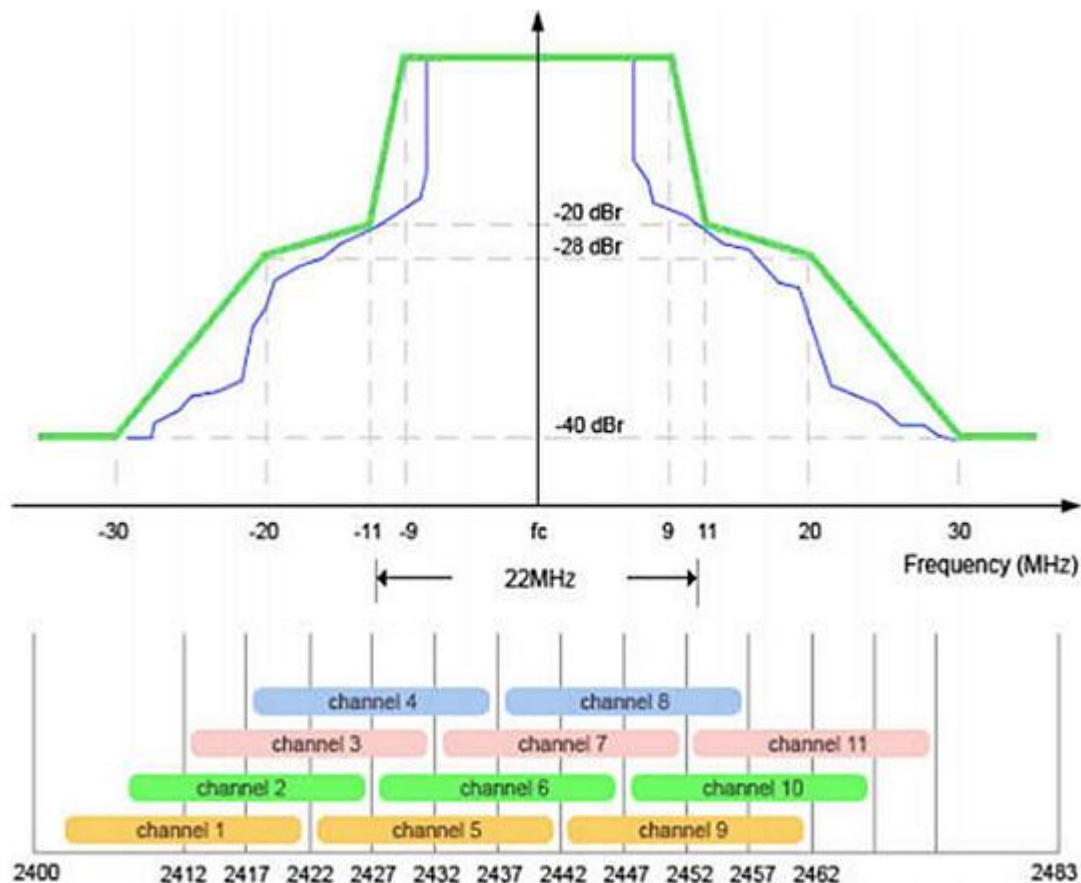
Ширина полосы пропускания канала 40 МГц

Другой дополнительной особенностью стандарта **802.11n** является увеличение ширины канала с 20 до 40 МГц.

В беспроводных сетях используются два частотных диапазона 2.4 ГГц и 5 ГГц. Беспроводные сети стандарта 802.11b/g работают на частоте 2.4 ГГц, сети стандарта 802.11a работают на частоте 5 ГГц, а сети стандарта **802.11n** могут работать как на частоте 2.4 ГГц, так и на частоте 5 ГГц.

В полосе частот 2.4 ГГц для беспроводных сетей доступны 13 каналов с интервалами 5 МГц между ними. Для передачи сигнала беспроводные устройства стандарта 802.11b/g используют каналы шириной 20 МГц. Беспроводное устройство стандарта 802.11b/g использует один из 13 каналов из полосы 20 МГц в пределах частоты 2.4 ГГц, но фактически задействует 5 пересекающихся каналов. Например, если точка доступа использует канал 6, то она оказывает значительные помехи на каналы 5 и 7, а также оказывает помехи на каналы 4 и 8. Когда происходит передача данных устройством, беспроводной сигнал отклоняется от центральной частоты канала +/- 11 МГц. В некоторых случаях происходит отклонение энергии радиочастоты до 30 МГц от центрального канала. Для исключения взаимных помех между каналами необходимо, чтобы их полосы отстояли друг от друга на 25 МГц. Таким образом, остается всего 3 непересекающихся канала на полосе 20 МГц: 1, 6 и 11.

Беспроводные точки доступа, работающие в полосе частот 2.4 ГГц, в пределах одной покрываемой зоны обслуживания должны избегать перекрытия каналов для обеспечения качества беспроводной сети.



Одним из основных моментов является вопрос совместимости беспроводных устройств стандарта 802.11n с устройствами 802.11a/b/g.

