ГЛАВА 22 Беспроводные локальные и персональные сети

Особенности среды беспроводных локальных сетей

Беспроводные локальные сети (Wireless Local Area Network, **WLAN**) в некоторых случаях являются предпочтительным по сравнению с проводными сетями решением, а иногда и единственно возможным. В WLAN сигнал распространяется с помощью электромагнитных волн высокой частоты. Современные беспроводные локальные сети позволяют передавать данные на скоростях до нескольких гигабит в секунду.

Преимущество беспроводных локальных сетей очевидно — их проще и дешевле разворачивать и модифицировать, так как вся громоздкая кабельная инфраструктура оказывается излишней. Еще одно преимущество — обеспечение мобильности пользователей. Сегодня беспроводные локальные технологии успешно применяются во многих типах сетей: домашних сетях, сетях аэропортов, вокзалов, кафе и других публичных мест, временных сетях, организуемых на различных конференциях, совещаниях и подобных им мероприятиях, в сетях исторических зданий с уникальной архитектурой, исключающей возможность прокладки кабелей, а также в формате городских сетей всеобщего доступа, предоставляющих доступ в Интернет на всей территории города (например, в общественном транспорте).

Однако за эти преимущества беспроводные сети расплачиваются длинным перечнем проблем, которые несет с собой *неустойчивая и непредсказуемая беспроводная среда* и, в частности, особенности распространения сигналов в такой среде (см. главу 21). *Помехи* от разнообразных бытовых приборов и других телекоммуникационных систем, атмосферные помехи и отражения сигнала создают серьезные трудности для надежного приема информации. Локальные сети — это прежде всего сети зданий, а распространение радиосигнала внутри здания еще сложнее, чем вне его. В стандарте IEEE 802.11 приводится изображение распределения интенсивности сигнала (рис. 22.1) и подчеркивается, что это статическое изображение, а в действительности картина является динамической, и при перемещении объектов в комнате распределение сигнала может существенно измениться. По этой причине даже технологии, рассчитанные на фиксированные (не мобильные) узлы сети, должны учитывать то, что беспроводная локальная сеть является неполносвязной.

Методы *расширения спектра* помогают снизить влияние помех на полезный сигнал. Кроме того, в беспроводных сетях широко используются *прямая коррекция ошибок* (FEC) и протоколы с повторной передачей потерянных кадров.

Неравномерное распределение интенсивности сигнала приводит не только к битовым ошибкам передаваемой информации, но и к *неопределенности зоны покрытия* беспроводной локальной сети. В проводных локальных сетях такой проблемы нет — те и только те устройства, которые подключены к кабельной системе здания или кампуса, получают

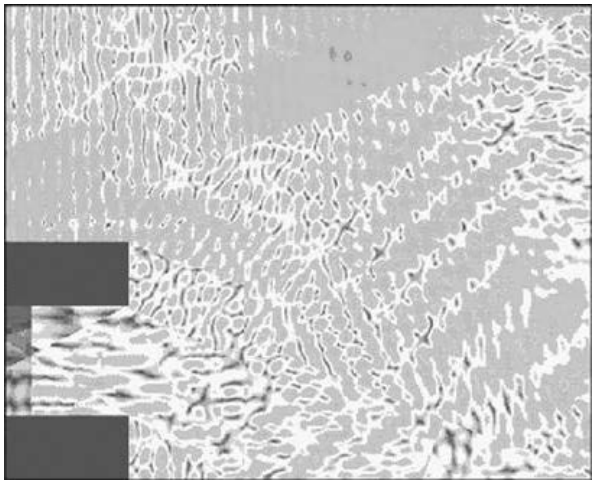

Рис. 22.1. Распределение интенсивности радиосигнала

сигналы и участвуют в работе LAN. Беспроводная локальная сеть не имеет точной области покрытия. Часто используемое изображение такой области в форме шестиугольника или круга является не чем иным, как абстракцией. В действительности сигнал может быть настолько ослаблен, что устройства, находящиеся в предполагаемых пределах зоны покрытия, вообще не могут принимать и передавать информацию.

