

Особенности обеспечения электромагнитной совместимости в сетях связи высокой плотности

А. В. Бобровский

*Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

bobrovskii.av@sut.ru

О. А. Симонина

*Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

olga.simonina@sut.ru

Аннотация. Современные сети высокой плотности чаще всего реализуются на основе одноканальных беспроводных систем малого радиуса действия. При близком расположении устройств возникают проблемы помехового воздействия, при этом использование широкополосных систем позволяет уменьшить взаимное воздействие. Показано, что особенности архитектуры таких сетей могут существенно воздействовать на обеспечение ЭМС. Предложены новые архитектуры для трехмерного пространства.

Ключевые слова: ЭМС; сети высокой плотности

I. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире большая часть сетей высокой плотности реализуется по одному принципу – полудуплексный канал в одном из нелицензируемых спектров, и зачастую для нескольких разных технологий, в одном и том же, исключением можно привести разве что сотовые системы связи с их полным дуплексом и выделенными частотами. Такое распределение в свою очередь накладывает значительные ограничения со стороны электромагнитной совместимости нескольких сетей в связи с наличием трафика разной степени интенсивности в общей полосе частот.

На данный момент нет четкого определения того, какую сеть можно считать сетью высокой плотности, некоторые авторы определяют её абстрактно как сеть с множеством пользователей [1], другие определяют, что сеть, где более 1 пользовательского устройства на 1м², является сетью высокой плотности [2]. И соответственно значительное количество устройств на малой, зачастую indoor, площади будет создавать множество трудностей для оптимальной работы сети. Эти трудности необходимо учитывать при проектировании стандартов будущих сетей, ведь во времена создания сетей предыдущих поколений, механизмов противодействия получившимся проблемам не разрабатывалось.

К технологиям, на основе которых можно строить сети высокой плотности, относятся технологии малого радиуса действия. Это все стандарты *IEEE 802.11*, *IEEE 802.15.1* и *IEEE 802.15.4*, а также устаревший, но крайне надежный *z-wave*. Данные стандарты имеют ограничения по мощности, ориентированные на дальность до 100 м, но в реальности расстояния могут быть больше, иногда в 2 раза. Причем данные стандарты используют нелицензируемые диапазоны, что уже привело к ряду проблем с точки зрения электромагнитной совместимости (ЭМС). В частности, вопросы борьбы с интерференцией решаются через

введение новых механизмов на физическом и канальном уровне, что привело к усложнению совместимости технологий «вниз» [3]. К тому же для этого сегмента беспроводных сетей не разработаны сертифицированные методики планирования. Планирование беспроводных сетей проводится только для сетей *WLAN (Wireless Local Area Network)* и только для случая расширенной архитектуры из нескольких точек доступа. Такая архитектура используется в корпоративных сетях, но в случае большого количества базовых архитектур, расположенных в непосредственной близости (например, это часто встречается в многоквартирных домах), вопросы планирования невозможны.

В данной статье рассмотрим с точки зрения ЭМС широкополосные беспроводные сети малого радиуса действия, так как вопросы планирования для них уже частично решены.

II. ОСОБЕННОСТИ WLAN

Самой используемой технологией для построения сетей высокой плотности является *Wi-Fi* (семейство стандартов *IEEE 802.11*), которая использует гибкие методы доступа к каналу и доступа к среде, которые, однако, приводят к увеличению задержек для низкоприоритетного трафика и уменьшению пропускной способности с ростом количества подключаемых устройств [4].

Так же усугубляется проблема электромагнитной совместимости с ростом количества пользовательских устройств, и, как результат, точек доступа. Учитывая, что выделенный для общего пользования спектр не бесконечен, а запросы пропускной способности растут, требуется расширение полос частот. Однако проблема с наложением спектров встает довольно быстро, ведь в том же диапазоне 2,4 ГГц уместить более 3 каналов точек доступа, не вызвав ни внутриканальную интерференцию (*CCI – co-channel interference*), ни внеканальную (*ACI – adjacent channel interference*) невозможно. Эту проблему частично решили добавлением спектра 5 ГГц, где доступная полоса в несколько раз больше, соответственно, можно разместить значительно больше непересекающихся каналов. Но, как было сказано ранее, потребность в пропускной способности значительно растёт, а расширение полосы пропускания – это один из способов её увеличить, что и делают в полосе 5 ГГц, где используются каналы в 4 и 8 раз больше [5], чем в полосе 2.4 ГГц (рис. 1). Но в результате это приводит к точно такой же проблеме: недостаточно

