

ВВЕДЕНИЕ В СЕТИ Wi-Fi С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

А. С. Викулов^{1*}, А. И. Парамонов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: asv012016@gmail.com

Аннотация

Сети Wi-Fi несомненно занимают одно из важнейших мест среди технологий радиодоступа, однако в последние годы все к большему числу беспроводных сетей предъявляются требования поддержки высокой плотности пользователей. Предлагаемый цикл статей имеет целью сделать анализ подходов к планированию беспроводных сетей с высокой плотностью пользователей, показать их особенности и обобщить имеющийся практический опыт. **Предмет исследования.** Статья посвящена определению понятия БЛВС с высокой плотностью пользователей, а также их принципиальным отличиям от БЛВС традиционного назначения. **Метод.** В основу данной работы положены руководства по проектированию БЛВС от компаний-производителей оборудования, рекомендации экспертов, ряд научных работ, а также более чем 5-летний личный опыт проектирования. **Основные результаты.** Дано определение сетей с высокой плотностью пользователей и разобраны их ключевые особенности. **Практическая значимость.** Проведенный анализ демонстрирует принципиальные отличия в подходах к проектированию БЛВС с высокой плотностью пользователей, по сравнению с традиционными архитектурами.

Ключевые слова

IEEE 802.11, БЛВС, высокая плотность пользователей, Wi-Fi.

Информация о статье

УДК 004.725.5

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.12.17, принята к печати 28.02.18.

Ссылка для цитирования: Викулов А. С., Парамонов А. И. Введение в сети Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 1. С. 12–20.

INTRODUCTION TO THE HIGH DENSITY WI-FI NETWORKS

A. Vikulov^{1*}, A. Paramonov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: asv012016@gmail.com

Abstract—Wi-Fi networks are one of the most important wireless access technologies. In recent years more and more WLANs meet the requirements of the high client density support. This series of articles have the goal to make an analysis of high density WLAN design process concepts, show their specialties, and generalize the best practices. **Research subject.** The present work is devoted to the definition of the high density Wi-Fi networks and their special aspects. **Method.** The ground for this work are: Wi-Fi solution vendors design guides, recommendations of the experts, some scientific works and own more than 5-year design practice. **Core results.** High density WLANs are defined and their differentiators are shown. **Practical relevance.** The analysis carried out demonstrates the key differences in high density WLANs design goals in comparison to traditional architecture WLANs.

Keywords—IEEE 802.11, high density, WLAN, Wi-Fi.

Article info

Article in Russian.

Received 21.12.17, accepted 28.02.18.

For citation: Vikulov A., Paramonov A.: Introduction to the high density Wi-Fi Networks // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 1. pp. 12–20 (in Russian).

Введение

Сети стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi) в настоящее время испытывают бурный рост во многих отраслях промышленности. Под высокоплотными беспроводными локально-вычислительными сетями (БЛВС) обычно подразумевают сети, чья емкость, т. е. поддерживаемое число клиентских устройств на квадратный метр площади превышает емкость сетей «традиционной» архитектуры. В большинстве случаев за пороговое значение принимается одно устройство на квадратный метр¹ [1].

Под сетями Wi-Fi высокой плотности (далее СВП) понимается беспроводная среда с высокой концентрацией пользователей, где пользователи подключены к беспроводной сети и интенсивно работают с сетевыми сервисами. Это могут быть сети на таких объектах как конференц-залы, большие учебные аудитории, танцплощадки, стадионы, пресс-центры, концертные залы, аэропорты, торговые площадки, биржи, казино и др.².

В подобной ситуации даже в высшей степени грамотно спроектированная сеть Wi-Fi, имеющая хорошие уровни сигнала и отношение сигнал/шум на целе-

¹ Aruba High Density Wireless networks for Auditoriums. VRD. Aruba. 2010.

² Там же.

вой площади оказывается не в состоянии обеспечить необходимую производительность ввиду недостаточной емкости. Ограничивающим фактором является ограниченность такого ресурса как время занятия среды передачи, особенно в условиях высокой интерференции. Поскольку среда распространения сигнала в беспроводных сетях не ограничена и доступна всем, клиенты и точки доступа (ТД) делят между собой ее временной ресурс для того чтобы иметь возможность передавать данные. Вместо этого должна быть определена совокупная клиентская емкость для всего числа клиентов, а целью проектирования сети является обеспечение эффективного использования радиочастотного ресурса. Спектральная емкость, использование каналов, интерференция, повторное использование частотных каналов и регуляторные требования – становятся важнейшими параметрами при планировании – в дополнение к уровню сигнала и соотношению сигнал/шум (далее ОСШ). Это требует глубокого анализа возможностей клиента, требований приложений, характеристик площадей и соответствующего применения необходимых ТД. Целью является сегментирование зоны покрытия на минимальные по геометрическому размеру ячейки и домены коллизий (различные радиочастоты), при этом повышая, насколько возможно, использование имеющегося спектрального ресурса³.