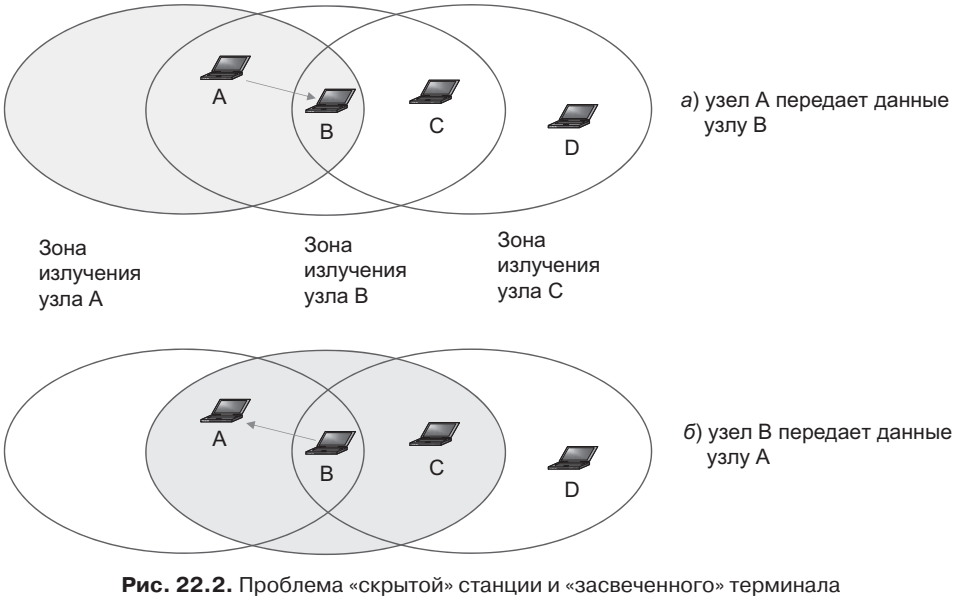

Рис. 22.2. Проблема «скрытой» станции и «засвеченного» терминала

В примере на рис. 22.2, *а* показана такая фрагментированная локальная сеть. Неполносвязность беспроводной сети порождает проблемы доступа к разделяемой среде, известные как

проблемы скрытой станции и засвеченного терминала. **Проблема скрытой станции** возникает, если два узла находятся в зоне досягаемости друг друга (узлы *A* и *C* на рис. 22.2, *а*), но существует третий узел — *B*, который принимает сигналы как от *A*, так и от *C*. Предположим, что в радиосети используется *традиционный метод доступа, основанный на прослушивании несущей, например CSMA/CD*. В данном случае коллизии будут возникать значительно чаще, чем в проводных сетях. Пусть, например, узел *A* передает информацию узлу *B*. Узел *C* «видит», что среда свободна, и начинает передавать свой кадр узлу *B*. В результате сигналы в районе узла *B* исказятся, то есть произойдет коллизия, вероятность возникновения которой в проводной сети была бы неизмеримо ниже. Другая ситуация показана на рис. 22.2, *б*. Узел B передает данные узлу A, в это время узел C решает связаться с узлом D, но, проверив среду, решает, что она занята, хотя на самом деле узел D доступен. Эта ситуация называется **проблемой засвеченного терминала**.

Причиной того, что алгоритм доступа к проводной среде не работает в случае среды беспроводной, заключается в следующем. И в том и в другом случае узел-отправитель проверяет состояние среды на своем интерфейсе. Но если для проводной линии связи занятость на выходном интерфейсе передающего узла действительно означает занятость узла-получателя, то для беспроводной сети возможны разные комбинации состояний среды на выходном интерфейсе и интерфейсе узла-получателя: свободен—занят, занят—свободен, свободен—свободен и занят—занят.

Поэтому в сетях Wi-Fi применяется другой алгоритм доступа, основанный на методе простоя источника (см. главу 15): узел, передавший кадр, должен дождаться *подтверждения* о его получении от узла получателя и только после этого посылать следующий кадр. Если подтверждение не приходит в течение заданного интервала времени, то считается, что кадр был потерян в результате коллизии, и узел передает копию этого кадра.

Беспроводные локальные сети IEEE 802.11

Сети и оборудование стандарта **IEEE 802.11**, также известные под названием **Wi-Fi** — по имени консорциума Wi-Fi[1] Alliance, который занимается вопросам совместимости и сертификации оборудования стандартов IEEE 802.11, — занимают лидирующие позиции в мире беспроводных локальных сетей.