непересекающихся каналов для организации эффективной работы сетей высокой плотности. Можно отметить, что текущие и планируемые стандарты 802.11 описывают возможность расширения доступного спектра в диапазоны 6 и 7 ГГц, но на данный момент данные частоты не были выделены для пользования в РФ (разрешены только в некоторых странах Района 1 и Района 3). Поэтому, в силу не универсальности решения, такое предложение не может быть рассмотрено как вариант решения. К тому же, учитывая тенденции развития таких сетей, расширение частотного диапазона лишь отдаляет проблему, а не решает её.

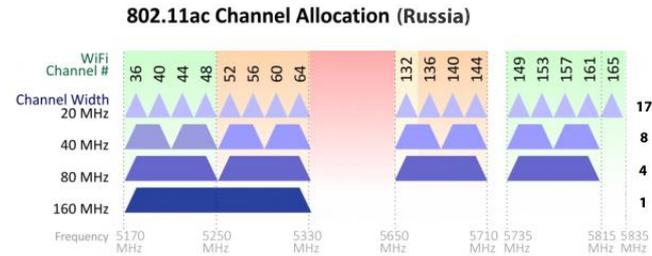


Рис. 1. Доступные каналы в частотном диапазоне 5 ГГц [5]

Хотя использование точек доступа с одним и тем же рабочим каналом на некотором удалении друг от друга не приводит к полному обрыву сети связи, это приводит к значительному уменьшению пропускной способности. В связи с тем, что радиоресурс используется общий и механизмы доступа к каналу позволяют этот общий ресурс использовать сразу несколькими точками доступа, то фактическая доступная скорость падает больше, чем в N раз, где N – это количество точек доступа, работающих на одном канале, поблизости. Это связано с механизмами конкурентного доступа к каналу и дополнительной служебной информацией в канале. Соответственно, для обеспечения ЭМС при планировании сети высокой плотности необходимо это учитывать и использовать методы компенсации.

III. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМС В СЕТЯХ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ $Wt-Ft$

Простейшим таким методом можно назвать чередование каналов у соседних точек доступа. Как показано на рис. 2, хотя соседние точки доступа используют непересекающиеся каналы, но сеть в целом такие каналы использует. Этот подход позволяет избегать значительных помех, связанных с интерференцией, сохраняя при этом относительно высокий уровень средней пропускной способности на каждую подсеть.

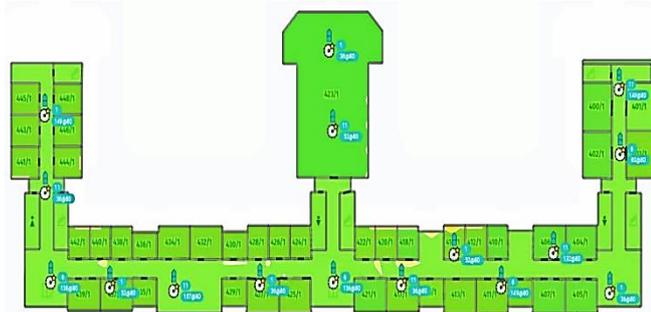


Рис. 2. Пример планирования сети WLAN

При этом такие решения являются «плоскими», то есть не учитывают ни высоту подвеса точек доступа, ни расположение их на различных этажах. Следовательно, такой способ требует дополнительных условий при планировании сети многоэтажного здания, так как, если создавать оптимальный вариант для каждого этажа здания, то точки доступа, работающие на одной и той же частоте, могут оказаться непосредственно друг над другом и могут создавать значительные помехи друг другу. Так как для планирования реального трёхмерного пространства инструменты либо сугубо теоретические, либо не существуют, то одним из вариантов является представление трёхмерного пространства как наложения нескольких слоев двумерного. И для такого способа может быть использовано несколько методов, позволяющих избежать значительных помех в результате наложения одинаковых каналов нескольких точек доступа.

