### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Физический факультет

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Зависимость WI-Fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств**

Курсовая работа

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работу выполнил  студент 3 курса специальности “Информационная безопасность автоматизированных систем”  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Крохалев А.С. |
| Оценка работы научным руководителем  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная руководителем)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись руководителя) | Научный руководитель:  доцент кафедры радиоэлектроники и защиты информации  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Моисеев В.И. |
| Оценка работы комиссией по защите курсовых работ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная комиссией)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись председателя комиссии) |  |

Пермь, 2017

Оглавление

Введение .................................................................................................. 2

1. Wi-fi и стандарт IEEE802.11............................................................... 3

2. Принцип работы wi-fi сети................................................................. 5

3. Влияние ProbeRequest на загруженность сети. ................................ 7

4. Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами............................................................................................10

5. Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети............................................................................................................12

6. Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.................................................................................................. 14

7. Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi. ................... 17

8. Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния. ....................................................................................................................20

Заключение .............................................................................................. 21

Список используемой литературы ......................................................... 22

Введение.

В наше время об актуальности Wi-fi сетей не идет речи. Они используются абсолютно везде, для осуществления быстрой беспроводной связи. Сложно представить современную жизнь, предприятия, учебные заведения, места скопления людей без беспроводной сети. Но для её успешной реализации, нужно уметь грамотно построить беспроводную сеть. А для этого необходимо знать зависимость характеристик wi-fi покрытия от ряда факторов.

Цель данной курсовой работы: Исследовать зависимость wi-fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств.

Задачи:

1. Изучить , что такое wi-fi сеть и принцип её работы.
2. Получить зависимость скорости приема и передачи данных различными абонентскими устройствами, при подключении их к сети.
3. Выявить, влияют ли Probe Request не подключенных устройств на загруженность сети.
4. Получить зависимость распределения эфирного времени между устройствами в одной сети.
5. Выявить факторы, влияющие на передачу данных в сети.
6. Написать программу для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Wi-fi и стандарт IEEE 802.11.

Wi-Fi**— протокол беспроводной сети короткого действия, покрывающей десятки метров и использующей не лицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети.** Созданный для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводная точность»).

Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi.

IEEE 802.11это набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов, всего их используется четыре: 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц.

Первоначально появился стандарт 802.11, он  предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и, опционально, на скорости 2 Мбит/с.

На смену ему пришел первый высокоскоростной стандарт беспроводных сетей — IEEE 802.11a с возможной скоростью передачи уже до 54 Мбит/с . Рабочий диапазон стандарта равнялся  5 ГГц.

Далее появляется стандарт IEEE 802.11b на базе которого было построено большинство беспроводных локальных сетей, он предусматривает использование нелицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц, работающий по методу прямой последовательности для расширения спектра(DSSS), благодаря чему скорость передачи данных увеличилась до 11 Мбит/с.

Наиболее используемым является стандарт IEEE 802.11g использующий частоту 2,4 ГГц , скорость передачи в 54 Мбит\с и имеющий возможность обратной совместимостью с другими стандартами с работой на их скоростях передачи данных.

В наше время большинство сетей работают по Стандарту 802.11n, который повышает скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов  802.11g, при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 800 Мбит/с

Устройства 802.11n работают в диапазонах 2,4 или 5,0 ГГц.

Кроме того, устройства 802.11n могут работать в трёх режимах:

* наследуемом (Legacy), в котором обеспечивается поддержка устройств 802.11b/g и 802.11a;
* смешанном (Mixed), в котором поддерживаются устройства 802.11b/g, 802.11a и 802.11n;
* «чистом» режиме — 802.11n (именно в этом режиме и можно воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом 802.11n).

Принцип работы wi-fi сети.

Обычно схема сети содержит не менее одной точки доступа/маршрутизатора Wi-Fi (стандарты 802.11a/b/g/n) и не менее одного клиента. Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа отправляя Probe Request запросы. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала.

Устройства WiFi и точки доступа WiFi имеют доступ к одному разделяемому каналу передачи данных – радиоэфиру на определенной частоте. В любой конкретный момент по каналу может осуществлять передачу только одно устройство, в противном случае очевидно возникновение коллизии. Когда одно из устройств или точка доступа начинает передачу, другие устройства и точки доступа замолкают. Затем, после передачи данных, все устройства и точки доступа проходят через процесс, называемый «арбитраж», чтобы определить, кто будет осуществлять передачу следующим. Выбранное для передачи устройство передает данные, начиная, таким образом, весь процесс заново.

Существует разделение беспроводных сетей:

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

* Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные)
* Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
* Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:

* Со статическими настройками радиоканалов
* С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
* Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

Факторы влияющие на работу wi-fi сети:

* Количество клиентов
* Расстояние между точкой доступа и клиентом
* Количество устройств с включенным wi-fi модулем, находящихся в зоне сети
* Естественные и искусственные преграды
* Количество точек доступа
* Характеристики устройств клиентов и точек доступа
* Другие устройства работающие в диапазоне частот 2-5 ГГц

Влияние ProbeRequest на загруженность сети.

Probe Request- зондирующий кадр запроса, отправляемый устройствами для поиска доступной wi-fi сети передаваемый по стандарту раз в секунду.

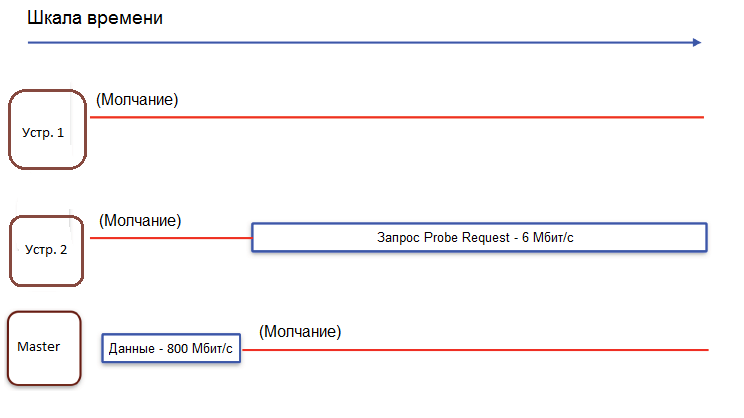
Устройство клиент рассылает PR запрос на определенных частотах всем точкам доступа, в доступной области. Устройства точек доступа принимает его, и если возможно установить беспроводную связь, отсылает ответ, разрешающий обмен кадрами данных. Проблема заключается в том, что типовой Probe Request запрос имеет длину от 160-360 байт, в то время как кадр данных имеет длину около 1600байт( 1500-1550 байт полезной нагрузки плюс 8 байт инкапсуляции верхнего уровня и 38 байт заголовка). При этом кадр запроса передается устройствами на самой низкой из возможных скоростей передачи данных для достижения как можно большего количества точек доступа. Современные устройства WiFi передают кадры Probe Request на скорости 1 или 6 Мбит/с, в то время как кадры данных со скоростью до 800Мбит/с. При математическом подсчете каждый запрос Probe Request будет занимать от 240 до 2920 микросекунд времени канала, а кадр данных займет только 280 микросекунд времени канала, включая заголовки и инкапсуляцию. (см.рис. 1.) 

Рис. 1.

А значит, в самом наилучшем случае запрос Probe Request использует примерно такое же время канала, что и кадр данных в самом наихудшем случае. А так, как одновременно данными могут обмениваться только две точки – приёмник и передатчик, то другим устройствам приходится ожидать своей очереди на эфирное время, что сильно тормозит скорость передачи данных на все устройства сети.

С данной проблемой ведут активную борьбу, и новые устройства передают гораздо меньше кадров Probe Request, если не подключены к сети WiFi, но все же, в средах с высокой плотностью устройства WiFi могут разрушать работу сети WiFi, даже никогда не подключаясь к ней.

В домашних условиях был проведен опыт, с использованием wi-fi роутера , работающего по стандарту IEEE 802.11n/g, и нескольких устройств-клиентов, так же работающих по данным стандартам. В каждом эксперименте измерялась скорость получения данных одним из устройств, при различном количестве устройств с включенным wi-fi модулем. Были получены следующие результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство | Скорость передачи данных при выключенных остальных устройствах | Скорость приёма данных при выключенных остальных устройствах | Скорость передачи данных- wi-fi модули др. устройств включены | Скорость приёма данных- wi-fi модули др. устройств включены |
| Телефон Huawei | 61-69 Mb/s | 45-51 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-42 Mb/s |
| Телефон iphone 6s | 69-78 Mb/s | 51-62 Mb/s | 61-65 Mb/s | 46-48 Mb/s |
| Телефон iphone 5s | 61-65 Mb/s | 44-50 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Ноутбук Asus | 65-69 Mb/s | 54-60 Mb/s | 59-62 Mb/s | 47-50 Mb/s |
| Ноутбук Lenovo | 59-62 Mb/s | 49-51 Mb/s | 53-55 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Планшет Samsung | 59-60 Mb/s | 45-50 Mb/s | 54-56 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Телевизор LG | 55-57 Mb/s | 51-57 Mb/s | 49-52 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Консоль SP4 | 40-44 Mb/s | 27-30 Mb/s | 34-36 Mb/s | 22-25 Mb/s |

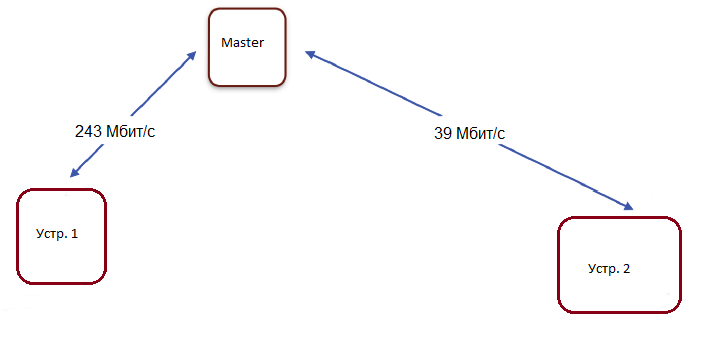
В каждом эксперименте было проведено 15 тестов для получения среднего результата скорости приёма\передачи данных. Все приложения, требующие доступ к интернету на устройствах были отключены. Тестирование проводилось программой SpeedTest. По полученным данным видно, что скорость приёма\передачи данных заметно выше, когда включен wi-fi модуль только на тестируемом устройстве. Всего семь дополнительных устройств, с включенным wi-fi уменьшили скорость передачи данных на 5-7% и приёма данных на 6-9%. Значит в местах с высокой плотностью абонентских устройств, имеющих в включенном состоянии wi-fi модуль, загруженность сети может возрасти до 60-70% только по причине Probe Request запросов.

Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами.

Wi-Fi (сети 802.11) - это разделяемая среда, и работает она в полудуплексном режиме. Только одна передающая станция (Точка Доступа WiFi или клиентское устройство с WiFi) может использовать канал одновременно и как прямой канал, и как обратный, работая на одном частотном канале WiFi. Полное время работы передающей станции для обмена данными называется Эфирным временем, и оно распределяется между всеми устройствами сети.

Каждый частотный канал WiFi или ячейка, используемые в сетях Wi-Fi, представляют собой потенциальный блок полосы пропускания. В реальных сетях стандарта WiFi фактическая необходимая полоса пропускания на приложение это то, что отличает от сигнальных скоростей. Скорости передачи данных (data rates) представляют скорости с которыми пакеты данных будут переноситься через радиосреду. Пакеты содержат определенное количество заголовков, которые требуются для обработки и контроля этих пакетов. Скорость приложения возникает из понимания того, что это связано именно с частью полезной нагрузки (payload) в пакетах. Но так, как каждое из устройств сети 802.11 имеет различные стандарты a/b/g/n, они находятся на разном расстоянии друг от друга и имеют различные технические характеристики, то и скорость передачи данных между ними будет отличаться. Но даже когда возможна только минимальная скорость передачи данных, связь будет поддерживаться, при этом выделяя большую часть эфирного времени для связи с данным устройством.

За распределением эфирного времени между всеми устройствами в сети отвечает DRS – протокол динамического переключения скоростей и распределения эфирного времени. Он определяет оптимальную скорость передачу данных между устройствами таким образом, чтобы обеспечивать минимальные коллизии. Когда состояние канала ухудшается, низкоскоростной трафик WiFi будет продолжать успешно передаваться, даже когда это будет невозможно для высокоскоростного трафика, при этом заново перераспределяя эфирное время между всеми устройствами. Так как используются различные скорости передачи данных и перераспределяется эфирное время, пропускная способность сети WiFi начинает меняться. Весь канал теряет пропускную способность, поскольку низкоскоростной трафик занимает больше времени канала на передачу того же объема данных. Ведь на каждое устройство передаётся определенное количество кадров данных, после этого очередь переходит к другому устройству. А когда передача каждого кадр данных занимает больше времени, из-за малых скоростей передачи, через канал может проходить меньшее количество информации. В конечном итоге вся сеть становится медленнее. (См.рис. 2.)



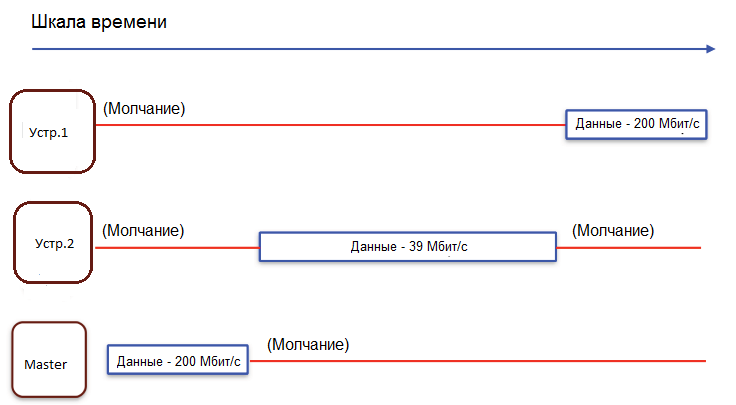


Рис.2.

Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети.

Сети стандарта WiFi 802.11 основаны на принципе «спора за эфир» и зависят от реализации механизмов определения чистого канала для передачи информации для подтверждения состояния среды (если эфир занят мы ждем, если свободен мы передаем) которыми управляет DRS протокол. Но возможны случаи, когда клиент находится в зоне действия нескольких wi-fi покрытий, и тогда производительность клиента может быть подвержена негативному воздействию, если он слышит несколько точек доступа. Для этого клиента зоны покрытия каждой точки доступа соединены в одну большую зону. Если канал клиента>канала точки доступа, то передачи от всех точек доступа будут выглядеть как занятие канала с точки зрения клиента и клиент будет просто ждать возможность передачи. Хуже то, что в случае, когда канал точки доступа>канала клиента передачи с любой точки доступа wi-fi будут потенциально вызывать коллизии и перепосылку фреймов, что будет вести к усилению состояния конкуренции за среду и будет продолжать снижать скорости передачи данных. В инфраструктуре с высокой плотностью сами wi-fi -клиенты будут иметь эффект увеличения размера wi-fi покрытия.

ССА-механизм определения частотного канала для передачи, основанный на получении порогового значения, которое позволяет проанализировать несущую частоту на состояние активности. Он определяет наиболее эффективную точку доступа и изолирует клиента от других точек.

Так же существует система управления Cisco WCS выполняющая мониторинг межканальной интерференции и идентифицирующая ответственные точки доступа. Алгоритм Cisco RRM (Radio Resources Management) является централизованным ресурсом масштабов всей сети WLAN, который постоянно анализирует каждую Точку Доступа в радиосети для определения взаимоотношений со всеми остальными ТД в системе. Используя Cisco WCS возможно исследовать насколько хорошо точки доступа , состоящих из передающих и принимающих, могут слышать друг друга вне зависимости от используемых каналов.

Это помогает наиболее эффективно настроить передачу данных в wi-fi сети.

Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.

