

Раздел 1. Информационные сети и системы

Сегодня, в век информатизации и компьютеризации информация является таким же ресурсом, как трудовые, материальные и энергетические, а значит, процесс ее переработки можно воспринимать как технологию.

Информационные технологии – это процессы, использующие совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления (нового информационного продукта).

Информационная система (база) – это организационно-упорядоченная взаимосвязанная совокупность средств и методов информационных технологий, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели. Информационные системы создаются для обеспечения взаимодействия информационных процессов в природе и обществе, и связанного с этим взаимодействием обмена какими-либо сигналами или сведениями в рамках организационно-технической системы.

Сами же *информационные процессы (ИП)* представляют собой совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов выявления, отбора, формирования из совокупности сведений информации, ее ввода в техническую систему, анализа, обработки, хранения и передачи.

В качестве основных технических средств обработки и передачи информации в информационных системах выступают компьютеры и средства связи.

Под распределенной информационной системой (базой) понимается неограниченное количество баз данных, дистанционно отдаленных друг от друга, функционирующих и осуществляющих обмен данными по единым правилам, определенным централизованно для всех баз данных, входящих в распределенную информационную базу.

1.1. Основные понятия теории информационных систем и сетей

Результатом развития технологии автоматизированной обработки и обмена информацией и одной из основных технических реализаций информационных систем явились ***информационные сети*** (ИС).

На первых этапах развитие ИС шло по пути автоматизации отдельных составляющих ИП – с одной стороны независимо создавались системы сбора, хранения и поиска информации на базе вычислительных средств, где основными являлись хранение и поиск, но могли иметь место также процессы обработки и передачи. И как результат, в соответствии с целевым предназначением и спецификой

решаемых задач, были созданы и создаются различные сети, получившие названия: сети ЭВМ, компьютерные сети, сети информационных центров, вычислительные сети, сети телеобработки, информационно-вычислительные сети, информационно-справочные сети, телеинформационные сети.

Не смотря на все многообразие используемых терминов, все эти сети по своей структурной организации представляют однотипное объединение удаленных ЭВМ или терминалов с ЭВМ средствами передачи данных и отличаются только типами используемых программно-технических средств передачи и обработки информации, наборами функций и реализуемыми протоколами взаимосвязи, а также областью применения данных сетей. Изначально они были узкоспециализированными и предназначались для обработки и передачи буквенно-цифровой информации (документальной информации), но по мере развития информационных технологий, создания программно-аппаратных средств цифровой обработки звуковой и видеоинформации (изображений) появилась реальная возможность расширения их функциональных возможностей до распределенной обработки всех видов информации.

Другим направлением развития ИС явилось создание систем распределения информации, где основным содержанием являлся процесс обмена информационными сообщениями между территориально распределенными объектами - потребителями информации. Так для передачи таких традиционных видов информации как речь, документальная информация, изображение и звук созданы и совершенствуются различные специализированные (для передачи конкретного вида информации) информационные сети, именуемые «сетями электросвязи».

В настоящее время Министерством связи РФ разработана «Концепция связи РФ», в которой электросвязи определяется Взаимоувязанная сеть связи России. Такая сеть представляет собой комплекс технологически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных сетей, с общим централизованным управлением, независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности и обеспечивает предоставление пользователям услуг электросвязи посредством соответствующих систем (служб) электросвязи в интересах передачи различных видов информации.

В структуру Взаимоувязанной сети связи в целом входит 11 служб:
службы телефонной связи,
службы телеграфной связи (АТ, Телекс),
службы передачи данных,
телематические службы (телефакс, бюрофакс, видеотекс,
обработка сообщений),

служба передачи газет,
служба проводного звукового вещания,
служба распределения программ звукового вещания,
служба распределения программ телевизионного вещания,
служба кабельного телевидения,
служба телеконференций,
служба мультимедиа.

В своей совокупности службы электросвязи опираются на сети электросвязи:

сети передачи данных с коммутацией пакетов (каналов) - ПД КП (КК),

цифровые сети связи общего пользования - ЦСС ОП,

цифровые сети с интеграцией обслуживания - ЦСИО,

телефонные сети общего (частного) пользования - ТФОП (ЧП),

сети коммутации каналов - КК, сеть передачи газет - ПГ,

телеграфные сети общего пользования - ТГ ОП,

сеть абонентского телеграфирования - АТ,

сеть Телекс,

сети передачи программ звукового вещания - ПЗвВ,

сеть передачи программ телевизионного вещания - ПТвВ,

сети кабельного телевидения - КТВ,

Диспетчерские сети.

Тенденции развития как средств обработки и распределения информации, так и ИС в целом в настоящее время характеризуются с двух сторон. С одной стороны, развитие сетей электросвязи требует применения дискретных (цифровых) каналов и систем передачи, применения средств вычислительной техники для обработки информации в интересах ее передачи. С другой стороны, развитие средств обработки и вычислительной техники требует все большего применения средств связи для обеспечения обмена информацией в интересах решения прикладных задач (обмен документами, распределенные вычисления, доступ к распределенным базам данных и т.д.). И как результат - слияние отраслей обработки и обмена информацией приводит к созданию информационных сетей, реализующих все множество информационных процессов обработки и передачи информации.

Современная *информационная сеть* - это сложная распределенная в пространстве техническая система, представляющая собой функционально связанную совокупность программно-технических средств обработки и обмена информацией и состоящая из территориально распределенных информационных узлов (подсистем обработки информации) и физических каналов передачи информации их соединяющих. Такая система в совокупности определяет *физическую*

структуру ИС. Помимо понятия *физической* структуры для описания принципов построения и функционирования ИС часто используют такие понятия как *логическая, информационная и маршрутная* структуры, описывающие принципы размещения и взаимосвязи в ИС тех или иных информационных процессов, а также понятие *архитектуры ИС*, определяющей принципы функционирования информационной сети в целом.

Физическая структура ИС характеризует физическую организацию технических средств ИС и описывает множество пространственно (территориально) распределенных подсистем (информационных узлов), реализующих ту или иную совокупность информационных процессов и оснащенных программно-аппаратными средствами их реализации, соединенных физическими каналами передачи информации (каналами связи), обеспечивающими взаимодействие этих подсистем.

Так примерами структур различных ИС могут служить: множество издательств и библиотек, распределенных по территории города, региона или страны, реализующих функции формирования, обработки и хранения информации, и множество каналов почтовой связи, обеспечивающих доведение информации между издательствами и библиотеками; множество территориально распределенных ЭВМ, реализующих всю совокупность ИП селекции, ввода-вывода и содержательной обработки информации, и множество каналов связи их соединяющих и обеспечивающих реализацию функций их взаимосвязи.

При этом информационными узлами в первом примере являются элементы организационно-технической системы - издательства и библиотеки, а во втором примере - элементы технической системы (ЭВМ). В качестве каналов доставки информации в первом примере могут быть использованы любые из известных средств коммуникации (железнодорожный транспорт, воздушный транспорт, и т.д.) для распределения информации в виде почтовой корреспонденции. Во втором примере - выделенные каналы связи различной физической природы, или другие технические системы (информационные сети), ориентированные на реализацию только функций взаимосвязи, например вторичные сети электросвязи (телефонные сети, телеграфные сети, сети передачи данных).

Информационная структура ИС - определяется потребностями отдельных ИП в обмене информацией и представляется совокупностью пространственно распределенных информационных узлов, испытывающих потребность взаимосвязи, и путей доставки информации между ними.

Информационная структура может совпадать, а может и существенно отличаться от физической структуры, так одной физической структуре ИС может соответствовать конечное множество

информационных структур, соответствующих множеству разнотипных ИП в узлах сети, имеющих различные потребности во взаимосвязи с другими ИП.

Маршрутная структура ИС описывает множество адресуемых элементов сети (информационных узлов, информационных процессов) и множество реализованных путей доставки информации между этими элементами.

Примером маршрутной структуры для сети передачи данных (ПД) может служить план распределения сообщений (ПРС), представляющий собой совокупность таблиц маршрутов всех узлов сети ПД и определяющий для множества узлов сети множество реализованных маршрутов доставки пакетов.

Логическая структура ИС определяется множеством типов ИП, реализуемых сетью, функциональными возможностями ИП по обработке и обмену информацией, правилами обмена и обработки информации, форматами представления информации.

Логическая структура описывает принципы построения ИС, состав и типы реализуемых информационных процессов, распределение их по элементам ИС в соответствии с функциональной наполненностью, а также порядок и правила взаимодействия ИП при обработке и обмене информацией, используемые при этом правила взаимосвязи (протоколы) и формы представления информации (форматы).

Архитектура ИС абстрагируясь от конкретной физической реализации элементов сети и конкретной физической структуры, обобщает информационную, логическую, маршрутную структуры, определяет модель ИС, основные компоненты данной модели и функции выполняемые ими. Определяют также понятие *функциональной архитектуры* сети как часть общей архитектуры, которая для конкретной модели в целом и ее компонент в частности, определяет их функциональную наполненность и принципы функционирования. Физическая структура в свою очередь конкретизирует архитектуру для конкретной информационной сети, построенной с применением конкретных комплексов технических средств и заданных вариантов реализации программно-технических средств.

Примером хорошо проработанной и стандартизированной международной организацией стандартов (МОС) функциональной архитектуры ИС, описывающей правила реализации только подмножества функций взаимосвязи (функций телекоммуникационной сети) при взаимодействии ИП, выполняющих функции содержательной обработки информации в территориально распределенных узлах информационной сети, является *семиуровневая архитектура эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС)*.

1.2. Концептуальная модель информационной сети

Концептуальную модель информационной сети можно представить в виде функциональной архитектуры содержащей три уровня описания ее функций (рис. 1.1):

- *первый уровень (центральный)* описывает функции и правила взаимосвязи при передаче различных видов информации между территориально удаленными абонентскими системами через физические каналы связи (первичную сеть связи) и реализуется транспортной сетью;

- *второй уровень* описывает функции и правила обмена информацией в интересах взаимосвязи прикладных процессов (пользователей) различных абонентских систем и реализуется телекоммуникационной сетью, представляющей собой единую инфраструктуру для обмена различными видами информации в интересах пользователей информационной сети;

- *третий уровень* образуется совокупностью прикладных процессов, размещенных в территориально удаленных абонентских системах, являющихся потребителями информации и выполняющих ее содержательную обработку.

Под *прикладными процессами* в модели ИС понимается *тип информационных процессов, ориентированных на выполнение функций содержательной обработки информации в узлах сети в контексте решаемой задачи или другого конкретного применения.*

При этом прикладные процессы могут представлять собой ручные процессы (например, обслуживание оператором терминала) и автоматизированные, выполняемые на ЭВМ с возможным участием человека (например, программа, выполняемая на ЭВМ в интересах обеспечения ведения распределенной базы данных и предполагающая доступ к удаленной базе данных). Также и физические процессы (например, программа, выполняемая на специализированной ЭВМ и предназначенная для управления техническими устройствами из состава некоторого технологического промышленного оборудования).