Первым таким методом можно назвать регулировку мощности точек доступа для соответствия текущим условиям окружающей среды. Если несколько точек доступа находятся поблизости и создают помехи друг другу, то имеет смысл понизить их мощность и искусственно уменьшить их покрытие, и таким образом уменьшить или убрать область наложения их сигналов. А учитывая, что между этажами перекрытия практически в любом помещении вносят значительный вклад в ослабление сигнала в зависимости от толщины и типа материала (ослабление может достигать 30–40 дБ), то сигнал от точки доступа при должном уровне ослабления на передатчике, может быть отброшен в силу малой мощности на соседнем слое. Данный метод помимо уменьшения области покрытия точек доступа так же может повлечь за собой уменьшение пропускной способности ввиду уменьшения отношения сигнал-шум на конечном устройстве и автоматическом переходе на более помехоустойчивую модуляционно-кодирующую схему.

Другим методом является метод чередования: например, можно привести сдвиг непересекающегося канала всех точек доступа одного слоя на $m/2$ с округлением вниз, где m – количество доступных непересекающихся каналов. Обозначим расстояние между ближайшими точками доступа a , тогда b – расстояние между точками доступа, работающими на одном канале (рис. 3а). Тогда $b = \sqrt{2a^2} = a\sqrt{2}$, то есть, если в сети точки доступа с одним и тем же каналом не находятся непосредственно друг над другом, расстояние между ними увеличивается минимум в $\sqrt{2}$ раз для прямоугольного помещения.

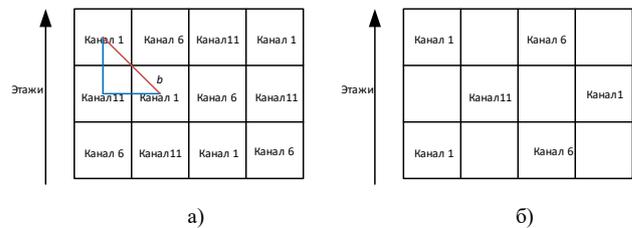


Рис. 3. Вертикальное расположение каналов для диапазона 2,4 ГГц

Заметим, что конфигурация помещения будет иметь важное значение. Также в данном идеализированном варианте размещения принято, что точки имеют одинаковые мощности, высоты подвеса и диаграммы

направленности антенн. Также не учитывается ослабление, вносимое стенами и перекрытиями. Аналогично, для каналов частотного диапазона 5 ГГц будет справедливо минимальное расстояние $2a$, при этом количество каналов 4 (рис. 4а).

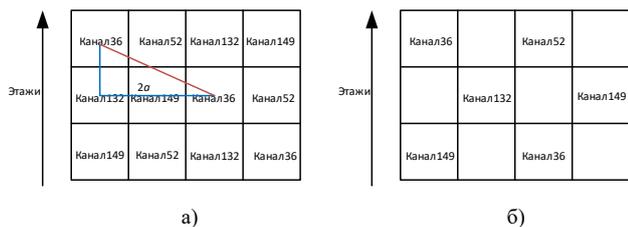


Рис. 4. Вертикальное расположение каналов для диапазона 5 ГГц, разрешенного для использования в Российской Федерации

Для расчёта выигрыша по мощности можно воспользоваться моделью COST231 Multi-Wall [6] для обоих сценариев и сравнить разницу:

$$PL(d) = PL_0 + 10n \log_{10}(d) + \sum_{i=1}^k L_i * \omega_i, \quad (1)$$

где PL_0 – потери на расстоянии 1 метр, n – коэффициент затухания, d – расстояние, L_i – потери при прохождении через препятствие типа i , ω_i – количество препятствий типа i . Тогда выигрыш по мощности при переходе от расстановки точек доступа с одинаковым каналом друг над другом к расстановке соответственно плану согласно рис. 3а составит 18 дБ для типичного помещения со следующими характеристиками: высота этажа 3 м, ширина помещения 5 м, ослабление междуэтажного перекрытия 20 дБ, ослабление межкомнатного – 10дБ. В значительной мере это обусловлено появлением дополнительного препятствия в виде межкомнатной стены.

Таким образом, внутриканальные помехи и не исчезают полностью, но в значительной подавляющей степени, что позволяет сохранить относительно высокую пропускную способность.