Порой бывает необходимо хотя бы приближенно оценить дальность работы беспроводного оборудования. Эта оценка может потребоваться и в домашних условиях, когда нужно понять, где проходит граница действия вашей точки доступа, так и в случае проектирования небольшой офисной сети. Для расчета дальности беспроводного канала связи нужно ввести некоторые понятия:

FSL (Free Space Loss) - потери в свободном пространстве (дБ); F- центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц); D - расстояние между двумя точками (км). FSL определяется суммарным усилением системы. Оно считается следующим образом: Yдб=Pп+Gум+Gус-Pч-Lпм-Lпс

Где Pп- мощность передатчика, Gум – коэффициент усиления передающей антенны, Gус-коэффициент усиления приемной антенны, Pч-чувствительность приёмника на данной скорости, Lпм-потери сигнала в кабеле и разъемах передающего тракта, Lпс- потери сигнала в кабеле и разъемах приёмного тракта.

Расчет не учитывает дифракцию и рассеяние радиоволн на препятствиях, находящихся поблизости от пути распространения сигнала. Определить, какое пространство должно быть свободным вокруг воображаемой оси между антеннами можно при помощи расчёта зоны Френеля. Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют зоной Френеля. Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал.

Радиус первой зоны Френеля над предполагаемой преградой может быть рассчитан с помощью формулы: R=17.3√(1/f SD/(S+D)), где R - радиус зоны Френеля (м); S, D - расстояние от антенн до самой высшей точки предполагаемого препятствия (км); f - частота (ГГц).

Есть некоторые усредненные значения показывающее необходимое пространство зону Френеля для организации надежной связи WiFi антенн.( См. приложение Таблица зоны Френеля)

Обычно блокирование 20% зоны Френеля вносит незначительное затухание в канал. При блокировании свыше 40% затухание сигнала будет уже значительным, следует избегать попадания препятствий на пути распространения.

Мощность передатчика написана в технических характеристиках оборудования. Если она указана в mW, то (см.приложение Таблица перевода mWв dBm).

Потери сигнала в кабеле и разъемах обычно минимальны, поэтому в расчетах обычно берется значение равное 3-6 dBm. Для точного результата можно расчитать исходя из следующих характеристик:

* Потери в пиктейлах - 2 dBm/m;
* Потери в кабеле RJ-8U - 0,3 dBm/m;
* Потери в конекторах- 1-2 dBm/m;

Для каждой скорости приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1-2 Мегабита) чувствительность наименьшая: от -90 dBmВт до -94 dBmВт. Для высоких скоростей чувствительность намного выше. Для определения соотношения скорость-чувствительность (см. приложение Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных).

FSL вычисляется по формуле: FSL= Yдб-SOM , где SOM(System Operating Margin) - запас в энергетике радиосвязи (дБ). Учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;

- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;

- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр SOM обычно берется равным 10-20 дБ. Считается, что 10-20 децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

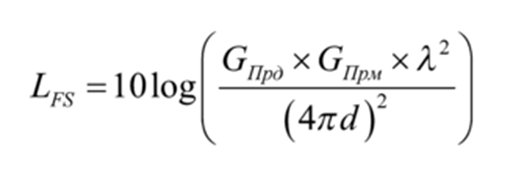
Центральная частота канала F является табличным значением. (см. приложение Таблица Центральной частоты канала)

Зная все эти данные можно вычислить дальность связи: D=10(FSL/20 -33/20 – lgF)

В связи с тем, что Wi-fi связь подвержена фактору потери радиосигнала, в идеальных условиях( отсутствуют препятствия для сигнала) оптимальным расстоянием для качественной связи является расстояние от 0-D/exp киллометров.

Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi.

Модели расчета потерь радиосигнала позволяют оценить затухания электромагнитной волны, излучаемой Wi-Fi адаптером, с учетом количества и типа препятствий на пути прохождения сигнала. В идеальных условиях (отсутствуют препятствия на пути прохождения сигнала, и нет многократных переотражений сигнала) оценить мощность сигнала в любой точке свободного пространства можно по формуле Фрииса:



[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0036.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0035.png)– коэффициент усиления антенны передатчика;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0040.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0039.png)– коэффициент усиления антенны приемника;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0042.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0041.png) – длина волны, метров;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0044.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0043.png) – расстояние между приемником и передатчиком, метров.

Для оценки поведения можно построить график зависимости затухания LFSс увеличением расстояния для Wi-Fi сигнала на первом частотном канале (центральная частота 2437 МГц) в диапазоне 2.4 ГГц – синяя кривая, и в диапазоне 5 ГГЦ – красная кривая. При этом коэффициенты усиления приемной и передающей антенны взять равными единице. (См.рис. 3.)

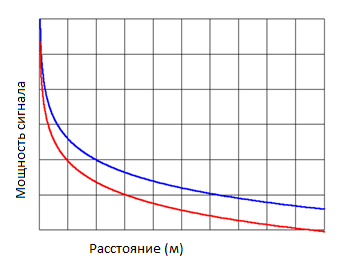
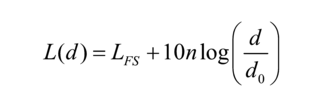


Рис. 3.

Как правило, большинство моделей распространения используют значение потерь в свободном пространстве в качестве базового, и добавляют к нему переменные, вносящие дополнительное затухание в зависимости от типа препятствий и их электрофизических свойств. К таким моделям относятся, например, One slope и стандартизированная Международным союзом электросвязи модель потерь – ITU-R 1238. Перечисленные модели потерь относятся к классу эмпирических статических моделей, то есть для их использования нужно общее описание типа задачи (типа помещения).

One slope:

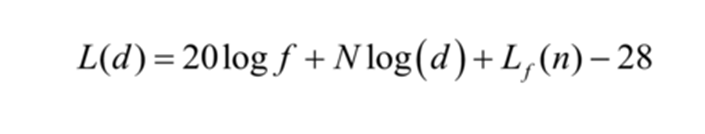
[](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0013.png)

где: d – расстояние в метрах, на котором производится оценка затухания;

Lfs– потери на расстоянии d0 метров;

n– коэффициент, зависящий от количества и материала препятствий.

ITU-R 1238:



где: d>1, м– расстояние, на котором производится оценка затухания;

f – частота центрального канала Wi-Fi, МГц;

N– коэффициент потери уровня сигнала с расстоянием;

Lf (n)– коэффициент потери мощности сигнала при прохождении через стену (пол);

– количество стен (полов) между приемной и передающей антеннами.

Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Для разработки данного приложения использовалась Microsoft Visual Studio. Из теоретической информации необходимо знать формулы расчета дальности Wi-fi связи приведенные на стр. 13.

Приложение производит расчет дальности Wi-fi сигнала в идеальных условиях(нет факторов препятствующих распространению wi-fi сигнала).

Нахождение оптимального расстояния так же рассчитано на идеальные условия.

Для работы в данном приложении требуется знать технические характеристики устройств приемника и передатчика, а именно:

* 1. Чувствительность приёмника
  2. Коэффициент усиления приёмника
  3. Коэффициент усиления передатчика
  4. Поддерживаемый запас по энергетике (10,15,20 dB)
  5. Номер канала связи (1-14)
  6. Мощность передатчика

Программный код Приложения и примеры работы см. в приложении.

Заключение:

Wi-fi – это широко используемая беспроводная сеть. Она стремительно развивается, с каждым годом набирая всё большие масштабы. Зоны wi-fi покрытия окутали практически все пространство в городах. Wi-fi это удобный, беспроводной и быстрый способ для обмена информацией и данными. Для развития данной технологии требуются многочисленные исследования поведения сигнала, новинки техники и программного обеспечения.

В ходе данной работы было проведено теоритическое и экспериментальное исследование зависимости характеристик wi-fi покрытия от характеристик и распределения абонентских устройств. Экспериментально было подтверждено влияние устройств, не подключенных к сети, но с включенным wi-fi модулем, на нагрузку сети. Так же было написано приложение для расчета дальности wi-fi сигнала и нахождения оптимального расстояния для связи приёмника и передатчика в идеальных условиях.

Список используемой литературы:

1. https://hobbyits.com/cifrovye-texnologii/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti.html Устройство и принцип работы wi-fi сети
2. http://www.mnogo-otvetov.ru/computery/chto-takoe-vaj-faj-i-dlya-chego-on-nuzhen/ Wi-fi сети
3. http://useroff.com/chto-takoe-wi-fi.html Беспроводные соединения
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi Wi-fi
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\_802.11
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod\_rashirenia\_spectra Метод прямой последовательности для расширения спектра
7. http://set-os.ru/zona-pokryitiya-wifi-routera/ Радиус зоны покрытия wifi
8. http://bibliofond.ru/view.aspx?id=787011 Научная работа:Построение wi-fi сети
9. https://wifi-solutions.ru/matematicheskij\_raschet\_dalnosti\_wi\_fi\_signala

Приложение:

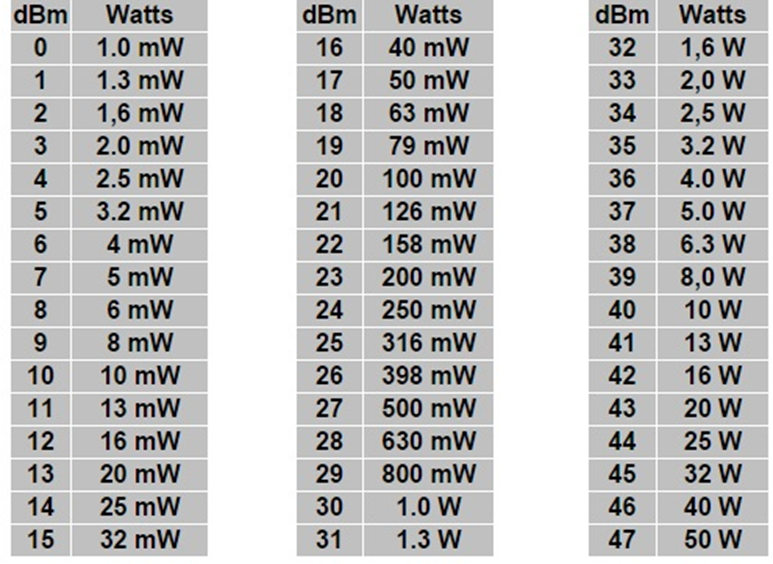
Таблица зоны Френеля

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Дистанция между антеннами [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 2,4Ghz [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 5Ghz [м] |
| 300 | 3,06 | 2,12 |
| 1600 | 7 | 4,9 |
| 8000 | 15,81 | 10,95 |
| 10000 | 17,68 | 12,25 |
| 15000 | 21,65 | 15 |

Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных.



Таблица перевода mWв dBm.



Пример работы программы:

Рассчитаем возможную дальность на примере WDS радиомоста на двух точках доступа PheeNet WLO-12400N с антеннами PheeNet ANT24-012SN-D в качестве передающей и PheeNet ANT24-013PN-D в качестве принимающей.

Из спецификаций на точку доступа нам необходимы параметры:

Мощность – 800 mW

Receive Sensitivity (чувствительность приёмника) – (-97dBm)

Из спецификаций на используемые антенны нас интересуют параметры «Коэффициент усиления антенны», которые составят 12dBm и 13 dBm соответственно

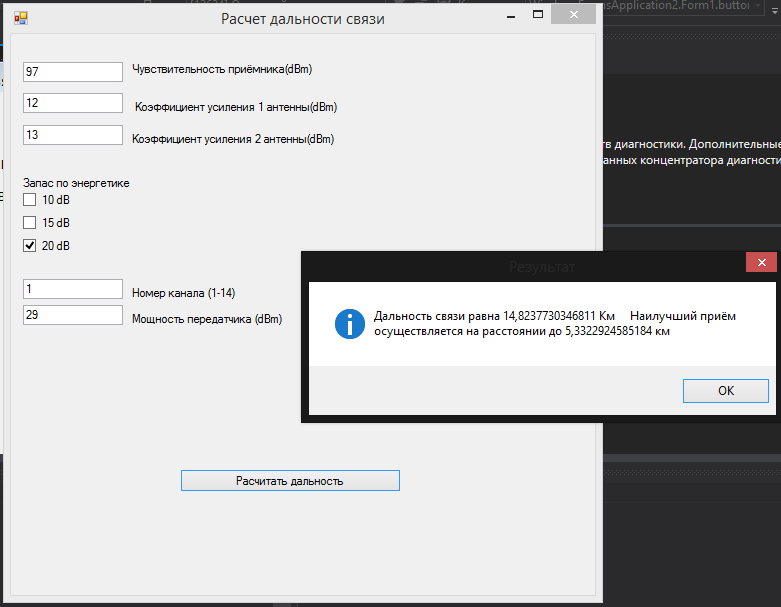
SOM (запас по энергетике) 20dB

Центральная частота для 1 канала (2.4ГГц)

Переведём мощность точки доступа из mW в dBm по таблице

800 mW = 29 dBm

Внесем данные в программу:



Расстояние дальности возможной связи = 14.8км

Оптимальное расстояние = 5.3км

Программный код:

using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Data;

using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication2

{

public partial class Form1 : Form

{

public Form1()

{

InitializeComponent();

}

private void textBox1\_TextChanged(object sender, EventArgs e) { }

private void textBox2\_TextChanged(object sender, EventArgs e){ }

private void checkBox1\_CheckedChanged(object sender, EventArgs e) {}

private void button1\_Click(object sender, EventArgs e)

{

int a = 1;

if (textBox1.Text != String.Empty)

{

}

else

{

MessageBox.Show("Введите чувствительность приёмника", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

a = 0;

}

if (textBox2.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 1 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox3.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 2 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox4.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите номер канала (1-14)", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox5.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Мощность передатчика", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{

a = 0;

MessageBox.Show("Выберите запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if ((checkBox1.Checked == true && (checkBox2.Checked == true || checkBox3.Checked == true)) || (checkBox2.Checked == true && (checkBox3.Checked == true || checkBox1.Checked == true)) || (checkBox3.Checked == true && (checkBox1.Checked == true || checkBox2.Checked == true)))

{

a = 0;

MessageBox.Show("Можно выбрать только 1 запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (a == 1)

{

int f = 20;

double chyvstvitelnost = double.Parse(textBox1.Text);

double k1 = double.Parse(textBox2.Text);

double k2 = double.Parse(textBox3.Text);

int number = Int32.Parse(textBox4.Text);

double N1 = double.Parse(textBox5.Text);

if ((number > 14) || (number < 1))

{ MessageBox.Show("Номера каналов принимают значение от 1-14", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); }

else {

switch (number)

{

case 1:

f = 2412;

break;

case 2:

f = 2417;

break;

case 3:

f = 2422;

break;

case 4:

f = 2427;

break;

case 5:

f = 2432;

break;

case 6:

f = 2437;

break;

case 7:

f = 2442;

break;

case 8:

f = 2447;

break;

case 9:

f = 2452;

break;

case 10:

f = 2457;

break;

case 11:

f = 2462;

break;

case 12:

f = 2467;

break;

case 13:

f = 2472;

break;

case 14:

f = 2484;

break;

}

int som = 1;

if (checkBox1.Checked == true && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 10; }

else { };

if (checkBox2.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 15; }

else { };

if (checkBox3.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false)

{ som = 20; }

else { };

double Ydb = N1 + k1 + k2 - chyvstvitelnost - 8;

double fsl = Ydb - som;

double f1 = Math.Log10(f);

double fsl1 = Math.Abs(fsl);

double z = 1.65;

double z2 = fsl1 / 20;

double range = Math.Abs(z2 - z - f1);

double range2 = range \* 10;

double toprange = range2 / 2.78;

MessageBox.Show("Дальность связи равна " + range2 + " Км"+" "+"Наилучший приём осуществляется на расстоянии до " + toprange + " км" , "Результат", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

}

}

}

}

### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Физический факультет

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Зависимость WI-Fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств**

Курсовая работа

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работу выполнил  студент 3 курса специальности “Информационная безопасность автоматизированных систем”  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Крохалев А.С. |
| Оценка работы научным руководителем  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная руководителем)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись руководителя) | Научный руководитель:  доцент кафедры радиоэлектроники и защиты информации  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Моисеев В.И. |
| Оценка работы комиссией по защите курсовых работ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная комиссией)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись председателя комиссии) |  |

Пермь, 2017

Оглавление

Введение .................................................................................................. 2

1. Wi-fi и стандарт IEEE802.11............................................................... 3

2. Принцип работы wi-fi сети................................................................. 5

3. Влияние ProbeRequest на загруженность сети. ................................ 7

4. Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами............................................................................................10

5. Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети............................................................................................................12

6. Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.................................................................................................. 14

7. Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi. ................... 17

8. Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния. ....................................................................................................................20

Заключение .............................................................................................. 21

Список используемой литературы ......................................................... 22

Введение.

