

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПОМЕХ В ЗАДАЧЕ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ 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

Учет помех в сетях стандарта IEEE 802.11 является важной задачей при развертывании БЛВС на всех этапах – от планирования до радиообследования и пусконаладки. Однако в сетях БЛВС с высокой плотностью пользователей, этот фактор по праву становится важнейшим. К проектированию таких БЛВС невозможно корректно подойти без понимания степени загрязненности эфира различными источниками сигналов, причем их влияние сильно зависит от их природы.

Предмет исследования. Статья посвящена классификации помех в сетях IEEE 802.11 и рассмотрению их влияния на БЛВС с высокой плотностью пользователей. **Метод.** В основу данной работы положены руководства по проектированию БЛВС, от компаний-производителей оборудования, рекомендации экспертов, а также более чем 5-летний личный опыт проектирования. **Основные результаты.** Проведен анализ влияния различных видов помех на БЛВС. Проведен анализ механизмов обеспечивающих возможность работы сетей стандарта IEEE 802.11 в условиях помех. **Практическая значимость.** Показана необходимость учета полной формы спектральной маски канала при учете межканальной интерференции в процессе частотно-территориального планирования БЛВС.

Ключевые слова

IEEE 802.11, БЛВС, высокая плотность пользователей, помехи, интерференция.

Информация о статье

УДК 004.725.5

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 18.01.18, принята к печати 28.02.18.

Ссылка для цитирования: Викулов А. С., Парамонов А. И. Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 1. С. 21–31.

ANALYSIS OF RADIO INTERFERENCE INFLUENCE ON THE DESIGN PROCESS OF THE HIGH DENSITY WI-FI NETWORKS

A. Vikulov^{1*}, A. Paramonov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: asv012016@gmail.com

Abstract—The consideration of radio interference in IEEE 802.11 networks is an important task in all stages of WLAN deployment – from design to installation. But in high density wireless networks this factor is truly one of the most important ones. The correct design of high density Wi-Fi networks is impossible without understanding of different types of radio signals that operate in the area, as their influence on the WLAN designed highly depends on the nature of the signals. **Research subject.** The present work is devoted to the radio interference classification and its influence on high density Wi-Fi networks. **Method.** The ground for this work are: Wi-Fi solution vendors design guides, recommendations of the experts and own more than 5-year design practice. **Core results.** The different types of interference influence on WLAN have been analyzed. The mechanisms that provide WLAN operation during interference are shown. **Practical relevance.** The importance of taking into consideration of the full view of transmit spectrum mask is shown. This is crucial when considering the adjacent channel interference during the channel planning of the WLAN.

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

Article info

Article in Russian.

Received 18.01.18, accepted 28.02.18.

For citation: Vikulov A., Paramonov A.: Analysis of radio interference influence on the design process of the high density Wi-Fi Networks // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 1. pp. 21–31 (in Russian).

Введение

Ввиду особенностей работы механизма доступа к среде, в сетях IEEE 802.11 принципиально можно выделить несколько видов помех, которые мы рассмотрим ниже подробнее.

Многие проектировщики справедливо опасаются влияния радиосигналов сторонней природы на сети Wi-Fi. Под такими сторонними устройствами могут скрываться камеры видеонаблюдения, видеокамеры, беспроводные интерфейсы систем СКУД и SCADA, и многое другое, включая возможные широкополосные источники помех. Однако обычно большую часть интерференции составляют именно помехи от сторонних сетей IEEE 802.11.

На больших открытых площадках, например, на стадионах, обычно наблюдается высокая Wi-Fi интерференция. Связано это с отсутствием препятствий распространению сигнала и большим числом пользователей. Если в зоне обслуживания точки доступа (ТД) находится другая точка доступа, работающая на том же канале, то возникнут эффекты внутриканальной интерференции (*Co-Channel*

Interference – CCI). Как правило, в сетях высокой плотности (СВП), в зоне расположения пользователей размещается большое число точек доступа, многие из которых могут работать на одном канале. Чем больше будет таких точек, тем выше будет CCI.

