

Расширенный диапазон беспроводных сетей

Различные технологии для оптимизации беспроводных соединений большого радиуса действия



Техническое примечание

Статья составлена на основе реальных данных, собранных за последние 5 лет, а также результатов изучения традиционных источников информации, описывающих технические аспекты передачи и распространения микроволнового излучения. Чтобы облегчить изложение этой сложной темы, технические детали в статье сведены к минимуму. В качестве рабочих сценариев вместо технических деталей приведены примеры тестов с реальными результатами. Благодаря этому становятся ясны

возможности и ограничения сетей, созданных на основе беспроводных технологий, доступных в настоящее время.

Обзор

WiFi, WLAN, 802.11a/b/g - это термины, используемые на быстро развивающемся рынке беспроводных сетевых решений. Этот обобщенный термин охватывает все сферы рынка, имеющих отношение к связи между компьютерами с помощью радиосигналов. WiFi (сокращенный вариант термина "wireless fidelity" - надежность беспроводной связи) - это распространенный термин для обозначения высокочастотных беспроводных локальных сетей (WLAN). "Высокая частота" в этих терминах означает частоту 2,4 ГГц (802.11b и g) и 5 ГГц (802.11a) при микроволновой передаче данных WLAN.

При использовании стандартных беспроводных точек доступа (AP) и беспроводных сетевых карт (WNIC) можно создавать сети WLAN, передающие данные на расстояние от 100 до 300 м при условии прямой видимости. Если заменить всенаправленные антенны на направленные, то это расстояние можно значительно увеличить. При использовании соответствующей пары точек AP с направленными антеннами расстояние " сетевого моста" легко можно увеличить до 2 - 4 км и даже больше. Эта технология особенно полезна при установке связи между отдаленными зданиями, между которыми имеются такие препятствия, как реки или ручьи, или при установке связи между объектами традиционной инфраструктуры, в которых стоимость установки чрезвычайно высока. Если же эта связь установлена, то такие распространенные операции локальной сети, как совместное использование файлов и служб печати, электронная почта, доступ к сети Интернет и даже передача голоса по сетям IP, могут выполняться быстро и на большие расстояния, причем стоимость этих операций будет чрезвычайно мала. При условии использования беспроводного соединения с частотой 2,4 ГГц и тарелочных антенн расстояние передачи можно увеличить до 50 км.

WiMAX (802.16) представляет собой более новую технологию создания беспроводных сетей расширенного диапазона и соединений "Last mile" (Последняя миля) с частотой от 10 ГГц до

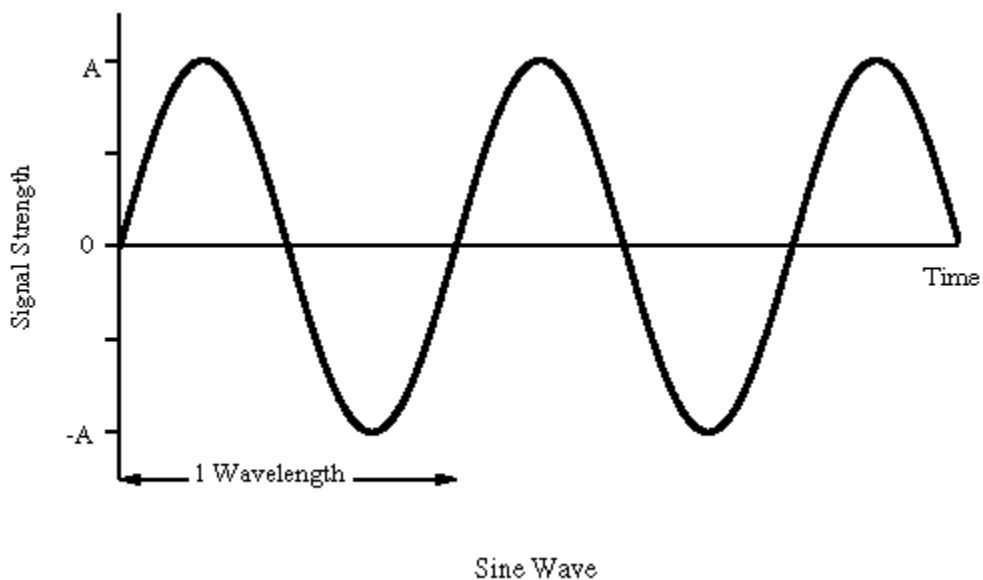
66 ГГц. Окончательное утверждение этого нового стандарта еще не состоялось, поэтому он не включен в данный документ.

Некоторые из основных понятий

Все мы знаем, что такое радиоволны. Мы используем их ежедневно, слушая новости по радио, просматривая телепередачи и звоня по мобильному телефону. Совсем недавно радиоволны стали использоваться для установки соединений между компьютерами без использования кабелей или проводов.