В наше время об актуальности Wi-fi сетей не идет речи. Они используются абсолютно везде, для осуществления быстрой беспроводной связи. Сложно представить современную жизнь, предприятия, учебные заведения, места скопления людей без беспроводной сети. Но для её успешной реализации, нужно уметь грамотно построить беспроводную сеть. А для этого необходимо знать зависимость характеристик wi-fi покрытия от ряда факторов.

Цель данной курсовой работы: Исследовать зависимость wi-fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств.

Задачи:

1. Изучить , что такое wi-fi сеть и принцип её работы.
2. Получить зависимость скорости приема и передачи данных различными абонентскими устройствами, при подключении их к сети.
3. Выявить, влияют ли Probe Request не подключенных устройств на загруженность сети.
4. Получить зависимость распределения эфирного времени между устройствами в одной сети.
5. Выявить факторы, влияющие на передачу данных в сети.
6. Написать программу для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Wi-fi и стандарт IEEE 802.11.

Wi-Fi**— протокол беспроводной сети короткого действия, покрывающей десятки метров и использующей не лицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети.** Созданный для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводная точность»).

Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi.

IEEE 802.11это набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов, всего их используется четыре: 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц.

Первоначально появился стандарт 802.11, он  предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и, опционально, на скорости 2 Мбит/с.

На смену ему пришел первый высокоскоростной стандарт беспроводных сетей — IEEE 802.11a с возможной скоростью передачи уже до 54 Мбит/с . Рабочий диапазон стандарта равнялся  5 ГГц.

Далее появляется стандарт IEEE 802.11b на базе которого было построено большинство беспроводных локальных сетей, он предусматривает использование нелицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц, работающий по методу прямой последовательности для расширения спектра(DSSS), благодаря чему скорость передачи данных увеличилась до 11 Мбит/с.

Наиболее используемым является стандарт IEEE 802.11g использующий частоту 2,4 ГГц , скорость передачи в 54 Мбит\с и имеющий возможность обратной совместимостью с другими стандартами с работой на их скоростях передачи данных.

В наше время большинство сетей работают по Стандарту 802.11n, который повышает скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов  802.11g, при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 800 Мбит/с

Устройства 802.11n работают в диапазонах 2,4 или 5,0 ГГц.

Кроме того, устройства 802.11n могут работать в трёх режимах:

* наследуемом (Legacy), в котором обеспечивается поддержка устройств 802.11b/g и 802.11a;
* смешанном (Mixed), в котором поддерживаются устройства 802.11b/g, 802.11a и 802.11n;
* «чистом» режиме — 802.11n (именно в этом режиме и можно воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом 802.11n).

Принцип работы wi-fi сети.

Обычно схема сети содержит не менее одной точки доступа/маршрутизатора Wi-Fi (стандарты 802.11a/b/g/n) и не менее одного клиента. Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа отправляя Probe Request запросы. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала.

Устройства WiFi и точки доступа WiFi имеют доступ к одному разделяемому каналу передачи данных – радиоэфиру на определенной частоте. В любой конкретный момент по каналу может осуществлять передачу только одно устройство, в противном случае очевидно возникновение коллизии. Когда одно из устройств или точка доступа начинает передачу, другие устройства и точки доступа замолкают. Затем, после передачи данных, все устройства и точки доступа проходят через процесс, называемый «арбитраж», чтобы определить, кто будет осуществлять передачу следующим. Выбранное для передачи устройство передает данные, начиная, таким образом, весь процесс заново.

Существует разделение беспроводных сетей:

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

* Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные)
* Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
* Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:

* Со статическими настройками радиоканалов
* С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
* Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

Факторы влияющие на работу wi-fi сети:

* Количество клиентов
* Расстояние между точкой доступа и клиентом
* Количество устройств с включенным wi-fi модулем, находящихся в зоне сети
* Естественные и искусственные преграды
* Количество точек доступа
* Характеристики устройств клиентов и точек доступа
* Другие устройства работающие в диапазоне частот 2-5 ГГц

Влияние ProbeRequest на загруженность сети.

Probe Request- зондирующий кадр запроса, отправляемый устройствами для поиска доступной wi-fi сети передаваемый по стандарту раз в секунду.

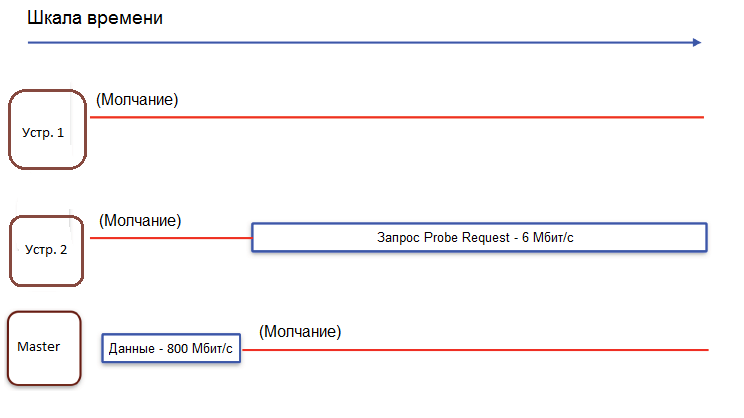
Устройство клиент рассылает PR запрос на определенных частотах всем точкам доступа, в доступной области. Устройства точек доступа принимает его, и если возможно установить беспроводную связь, отсылает ответ, разрешающий обмен кадрами данных. Проблема заключается в том, что типовой Probe Request запрос имеет длину от 160-360 байт, в то время как кадр данных имеет длину около 1600байт( 1500-1550 байт полезной нагрузки плюс 8 байт инкапсуляции верхнего уровня и 38 байт заголовка). При этом кадр запроса передается устройствами на самой низкой из возможных скоростей передачи данных для достижения как можно большего количества точек доступа. Современные устройства WiFi передают кадры Probe Request на скорости 1 или 6 Мбит/с, в то время как кадры данных со скоростью до 800Мбит/с. При математическом подсчете каждый запрос Probe Request будет занимать от 240 до 2920 микросекунд времени канала, а кадр данных займет только 280 микросекунд времени канала, включая заголовки и инкапсуляцию. (см.рис. 1.) 

Рис. 1.

А значит, в самом наилучшем случае запрос Probe Request использует примерно такое же время канала, что и кадр данных в самом наихудшем случае. А так, как одновременно данными могут обмениваться только две точки – приёмник и передатчик, то другим устройствам приходится ожидать своей очереди на эфирное время, что сильно тормозит скорость передачи данных на все устройства сети.

С данной проблемой ведут активную борьбу, и новые устройства передают гораздо меньше кадров Probe Request, если не подключены к сети WiFi, но все же, в средах с высокой плотностью устройства WiFi могут разрушать работу сети WiFi, даже никогда не подключаясь к ней.

В домашних условиях был проведен опыт, с использованием wi-fi роутера , работающего по стандарту IEEE 802.11n/g, и нескольких устройств-клиентов, так же работающих по данным стандартам. В каждом эксперименте измерялась скорость получения данных одним из устройств, при различном количестве устройств с включенным wi-fi модулем. Были получены следующие результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство | Скорость передачи данных при выключенных остальных устройствах | Скорость приёма данных при выключенных остальных устройствах | Скорость передачи данных- wi-fi модули др. устройств включены | Скорость приёма данных- wi-fi модули др. устройств включены |
| Телефон Huawei | 61-69 Mb/s | 45-51 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-42 Mb/s |
| Телефон iphone 6s | 69-78 Mb/s | 51-62 Mb/s | 61-65 Mb/s | 46-48 Mb/s |
| Телефон iphone 5s | 61-65 Mb/s | 44-50 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Ноутбук Asus | 65-69 Mb/s | 54-60 Mb/s | 59-62 Mb/s | 47-50 Mb/s |
| Ноутбук Lenovo | 59-62 Mb/s | 49-51 Mb/s | 53-55 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Планшет Samsung | 59-60 Mb/s | 45-50 Mb/s | 54-56 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Телевизор LG | 55-57 Mb/s | 51-57 Mb/s | 49-52 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Консоль SP4 | 40-44 Mb/s | 27-30 Mb/s | 34-36 Mb/s | 22-25 Mb/s |

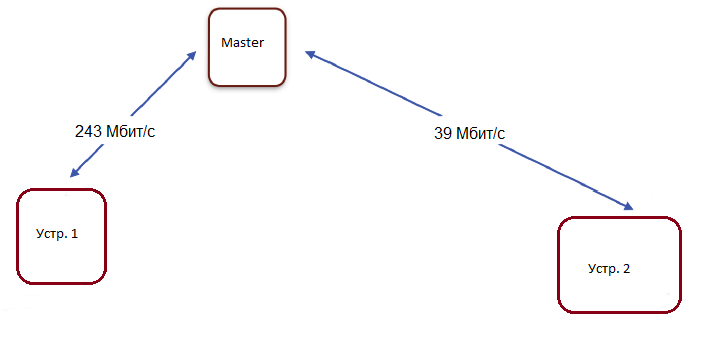
В каждом эксперименте было проведено 15 тестов для получения среднего результата скорости приёма\передачи данных. Все приложения, требующие доступ к интернету на устройствах были отключены. Тестирование проводилось программой SpeedTest. По полученным данным видно, что скорость приёма\передачи данных заметно выше, когда включен wi-fi модуль только на тестируемом устройстве. Всего семь дополнительных устройств, с включенным wi-fi уменьшили скорость передачи данных на 5-7% и приёма данных на 6-9%. Значит в местах с высокой плотностью абонентских устройств, имеющих в включенном состоянии wi-fi модуль, загруженность сети может возрасти до 60-70% только по причине Probe Request запросов.

Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами.

Wi-Fi (сети 802.11) - это разделяемая среда, и работает она в полудуплексном режиме. Только одна передающая станция (Точка Доступа WiFi или клиентское устройство с WiFi) может использовать канал одновременно и как прямой канал, и как обратный, работая на одном частотном канале WiFi. Полное время работы передающей станции для обмена данными называется Эфирным временем, и оно распределяется между всеми устройствами сети.

Каждый частотный канал WiFi или ячейка, используемые в сетях Wi-Fi, представляют собой потенциальный блок полосы пропускания. В реальных сетях стандарта WiFi фактическая необходимая полоса пропускания на приложение это то, что отличает от сигнальных скоростей. Скорости передачи данных (data rates) представляют скорости с которыми пакеты данных будут переноситься через радиосреду. Пакеты содержат определенное количество заголовков, которые требуются для обработки и контроля этих пакетов. Скорость приложения возникает из понимания того, что это связано именно с частью полезной нагрузки (payload) в пакетах. Но так, как каждое из устройств сети 802.11 имеет различные стандарты a/b/g/n, они находятся на разном расстоянии друг от друга и имеют различные технические характеристики, то и скорость передачи данных между ними будет отличаться. Но даже когда возможна только минимальная скорость передачи данных, связь будет поддерживаться, при этом выделяя большую часть эфирного времени для связи с данным устройством.

За распределением эфирного времени между всеми устройствами в сети отвечает DRS – протокол динамического переключения скоростей и распределения эфирного времени. Он определяет оптимальную скорость передачу данных между устройствами таким образом, чтобы обеспечивать минимальные коллизии. Когда состояние канала ухудшается, низкоскоростной трафик WiFi будет продолжать успешно передаваться, даже когда это будет невозможно для высокоскоростного трафика, при этом заново перераспределяя эфирное время между всеми устройствами. Так как используются различные скорости передачи данных и перераспределяется эфирное время, пропускная способность сети WiFi начинает меняться. Весь канал теряет пропускную способность, поскольку низкоскоростной трафик занимает больше времени канала на передачу того же объема данных. Ведь на каждое устройство передаётся определенное количество кадров данных, после этого очередь переходит к другому устройству. А когда передача каждого кадр данных занимает больше времени, из-за малых скоростей передачи, через канал может проходить меньшее количество информации. В конечном итоге вся сеть становится медленнее. (См.рис. 2.)



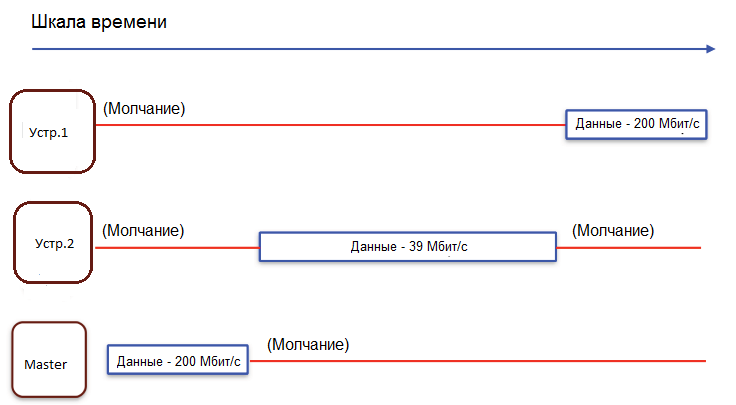


Рис.2.

Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети.

Сети стандарта WiFi 802.11 основаны на принципе «спора за эфир» и зависят от реализации механизмов определения чистого канала для передачи информации для подтверждения состояния среды (если эфир занят мы ждем, если свободен мы передаем) которыми управляет DRS протокол. Но возможны случаи, когда клиент находится в зоне действия нескольких wi-fi покрытий, и тогда производительность клиента может быть подвержена негативному воздействию, если он слышит несколько точек доступа. Для этого клиента зоны покрытия каждой точки доступа соединены в одну большую зону. Если канал клиента>канала точки доступа, то передачи от всех точек доступа будут выглядеть как занятие канала с точки зрения клиента и клиент будет просто ждать возможность передачи. Хуже то, что в случае, когда канал точки доступа>канала клиента передачи с любой точки доступа wi-fi будут потенциально вызывать коллизии и перепосылку фреймов, что будет вести к усилению состояния конкуренции за среду и будет продолжать снижать скорости передачи данных. В инфраструктуре с высокой плотностью сами wi-fi -клиенты будут иметь эффект увеличения размера wi-fi покрытия.

ССА-механизм определения частотного канала для передачи, основанный на получении порогового значения, которое позволяет проанализировать несущую частоту на состояние активности. Он определяет наиболее эффективную точку доступа и изолирует клиента от других точек.

Так же существует система управления Cisco WCS выполняющая мониторинг межканальной интерференции и идентифицирующая ответственные точки доступа. Алгоритм Cisco RRM (Radio Resources Management) является централизованным ресурсом масштабов всей сети WLAN, который постоянно анализирует каждую Точку Доступа в радиосети для определения взаимоотношений со всеми остальными ТД в системе. Используя Cisco WCS возможно исследовать насколько хорошо точки доступа , состоящих из передающих и принимающих, могут слышать друг друга вне зависимости от используемых каналов.

Это помогает наиболее эффективно настроить передачу данных в wi-fi сети.

Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.