Топологии локальных сетей стандарта IEEE 802.11

Стандарт 802.11 определяет в качестве основного структурного элемента WLAN сеть с **базовым набором услуг** (Basic Service Set, **BSS**). BSS представляет собой набор беспроводных сетевых устройств, разделяющих среду передачи и работающих с одинаковыми характеристиками доступа к среде: частота и схема модуляции сигналов. Сети BSS не являются традиционными сотами (как в мобильных сетях), их зоны покрытия могут находиться друг от друга на значительном расстоянии, а могут частично или полностью перекрываться — стандарт 802.11 оставляет здесь свободу для проектировщика сети. Сети

[1] Wi-Fi является сокращением от Wireless Fidelity — «беспроводная точность»; термин был введен по аналогии с популярным термином Hi-Fi, обозначающим высокую точность воспроизведения звука аппаратурой.

BSS могут быть объединены в группы, называемые сетями **с расширенным набором услуг** (Extended Service Set, **ESS**). ESS образуется путем соединения между собой нескольких сетей BSS, расположенных в одном и том же сегменте логической сети (например, IP-подсеть, VLAN и т. д.).

Стандарт 802.11 различает два типа топологий сетей BSS (рис. 22.3):

- Топология на основе связей «точка-точка» (узлы взаимодействуют друг с другом непосредственно), сеть с такой топологией в стандарте 802.11 называют **независимой** (Independent BSS, IBSS) или сетью «по случаю» (**Ad-Hoc** BSS). Так как устоявшегося названия для такого типа сети в русскоязычной технической литературе нет, будем называть ее сетью Ad-Hoc.
- Централизованная топология с использованием одного центрального узла. Центральный элемент называют **базовой станцией**, а соответствующие сети — **инфраструктурными сетями** (Infrastructure BSS, или просто **BSS**).

Рис. 22.3. Сети с базовым набором услуг: Ad-Hoc BSS и инфраструктурная BSS

Сеть Ad-Hoc BSS представляет собой набор узлов, взаимодействующих через общую электромагнитную среду на основе децентрализованного алгоритма доступа. Сеть Ad-Hoc создается *самопроизвольным* способом на некоторый (обычно небольшой) период времени. Хотя базовая станция в сети Ad-Hoc отсутствует, в каждый момент времени в сети имеется один или несколько узлов, которые берут на себя ведущую роль. Отметим, сети Ad-Hoc функционируют автономно, в них нет никаких средств для связи с другими сетями.

ПРИМЕЧАНИЕ

В последнее время необычайно вырос интерес к децентрализованным схемам беспроводного доступа, в которых портативные устройства связываются друг с другом без каких-либо подготовительных процедур, обнаружив друг друга в непосредственной близости. В некоторых ситуациях, когда обычная связь с центральной точкой доступа оказывается нерабочей (например, в результате стихийного бедствия, технического отказа сети провайдера или же ее отключения по политической причине), такие схемы оказываются особенно востребованными и эффективными. Яркий пример — использование участниками протестов в Гонконге осенью 2014 года приложения для смартфонов FireChat, обеспечивающего децентрализованную маршрутизацию сообщений между телефонами, находящимися в пределах прямой доступности по протоколу BlueTooth. Однако для телефонного трафика неопределенность в доле пропускной способности, получаемой при разделении среды, может резко ухудшить качество передачи голоса. Поэтому «штатные» системы такого назначения строятся по схеме с одним источником (базовой станцией), служащим для распределения полосы пропускания, и несколькими приемниками.

Пользователи *инфраструктурной* BSS могут обмениваться информацией только с базовой станцией, а она транзитом обеспечивает взаимодействие между отдельными пользователями, то есть весь трафик в BSS проходит через базовую станцию. Инфраструктурная BSS образует широковещательный домен.