С точки зрения структурной организации информационная сеть состоит из следующих элементов:

- транспортной сети*, представляющей собой распределенную коммуникационную систему, состоящую из коммутационных узлов, соединенных каналами первичной сети. Такая коммуникационная система обеспечивает передачу информации между территориально распределенными абонентскими системами и реализует в рамках ЭМВОС функции трех нижних уровней функциональной архитектуры;

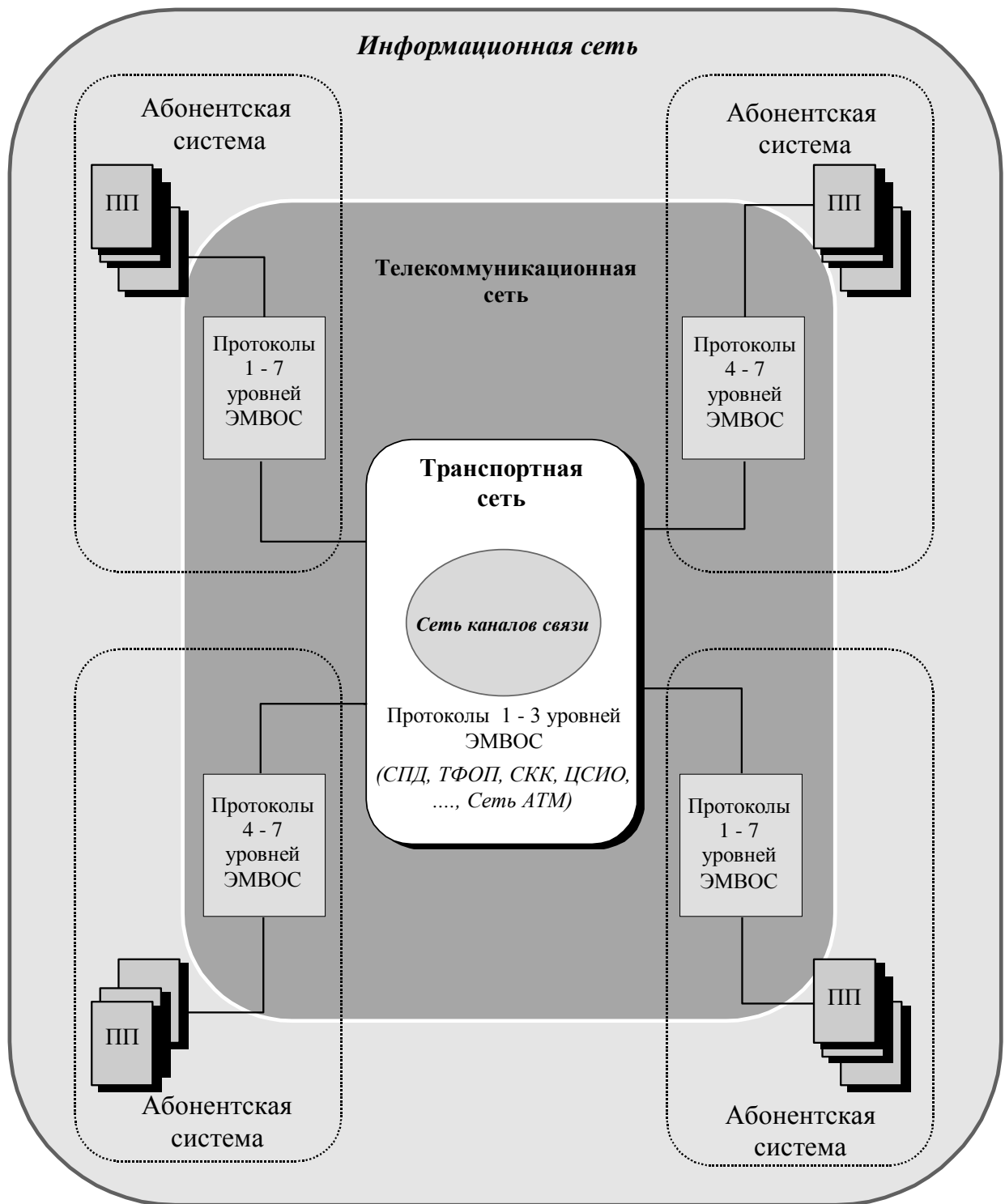


Рис. 1.1. Концептуальная модель ИС

абонентских систем (АС), представляющих собой комплекс программно-аппаратных средств, реализующих как функции содержательной обработки информации посредством прикладных процессов (ПП) пользователей, так и функции взаимосвязи потребителей информации (ПИ), обеспечивая доступ абонентов к транспортной сети в интересах этой взаимосвязи;

выделение во всей совокупности АС функций взаимосвязи позволяет в рамках ИС выделить еще один ее элемент - телекоммуникационную сеть (ТС), сеть обеспечивающую взаимодействие прикладных процессов в информационной сети, реализующую функции всех уровней функциональной архитектуры (например, ЭМВОС) и включающую физическую среду распространения, через которую происходит передача сигналов данных, несущих информацию.

ТС представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, территориально распределенных АС, реализующих функции взаимосвязи потребителей информации, обеспечивая доступ абонентов к транспортной сети в интересах этой взаимосвязи, и технических средств транспортной сети (коммутационных узлов, соединенных каналами первичной сети), обеспечивающей передачу сигналов данных между территориально распределенными абонентскими системами. Функциональные возможности ТС, а соответственно и ее архитектура, полностью определяются потребностями пользователей (прикладных процессов) в передаче различных видов информации с заданными параметрами качества услуг. Основой же построения функциональной архитектуры современных телекоммуникационных сетей является профиль протоколов, обеспечивающий реализацию функций взаимосвязи и предоставляющий пользователям услуги по передаче любого вида информации с ориентацией на интеграцию всех видов услуг в рамках единой ТС.

1.3. Организация процессов взаимосвязи в информационных сетях

Информационный процесс взаимодействия пользователей в ИС начинается и заканчивается вне самой сети и включает пять этапов (рис. 1.2):

- сбор сведений в интересах решения прикладной задачи и селекция из них совокупности сведений, содержащих информацию;
- формирование из совокупности сведений, содержащих информацию, информационных сообщений, то есть придание этим сведениям структуры и формы представления, соответствующей виду информации (алфавитно-цифровой, звуковой информации или изображения);
- формализация информационных сообщений, то есть установление соответствия элементам исходных сообщений символов некоторого кодового алфавита по тем или иным правилам кодирования с целью преобразования сообщений к виду пригодному для обработки и передачи средствами технической системы (информационной сети);
- содержательная обработка формализованных информационных сообщений в соответствии с алгоритмом решения прикладной задачи;
- реализация телекоммуникационной сетью процесса взаимосвязи в интересах взаимодействия информационных процессов, реализующих содержательную обработку формализованных сообщений в процессе решения прикладной задачи.

Первый и второй этапы, определяющие последовательность формирования из совокупности сведений информационных сообщений, реально реализуются вне информационной сети (как технической системы), хотя в принципе, при внедрении методов искусственного интеллекта в будущем станет возможным возложение этих функций на информационную сеть и реализация их с помощью соответствующих программно-аппаратных средств абонентских систем. Пока же эти функции реализуются человеком, который формулирует задачу, требующую решения, определяет необходимые для ее решения исходные данные, формирует эти данные в виде информационных сообщений различного типа и вводит их в техническую систему - информационную сеть. Человек же является в конечном итоге и получателем информационных сообщений от ИС по результатам решения прикладной задачи. Для физических прикладных процессов отличие заключается лишь в том, что эти этапы информационного процесса реализуются при проектировании информационной сети.

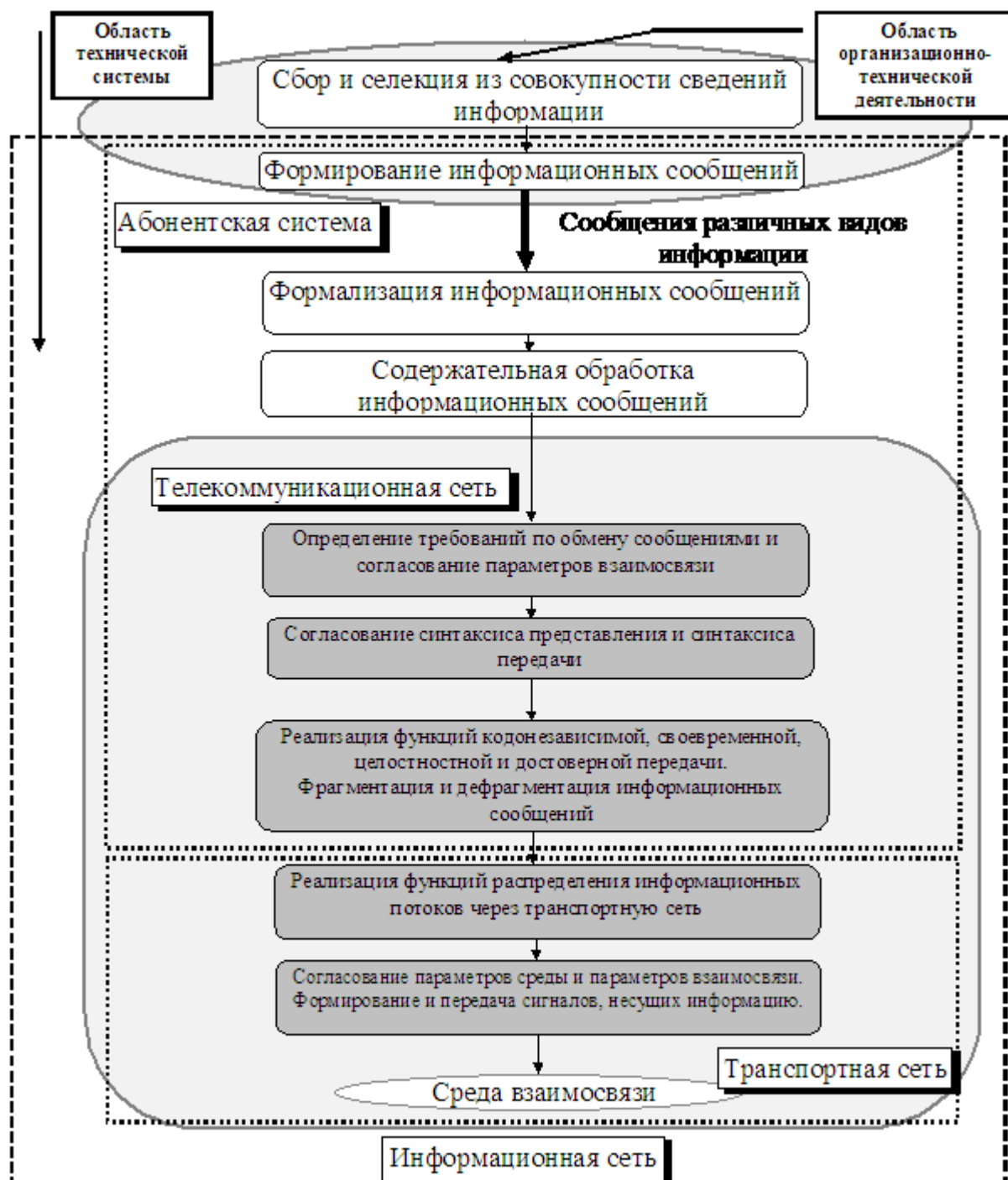


Рис. 1.2. Этапы взаимодействия ИП и ИС

Третий и четвертый этапы реализуются информационной сетью средствами программно-аппаратных комплексов абонентских систем, обеспечивающих решение прикладной задачи пользователя. Особую роль при этом играет процесс формализации сообщений. Формы представления информации, как в самой сети, так и за ее пределами могут быть самыми различными. Исходные информационные сообщения обычно имеют форму пригодную для восприятия человеком.

Техническая же система имеет дело с электрическими сигналами четкой структуры. При формализации сообщений происходит преобразование исходной формы представления информации в форму, пригодную для обработки и передачи техническими средствами информационной сети - цифровую (дискретную) или аналоговую (непрерывную). В современных ИС, строящихся на основе использования ЭВМ с применением цифровых каналов и систем передачи, основной формой представления информации является дискретная форма, в виде *данных*. Причем, под *данными* следует понимать *информацию, представленную в формализованном цифровом виде, пригодном для обработки и передачи с помощью технических средств*.

Пятый этап реализуется в рамках ИС телекоммуникационной сетью, ориентирован на обеспечение процесса взаимосвязи в интересах взаимодействия территориально распределенных прикладных процессов, выполняющих содержательную обработку информации и, в свою очередь, предполагает выполнение следующего набора функций (рис. 1.2):

- * определения требований по обмену сообщениями и согласования параметров взаимосвязи;
- * согласования синтаксиса представления и синтаксиса передачи;
- * реализации функций кодонезависимой, своевременной, целостностной и достоверной передачи, фрагментации и дефрагментации информационных сообщений;
- * реализации функций распределения информационных потоков через транспортную сеть;
- * согласования параметров среды и параметров взаимосвязи, формирования и передачи сигналов, несущих информацию через среду взаимосвязи (каналы связи).

Следует отметить, что наличие пятого этапа, реализующего описанный набор функций, в целом, вызвано, с одной стороны, необходимостью использования для передачи сообщений существующих каналов связи, имеющих конечную надежность, зачастую обладающих ограниченной пропускной способностью, недостаточную для выполнения требований по передаче видов информации, критичных к временным задержкам (речь, видео) и подверженных воздействию широкого спектра внешних воздействий. Все это приводит к искажению передаваемых сообщений. С другой стороны, сетевая структура транспортной сети накладывает дополнительные ограничения на временные параметры и параметры достоверной передачи сообщений. Так, использование в качестве транспортной сети - сети передачи данных с коммутацией пакетов – определяет наличие дополнительных

задержек при передаче информации в узлах коммутации. Эти задержки вызваны необходимостью обработки заголовков пакетов и расчета (выбора) маршрутов их дальнейшей передачи. Возможны дополнительные искажения передаваемых сообщений вследствие переупорядочивания пакетов, составляющих сообщение, и потери части пакетов в результате перегрузок в отдельных участках сети. Именно по этой причине в рамках ТС для обеспечения реализации процесса взаимосвязи прикладных процессов при решении прикладных задач необходимо выделение набора таких функций, как обеспечение кодонезависимой, своевременной, целостностной и достоверной передачи информационных сообщений, их фрагментации и дефрагментации.

Наличие функций преобразования синтаксиса представления в синтаксис передачи связано с возможностью использования в различных абонентских системах разных кодовых алфавитов (например, ДКОИ - двоичного кода обмена информацией и КОИ-8 - восьмиэлементного кода обмена информацией). Поэтому, чтобы различные прикладные процессы однозначно идентифицировали передаваемые и принимаемые информационные сообщения, необходимо при взаимосвязи использовать единый для всех АС синтаксис передачи.