Порой бывает необходимо хотя бы приближенно оценить дальность работы беспроводного оборудования. Эта оценка может потребоваться и в домашних условиях, когда нужно понять, где проходит граница действия вашей точки доступа, так и в случае проектирования небольшой офисной сети. Для расчета дальности беспроводного канала связи нужно ввести некоторые понятия:

FSL (Free Space Loss) - потери в свободном пространстве (дБ); F- центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц); D - расстояние между двумя точками (км). FSL определяется суммарным усилением системы. Оно считается следующим образом: Yдб=Pп+Gум+Gус-Pч-Lпм-Lпс

Где Pп- мощность передатчика, Gум – коэффициент усиления передающей антенны, Gус-коэффициент усиления приемной антенны, Pч-чувствительность приёмника на данной скорости, Lпм-потери сигнала в кабеле и разъемах передающего тракта, Lпс- потери сигнала в кабеле и разъемах приёмного тракта.

Расчет не учитывает дифракцию и рассеяние радиоволн на препятствиях, находящихся поблизости от пути распространения сигнала. Определить, какое пространство должно быть свободным вокруг воображаемой оси между антеннами можно при помощи расчёта зоны Френеля. Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют зоной Френеля. Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал.

Радиус первой зоны Френеля над предполагаемой преградой может быть рассчитан с помощью формулы: R=17.3√(1/f SD/(S+D)), где R - радиус зоны Френеля (м); S, D - расстояние от антенн до самой высшей точки предполагаемого препятствия (км); f - частота (ГГц).

Есть некоторые усредненные значения показывающее необходимое пространство зону Френеля для организации надежной связи WiFi антенн.( См. приложение Таблица зоны Френеля)

Обычно блокирование 20% зоны Френеля вносит незначительное затухание в канал. При блокировании свыше 40% затухание сигнала будет уже значительным, следует избегать попадания препятствий на пути распространения.

Мощность передатчика написана в технических характеристиках оборудования. Если она указана в mW, то (см.приложение Таблица перевода mWв dBm).

Потери сигнала в кабеле и разъемах обычно минимальны, поэтому в расчетах обычно берется значение равное 3-6 dBm. Для точного результата можно расчитать исходя из следующих характеристик:

* Потери в пиктейлах - 2 dBm/m;
* Потери в кабеле RJ-8U - 0,3 dBm/m;
* Потери в конекторах- 1-2 dBm/m;

Для каждой скорости приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1-2 Мегабита) чувствительность наименьшая: от -90 dBmВт до -94 dBmВт. Для высоких скоростей чувствительность намного выше. Для определения соотношения скорость-чувствительность (см. приложение Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных).

FSL вычисляется по формуле: FSL= Yдб-SOM , где SOM(System Operating Margin) - запас в энергетике радиосвязи (дБ). Учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;

- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;

- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр SOM обычно берется равным 10-20 дБ. Считается, что 10-20 децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

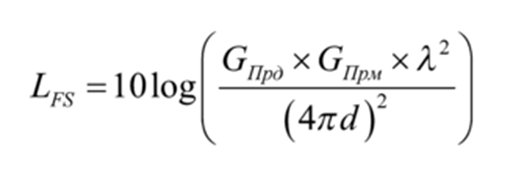
Центральная частота канала F является табличным значением. (см. приложение Таблица Центральной частоты канала)

Зная все эти данные можно вычислить дальность связи: D=10(FSL/20 -33/20 – lgF)

В связи с тем, что Wi-fi связь подвержена фактору потери радиосигнала, в идеальных условиях( отсутствуют препятствия для сигнала) оптимальным расстоянием для качественной связи является расстояние от 0-D/exp киллометров.

Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi.

Модели расчета потерь радиосигнала позволяют оценить затухания электромагнитной волны, излучаемой Wi-Fi адаптером, с учетом количества и типа препятствий на пути прохождения сигнала. В идеальных условиях (отсутствуют препятствия на пути прохождения сигнала, и нет многократных переотражений сигнала) оценить мощность сигнала в любой точке свободного пространства можно по формуле Фрииса:



[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0036.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0035.png)– коэффициент усиления антенны передатчика;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0040.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0039.png)– коэффициент усиления антенны приемника;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0042.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0041.png) – длина волны, метров;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0044.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0043.png) – расстояние между приемником и передатчиком, метров.

Для оценки поведения можно построить график зависимости затухания LFSс увеличением расстояния для Wi-Fi сигнала на первом частотном канале (центральная частота 2437 МГц) в диапазоне 2.4 ГГц – синяя кривая, и в диапазоне 5 ГГЦ – красная кривая. При этом коэффициенты усиления приемной и передающей антенны взять равными единице. (См.рис. 3.)

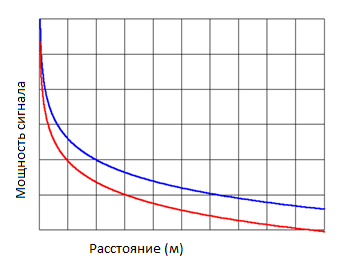
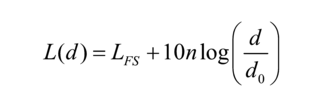


Рис. 3.

Как правило, большинство моделей распространения используют значение потерь в свободном пространстве в качестве базового, и добавляют к нему переменные, вносящие дополнительное затухание в зависимости от типа препятствий и их электрофизических свойств. К таким моделям относятся, например, One slope и стандартизированная Международным союзом электросвязи модель потерь – ITU-R 1238. Перечисленные модели потерь относятся к классу эмпирических статических моделей, то есть для их использования нужно общее описание типа задачи (типа помещения).

One slope:

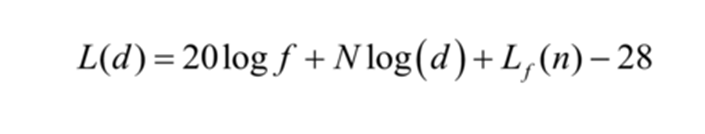
[](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0013.png)

где: d – расстояние в метрах, на котором производится оценка затухания;

Lfs– потери на расстоянии d0 метров;

n– коэффициент, зависящий от количества и материала препятствий.

ITU-R 1238:



где: d>1, м– расстояние, на котором производится оценка затухания;

f – частота центрального канала Wi-Fi, МГц;

N– коэффициент потери уровня сигнала с расстоянием;

Lf (n)– коэффициент потери мощности сигнала при прохождении через стену (пол);

– количество стен (полов) между приемной и передающей антеннами.

Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Для разработки данного приложения использовалась Microsoft Visual Studio. Из теоретической информации необходимо знать формулы расчета дальности Wi-fi связи приведенные на стр. 13.

Приложение производит расчет дальности Wi-fi сигнала в идеальных условиях(нет факторов препятствующих распространению wi-fi сигнала).

Нахождение оптимального расстояния так же рассчитано на идеальные условия.

Для работы в данном приложении требуется знать технические характеристики устройств приемника и передатчика, а именно:

* 1. Чувствительность приёмника
  2. Коэффициент усиления приёмника
  3. Коэффициент усиления передатчика
  4. Поддерживаемый запас по энергетике (10,15,20 dB)
  5. Номер канала связи (1-14)
  6. Мощность передатчика

Программный код Приложения и примеры работы см. в приложении.

Заключение:

Wi-fi – это широко используемая беспроводная сеть. Она стремительно развивается, с каждым годом набирая всё большие масштабы. Зоны wi-fi покрытия окутали практически все пространство в городах. Wi-fi это удобный, беспроводной и быстрый способ для обмена информацией и данными. Для развития данной технологии требуются многочисленные исследования поведения сигнала, новинки техники и программного обеспечения.

В ходе данной работы было проведено теоритическое и экспериментальное исследование зависимости характеристик wi-fi покрытия от характеристик и распределения абонентских устройств. Экспериментально было подтверждено влияние устройств, не подключенных к сети, но с включенным wi-fi модулем, на нагрузку сети. Так же было написано приложение для расчета дальности wi-fi сигнала и нахождения оптимального расстояния для связи приёмника и передатчика в идеальных условиях.

Список используемой литературы:

1. https://hobbyits.com/cifrovye-texnologii/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti.html Устройство и принцип работы wi-fi сети
2. http://www.mnogo-otvetov.ru/computery/chto-takoe-vaj-faj-i-dlya-chego-on-nuzhen/ Wi-fi сети
3. http://useroff.com/chto-takoe-wi-fi.html Беспроводные соединения
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi Wi-fi
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\_802.11
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod\_rashirenia\_spectra Метод прямой последовательности для расширения спектра
7. http://set-os.ru/zona-pokryitiya-wifi-routera/ Радиус зоны покрытия wifi
8. http://bibliofond.ru/view.aspx?id=787011 Научная работа:Построение wi-fi сети
9. https://wifi-solutions.ru/matematicheskij\_raschet\_dalnosti\_wi\_fi\_signala

Приложение:

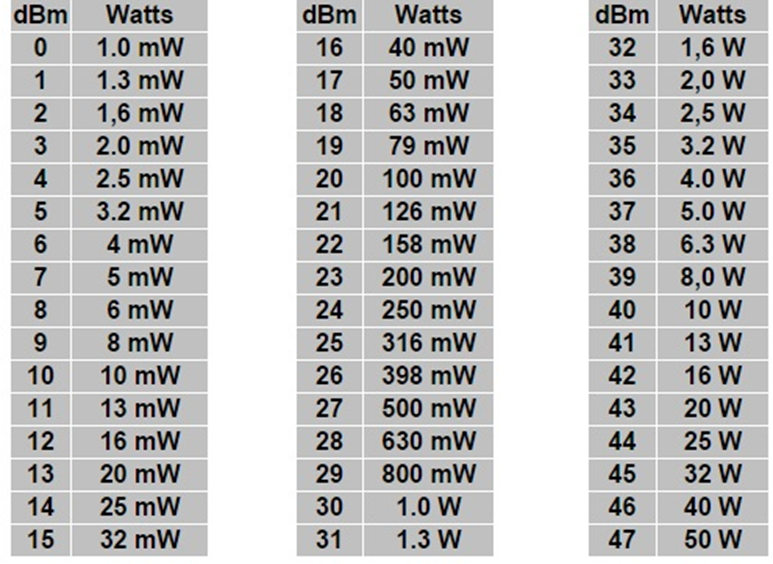
Таблица зоны Френеля

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Дистанция между антеннами [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 2,4Ghz [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 5Ghz [м] |
| 300 | 3,06 | 2,12 |
| 1600 | 7 | 4,9 |
| 8000 | 15,81 | 10,95 |
| 10000 | 17,68 | 12,25 |
| 15000 | 21,65 | 15 |

Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных.



Таблица перевода mWв dBm.



Пример работы программы:

Рассчитаем возможную дальность на примере WDS радиомоста на двух точках доступа PheeNet WLO-12400N с антеннами PheeNet ANT24-012SN-D в качестве передающей и PheeNet ANT24-013PN-D в качестве принимающей.

Из спецификаций на точку доступа нам необходимы параметры:

Мощность – 800 mW

Receive Sensitivity (чувствительность приёмника) – (-97dBm)

Из спецификаций на используемые антенны нас интересуют параметры «Коэффициент усиления антенны», которые составят 12dBm и 13 dBm соответственно

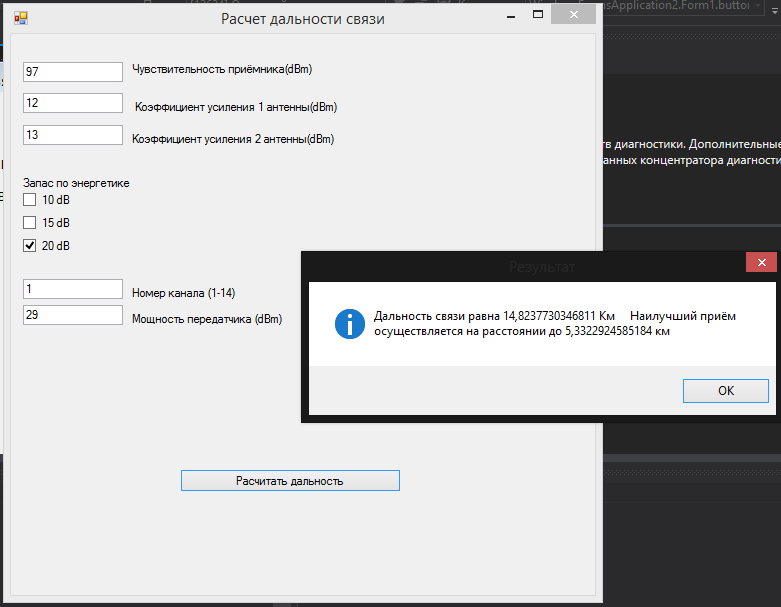
SOM (запас по энергетике) 20dB

Центральная частота для 1 канала (2.4ГГц)

Переведём мощность точки доступа из mW в dBm по таблице

800 mW = 29 dBm

Внесем данные в программу:



Расстояние дальности возможной связи = 14.8км

Оптимальное расстояние = 5.3км

Программный код:

using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Data;

using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication2

{

public partial class Form1 : Form

{

public Form1()

{

InitializeComponent();

}

private void textBox1\_TextChanged(object sender, EventArgs e) { }

private void textBox2\_TextChanged(object sender, EventArgs e){ }

private void checkBox1\_CheckedChanged(object sender, EventArgs e) {}

private void button1\_Click(object sender, EventArgs e)

{

int a = 1;

if (textBox1.Text != String.Empty)

{

}

else

{

MessageBox.Show("Введите чувствительность приёмника", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

a = 0;

}

if (textBox2.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 1 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox3.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 2 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox4.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите номер канала (1-14)", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox5.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Мощность передатчика", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{

a = 0;

MessageBox.Show("Выберите запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if ((checkBox1.Checked == true && (checkBox2.Checked == true || checkBox3.Checked == true)) || (checkBox2.Checked == true && (checkBox3.Checked == true || checkBox1.Checked == true)) || (checkBox3.Checked == true && (checkBox1.Checked == true || checkBox2.Checked == true)))

{

a = 0;

MessageBox.Show("Можно выбрать только 1 запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (a == 1)

{

int f = 20;

double chyvstvitelnost = double.Parse(textBox1.Text);

double k1 = double.Parse(textBox2.Text);

double k2 = double.Parse(textBox3.Text);

int number = Int32.Parse(textBox4.Text);

double N1 = double.Parse(textBox5.Text);

if ((number > 14) || (number < 1))

{ MessageBox.Show("Номера каналов принимают значение от 1-14", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); }

else {

switch (number)

{

case 1:

f = 2412;

break;

case 2:

f = 2417;

break;

case 3:

f = 2422;

break;

case 4:

f = 2427;

break;

case 5:

f = 2432;

break;

case 6:

f = 2437;

break;

case 7:

f = 2442;

break;

case 8:

f = 2447;

break;

case 9:

f = 2452;

break;

case 10:

f = 2457;

break;

case 11:

f = 2462;

break;

case 12:

f = 2467;

break;

case 13:

f = 2472;

break;

case 14:

f = 2484;

break;

}

int som = 1;

if (checkBox1.Checked == true && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 10; }

else { };

if (checkBox2.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 15; }

else { };

if (checkBox3.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false)

{ som = 20; }

else { };

double Ydb = N1 + k1 + k2 - chyvstvitelnost - 8;

double fsl = Ydb - som;

double f1 = Math.Log10(f);

double fsl1 = Math.Abs(fsl);

double z = 1.65;

double z2 = fsl1 / 20;

double range = Math.Abs(z2 - z - f1);

double range2 = range \* 10;

double toprange = range2 / 2.78;

MessageBox.Show("Дальность связи равна " + range2 + " Км"+" "+"Наилучший приём осуществляется на расстоянии до " + toprange + " км" , "Результат", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

}

}

}

}

### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Физический факультет

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Зависимость WI-Fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств**

Курсовая работа

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работу выполнил  студент 3 курса специальности “Информационная безопасность автоматизированных систем”  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Крохалев А.С. |
| Оценка работы научным руководителем  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная руководителем)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись руководителя) | Научный руководитель:  доцент кафедры радиоэлектроники и защиты информации  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Моисеев В.И. |
| Оценка работы комиссией по защите курсовых работ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная комиссией)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись председателя комиссии) |  |

Пермь, 2017

Оглавление

Введение .................................................................................................. 2

1. Wi-fi и стандарт IEEE802.11............................................................... 3

2. Принцип работы wi-fi сети................................................................. 5

3. Влияние ProbeRequest на загруженность сети. ................................ 7

4. Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами............................................................................................10

5. Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети............................................................................................................12

6. Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.................................................................................................. 14

7. Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi. ................... 17

8. Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния. ....................................................................................................................20

Заключение .............................................................................................. 21

Список используемой литературы ......................................................... 22

Введение.

