802.11AC: БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ С ГИГАБИТНОЙ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ

ИЛЬЯ ВИКТОРОВ, *i.viktorov@inbox.ru*

По мнению ряда аналитиков, беспроводные локальные сети по безопасности и надежности уже достигли уровня проводных локальных сетей. В настоящее время идет работа над новым стандартом, который позволит достичь гигабитной пропускной способности беспроводной связи. Ожидается, что новое оборудование появится уже в 2012 г., хотя окончательная версия стандарта будет принята не ранее 2013 г. В статье рассмотрены особенности стандарта 802.11ac и проблемы тестирования и проектирования новых устройств.

Первые популярные стандарты для беспроводных локальных сетей (IEEE 802.11a и b), а затем и 802.11g, были разработаны главным образом для установления связи с переносными компьютерами дома и в офисе, а позднее для того, чтобы обеспечить связь в пути — в аэропортах, отелях, интернет-кафе, торговых центрах и т.д. Их основная функция заключалась в предоставлении широкополосного канала связи для выхода в интернет и доступа к электронной почте.

Стандарт 802.11b обеспечивал скорость до 11 Мбит/с на частоте 2,4 ГГц, а в стандартах 802.11a и 802.11g скорость передачи была увеличена до 54 Мбит/с на частотах 5 ГГц и 2,4 ГГц в нелицензируемых полосах частотного спектра. Новые модели использования беспроводной связи, однако, потребовали более высокой пропускной способности системы, например, для разделения данных между домашними устройствами или в небольшом офисе и для беспроводной печати.

В 2009 г. был разработан стандарт 802.11n: максимальная скорость передачи данных в одном канале была увеличена до 100 Мбит/с и введена технология MIMO (multiple input, multiple output — многоканальный вход, многоканальный выход) или пространственная потоковая передача. По этой технологии до 4-х раздельных физических передающих и приемных антенн переносят независимые данные, которые агрегируются в процессе модуляции/демодуляции.

Сегодня появились другие модели использования беспроводной связи (см. табл. 1), которые потребовали еще более высокой скорости передачи данных. Для реализации этих моделей специальная рабочая группа IEEE (TGac) разработала проект стандарта 802.11ac, как расширение стандарта 802.11n, в котором было введено понятие «очень высокая пропускная способность» (Very High Throughput — VHT). Согласно новой спецификации, скорость передачи данных в одном канале обеспечивается на уровне не менее 500 Мбит/с на частоте 5 ГГц (общая пропускная способность составляет 1 Гбит/с). С учетом огромного числа существующих клиентских устройств — ноутбуков, нетбуков, планшетных компьютеров и смартфонов — обязательным требованием при разработке нового стандарта стала совместимость с существующими стандартами, использующими тот же частотный диапазон. Задача состояла в том, чтобы все версии стандарта 802.11 были совместимы между собой, а стандарт 802.11ac был совместим с другими версиями на уровне управления доступом к среде (MAC), или канальном уровне, и отличался от них только характеристиками физического уровня (см. рис. 1).

Таблица 1. **Новые модели использования беспроводной локальной сети**

Категория	Модель использования
Беспроводной дисплей (Wireless display)	• Накопитель и монитор настольного компьютера • Передача видеоданных на телевизор или проектор в конференц-зале или аудитории • Игровая система в номере гостиницы • Потоковая передача данных от видеокамеры на монитор • Захват внестудийного вещания в профессиональном оборудовании телевидения высокой четкости
Распределение телевидения высокой четкости	• Передача видеопотоков внутри дома • Приложения для крупных транспортных средств (например, для самолетов, паромов и т.д.) • Беспроводная сеть в офисе • Удаленная медицинская помощь
Быстрая загрузка/выгрузка данных	• Быстрая передача файлов/синхронизация • Покадровый просмотр видео • Загрузка видеофильмов на мобильные устройства • Передача данных полицейского наблюдения
Транзитное соединение (Backhaul)	• Мультимедийная ячеистая сеть • Двухточечная транспортная сеть
Связь на территории университета/в аудитории	• Системы демонстрации видео/дистанционного присутствия • Сеть обеспечения общественной безопасности
Связь на производстве	• Системы автоматизации

Планируется, что окончательная версия стандарта 802.11ac выйдет в конце 2013 г., однако, устройства, совместимые с ним, могут появиться раньше. Аналитики In-Stat опубликовали прогноз, в котором говорится, что продажи продуктов на основе 802.11ac начнут быстро расти после выпуска этого стандарта. Если в 2012 г. можно ожидать поставок около 1 млн. маршрутизаторов и модемов стандарта 802.11ac, то в 2015 г. этот показатель составит уже около 350 млн. шт.