Большинство беспроводных локальных сетей **802.11n** используют каналы 40 МГц только в диапазоне частот 5 ГГц. В сетях, использующих полосу частот 5 ГГц (**802.11n**), проблемы пересекающихся каналов не существует.

Устройства стандарта **802.11n** могут использовать ширину канала 20 или 40 МГц в любом частотном диапазоне (2.4 или 5 ГГц). При использовании ширины канала 40 МГц (устройства **802.11n**) происходит двойное увеличение пропускной способности по сравнению с шириной канала 20 МГц (устройства 802.11b/g).

В полосе частот 5 ГГц доступно 19 непересекающихся каналов, которые более пригодны для применения в устройствах стандарта **802.11n**, обеспечивающих максимально возможную скорость передачи данных. Сигналы распределяются без взаимного перекрытия каналов с шириной полосы 40 МГц.

Однако, при использовании полосы 40 МГц устройствами **802.11n**, их работе могут мешать существующие 802.11b/g точки доступа, что приведет к снижению производительности всего сегмента сети.

Режимы работы 802.11n

Существуют три режима работы **802.11n**: HT, Non-HT и HT Mixed.

Рассмотрим более подробно каждый из режимов.

Режим с высокой пропускной способностью HT (High Throughput)

Точки доступа **802.11n** используют режим High Throughput (HT), известный также как

"чистый" режим (Greenfield-режим), который предполагает отсутствие поблизости (в зоне покрытия) работающих устройств 802.11b/g, использующих ту же полосу частот. Если же такие устройства существуют в зоне покрытия, то они не смогут общаться с точкой доступа **802.11n**. Таким образом, в этом режиме разрешены к использованию только клиенты **802.11n**, что позволит воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом **802.11n**.

Режим с невысокой пропускной способностью Non-HT

Точка доступа **802.11n** с использованием режима Non-HT (известный также как наследуемый режим), отправляет все кадры в формате 802.11b/g, чтобы устаревшие станции смогли понять их. В этом режиме точка доступа должна использовать ширину каналов 20 МГц и при этом не будет использовать преимущества стандарта **802.11n**. Для обеспечения обратной совместимости все устройства должны поддерживать этот режим. Нужно учитывать, что точка доступа **802.11n** с использованием режима Non-HT не будет обеспечивать высокую производительность. При использовании этого режима передача данных осуществляется со скоростью, поддерживаемой самым медленным устройством.

Смешанный режим с высокой пропускной способностью HT Mixed

Смешанный режим HT Mixed будет наиболее распространенным режимом для точек доступа **802.11n** в ближайшие несколько лет. В этом режиме, усовершенствования стандарта **802.11n** могут быть использованы одновременно с существующими станциями 802.11b/g. Режим HT Mixed обеспечит обратную совместимость устройств, но устройства **802.11n** получают уменьшение пропускной способности. В этом режиме точка доступа **802.11n** распознает наличие старых клиентов и будет использовать более низкую скорость передачи данных, пока старое устройство осуществляет прием-передачу данных.

Таким образом, при практическом применении улучшений стандарта **802.11n**, преимущества могут быть достигнуты в полной мере только при условии, что клиенты 802.11b/g отсутствуют и беспроводная сеть работает в "чистом" режиме HT.

Индекс модуляции и схемы кодирования (MCS)

Точкам доступа и станциям **802.11n** необходимо вести согласование пространственных потоков (Spatial Streams) и ширины канала. В зависимости от количества антенн возникают несколько пространственных потоков. Полную теоретически возможную пропускную способность стандарта **802.11n** в 600 Мбит/с можно достичь лишь при использовании четырех передающих и четырех приемных антенн (конфигурация "4x4"). Стандарт **802.11n** определяет Индекс модуляции и схемы кодирования MCS (Modulation and Coding Scheme). MCS - простое целое число, присваиваемое каждому варианту модуляции (всего возможно 77 вариантов). Каждый вариант определяет тип модуляции радиочастоты (Type), скорость кодирования (Coding Rate), защитный интервал (Short Guard Interval) и значения скорости передачи данных. Сочетание всех этих факторов определяет реальную физическую (PHY) скорость передачи данных, начиная от 6,5 Мбит/с до 600 Мбит/с (данная скорость может быть достигнута за счет использования всех возможных опций стандарта **802.11n**).

Некоторые значения индекса MCS определены и показаны в следующей таблице:

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
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

Тип модуляции и скорость кодирования определяют, как данные будут передаваться в радиоэфир. Например, модуляция BPSK (Binary Phase Shift Keying) была включена в первоначальный стандарт 802.11, в то время как модуляция QAM (Quadrature Amplitude Modulation) была добавлена в 802.11a. Новые методы модуляции и кодирования, как правило, более эффективные и поддерживают более высокие скорости передачи данных, но устаревшие методы и скорости все еще поддерживаются для обратной совместимости. Для достижения максимальной скорости соединения 300 Мбит/с необходимо, чтобы и точка доступа и беспроводной адаптер поддерживали два пространственных потока (Spatial Streams) и удвоенную ширину канала 40 МГц. Исходя из полученной скорости соединения по приведенной выше таблице можно точно определить сколько потоков и какая ширина канала были задействованы. Так скорости соединения 65 или 130 Мбит/с говорят о том, что одно из устройств точка доступа или адаптер используют одинарную ширину канала 20 МГц.