Реализация функций распределения информационных потоков в транспортной сети связана с необходимостью повышения эффективности совместного использования всеми прикладными процессами различных АС множества каналов связи первичной сети, образующих единую среду для взаимосвязи и не закрепляемых жестко за отдельными абонентскими системами.

Для различных телекоммуникационных сетей, создававшихся в различное время различными производителями, группирование описанных функций различно, отличается также количество выделяемых этапов и функций процесса взаимосвязи, зачастую объединяемых в рамках той или иной функциональной архитектуры ТС в отдельные уровни или слои. В настоящее время существует ряд различных архитектур ставших "де-факто" или "де-юре" международными стандартами, среди которых можно выделить:

- семиуровневую архитектуру базовой эталонной модели взаимосвязи открытых систем - международный стандарт на единую архитектуру построения телекоммуникационной сети;
- архитектуру сетей ARPA и Internet;
- системную сетевую архитектуру (SNA) и системную прикладную архитектуру (SAA), разработанных корпорацией IBM;
- архитектуру широкополосной сети (BNA), также предложенной IBM;

- архитектуру дискретной сети (DNA) фирмы DEC;
- открытую сетевую архитектуру (ONA) фирмы British Telecom и др..

Прежде чем приступить к описанию функций и принципов построения ЭМВОС необходимо определить такие понятия, как «*передача данных*» и «*обмен данными*».

В соответствии с ГОСТ 24402-88 «Телеобработка данных и вычислительные сети. Термины и определения. Госстандарт СССР. - М., 1988 г.», разработанном на основе соответствующего стандарта ISO, под «*передачей данных*» понимается пересылка данных при помощи средств связи из одного места для приема их в другом месте, а под «*обменом данными*» - передача данных между логическими объектами уровня в соответствии с установленным протоколом.

Необходимо также определиться с такими понятиями как «*служба*», «*услуга*», «*сервис*». К сожалению, четкое определение службы в существующих нормативных документах отсутствует. Неоднозначность перевода английского слова “service” - *служба, услуги, сервис, обслуживание*, порождает ситуацию, когда для определения одних и тех же понятий в научно-технической литературе используются различные переводы слова “service”. При этом в одном случае термины служба, услуги, сервис, обслуживание используются как синонимы для определения родственных понятий, и наоборот - каждый из вариантов перевода слова “service” характеризует различные понятия.

Термины «*служба*» или «*сервис*», трактуемые различными авторами как синонимы, определены в рекомендации I.112 МСЭ в контексте «*службы электросвязи*», под которыми понимается то, что обеспечивает администрация связи пользователям цифровой сети с интеграцией обслуживания (ЦСИО), при этом выделяются «*службы передачи*» и «*телеслужбы*» («*опорный сервис*» и «*телесервис*»). Под «*опорным сервисом*» понимается *вид сервиса электросвязи, который обеспечивает возможность передачи сигналов между точками доступа пользователя в сеть*. Во взаимоувязанной сети связи к данному виду служб относят только службу передачи данных. Под «*телесервисом*» понимается *вид сервиса электросвязи, который реализует все возможности электросвязи между пользователями в соответствии с протоколами, установленными администрацией связи*. При рассмотрении возможностей служб говорится о предоставлении пользователям различных «*услуг*» («*видов сервиса*»), но само понятие «*услуга*» не поясняется, и остается до конца не ясным: «*услуга*» - это функциональная возможность технической системы по передаче информации с различными параметрами качества или это возможности по обмену информацией, предоставляемые администрацией сети. В целом же данная трактовка понятия «*служба*» определяет ее как *административно-техническую систему*,

представляющую собой совокупность каналов связи и технических средств (аппаратных и программных), в том числе терминальных устройств, а также технического и административного персонала, служащих для удовлетворения потребностей абонентов в информационных услугах.

С другой стороны, в рекомендациях серии X.* (X.200), соответствующих стандартам МСЭ и ГОСТе 28906-91 при определении базовой эталонной модели взаимосвязи открытых систем дается определение «услуги уровня», как функциональной возможности, которую данный уровень вместе с нижерасположенными уровнями обеспечивает смежному верхнему уровню. А под «сервисом уровня» понимается совокупность всех услуг, предоставляемых уровнем, и правил их использования. Кроме того, в рекомендациях МСЭ вводится понятие «сетевой службы» (прикладной службы), как разновидности сервиса верхнего 7-го уровня ЭМВОС. Такой сервис представляет собой совокупность программно-технических средств, реализующих согласованные по горизонтали функции 7-го уровня и всех расположенных ниже уровней ЭМВОС и обеспечивающих предоставление пользователям ТС функционально связанного набора услуг. Примерами сетевых служб могут служить – *служба обмена сообщениями, служба передачи файлов, служба сетевого справочника* и др..

Далее, при рассмотрении различных функциональных архитектур ТС, понятие «службы» будет использоваться в контексте «сетевой службы». То есть как службы технической системы, предоставляющей пользователям (прикладным процессам) функционально связанный набор услуг по обмену конкретными видами информации с заданными параметрами качества в интересах решения прикладной задачи и реализуемой программно-аппаратными средствами АС. При этом в понятия «услуга» и «сервис» будет вкладываться смысл, определенный в ЭМВОС.

Выделение «службы», определяемой в контексте «службы электросвязи», представляющей собой организационно-техническую систему, включающую органы, средства управления и обмена информацией, технический и административный персонал и обеспечивающую весь комплекс мероприятий по удовлетворению потребностей пользователей в услугах взаимосвязи, предоставляемых сетевыми службами телекоммуникационной сети, возможно только в составе ИС. Поэтому понятие «службы» является более общим, чем понятие «сетевой службы» и в целом включает в себя последнее. Иными словами «сетевые службы» должны входить в состав «служб» ИС, обеспечивая реализацию технических аспектов услуг взаимосвязи, предоставляемых телекоммуникационной сетью.

1.4. Принципы и функции организации взаимосвязи открытых систем

Основным стандартом, который определяет принципы архитектуры взаимосвязи открытых систем, является ГОСТ 28906-91 «Системы обработки информации. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель». Этот стандарт подготовлен методом прямого применения стандартов МСО 7498-84, МСО 7498-84 (Доп. 1) и полностью им соответствует. Аналогичные рекомендации содержатся в восьмом томе Синей книги МККТТ, ныне секции стандартизации Международного Союза электросвязи (ITU-T), – рекомендация X.200.

Стандарт на эталонную модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС) является обобщением опыта, полученного при создании различных алгоритмов взаимосвязи для многих национальных и международных телекоммуникационных сетей. ЭМВОС унифицированным образом описывает общие принципы взаимодействия различных «открытых» сетевых систем. Понятие «открытости» систем означает взаимное признание и поддержку соответствующих стандартов.

Понятие «взаимосвязи открытых систем» (ВОС) характеризует все аспекты процесса обмена данными между прикладными процессами, расположенными в различных удаленных друг от друга АС информационной сети. При этом рассматривается не только процесс обмена информацией между системами, но и принципы их взаимодействия при решении общей (распределенной) задачи.

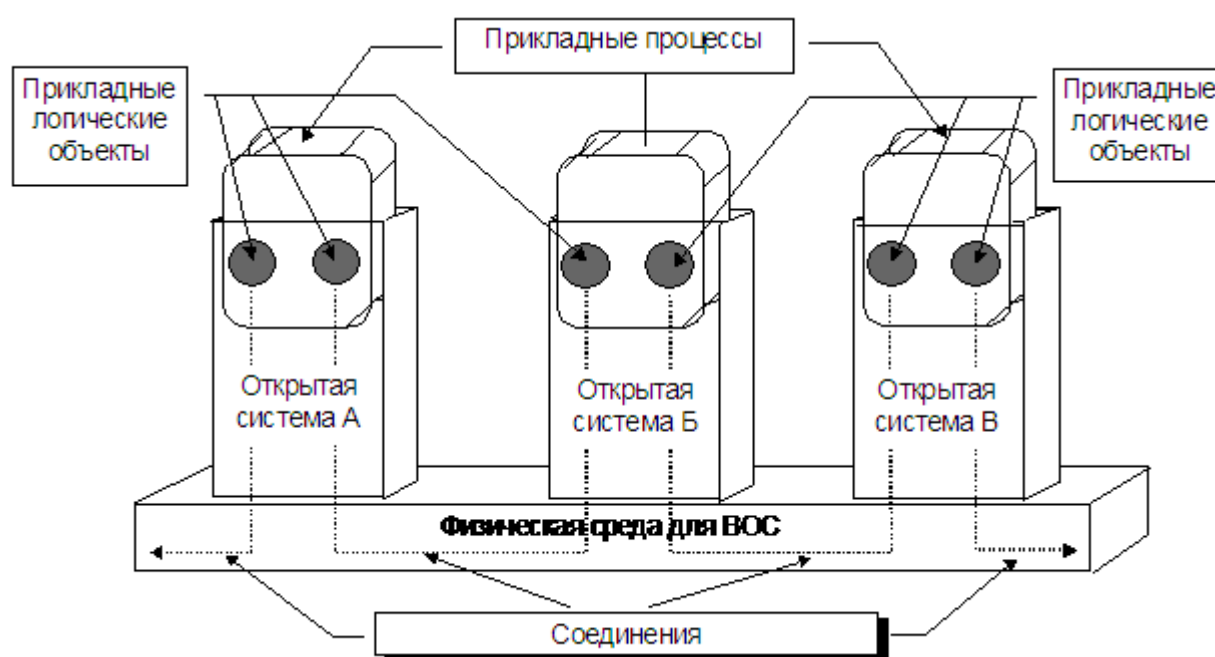


Рис. 1.3. Основные элементы ЭМВОС

Основу ЭМВОС составляют четыре элемента (рис. 1.3): *открытые системы, прикладные процессы* и соответствующие им *прикладные логические объекты*, существующие в рамках ВОС, *соединения*, которые связывают прикладные логические объекты и позволяют им обмениваться информацией, и *физическая среда для ВОС*.

Прежде чем приступить к определению основных принципов построения модели важно определиться с такими понятиями, используемыми в стандартах ВОС, как, *реальная система, реальная открытая система, открытая система, прикладной процесс, прикладной логический объект* и *соединение*.

Реальная система (РС) - это совокупность одной или нескольких ЭВМ, программного обеспечения, терминалов и других средств, а также операторов, которая образует полностью автономную систему, способную обрабатывать и (или) передавать информацию.

Реальная открытая система (РОС) – это реальная система, которая подчиняется требованиям стандартов ВОС при взаимодействии с другими системами.

Открытая система (ОС) – представление в рамках эталонной модели тех аспектов реальной открытой системы, которые относятся к ВОС.

Прикладной процесс (ПП) – элемент реальной открытой системы, который выполняет обработку информации для некоторого конкретного применения. Это может быть ручной процесс, процесс, выполняемый на ЭВМ, или физический процесс.

Компоненты прикладных процессов, называемые прикладными логическими объектами (далее для краткости – *логическими объектами*), реализуют процессы взаимосвязи открытых систем через *среду ВОС*, под которой понимается совокупность взаимодействующих *реальных открытых систем* вместе с *физической средой для ВОС*, предназначенной для передачи информации между ними (рис. 1.3). В качестве физической среды для ВОС обычно выступают каналы связи различной физической природы.

На рис. 1.4 показана взаимосвязь между *реальной системой, реальной открытой системой, открытой системой* и определено их соотношение с функциональными средами, выделяемыми в соответствии с принятой в ЭМВОС иерархией функций взаимосвязи. При этом определяются:

- *сетевая среда*, реализующая функции распределения информационных потоков через транспортную сеть, согласования параметров взаимосвязи и параметров физической среды для ВОС или сети физических каналов связи, формирования и передачи сигналов, несущих информацию через физическую среду для ВОС (каналы связи);

- *среда ВОС*, включающая сетевую среду и реализующую основные функции взаимосвязи, ориентированные на приложения. Эта среда предоставляет возможность прикладным процессам взаимодействовать друг с другом открытым образом;
- *среда реальных систем*, надстраиваемая над сетевой средой и определяющая принципы построения и функционирования прикладных процессов, ориентированных на взаимосвязь и создаваемых в интересах решения конкретной прикладной задачи.