Ввиду частой неоднозначности толкования некоторых терминов в контексте сетей 802.11, для ясности дальнейшего изложения, прежде всего, обратим внимание на ряд понятий и определений.

Домен коллизий в сетях стандарта IEEE 802.11

Прежде всего, нужно помнить, что домен коллизий в беспроводной сети отличается от своего аналога в проводной ЛВС. В смысле проводных ЛВС, домен коллизий – это часть сети, в которой одновременная передача двумя и более устройствами приводит к наложению и искажению передаваемых сигналов. Изначально термин использовался для описания специфики первого поколения проводных сетей стандарта Ethernet, однако уже при переходе на режим full-duplex, исходное его значение изменилось. Например, типовое [2] определение этого понятия для проводных ЛВС, выглядящее как: «Домен коллизий (*collision domain*) – это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла», в БЛВС в принципе неприменимо, поскольку при беспроводной передаче факт коллизии определить невозможно. В рассматриваемых беспроводных сетях Wi-Fi расстояние между узлами и затухание сигнала может варьироваться в широких пределах, потому и смысл домена коллизий здесь несколько иной.

Для канального уровня сетей 802.11, суть домена коллизий имеет свою специфику. Во всех радиосистемах будут создаваться помехи, если два передатчика будут одновременно работать на одной частоте. Особенность технологии 802.11 заключается в использовании механизма CSMA/CA, использующего, помимо механизма обнаружения энергии в среде распространения, еще и механизм виртуального контроля несущей (*virtual carrier sensing*). Однако важным нюансом является роль, которую играет преамбула кадра в виртуальном контроле несущей, и, как следствие, в конфигурации домена коллизий в пространстве и во времени.

³ Aerohive. High Density Wi-Fi Design Principles. 2012.

Получается, что в большинстве случаев допустимо поставить знак равенства между понятиями «канал» (в рамках, определяемых стандартом IEEE Std 802.11⁴) и «домен коллизий». Домен коллизий в БЛВС можно рассматривать с различных точек зрения:

- единица емкости 802.11 сети;
- геометрическое место точек пространства, в которых устройства 802.11, работающие на одной частоте могут декодировать преамбулы кадров друг друга;
- одновременно с этим, домен коллизий – это событие с вероятностной природой в процессе работы сети, имеющее коечную длительность. Коллизия между двумя близлежащими устройствами не происходит, если передача происходит в разное время⁵.

Наконец, домен коллизий имеет динамическую природу, поскольку его свойства меняются во времени и пространстве вместе с перемещением передающих устройств.

Сота/Ячейка и домен коллизий

Под ячейками/сота́ми обычно понимаются зоны, где уровень принимаемого сигнала и/или ОСШ соответствуют установленным требованиям, а так называемая «граница ячейки» - это расстояние от точки доступа, на котором достигается пороговое значение. Домен коллизий продолжается до тех пор, пока ОСШ не достигает порога детектирования преамбулы, и обычно далее. На практике этот предел определяется сигналом с уровнем от –82 до –90 дБм. Таким образом, размеры «ячейки» обычно значительно меньше размеров области домена коллизий⁶.

ОСШ/ОСИШ

ОСИШ (отношение сигнал/(интерференция+шум)) – это величина, используемая для верхней оценки пользовательской емкости канала. В определенном смысле, эта величина является аналогом ОСШ и определяется как соотношение между уровнем принятого сигнала и суммой мощностей шума и мощностей интерферирующих сигналов. Очевидно, что в случае, если интерференция в радиоканале отсутствует, то ОСШ и ОСИШ идентичны.

Свойства домена коллизий

Для понимания домена коллизий в сетях IEEE 802.11 необходимо определить три принципиальных его свойства – ресурс времени, скорость передачи и расстояние (затухание).

Время занятия среды – период времени в пределах зоны покрытия, занимаемый доменом коллизий. Истинно разделенные домены коллизий, действующие на одном частотном канале, также разделены по времени. В этом случае обе стороны – передающая и принимающая – в каждом домене коллизий работают

⁴ IEEE Std 802.11. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. 2016.