ОСОБЕННОСТИ НОВОГО СТАНДАРТА

Физический уровень 802.11ac представляет собой расширение существующего стандарта 802.11n и совместим с ним. В таблице 2 приведены сравнительные характеристики физического уровня стандартов 802.11a/g, 802.11n и

Рис. 1. **7-уровневая модель OSI**

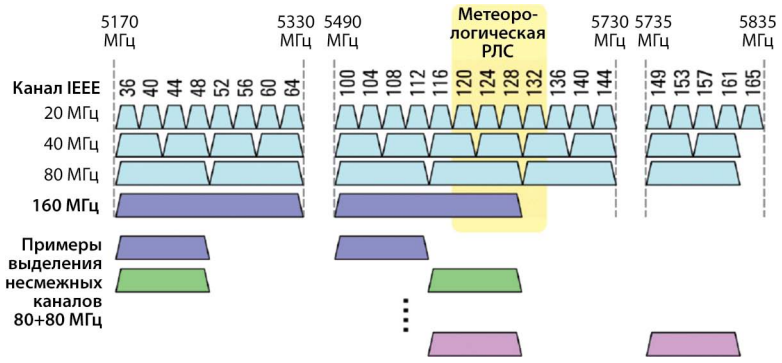

Рис. 2. **Распределение частот для стандарта IEEE 802.11ac**

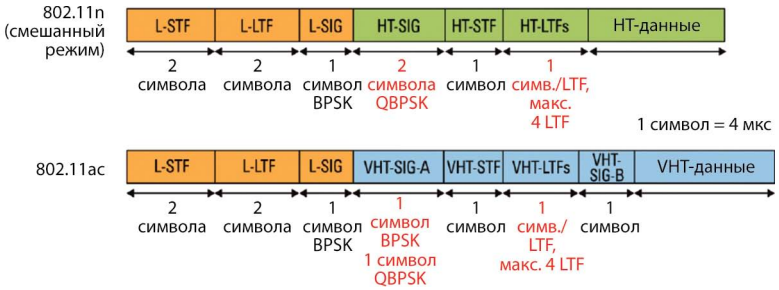

Рис. 3. **Сравнение структуры кадров стандартов 802.11n и 802.11ac**

802.11ac. Теоретическая максимальная скорость передачи данных для 802.11n составляет 600 Мбит/с при использовании канала полосой 40 МГц и 4-х пространственных потоков, хотя в большинстве потребительских устройств используются только 2 потока.

Теоретический максимум скорости передачи стандарта 802.11ac составляет 6,93 Гбит/с для 160-МГц канала при использовании 8 пространственных потоков, 256 QAM-модуляции с кодировкой MCS9 и коротких защитных интервалов (short guard interval). Для потребительских устройств более реальной скоростью передачи, вероятно, станет 1,56 Гбит/с, что потребует использования 80-МГц каналов, 4-х пространственных потоков, кодировки MCS9 и нормальных защитных интервалов (normal guard interval).

Как и в стандарте 802.11n, в новом стандарте регламентируется применение нескольких антенн для формирования нескольких потоков трафика. Однако радиомодуль 802.11ac, использующий только один поток, не будет уступать по производительности модулю 802.11n с тремя потоками. Один из методов, позволяющий почти втрое увеличить его быстродействие, — применение более широкополосных каналов — от 80 до 160 МГц, в то время как максимум в 802.11n — 40 МГц. Стандарт 802.11ac определяет также, каким образом могут совместно работать несколько устройств, использующих этот расширенный частотный диапазон каналов.

С появлением стандарта 802.11ac удастся выйти за рамки частотного диапазона 2,4 ГГц, единственно разрешенного старым стандартом 802.11b и используемого в качестве одного из диапазонов стандарта 802.11n. Новый стандарт 802.11ac рассчитан только на диапазон 5 ГГц, который не является столь «перенаселенным». Сегодня 90–95% устройств работают в сетях Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц, где есть только три «непересекающихся» канала, тогда как в диапазоне 5 ГГц таких каналов 20.

Технология формирования направленного излучения антенн, благодаря которой сигнал передается к месту назначения по оптимальному маршруту, — еще одна особенность новой спецификации, и она должна способствовать увеличению быстродействия и дальности связи. Некоторые производители беспроводных устройств уже использовали ее с протоколом 802.11n, а в новый стандарт она войдет как его неотъемлемая часть.