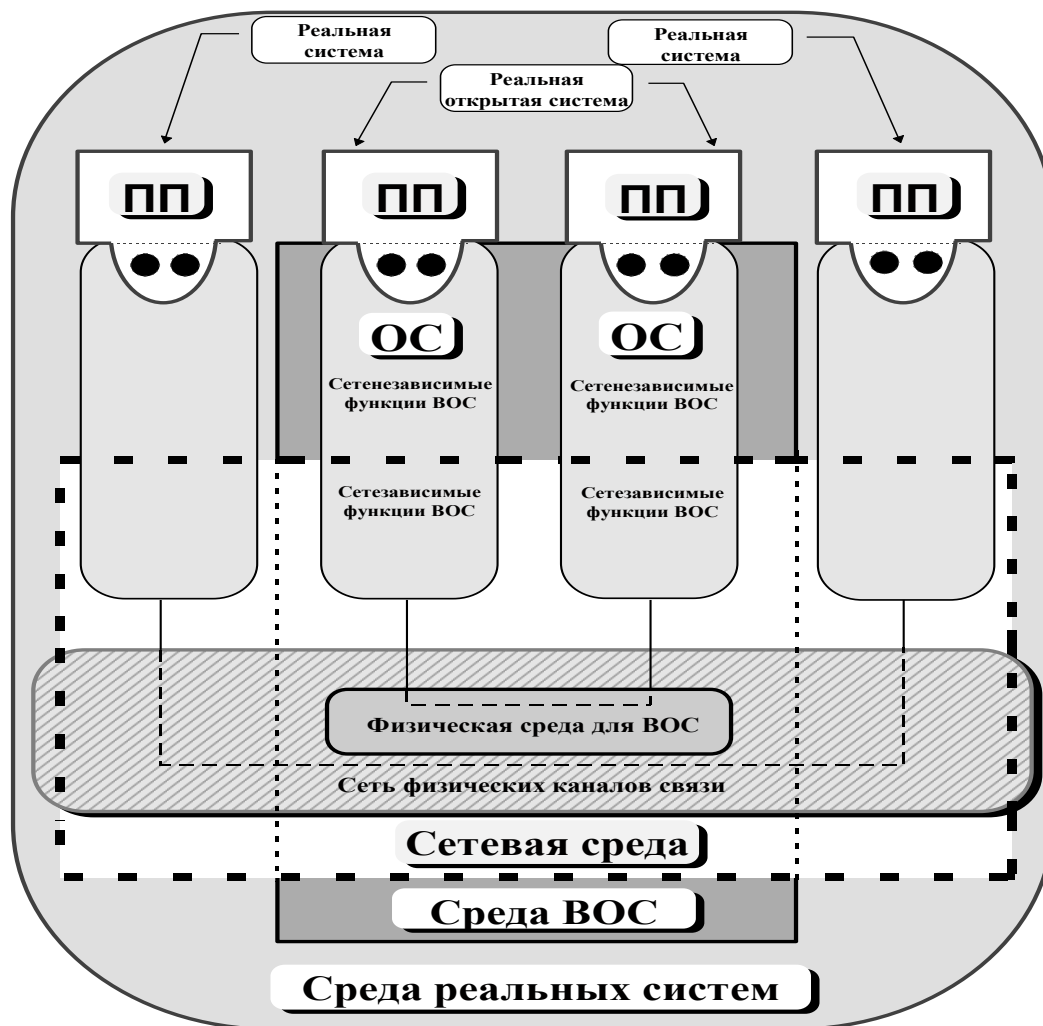


Рис. 1.4. Взаимосвязь между реальной системой, реальной открытой системой, открытой системой

Эталонной моделью в рамках среды ВОС предусмотрены два варианта взаимосвязи – с установлением соединения, и без установления соединения.

Взаимосвязь с установлением соединения предполагает, что перед обменом данными логические объекты двух взаимодействующих друг с

другом реальных открытых систем выполняют процедуры, связанные с установлением логического соединения между ними.

Каждое соединение определяет функциональное взаимодействие двух либо большего числа одноименных объектов различных систем и устанавливается через физическую среду для ВОС.

При обеспечении взаимосвязи с установлением соединения в общем случае выполняются следующие этапы:

- собственно установления соединения,
- поддержания соединения в процессе взаимосвязи и обмена данными,
- разрушения установленного соединения по окончании взаимодействия.

Таким образом, соединение объектов существует только во время их взаимодействия, после чего аннулируется. Во время установления соединения о его создании должны договориться два логических объекта различных систем (инициатора и адресата). Разрыв соединения может выполняться как по взаимному согласованию (синхронно), так и в одностороннем порядке логическим объектом одной из взаимодействующих систем (асинхронно) без предварительного согласования. По установленному соединению выполняется последовательный обмен данными до момента инициации одним из логических объектов этапа разрушения (закрытия) соединения.

Взаимосвязь без установления соединения основана на том, что логические объекты взаимодействующих систем знают все необходимое друг о друге заранее и осуществляют обмен данными, не предупреждая партнера по обмену.

Передача информации в режиме без установления соединения осуществляется двумя способами:

- логический объект инициатор начинает обмен данными без согласия партнера, имея при этом предварительную двухстороннюю договоренность о режимах взаимосвязи, используемых наборах адресов, видах используемого сервиса и параметрах качества услуг;

- логический объект-инициатор начинает обмен данными с запроса у партнера по обмену нужных для работы сведений:

- о поддерживаемых режимах взаимосвязи,
- об используемых наборах адресов,
- о видах используемого сервиса,
- о допустимых параметрах качества услуг.

И после получения ответа на запрос приступает непосредственно к этапу обмена блоками данных.

Большое многообразие и сложность функций взаимосвязи привели к необходимости их иерархического разделения на группы в рамках открытой системы и создания многоуровневой архитектуры ТС. В

соответствии с эталонной моделью ВОС каждая открытая система состоит из иерархически упорядоченных подсистем (рис. 1.5), реализующих схожие наборы функций взаимосвязи. Подсистемы одного и того же N-го ранга в различных открытых системах все вместе образуют слой N-го уровня иерархии (N-уровень) ЭМВОС. Для локализации функций в рамках подсистемы в модели используют уже упоминавшееся при описании общих принципов ВОС понятие *логического объекта*, применительно к каждому уровню модели. При этом под логическим объектом уровня понимается *активный элемент уровня, реализующий группу функций данного уровня*. Таким образом, подсистема N-го уровня (N-подсистема) состоит из одного или нескольких логических объектов (N-объектов). Логические объекты существуют в каждом уровне и для одного и того же уровня они носят название *равноправных логических объектов*. Однако не все равноправные логические объекты могут быть связаны между собой и не для всех из них такая связь необходима. В некоторых случаях, когда, например, логические объекты находятся в несвязанных открытых системах или они не поддерживают одинаковые функции взаимосвязи, наличие взаимодействия равноправных логических объектов не представляется возможным.

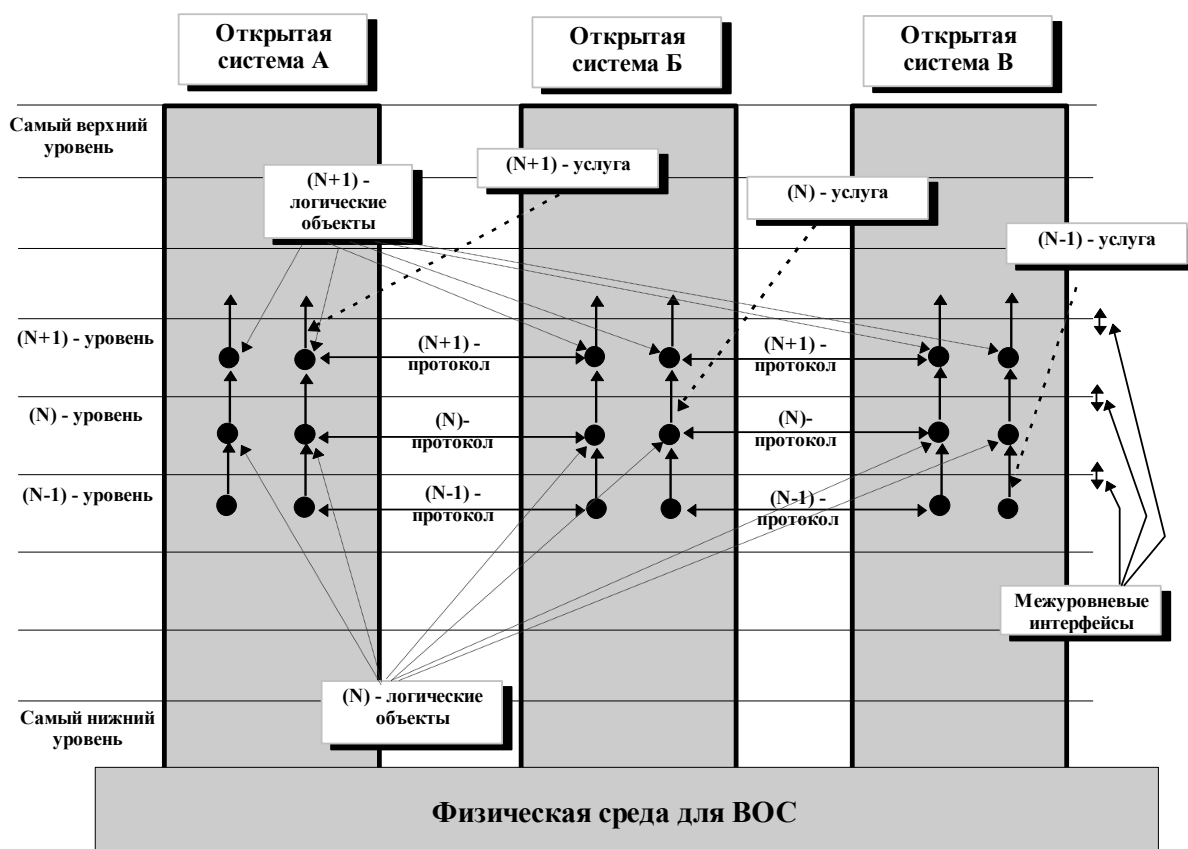


Рис. 1.5. Основные элементы функциональной архитектуры ЭМВОЛС

За исключением самого верхнего уровня каждый N-уровень предоставляет N-услуги логическим объектам (N+1)-уровня. Услуги N-уровня предоставляются (N+1)-уровню посредством N-функций, выполняемых внутри N-уровня N-логическим элементом, на базе услуг (N-1)-го уровня.

(N)-услуга характеризуется следующими параметрами качества услуги:

- ожидаемая задержка передачи;
- вероятность искажения информации;
- вероятность потери данных или их дублирования;
- вероятность передачи по неправильному адресу;
- защищенность от несанкционированного доступа.

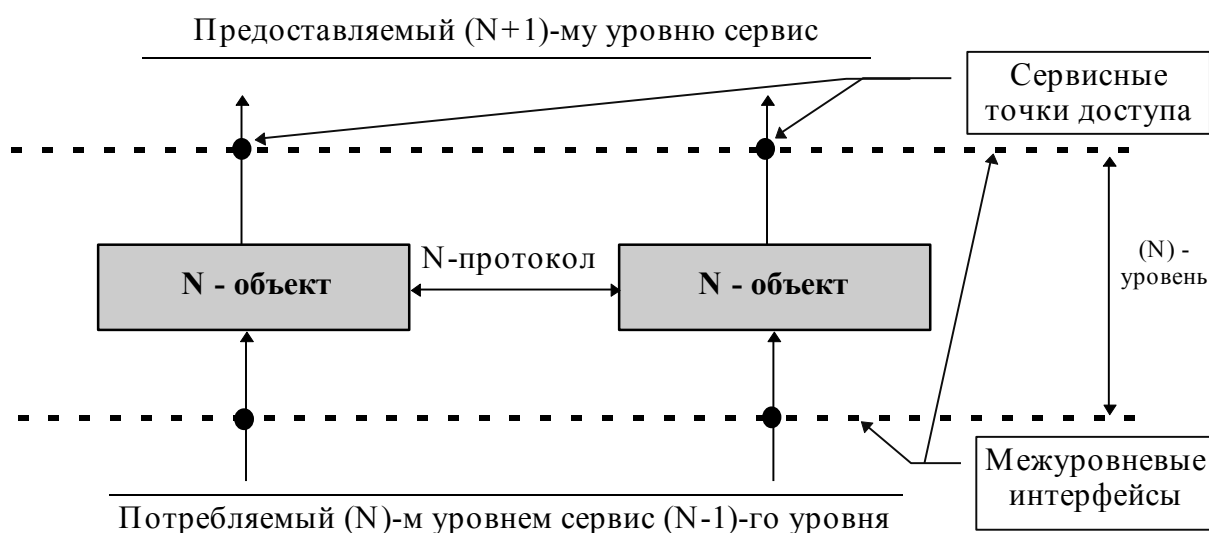


Рис. 1.6. (N)-уровень ЭМВОЛС

Взаимодействие между (N)-логическими объектами осуществляется посредством одного или нескольких (N)-протоколов. Объекты внутри уровня и протоколы показаны на рис. 1.6. Объекты (N+1)-го уровня могут связываться между собой только с помощью услуг, предоставляемых логическим объектом (N)-го уровня через межуровневый интерфейс. Для обмена информацией между двумя или более (N+1)-логическими объектами должна быть установлена ассоциация (соединение) в (N)-уровне путем использования (N)-протокола. В целом под протоколом понимается совокупность правил и процедур взаимодействия равноправных логических объектов. Протокол любого уровня обеспечивает сервис (набор услуг уровня) для расположенного над ним уровня. Этот сервис предоставляется благодаря передаче через межуровневый интерфейс (сервисные точки доступа) специальных блоков данных (интерфейсных блоков данных), именуемых сервисными примитивами.