Радиоволны довольно сложны по своей структуре и по способу распространения в воздухе (или в любой другой среде). Однако их можно изобразить в виде синусоиды.

Рис. 1.



Длина волны - это протяженность одной синусоиды. Частота - это количество таких волн, проходящих через точку за 1 секунду. Если за секунду через точку проходят 50 волн (такова частота в домашней электросети), то частота составляет 50 Герц или 50 Гц.

Вот некоторые примеры ежедневного использования различных частот.

| | | | |
|-------------------------|-------------------------|-----------------|---------|
| Приемник АМ-сигналов | 500-1500 кГц | 802.11 b/g WiFi | 2,4 ГГц |
| Приемник FM-сигналов | 87 МГц - 107 МГц | 802.11a WiFi | 5 ГГц |
| Телевидение 500-700 МГц | Спутниковое телевидение | 12 ГГц | |
| Мобильные телефоны | 900 МГц | Освещение | 441 ТГц |

Что представляют собой микроволны?

Микроволны - это радиоволны с частотой от 900 МГц до 300 ГГц. Выше данного спектра радиочастот радиоволны уже ведут себя как световые волны. Волны отскакивают от поверхностей, особенно от металлических поверхностей. Пример тому - спутниковая антенна. Сигнал спутника, проходящего по геостационарной орбите на расстоянии от Земли 36000 км, достигает вашей антенны спутниковой связи, отражается и поступает на LNB (приемный механизм антенны), затем - на приемник спутниковой связи. Кроме того, более мощные микроволны ежедневно используются для разогревания пиццы. Рабочая частота в

микроволновой печи находится в пределах спектра радиочастот (2,4 ГГц), то есть соответствует широко распространенному стандарту WiFi. Однако следует заметить, что микроволновые печи выделяют большее количество микроволн, чем антенна WiFi.

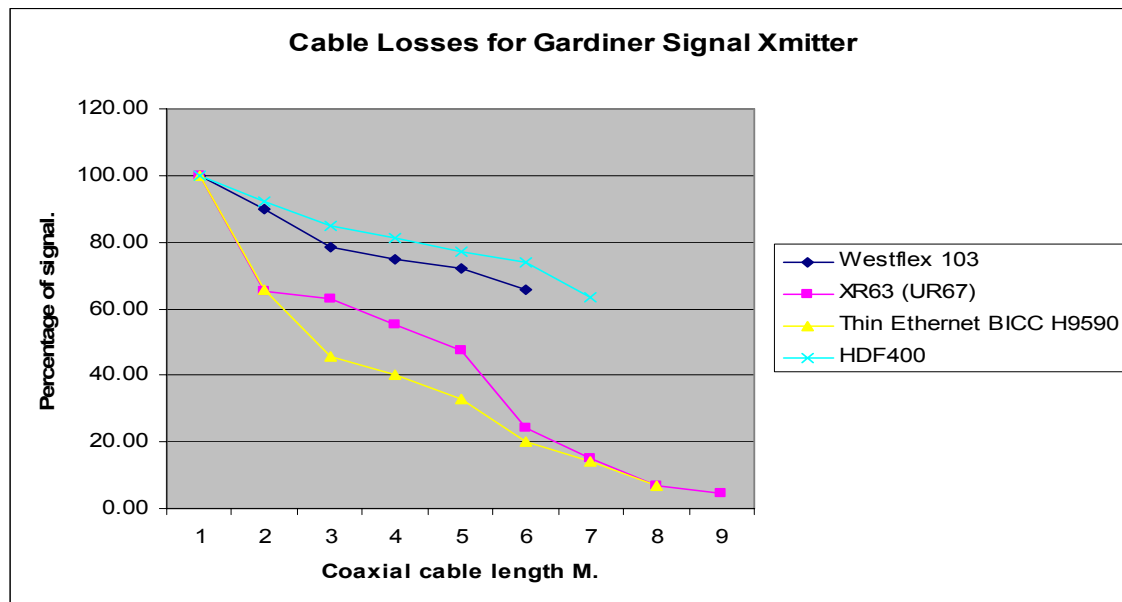
Микроволны – генерирование и передача

В беспроводном сетевом оборудовании микроволны генерируются с помощью сверхвысокочастотного транзистора. Обычно частота составляет приблизительно 2,4 ГГц (от 2,402 ГГц до 2,482 ГГц для 802.11b/g), а выходная мощность регулируется Европейским стандартом (ETSI), стандартом Северной Америки (FCC) и стандартом Великобритании (OFCOM). Данная выходная мощность практически равна выходной мощности индикатора режима ожидания на передней панели вашего телевизора.