Расшифруем значения некоторых параметров.

Короткий защитный интервал SGI (Short Guard Interval) определяет интервал времени между передаваемыми символами (наименьшая единица данных, передаваемых за один раз). Этот интервал помогает при приеме данных избежать задержки из-за межсимвольных помех Inter-Symbol Interference (ISI) и преодолеть эхо (отражение звуковых волн). В устройствах стандарта 802.11b/g используется защитный интервал 800 нс, а в устройствах **802.11n** есть возможность использования паузы всего в 400 нс. Более короткие интервалы привели бы к большему вмешательству и снижению пропускной способности, в то время как большие интервалы могут привести к нежелательным простоям в беспроводной среде. Короткий защитный интервал (SGI) повышает скорость передачи данных на 11 процентов.

MCS значения от 0 до 31 определяют тип модуляции и схемы кодирования, которые будут использоваться для всех потоков. MCS значения с 32 по 77 описывают смешанные комбинации, которые могут быть использованы для модуляций от двух до четырех потоков.

Точки доступа **802.11n** должны поддерживать MCS значения от 0 до 15, в то время как **802.11n** станции должны поддерживать MCS значения от 0 до 7. Все другие значения MCS, в том числе связанные с каналами шириной 40 МГц, коротким защитным

интервалом (SGI), являются опциональными. Определение значения MCS и SGI для всех ваших устройств **802.11n**, является хорошим способом для определения набора скоростей передачи данных, которые могут быть использованы вашей беспроводной сетью.

Безопасность

Стандарт **802.11n** использует те же меры безопасности 802.11i (WPA2), используемые ранее на устройствах стандарта 802.11a/g. VPN может быть использован для защиты кадров **802.11n**, несмотря на то, что VPN-шлюзам необходима поддержка более высокой пропускной способности для обеспечения защиты.

Новая система предотвращения вторжений (IPS, Intrusion Prevention System) в беспроводной сети работает также как и ранее и способна обнаруживать и реагировать на небезопасные (Rogue AP) точки доступа **802.11n**. Обращаем ваше внимание, что возможно обнаружение устройств **802.11n**, только работающих в режимах Non-HT или Mixed HT, но не в "чистом" режиме HT (Greenfield).

Стандарт 802.11n

С появлением сетевых мультимедийных центров (к примеру, **iCube Play@TV NMP-4000: сетевой мультимедийный плеер**) возникают такие задачи, как передача по беспроводной сети потока DVD. Поэтому Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) одобрил создание рабочей группы 802.11n. Целью группы стала разработка нового физического уровня (PHY) и уровня доступа к среде передачи (MAC), которые позволили бы достичь реальной скорости передачи данных, как минимум, в 100 Мбит/с. То есть увеличить её в сравнении с существующими сегодня решениями примерно в четыре раза (мы имеем в виду реальную пропускную способность). Всё это, вместе с обратной совместимостью с существующими стандартами, должно будет не только сделать работу в беспроводных сетях более комфортной, но и обеспечить достаточный запас скорости на ближайшее будущее.

Стандарт беспроводной связи	Скорость работы	Реальная скорость передачи данных
802.11b	11 Мбит/с	5 Мбит/с
802.11g	54 Мбит/с	25 Мбит/с
802.11a	54 Мбит/с	25 Мбит/с
802.11n	200+ Мбит/с	100 Мбит/с

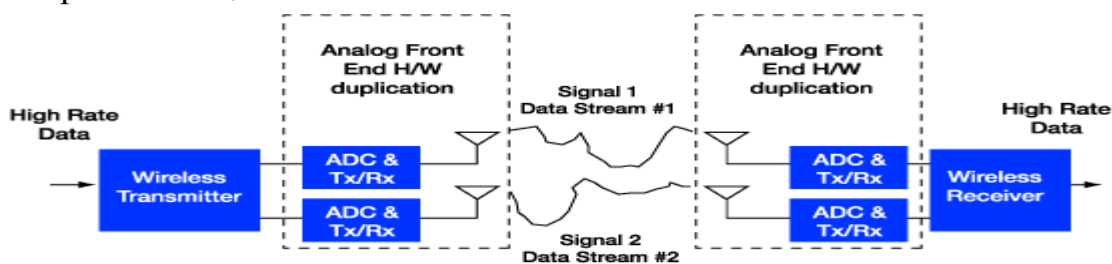
Сравнение скорости различных стандартов

Самое непосредственное участие в разработке и процессе развития стандарта принимает компания Intel, которая возглавила комитет, разрабатывающий основу для реализации стандарта. В сферу деятельности компании входит также разработка уровней MAC и PHY и другие аспекты. Безусловно, Intel сегодня является технологическим лидером в этой области, однако для разработки окончательных спецификаций стандарта необходимы усилия многих компаний.