Выраженность CCI в сети Wi-Fi зависит от многих факторов: тип точки доступа, тип антенны, выбранное местоположение и др., в зависимости числа клиентских устройств в зоне покрытия. При этом возможную интерференцию необходимо держать на минимальном уровне. CCI – является основной причиной, по которой сети с избыточным числом точек доступа испытывают проблемы при эксплуатации. В этом смысле, цель планирования БЛВС – увеличить количество точек доступа настолько, что дальнейшее увеличение не будет изменять совокупную емкость сети¹.

Межканальная интерференция (*Adjacent Channel Interference – ACI*) имеет место, когда в спектре пересекаются полосы сигналов, передаваемых на различных каналах. Данное явление встречается повсеместно в БЛВС, и в некоторой степени является «неизбежным злом», поскольку ячеистый принцип построения БЛВС подразумевает пересечение зон покрытия точек доступа, работающих на различных каналах. В системах моделирования² радиопокрытия и радиообследования, данная характеристика представляется параметром Channel Overlap, который обозначает число каналов, пересекающихся в спектре. Важно отметить, что обычно здесь имеется ввиду пересечение основных частей маски канала, т. е. от центральной частоты до точки В. Важность этого нюанса не стоит недооценивать. На рис. 1³ приведена основная спектральная маска, т. е. максимально допустимая спектральная плотность энергии сигнала передачи, выраженная как функция частоты⁴ OFDM-модулированных каналов соответственно стандартов IEEE802.11g/n(2.4 ГГц)/ac.

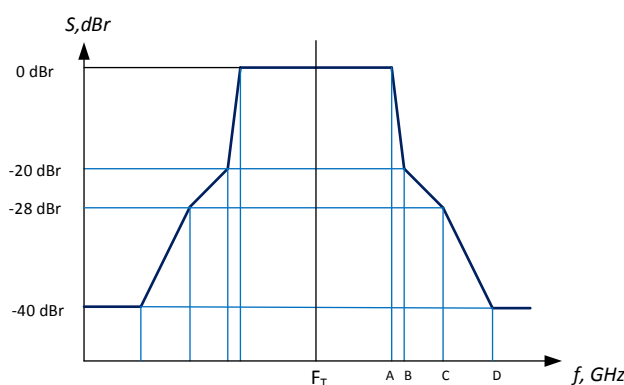


Рис. 1. Спектральная маска каналов

¹ Ruckus Wireless. Deploying very High Density Wi-Fi. Design and Configuration Guide for Stadiums. 2012.

² Ekahau Site Survey User Guide. 2015.

³ 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.

⁴ ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4-2011: Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 4. Общие термины в области радиосвязи.

Сети 802.11 в известной степени являются конкурентными, в них используются механизмы CCA (*Clear Channel Assessment*) для определения состояния среды (если среда занята – ожидание, если свободна – передача). Принцип работы CCA основан на задании порога приема, который определяет активность передающих устройств, использующих общую среду передачи. При этом механизм доступа к среде состоит из двух частей. Во-первых, это контроль несущей (*Energy Detection – ED*). Например, порог ED для каналов шириной 20 МГц составляет –62 дБм. Т. е. обнаружение любого сигнала с уровнем выше порогового вызовет остановку работы. Во-вторых, это виртуальный контроль несущей (*virtual carrier sense*), определяемый управлением параметром NAV (*network allocation vector*). Этот случай распадается на два этапа: демодуляция L-SIG преамбулы (ее порог на 20 дБ меньше, чем порог ED), определяющей длительность передачи L1; а также использование RTS/CTS кадров, содержащих данные о длительности передачи на L2, в случае задействования этого механизма. В табл. приведены пороговые значения уровня приема сигнала для некоторых каналов⁵.

Таблица.
Пороговые значения для уровня приема в каналах различной ширины

Ширина канала	Порог определения преамбулы PD (основной канал)	Порог определения преамбулы PD (вторичный канал)	Порог ED
20 МГц	–82 дБм	–72 дБм	–62 дБм
40 МГц	–79 дБм	–72 дБм	–59 дБм
80 МГц	–76 дБм	–69 дБм	–56 дБм
160 МГц	–73 дБм	Н/д	Н/д

Однако, поскольку каналы шириной 40 МГц и выше фактически не применяются в сетях высокой плотности (СВП), о чем подробнее будет сказано отдельно, фактически есть смысл рассматривать только значения для 20 МГц, а именно –82 дБм. В подавляющем большинстве случаев, именно пороговое значение уровня в –82 дБм определяет размер домена коллизий [1].