Проблема ограничений мощности при этом ничтожно мала. Потеря мощности может произойти при неудачном соединении кабеля (линии передачи) и разъемов. Существуют также потери на антенне и при передаче по воздуху (потери в свободном пространстве).

В случае сочетания высокой частоты и малой мощности даже при передаче микроволн по высококачественному коаксиальному кабелю наблюдаются большие потери мощности. Сигнал рассеивается при прохождении по коаксиальному кабелю, поэтому длина линий передачи должна быть сведена к минимуму. В одном из проведенных тестов участвовал известный производитель Великобритании, занимающийся реализацией высококачественных коаксиальных линий передачи длиной 9 м. Как оказалось в результате теста, при прохождении по этой линии 87% мощности сигнала было утеряно.

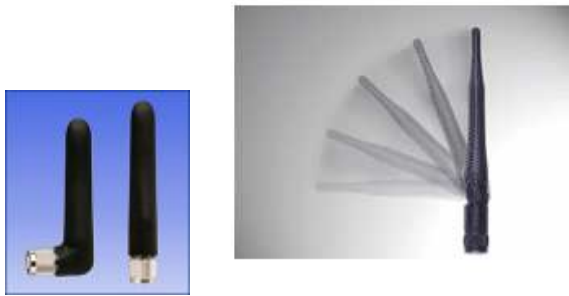
Рис. 2.



Третьим компонентом линии передачи является антенна. фактически, все антенны можно разделить на два типа. Направленные и всенаправленные.

Всенаправленные антенны передают сигналы во всех направлениях (360 градусов). Наиболее часто они представляют собой стержень, направленный вверх (вертикальный поляризованный). Обычно это дипольные антенны, используемые в точках доступа и сетевых картах.

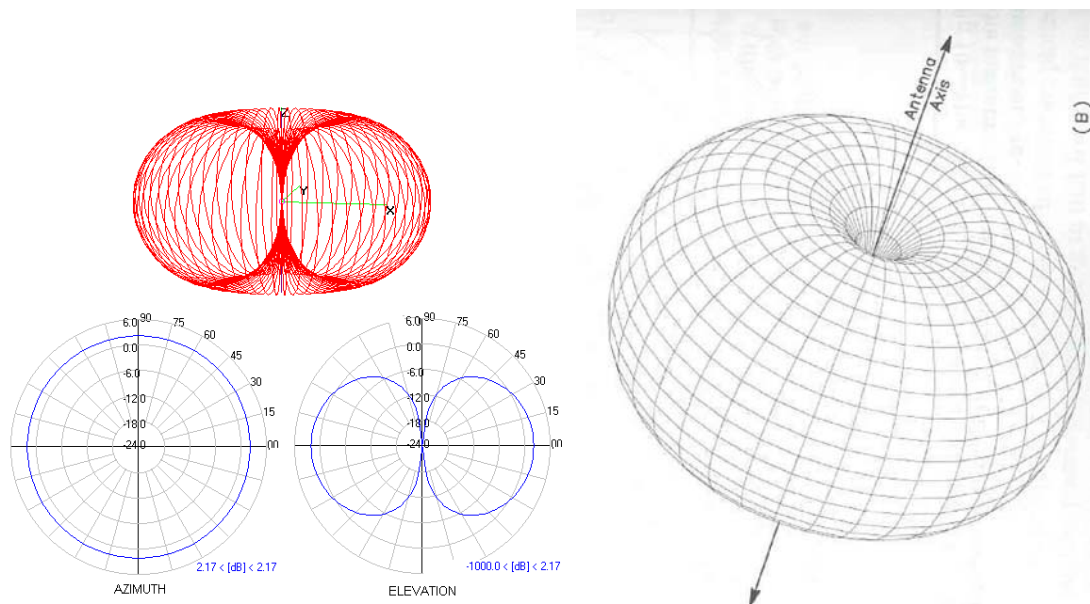
Рис. 3.



Основная причина использования дипольных антенн - это их относительная эффективность, а также простота и низкая стоимость сборки. Размер такой антенны напрямую зависит от передаваемой/принимаемой частоты.