В разработке стандарта 802.11n Intel предлагает пойти эволюционным путём, используя уже проверенные технологии, добавив к ним новые разработки, позволяющие достичь высоких скоростей передачи данных. Например, в 802.11n предлагается использовать такие "наследственные" технологии, как OFDM (ортогональное частотное мультиплексирование) и QAM (квадратурная амплитудная модуляция). Подобный подход не только обеспечит обратную совместимость, но и снизит стоимость разработки. Перед инженерами стоит нелёгкая задача, ведь новый стандарт не должен мешать работе старых устройств 11a/g, и в то же время, он должен поддерживать высокую скорость работы. Многие читатели знакомы со снижением скорости работы сетей 802.11g при одновременном использовании устройств 11b. Надеемся, что в новом стандарте такого не будет.

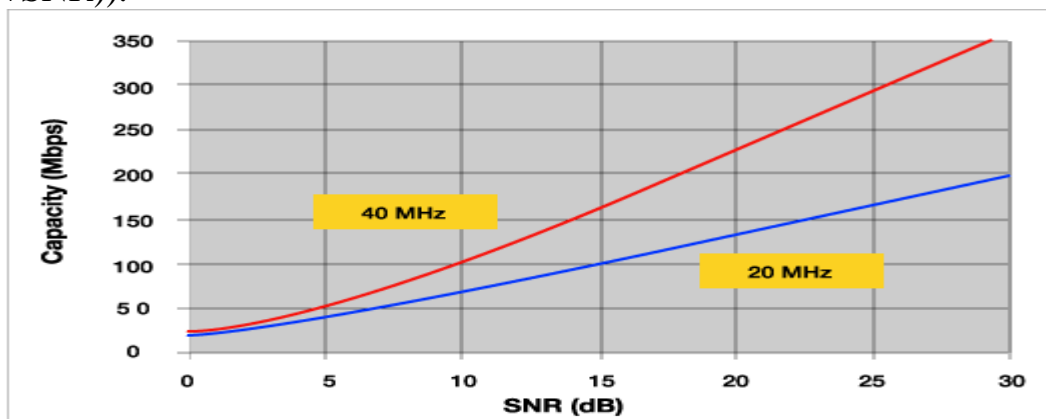
Увеличение физической скорости передачи

Первый способ увеличения скорости беспроводной передачи данных использует несколько антенн для передатчика и приёмника. Технология называется множественным вводом/выводом MIMO (multiple input multiple output). В случае её использования параллельно передаётся множество сигналов, увеличивая тем самым суммарную пропускную способность. Вообще, у MIMO достаточно много преимуществ из-за одновременной передачи данных по разным каналам. Технология использует мультиплексирование Spatial Division Multiplexing (SDM), то есть сигнал передаётся по нескольким различным частотам, после приёма превращаясь в скоростной поток данных. Однако для реализации MIMO на практике необходимо, чтобы для каждого потока данных использовались свои антенны приёма/передачи, цепи RF и АЦП. Но использование более двух антенных цепей RF может привести к значительному повышению стоимости устройства, так что разработчикам придётся искать определённый баланс между скоростью и ценой.



Простейшая система MIMO с двумя антенными цепями. Источник: Intel.

Кроме того, Intel предлагает повысить скорость беспроводной связи, расширив частотные диапазоны каналов. В принципе, идея эта отнюдь не нова. Из теоремы Шеннона следует, что теоретический предел пропускной способности "С" повышается при увеличении частотного диапазона "В" ($C=B \log_2(1+SNR)$).

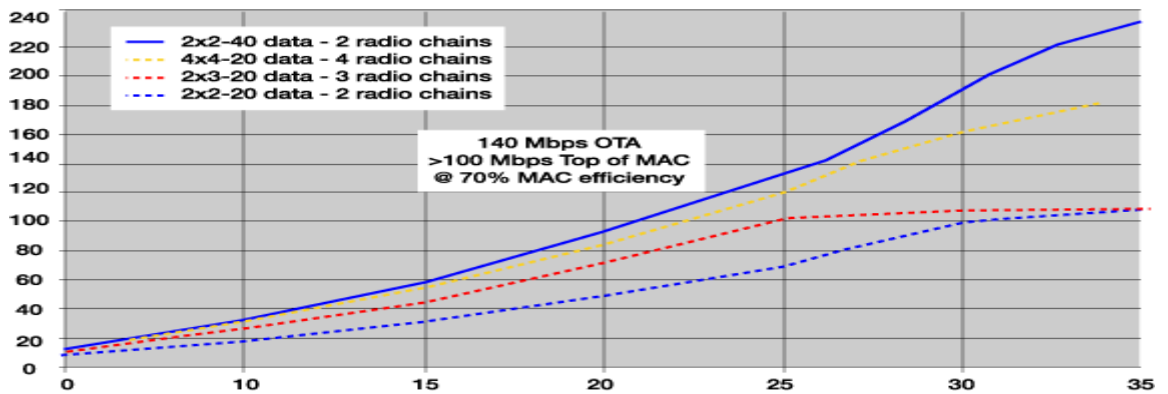


Расширение частотного диапазона приводит к увеличению пропускной способности канала.