Отдельно отметим, существование в стандарте ограничения на максимальный уровень приема, –30 дБм для 5 ГГц и –20 дБм для 2,4 ГГц. При превышении этих порогов, приемник прекратит свою работу на установленный период времени.

Внутриканальная интерференция

Внутриканальная интерференция имеет место, когда сигнал от двух отдельных передатчиков (базовых станций) достигает одного приемника (клиентского

⁵ 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.

устройства). Этот тип интерференции обычно происходит, когда один канал присвоен нескольким точкам доступа, находящимся на небольшом расстоянии друг от друга, таким образом, что при приеме их сигналы достаточно сильны и накладываются друг на друга, вызывая интерференцию.

Внутриканальная интерференция – это побочное явление концепции повторного использования частоты, лежащей в основе ячеистой архитектуры протяженных в пространстве сетей Wi-Fi. Согласно ней, требуется располагать точки доступа с одинаковыми частотами таким образом, чтобы максимально избежать интерференции между одинаковыми частотными каналами. CCI – это принципиальный фактор для понимания поведения и производительности СВП стандарта IEEE 802.11. Эффекты CCI могут вызвать задержки в канале передачи данных, коллизии при передаче и искажение принимаемых данных. На рис. 2 показан спектр в диапазоне 2,4 ГГц, полученный при радиообследовании и демонстрирующий высокую CCI. Отметим, что маска канала приведена очень условно и не соответствует корректной форме, приведенной на рис. 1.

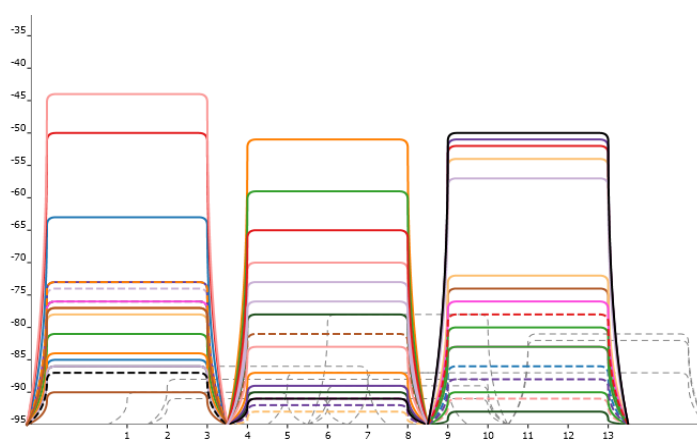


Рис. 2. Эффект CCI

Перегруженность сети в этом случае вызывается наличием большого числа ячеек сети, и как следствие – устройств, работающих на одном канале. Ввиду того, что БЛВС стандарта IEEE 802.11 является средой с полудуплексом, только одно из устройств в пределах ячейки может передавать в отдельный момент времени. Вышесказанное касается и точек доступа. Чем больше устройств находится в процессе состязания за эфирное время, тем меньшая его доля достается каждому отдельному клиенту. Помимо этого, наличие большого числа устройств повышает вероятность одновременной передачи, что вызывает коллизию, повторную передачу данных и, как следствие, общую задержку в работе сети. Чтобы от этого избавиться, на канальном уровне стандарта используется механизм предотвращения коллизий (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance – CSMA/CA*).

Ориентированная на клиентскую емкость архитектура БЛВС вносит значительное различие между расстоянием, на котором клиенты ассоциируются с точкой доступа, т. е. радиус ячейки, определяемый расстоянием при заданном уровне сигнала и радиусом домена коллизий. Радиус ячейки определяется расстоянием при заданном уровне сигнала, который чаще задается значением по-

рядка –60 дБм. В то же время радиус домена коллизий задается через расстояние, на котором точки доступа создадут внутриканальную помеху, т. е. их сигнал будет принят с уровнем выше, чем порог демодуляции преамбулы (PD). Поэтому, точки доступа будут создавать внутриканальные помехи на гораздо больших расстояниях, чем радиус ассоциации клиента с точкой. Таким образом, внутриканальную интерференцию следует более точно определять, как состязание за доступ к среде между сетевыми устройствами, в случае если они способны демодулировать заголовок кадра и отложить свою передачу во избежание искажения переданного кадра. CCI – наиболее распространенная причина низкой производительности и емкости в СВП.