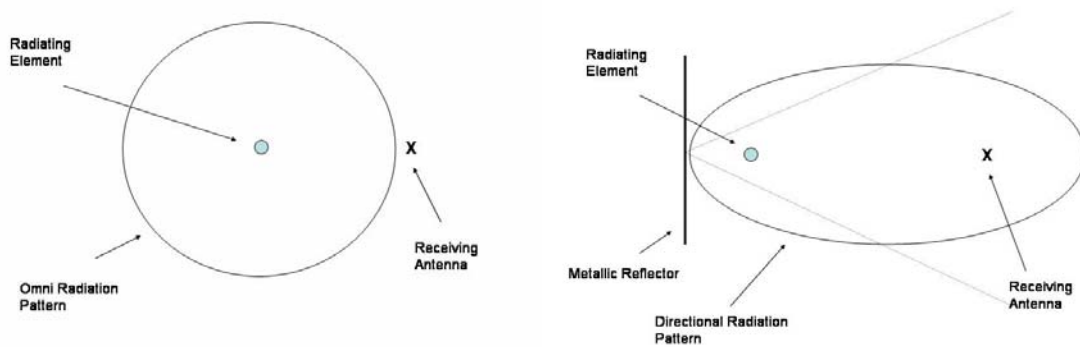
При частоте 2,4 ГГц длина волны составляет приблизительно 13 см. Это значит, что при делении такой волны можно сократить длину антенны. Наиболее часто используется дипольная антенна в четверть длины волны, что составляет 3,25 см для каждой половины диполя. По причине производственного брака и других потерь диаграмма излучения всенаправленной антенны никогда не бывает безупречной, однако такая антенна идеально демонстрирует диаграмму направленности излучения в форме кольца, показанной на рисунке ниже.

Рис. 4.



В направленных антеннах обычно используется излучающий элемент (часто - диполь), а затем - отражатель для изменения диаграммы направленности излучения. Простейшая конструкция направленной антенны - плоский металлический рефлектор помещается за всенаправленной антенной, в результате получается базовая направленная антенна. См. рис. ниже.

Рис. 5.



**Диаграмма всенаправленного излучения
направленного излучения**

Диаграмма

Если "сжать" диаграмму направленности излучения в как можно более узкий направленный поток, используя при этом механизм отражения от антенны в форме тарелки, то можно значительно увеличить мощность в точке X. Пунктирная линия обозначает сокращенную диаграмму направленности излучения (направленный поток) по сравнению с всенаправленной антенной с диапазоном действия 360 градусов.

Увеличенная мощность в точке X называется усилением и измеряется в децибелах (дБ). Она представляет собой эффективное усиление мощности передатчика/приемника. дБ - это логарифмическая единица измерения. Примером может служить снижение мощности на 1 дБ, равное снижению исходной мощности приблизительно на 20%. Снижение на 3 дБ - это снижение исходной мощности на 50%. И наоборот, увеличение исходной мощности вдвое означает усиление в 3 дБ; увеличение вчетверо - усиление в 6 дБ.

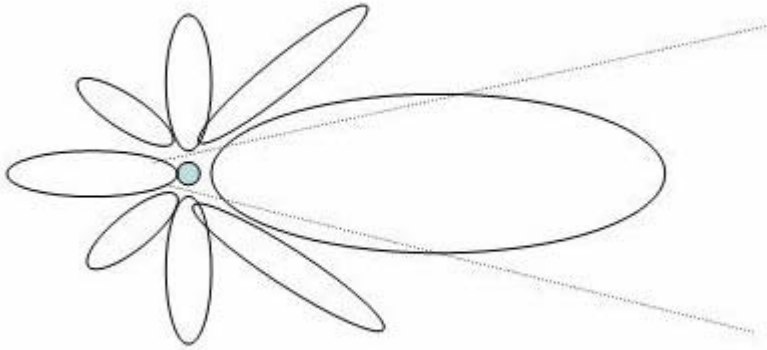
Направленные антенны часто конструируются по-другому, чтобы усовершенствовать диаграмму направленности излучения (по сравнению с диаграммой на рис. 5). Для большего усиления и направленности такие антенны имеют спиралевидную форму и несколько отражающих слоев.

Рис. 6.



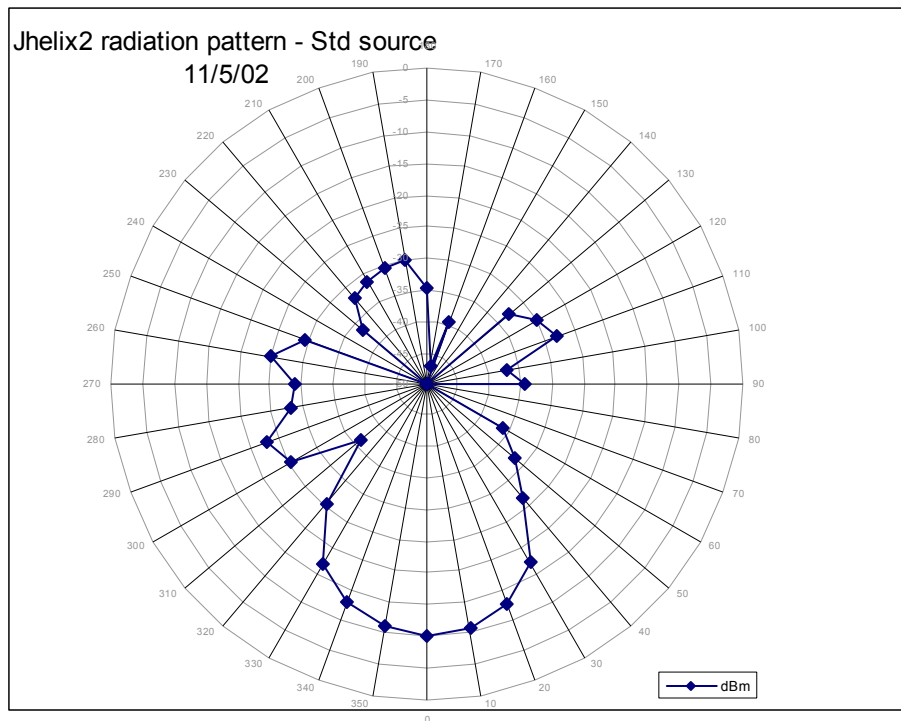
Однако все эти антенны далеко не безупречны, и их диаграмма направленности излучения часто выглядит следующим образом.

