ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ WI-FI, ЕЁ ОСОБЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

BASICS OF WI-FI TECHNOLOGIES, ITS FEATURES AND PRINCIPLES OF OPERATION

УДК 519-7

Лазарев Дмитрий Алексеевич, бакалавр кафедры систем связи и телекоммуникаций, Российский технологический университет - МИРЭА, г.Москва

Хасанов Эльдар Азатович, бакалавр кафедры систем связи и телекоммуникаций, Российский технологический университет - МИРЭА, г.Москва

Lazarev Dmitry Alekseevich, bachelor of the Department of Communication Systems and Telecommunications, Russian Technological University - MIREA, Moscow, e-mail: nocheat999@mail.ru

Khasanov Eldar Azatovich, bachelor of the Department of Communication Systems and Telecommunications, Russian Technological University - MIREA, Moscow, e-mail: has4noff.e@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению Wi-Fi технологии. В последнее время получили распространение телекоммуникационные сети передачи данных. Масштабы проектов увеличились до десятков тысяч точек доступа и сотен тысяч пользователей по всему миру. В данной научной статье кратко изложены сведения о стандартах беспроводной связи IEEE 802.11, так же рассмотрены такие определяющие технологии как MIMO и OFDM, в частности КАМ –

модуляция и её виды, а также топологии беспроводных сетей Wi-Fi и беспроводные каналы связи в стандарте 802.11.

Статья содержит 15 страниц, 1 таблицу, 11 рисунков. При написании статьи авторы опирались на 6 литературных источников.

Annotation

The article is devoted to the consideration of Wi-Fi technology. Recently, telecommunication data transmission networks have become widespread. The scale of projects has increased to tens of thousands of access points and hundreds of thousands of users around the world. This scientific article summarizes the information about the IEEE 802.11 wireless communication standards, also discusses such defining technologies as MIMO and OFDM, in particular QAM - modulation and its types, as well as the topologies of Wi-Fi wireless networks and wireless communication channels in the 802.11 standard.

The article contains 15 pages, 1 table, 11 figures. When writing the article, the authors relied on 6 literary sources.

Ключевые слова: Wi-Fi, беспроводные технологии, Wi-Fi, каналы связи, OFDM, MIMO, КАМ – модуляция, топологии беспроводных сетей.

Keywords: Wi-Fi, wireless technologies, Wi-Fi, communication channels, OFDM, MIMO, QAM - modulation, wireless network topologies.

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ WI-FI MESH

1.1. Характеристика стандартов беспроводной связи IEEE 802.11

Существует большое множество стандартов беспроводной связи. Самыми распространенными для пользователей беспроводной связи являются стандарты IEEE 802.11b, 802.11a, 802.11n, 802.11g. Так же, существует и стандарт 802.11ax, который на сегодняшний день является самым современным, у которого максимальная скорость передачи данных составляет 10747 Мбит/с.

Технология MIMO была выпущена в 2008-м году и ее целью стало – оптимизация скорости приёма и передачи информации и увеличение уровня сигнала за счет технологии MRC. Данная технология собирала информационные сигналы как

прямых, так и переотраженных сигналов. Это необходимо для того, чтобы программа, при помощи математических вычислений, произвела виртуальный сдвиг фаз на сигналах, у которых, по данным анализа, более подходящий уровень сигнала. В итоге, эта операция произвела результирующий сигнал, который получается из суммы составляющих сигналов (рис.1).