В результате внутриканальной интерференции, ячейки нескольких ТД вынуждены делить эфирное время друг с другом. Невозможно расширить сетевую емкость простым добавлением точек доступа без внимательного учета схемы радиопланирования, поскольку в общем случае это повысит число точек, работающих на одном канале в «конкурентном радиусе» друг друга, что приведет к большей конкуренции точек доступа за эфир вместо повышения сетевой емкости.

Вышеприведенное описание перегруженности, исходит из одной точки доступа, с которой работают клиенты. Однако, если работает несколько точек доступа в пределах одного частотного канала, то в результате будут наблюдаться эффекты внутриканальной интерференции (CCI). Многочисленные точки доступа и их клиенты, работающие на одном канале, создают CCI, когда эти устройства расположены достаточно близко друг к другу. Когда одно устройство передает, все остальные, работающие на этом канале ожидают освобождения эфира. Это означает, что одна точка доступа прекратит передачу, если услышит в том же канале передачу другой точки или ее клиента. В подобном случае речь не идет о росте емкости сети, увеличивается лишь покрытие, поскольку данные точки делят между собой ресурс одного частотного канала.

Аналогию можно найти в сетях сотовой связи. Чем большее количество базовых станций присутствует в системе, тем сложнее избегать эффекта интерференции.

С происходящим связана «проблема скрытого узла» [2]. Клиент принимает сигналы других устройств, но противоположная сторона – не принимает сигналов клиента. В этом случае происходит коллизия, приводящая к потере данных и как следствие – времени. Несмотря на то, что на этапе проектирования и пусконаладки эту проблему можно свести к минимуму, в случае ее возникновения в реальной сети единственный выход для клиента – осуществить повторную передачу данных.

В примере на рис. 2 клиентские устройства и точки доступа испытывают сложности ввиду того, что они «слышат» множество ТД. В этом случае, ячейки сети выглядят на физическом уровне как одна «сверхячейка». В восходящем потоке передачи всех ТД будут видны клиенту как занятый канал, а клиент будет ждать возможности провести передачу. В нисходящем потоке ситуация будет хуже – передачи с ТД будут создавать коллизии и повторную передачу кадров только увеличат конкурентную нагрузку что еще сильнее снизит реальную скорость. Эффекты CCI не ограничены ячейкой сети. В высокоплотном окружении клиенты сами по себе создают эффект увеличения размера ячейки, поскольку их передачи могут быть приняты за пределами их ячейки.

При любом планировании сети Wi-Fi эффекты CCI могут быть ограничены изоляцией отдельных ячеек одна от другой путем использования непересекающихся каналов и используя имеющиеся возможности к ослаблению сигнала, например, разнообразные препятствия (стены и пр.). Очевидно, нельзя намеренно располагать две точки доступа, работающие на одном канале, рядом друг с другом. При правильном планировании традиционных БЛВС, CCI фактически отсутствует. Однако в высокоплотной сети расстояния ограничены и распространению сигнала ничто не мешает, что вкупе с высокой плотностью ячеек почти всегда приводит к весьма заметным внутриканальным помехам [3].

В общем случае, при построении СВГ должны учитываться следующие факторы с целью уменьшения эффектов CCI:

- уровень мощности сигналов в сотах, использующих одинаковые каналы (самый важный фактор);
- расстояние между точками доступа;
- тип антенн, используемых в ячейках с одинаковыми частотами.

Для этого используются следующие методы:

- использование направленных антенн там, где это необходимо;
- уменьшение мощности сигнала, излучаемого базовой станцией;
- учет высоты размещения точек доступа и расстояния от нее до целевой площади покрытия ячейки [4].

Важно понимать, что конечным результатом этих действий становится уменьшение размеров ячейки, покрываемой одной ТД.

Создание схемы радиопланирования, при которой внутриканальная интерференция минимальна, значительно проще выполнить в диапазоне 5 ГГц, чем в диапазоне 2,4 ГГц ввиду большей доступной ширины спектра. Большое число доступных непересекающихся каналов позволяет сделать большее пространственное разнесение точек доступа, работающих на одном канале. В большинстве случаев в диапазоне 2,4 ГГц внутриканальную интерференцию нельзя свести к минимуму, поскольку доступно лишь три непересекающихся частотных канала, а возможность проведения корректного радиопланирования в большой степени зависит от реалий объекта, где планируется развертывание сети Wi-Fi⁶.