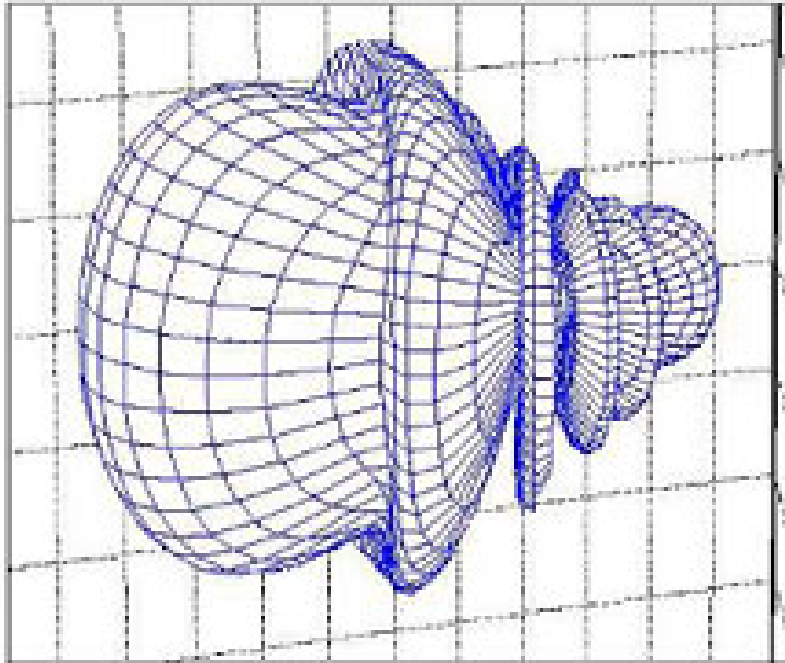
Рис. 7.



"Лепестки" на диаграмме направленности излучения включают главный "лепесток" (зону наиболее сильного излучения) и боковые "лепестки" (зона низкой производительности антенны). Ширина диаграммы направленности - это угол зоны главного "лепестка" Реальные диаграммы направленности излучения часто выглядят следующим образом:

Рис. 8.





Сферы использования и установка направленных антенн

Существует 2 основные причины, по которым используются направленные антенны. Первая причина - необходимость создания соединения или "моста", соединяющих два объекта. Благодаря увеличению расстояния действия при использовании направленных антенн такие соединения могут устанавливаться между объектами, которые находятся на расстоянии многих километров при условии прямой видимости (LOS).

Другая причина использования направленных антенн - это возможность "импульсной передачи" сигнала в определенное место вместо того, чтобы "заполнять" этим сигналом все пространство. Диаграмма сфокусированной направленности излучения позволяет "импульсно" передавать сигнал на большее расстояние по сравнению с всенаправленной антенной.

При использовании направленных антенн с малой шириной диаграммы направленности существенным фактором становится выравнивание. В соединениях LOS с расстоянием 1-2 км можно очень легко выполнить визуальное выравнивание методом проб и ошибок. Если в соединениях LOS расстояние превышает 2 км, то для выравнивания необходимо использовать специальное оборудование и иметь для этого некоторый опыт, чтобы достичь максимальной производительности беспроводного сетевого соединения

Поляризация и соответствие антенн

Как упоминалось ранее, поляризация - это ориентация антенны. Примером может служить использование простой дипольной антенны. Дипольная антенна, направленная вверх, имеет вертикальную поляризацию и горизонтальную поляризацию в 90 градусов.