Следующий пример расположения точек доступа приведён на рис. 3б: здесь появляются пустые области, в которых могла бы быть расположена точка доступа. Но для борьбы с CSI необходимо уменьшить влияние мешающих точек доступа, следовательно, необходимо увеличить расстояния между ними. В итоге расстояние между областями работы точек доступа с одинаковым номером каналов потенциально увеличивается в 2 раза. Выигрыш в таком случае также можно рассчитать по формуле (1), для данного примера он составит 20 дБ.

Важно отметить, что для обеспечения связи в областях без точки доступа, скорее всего, потребуется увеличить излучаемую мощность активным точкам доступа. С уменьшением количества точек доступа падает и доступная пропускная способность, но надёжность связи возрастает в связи с отсутствием значительного помехового воздействия от других точек доступа.

Отметим, что данные варианты метода чередования являются антагонистичными друг другу, так как при планировании $WLAN$ решаются две оптимизационные задачи: обеспечение максимально возможного количества пользователей или максимального покрытия. В этом случае при использовании метода чередования с пропусками (рис. 3б, 4б) можно реализовать покрытие минимальным количеством точек доступа, но за счет ограничения на количество подключаемых устройств. Учитывая, что сети высокой плотности ориентированы

на использование в решениях IoT (Internet of Thing), такой подход не является перспективным.

Еще одним методом является использование антенн или антенных решёток с такими диаграммами направленности, которые будут исключать значительное излучение в вертикальной оси (рис. 5). Это позволит дополнительно ослабить уровень мешающего сигнала в зонах, где его необходимо исключить.

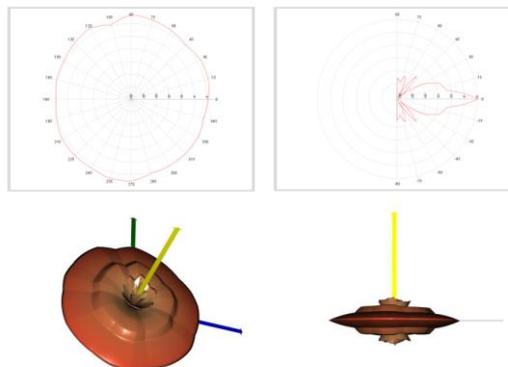


Рис. 5. Пример диаграммы направленности антенны точки доступа Wi-Fi с минимизацией излучения в вертикальной оси

Важно заметить, что данный вариант мало совместим с предыдущим методом, так как в зонах без точек доступа связь будет обеспечиваться в том числе точками доступа с соседних этажей.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, вопрос размещения точек доступа в пространстве может быть решен путем изменения подхода к планированию сети. Заметим, что вопрос выбора минимального расстояния между точками доступа в сетях высокой плотности зависит не только от чередования каналов, но и от физических характеристик технологии. В предложенной архитектуре для двух диапазонов 2.4 ГГц и 5 ГГц возможен выигрыш по мощности до 20 дБ для существующих вариантов реализации корпоративных сетей радиодоступа.

В дальнейшем имеет смысл уточнить ограничения на минимально возможные расстояния, исходя из особенностей реализации физического уровня данных технологий, а также расширить круг возможных архитектур для диапазона 5 ГГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Florwick J. et al. Wireless LAN design guide for high density client environments in higher education //Cisco Systems Design Guide. 2013. С. 5-6.
- [2] Викулов А.С., Пармонов А.И. Введение в сети Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 1. С. 12–20.
- [3] Ле Ч. Д., Симонина О.А. Анализ механизмов сосуществования беспроводных технологий в нелицензируемом диапазоне 2, 4 ГГц //Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. 2015. С. 137-141.
- [4] Wang X., Kar K. Throughput modelling and fairness issues in CSMA/CA based ad-hoc networks //Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Ieee, 2005. Т. 1. С. 23-34.
- [5] Доступные каналы в диапазоне 5 ГГц / [Электронный ресурс] // KEENETIC VIVA: [сайт]. — URL: <https://support.keenetic.ru/eaeu/viva/kn-1912/ru/20211-available-channels-on-the-5-ghz-wireless-network.html> (дата обращения: 16.03.2025)/
- [6] Flattie A.G. Optimizing the existing indoor propagation prediction models //International Conference on Wireless Networks (ICWN 2012). 2012. Т. 49. С. 202-207.