В наше время об актуальности Wi-fi сетей не идет речи. Они используются абсолютно везде, для осуществления быстрой беспроводной связи. Сложно представить современную жизнь, предприятия, учебные заведения, места скопления людей без беспроводной сети. Но для её успешной реализации, нужно уметь грамотно построить беспроводную сеть. А для этого необходимо знать зависимость характеристик wi-fi покрытия от ряда факторов.

Цель данной курсовой работы: Исследовать зависимость wi-fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств.

Задачи:

1. Изучить , что такое wi-fi сеть и принцип её работы.
2. Получить зависимость скорости приема и передачи данных различными абонентскими устройствами, при подключении их к сети.
3. Выявить, влияют ли Probe Request не подключенных устройств на загруженность сети.
4. Получить зависимость распределения эфирного времени между устройствами в одной сети.
5. Выявить факторы, влияющие на передачу данных в сети.
6. Написать программу для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Wi-fi и стандарт IEEE 802.11.

Wi-Fi**— протокол беспроводной сети короткого действия, покрывающей десятки метров и использующей не лицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети.** Созданный для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводная точность»).

Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi.

IEEE 802.11это набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов, всего их используется четыре: 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц.

Первоначально появился стандарт 802.11, он  предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и, опционально, на скорости 2 Мбит/с.

На смену ему пришел первый высокоскоростной стандарт беспроводных сетей — IEEE 802.11a с возможной скоростью передачи уже до 54 Мбит/с . Рабочий диапазон стандарта равнялся  5 ГГц.

Далее появляется стандарт IEEE 802.11b на базе которого было построено большинство беспроводных локальных сетей, он предусматривает использование нелицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц, работающий по методу прямой последовательности для расширения спектра(DSSS), благодаря чему скорость передачи данных увеличилась до 11 Мбит/с.

Наиболее используемым является стандарт IEEE 802.11g использующий частоту 2,4 ГГц , скорость передачи в 54 Мбит\с и имеющий возможность обратной совместимостью с другими стандартами с работой на их скоростях передачи данных.

В наше время большинство сетей работают по Стандарту 802.11n, который повышает скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов  802.11g, при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 800 Мбит/с

Устройства 802.11n работают в диапазонах 2,4 или 5,0 ГГц.

Кроме того, устройства 802.11n могут работать в трёх режимах:

* наследуемом (Legacy), в котором обеспечивается поддержка устройств 802.11b/g и 802.11a;
* смешанном (Mixed), в котором поддерживаются устройства 802.11b/g, 802.11a и 802.11n;
* «чистом» режиме — 802.11n (именно в этом режиме и можно воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом 802.11n).

Принцип работы wi-fi сети.

Обычно схема сети содержит не менее одной точки доступа/маршрутизатора Wi-Fi (стандарты 802.11a/b/g/n) и не менее одного клиента. Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа отправляя Probe Request запросы. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала.

Устройства WiFi и точки доступа WiFi имеют доступ к одному разделяемому каналу передачи данных – радиоэфиру на определенной частоте. В любой конкретный момент по каналу может осуществлять передачу только одно устройство, в противном случае очевидно возникновение коллизии. Когда одно из устройств или точка доступа начинает передачу, другие устройства и точки доступа замолкают. Затем, после передачи данных, все устройства и точки доступа проходят через процесс, называемый «арбитраж», чтобы определить, кто будет осуществлять передачу следующим. Выбранное для передачи устройство передает данные, начиная, таким образом, весь процесс заново.

Существует разделение беспроводных сетей:

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

* Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные)
* Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
* Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:

* Со статическими настройками радиоканалов
* С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
* Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

Факторы влияющие на работу wi-fi сети:

* Количество клиентов
* Расстояние между точкой доступа и клиентом
* Количество устройств с включенным wi-fi модулем, находящихся в зоне сети
* Естественные и искусственные преграды
* Количество точек доступа
* Характеристики устройств клиентов и точек доступа
* Другие устройства работающие в диапазоне частот 2-5 ГГц

Влияние ProbeRequest на загруженность сети.

Probe Request- зондирующий кадр запроса, отправляемый устройствами для поиска доступной wi-fi сети передаваемый по стандарту раз в секунду.

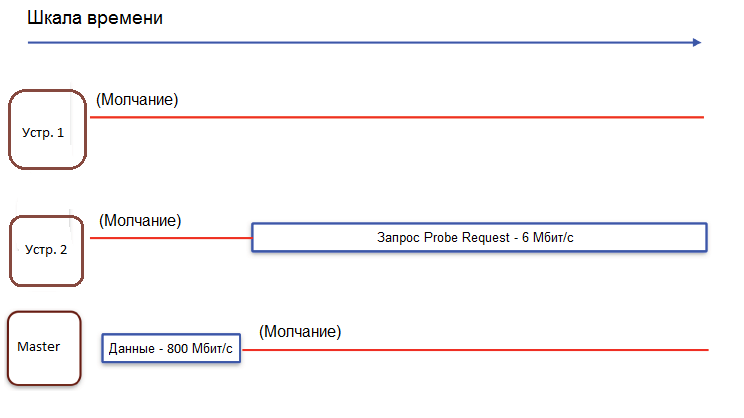
Устройство клиент рассылает PR запрос на определенных частотах всем точкам доступа, в доступной области. Устройства точек доступа принимает его, и если возможно установить беспроводную связь, отсылает ответ, разрешающий обмен кадрами данных. Проблема заключается в том, что типовой Probe Request запрос имеет длину от 160-360 байт, в то время как кадр данных имеет длину около 1600байт( 1500-1550 байт полезной нагрузки плюс 8 байт инкапсуляции верхнего уровня и 38 байт заголовка). При этом кадр запроса передается устройствами на самой низкой из возможных скоростей передачи данных для достижения как можно большего количества точек доступа. Современные устройства WiFi передают кадры Probe Request на скорости 1 или 6 Мбит/с, в то время как кадры данных со скоростью до 800Мбит/с. При математическом подсчете каждый запрос Probe Request будет занимать от 240 до 2920 микросекунд времени канала, а кадр данных займет только 280 микросекунд времени канала, включая заголовки и инкапсуляцию. (см.рис. 1.) 

Рис. 1.

А значит, в самом наилучшем случае запрос Probe Request использует примерно такое же время канала, что и кадр данных в самом наихудшем случае. А так, как одновременно данными могут обмениваться только две точки – приёмник и передатчик, то другим устройствам приходится ожидать своей очереди на эфирное время, что сильно тормозит скорость передачи данных на все устройства сети.

С данной проблемой ведут активную борьбу, и новые устройства передают гораздо меньше кадров Probe Request, если не подключены к сети WiFi, но все же, в средах с высокой плотностью устройства WiFi могут разрушать работу сети WiFi, даже никогда не подключаясь к ней.

В домашних условиях был проведен опыт, с использованием wi-fi роутера , работающего по стандарту IEEE 802.11n/g, и нескольких устройств-клиентов, так же работающих по данным стандартам. В каждом эксперименте измерялась скорость получения данных одним из устройств, при различном количестве устройств с включенным wi-fi модулем. Были получены следующие результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство | Скорость передачи данных при выключенных остальных устройствах | Скорость приёма данных при выключенных остальных устройствах | Скорость передачи данных- wi-fi модули др. устройств включены | Скорость приёма данных- wi-fi модули др. устройств включены |
| Телефон Huawei | 61-69 Mb/s | 45-51 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-42 Mb/s |
| Телефон iphone 6s | 69-78 Mb/s | 51-62 Mb/s | 61-65 Mb/s | 46-48 Mb/s |
| Телефон iphone 5s | 61-65 Mb/s | 44-50 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Ноутбук Asus | 65-69 Mb/s | 54-60 Mb/s | 59-62 Mb/s | 47-50 Mb/s |
| Ноутбук Lenovo | 59-62 Mb/s | 49-51 Mb/s | 53-55 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Планшет Samsung | 59-60 Mb/s | 45-50 Mb/s | 54-56 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Телевизор LG | 55-57 Mb/s | 51-57 Mb/s | 49-52 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Консоль SP4 | 40-44 Mb/s | 27-30 Mb/s | 34-36 Mb/s | 22-25 Mb/s |

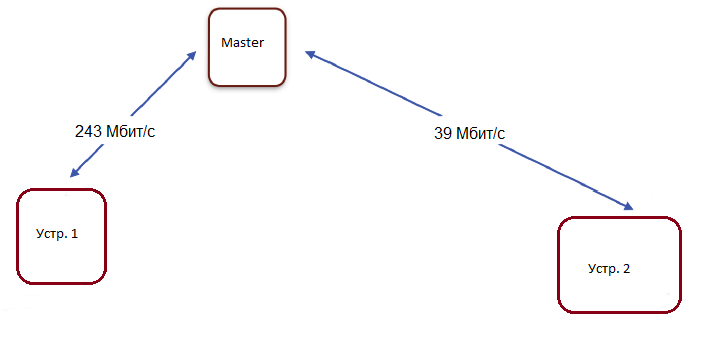
В каждом эксперименте было проведено 15 тестов для получения среднего результата скорости приёма\передачи данных. Все приложения, требующие доступ к интернету на устройствах были отключены. Тестирование проводилось программой SpeedTest. По полученным данным видно, что скорость приёма\передачи данных заметно выше, когда включен wi-fi модуль только на тестируемом устройстве. Всего семь дополнительных устройств, с включенным wi-fi уменьшили скорость передачи данных на 5-7% и приёма данных на 6-9%. Значит в местах с высокой плотностью абонентских устройств, имеющих в включенном состоянии wi-fi модуль, загруженность сети может возрасти до 60-70% только по причине Probe Request запросов.

Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами.

Wi-Fi (сети 802.11) - это разделяемая среда, и работает она в полудуплексном режиме. Только одна передающая станция (Точка Доступа WiFi или клиентское устройство с WiFi) может использовать канал одновременно и как прямой канал, и как обратный, работая на одном частотном канале WiFi. Полное время работы передающей станции для обмена данными называется Эфирным временем, и оно распределяется между всеми устройствами сети.

Каждый частотный канал WiFi или ячейка, используемые в сетях Wi-Fi, представляют собой потенциальный блок полосы пропускания. В реальных сетях стандарта WiFi фактическая необходимая полоса пропускания на приложение это то, что отличает от сигнальных скоростей. Скорости передачи данных (data rates) представляют скорости с которыми пакеты данных будут переноситься через радиосреду. Пакеты содержат определенное количество заголовков, которые требуются для обработки и контроля этих пакетов. Скорость приложения возникает из понимания того, что это связано именно с частью полезной нагрузки (payload) в пакетах. Но так, как каждое из устройств сети 802.11 имеет различные стандарты a/b/g/n, они находятся на разном расстоянии друг от друга и имеют различные технические характеристики, то и скорость передачи данных между ними будет отличаться. Но даже когда возможна только минимальная скорость передачи данных, связь будет поддерживаться, при этом выделяя большую часть эфирного времени для связи с данным устройством.

За распределением эфирного времени между всеми устройствами в сети отвечает DRS – протокол динамического переключения скоростей и распределения эфирного времени. Он определяет оптимальную скорость передачу данных между устройствами таким образом, чтобы обеспечивать минимальные коллизии. Когда состояние канала ухудшается, низкоскоростной трафик WiFi будет продолжать успешно передаваться, даже когда это будет невозможно для высокоскоростного трафика, при этом заново перераспределяя эфирное время между всеми устройствами. Так как используются различные скорости передачи данных и перераспределяется эфирное время, пропускная способность сети WiFi начинает меняться. Весь канал теряет пропускную способность, поскольку низкоскоростной трафик занимает больше времени канала на передачу того же объема данных. Ведь на каждое устройство передаётся определенное количество кадров данных, после этого очередь переходит к другому устройству. А когда передача каждого кадр данных занимает больше времени, из-за малых скоростей передачи, через канал может проходить меньшее количество информации. В конечном итоге вся сеть становится медленнее. (См.рис. 2.)



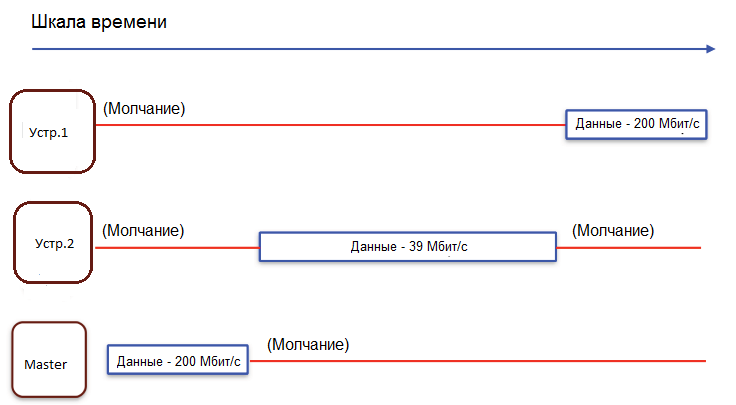


Рис.2.

Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети.

Сети стандарта WiFi 802.11 основаны на принципе «спора за эфир» и зависят от реализации механизмов определения чистого канала для передачи информации для подтверждения состояния среды (если эфир занят мы ждем, если свободен мы передаем) которыми управляет DRS протокол. Но возможны случаи, когда клиент находится в зоне действия нескольких wi-fi покрытий, и тогда производительность клиента может быть подвержена негативному воздействию, если он слышит несколько точек доступа. Для этого клиента зоны покрытия каждой точки доступа соединены в одну большую зону. Если канал клиента>канала точки доступа, то передачи от всех точек доступа будут выглядеть как занятие канала с точки зрения клиента и клиент будет просто ждать возможность передачи. Хуже то, что в случае, когда канал точки доступа>канала клиента передачи с любой точки доступа wi-fi будут потенциально вызывать коллизии и перепосылку фреймов, что будет вести к усилению состояния конкуренции за среду и будет продолжать снижать скорости передачи данных. В инфраструктуре с высокой плотностью сами wi-fi -клиенты будут иметь эффект увеличения размера wi-fi покрытия.

ССА-механизм определения частотного канала для передачи, основанный на получении порогового значения, которое позволяет проанализировать несущую частоту на состояние активности. Он определяет наиболее эффективную точку доступа и изолирует клиента от других точек.

Так же существует система управления Cisco WCS выполняющая мониторинг межканальной интерференции и идентифицирующая ответственные точки доступа. Алгоритм Cisco RRM (Radio Resources Management) является централизованным ресурсом масштабов всей сети WLAN, который постоянно анализирует каждую Точку Доступа в радиосети для определения взаимоотношений со всеми остальными ТД в системе. Используя Cisco WCS возможно исследовать насколько хорошо точки доступа , состоящих из передающих и принимающих, могут слышать друг друга вне зависимости от используемых каналов.

Это помогает наиболее эффективно настроить передачу данных в wi-fi сети.

Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.

Порой бывает необходимо хотя бы приближенно оценить дальность работы беспроводного оборудования. Эта оценка может потребоваться и в домашних условиях, когда нужно понять, где проходит граница действия вашей точки доступа, так и в случае проектирования небольшой офисной сети. Для расчета дальности беспроводного канала связи нужно ввести некоторые понятия:

FSL (Free Space Loss) - потери в свободном пространстве (дБ); F- центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц); D - расстояние между двумя точками (км). FSL определяется суммарным усилением системы. Оно считается следующим образом: Yдб=Pп+Gум+Gус-Pч-Lпм-Lпс

Где Pп- мощность передатчика, Gум – коэффициент усиления передающей антенны, Gус-коэффициент усиления приемной антенны, Pч-чувствительность приёмника на данной скорости, Lпм-потери сигнала в кабеле и разъемах передающего тракта, Lпс- потери сигнала в кабеле и разъемах приёмного тракта.