Межканальная интерференция (ACI)

Межканальная интерференция имеет место при выполнении одного или нескольких условий:

- Точки доступа недостаточно разнесены в пространстве;
- Имеет место избыточная мощность передатчика точки доступа;
- Некорректно выбрана или направлена антенна.

В идеальном случае, спектры сигналов разных каналов не должны пересекаться при уровнях вплоть до -90 дБм.

Способов борьбы с межканальной интерференцией кроме правильного частотного планирования немного:

- максимальное пространственное разнесение точек доступа, работающих на одном канале;
- снижение уровня мощности передачи на точках доступа.

⁶ Aerohive. High Density Wi-Fi Design Principles. 2012.

Применить первый способ не всегда позволяет геометрия помещения. Что касается второго, то сравнительно небольшое снижение уровня мощности сигнала при передаче, хотя и снижает радиус ячейки, но одновременно с этим в значительно большей мере снижает мощность шума, создаваемого межканальной интерференцией.

В частности, ТД, излучающая на уровне около 18 дБм, загрязняет эфир шумом от АСИ, который всегда выше уровня фонового шума на расстоянии примерно в две ячейки, создавая неблагоприятную радиочастотную обстановку. В условиях сети высокой плотности, даже если близкорасположенные точки доступа не работают на смежных каналах, высокий уровень передачи будет создавать шум в большом радиусе действия⁷.

На рис. 3 показано использование спектра в диапазоне 2,4 ГГц, полученный при радиообследовании и демонстрирующий высокую АСИ.

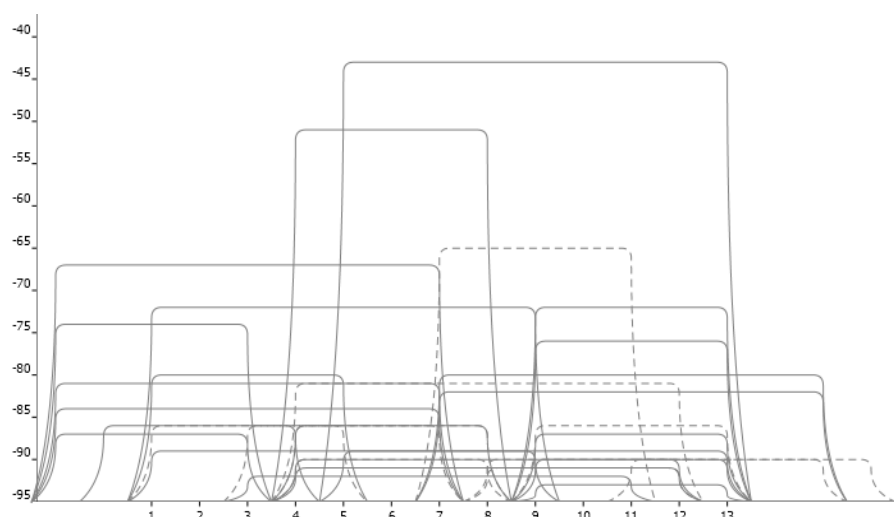


Рис. 3. Эффект АСИ

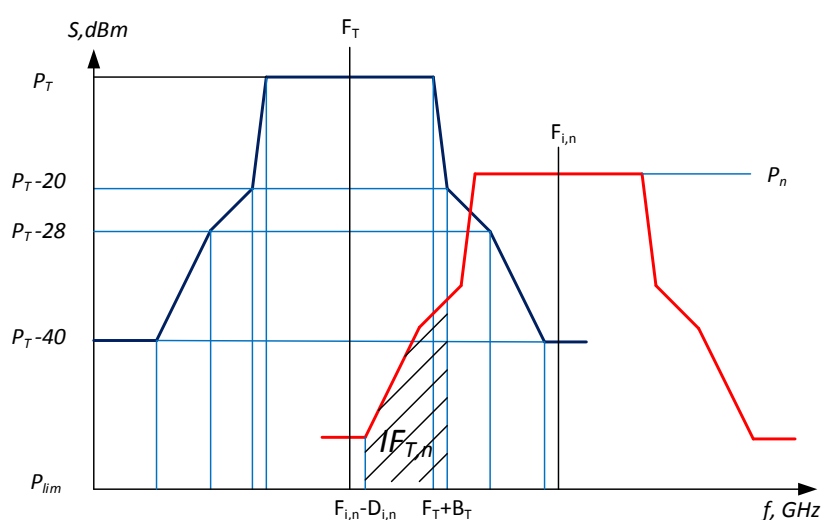


Рис. 4. Модель АСИ в спектре

⁷ Juniper Networks. Coverage or Capacity – Making the Best Use of 802.11n. 2011.