⁵ Aruba VHD 802.11ac Networks VRD. Theory Guide v1. Chuck Lukaszewski. 2015.

⁶ См. выше.

в определенный момент времени, без блокировки среды другой парой сетевых станций. Таким образом, их передачи разнесены во времени.

Под скоростью передачи понимается скорость передачи данных в течение отдельного тайм-слота. Скорость зависит в первую очередь от ОСИШ измеренного на приемнике. В сетях 802.11 скорость определяется схемой модуляции и кодирования⁷.

Под расстоянием обычно понимается геометрическое расстояние между приемником и передатчиком. В смысле ОСИШ – граница домена коллизий, это предельное расстояние от точки доступа, на котором возможно декодирование поля L-SIG преамбулы, которая передается модуляцией BPSK. Для работы BPSK необходим ОСШ не менее 5 дБ⁸. Все составляющие ниже этого предела будут сочтены шумом.

Более детально модель домена коллизий, демонстрирующая данный подход, приведена в [Aruba VHD 802.11ac Networks VRD. Theory Guide v1. Chuck Lukaszewski. 2015].

Клиентская емкость БЛВС

Поскольку в дальнейшем будет часто использоваться этот термин, необходимо явно дать ему определение. Определим клиентскую емкость СВП (или просто емкость) как число одновременно активных клиентских устройств в расчете на ячейку радиопокрытия, которое инфраструктура БЛВС способна обеспечить связью при соблюдении заданных характеристик качества обслуживания. Особо обратим внимание, что речь идет не о числе ассоциированных с сетью устройств, которое обычно в несколько раз больше и ограничивается в стандарте значением в 255 клиентов на радиомодуль. В большинстве случаев, практическим пределом является значение в 40^{9,10} одновременно активных пользователей в расчете на радиомодуль.

Особенности среды высокой плотности

Основная проблема СВП заключается в необходимости обеспечить работоспособность беспроводной сети в условиях высокой интерференции, когда радиопокрытие всей целевой площади только исходя из требования достаточного уровня приема сигнала не отвечает требованиям сетевых сервисов.

Несмотря на все современные успехи и достижения в развитии технологии, такие как совершенствование режимов модуляции и кодирования (*Modulation and Coding Sequence* – MCS) и рост производительности радиомодулей, произошедшие в последние годы, сама физическая радиочастотная суть сетей Wi-Fi изменений не претерпела. Основной задачей проектирования сетей СВП является увеличение возможного числа обслуживаемых клиентов сети, размещенных на возможно меньшей площади ячейки сети

⁷ IEEE Std 802.11. IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. 2016.

⁸ См. выше.

⁹ Aruba High Density Wireless networks for Auditoriums. VRD. Aruba. 2010.

¹⁰ Ruckus Wireless. Deploying very High Density Wi-Fi. Design and Configuration Guide for Stadiums. 2012.

Как уже говорилось, СВП относится к средам, где плотность расположения клиентских устройств превышает обычную по сравнению с типовыми офисными помещениями. Далее эти отличия рассмотрены подробнее. Совокупная доступная пропускная способность сети, т. е. скорость передачи полезных данных, измеренная на проводном интерфейсе ТД, относится к ячейке сети, поэтому количество пользователей, а также характеристики их соединений (MCS, тип MIMO, диапазон, уровень сигнала, ОСШ) для данной ячейки сети определяют удельную пропускную способность.

Так, например, в типичном офисном помещении при уровне сигнала в -67 дБм расстановка точек может исходить из 1 ТД на 300–400 кв. м с 20–30 пользователями на ячейку. Это соответствует плотности в 1 пользователя на 10–20 кв. м при уровне -67 дБм. Характеристики подобных сетей исследовались, в частности, в работах [3, 4]. По сравнению с этими данными, в СВП плотность пользователей резко возрастает. Например, в зрительских залах кинотеатров, пользователи размещаются очень плотно. Плотность размещения пользователей обычно неравномерна в пространстве и варьируется от максимальной (например, среди рядов кресел) до сравнительно малой (подиумы, кафедры, проходы). Характеристики сигнала, принимаемого от ТД, сильно зависят от условий распространения. Направления на точки доступа, обычно, открыты из любой точки обслуживаемого пространства, клиентские же устройства расположены очень плотно, и окружены различного рода естественными препятствиями, создающими дополнительное затухание. Поэтому, для клиентского устройства, основным источником интерференции в СВП являются другие клиентские устройства. Для примера со зрительским залом площадь занимаемого пространства каждым из пользователей может быть примерно оценена как прямоугольник с длиной порядка 1 м (расстояние вытянутой руки) и шириной около 0,6 м (обычная ширина кресла). С учетом того, что на каждого пользователя в среднем приходится более одного клиентского устройства, получаем среднюю оценку плотности ассоциированных с сетью устройств в 2 шт./кв. м.