Расширив частотный диапазон, можно сравнительно недорого и легко увеличить скорость работы сети. При этом нагрузка на ЦСП вырастет незначительно. При хорошей реализации каналы по 40 МГц могут дать полезную пропускную способность в два с лишним раза больше, чем два канала старых стандартов 802.11 (см. ниже). Добавив к этому MIMO, можно создать мощные и недорогие системы с высокой скоростью передачи.

Если же использовать MIMO с каналами по 20 МГц, то стоимость такой системы возрастает. Дело в том, что нужные нам 100 Мбит/с на физическом уровне здесь можно получить только при трёх антенных цепях на передатчике и приёмнике.

На следующем графике приведена зависимость теоретической пропускной способности ОТА от значения SNR, которое измерялось после спаривания каналов. Эффективность уровня MAC составляет 70%, то есть реальные 100 Мбит/с превращаются в теоретические 140 Мбит/с. График позволяет сравнить эффективность работы сетей на 20-МГц и 40-МГц каналах. Расшифровка легенды следующая: "2x2-40 MHz" означает два потока данных, две антенные цепи на приёмнике и передатчике и каналы по 40 МГц.



Зависимость теоретической пропускной способности от SNR, числа каналов и диапазонов.

Как видим, реализация 2x3-20 имеет лучший показатель SNR, чем 2x2-20. Это приведёт к увеличению радиуса действия сети при равной скорости. В то же время, график наглядно показывает, что использование двух потоков MIMO 20 МГц не позволяет достичь 100 Мбит/с реальной скорости. Для этого необходимо использовать три потока MIMO, как мы уже говорили выше. Преимущество подхода 2x2-40 здесь очевидно. Обратите внимание, что удвоение числа RF-цепей с каналами по 20 МГц и передача четырёх потоков MIMO даёт меньшую производительность, чем два канала по 40 МГц. Поэтому переход на 40-МГц каналы позволит не только снизить сложность и стоимость систем, но и повысить производительность.

Intel считает, что совместное использование технологий позволит выполнить требования будущего стандарта 802.11n. Если сделать ставку на увеличение используемой полосы частот совместно с технологией MIMO, то удастся не только достичь требуемых 100 Мбит/с, но и сохранить при этом низкую стоимость оборудования. Например, использование 40-мегагерцовых каналов и технологии MIMO в будущем позволит даже превзойти требования стандарта по мере развития возможностей ЦСП (вспомним закон Мура). Устройства 802.11n будут поддерживать как 20-, так и 40-МГц каналы, при этом 40-МГц каналы будут образовываться из двух смежных 20-МГц. Таким образом, если частотный спектр будет перегружен или надо будет связаться по старому стандарту, устройство может перейти на узкие 20-МГц каналы. Надеемся, что в момент выхода стандарта законодательные органы примут соответствующие поправки, разрешающие использование 40-мегагерцовых каналов там, где это пока запрещено.

Чтобы получить физическую скорость 100 Мбит/с, 802.11n должен поддерживать технологию MIMO не меньше, чем для двух потоков. Для этого потребуются, как минимум, две антенные цепи на каждом устройстве стандарта 802.11n. Опционально устройства смогут поддерживать и большее число потоков MIMO, но не больше четырёх.

Кроме того, в 802.11n могут быть внесены различные опциональные решения, увеличивающие пропускную способность. Сюда относятся увеличение числа антенных цепей, адаптивные каналы, технология кодирования FEC и т.д.

Конечно же, высокую скорость нельзя получить без эффективных механизмов управлением физическим уровнем. Хотя уровень MAC и не влияет напрямую на физическую скорость передачи, он играет важную роль при выборе режимов оптимизации передачи PHY. Первоначально связь будет устанавливаться средствами физического уровня, а уже затем, со временем, подключится MAC-уровень, который определит долговременные параметры связи типа модуляции, кодирования, конфигурации антенн, частотных диапазонов каналов и т.д.

Повышаем эффективность передачи на MAC-уровне

Конечно же, изменения коснутся и MAC-уровня, который получит новые функции. Важно понимать, что скорость передачи существенно ограничивается заголовками PHY и задержками. К сожалению, они плохо поддаются улучшению. Более того, заголовки PHY придется делать даже больше, чтобы поддержать новые режимы.

В 802.11n будет введён режим передачи нескольких кадров MAC в блок данных физического уровня (агрегация). Также появляются и блочные подтверждения (Block ACK) на запросы нескольких кадров (BAR). Таким образом, теперь не нужно начинать процедуру передачи отдельно для каждого кадра. Если не использовать блочную передачу, то для скорости 100 Мбит/с потребовались бы 500 Мбит/с на уровне PHY.

Блочная передача данных будет работать в обоих направлениях. Что интересно, Intel предусматривает MAC-кадры нового формата, которые позволят создавать пакеты PHY с информацией сразу для нескольких клиентов.

Совместимость со старыми стандартами 802.11

Рабочая группа IEEE гарантирует обратную совместимость новых устройств 802.11n с оборудованием 802.11a/b/g при условии использования одного и того же частотного диапазона и канала. Другими словами, как мы уже говорили, поддержка 20-мегагерцовых каналов пригодится для обратной совместимости.