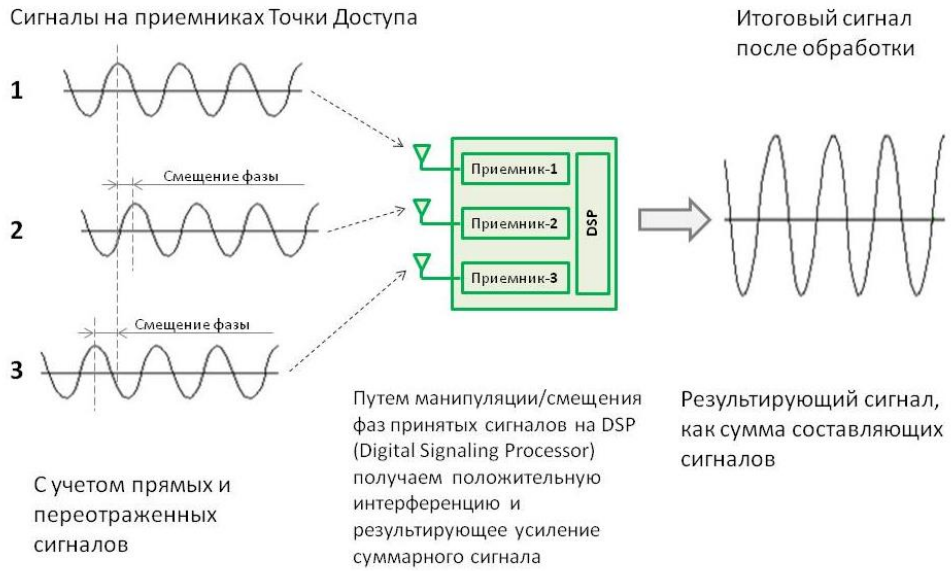

Рис. 1. Модель преобразования сигнала.

По сути, технология MIMO анализирует все входящие сигналы, как прямые, так и переотраженные при многолучевом распространении сигналов и выбирает лучшие из них по уровню сигнала. Далее, разбивает эти сигналы на группы, где происходит виртуальное смещение фаз для улучшения качества сигнала между точкой доступа и пользователем. И уже по этим каналам передаётся информация. А для улучшения скорости передачи информации, информация разбивается на маленькие отрывки и передаётся по этим каналам связи в «разобранном» виде. После, на приёмнике она собирается.

В январе 2014 года был утвержден новый стандарт беспроводной связи 802.11ac, который по сути является усовершенствованной версией стандарта 802.11n. На сегодняшний день, стандарт 802.11ac относится к категории стандартов беспроводной связи с высокой пропускной скоростью. Максимальная пропускная скорость у данного стандарта достигла отметки в 6,77 Гбит/с. Эти показания скорости в 11 раз больше показаний стандарта 802.11n.

Так же, в отличие от предыдущего стандарта, добавлена поддержка модуляции методом квадратичных амплитуд (256-КАМ).

Рассмотрим подробнее квадратурную модуляцию. Основная техническая особенность модуляции несущего колебания цифровыми сигналами заключается в том, что модулируемый параметр принимает ряд дискретных значений. Аналогичное название этого процесса – манипуляция. Модулируемый параметр в течение времени меняется дискретно. Так же введём термины: символьный интервал – период изменений модулируемого параметра; символьная частота – параметр, обратный символьному интервалу. По сути, в течение одного символьного интервала передаётся один бит или несколько битов, которые образуют канальный символ.

Квадратурная модуляция очень часто применяется во время передачи цифровых сигналов. КАМ определяется следующим соотношением:

$$u_{\text{КМ}}(t) = u_1(t)\cos\omega t + u_Q(t)\,sin\,\omega t,$$

где $u_{\text{КМ}}(t)$ – результирующий сигнал, полученный методом квадратичных амплитуд; $u_1(t)$ и $u_Q(t)$ – модулирующие сигналы; $\cos\omega t$ и $\sin\omega t$ – квадратурные составляющие несущего колебания. Соответственно, для демодуляции обычно применяется синхронное детектирование, т.е. результирующий КАМ сигнал $u_{\text{КМ}}(t)$ умножается на $\cos\omega t$ и на $\sin\omega t$.

$$u_{\text{КМ}}(t)\cos\omega t = u_1(t)cos^2\omega t + u_Q(t)\sin\omega t\ \cos\omega t$$
$$= 0.5\,u_1(t) + 0.5u_1(t)\cos 2\,\omega t + 0.5\,u_Q(t)\sin 2\,\omega t$$
$$u_{\text{КМ}}(t)\sin\omega t = u_Q(t)sin^2\omega t + u_1(t)\sin\omega t\ \cos\omega t$$
$$= 0.5\,u_Q(t) - 0.5u_Q(t)\cos 2\,\omega t + 0.5\,u_1(t)\sin 2\,\omega t$$

Параметры с удвоенной частотой подавляются фильтрами низких частот. А в результате мы выделяем ранее использованные модулирующие сигналы $u_1(t)$ и $u_Q(t)$. Благодаря квадратурной модуляции можно достичь увеличения эффективности использования полосы частот в два раза, так как на одной несущей передаются 2 сигнала.