На рисунке 2 показано распределение частотных каналов стандарта 802.11ac. В то время как 160- и 80+80-МГц режимы являются опциональными для 802.11ac, вероятнее всего, что первые устройства нового стандарта будут иметь максимальную полосу канала 80 МГц и не более 4-х пространственных потоков, специфицированных в 802.11n. Для 20- и 40-МГц каналов число поднесущих и пилот-сигналов, а также их положение, соответствуют стандарту 802.11n. Новые значения определены в версии 802.11ac для 80-МГц каналов, а 160-МГц и 80+80-МГц каналы специфицированы как два 80-МГц канала.

Структура кадра данных позволяет приемнику автоматически детектировать на физическом уровне, какой стандарт использовался при передаче. Заголовки кадра для стандартов 802.11n и 802.11ac показаны на рисунке 3.

Первые четыре поля в обоих заголовках предназначены для приема станциями, работающими не в HT- или VHT-режимах, что обеспечивает совместимость с более старыми системами. Эти первые короткие и длинные поля (Legacy Short и Legacy Long Training Fields — L-STF и L LTF), а также сигнальные поля (L-SIG), аналогичны полям в прежних стандартах 802.11a/b/g, хотя четвертое поле (символы 6 и 7) служит для идентификации кадра либо как стандарта 802.11n, либо как 802.11ac.

В заголовке для VHT-пакета для каналов шире 20 МГц поля более старых стандартов дублируются через каждые 20 МГц с соответствующим чередова-

Таблица 2. **Характеристики физического уровня различных беспроводных стандартов**

Характеристики	Стандарт		
	802.11a/g	802.11n	802.11ac
Конфигурация антенн	1×1 SISO	до 4×4 MIMO	до 8×8 MIMO
Наивысший порядок модуляции	до 64 QAM BPSK	до 64 QAM BPSK	до 256 QAM BPSK
Ширина полосы канала	20 МГц	20 МГц и 20+20 МГц	20, 40, 80, 80+80 и 160 МГц
Год выпуска стандарта	1999 (802.11a), 2003 (802.11g)	2009	2013 (план)

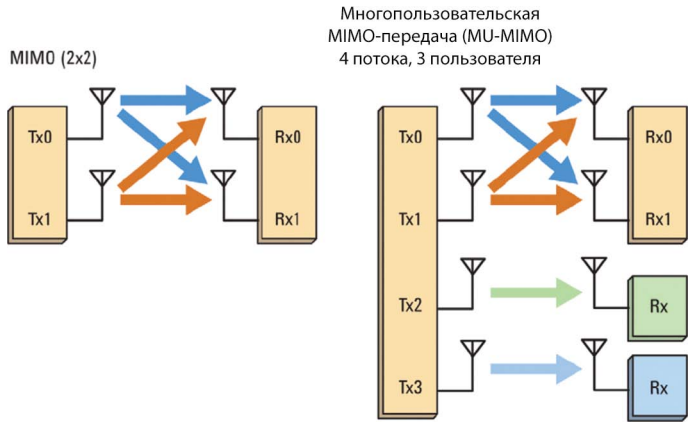

Рис. 4. **Сравнение конфигурации системы при MIMO-передаче и многопользовательской MIMO-передаче** (MU-MIMO)

нием фаз. В определенных субполосах частота поднесущей сдвигается на 90° или 180°, чтобы уменьшить отношение пиковой мощности к средней. Чтобы сигнализировать о VHT-передаче и обеспечить автодетектирование, первый символ поля VHT-SIG-A использует двоичную фазовую модуляцию (BPSK), а второй символ — BPSK со сдвигом на 90° (QBPSK). В этом состоит отличие от поля HT-SIG для 802.11n, где оба символа используют QBPSK-модуляцию. Поле VHT-SIG-A содержит информацию, которая требуется для интерпретации VHT-пакетов — ширину полосы частот, количество потоков, защитный интервал, схему модуляции и кодирования и т.д.

Остальные поля заголовка предназначены только для VHT-устройств. Поле VHT-STF используется для улучшения оценки автоматической регулировки усиления при MIMO-передаче. Затем идет длинная последовательность полей, которая позволяет приемнику оценить параметры канала MIMO между передающей и приемной антенной. Это могут быть 1, 2, 4, 6 или 8 полей VHT-LTF, в зависимости от общего числа пространственно-временных потоков. Матрица отображения для 1, 2 или 4-х полей VHT-LTF используется та же, что и в 802.11n, а для 6 или 8 полей VHT-LTF — введена новая. Поле VHT-SIG-B описывает длину данных и схему модуляции и кодирования (MCS) для одно- и многопользовательского режима.

МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ MIMO-ПЕРЕДАЧА

В прежних стандартах для беспроводной локальной сети использовался только один поток данных между точкой доступа и устройством. Технология MIMO впервые была введена в стандарте 802.11n и включала новые требования, согласно которым точка доступа и устройство устанавливают связь с помощью двух и более совершенно отдельных каналов передачи/приема и используют перекрестное соединение между ними. Главная цель такого подхода заключалась в увеличении скорости передачи данных, которую мог бы ожидать отдельный пользователь беспроводного соединения.

В спецификации термины «вход» и «выход» относятся к среде между передатчиками и приемниками, включая их радиочастотные компоненты, или другими словами — к «каналу». Таким образом, точка доступа с двумя передатчиками обеспечивает два входа к каналу, т.е. MI, а устройство с двумя приемными трактами обеспечивает два выхода из канала, т.е. MO. При настоящей MIMO-передаче данные, передаваемые каждым каналом, должны быть независимы, а не быть копией одних и тех же данных.

На рисунке 4 показана конфигурация системы при настоящей MIMO-передаче, состоящей из двух передатчиков и двух приемников с независимыми данными. Такая конфигурация известна также как пространственное объединение. Каждый приемник видит комбинацию выходов передатчиков. Методы оценки параметров канала позволяют использовать матричную математику для разделения двух потоков и демодуляции данных. В идеальных условиях при максимальной декорреляции между потоками объем данных удваивается, хотя необходимо обеспечить более высокое отношение сигнал-шум.

Типовое потребительское устройство стандарта 802.11n поддерживает два или три пространственных потока, а не максимальное их число (четыре), как определено в данной версии стандарта. Стандарт 802.11ac расширяет это число максимум до восьми потоков, хотя первые устройства будут, вероятно, поддерживать только четыре потока. В стандарте 802.11ac вводится новая концепция многопользовательской MIMO-передачи (MU-MIMO). В отличие от обычной (однопользовательской) технологии MIMO в MU-MIMO ресурсы используются повторно, что увеличивает эффективность, хотя скорость передачи данных к индивидуальному устройству не меняется (см. рис. 4).

ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Некоторые особенности стандарта 802.11ac влекут за собой проблемы при проектировании и тестировании устройств беспроводной связи. Одной из этих проблем является использование 256 QAM модуляции, при которой требуется поддержка низкой амплитуды вектора ошибок или ошибки созвездия для передатчика и приемника. Чтобы выявить причины высокой амплитуды вектора ошибок, необходим векторный анализ сигналов.

Другой сложной проблемой являются цифровые предыскажения, которые вводятся для улучшения линейности усилителей мощности, что обычно требует генерации и измерения сигналов, полоса частот которых в 3–5 раз больше собственной полосы частот усилителя. Имеются программные средства для автоматизации проектирования схем цифрового предыскажения, которые позволяют смоделировать частотную характеристику усилителя мощности и создать матрицу предыскажений.

Тесты передатчиков и приемников стандарта 802.11ac аналогичны тестам для стандарта 802.11n, но используются новые определения и допустимые предельные значения параметров (см. табл. 3). Помимо проведения указанных в таблице тестов необходимо проверить устройство на совместимость, а также провести дополнительные функциональные тесты.

Таблица 3. **Тесты передатчиков и приемников**

Тесты передатчика	Тесты приемника
Маска спектра излучений	Чувствительность при минимальном входном уровне сигнала
Спектральная неравномерность	Подавление соседнего канала
Предельно допустимое отклонение средней частоты передачи	Подавление несмежного канала
Выравнивание пакетов	Максимальный входной уровень приемника
Отклонение тактовой частоты символа	Чувствительность при оценке прозрачности канала
• Точность модуляции • Уход средней частоты передачи • Ошибка созвездия передатчика (амплитуда вектора ошибок)	

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Lew. 80211ac Wireless LAN: what's new and the impact on design and test//www.eetimes.com.

2. D. Hall. Introducing Wireless Standards of the Future: IEEE 802.11ac and LTE-Advanced//www.mwrf.com.

3. 802.11ac: Frequently asked questions, December 2011//www.arubanetworks.com.

4. Next Generation Gigabit WiFi — 802.11ac//www.netgear.com.