Расчет не учитывает дифракцию и рассеяние радиоволн на препятствиях, находящихся поблизости от пути распространения сигнала. Определить, какое пространство должно быть свободным вокруг воображаемой оси между антеннами можно при помощи расчёта зоны Френеля. Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют зоной Френеля. Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал.

Радиус первой зоны Френеля над предполагаемой преградой может быть рассчитан с помощью формулы: R=17.3√(1/f SD/(S+D)), где R - радиус зоны Френеля (м); S, D - расстояние от антенн до самой высшей точки предполагаемого препятствия (км); f - частота (ГГц).

Есть некоторые усредненные значения показывающее необходимое пространство зону Френеля для организации надежной связи WiFi антенн.( См. приложение Таблица зоны Френеля)

Обычно блокирование 20% зоны Френеля вносит незначительное затухание в канал. При блокировании свыше 40% затухание сигнала будет уже значительным, следует избегать попадания препятствий на пути распространения.

Мощность передатчика написана в технических характеристиках оборудования. Если она указана в mW, то (см.приложение Таблица перевода mWв dBm).

Потери сигнала в кабеле и разъемах обычно минимальны, поэтому в расчетах обычно берется значение равное 3-6 dBm. Для точного результата можно расчитать исходя из следующих характеристик:

* Потери в пиктейлах - 2 dBm/m;
* Потери в кабеле RJ-8U - 0,3 dBm/m;
* Потери в конекторах- 1-2 dBm/m;

Для каждой скорости приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1-2 Мегабита) чувствительность наименьшая: от -90 dBmВт до -94 dBmВт. Для высоких скоростей чувствительность намного выше. Для определения соотношения скорость-чувствительность (см. приложение Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных).

FSL вычисляется по формуле: FSL= Yдб-SOM , где SOM(System Operating Margin) - запас в энергетике радиосвязи (дБ). Учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;

- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;

- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр SOM обычно берется равным 10-20 дБ. Считается, что 10-20 децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

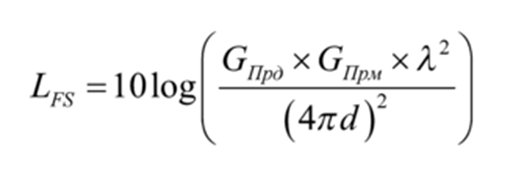
Центральная частота канала F является табличным значением. (см. приложение Таблица Центральной частоты канала)

Зная все эти данные можно вычислить дальность связи: D=10(FSL/20 -33/20 – lgF)

В связи с тем, что Wi-fi связь подвержена фактору потери радиосигнала, в идеальных условиях( отсутствуют препятствия для сигнала) оптимальным расстоянием для качественной связи является расстояние от 0-D/exp киллометров.

Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi.

Модели расчета потерь радиосигнала позволяют оценить затухания электромагнитной волны, излучаемой Wi-Fi адаптером, с учетом количества и типа препятствий на пути прохождения сигнала. В идеальных условиях (отсутствуют препятствия на пути прохождения сигнала, и нет многократных переотражений сигнала) оценить мощность сигнала в любой точке свободного пространства можно по формуле Фрииса:



[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0036.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0035.png)– коэффициент усиления антенны передатчика;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0040.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0039.png)– коэффициент усиления антенны приемника;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0042.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0041.png) – длина волны, метров;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0044.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0043.png) – расстояние между приемником и передатчиком, метров.

Для оценки поведения можно построить график зависимости затухания LFSс увеличением расстояния для Wi-Fi сигнала на первом частотном канале (центральная частота 2437 МГц) в диапазоне 2.4 ГГц – синяя кривая, и в диапазоне 5 ГГЦ – красная кривая. При этом коэффициенты усиления приемной и передающей антенны взять равными единице. (См.рис. 3.)

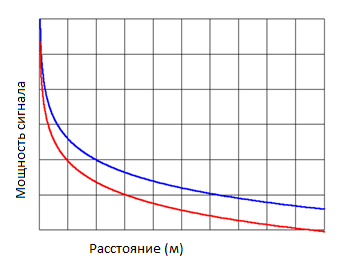
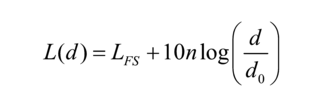


Рис. 3.

Как правило, большинство моделей распространения используют значение потерь в свободном пространстве в качестве базового, и добавляют к нему переменные, вносящие дополнительное затухание в зависимости от типа препятствий и их электрофизических свойств. К таким моделям относятся, например, One slope и стандартизированная Международным союзом электросвязи модель потерь – ITU-R 1238. Перечисленные модели потерь относятся к классу эмпирических статических моделей, то есть для их использования нужно общее описание типа задачи (типа помещения).

One slope:

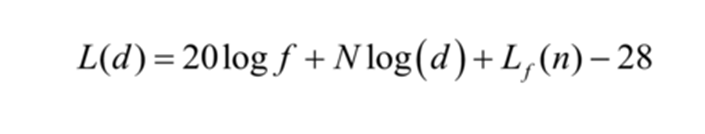
[](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0013.png)

где: d – расстояние в метрах, на котором производится оценка затухания;

Lfs– потери на расстоянии d0 метров;

n– коэффициент, зависящий от количества и материала препятствий.

ITU-R 1238:



где: d>1, м– расстояние, на котором производится оценка затухания;

f – частота центрального канала Wi-Fi, МГц;

N– коэффициент потери уровня сигнала с расстоянием;

Lf (n)– коэффициент потери мощности сигнала при прохождении через стену (пол);

– количество стен (полов) между приемной и передающей антеннами.

Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Для разработки данного приложения использовалась Microsoft Visual Studio. Из теоретической информации необходимо знать формулы расчета дальности Wi-fi связи приведенные на стр. 13.

Приложение производит расчет дальности Wi-fi сигнала в идеальных условиях(нет факторов препятствующих распространению wi-fi сигнала).

Нахождение оптимального расстояния так же рассчитано на идеальные условия.

Для работы в данном приложении требуется знать технические характеристики устройств приемника и передатчика, а именно:

* 1. Чувствительность приёмника
  2. Коэффициент усиления приёмника
  3. Коэффициент усиления передатчика
  4. Поддерживаемый запас по энергетике (10,15,20 dB)
  5. Номер канала связи (1-14)
  6. Мощность передатчика

Программный код Приложения и примеры работы см. в приложении.

Заключение:

Wi-fi – это широко используемая беспроводная сеть. Она стремительно развивается, с каждым годом набирая всё большие масштабы. Зоны wi-fi покрытия окутали практически все пространство в городах. Wi-fi это удобный, беспроводной и быстрый способ для обмена информацией и данными. Для развития данной технологии требуются многочисленные исследования поведения сигнала, новинки техники и программного обеспечения.

В ходе данной работы было проведено теоритическое и экспериментальное исследование зависимости характеристик wi-fi покрытия от характеристик и распределения абонентских устройств. Экспериментально было подтверждено влияние устройств, не подключенных к сети, но с включенным wi-fi модулем, на нагрузку сети. Так же было написано приложение для расчета дальности wi-fi сигнала и нахождения оптимального расстояния для связи приёмника и передатчика в идеальных условиях.

Список используемой литературы:

1. https://hobbyits.com/cifrovye-texnologii/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti.html Устройство и принцип работы wi-fi сети
2. http://www.mnogo-otvetov.ru/computery/chto-takoe-vaj-faj-i-dlya-chego-on-nuzhen/ Wi-fi сети
3. http://useroff.com/chto-takoe-wi-fi.html Беспроводные соединения
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi Wi-fi
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\_802.11
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod\_rashirenia\_spectra Метод прямой последовательности для расширения спектра
7. http://set-os.ru/zona-pokryitiya-wifi-routera/ Радиус зоны покрытия wifi
8. http://bibliofond.ru/view.aspx?id=787011 Научная работа:Построение wi-fi сети
9. https://wifi-solutions.ru/matematicheskij\_raschet\_dalnosti\_wi\_fi\_signala

Приложение:

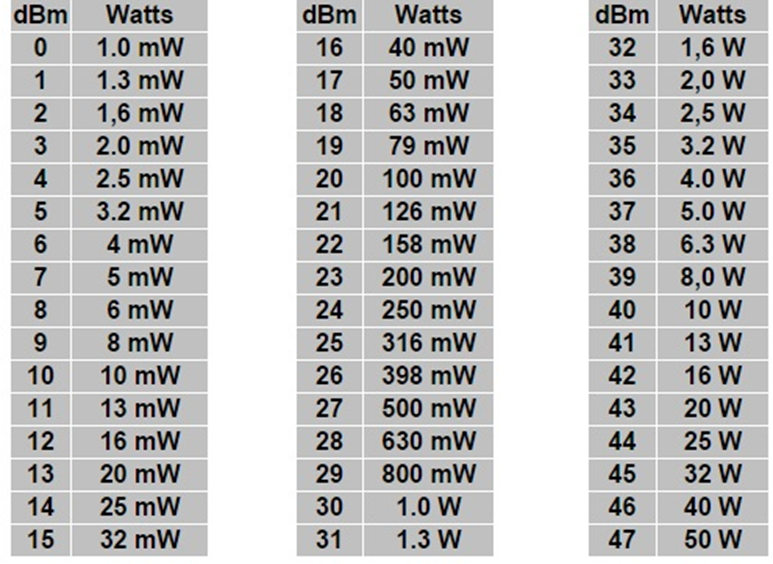
Таблица зоны Френеля

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Дистанция между антеннами [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 2,4Ghz [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 5Ghz [м] |
| 300 | 3,06 | 2,12 |
| 1600 | 7 | 4,9 |
| 8000 | 15,81 | 10,95 |
| 10000 | 17,68 | 12,25 |
| 15000 | 21,65 | 15 |

Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных.



Таблица перевода mWв dBm.



Пример работы программы:

Рассчитаем возможную дальность на примере WDS радиомоста на двух точках доступа PheeNet WLO-12400N с антеннами PheeNet ANT24-012SN-D в качестве передающей и PheeNet ANT24-013PN-D в качестве принимающей.

Из спецификаций на точку доступа нам необходимы параметры:

Мощность – 800 mW

Receive Sensitivity (чувствительность приёмника) – (-97dBm)

Из спецификаций на используемые антенны нас интересуют параметры «Коэффициент усиления антенны», которые составят 12dBm и 13 dBm соответственно

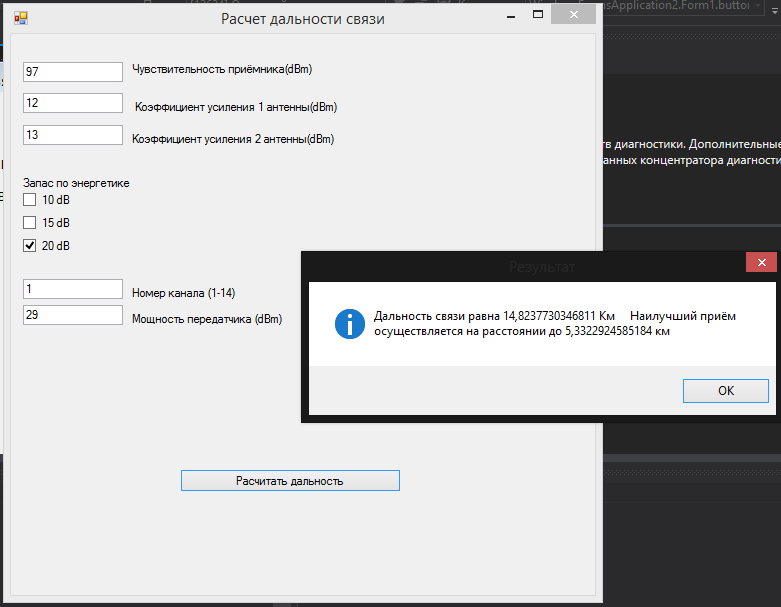
SOM (запас по энергетике) 20dB

Центральная частота для 1 канала (2.4ГГц)

Переведём мощность точки доступа из mW в dBm по таблице

800 mW = 29 dBm

Внесем данные в программу:



Расстояние дальности возможной связи = 14.8км

Оптимальное расстояние = 5.3км

Программный код:

using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Data;

using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication2

{

public partial class Form1 : Form

{

public Form1()

{

InitializeComponent();

}

private void textBox1\_TextChanged(object sender, EventArgs e) { }

private void textBox2\_TextChanged(object sender, EventArgs e){ }

private void checkBox1\_CheckedChanged(object sender, EventArgs e) {}

private void button1\_Click(object sender, EventArgs e)

{

int a = 1;

if (textBox1.Text != String.Empty)

{

}

else

{

MessageBox.Show("Введите чувствительность приёмника", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

a = 0;

}

if (textBox2.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 1 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox3.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 2 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox4.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите номер канала (1-14)", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox5.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Мощность передатчика", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{

a = 0;

MessageBox.Show("Выберите запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if ((checkBox1.Checked == true && (checkBox2.Checked == true || checkBox3.Checked == true)) || (checkBox2.Checked == true && (checkBox3.Checked == true || checkBox1.Checked == true)) || (checkBox3.Checked == true && (checkBox1.Checked == true || checkBox2.Checked == true)))

{

a = 0;

MessageBox.Show("Можно выбрать только 1 запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (a == 1)

{

int f = 20;

double chyvstvitelnost = double.Parse(textBox1.Text);

double k1 = double.Parse(textBox2.Text);

double k2 = double.Parse(textBox3.Text);

int number = Int32.Parse(textBox4.Text);

double N1 = double.Parse(textBox5.Text);

if ((number > 14) || (number < 1))

{ MessageBox.Show("Номера каналов принимают значение от 1-14", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); }

else {

switch (number)

{

case 1:

f = 2412;

break;

case 2:

f = 2417;

break;

case 3:

f = 2422;

break;

case 4:

f = 2427;

break;

case 5:

f = 2432;

break;

case 6:

f = 2437;

break;

case 7:

f = 2442;

break;

case 8:

f = 2447;

break;

case 9:

f = 2452;

break;

case 10:

f = 2457;

break;

case 11:

f = 2462;

break;

case 12:

f = 2467;

break;

case 13:

f = 2472;

break;

case 14:

f = 2484;

break;

}

int som = 1;

if (checkBox1.Checked == true && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 10; }

else { };

if (checkBox2.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 15; }

else { };

if (checkBox3.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false)

{ som = 20; }

else { };

double Ydb = N1 + k1 + k2 - chyvstvitelnost - 8;

double fsl = Ydb - som;

double f1 = Math.Log10(f);

double fsl1 = Math.Abs(fsl);

double z = 1.65;

double z2 = fsl1 / 20;

double range = Math.Abs(z2 - z - f1);

double range2 = range \* 10;

double toprange = range2 / 2.78;

MessageBox.Show("Дальность связи равна " + range2 + " Км"+" "+"Наилучший приём осуществляется на расстоянии до " + toprange + " км" , "Результат", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

}

}

}

}

### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Физический факультет

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Зависимость WI-Fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств**

Курсовая работа

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работу выполнил  студент 3 курса специальности “Информационная безопасность автоматизированных систем”  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Крохалев А.С. |
| Оценка работы научным руководителем  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная руководителем)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись руководителя) | Научный руководитель:  доцент кафедры радиоэлектроники и защиты информации  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Моисеев В.И. |
| Оценка работы комиссией по защите курсовых работ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (оценка, выставленная комиссией)  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (дата, подпись председателя комиссии) |  |

Пермь, 2017

Оглавление

Введение .................................................................................................. 2

1. Wi-fi и стандарт IEEE802.11............................................................... 3

2. Принцип работы wi-fi сети................................................................. 5

3. Влияние ProbeRequest на загруженность сети. ................................ 7

4. Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами............................................................................................10

5. Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети............................................................................................................12

6. Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.................................................................................................. 14

7. Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi. ................... 17

8. Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния. ....................................................................................................................20

Заключение .............................................................................................. 21

Список используемой литературы ......................................................... 22

Введение.