Если резюмировать, можно сказать, что данный вид модуляции преобразует цифровой код в аналоговый сигнал. В названии, цифры 256 означают, что в данной технологии используется 256 ячеек, которые предназначены для бинарных комбинаций. В предыдущей версии стандарта использовалась КАМ модуляция с 16 и 64 ячейками.

Все возможные комбинации битов распределяют и отображают при помощи диаграмм, которые называют сигнальными созвездиями. Распределение комбинаций битов по различным позициям осуществляется с помощью кода Грея – то есть соседние позиции различаются одним битом. Соответственно, если при демодуляции под действием помехи вместо верной позиции будет определена соседняя, на выходе демодулятора будет только один ошибочный бит, а он в свою очередь будет исправлен в декодере.

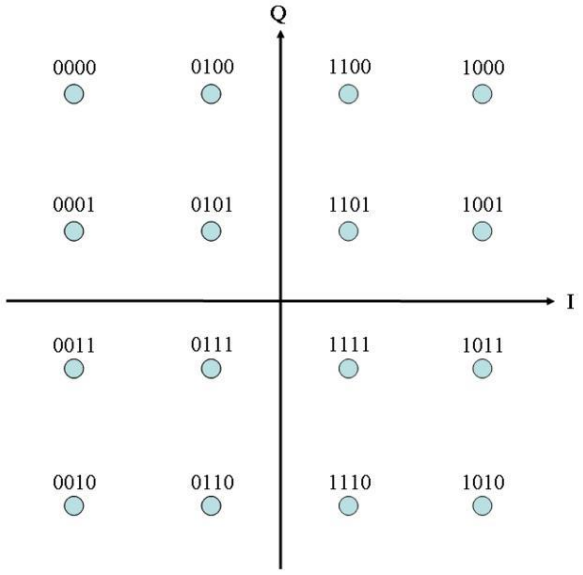

Рис.2. Созвездие сигнала 16 – КАМ.

На рисунке 2 можно увидеть, что значения соседних битов (соседними битами считаются биты, находящиеся слева, справа, сверху и снизу) отличаются на 1 бит.

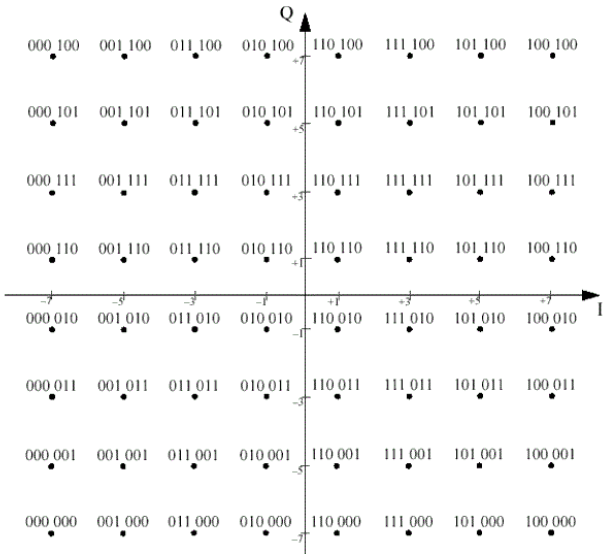

Рис.3. Созвездие сигнала 64 – КАМ.