Преобладающим по своему влиянию на клиентские устройства фактором является ухудшение ОСШ, связанное с внутриканальной и межканальной интерференцией, порождаемой сигналами от близко расположенных устройств (в этом случае говорят о ОСИШ – отношение сигнал/интерференция + шум). Проектирование сети может минимизировать это влияние и максимизировать использование пространства, но полностью исключить этот эффект в высокоплотных средах невозможно.

В высокоплотных средах дополнительно необходимо учитывать варьирующиеся модели использования сети. Например, это может быть как эпизодическое использование сети для передачи данных небольшим процентом ассоциированных пользователей, так и высоконагруженная пользовательским трафиком сеть при массовой передаче контента слушателям или зрителям, где нагрузка может временами приближаться к 100 % [1].

Покрытие и емкость

В связи с тем, что все больше устройств с поддержкой последних версий стандарта IEEE 802.11 выходит на рынок, количество клиентских устройств в БЛВС увеличивается. В случае таких объектов как стадионы или выставочные

залы, высокая клиентская плотность этих объектов может внести существенное влияние на работу сети и потребовать применения специфических проектных решений. Основными факторами, влияющими на функционирование СВП, являются: скорость передачи данных, количество и плотность ТД, количество и плотность клиентов, возможности клиентских устройств, характеристики среды, аппаратные возможности точек доступа и фактические возможности по монтажу. При этом разнообразные сети высокой плотности могут иметь индивидуальные требования¹¹.

Большинство WLAN проектируется для развертывания в офисах, складах, гостиницах и др. На подобных площадках обычно требуется беспроводная сеть, спроектированная исходя из среднего числа пользователей с относительно большой зоной покрытия каждой точки доступа. Площадки с высокой плотностью пользователей имеют другие требования, делающие эту модель неприменимой. То, что работает в офисе, не будет работать на стадионе. Ключевым параметром является пользовательская емкость. В таблице рассмотрены основные отличия.

Таблица.

Цели проектирования и учитываемые факторы

| Цель | Площадь покрытия | Пользовательская емкость |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Число точек доступа | Предпочтительно низкое | Предпочтительно высокое |
| Ограничивающий фактор | Затухание сигнала, ОСШ | Интерференция |
| Преграды для сигнала | Плохо | Хорошо |
| Частота | Ниже — лучше | Выше — лучше |
| Предпочтительный тип антенн | Всенаправленные | Направленные |
| Размещение антенны | Выше — лучше. | Ниже — лучше. |
| Критерий проектирования | Зона ОСШ | Зона ОСИШ |

Важнейшей особенностью СВП является необходимость обеспечивать работу большого числа пользователей, расположенных близко друг к другу. Большое число пользователей и устройств требует большого числа точек доступа, что в свою очередь ведет к высокой интерференции. Интерференция – важнейший движущий фактор при проектировании СВП. В инженерной практике существует несколько подходов, комбинирование которых позволяет минимизировать данный эффект:

- Расширение используемого спектра в доступных диапазонах (больше каналов – больше потенциальная пользовательская емкость).
- Снижение размера ячеек сети до минимально возможного.
- Увеличение числа точек доступа, но не более чем необходимо для достижений целевой емкости (больше – не значит лучше).
- Высокое повторное использование частот.
- Использование направленных антенн.

¹¹ Ruckus Wireless. Deploying very High Density Wi-Fi. Design and Configuration Guide for Stadiums. 2012.

- Использование конструкций здания для затухания сигнала и разделения ячеек сети.
- Использование специализированного ПО для моделирования радиопокрытия.
 - Оптимизации настроек оборудования.
 - Применение адаптивных алгоритмов для управления сетью в условиях меняющейся радиочастотной обстановки.
 - Нестандартные схемы радиопланирования в диапазоне 2,4 ГГц¹².