В наше время об актуальности Wi-fi сетей не идет речи. Они используются абсолютно везде, для осуществления быстрой беспроводной связи. Сложно представить современную жизнь, предприятия, учебные заведения, места скопления людей без беспроводной сети. Но для её успешной реализации, нужно уметь грамотно построить беспроводную сеть. А для этого необходимо знать зависимость характеристик wi-fi покрытия от ряда факторов.

Цель данной курсовой работы: Исследовать зависимость wi-fi покрытия от характеристик и расположения абонентских устройств.

Задачи:

1. Изучить , что такое wi-fi сеть и принцип её работы.
2. Получить зависимость скорости приема и передачи данных различными абонентскими устройствами, при подключении их к сети.
3. Выявить, влияют ли Probe Request не подключенных устройств на загруженность сети.
4. Получить зависимость распределения эфирного времени между устройствами в одной сети.
5. Выявить факторы, влияющие на передачу данных в сети.
6. Написать программу для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Wi-fi и стандарт IEEE 802.11.

Wi-Fi**— протокол беспроводной сети короткого действия, покрывающей десятки метров и использующей не лицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети.** Созданный для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводная точность»).

Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi.

IEEE 802.11это набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов, всего их используется четыре: 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц.

Первоначально появился стандарт 802.11, он  предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и, опционально, на скорости 2 Мбит/с.

На смену ему пришел первый высокоскоростной стандарт беспроводных сетей — IEEE 802.11a с возможной скоростью передачи уже до 54 Мбит/с . Рабочий диапазон стандарта равнялся  5 ГГц.

Далее появляется стандарт IEEE 802.11b на базе которого было построено большинство беспроводных локальных сетей, он предусматривает использование нелицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц, работающий по методу прямой последовательности для расширения спектра(DSSS), благодаря чему скорость передачи данных увеличилась до 11 Мбит/с.

Наиболее используемым является стандарт IEEE 802.11g использующий частоту 2,4 ГГц , скорость передачи в 54 Мбит\с и имеющий возможность обратной совместимостью с другими стандартами с работой на их скоростях передачи данных.

В наше время большинство сетей работают по Стандарту 802.11n, который повышает скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов  802.11g, при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 800 Мбит/с

Устройства 802.11n работают в диапазонах 2,4 или 5,0 ГГц.

Кроме того, устройства 802.11n могут работать в трёх режимах:

* наследуемом (Legacy), в котором обеспечивается поддержка устройств 802.11b/g и 802.11a;
* смешанном (Mixed), в котором поддерживаются устройства 802.11b/g, 802.11a и 802.11n;
* «чистом» режиме — 802.11n (именно в этом режиме и можно воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных, обеспечиваемыми стандартом 802.11n).

Принцип работы wi-fi сети.

Обычно схема сети содержит не менее одной точки доступа/маршрутизатора Wi-Fi (стандарты 802.11a/b/g/n) и не менее одного клиента. Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа отправляя Probe Request запросы. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала.

Устройства WiFi и точки доступа WiFi имеют доступ к одному разделяемому каналу передачи данных – радиоэфиру на определенной частоте. В любой конкретный момент по каналу может осуществлять передачу только одно устройство, в противном случае очевидно возникновение коллизии. Когда одно из устройств или точка доступа начинает передачу, другие устройства и точки доступа замолкают. Затем, после передачи данных, все устройства и точки доступа проходят через процесс, называемый «арбитраж», чтобы определить, кто будет осуществлять передачу следующим. Выбранное для передачи устройство передает данные, начиная, таким образом, весь процесс заново.

Существует разделение беспроводных сетей:

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

* Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные)
* Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
* Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:

* Со статическими настройками радиоканалов
* С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
* Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

Факторы влияющие на работу wi-fi сети:

* Количество клиентов
* Расстояние между точкой доступа и клиентом
* Количество устройств с включенным wi-fi модулем, находящихся в зоне сети
* Естественные и искусственные преграды
* Количество точек доступа
* Характеристики устройств клиентов и точек доступа
* Другие устройства работающие в диапазоне частот 2-5 ГГц

Влияние ProbeRequest на загруженность сети.

Probe Request- зондирующий кадр запроса, отправляемый устройствами для поиска доступной wi-fi сети передаваемый по стандарту раз в секунду.

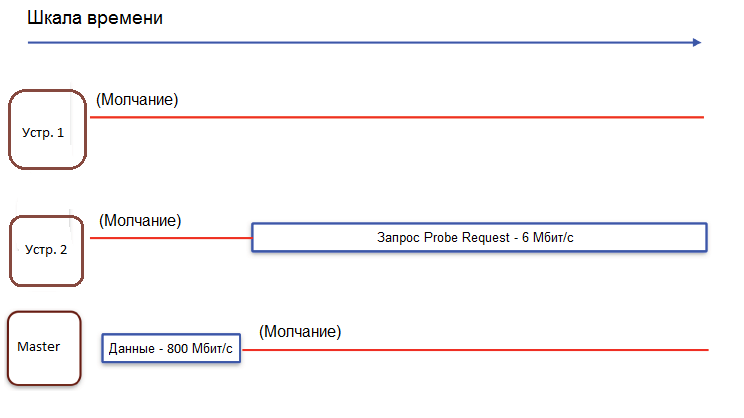
Устройство клиент рассылает PR запрос на определенных частотах всем точкам доступа, в доступной области. Устройства точек доступа принимает его, и если возможно установить беспроводную связь, отсылает ответ, разрешающий обмен кадрами данных. Проблема заключается в том, что типовой Probe Request запрос имеет длину от 160-360 байт, в то время как кадр данных имеет длину около 1600байт( 1500-1550 байт полезной нагрузки плюс 8 байт инкапсуляции верхнего уровня и 38 байт заголовка). При этом кадр запроса передается устройствами на самой низкой из возможных скоростей передачи данных для достижения как можно большего количества точек доступа. Современные устройства WiFi передают кадры Probe Request на скорости 1 или 6 Мбит/с, в то время как кадры данных со скоростью до 800Мбит/с. При математическом подсчете каждый запрос Probe Request будет занимать от 240 до 2920 микросекунд времени канала, а кадр данных займет только 280 микросекунд времени канала, включая заголовки и инкапсуляцию. (см.рис. 1.) 

Рис. 1.

А значит, в самом наилучшем случае запрос Probe Request использует примерно такое же время канала, что и кадр данных в самом наихудшем случае. А так, как одновременно данными могут обмениваться только две точки – приёмник и передатчик, то другим устройствам приходится ожидать своей очереди на эфирное время, что сильно тормозит скорость передачи данных на все устройства сети.

С данной проблемой ведут активную борьбу, и новые устройства передают гораздо меньше кадров Probe Request, если не подключены к сети WiFi, но все же, в средах с высокой плотностью устройства WiFi могут разрушать работу сети WiFi, даже никогда не подключаясь к ней.

В домашних условиях был проведен опыт, с использованием wi-fi роутера , работающего по стандарту IEEE 802.11n/g, и нескольких устройств-клиентов, так же работающих по данным стандартам. В каждом эксперименте измерялась скорость получения данных одним из устройств, при различном количестве устройств с включенным wi-fi модулем. Были получены следующие результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство | Скорость передачи данных при выключенных остальных устройствах | Скорость приёма данных при выключенных остальных устройствах | Скорость передачи данных- wi-fi модули др. устройств включены | Скорость приёма данных- wi-fi модули др. устройств включены |
| Телефон Huawei | 61-69 Mb/s | 45-51 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-42 Mb/s |
| Телефон iphone 6s | 69-78 Mb/s | 51-62 Mb/s | 61-65 Mb/s | 46-48 Mb/s |
| Телефон iphone 5s | 61-65 Mb/s | 44-50 Mb/s | 55-58 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Ноутбук Asus | 65-69 Mb/s | 54-60 Mb/s | 59-62 Mb/s | 47-50 Mb/s |
| Ноутбук Lenovo | 59-62 Mb/s | 49-51 Mb/s | 53-55 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Планшет Samsung | 59-60 Mb/s | 45-50 Mb/s | 54-56 Mb/s | 39-41 Mb/s |
| Телевизор LG | 55-57 Mb/s | 51-57 Mb/s | 49-52 Mb/s | 44-47 Mb/s |
| Консоль SP4 | 40-44 Mb/s | 27-30 Mb/s | 34-36 Mb/s | 22-25 Mb/s |

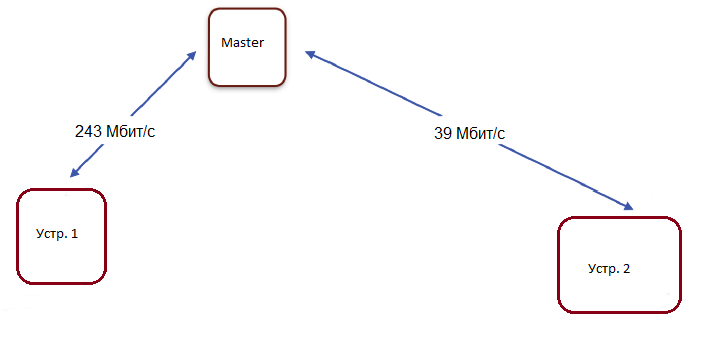
В каждом эксперименте было проведено 15 тестов для получения среднего результата скорости приёма\передачи данных. Все приложения, требующие доступ к интернету на устройствах были отключены. Тестирование проводилось программой SpeedTest. По полученным данным видно, что скорость приёма\передачи данных заметно выше, когда включен wi-fi модуль только на тестируемом устройстве. Всего семь дополнительных устройств, с включенным wi-fi уменьшили скорость передачи данных на 5-7% и приёма данных на 6-9%. Значит в местах с высокой плотностью абонентских устройств, имеющих в включенном состоянии wi-fi модуль, загруженность сети может возрасти до 60-70% только по причине Probe Request запросов.

Эфирное время. Распределение эфирного времени между устройствами.

Wi-Fi (сети 802.11) - это разделяемая среда, и работает она в полудуплексном режиме. Только одна передающая станция (Точка Доступа WiFi или клиентское устройство с WiFi) может использовать канал одновременно и как прямой канал, и как обратный, работая на одном частотном канале WiFi. Полное время работы передающей станции для обмена данными называется Эфирным временем, и оно распределяется между всеми устройствами сети.

Каждый частотный канал WiFi или ячейка, используемые в сетях Wi-Fi, представляют собой потенциальный блок полосы пропускания. В реальных сетях стандарта WiFi фактическая необходимая полоса пропускания на приложение это то, что отличает от сигнальных скоростей. Скорости передачи данных (data rates) представляют скорости с которыми пакеты данных будут переноситься через радиосреду. Пакеты содержат определенное количество заголовков, которые требуются для обработки и контроля этих пакетов. Скорость приложения возникает из понимания того, что это связано именно с частью полезной нагрузки (payload) в пакетах. Но так, как каждое из устройств сети 802.11 имеет различные стандарты a/b/g/n, они находятся на разном расстоянии друг от друга и имеют различные технические характеристики, то и скорость передачи данных между ними будет отличаться. Но даже когда возможна только минимальная скорость передачи данных, связь будет поддерживаться, при этом выделяя большую часть эфирного времени для связи с данным устройством.

За распределением эфирного времени между всеми устройствами в сети отвечает DRS – протокол динамического переключения скоростей и распределения эфирного времени. Он определяет оптимальную скорость передачу данных между устройствами таким образом, чтобы обеспечивать минимальные коллизии. Когда состояние канала ухудшается, низкоскоростной трафик WiFi будет продолжать успешно передаваться, даже когда это будет невозможно для высокоскоростного трафика, при этом заново перераспределяя эфирное время между всеми устройствами. Так как используются различные скорости передачи данных и перераспределяется эфирное время, пропускная способность сети WiFi начинает меняться. Весь канал теряет пропускную способность, поскольку низкоскоростной трафик занимает больше времени канала на передачу того же объема данных. Ведь на каждое устройство передаётся определенное количество кадров данных, после этого очередь переходит к другому устройству. А когда передача каждого кадр данных занимает больше времени, из-за малых скоростей передачи, через канал может проходить меньшее количество информации. В конечном итоге вся сеть становится медленнее. (См.рис. 2.)



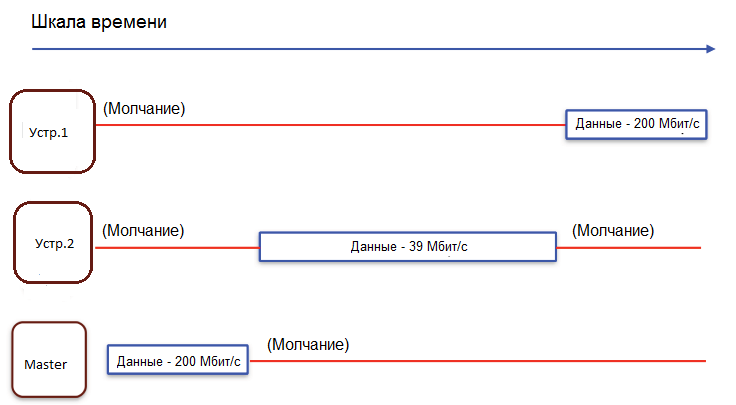


Рис.2.

Влияние нескольких точек доступа на скорость внутри сети.

Сети стандарта WiFi 802.11 основаны на принципе «спора за эфир» и зависят от реализации механизмов определения чистого канала для передачи информации для подтверждения состояния среды (если эфир занят мы ждем, если свободен мы передаем) которыми управляет DRS протокол. Но возможны случаи, когда клиент находится в зоне действия нескольких wi-fi покрытий, и тогда производительность клиента может быть подвержена негативному воздействию, если он слышит несколько точек доступа. Для этого клиента зоны покрытия каждой точки доступа соединены в одну большую зону. Если канал клиента>канала точки доступа, то передачи от всех точек доступа будут выглядеть как занятие канала с точки зрения клиента и клиент будет просто ждать возможность передачи. Хуже то, что в случае, когда канал точки доступа>канала клиента передачи с любой точки доступа wi-fi будут потенциально вызывать коллизии и перепосылку фреймов, что будет вести к усилению состояния конкуренции за среду и будет продолжать снижать скорости передачи данных. В инфраструктуре с высокой плотностью сами wi-fi -клиенты будут иметь эффект увеличения размера wi-fi покрытия.

ССА-механизм определения частотного канала для передачи, основанный на получении порогового значения, которое позволяет проанализировать несущую частоту на состояние активности. Он определяет наиболее эффективную точку доступа и изолирует клиента от других точек.

Так же существует система управления Cisco WCS выполняющая мониторинг межканальной интерференции и идентифицирующая ответственные точки доступа. Алгоритм Cisco RRM (Radio Resources Management) является централизованным ресурсом масштабов всей сети WLAN, который постоянно анализирует каждую Точку Доступа в радиосети для определения взаимоотношений со всеми остальными ТД в системе. Используя Cisco WCS возможно исследовать насколько хорошо точки доступа , состоящих из передающих и принимающих, могут слышать друг друга вне зависимости от используемых каналов.

Это помогает наиболее эффективно настроить передачу данных в wi-fi сети.

Математический расчет зоны Wi-fi покрытия.

Порой бывает необходимо хотя бы приближенно оценить дальность работы беспроводного оборудования. Эта оценка может потребоваться и в домашних условиях, когда нужно понять, где проходит граница действия вашей точки доступа, так и в случае проектирования небольшой офисной сети. Для расчета дальности беспроводного канала связи нужно ввести некоторые понятия:

FSL (Free Space Loss) - потери в свободном пространстве (дБ); F- центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц); D - расстояние между двумя точками (км). FSL определяется суммарным усилением системы. Оно считается следующим образом: Yдб=Pп+Gум+Gус-Pч-Lпм-Lпс

Где Pп- мощность передатчика, Gум – коэффициент усиления передающей антенны, Gус-коэффициент усиления приемной антенны, Pч-чувствительность приёмника на данной скорости, Lпм-потери сигнала в кабеле и разъемах передающего тракта, Lпс- потери сигнала в кабеле и разъемах приёмного тракта.