Самым новым и современным на сегодняшний день является стандарт беспроводной связи IEEE 802.11ax, который в первые был показан на выставке в 2018 году. Его максимальная пропускная скорость достигает отметки в 11 Гбит/с. Работает данный стандарт в диапазоне частот 2.4 ГГц и 5 ГГц, но также появилась возможность работы в диапазоне от 1 до 7 ГГц, если существуют такие спектры в сети. В предыдущем стандарте беспроводной связи использовалась схема модуляции 256-КАМ с 256 ячейками для бинарного комбинирования. В данном стандарте используется та же модуляция КАМ, но уже с 1024 ячейками, называется она 1024-КАМ. Рабочая полоса пропускания данного стандарта осталась прежней. Это 20, 40, 80 и 160 МГц. Так же осталась и технология множественных входов, множественных выходов (MIMO), которая позволяет более эффективно использовать спектр и повышает уровень сигнала между устройством и точкой доступа. Из нововведений, в данном стандарте используется схема модуляции мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), который так же призван для более эффективного использования спектра. Данная схема цифровой модуляции, по сути, разбивает одну несущую на много поднесущих (рис. 4), и информация из точки отправки к пункту назначение доходит разными путями, самостоятельно. Таким образом, передача информации происходит значительно надёжнее и в

некоторых случаях эффективнее, чем с использованием схемы модуляции с одной несущей.

Например, рассмотрим 2 случая:

- В первом, нужно доставить 4 детали конструктора из одного места в другое, и у нас есть определенный ресурс, допустим, 4 человека. При использовании подхода наискорейшей передачи (высокоскоростной вид модуляции, который будет занимать всю полосу канала) все 4 человека пойдут все вместе по одному пути. Допустим, на их пути возникает преграда (в случае информации – узкополосная помеха), которую они не могут преодолеть. В результате детали не достигают точки назначения (другими словами, информация не будет передана). Соответственно, информацию нельзя будет восстановить даже с помощью помехоустойчивого кодирования.
- Во втором случае, при использовании схемы модуляции мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов эти же 4 человека пойдут не все вместе по 1 пути, а раздельно, каждый по своему пути. Когда же кто-то из них встречает преграду и не может её преодолеть, другие доходят до точки назначения. Другими словами, информация будет передана, но с потерями. И уже в этом случае будет шанс восстановить недостающую часть информации с помощью помехоустойчивого кодирования.

На рисунке 4 можно увидеть, как, по сути, 1 сигнал, точнее его несущая, при помощи технологии OFDM делится на множество поднесущих, которые в совокупности представляют ту же информацию, но разбитую по частям, что и обеспечивает эффективность передачи.

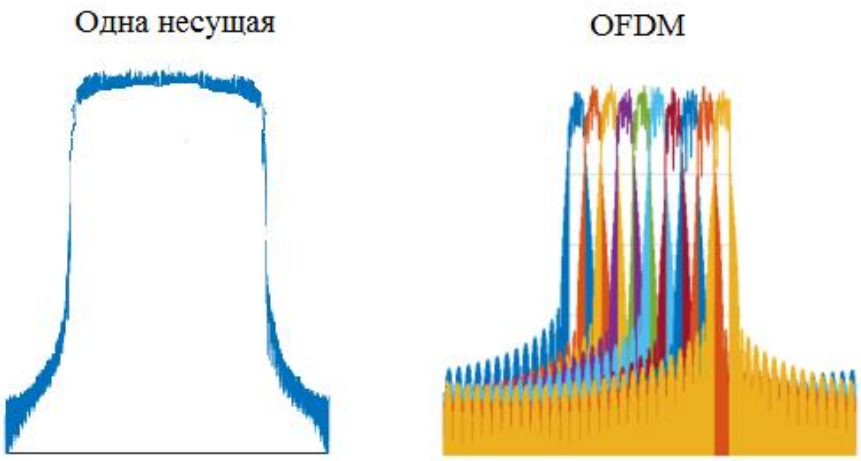

Рис. 4. Разделение одной несущей на несколько поднесущих.

Так же следует объяснить термин “ортогональное”. Возвращаясь, к примеру, приведённому выше, нужно отметить, что люди, переносящие детали конструктора, могут двигаться параллельно, практически вплотную, при этом не мешая друг другу. Если говорить о передаче сигналов, то явление того, что люди не мешают друг другу – является ортогональностью сигналов, в среде передачи данных. Ортогональные сигналы обладают очень полезным свойством – взаимная энергия таких сигналов равна нулю. Поскольку они никак друг на друга не влияют, на приёме появляется возможность выделить каждую ортогональную поднесущую, даже если их спектры частично перекрывают друг друга, а также из-за плотного расположения поднесущих спектральная эффективность модулированного OFDM сигнала будет высокой.