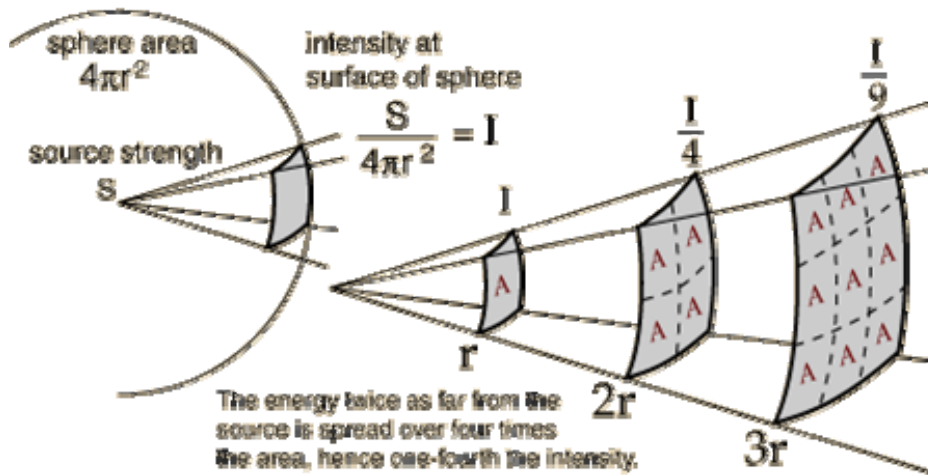
При использовании нескольких антенн важно, чтобы их поляризация совпадала. Если поляризация антенн не совпадает, это негативно влияет на их работу.

Антенны с совпадающей поляризацией и имеющие одинаковую конструкцию при совместной работе обеспечивают значительное усиление. При создании с помощью беспроводного сетевого оборудования соединений между объектами, находящимися друг от друга на значительном расстоянии, особенно важно, чтобы использовались пары антенн с одинаковой поляризацией.

Диапазон

Радиоволны распространяются в пространстве по закону обратных квадратов. Это значит, что при увеличении расстояния в два раза мощность сигнала уменьшается на 75%. См. рис. ниже.

Рис. 8.



Чтобы вычислить диапазон, необходимо к мощности передатчика (в дБ) прибавить усиление приемника (в дБ) и вычесть потери. Как было описано ранее, к потерям относятся потери линии передачи, низкая производительность антенны и неправильное выравнивание и поляризация. Однако основные потери - это "потери в свободном пространстве" или потери сигнала при прохождении определенного расстояния, как описано выше.

Другими факторами, которые могут повлиять на диапазон, являются погода и препятствия для соединений LOS. Первый фактор, погода, несомненно оказывает влияние на производительность. Однако этот фактор настолько ничтожен, что мы не проводили точных измерений, поэтому он будет рассматриваться как незначительный.

Однако препятствия для соединений представляют собой значительную проблему. Мы наблюдали за тем, как транспортные средства с высокими боковыми стенками, густая зелень в летний период, передвижные рекламные щиты и большие вывески совершенно "разрушали" беспроводные соединения за считанные секунды или в течение нескольких месяцев (в деревьях содержится большое количество влаги, которая "поглощает" микроволны).

При грамотной планировке эти проблемы даже не возникнут.

Безопасность

При широком распространении сетей Wi-Fi нельзя отрицать, что безопасность является неопровержимым требованием для каждой частной сети. В нашем городе в течение всего

одного часа мы обнаружили 390 отдельных сетей WiFi, причем 30% этих сетей не имели никакой защиты. Это значит, что каждый, кто находится в диапазоне сети, может подключиться к ней и остаться необнаруженным. Как минимум, эти нарушители могут подключиться к вашей полосе пропускания (что во многих местах является незаконным) или, обладая дополнительными знаниями, они могут проникнуть в память компьютера, подключенного к незащищенной сети. Несложный брандмауэр типа Zone Alarm, установленный на компьютере, а также несложный механизм защиты, например MAC-адрес или шифрование WEP, могут защитить практически от всех хакеров (известных среди пользователей Wi-Fi как War Drivers). Мы попытались измерить степень снижения производительности в результате использования шифрования WEP и других видов шифрования, однако реальные потери производительности измерить не удалось, поэтому этот фактор будет считаться незначительным.

Производительность

Приведенная для всех видов сетей, как проводных, так и беспроводных, "теоретически возможная максимальная пропускная способность" сети намного отличается от реальных возможностей сетевых соединений. Практика показывает, что производительность беспроводных сетей в 4-6 раз ниже производительности проводных сетей. Если при передаче данных небольших файлов, при передаче по электронной почте и во время подключения к сети Интернет это не особенно заметно, то при выполнении резервного копирования данных объемом до 1 ГБ в локальной сети процесс может протекать крайне медленно. Это следует учитывать при проектировании беспроводной локальной сети, особенно если она будет использоваться для рабочих станций на базе ПК с файлами баз данных или если требуется быстро открывать и закрывать множество файлов.