Расчет не учитывает дифракцию и рассеяние радиоволн на препятствиях, находящихся поблизости от пути распространения сигнала. Определить, какое пространство должно быть свободным вокруг воображаемой оси между антеннами можно при помощи расчёта зоны Френеля. Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют зоной Френеля. Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал.

Радиус первой зоны Френеля над предполагаемой преградой может быть рассчитан с помощью формулы: R=17.3√(1/f SD/(S+D)), где R - радиус зоны Френеля (м); S, D - расстояние от антенн до самой высшей точки предполагаемого препятствия (км); f - частота (ГГц).

Есть некоторые усредненные значения показывающее необходимое пространство зону Френеля для организации надежной связи WiFi антенн.( См. приложение Таблица зоны Френеля)

Обычно блокирование 20% зоны Френеля вносит незначительное затухание в канал. При блокировании свыше 40% затухание сигнала будет уже значительным, следует избегать попадания препятствий на пути распространения.

Мощность передатчика написана в технических характеристиках оборудования. Если она указана в mW, то (см.приложение Таблица перевода mWв dBm).

Потери сигнала в кабеле и разъемах обычно минимальны, поэтому в расчетах обычно берется значение равное 3-6 dBm. Для точного результата можно расчитать исходя из следующих характеристик:

* Потери в пиктейлах - 2 dBm/m;
* Потери в кабеле RJ-8U - 0,3 dBm/m;
* Потери в конекторах- 1-2 dBm/m;

Для каждой скорости приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1-2 Мегабита) чувствительность наименьшая: от -90 dBmВт до -94 dBmВт. Для высоких скоростей чувствительность намного выше. Для определения соотношения скорость-чувствительность (см. приложение Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных).

FSL вычисляется по формуле: FSL= Yдб-SOM , где SOM(System Operating Margin) - запас в энергетике радиосвязи (дБ). Учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;

- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;

- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

Параметр SOM обычно берется равным 10-20 дБ. Считается, что 10-20 децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

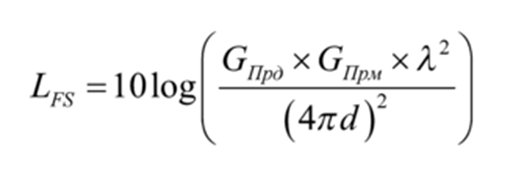
Центральная частота канала F является табличным значением. (см. приложение Таблица Центральной частоты канала)

Зная все эти данные можно вычислить дальность связи: D=10(FSL/20 -33/20 – lgF)

В связи с тем, что Wi-fi связь подвержена фактору потери радиосигнала, в идеальных условиях( отсутствуют препятствия для сигнала) оптимальным расстоянием для качественной связи является расстояние от 0-D/exp киллометров.

Математичекский расчет потери радиосигнала Wi-fi.

Модели расчета потерь радиосигнала позволяют оценить затухания электромагнитной волны, излучаемой Wi-Fi адаптером, с учетом количества и типа препятствий на пути прохождения сигнала. В идеальных условиях (отсутствуют препятствия на пути прохождения сигнала, и нет многократных переотражений сигнала) оценить мощность сигнала в любой точке свободного пространства можно по формуле Фрииса:



[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0036.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0035.png)– коэффициент усиления антенны передатчика;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0040.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0039.png)– коэффициент усиления антенны приемника;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0042.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0041.png) – длина волны, метров;  
[http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0044.png](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0043.png) – расстояние между приемником и передатчиком, метров.

Для оценки поведения можно построить график зависимости затухания LFSс увеличением расстояния для Wi-Fi сигнала на первом частотном канале (центральная частота 2437 МГц) в диапазоне 2.4 ГГц – синяя кривая, и в диапазоне 5 ГГЦ – красная кривая. При этом коэффициенты усиления приемной и передающей антенны взять равными единице. (См.рис. 3.)

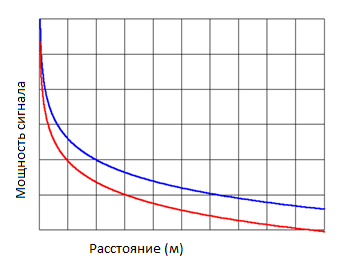
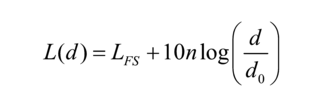


Рис. 3.

Как правило, большинство моделей распространения используют значение потерь в свободном пространстве в качестве базового, и добавляют к нему переменные, вносящие дополнительное затухание в зависимости от типа препятствий и их электрофизических свойств. К таким моделям относятся, например, One slope и стандартизированная Международным союзом электросвязи модель потерь – ITU-R 1238. Перечисленные модели потерь относятся к классу эмпирических статических моделей, то есть для их использования нужно общее описание типа задачи (типа помещения).

One slope:

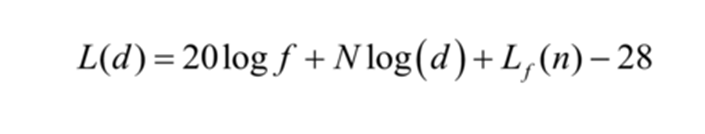
[](http://nag.ru/upload/images/29259/20160518-0013.png)

где: d – расстояние в метрах, на котором производится оценка затухания;

Lfs– потери на расстоянии d0 метров;

n– коэффициент, зависящий от количества и материала препятствий.

ITU-R 1238:



где: d>1, м– расстояние, на котором производится оценка затухания;

f – частота центрального канала Wi-Fi, МГц;

N– коэффициент потери уровня сигнала с расстоянием;

Lf (n)– коэффициент потери мощности сигнала при прохождении через стену (пол);

– количество стен (полов) между приемной и передающей антеннами.

Создание приложения для расчета дальности Wi-fi сигнала по характеристикам устройств и выявления оптимального расстояния.

Для разработки данного приложения использовалась Microsoft Visual Studio. Из теоретической информации необходимо знать формулы расчета дальности Wi-fi связи приведенные на стр. 13.

Приложение производит расчет дальности Wi-fi сигнала в идеальных условиях(нет факторов препятствующих распространению wi-fi сигнала).

Нахождение оптимального расстояния так же рассчитано на идеальные условия.

Для работы в данном приложении требуется знать технические характеристики устройств приемника и передатчика, а именно:

* 1. Чувствительность приёмника
  2. Коэффициент усиления приёмника
  3. Коэффициент усиления передатчика
  4. Поддерживаемый запас по энергетике (10,15,20 dB)
  5. Номер канала связи (1-14)
  6. Мощность передатчика

Программный код Приложения и примеры работы см. в приложении.

Заключение:

Wi-fi – это широко используемая беспроводная сеть. Она стремительно развивается, с каждым годом набирая всё большие масштабы. Зоны wi-fi покрытия окутали практически все пространство в городах. Wi-fi это удобный, беспроводной и быстрый способ для обмена информацией и данными. Для развития данной технологии требуются многочисленные исследования поведения сигнала, новинки техники и программного обеспечения.

В ходе данной работы было проведено теоритическое и экспериментальное исследование зависимости характеристик wi-fi покрытия от характеристик и распределения абонентских устройств. Экспериментально было подтверждено влияние устройств, не подключенных к сети, но с включенным wi-fi модулем, на нагрузку сети. Так же было написано приложение для расчета дальности wi-fi сигнала и нахождения оптимального расстояния для связи приёмника и передатчика в идеальных условиях.

Список используемой литературы:

1. https://hobbyits.com/cifrovye-texnologii/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti.html Устройство и принцип работы wi-fi сети
2. http://www.mnogo-otvetov.ru/computery/chto-takoe-vaj-faj-i-dlya-chego-on-nuzhen/ Wi-fi сети
3. http://useroff.com/chto-takoe-wi-fi.html Беспроводные соединения
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi Wi-fi
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\_802.11
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Metod\_rashirenia\_spectra Метод прямой последовательности для расширения спектра
7. http://set-os.ru/zona-pokryitiya-wifi-routera/ Радиус зоны покрытия wifi
8. http://bibliofond.ru/view.aspx?id=787011 Научная работа:Построение wi-fi сети
9. https://wifi-solutions.ru/matematicheskij\_raschet\_dalnosti\_wi\_fi\_signala

Приложение:

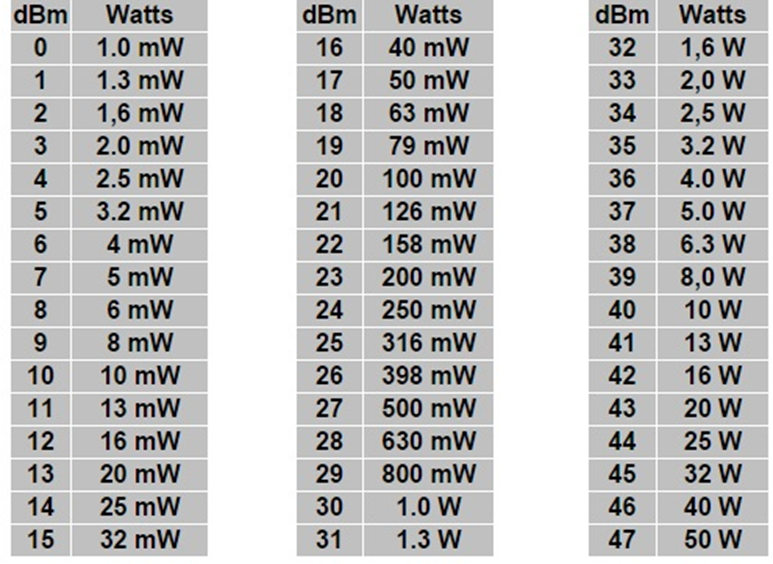
Таблица зоны Френеля

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Дистанция между антеннами [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 2,4Ghz [м] | Требуемый радиус первый зоны френеля на частоте 5Ghz [м] |
| 300 | 3,06 | 2,12 |
| 1600 | 7 | 4,9 |
| 8000 | 15,81 | 10,95 |
| 10000 | 17,68 | 12,25 |
| 15000 | 21,65 | 15 |

Таблица зависимости чувствительности от скорости передачи данных.



Таблица перевода mWв dBm.



Пример работы программы:

Рассчитаем возможную дальность на примере WDS радиомоста на двух точках доступа PheeNet WLO-12400N с антеннами PheeNet ANT24-012SN-D в качестве передающей и PheeNet ANT24-013PN-D в качестве принимающей.

Из спецификаций на точку доступа нам необходимы параметры:

Мощность – 800 mW

Receive Sensitivity (чувствительность приёмника) – (-97dBm)

Из спецификаций на используемые антенны нас интересуют параметры «Коэффициент усиления антенны», которые составят 12dBm и 13 dBm соответственно

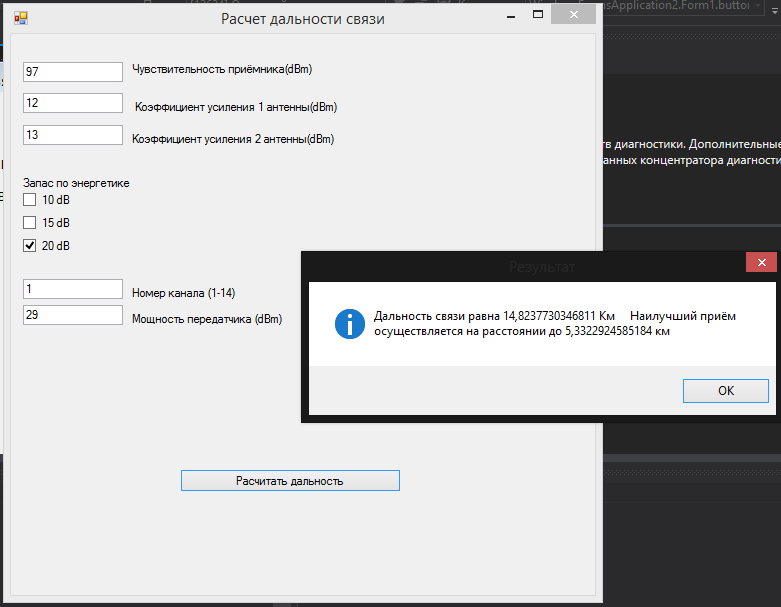
SOM (запас по энергетике) 20dB

Центральная частота для 1 канала (2.4ГГц)

Переведём мощность точки доступа из mW в dBm по таблице

800 mW = 29 dBm

Внесем данные в программу:



Расстояние дальности возможной связи = 14.8км

Оптимальное расстояние = 5.3км

Программный код:

using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Data;

using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApplication2

{

public partial class Form1 : Form

{

public Form1()

{

InitializeComponent();

}

private void textBox1\_TextChanged(object sender, EventArgs e) { }

private void textBox2\_TextChanged(object sender, EventArgs e){ }

private void checkBox1\_CheckedChanged(object sender, EventArgs e) {}

private void button1\_Click(object sender, EventArgs e)

{

int a = 1;

if (textBox1.Text != String.Empty)

{

}

else

{

MessageBox.Show("Введите чувствительность приёмника", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

a = 0;

}

if (textBox2.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 1 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox3.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Коэффициент усиления 2 антенны", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox4.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите номер канала (1-14)", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (textBox5.Text != String.Empty)

{

}

else

{

a = 0;

MessageBox.Show("Введите Мощность передатчика", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{

a = 0;

MessageBox.Show("Выберите запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if ((checkBox1.Checked == true && (checkBox2.Checked == true || checkBox3.Checked == true)) || (checkBox2.Checked == true && (checkBox3.Checked == true || checkBox1.Checked == true)) || (checkBox3.Checked == true && (checkBox1.Checked == true || checkBox2.Checked == true)))

{

a = 0;

MessageBox.Show("Можно выбрать только 1 запас по энергетике", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

if (a == 1)

{

int f = 20;

double chyvstvitelnost = double.Parse(textBox1.Text);

double k1 = double.Parse(textBox2.Text);

double k2 = double.Parse(textBox3.Text);

int number = Int32.Parse(textBox4.Text);

double N1 = double.Parse(textBox5.Text);

if ((number > 14) || (number < 1))

{ MessageBox.Show("Номера каналов принимают значение от 1-14", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information); }

else {

switch (number)

{

case 1:

f = 2412;

break;

case 2:

f = 2417;

break;

case 3:

f = 2422;

break;

case 4:

f = 2427;

break;

case 5:

f = 2432;

break;

case 6:

f = 2437;

break;

case 7:

f = 2442;

break;

case 8:

f = 2447;

break;

case 9:

f = 2452;

break;

case 10:

f = 2457;

break;

case 11:

f = 2462;

break;

case 12:

f = 2467;

break;

case 13:

f = 2472;

break;

case 14:

f = 2484;

break;

}

int som = 1;

if (checkBox1.Checked == true && checkBox2.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 10; }

else { };

if (checkBox2.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox3.Checked == false)

{ som = 15; }

else { };

if (checkBox3.Checked == true && checkBox1.Checked == false && checkBox2.Checked == false)

{ som = 20; }

else { };

double Ydb = N1 + k1 + k2 - chyvstvitelnost - 8;

double fsl = Ydb - som;

double f1 = Math.Log10(f);

double fsl1 = Math.Abs(fsl);

double z = 1.65;

double z2 = fsl1 / 20;

double range = Math.Abs(z2 - z - f1);

double range2 = range \* 10;

double toprange = range2 / 2.78;

MessageBox.Show("Дальность связи равна " + range2 + " Км"+" "+"Наилучший приём осуществляется на расстоянии до " + toprange + " км" , "Результат", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

}

}

}

}

}