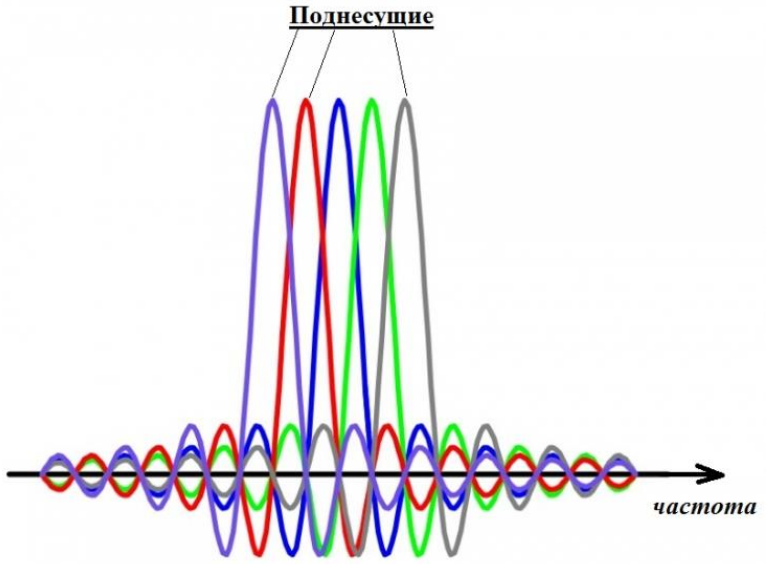

Рис.5. Изображение поднесущих на частотной оси

Теперь поподробнее рассмотрим Рисунок 5. Каждая отдельно взятая поднесущая представлена отдельным пиком. Можно заметить, что в точке пика каждой поднесущей значение остальных поднесущих равно нулю.

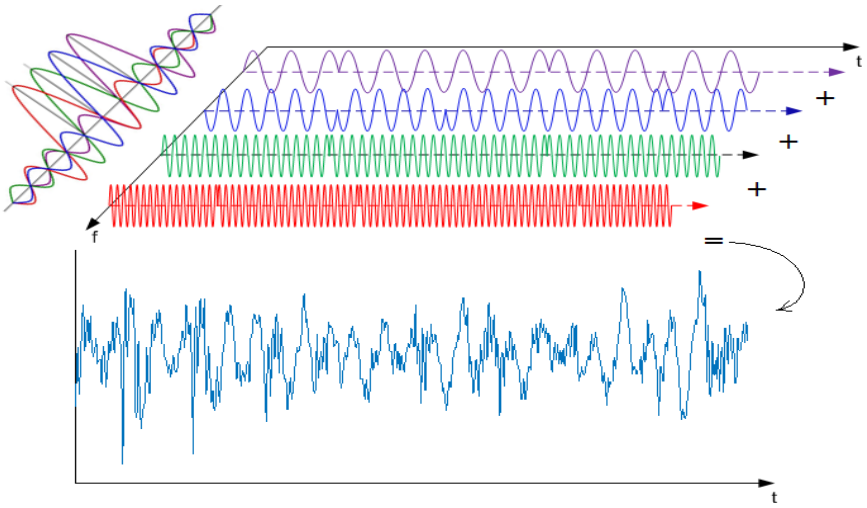

Рис.6. Представление поднесущих в виде модулированных сигналов на временной оси

Для того, чтобы получить OFDM сигнал, обычно применяется алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). Рассмотрим Рисунок 7.