На рис. 4 приведены спектральные маски сигналов двух каналов, доступных пользователю с различным уровнем в соответствии с IEEE Std 802.11⁸. При этом канал с большим уровнем сигнала соответствует ТД, создающей ячейку, где находится пользователь, а за канал с меньшим уровнем отвечает ТД смежной ячейки. Видно, что формально «не пересекающиеся каналы», на деле имеют пересечения своих спектров, создавая АСІ. Аналогично случаю ССІ, полностью избежать межканальной интерференции в диапазоне 2,4 ГГц – невозможно. Впрочем, в 5 ГГц диапазоне эта задача тоже легко не решается, и в большинстве случаев можно говорить только о возможной минимизации этого явления.

При этом необходимо помнить, что уровень передачи на радиомодулях диапазона 5 ГГц должен быть на 6–9 дБ выше, чем на радиомодулях диапазона 2,4 ГГц для повышения эффективности балансировки клиентов между диапазонами, что еще больше ограничит гибкость возможной подстройки сети с помощью уровней передачи. Последнее необходимо для того, чтоб контроллер имел возможность стимулировать клиентов, поддерживающих работу в 5 ГГц к подключению в этом диапазоне.

Что касается механизма IEEE 802.11h (TRP), то на данный момент мало операционных систем в состоянии корректно обрабатывать сообщения этого протокола. Поэтому, например, в документе [1] производитель вообще не рекомендует задействовать поддержку этой технологии.

Помехи сторонней природы в сетях СВП

Работа устройств стандарта IEEE 802.11 создает наибольшую долю помех в сети, однако действующие в сети помехи могут иметь и иное происхождение. Например, помехи могут создавать сторонние устройства, не использующие стандарт IEEE 802.11, но работающие в том же спектре. Обычно подобные устройства работают в диапазоне 2,4 ГГц, хотя проблема встречается также и в 5 ГГц диапазоне. Сюда относятся микроволновые печи, беспроводные (не Wi-Fi) камеры, беспроводные телефоны, микрофоны и др.

Важно понимать роль помех природы, не связанной с Wi-Fi сетями. Обоснование проекта высокоплотной сети может быть скомпрометировано если в том же самом окружении на рабочих частотах будет иметь место помеха существенной мощности. В общем случае помеха сторонней природы влияет на сеть СВП в гораздо большей степени, чем неуправляемый источник сигнала Wi-Fi. Связано это с тем, что все устройства 802.11 используют состязательный метод получения доступа к среде и все сигналы, которые передаются на тех же частотах, но не выполняют эти правила будут легко нарушать работающие методы доступа Wi-Fi, заставляя передающие станции ожидать освобождения среды. Дело в том, что при первоначальном создании стандартов семейства 802.11, большое беспокойство вызывало распространение сетей Wi-Fi и их влияние на лицензированные устройства, работающие на тех же частотах. Поэтому Wi-Fi был спроектирован в очень «вежливом» духе – среда уступается почти любому передатчику, работающему на той же частоте. Спустя 20 лет появилось огромное количество

⁸ 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.

промышленных, научных, медицинских устройств, часто делящих частоты с Wi-Fi. Сложность состоит в том, что все эти устройства, работая в тех же энергетических условиях, что и Wi-Fi, совершенно не обязаны следовать логике MAC стандарта IEEE 802.11 и уступать среду устройствам Wi-Fi, когда им это требуется. Это создает заметную проблему сетям Wi-Fi, поскольку модем 802.11 различает энергию радиоволн только двух типов:

- Wi-Fi (демодулируемый сигнал),
- Шум (все остальное).