Исторически, многие сети Wi-Fi были спроектированы для предоставления радиопокрытия на целевой площади, т. е. целью развертывания БЛВС было обеспечить соответствие требованию уровня принимаемого сигнала. И нередко в инженерной практике возникает необходимость обеспечить радиопокрытие для обеспечения высокой пользовательской плотности, в то время как на заданной площади радиопокрытие Wi-Fi традиционной архитектуры уже есть. В то время как традиционные БЛВС отвечают только основным требованиям по предоставлению доступа типовому небольшому числу пользователей и при небольшой нагрузке, для построения сетей с большим числом пользователей необходим совершенно другой подход. Как уже говорилось, современные беспроводные сети должны проектироваться исходя из текущих и ожидаемых показателей производительности заданного числа пользователей, нежели просто из соображений радиопокрытия. Из последнего, очевидно, следуют различия в функциональных характеристиках сетей. Использование уровня сигнала, как будет показано в дальнейших работах, – непоказательно как критерий качества сетевых услуг и характеристик сети в целом в случае СВП.

Исторически традиционное планирование сетей Wi-Fi ориентирующееся на уровень сигнала, не принимает в расчет такие факторы как:

- Минимизация интерференции, как внутриканальной (*Co-Channel Interference* – CCI) так и межканальной (*Adjacent Channel Interference* – ACI).
- Стремление к максимальной эффективности использования радиочастотного спектра, например, путем пространственного совмещения радиомодулей, работающих на разных каналах диапазона 5 ГГц.
- Балансировка клиентов между диапазонами (*band steering*) для оптимизации использования частотного спектра.
- Балансировка клиентов между точками доступа (*client balancing*) в зависимости от доступного эфирного времени, требуемой приложением скорости и задержки.
- Соблюдение заявленных характеристик качества обслуживания QoS, в соответствии с IEEE 802.11e.

Для большинства организаций заметна устойчивая тенденция адаптировать существующие сети Wi-Fi для поддержки плотного размещения пользователей. Однако, такой подход должен применяться с осторожностью, поскольку ограничения существующих архитектур могут негативно повлиять на проектные решения и сделать невозможным достижение целевой производительности и емкости

¹² Ruckus Wireless. Deploying very High Density Wi-Fi. Design and Configuration Guide for Stadiums. 2012.

БЛВС. Необходимо понимать, что простое добавление точек доступа в существующую инфраструктуру без соответствующего обоснования является крайне неэффективным, если вообще возможным, способом решить подобную проблему.

Выводы

1. В работе сделан обзор основных понятий сети IEEE 802.11 с высокой плотностью пользователей.
2. Показаны качественные отличия в требованиях к проектированию сетей, ориентированных на покрытие и на пользовательскую емкость.
3. Показано принципиальное различие в подходах к проектированию сетей традиционной емкости и СВП.
4. Даны определения домена коллизий и ячейки, как понятий принципиально важных для понимания при проектировании СВП.
5. Определены основные задачи проектирования СВП стандарта IEEE 802.11.

Литература

1. Florwick J., Whiteaker J., Amrod A. C., Woodhams J. Wireless LAN Design Guide for High Density Environments in Higher Education. Cisco Systems. 2017.
2. Родичев Ю. А. Компьютерные сети: архитектура, технологии, защита. Самара: Универс- групп. 2006. 468 с.
3. Викулов А. С., Парамонов А. И. Исследование нагрузки в сети стандарта IEEE 802.11 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 4. С. 1–7.
4. Викулов А. С., Парамонов А. И. Анализ эффективности использования канала сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 по результатам наблюдений // Интернет вещей и 5G. 2017. С. 68–73.

References

1. Vikulov A., Paramonov A. IEEE 802.11 WLAN Load Analysis // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss 4. pp. 1–7 (in Russian).
2. Vikulov A., Paramonov A. IEEE 802.11 WLAN Channel use Efficiency Analysis Based on Monitoring Results // International Conference on the Internet of Things and Its Enablers (INTHITEN). 2017. pp. 68–73.
3. Florwick J., Whiteaker J., Amrod A. C., Woodhams J. Wireless LAN Design Guide for High Density Environments in Higher Education. Cisco Systems. 2017.
4. Rodichev Y. Computer Networks: Architecture, Technology, Protection. Samara: Univers- групп. 2006. 468 p.

Викулов Антон Сергеевич

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, asv012016@gmail.com

Парамонов Александр Иванович

– доктор технических наук, профессор, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, alex-in-spb@yandex.ru

Vikulov Anton

– Postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, asv012016@gmail.com

Paramonov Alexander

– Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, alex-in-spb@yandex.ru