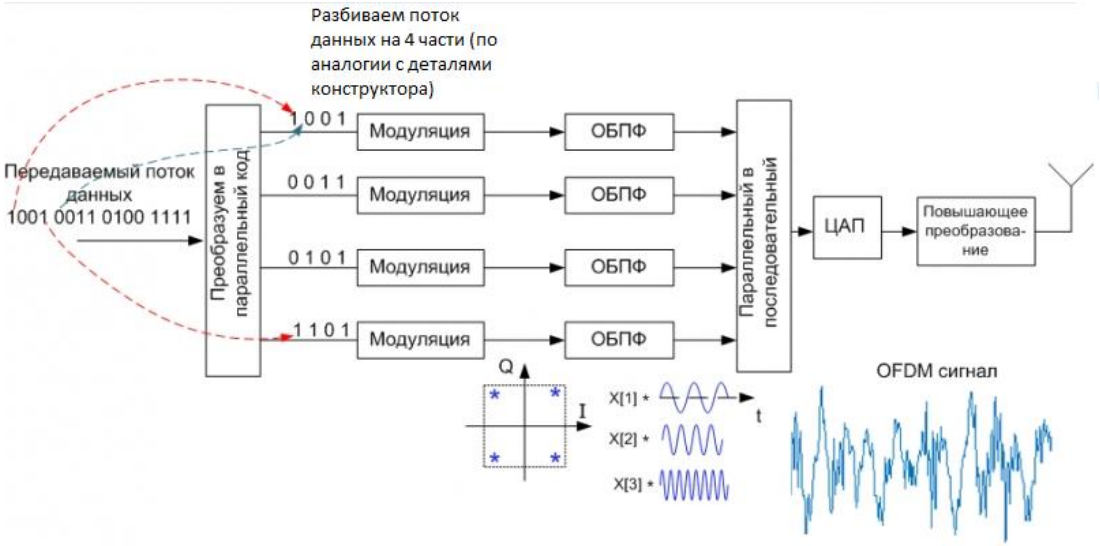

Рис. 7. Схема построения OFDM сигнала

Передаваемый поток данных мы разбиваем на несколько частей, например, как в приведенном выше примере, на 4 части. Мы специально представляем, что значения сигнала перед блоком ОБПФ относятся к частотной области. В таком случае после блока ОБПФ мы получим значения сигнала на временной оси. В

конце, объединив все полученные значения мы получим сложный составной OFDM сигнал.

Так же нельзя забывать, что в схеме используются блоки защитных битов и циклического префикса. Циклический префикс нужен в начале каждого OFDM символа. Он является циклическим повторением окончания символа и нужен для того, чтобы создавать временные паузы между отдельными символами.

Также вводится защитный интервал, необходимый для повышения устойчивости к разбросу задержки в каждой поднесущей. Длительность защитного интервала и циклический префикс сокращают количество возможных поднесущих в сигнале, но обеспечивают надежность передачи символов OFDM. Другими словами, они определяют количество поднесущих.