Совместимость с существующим оборудованием 802.11a/b/g будет обеспечиваться средствами MAC-уровня. То есть все существующие устройства стандартов 802.11a/b/g смогут подключаться к точкам доступа 802.11n. На уровне MAC также будет обеспечена совместимость схем модуляции для соответствующих частотных диапазонов. Естественно, придётся решить проблемы, возникающие при взаимодействии оборудования различных стандартов.

Заключение

Сегодня беспроводные сети стандартов 802.11a/b/g обеспечивают достаточную скорость для большинства задач. Однако ситуация меняется на глазах. В ответ на растущие требования IEEE и Wi-Fi Alliance уже подготовили планы развития следующего поколения WLAN.

Intel планирует не только достичь реальной пропускной способности в 100 Мбит/с, но даже превысить её. Технология 802.11n будет поддерживать все основные платформы, включая бытовую технику, персональные и

карманные компьютеры. Новое поколение Wi-Fi будет работать как на предприятиях, так и в местах общественного доступа и дома.

Ключевыми моментами в разработке будущего стандарта беспроводных сетей будут стоимость и производительность. Intel считает, что для этого необходимо использовать как технологию MIMO, так и более широкие каналы. В то же время, эффективную пропускную способность удастся повысить и за счёт новых возможностей уровня MAC.

Сравнение WiFi и Wi Max

WiFi	Wi Max
WiFi – технология, в основном предназначенная для организации небольших беспроводных сетей внутри помещений и построения беспроводных мостов	Wi MAX – предназначена для организации широкополосной связи вне помещений и для организации крупномасштабных сетей. Также и как городская вычислительная сеть (MAN).
Когда несколько пользователей подключены к точке доступа Wi-Fi, они конкурируют за доступ к каналу связи.	Технология WiMAX обеспечивает каждому пользователю постоянный доступ. Алгоритм устанавливает ограничение на число пользователей для одной точки доступа. Когда базовая станция WiMAX приближается к максимуму своего потенциала, она автоматически перенаправляет «избыточных» пользователей на другую базовую станцию.
Если стоит задача предоставить широкополосный доступ в ограниченном помещении, то технологии WiFi и WiMAX одинаково хорошо подходят для решения, при условии что низкий уровень помех или помехи вовсе отсутствуют. А для внедрения беспроводных систем безопасности или видеонаблюдения больше подходит WiFi, так как это	Если стоит задача предоставить широкополосный доступ к сети для пользователей – то больше подходит WiMAX

направление уже достаточно неплохо развито.	
Охват и масштабы	
Wi-Fi (IEEE 802.11)	WiMAX (IEEE 802.16)
беспроводные решения внутри зданий	беспроводные решения вне зданий
Точка – точка (PtP -Point to point)	Точка – много точек (PtMp – Point to multipoint)
сети небольшого масштаба (примерно 100м)	огромные беспроводные сети (7-10 км)
проблема «скрытого» узла (CSMA\CA)	Отсутствие проблемы «скрытого» узла (DAMA-TDMA)
Простые модуляции (64 бит) в стандартах a,g	Комплексная техника модуляции (256 бит)
Построение беспроводных мостов на дальние расстояния с применением множества ретрансляторов	Дальние беспроводные мосты без применения множества ретрансляторов
Масштабируемость и пропускная способность	
Wi-Fi (IEEE 802.11)	WiMAX (IEEE 802.16)
Фиксированная ширина полосы пропускания канала (20МГц)	Гибкая ширина полосы пропускания (1.5 - 20 МГц)
Несколько непересекающихся каналов (3-5)	Множество непересекающихся каналов
Максимальная скорость передачи данных – 54Мбит\с (зависит от ширины полосы)	Максимальная скорость передачи данных – 70Мбит\с при ширине полосы 20 МГц

Сравнительные характеристики технологий

Технология	802.11n	Nv2	802.16e
MIMO	да	да	Да + возможно резервирование
Стоимость оборудования	низкая	средняя	высокая
Исключение коллизий	CSMA (Carrier Sense Multiple Access)	TDMA (Time Division Multiple Access)	DAMA (Demand Assigned Multiple Access)
QoS	-	7 потоков	7 потоков
OFDM поднесущие	64	64	1024/512
Макс. Пропускная способность	33 Мбит/с	40 Мбит/с	60 Мбит/с

В стандартах 802.16 и 802.11, приспособленных к WMAN, употребляют алгоритмы динамического поллинга - TDMA: сначала абоненты опрашиваются на наличие данных для передачи, базовая станция в таком случае становится "управляющей" и предоставляет абоненту временной интервал для передачи. Это позволяет избегать коллизий и повысить пропускную способность сети.

В протоколе 802.11n использованы два типа объединения пакетов : AMSDU - объединение пакетов в "супер" фрейм размером до 7955 байт и AMPDU, который применяется лишь при передаче данных одному и тому самому абоненту, фрейм такого типа имеет размер до 64 Кбайт. Протокол Nv2 использует динамическое определение размера передаваемых фреймов, который достигает 8192 байт.