Протокол определяет:

- процедуры обмена данными и управляющей информацией между взаимодействующими равноправными логическими объектами;
- механизм выбора указанных процедур из списка возможных;
- структуру и способ кодирования протокольных блоков данных (ПБД), посредством передачи которых осуществляется обмен данными между равноправными логическими объектами, что позволяет ему обеспечивать взаимодействие равноправных логических объектов, использование сервиса, предоставляемого нижележащим уровнем, и предоставление сервиса верхнему уровню. Следует отметить, что вся совокупность функций уровня может быть реализована посредством как одного, так и нескольких независимых друг от друга протоколов. При этом протокол «не знает», какие протоколы еще функционируют на том же или на смежных уровнях. Каждому протоколу «известны» лишь потребляемый и предоставляемый сервисы.

В соответствии с ЭМВОС каждый N-уровень может быть описан совокупностью выполняемых им функций. Эти функции, в общем случае, включают в себя:

- выбор протокола;
- установление и разрыв соединения;
- мультиплексирование и расщепление соединений;
- передачу нормальных (обычных) данных;
- передачу срочных (внеочередных) данных;
- управление потоком данных;
- сегментирование блокирование и сцепление данных;
- организацию последовательности;
- защиту от ошибок;
- маршрутизацию.

1.5. Локальные информационно-вычислительные сети (ЛИВС)

Для классификации компьютерных сетей используются различные признаки, но чаще всего сети делят на типы по территориальному признаку, то есть по величине территории, которую покрывает сеть. И для этого есть веские причины, так как отличия технологий локальных и глобальных сетей очень значительны, несмотря на их постоянное сближение.

К *локальным сетям* – *Local Area Networks (LAN)* – относят сети компьютеров, сосредоточенные на небольшой территории (обычно в радиусе не более 1-2 км). В общем случае локальная сеть представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации.

Глобальные сети – *Wide Area Networks (WAN)* – объединяют территориально рассредоточенные компьютеры, которые могут находиться в различных городах и странах.

Городские сети (или сети мегаполисов) – *Metropolitan Area Networks (MAN)* – являются менее распространенным типом сетей. Эти сети появились сравнительно недавно. Они предназначены для обслуживания территории крупного города – мегаполиса. Сети мегаполисов предназначены для связи локальных сетей в масштабах города и соединения локальных сетей с глобальными.

1.5.1. Общие сведения

Успех развития локальных сетей (ЛС) определяется, с одной стороны, их доступностью массовому пользователю и, с другой стороны, теми социально-экономическими последствиями, которые они вносят в различные сферы человеческой деятельности. Если в начальной стадии своего развития ЛС в основном применялись для осуществления межмашинного обмена, то в последующем они стали использоваться для передачи цифровой, текстовой, графической, речевой и мультимедиа информации.

Как следует из названия, локальная сеть является одним из вариантов телекоммуникационной сети, развертываемой на относительно небольшой территории. Международный комитет *IEEE 802* (Институт инженеров по электронике и электротехнике США), специализирующийся на стандартизации в области локальных сетей (*LAN – Local Area Network*), дает следующее определение этим системам: «*Локальные сети отличаются от других видов сетей тем, что они обычно ограничены умеренной географической областью, такой, как одно здание или группа рядом стоящих зданий, склад или университетский городок, и в зависимости от каналов связи осуществляют передачу данных в диапазонах скоростей от умеренных до высоких с низкой степенью ошибок...*».

В отечественной литературе часто термин *LAN* отождествляют с понятием *локальная вычислительная сеть (ЛВС)*, что не совсем корректно. Понятие ЛВС определяет отдельный класс информационных сетей, обеспечивающих доступ распределенных на ограниченной территории пользователей к единому вычислительному ресурсу, а также реализацию функций содержательной обработки информации (распределенные вычисления, удаленное выполнение заданий и т. д.) и использующих в качестве транспортной сети локальную сеть передачи данных.

В дальнейшем, говоря о локальных сетях (или *LAN*), будем понимать *сеть передачи данных, связывающую ряд абонентских систем (рабочих станций ЛС) в одной локальной зоне, географически ограниченной, например, одним зданием, студенческим городком, радиусом в несколько километров, на базе высокоскоростных каналов передачи данных (обычно моноканалов).*

Относительно небольшая сложность и стоимость ЛС, использующих в качестве АС в основном персональные ЭВМ, обеспечивают широкое применение сетей в автоматизации управленческой деятельности и делопроизводства, технологических и производственных процессов. ЛС применяются для создания распределенных управляющих, информационно-справочных, контрольно-измерительных систем, систем промышленных роботов и гибких автоматизированных производств.

При помощи общего канала связи ЛС может объединять от десятков до сотен абонентских узлов, включающих персональные компьютеры, внешние запоминающие устройства (ЗУ), дисплеи, печатающие и копирующие устройства, кассовые и банковские аппараты, интерфейсные схемы и др.

Основными компонентами ЛС являются: *передающие среды, рабочие станции, интерфейсные платы, серверы.* ЛС могут так же подключаться к другим локальным и глобальным (региональным, территориальным) телекоммуникационным сетям с помощью специальных устройств сопряжения, реализуемых в виде специализированных устройств или на базе персональных ЭВМ, дооснащенных соответствующими аппаратными и программными средствами.

Понимание различий между устройствами сопряжения очень важно, особенно сейчас, когда начинают появляться различного рода гибридные устройства, выполняющие смешанные функции. В настоящее время уже существует целый ряд подобных устройств, отличающихся реализуемыми функциями, принципами построения и способам использования:

Мост (Bridge). Мост соединяет два участка сети (сетевых сегмента) и пропускает пакеты в зависимости от их адреса, обеспечивая сопряжение фрагментов ЛС на уровне звена данных ЭМВОС. Оба сегмента должны являться составными частями единой сети передачи данных или локальной вычислительной сети с одним сетевым адресом. Так как мост позволяет объединять различные однотипные сегменты ЛС на подуровне доступа к среде передачи (MAC), то с его помощью можно соединить любые две сети соответствующие стандарту *IEEE 802.2* в не зависимости от различий в средах передачи и методах доступа. Использование мостов позволяет обеспечить повышение эффективности, безопасности и протяженности локальных сетей.

Маршрутизатор (Router). Маршрутизатор работает на сетевом уровне модели ВОС. Он по адресу пакета определяет один из маршрутов, по которому будет направлен пакет и обеспечивает соединение между собой (на сетевом уровне) различных фрагментов локальных сетей или отдельных, работающих по различным протоколам локальных вычислительных сетей, каждая из которых имеет свой сетевой адрес. В отличие от мостов, маршрутизаторы являются протокол ориентированными и их целесообразно применять в больших ЛС, где MAC-уровни у подсетей обычно не совпадают. Часто многопротокольные маршрутизаторы используются как пограничные устройства для объединения географически удаленных фрагментов локальной сети через территориальную сеть.

Мост-маршрутизатор (Brouter). Это гибрид двух устройств (моста и маршрутизатора), выполняющий отдельные функции как одного, так и другого устройства. Он реализует функции уровня звена данных и сетевого уровня, обеспечивая фильтрацию и маршрутизацию поступающих пакетов, являясь подобно мосту протокол не ориентированным устройством.

Шлюз (Gateway). Это устройство, предназначенное не только для соединения отдельных сетей, но и для трансляции (преобразования) и согласования протоколов соединяемых сетей из одного в другой и обратно. Шлюзы работают на всех семи уровнях ЭМВОС.

Репитер (Repeater). В отличие от вышеперечисленных устройств репитер работает на самом нижнем уровне ЭМВОС – физическом. Он может только принимать и отправлять пакеты, обеспечивая лишь электрическое сопряжение двух подсетей. Репитер регенерирует принятый сигнал и позволяет, таким образом увеличить расстояние, на которое может быть передан сигнал. Все вышеперечисленные устройства также обеспечивают выполнение функций репитера.

1.5.2. Стандарты локальных сетей

В 1980 г. в институте инженеров по электротехнике и радиоэлектронике – *IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)* был создан комитете 802 с целью разработки стандартов в области ЛС. Подготовка проектов стандартов была возложена на ряд соответствующих подкомитетов. Многие сетевые стандарты IEEE легли в основу стандартов по ЛС Международной организации по стандартизации (*International Organization for Standardization – ISO*) и Международной комиссии по электротехнике (*International Electrotechnical Commission – IEC*), которые для этих целей организовали совместный комитет *JTC1*.

Подкомитет *802.1 IEEE* разрабатывает методы межсетевого взаимодействия и архитектуру системы управления ЛС, общую совокупность стандартов для ЛС, которая включает:

Стандарт *IEEE 802* – основной стандарт для локальных и региональных сетей, одобренный в 1990 году и включающий обзор сетевых архитектур.

Стандарт *IEEE 802.1B* – стандарт управления локальными / региональными сетями. Одобренный в 1992 году, он вместе с *802.1k* лег в основу *ISO/IEC 15802-2*.

Стандарт *IEEE 802.1D* – стандарт соединения локальных сетей на уровне *MAC* с помощью мостов. Одобренный в 1990 году, он лег в основу *ISO/IEC 10038*.

Стандарт *IEEE 802.1E* – стандарт на протоколы системной нагрузки для локальных и региональных сетей. Одобренный в 1990 году, он лег в основу *ISO/IEC 10038*.

Стандарт *IEEE 802.1F* – стандарт определения управляющей информации для серии 802, одобрен в 1993 году.

Стандарт *IEEE 802.1g* – предложение по стандарту на удаленные мосты уровня *MAC*.

Стандарт *IEEE 802.1H* – рекомендуемые правила организации мостов *MAC* в сетях *Ethernet 2.0*, одобрены в 1995 году.

Стандарт *IEEE 802.1i* – стандарт на использование *FDDI* в качестве моста уровня *MAC*, одобрен в 1992 году и включен в *ISO/IEC 10038*.

Стандарт *IEEE 802.1j* – дополнение к *802.1D*, одобрено в 1996 году. Данный стандарт описывает связь локальных сетей с помощью мостов уровня *MAC*.

Стандарт *IEEE 802.1k* – стандарт для локальных и региональных сетей на обнаружение и динамический контроль маршрутизации событий, одобрен в 1993 году и вместе с *802.1B* лег в основу *ISO/IEC 15802-2*.

Стандарт *IEEE 802.1m* – описание соответствий для *802.1E*, рассматривающее определения и правила управляемых объектов для протокола системной нагрузки, одобрено в 1993 году и включено в *ISO/IEC 15802-4*.

Стандарт *IEEE 802.1p* – предложение по стандарту для локальных и региональных сетей, касающееся ускорения обработки трафика и многоадресной фильтрации с помощью мостов уровня *MAC*.

Стандарт *IEEE 802.1Q* – предложение по стандарту на виртуальные локальные сети с мостами.

К этой группе стандартов по ЛС относятся также следующие стандарты МОС:

Стандарт *ISO/IEC 10038* – стандарт соединения локальных сетей с помощью мостов уровня *MAC*. Базирующийся на *IEEE 802.1D* и включающий *802.li* и *802.1m* он был одобрен в 1993 году.

Стандарт *ISO/IEC 15802-2* – общие спецификации на управление локальными и региональными сетями. Они базируются на стандарты *IEEE 802.1B*, *802.1k* и были одобрены в 1994 году.

Подкомитеты *802.2* и *802.3* – *802.5*, опираясь на семиуровневую модель ВОС, выполнили дальнейшую декомпозицию уровней 1 и 2 модели. Согласно модели *IEEE* уровень звена данных поделен на два подуровня: управление логическим звеном *LLC (Logical Link Control)* и управление доступом к среде *MAC (Medium Access Control)*. Соотношение уровней ЭМВОС и *IEEE* для ЛС показано на рис. 1.6. В функции *LLC* входит передача кадров между станциями (управление потоком данных), включая исправление ошибок. На этом уровне выполняется также диагностика работоспособности узлов ЛС. Организация *LLC* не зависит от алгоритмов доступа к физической среде и ее типа, если не считать временных соотношений.

Группа стандартов уровня звена данных включает следующие стандарты *IEEE* и МОС:

Стандарт *IEEE 802.2* – стандарт для логического управления каналом при связи локальных и региональных сетей, в основном с помощью мостов. Он лег в основу стандарта *ISO/IEC 8802-2*. Текущая версия одобрена в 1994 году и заменила более ранний стандарт *802.2* от 1989 года.