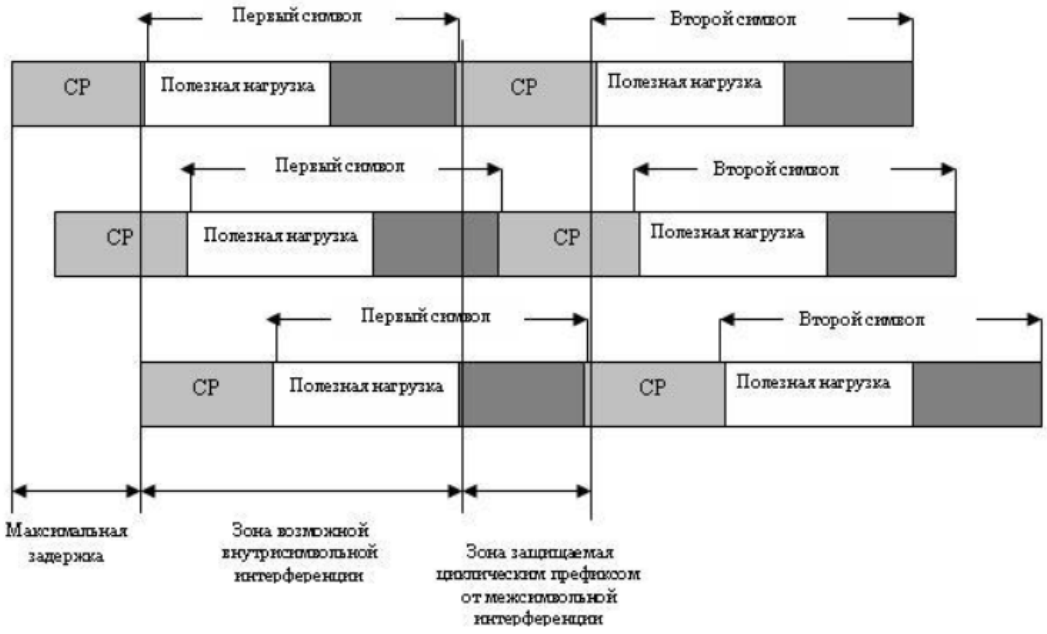

Рис. 8. Защита от межсимвольной интерференции

Как следствие эффективной работы ОБФП с массивами размерности 2k, обычно выбирают количество поднесущих аналогичной кратности.

Ширина канала, МГц	Число поднесущих, шт
1.25	128
2.5	256
5	512
10	1024

20	2049
40	4096

Соответственно, для каждой из поднесущих в зависимости от требований и величины помех в канале используется свой формат и модуляция.

1.2. Каналы связи в стандарте 802.11

В сети, информация передается по каналам связи, которые используют для передачи данных разную частоту. Как уже описывалось в предыдущем пункте, каналов связи, при которых соединение будет работать без помех на частоте 2.4 ГГц всего 3, а на частоте 5 ГГц их девятнадцать. Все дело в том, что ширина одного канала при частоте 2.4 ГГц равна 20 МГц. В случае, если два приемопередающих устройства, будут использовать один и тот же канал для передачи информации, при одновременной отправке данных по одному и тому же каналу с фиксированной шириной, данные будут накладываться и это будет создавать помехи из-за перегрузки канала связи (см. рис.9).

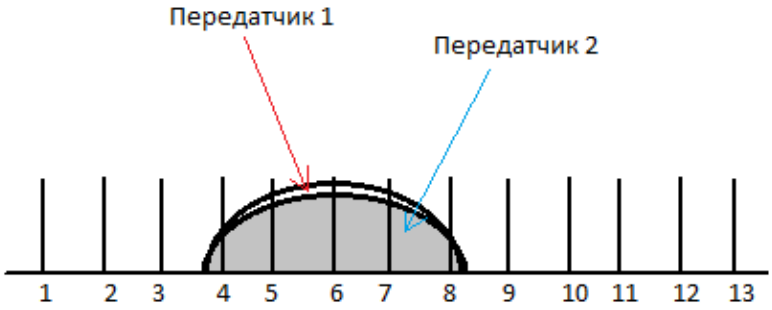

Рис. 9. 2 устройства работают в 1 частотном канале связи.

Такая перегрузка будет иметь место на существование только при одновременной отправке информации. Однако, если два передатчика радиочастотного сигнала, будут использовать одинаковый канал, но «договорятся» о времени передачи информации, такой перегрузки не возникнет, и информация будет передаваться без помех. Для того, чтобы можно было использовать несколько устройств одновременно при режиме работы в 2.4 ГГц, существуют несколько независимых каналов, благодаря которым, информация не будет накладывать друг на друга.

При использовании соседних каналов связи (рисунок 10) в режиме работы на частоте 2.4 ГГц, часть ширины канала, свободной, но другая часть может перегружаться при одновременной передаче информации, что так же приводит к помехам. Поэтому, для стабильного сигнала и для передачи радиочастотных сигналов, лучше использовать независимые каналы, ширина которых не пересекается.

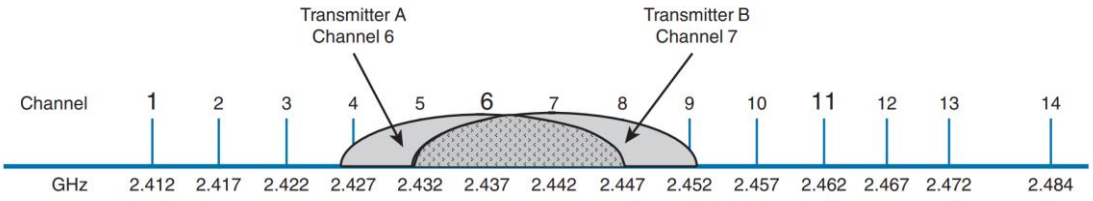

Рис. 10. Помехи при использовании соседних каналов связи.