Преимущество использования TDMA и объединение в пакеты также заключается в том, что появляется возможность приоритизации. Пакеты чувствительные к задержкам услуг - IP- телефонии и видеопередачи имеют высший приоритет и отправляются в первую очередь. Это позволяет уменьшить задержки. Становится возможным использование "широковещательных" пакетов, которые могут быть получены несколькими абонентами одновременно, такие пакеты будут полезны для предоставления услуг цифрового телевидения.

Основные термины и параметры:

Wi-Fi — это более старая интернет-технология, чем WiMAX. Она появилась в 1991 году для использования в системах кассового обслуживания и дальше развивалась для развертывания беспроводных сетей дома или в офисе. Современные стандарты Wi-Fi позволяют подключиться к интернету в радиусе 300 метров (на практике — в радиусе нескольких десятков метров).

Wi-Fi имеет несколько стандартов. Наиболее часто используемый в наше время имеет максимальную скорость подключения 54 Мбит/с. Более новые стандарты предлагают скорость до 450 Мбит/с, а в перспективе будут давать и до 600 Мбит/с. Стандарт также определяет частоты, на которых осуществляется связь: от 2,4 до 5 ГГц.

Пользователь может развернуть Wi-Fi сеть самостоятельно благодаря достаточно долгой истории развития, сравнительно недорогому оборудованию и простоте установки.

WiMAX (англ. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) — технология, разрабатываемая с 2001 года с целью предоставления беспроводной связи на больших расстояниях (до нескольких десятков километров от базовой станции).

WiMAX, также как и Wi-Fi, имеет несколько стандартов, определяющих кроме скорости соединения (до 40-75 Мбит/с) и частотных диапазонов (1,5-13,6 ГГц) еще и радиус действия (1-80 км).

Действующие на территории страны операторы сетей WiMAX используют разные частотные диапазоны и различное оборудование, несовместимое друг с другом. В России до сих пор нет WiMAX-сетей для конечных пользователей, сети ориентированы на компании, причем только крупные. Сегодня в России коммерческие WiMAX-сети развернуты лишь в нескольких городах и регионах. Тем не менее, данная технология является очень перспективной.

WiMAX не является прямым конкурентом Wi-Fi, так эти технологии направлены на решение различных задач.

Таким образом, находятся следующие отличия WiMax от Wi-Fi:

1. Скорость передачи данных по Wi-Fi — до 54 Мбит/с, WiMAX — до 75 Мбит/с.
2. Радиус покрытия Wi-Fi — 300 метров максимум, WiMAX – 80 км.
3. Работа ведется на различных частотах: 2,4 ГГц в наиболее распространенном стандарте Wi-Fi и частотный диапазон 1,5-11 ГГц у WiMAX.
4. WiMAX позволяет стабильно передавать данные, несмотря на радиопомехи, физические преграды или плохие погодные условия, которые в то же время сильно сказываются на работе Wi-Fi.
5. Wi-Fi в данное время гораздо шире распространен и имеет более разнообразный ассортимент оборудования по ценам более доступным, чем WiMAX.

Основная информация:

1. "WiMAX" означает "Всемирное взаимодействие через микроволновый доступ", "Wi-Fi" расшифровывается как "Wireless Fidelity".

2. WiMAX обеспечивает беспроводную широкополосную связь на больших расстояниях, Wi-Fi обеспечивает ближнюю беспроводную широкополосную связь в основном в пределах офиса или дома.

3. WiMAX более контролируемый и требует лицензированного диапазона. Wi-Fi может работать в менее контролируемых условиях, он работает в нелицензионных диапазонах. Кроме того, конечные пользователи вынуждены покупать устройства.

4. WiMAX использует MAC-протокол, который ориентирован на соединения, Wi-Fi использует связь на основе протокола или соединения CSMA / CA.

Развитие технологий Wi-Fi

802.11n использовал следующее для увеличения пропускной способности:

Оптимизированные механизмы модуляции и передачи пакетов позволяли «прорваться» с 54Mbps до ~75Mbps.

Затем включался Channel Bonding — каналы шириной 40Mhz (в два раза шире традиционных 22Mhz) обеспечивали удвоение скорости — до 150Mbps.

Затем включался механизм Multiple Spatial Streams, коих по стандарту может быть до четырех, что позволяет достичь в теории $150 \times 4 = 600$ Mbps

802.11ac собирается «догнать и перегнать» следующими способами:

Каналы шириной 80Mhz и 160Mhz, что позволяет моментально удвоить/учетверить результаты 802.11n.

Максимальное число Spatial Streams увеличили до 8, что позволяет еще раз удвоить скорости.

Оптимизация модуляции и методов передачи пакетов позволяет выжать еще немного ресурса и добиться того, что высокие скорости будут доступны не только в радиусе 4м от точки доступа.

Итого, сложив все факторы, мы можем получить скорость в теории *в восемь с лишним раз* превышающую показатели 802.11n — порядка 5Gbps. На практике, же, такая скорость практически недостижима.

Помимо скоростей, 802.11ac предлагает два ключевых улучшения:

Beamforming — возможность динамически менять диаграмму направленности антенн (что реально для антенной решетки из 8 элементов). В идеале, это обозначает, что зона покрытия точки доступа оптимально подстраивается под текущее расположение клиентов. Beamforming не нов для Wi-Fi, его даже сделали частью стандарта 802.11n. Но частью опциональной! В 802.11ac он станет частью обязательной.