Краткий обзор

Беспроводные сетевые решения обеспечивают высокопроизводительную связь там, где невозможно или нежелательно использовать проводные сети. Они должны быть защищены от самых незначительных изменений стандартной конфигурации. Используя направленные антенны, между значительно удаленными друг от друга объектами можно установить соединения, стоимость которых будет значительно ниже стоимости соединений, использующих альтернативные технологии. Используя сведения, полученные за последние 4-5 лет, мы смогли создать соединения, время безотказной работы которых увеличилось более чем на 99,5 %, что превышает время безотказной работы важных компонентов локальных сетей большинства организаций.

Реальные результаты тестов

Тесты были проведены с использованием стандартной бипольной антенны, входящей в комплект точки доступа USR5450 Access Point (AP). Затем на обоих концах произошло затухание на 20 дБ, поэтому сравнение двух антенн в месте проведения теста было выполнено беспристрастно. Прежде чем соединение AP было утеряно, между антеннами с совпадающей полярностью и аттенуаторами было измерено расстояние. Perf (performance - производительность) - это предполагаемое увеличение производительности стандартной антенны. Допустимое расстояние - это максимально допустимое расстояние, которое вычисляется с учетом стандартного значения без учета гарантированной границы (для получения подробной информации см. приложение). Примечание. На предполагаемое значение могут значительно повлиять выравнивание и качество соединения LOS.

| № теста | Антенна | Усиление в dBi | Ослабление дБ | Расстояние (м). | Производительность | Допустимое расстояние (м). | |
|---------|------------|----------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------|
| 1 | станд. | 5 | 0 | 1931 | | 1931 | |
| 2 | станд. | 5 | 6 (x2) | 379,6 | | 1931 | |
| 3 | станд. | 5 | 20 (x2) | 175,3 | основная линия | 1931 | |
| 4 | USR5482 | 9 | 20 (x2) | 557,9 | 3,2 | 6145 | |
| 5 | USR5484 | 14 | 20 (x2) | 740,7 | 4,2 | 8159 | |
| 6 | SCR9-2400 | 9 | 20 (x2) | 389 | 2,2 | 4285 | Выравнивание |
| 7 | SCR9-2400 | 9 | 20 (x2) | 463 | 2,6 | 5100 | различие |
| 8 | SCR14-2400 | 14 | 20 (x2) | 489 | 2,8 | 5387 | |
| 9 | SCR14-HX | 14 | 20 (x2) | 636 | 3,6 | 7006 | |

Заклучение

Следует заметить, что исходная/стандартная антенна, входящая в комплект USR5450 AP, продемонстрировала хорошую работу и значительно превысила наши ожидания. Обе разнесенные антенны USR продемонстрировали хорошую работу на расстоянии 5 и 7 км соответственно. Антенны с уголковым отражателем продемонстрировали худшую работу, чем ожидалось. Небольшое улучшение работы наблюдалось в диапазоне от 9 до 14 dBi. Это можно объяснить выравниванием, которое при работе антенн с уголковым отражателем оказалось решающим. Спиралевидные антенны также работали удовлетворительно. А если принять во внимание, что эта антенна обеспечила соединение на расстоянии более 6,9 км, можно предположить, что уменьшенное допустимое расстояние очень близко к реальности. Спиралевидная антенна удлиненной формы не была включена в тестирование, поскольку даже при использовании аттенуаторов 20 дБ расстояние действия таких антенн превышает расстояние, используемое при тестировании.

Примечание. Тесты проводились в реальных условиях, а выравнивание выполнялось на глаз. Вероятно, при использовании 2 аттенуаторов 20 дБ и 4 наборов кабелей адаптера общие потери составят около 41-42 дБ.

Приложение – Расчет расстояния покрытия беспроводной связи

Потери в свободном пространстве

Потери в свободном пространстве - один из начальных расчетов, который следует выполнить для выяснения приблизительного расстояния беспроводной связи.

“Рассеивание” - это основная причина потери сигнала по линии распространения сигнала. При излучении сигналы “рассеиваются” или растягиваются в сферическую поверхность. Доступная радиочастотная мощность распределяется по этой поверхности и ослабевает при увеличении диапазона. При увеличении расстояния от источника в два раза мощность сигнала уменьшается на 6 дБ. Для расчета потерь от источников излучения со сферическими диаграммами излучения используйте следующее уравнение:

$$L_p = 92,45 + 20\text{Log}10F + 20\text{Log}10d$$

L_p= Потери в децибелах

F= Частота в ГГц

dB= Децибелы

d= Расстояние в километрах

Пример расчета потерь в свободном пространстве

При расстоянии в 6 километров потери в свободном пространстве составляют -115,67 дБ.

| Расстояние/к м | Затухание/ дБ |
|-------------------|------------------|
| 0,5 | 94,0 |
| 1,0 | 100,0 |
| 1,5 | 103,5 |
| 2 | 106,0 |
| 3 | 109,5 |
| 4 | 112,0 |
| 5 | 114,0 |
| 10 | 120,0 |
| 15 | 123,5 |
| 20 | 126,0 |

Потенциал линии связи

Для каждого соединения необходимо выполнить расчет “потенциала линии связи”.