Базовая станция обычно соединяется проводным сегментом Ethernet с проводной частью сети, обеспечивая доступ «своим» узлам к узлам других базовых станций или узлами других сетей, обычно к Интернету. Поэтому базовая станция также называется **точкой доступа** (Access Point, AP). Таким образом, точка доступа имеет два интерфейса — беспроводной и проводной сети. Точка доступа включает не только оборудование DCE, необходимое для образования линии связи, но и чаще всего является *коммутатором* сети, доступ к которой она обеспечивает, — телефонным коммутатором или коммутатором пакетов. Именно наличие дополнительного оборудования (инфраструктуры) — точки доступа, связанной проводной линией с маршрутизатором, — объясняет название «*инфраструктурные* сети», в отличие от сетей Ad-Hoc, не обладающих никакой инфраструктурой. В сетях ESS точки доступа нескольких BSS связаны между собой с помощью **распределительной системы**, называемой в стандарте Distribution System (DS), в качестве которой может использоваться та же среда (то есть радио- или инфракрасные волны), что и среда взаимодействия между узлами, или же отличная от нее, например проводная. На рис. 22.4 распределительная система DS образована двумя точками доступа AP1 и AP2, связанными сегментом Ethernet с маршрутизатором. Точки доступа могут быть связаны друг с другом непосредственно, без маршрутизатора.

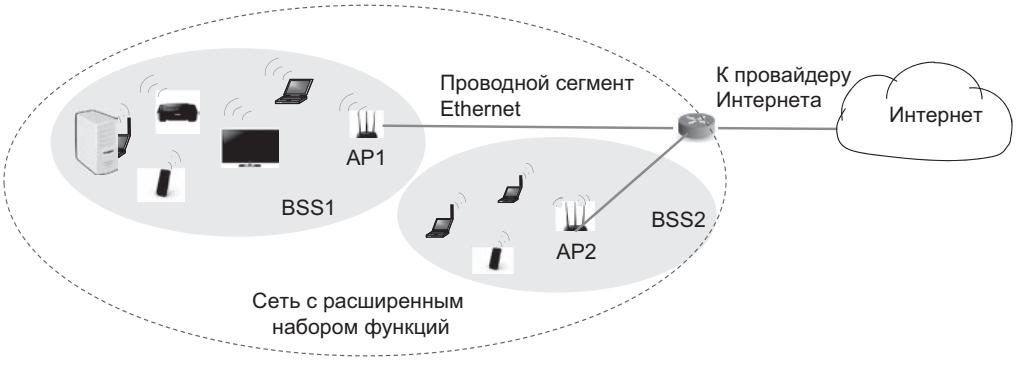

Рис. 22.4. Инфраструктура беспроводной сети Wi-Fi

Задачей DS является передача пакетов между узлами, принадлежащими разным сетям BSS. В этом случае они передают кадр своей точке доступа, которая через DS передает его точке доступа, обслуживающей сеть BSS со станцией назначения. Сеть ESS обеспечивает узлам мобильность — они могут переходить из одной сети BSS в другую. Эти перемещения обеспечиваются функциями уровня MAC рабочих и базовых станций, поэтому они совершенно прозрачны для уровня LLC.

Сеть BSS1 представляет собой типичную **домашнюю сеть Wi-Fi**, узлами которой служат мобильный телефон, ноутбук, десктоп, принтер и телевизор. Для доступа к Интернету провайдер обычно предоставляет пользователю домашней сети устройство доступа, объединяющее функции беспроводной точки доступа AP и IP-маршрутизатора и обычно

называемое **хабом Wi-Fi**. Каждый узел сети BSS (в том числе беспроводной интерфейс точки доступа) имеет уникальный MAC-адрес, встроенный при изготовлении в сетевой адаптер. Он имеет такой же формат, как и MAC-адрес Ethernet. Узлы Ad-Hoc BSS также имеют MAC-адреса, но они не обязательно являются уникальными.

Сеть Wi-Fi (любого типа — BSS, ESS или Ad-Hoc) должна иметь уникальный идентификатор **SSID** (Service Set Identifier). Это символьный идентификатор, его длина ограничена 32 символами. Часто этот идентификатор имеет смысловое назначение, позволяющее пользователю понимать, в область покрытия какой сети попал его компьютер или телефон. Например, идентификатор Smirnov-family может дать понять, что вы поймали сигналы точки доступа домашней сети семьи Смирновых.

Стек протоколов IEEE 802.11

Как можно было ожидать, стек протоколов стандарта IEEE 802.11 (рис. 22.5) соответствует общей структуре стандартов комитета 802, то есть состоит из физического уровня и уровня MAC, поверх которых работает уровень LLC. Как и у всех технологий семейства 802, технология 802.11 определяется нижними двумя уровнями, то есть физическим уровнем и уровнем MAC, а уровень LLC выполняет свои стандартные функции, общие для всех технологий LAN.