Сравнительная таблица стандартов беспроводной связи

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
<u>UWB</u>	802.15.3a	<u>WPAN</u>	110–480 Мбит/с	до 10 метров	7,5 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11a	<u>WLAN</u>	до 5 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11b	<u>WLAN</u>	до 11 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11g	<u>WLAN</u>	до 54 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11n	<u>WLAN</u>	до 480 Мбит/с	до 100 метров	2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц
WiMa	802.16d	<u>WMAN</u>	до 75 Мбит/с	6–10 км	1,5–11 ГГц
WiMa	802.16e	Mobile WMAN	до 30 Мбит/с	1–5 км	2–6 ГГц

x

Основные показатели качества WiMAX

1. По сравнению с проводными, беспроводными или спутниковыми системами сети WiMAX должны позволить операторам и сервис-провайдерам экономически эффективно охватить не только новых потенциальных пользователей, но и сети WiMAX должны расширить спектр информационных и коммуникационных технологий для пользователей, уже имеющих фиксированный доступ.
2. Стандарт объединяет в себя технологии уровня оператора связи, а также технологии "последней мили", что создает универсальность и повышает надёжность системы.
3. Беспроводные технологии более гибки и более просты в развёртывании.
4. Простота установки WiMAX как фактор уменьшения затрат на развёртывание сетей в развивающихся странах, малонаселённых или удалённых районах.
5. Дальность охвата является существенным показателем системы радиосвязи.
6. Технология WiMAX изначально содержит в себе протокол IP, что позволяет легко и прозрачно интегрировать её в локальные сети.
7. Технология WiMAX подходит для фиксированных, перемещаемых и подвижных объектов сетей на единой инфраструктуре.

Система WiMAX состоит из двух основных частей: базовая станция WiMAX и приёмник WiMAX.

1. Базовая станция WiMAX, может размещаться на высотном объекте: здании или вышке.
2. Приёмник WiMAX: антенна с приёмником, в форм-факторе карты PC Card, карты расширения ПК или внешней карты.

Соединяются базовая станция WiMAX и клиентский приёмник WiMAX в низкочастотном диапазоне 2-11 ГГц.

Технология WiMAX применяется как на "последней миле" - конечном участке между провайдером и пользователем, так и для предоставления доступа региональным сетям: офисным, районным.

Между соседними базовыми станциями устанавливается постоянное соединение с использованием режима СВЧ (сверхвысокие частоты 10-66 ГГц) радиосвязи прямой видимости (line-of-sight).

Как минимум, одна базовая станция WiMAX может быть постоянно связана с сетью провайдера через широкополосное скоростное соединение (ТЗ, или другое, гарантирующее стабильно высокую скорость передачи данных). Фактически, чем больше станций имеют доступ к сети провайдера, тем выше скорость и надёжность передачи данных. Однако даже при небольшом количестве точек система способна корректно распределить нагрузку за счёт сотовой топологии.

Стандарт 802.16e-2005 вобрал в себя все ранее выходившие версии и на данный момент предоставляет следующие режимы.

- Fixed WiMAX - фиксированный доступ;
- Nomadic WiMAX - сеансовый доступ;
- Portable WiMAX - доступ в режиме перемещения;
- Mobile WiMAX - мобильный доступ.

Fixed WiMAX. Фиксированный доступ представляет собой альтернативу широкополосным проводным технологиям (xDSL, T1, т.п.). Стандарт использует диапазон частот 10-66 ГГц. Этот частотный диапазон из-за сильного затухания коротких волн требует прямой видимости между передатчиком и приёмником сигнала. С другой стороны, данный частотный диапазон позволяет избежать одной из главных проблем радиосвязи - многолучевого распространения сигнала. При этом ширина каналов связи в этом частотном диапазоне довольно велика, что позволяет достигать скоростей передачи до 120 Мбит/с. Фиксированный режим включался в версию стандарта 802.16d-2004 и уже используется в ряде стран.

Nomadic WiMAX. Сеансовый (кочующий) доступ добавил понятие сессий к уже существующему Fixed WiMAX. Наличие сессий позволяет свободно перемещать клиентское оборудование между сессиями и восстанавливать соединение уже с помощью других вышек WiMAX, нежели тех, что были использованы во время предыдущей сессии. Такой режим разработан в основном для портативных устройств, таких, как ноутбуки, КПК.

Portable WiMAX. Для режима Portable WiMAX добавлена возможность автоматического переключения клиента от одной базовой станции WiMAX к другой без потери соединения. Однако для данного режима всё ещё ограничена скорость передвижения клиентского оборудования - 40 км/ч. Впрочем, уже в таком виде можно использовать клиентские устройства в дороге. Введение данного режима сделало целесообразным использование технологии WiMAX для смартфонов и КПК.

Mobile WiMAX был разработан в стандарте 802.16e-2005 и позволил увеличить скорость перемещения клиентского оборудования до более 120 км/ч.