Но не всегда такой метод распределения каналов будет оптимальным для передачи информации. Когда в зоне действия сигнала от точки доступа, имеются другие устройства, работающие на частоте 2.4 ГГц (микроволновые печи, камеры видеонаблюдения, мобильные устройства), при их работе, они занимают большую часть канала связи, что негативно влияет на передачу информации по большинству каналов (см. рис. 11).

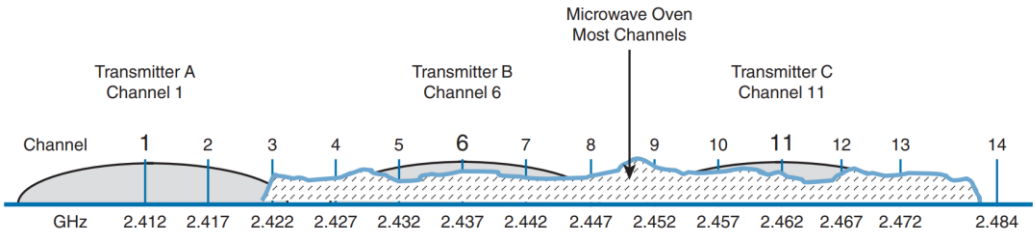

Рис. 11. Использование независимых каналов с учетов помех от сторонних устройств.

Для того, чтобы данные помехи не мешали при передаче информации, необходимо не включать их, либо перед покупкой, убедиться, что они не работают по стандарту IEEE 802.11.

Литература

1. Шахрам Латифи. Информационные технологии - новые поколения: 14-я Международная конференция по информационным технологиям

(достижения в области интеллектуальных систем и вычислений) 1-е изд. - Невада, США: Springer International Publishing, 2018 - 955с.

2. IEEE 802 [Электронный ресурс]: Official IEEE 802.11 working group project timelines. URL: http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm
3. Вандана Джиндал, Анил Кумар Верма, Сима Бава. Сравнительный анализ стандартов IEEE 802.11 в беспроводных сетях - Thapar Univ., Патиала, Пенджаб, Индия: Международный журнал электроники и коммуникационных технологий, 2016 - 100с.
4. Дэвид Хьюкаби. Официальное руководство по сертификации CCNA Wireless 640-722 - Индианаполис, Индиана, США: Cisco Press, 2016 - 544с.
5. Мартин Заутер. От GSM к LTE: Введение в мобильные сети и мобильный широкополосный доступ - Управление мобильностью в штате Cell-DCH - Нью-Джерси, США: John Wiley & Sons - 160с.
6. Герман Ролинг. OFDM: концепции будущих коммуникационных систем - Берлин, Германия: Springer Science & Business Media, 2017 - 254с.

Literature

1. Shahram Latifi. Information Technology - New Generations: 14th International Conference on Information Technology (Advances in Intelligent Systems and Computing) 1st ed. – Nevada, USA: Springer International Publishing, 2018 – 955c.
2. IEEE 802 [Electronic resource]: Official IEEE 802.11 working group project timelines. URL: http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm.
3. Vandana Jindal, Anil Kumar Verma, Seema Bawa. Comparative Analysis of IEEE 802.11 Standards in Wireless Networking – Thapar Univ., Patiala, Punjab, India: International Journal of Electronics & Communication Technology, 2016 – 100c.
4. David Hucaby. CCNA Wireless 640-722 Official Cert Guide – Indianapolis, Indiana, USA: Cisco Press, 2016 – 544c.

5. Martin Sauter. From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband - Mobility Management in the Cell-DCH State – New Jersey, USA: John Wiley & Sons – 160c.
6. Hermann Rohling. OFDM: Concepts for Future Communication Systems – Berlin, Germany: Springer Science & Business Media, 2017 – 254c.