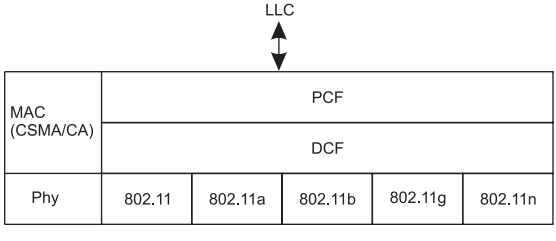

Рис. 22.5. Стек протоколов IEEE 802.11

Уровень MAC выполняет в беспроводных сетях больше функций, чем в проводных. Функции уровня MAC в стандарте 802.11 включают:

- доступ к разделяемой среде;
- обеспечение мобильности станций при наличии нескольких базовых станций;
- обеспечение безопасности, эквивалентной безопасности проводных локальных сетей.

Стандарты физического уровня

На физическом уровне существует несколько вариантов спецификаций, отличающихся используемым частотным диапазоном, методом кодирования и, как следствие, скоростью передачи данных. Все варианты физического уровня работают с одним и тем же алгоритмом уровня MAC, но некоторые временн*ы*е параметры уровня MAC зависят от используемого физического уровня.

По табл. 22.1, где представлены наиболее популярные варианты физического уровня стандартов семейства IEEE 802.11, можно проследить впечатляющий прогресс технологий

беспроводных локальных сетей в течение последних двух десятилетий. К примеру, скорость передачи данных, поддерживаемая стандартом IEEE 802.11ax, выход которого ожидается в конце 2019 года, превысит скорость стандарта 802.11 1997 года в 10 тысяч раз!

Таблица 22.1. Стандарты семейства IEEE 802.11

Формальное и неформальное название	Рабочий диапазон частот	Максимальная скорость (без помех, на расстоянии 1 м между передатчиком и приемником)	Способ модуляции	Год принятия
IEEE 802.11	2,4 ГГц	До 1,2 Мбит/с	DSSS/FHSS	1997
IEEE 802.1b	2,4 ГГц	До 11 Мбит/с	DSSS	1999
IEEE 802.11a	5 ГГц	54 Мбит/с	OFDM	1999
IEEE 802.11g	2,4 ГГц,	54 Мбит/с	OFDM, совместим с 802.11b DSSS	2003
IEEE 802.11n (Wi-Fi-4)	2,4/5 ГГц	288.8/ 600 Мбит/с	OFDM, 4 MIMO потока	2009
IEEE 802.11ac (Wi-Fi- 5)	5 ГГц	Полоса 20 МГц до 347 Мбит/с Полоса 40 МГц до 800 Мбит/с Полоса 80 МГц до 1733 Мбит/с Полоса 160 МГц до 3467 Мбит/с	OFDM 8 MIMO потоков	2013
IEEE 802.11ax (Wi-Fi -6)	2,4/5/6	До 10530 Мбит/с (10.53 Гбит/с)	OFDM MIMO	Ожидается в декабре 2019

Начиная с 1999 года метод мультиплексирования OFDM пришел на смену методам DSSS и FHSS первых версий. Спустя еще 10 лет стандарт был дополнен поддержкой метода MIMO. Выделим общие свойства стандартов семейства IEEE 802.11:

- Одна и та же топология.
- Все стандарты поддерживают в качестве рабочего диапазона частот либо 2,4 ГГц, либо 5 ГГц, либо оба эти диапазона.
- Один и тот же способ доступа к разделяемой среде CSMA/CA — метод прослушивания несущей частоты с множественным доступом и предотвращением коллизий.
- Одинаковая структура кадра канального уровня.
- Все стандарты имеют адаптивный механизм изменения скорости передачи в зависимости от расстояния до приемника. Адаптация может происходить за счет изменения метода кодирования сигнала — например, для увеличения скорости передачи данных точка доступа может перейти от кодирования 16-QAM к кодированию 64-QAM. При использовании техники OFDM точка доступа может, наряду с изменением метода кодирования, увеличить количество частотных подканалов, выделяемых пользователю.

Узлы сети Wi-Fi, как и узлы локальной проводной сети, оснащены **сетевым адаптером**. Он выполняет функции физического и канального уровней, отличаясь от сетевого адаптера проводной сети наличием антенны.