Влияние помех сторонней природы на сеть Wi-Fi зависит от загрузки сети. Т. е. при слабой нагрузке на сеть наличие помехи сторонней природы будет едва заметно, поскольку есть резервы (в основном по эфирному времени). Однако, если сеть активно используется, появление даже небольшой помехи сторонней природы окажет крайне заметный эффект [3]. Для борьбы с подобными явлениями существует множество проприетарных технологий от компаний-производителей оборудования. Среди них: Cisco CleanAir^{9,10}, Motorola AirDefense¹¹, Aruba ARM¹² и др.

Интерференция сторонней природы плохо поддается диагностике, помехообразующие сигнала нерегулярны и неочевидны. В подобных случаях помогает проведение радиообследования. В случае развертывания сети «в чистом поле», обязательной основой для проекта должен быть предварительный анализ радиочастотной активности в пределах площадки. Это может быть выполнено любыми анализаторами спектра, например Wi-Spy, Fluke Spectrum XT (AirMagnet), Ekahau Site Survey¹³, либо портативным анализатором от Agilent или Anritsu и др.¹⁴.

После развертывания сети крайне рекомендованным является мониторинг помех встроенными средствами контроллера и точек доступа в зависимости от имеющегося функционала, поскольку состояние радиосреды имеет тенденцию значительно меняться с течением времени.

Выводы

1. В работе разобраны и проанализированы различные радиочастотные помехи, влияющие на работу беспроводных сетей Wi-Fi. Анализ публикаций по данной тематике показал, что наибольшее влияние на работу сети оказывают внутриканальные и межканальные помехи, создаваемые точками доступа и клиентскими устройствами.

2. Выполнен обзор механизмов, обеспечивающих возможность работы сетей стандарта IEEE 802.11 в условиях помех. Рассмотрены методы, предусмотренные стандартом, обеспечивающие минимизацию коллизий в условиях взаимных влияний между устройствами.

3. Проанализирована работа сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей в условиях помех. Показано, что в случае высокой плотности абонентских

⁹ The Cisco Premium. Marcus Burton. CWNP. 2010.

¹⁰ Cisco CleanAir Technology at a Glance. Cisco Systems. 2014.

¹¹ Motorola AirDefense Services Platform. Datasheet. 2013.

¹² Aruba Adaptive Radio Management. Tech Brief. Aruba. 2013.

¹³ Ekahau Site Survey User Guide. 2015.

¹⁴ Ruckus Wireless. Deploying very High Density Wi-Fi. Design and Configuration Guide for Stadiums. 2012.

устройств и точек доступа существенное влияние на работу сети оказывает межканальная интерференция.

4. Отмечена важность учета полной формы спектральной маски сигнала при оценке его интерференционного влияния.

5. Показано, что степень влияния как внутриканальной, так и межканальной интерференции на работу сети существенно зависит от трафика (использования) соответствующих каналов.

6. Результаты анализа основных видов помех и методов, обеспечивающих функционирование сети в условиях помех, показали, что для обеспечения эффективности планирования сети высокой плотности, наряду с частотно-территориальным планированием, необходимо применять методы, учитывающие такие факторы как внутриканальная и межканальная интерференция и использование каналов сети (абонентский трафик).

7. Предметом дальнейших исследований в данном направлении является разработка моделей и методов, учитывающих особенности современных стандартов, абонентского трафика и указанных выше видов помех в задачах анализа и проектирования сетей стандартов IEEE 802.11.

Литература

1. Lukaszewski C. Aruba VHD 802.11ac Networks VRD. Theory Guide v1 Aruba. 2015.
2. Karapadia V. V. et al. Comparative Study of Hidden Node Problem and Solution Using Different Techniques and Protocols // Journal Of Computing. 2010. Vol. 2 Iss. 3. pp. 65–67.
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. Беделл П. Беспроводные технологии. М.: НТ Пресс. 2008. 441 с.

References

1. Lukaszewski C. Aruba VHD 802.11ac Networks VRD. Theory Guide v1 Aruba. 2015.
2. Karapadia V. V. et al. Comparative Study of Hidden Node Problem and Solution Using Different Techniques and Protocols // Journal Of Computing. 2010. Vol. 2 Iss. 3. pp. 65–67.
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. Bedell P. Wireless Technologies. M.: NT Press. 2008. 441 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