Стандарт *ISO/IEC 8802-2* – стандарт для логического управления каналом при связи локальных сетей, в основном с помощью мостов. Он базируется на *IEEE 802.2* (редакция 1994 года) и включает *802.2a*, *802.2b*, *802.2d*, *802.2e* и *802.5p*. Данный стандарт заменил версии обоих стандартов от 1989 года и был одобрен в 1994 году. В зависимости от технической реализации нижнего физического уровня выделены стандарты для разновидностей ЛС, каждый из которых кроме специфических стандартов физического уровня включает также часть

управления доступом к среде. Подуровень МАС реализует алгоритм доступа к среде и адресацию станций ЛС.

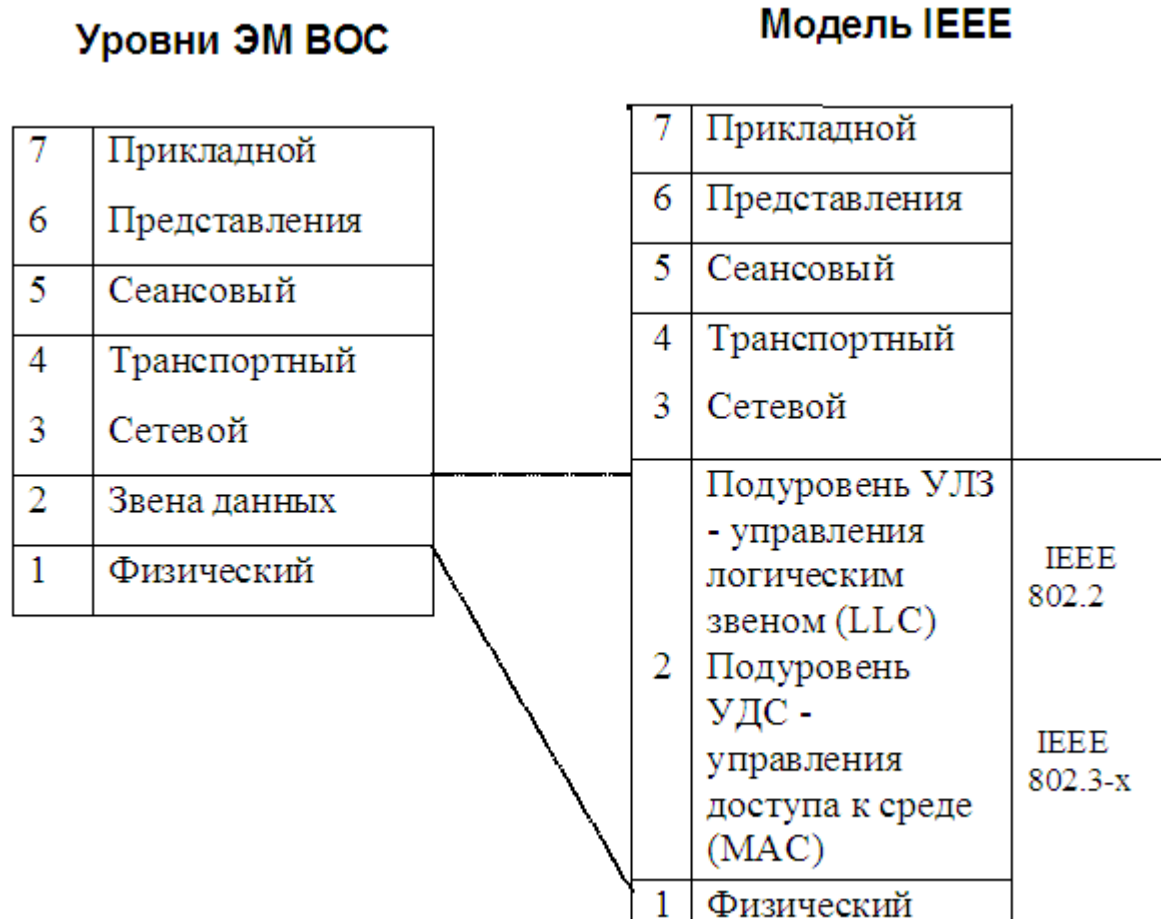


Рис. 1.6. Соотношение уровней ЭМВОС и IEEE для ЛС

Стандарт *IEEE 802.3* – определяет линейную магистральную (шинную) ЛС с множественным методом доступа с контролем несущей и обнаружением столкновений (*CSMA/CD*).

Стандарт *ISO/IEC 8802-3* - стандарт на методы доступа *CSMA/CD* и физический уровень в локальных сетях. Он базируется на *IEEE 802.3* и включает *802.3b, 802.3c, 802.3d, 802.3e, 802.3h, 802.3i, 802.3j, 802.3k, 802.3l, 802.3m, 802.3n, 802.3p, 802.3q, 802.3s, 802.3t* и *802.3v*. Одобренный в 1996 году, он заменил версию стандарта от 1993 года.

Стандарт *IEEE 802.3u* – стандарт для сетей *100BaseX*.

Стандарт *IEEE 802.4 (ISO/DIS 8802/4)* – определяет линейную магистральную ЛС с передачей полномочий (маркеров). Маркер, представляющий собой определенную комбинацию бит, перемещается от одного абонента (станции) к другому, образуя логическое кольцо. Согласно этому стандарту может быть использована одна или несколько полос широкополосного канала. Сигналом является модулированная несущая. В таких ЛС возможна организация обмена разнотипной дискретной информацией по одному каналу как от

различных компьютеров и других информационных или управляющих систем, так и телевизионных и радиовещательных программ и телефонных разговоров. Недостатком подобных сетей являются их сложные протокольная и аппаратная реализации.

Стандарт *IEEE 802.5* – определяет кольцевую ЛС с передачей маркера.

Стандарт *ISO/IEC 8802-5* – стандарт на метод доступа и физический уровень сетей *Token Ring*, т. е. на общую архитектуру *Token Ring*. Он базируется на *IEEE 802.5* и включает *802.5b*. Принятая в 1995 г. редакция заменила стандарт 1992 года.

Стандарт *ISO/IEC 11802-4* – технический отчет (не стандарт) на базе *IEEE 802.5*. Он рассматривает методы доступа *Token Ring* для станций с подключением по оптическому кабелю. Данный отчет был опубликован в июне 1994 года.

Стандарт *IEEE 802.6* – стандарт, определяющий архитектуру городской сети (*MAN*).

Стандарт *IEEE 802.7* – стандарт, определяющий метод передачи сегментов по кольцу. Если сегмент, циркулирующий по кольцу, пустой, станция, мимо которой он проходит, может поместить в него данные и передать в соседнюю станцию. Этот метод впервые был положен в основу при построении одной из первых сетей *Cambridge Ring*, которая была разработана в 70-х годах. По этому принципу были построены и другие первые локальные сети, например, отечественная ЛС «Эстафета».

Стандарт *IEEE 802.8* – определяет использование в ЛС волоконно–оптической техники.

Стандарт *IEEE 802.9* – определяет построение интегрированной сети передачи данных и речи.

Стандарт *ISO/IEC 8802-9* – стандарт на интерфейсы локальных сетей на физическом уровне и уровне *MAC*. Базирующийся на *IEEE 802.9*, был одобрен в 1996 году.

Стандарт *IEEE 802.10* – стандарт, определяющий архитектуру виртуальных ЛС.

Стандарт *IEEE 802.11* – стандарт на беспроводные (радио) ЛС. Стандарт *802.11* для сетей радио-Ethernet предусматривает два метода передачи – *DSSS* и *FHSS*. Метод *DSSS* (*Direct Sequence Spread Spectrum*) – «метод прямой последовательности» предполагает передачу с одиннадцатикратной избыточностью (одновременно по 11-ти подканалам). Метод *FHSS* (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) – «метод частотных скачков» - предусматривает передачу узкополосным сигналом, частота которого скачкообразно меняется путем выбора очередного подканала из 79 возможных по псевдослучайному закону. Согласно стандарту *802.11* при построении радио ЛС предусма-

тривается использование двух частотных диапазонов – 2400-2483.5 МГц и 2.4-2.4835 ГГц. Первый рекомендуется для использования внутри помещений, а второй – вне помещений. Максимальная дальность передачи в радио-ЛС может достигать 25 км.

Стандарт *IEEE 802.12* – стандарт, определяющий архитектуру ЛС *100 VG Any LAN*.

1.5.3. Архитектура локальных сетей типа Ethernet

Метод доступа CSMA/CD

Данный метод множественного доступа к среде используется в сетях Ethernet (стандарт IEEE 802.3) и реализует схему с состязанием, в которой сетевые узлы соревнуются за право использования среды. Узел, захвативший ресурс среды (выигравший состязание), может передать один пакет, а потом должен ее освободить для других узлов. Если несколько узлов начинают передачу почти одновременно, возникает конфликт (столкновение) и все отправленные пакеты теряются.

Метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов МДПН/ОК (*CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) устанавливает следующий порядок обмена в сети: если рабочая станция хочет воспользоваться моноканалом для передачи данных, она сначала должна проверить состояние канала и только в том случае, когда канал свободен ей разрешается начать передачу. В процессе передачи станция продолжает прослушивание сети для обнаружения возможных конфликтов.

Если возникает конфликт вследствие того, что два узла сети пытаются одновременно занять канал, то обнаружившая конфликт АС (интерфейсная плата соответствующей АС) выдает в сеть специальный сигнал (сигнал «пробки»), и обе станции временно прекращают передачу. Принимающая станция, как правило, отбрасывает частично уже принятое сообщение. Все рабочие станции в сети, которые хотят передавать данные, в течение некоторого случайно выбранного промежутка времени выжидают, прежде чем начать передачу. Все сетевые интерфейсные платы запрограммированы на разные псевдослучайные промежутки времени. Если конфликт возникнет во время попытки повторной передачи сообщения, этот промежуток времени будет увеличен.

В сетях Ethernet конфликты неизбежны, так как между моментом, когда рабочая станция проверяет, свободна ли сеть и моментом начала фактической передачи проходит некоторое время. Вполне возможно,

что в течение указанного времени какая-нибудь станция в сети начнет передачу, но сообщение об этом не успеет достичь пункта своего назначения. Хотя для сетей данного типа конфликты неизбежны, благодаря высокой скорости передачи (10 Мбит/с и более) даже при повторных конфликтах пользователи могут не ощущать заметного уменьшения скорости. Если же число конфликтов в сети становится настолько большим, что это сказывается на ее работе, то необходимо серьезное администрирование данного фрагмента сети, а возможно и его реконфигурация.

В соответствии со стандартом максимальный размер кадра в сети Ethernet составляет 1526 байт (12 208 бит), а минимальный — 72 байт (576 бит). При частоте передачи 10 МГц время передачи пакета минимальной длины составляет 57,6 мс. Это время несколько больше, чем удвоенное время распространения сигнала между крайними точками кабеля, равное 51,2 мс. Последняя цифра получена исходя из максимально допустимого в Ethernet расстояния между узлами равного 2500 м.

Максимальное значение скорости устойчивой передачи для метода *CSMA/CD* определяется в соответствии с соотношением:

$$S = (1 + 6,2 \cdot a) - 1, \quad a = \tau \cdot C / L,$$

где: τ – время распространения (включая время приема) в секундах, C – скорость передачи данных в моноканале и L – средняя длина пакета.

Как видно из формулы, эффективность метода *CSMA/CD* определяется длиной моноканала, скоростью передачи данных и минимальной длиной пакета данных.

Диаграмма состояний, иллюстрирующая операции, выполняемые в соответствии с методом *CSMA/CD* на уровне звена данных, представлена на рис. 1.7.

Большую часть времени уровень звена данных «прослушивает» канала связи. В этом состоянии анализируются все кадры, передаваемые физическим уровнем. Если заголовок кадра содержит адрес, совпадающий с адресом узла (адресом данной АС), уровень звена данных переходит в состояние приема и завершает прием всего кадра (пакета). После завершения приема кадр передается на вышестоящий (сетевой) уровень, а уровень звена данных опять возвращается в состояние «прослушивания» канала. Передача кадра в канал осуществляется только по запросу сетевого уровня. Когда выдается такой запрос, а узел не находится в состоянии приема, уровень звена данных переходит в состояние ожидания. В этом состоянии узел ждет, когда освободится канал. После освобождения канала начинается передача пакета. Если передача завершается успешно (без конфликта), узел опять переходит в состояние прослушивания канала. Если во время передачи кадра возникает

конфликт, передача прерывается и повторяется вновь через случайное время ожидания. При этом узел переходит в состояние задержки. В этом состоянии он находится некоторое время и потом опять переходит в состояние ожидания.