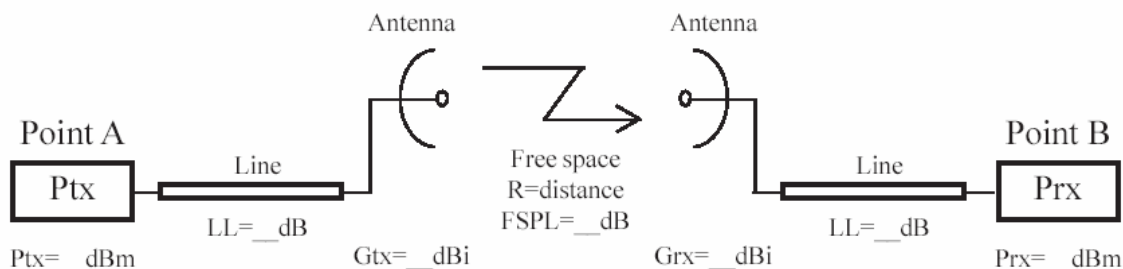
Потенциал линии связи позволяет рассчитать уровень сигнала соединения и спрогнозировать уровень сигнала в зоне приема. В рамках “потенциала линии связи” существует несколько параметров, на которые влияет местоположение соединения: влажность и рельеф местности. Расстояние соединения также является основным фактором, влияющим на “потенциал линии связи”.

Приложение – Расчет расстояния покрытия беспроводной связи

Соединение можно рассматривать в виде трех составляющих:

1. Передающая сторона: состоит из передатчика (например точки доступа, маршрутизатора и т.д.), кабеля антенны и антенны.
2. Промежуточный отрезок: это расстояние между передающей и принимающей сторонами.
3. Принимающая сторона: состоит из приемника (например точки доступа или беспроводного устройства), кабеля антенны и антенны.

Пример расчета потенциала линии связи:



$$\text{Потенциал линии связи} = P_{tx} - LL + G_{tx} + FSPL - LL + G_{rx} - P_{rx}$$

Где:

Ptx = Выходная мощность передатчика в дБм

LL = Потери в кабеле и антенне передатчика в децибелах

Gtx = Усиление антенны передатчика в dBi

FSPL = “потери в свободном пространстве” в дБ (отрицательное значение, см. таблицу на предыдущей странице)

LL = Потери в кабеле и антенне приемника в дБ

Grx = Усиление антенны приемника в dBi

Prx = Чувствительность приемника в дБм (отрицательное число)

Пример расчета потенциала линии связи

В этом примере рассматривается потребность создания моста типа "точка-точка" длиной 1 км для местности с рельефом средней пересеченности и сухим климатом. Мост должен работать с максимальной скоростью (например 54 Мбит/с).

Для этого сначала необходимо выбрать необходимые компоненты. Предположим, что в беспроводных соединениях используются “стандартные” устройства доступа (то есть 32 мВт или 15 дБм) и по антенне USR5482 с усилением 9 dBi с каждой стороны.

Приложение – Расчет расстояния покрытия беспроводной связи

В расчетах должны использоваться следующие значения:

P_{tx} = 15 дБм (Выходная мощность передающей точки доступа)

LL = 3 дБ (Затухание кабеля и разъема для кабеля CO 100 длиной 5 м при 2,45 ГГц)

G_{tx} = 9 dBi (Усиление антенны)

FSP_L = -100 дБ (см. таблицу на стр. 4 для 1 км)

P_{rx} = -80 дБ (Значение чувствительности приемника обычной точки доступа при 54 Мбит/с)

LL = 3 дБ (Затухание кабеля и разъема для кабеля CO 100 длиной 5 м при 2,45 ГГц)

G_{rx} = 9 dBi (Усиление антенны для USR5482)

Расчет:

$$15-3+9-100-3+9+80=7 \text{ дБ}$$

Это означает уровень сигнала около 7 дБ для соединения. Это неплохой рабочий уровень сигнала, гарантирующий успешную установку соединения. Приемлемые результаты можно получить при уровне сигнала не ниже 5 дБ.

Этот расчет сигнала был выполнен для идеальных условий, однако распространение радиосигнала может ухудшаться в зависимости от погодных условий или состояния антенны. Пользователь также должен гарантировать, что при установке не были нарушены местные или национальные законы.