Рис. 1.7. Алгоритм CSMA/CD

1.5.4. Пример формата кадра Ethernet

Технология Ethernet относится ко второму (канальному) уровню эталонной модели взаимосвязи открытых систем. Протокольным блоком данных этого уровня является кадр. Кадры Ethernet бывают четырех различных форматов, среди которых наиболее часто используется формат Ethernet II (или Ethernet DIX; DIX – это сокращение от названий трех компаний – DEC, Intel, Xerox, – вместе разработавших спецификации стандарта Ethernet DIX), приведенный на рис. 1.8.

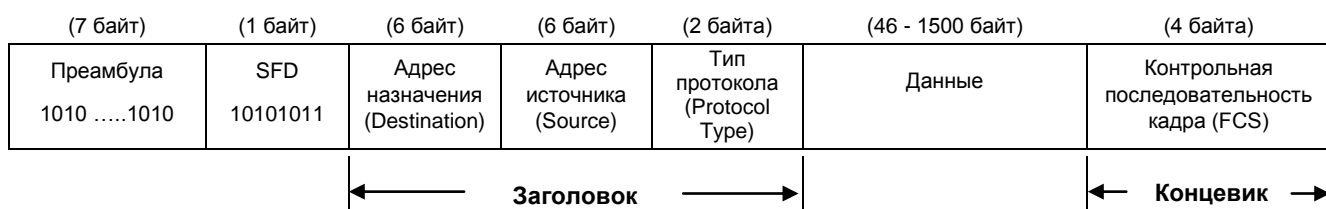


Рис. 1. 8. Формат кадра Ethernet II (DIX)

Поле *преамбула* представляет собой последовательность из 7 байт 10101010 и служит для тактовой синхронизации приемника.

Поле SFD, Start of Frame Delimiter – *начальный ограничитель кадра*. Выполняет функцию флага для цикловой синхронизации приемника. Получив этот байт, приемник понимает, что следующим байтом будет первый байт заголовка кадра.

Адрес назначения и адрес источника – это адреса подуровня управления доступом к среде (MAC, *Media Access Control*) канального уровня структуры стандартов *IEEE 802.x*, или MAC-адреса. Для простоты эти адреса можно считать адресами канального уровня, т.к., например, в наиболее часто используемом формате кадра Ethernet II (DIX) поле подуровня управления логическим каналом (*LLC, Logical Link Control*) отсутствует. MAC-адреса называются также локальными, аппаратными или физическими адресами. В отличие от MAC-адресов, IP-адреса являются логическими и называются также сетевыми или протокольными адресами. Фактически, MAC-адрес – это адрес сетевой платы хоста, записанный ее производителем в ПЗУ. Он состоит из 48 разрядов. Первые 24 разряда являются уникальным идентификатором организации (*OUI, Organizationally Unique Identifier*), назначаемым Комитетом *IEEE* каждому производителю оборудования, вторые 24 разряда назначаются самим производителем каждой изготовленной им плате. Например, для компании Cisco Комитет *IEEE* назначил *OUI* 00 60 2F (в шестнадцатеричной форме). Таким образом, в старших 24 разрядах MAC-адреса всех сетевых плат, произведенных компанией Cisco, будет двоичная комбинация 0000 0000 0110 0000 0010 1111.

В поле *тип протокола* указывается идентификатор протокола вышележащего уровня, вложившего свой пакет в поле данных кадра. Как было упомянуто выше, кадр – это протокольный блок данных канального уровня. Вышележащим по отношению к канальному является сетевой уровень. Примеры протоколов сетевого уровня – *IP, IPX*. Например, если в поле данных кадра вложен пакет *IP*, то значение поля *тип протокола* в шестнадцатеричной форме – 0800, что идентифицирует протокол *IP*.

В поле *данные* вкладывается протокольный блок данных вышележащего уровня, например, пакет *IP*. Для обеспечения надежного распознавания коллизий длина поля данных не должна быть меньше 46 байт. Если в поле данных вкладывается пакет длиной менее 46 байт, поле данных дополняется до 46 байт нулями или единицами.

Контрольная последовательность кадра (FCS, *Frame Check Sequence*) – это 32 бита циклического избыточного кода для обнаружения ошибок. Контрольная последовательность кадра, вычисляется на основе содержимого заголовка и данных (вместе с заполнителем, но без учета преамбулы и ограничителя) с помощью 32-

разрядного циклического избыточного кода (*Cyclic Redundancy Code – CRC*) с порождающим полиномом:

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

1.6. Технологии и архитектура современных беспроводных сетей

1.6.1. Классификация беспроводных сетей передачи информации

В настоящее время особенно бурно развивается такая отрасль телекоммуникационной индустрии оборудования и услуг как беспроводные сети передачи информации (БСПИ). На рынке предлагается довольно широкий спектр оборудования беспроводного доступа, в номенклатуре и назначении которого непосвященному пользователю разобраться не так уж и легко, – от простейшего оборудования для организации локального беспроводного интерфейса (*Bluetooth, Home RF, UWB*) до оборудования для доступа в глобальные сети и построения беспроводных компьютерных сетей (*Wi-Fi, WiMAX, DECT, GSM*). В целом существуют три основных направления применения беспроводных сетей — работа в замкнутом объеме (офис, выставочный зал и т. п.), соединение удаленных локальных сетей (или удаленных сегментов локальной сети) и построение территориально распределенных беспроводных сетей передачи информации. Для соединения удаленных локальных сетей (или сильно распределенных в пространстве сегментов локальной сети) может использоваться оборудование с направленными антеннами, специальные усилители, большая высота размещения антенн (рис.1.9).

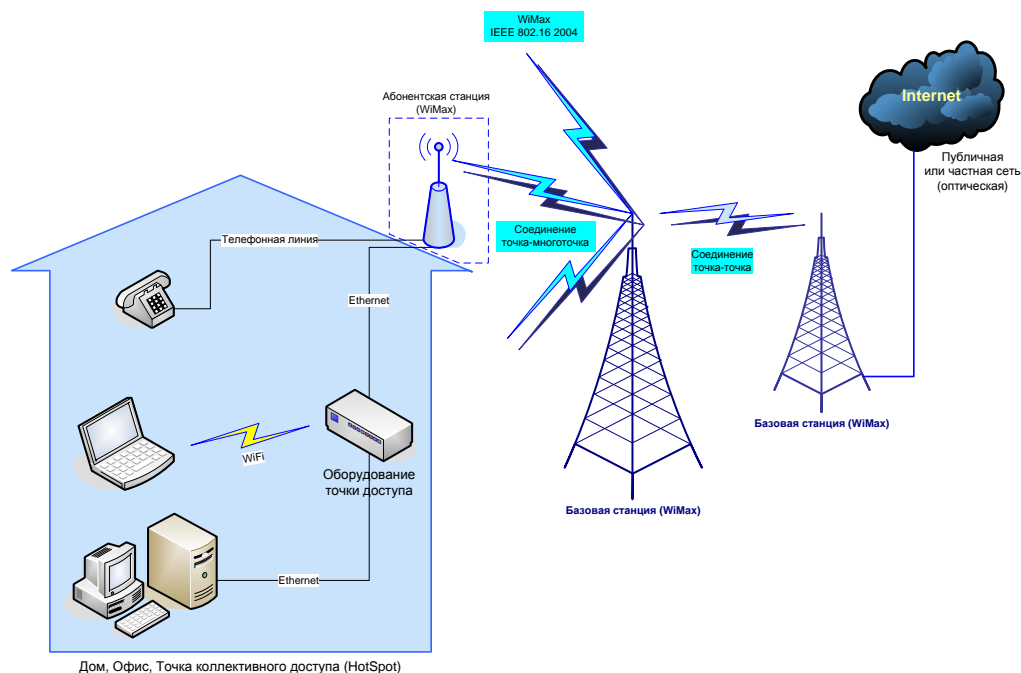


Рис.1.9

Чтобы разобраться во всем множестве беспроводных технологий для начала выполним классификацию существующих стандартов и соответствующих им технологий. В настоящее время сформированы устойчивые признаки, позволяющие выделить наиболее характерные

классы современных беспроводных технологий. Остановимся на наиболее популярных способах их ранжирования. Обычно БСПИ подразделяют:

- по способу обработки и передачи информации – на цифровые и аналоговые;
- по ширине полосы передачи – на узкополосные, широкополосные и сверхширокополосные;
- по мобильности абонентов – на фиксированные, мобильные и подвижные;
- по географической протяженности – на персональные, локальные, городские и глобальные;
- по виду передаваемой информации – на системы передачи речи, видеоинформации и данных.

К цифровым обычно относят системы, у которых входная аналоговая информация, (например, голос, аналоговый видео сигнал и т.п.) первоначально преобразуется в цифровую (дискретную) форму и обрабатывается (функции фильтрации, скремблирования, коммутации) преимущественно цифровыми методами.

Для строгого определения широкополосных и узкополосных систем строгих критериев нет. Чаще всего полагают, что если ширина спектральной полосы F , в которой работает система, много меньше, центральной частоты этой полосы f_c , то система узкополосная (т.е. $F/f_c < 1$). В противном случае – система широкополосная.

Подразделение на мобильные и подвижные системы состоит в следующем. Следует различать собственно возможность поддержания связи в движении (подвижность) абонентов, предоставляемую технологией, и возможность без дополнительных настроек получать доступ к фиксированной сети в любой ее точке (мобильность). С технической точки зрения, ограничивать подвижность и мобильность может чувствительность технологии связи к скорости движения абонента, сложность перехода из одной зоны обслуживания в сопредельную без разрыва связи, восприимчивость к кратковременным пропаданиям связи и т.п.

По размеру зоны обслуживания (географической протяженности) БСПИ подразделяются на:

1. **Беспроводные персональные сети (*WPAN – wireless personal area network*)** – сети с радиусом действия от сантиметров до нескольких метров (до 10 - 15 м). Они служат, в основном, для замены интерфейсных кабелей подключаемого к компьютеру периферийного оборудования. Мощность излучения передатчиков таких интерфейсных устройств, как правило, не превышает 10 мВт. Примерами построения беспроводных

персональных сетей являются сети на основе технологий IEEE 802.15.1 (Bluetooth), Home RF, IEEE 802.15.4 (ZigBee) и др.

2. **Беспроводные локальные сети (*WLAN — wireless local area network*)** подразумевают взаимную удаленность устройств на расстоянии до сотен метров и мощности передатчиков до 100 мВт. Это сети, предназначенные для объединения устройств в пределах локальной зоны (здания, группы зданий). На основе стандартов локальных беспроводных сетей вполне успешно строят и сети городского масштаба. Примерами построения беспроводных локальных сетей являются сети на основе технологий DECT и IEEE 802.11 (Wi-Fi).
3. **Беспроводные городские сети (*WMAN – Wireless Metropolitan Area Network*)** – беспроводные сети для организации связи в масштабах города. Являются логичным развитием WLAN, обеспечивают более высокие скорости передачи данных и более широкую область покрытия. Как правило, такие сети предназначены для обеспечения беспроводной связи между домами, а также как альтернатива традиционным проводным сетям. К сетям городского масштаба (региональным) можно отнести множество сетей использующих различные технологии – это и наземное теле- и радиовещание, сотовая связь, транковые системы. Недавно появилось семейство стандартов на широкополосные беспроводные сети городского масштаба IEEE 802.16 и IEEE 802.20. Аналогично Wi-Fi, эта технология также имеет свое коммерческое название — WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), поддержкой которого занимается ассоциация WiMAX Forum.
4. **Беспроводные глобальные сети *WWAN***. Глобальные беспроводные сети передачи информации представлены в основном спутниковыми системами связи. Однако с учетом того, что, например, практически все сети сотовой связи, так или иначе, связаны друг с другом, и все они разрабатываются с учетом возможности взаимодействия, можно (с некоторой натяжкой) говорить и о глобальных сотовых сетях.

Особой градацией является подразделение беспроводных систем в зависимости от типа передаваемой информации, например, на системы передачи речи (или видеоинформации) и несинхронных данных. С одной стороны, речь – это один из видов информации. Однако после оцифровки поток речевых данных по виду не отличим от потока любой другой цифровой информации. С другой стороны, потребность в информации разного вида уже сделала реальной интеграцию различных информационных сетей (телефония, телевидение, сети передачи цифровых данных, телеметрия) даже на

бытовом уровне. По единому цифровому каналу передается информация самой различной природы. Вполне очевидно, что недалек тот день, когда вся речевая и видеоинформация будет обрабатываться и передаваться исключительно цифровыми методами. Это в полной мере относится и к БСПИ, которые обеспечивают достаточную пропускную способность для передачи различных видов информации в цифровом виде в едином потоке.

Соотношение и основные технические характеристики вышеперечисленных технологий представлены на рис.1.10 и в табл. 1.1.

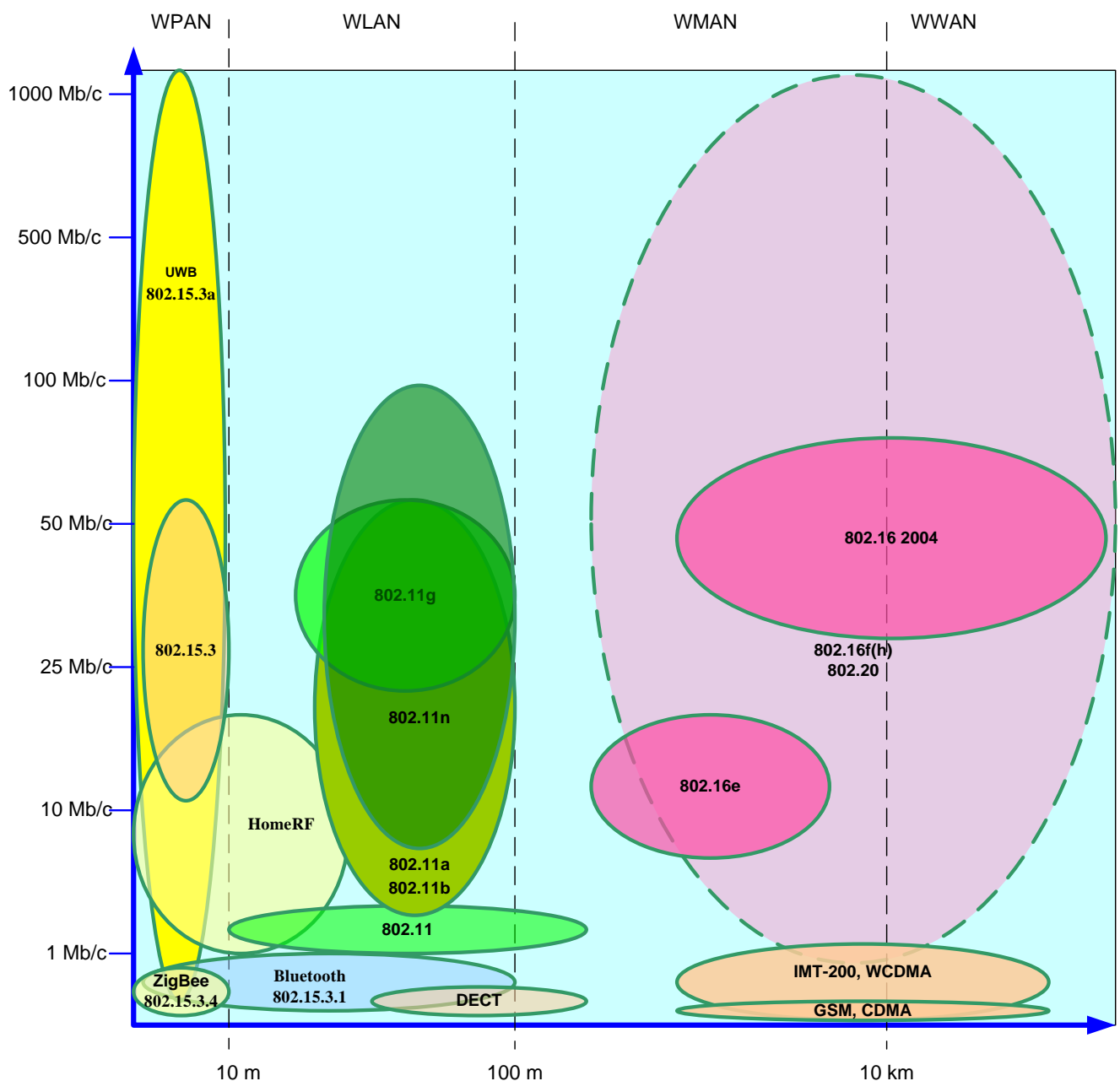


Рис. 1.10. Классификация технологий беспроводных СПИ

Характеристики технологий беспроводных систем передачи информации

Таблица 1.1

WPAN		
IEEE 802.15.1 (Bluetooth),	64 Кб/с-1 Мб/с	10-100 м
Home RF	1(2) Мб/с – 10(20) Мб/с	До 50 м
IEEE 802.15.3	11, 22, 33, 44, 55 Мб/с	До 10 м
IEEE 802.15.4 (ZigBee),	20, 40, 250 Кб/с	До 10 м
IEEE 802.15.3a (UWB)	100 Мб/с – 1,3 Гб/с	5-10 м
WLAN		
IEEE 802.11	1-2 Мб/с	300 м
IEEE 802.11a	6, 12, 24 (9, 18, 36, 48, 54) Мб/с	100 м
IEEE 802.11b	2, 5 – 11 Мб/с (до 33 Мб/с)	100 м
IEEE 802.11g	11 – 54 Мб/с	100 м
IEEE 802.11n	Более 160 Мб/с	100 м
DECT	70 Кб/с	30-70 м (в помещении), 100-400 м (на местности)
WMAN		
IEEE 802.11.16 2004 (WiMax)	30-40 Мб/с (до 70Мб/с)	2,5-5 км (подвижные абоненты (до 15 км/ч)) 40-50 км (стационарные абоненты)
IEEE 802.11.16e (WiMax)	До 15 Мб/с	2-7 км
IEEE 802.11.16f(h) (WiMax) - перспективные	До 10 Тб/с	Поддержка мобильность (до 300 км/ч)
WWAN		
IEEE 802.20 (WiMax)	Более 1 Мб/с	Поддержка мобильность и сотовой структуры
GSM	9,6 Кб/с	Сота до 35 км
CDMA	14,4 Кб/с	Сота до 20 км
IMT-2000	2 Мб/с (для малоподвижных абонентов) 384 Кб/с (для мобильных абонентов)	Сота 20-40 км

1.6.2. Персональные беспроводные сети (технологии Home RF, Bluetooth, ZigBee)

Персональные беспроводные сети передачи данных стали появляться сравнительно недавно – в середине 90-х годов. Однако лишь к концу 90-х годов развитие микроэлектроники позволило производить для таких устройств достаточно дешевую элементную базу. Открывшиеся перспективы привели к тому, что практически одновременно появилось сразу несколько разработок персональных БСПИ, основные из которых – это спецификации Home RF, стандарты семейства IEEE 802.15 (Bluetooth, ZigBee и др.).

Стандарты Home RF и IEEE 802.15.1 Bluetooth

Home RF – это название созданной в марте 1998 года группы производителей компьютерного и бытового оборудования (HRFWG - Home Radio Frequency Working Group). В первый год существования в нее вошло свыше 90 фирм, включая Intel, Compaq, Ericsson, Hewlett-Packard и Microsoft. Она организовывалась для разработки открытого протокола распределенного беспроводного доступа SWAP (Shared Wireless Access Protocol), который должен был лечь в основу радиосети Home RF. Впоследствии вместо наименования SWAP в названии спецификации стали использовать Home RF. Оборудование Home RF работает в диапазоне частот 2,4 ГГц, для передачи трафика используется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты.

Как следует из названия, стандарт Home RF задумывался как беспроводная домашняя система передачи информации, аналог известной к тому времени проводной Ethernet-подобной сети HomePNA (Home Phone Line Networking Alliance), использовавшей в качестве носителя уже существующую телефонную линию. Для нормальной работы сети Home RF необходим host-компьютер (или устройство, выполняющее его функции).

Специфика сферы применения данной технологии обусловила изначальную ориентацию на подключение к беспроводной сети разнообразных устройств – от персональных компьютеров и периферии до бесшнуровых телефонов и средств бытовой электроники. Технология создавалась для передачи разных типов трафика – данных, голоса и потокового мультимедиа. В качестве метода доступа к среде передачи при транспортировке голоса используется метод временного разделения каналов TDMA (заимствованный из сетей DECT), а при транспортировке трафика данных - метод множественного доступа с обнаружением коллизий CSMA/CA (аналогичный применяемому в сетях Ethernet).

Первая версия спецификации Home RF появилась 17 декабря 1998 года и обеспечивала скорость передачи 2 Мбит/с. Появление в

марте 2001 г. спецификаций Home RF 2.0 позволило поднять поддерживаемую максимальную скорость передачи до 10 Мбит/с., с возможностью дальнейшего ее увеличения до 20 Мбит/с. Последняя версия спецификации Home RF 2.01 вышла 1 июля 2002 года и на этом цели рабочей группы были выполнены, а в январе 2003 года она была расформирована.

Идеология **Bluetooth** иная – это универсальный радиointерфейс, связывающий друг с другом самые разные устройства и не требующий дорогой аппаратной поддержки. Однако устройства Bluetooth сегодня реально используют в основном для замены провода радиointерфейсом (например, в качестве беспроводной гарнитуры для сотовых телефонов), несмотря на широчайший спектр заложенных в нем возможностей. Рынок такого рода приложений пока во много раз превосходит рынок действительно сетевых устройств. Возможно, именно поэтому прекрасно проработанный для применения именно для сетевых задач стандарт HomeRF пока не нашел массового применения. С одной стороны его вытесняют простейшие Bluetooth-устройства, с другой — системы стандарта IEEE 802.11, которые за последние пять лет существенно подешевели, лишив тем самым HomeRF основного перед ними преимущества – низкой стоимости. Основные характеристики технологий Bluetooth и HomeRF приведены в табл. 1.2.

Своим появлением спецификация **Bluetooth** обязана компаниям Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia, которые в феврале 1998 года для разработки стандарта персональной БСПИ организовали специальную рабочую группу SIG (Special Interest Group).

Уже в 2000 году в Bluetooth SIG входили 1883 фирмы (на порядок больше, чем в группу HomeRF). Новую технологию поддержали производители элементной базы, программного обеспечения, портативных компьютеров, сотовых телефонов, звуковоспроизводящей аппаратуры и др. Сегодня стандарт Bluetooth признан всем мировым сообществом. Между Bluetooth SIG и IEEE было достигнуто соглашение, в соответствии с которым спецификация Bluetooth вошла в стандарт IEEE 802.15.1 (он опубликован 14 июня 2002 года как «Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)» – Спецификации контроля доступа к беспроводному каналу и физического уровня беспроводных персональных сетей).

Сравнительные характеристики технологий Bluetooth и Home RF

Показатель	Home RF	Bluetooth
Вид модуляции	Шумоподобный сигнал, метод частотных скачков	Шумоподобный сигнал, метод частотных скачков
Число скачков в секунду	50	1600
Мощность передатчика, мВт	100	100
Скорость обмена данными, Мбит/с	1 или 2 (возможно, до 20)	1
Способ модуляции	Двух- или четырехуровневая ЧМ	Двухуровневая ЧМ
Количество устройств в сети	До 127	Не ограничено
Защита информации	Blowfish data security	40- и 64-битное шифрование
Радиус действия, м	50	10-100

Спецификация Bluetooth описывает пакетный способ передачи информации с временным мультиплексированием. Радиообмен происходит в полосе частот 2400-2483,5 МГц (в США и ряде других стран – это безлицензионный диапазон). В радиотракте применен метод расширения спектра посредством частотных скачков и двухуровневая частотная модуляция с фильтром Гаусса (binary Gaussian Frequency Shift Keying). Метод частотных скачков подразумевает, что вся отведенная для передачи полоса частот подразделяется на определенное количество подканалов шириной 1МГц каждый.

Канал представляет собой псевдослучайную последовательность скачков по 79 или 23 радиочастотным подканалам (табл. 1.3). Каждый канал делится на временные сегменты продолжительностью 625 мкс, причем каждому сегменту соответствует определенная несущая (подканал). Передатчик «перескакивает» с несущей на несущую синхронно с приемником в последовательности, определяемой номером канала. За секунду может происходить до 1600 частотных скачков. Такой метод обеспечивает конфиденциальность и некоторую помехозащищенность передач. Последняя обусловлена тем, что если переданный по какому-либо подканалу пакет не был принят, то приемник сообщает об этом, и передача пакета повторяется на одном из следующих подканалов, уже на другой частоте.

Разделение полосы частот на подканалы в стандарте Bluetooth

Страна	Диапазон, МГц	Несущая частота подканалов, МГц	Допустимые номера подканалов, k
Европа* и США	2400,8-2483,5	$2402 + k$	0 ... 79
Япония	2471,8-2497,8	$2473 + k$	0 ... 23
Испания	2445,8-2475,8	$2449 + k$	0 ... 22
Франция	2446,5-2483,5	$2454 + k$	0 ... 22

* Кроме Испании и Франции

Протокол Bluetooth поддерживает соединения типа точка-точка и точка-многоточка. Два или более использующих один и тот же канал устройства образуют пикосеть (piconet). Одно из устройств работает как основное (master), а остальные – как подчиненные (slaves). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств, при этом остальные подчиненные устройства находятся в состоянии «парковки», оставаясь синхронизированными с основным устройством. Взаимодействующие пикосети образуют «распределенную сеть» (scatternet).

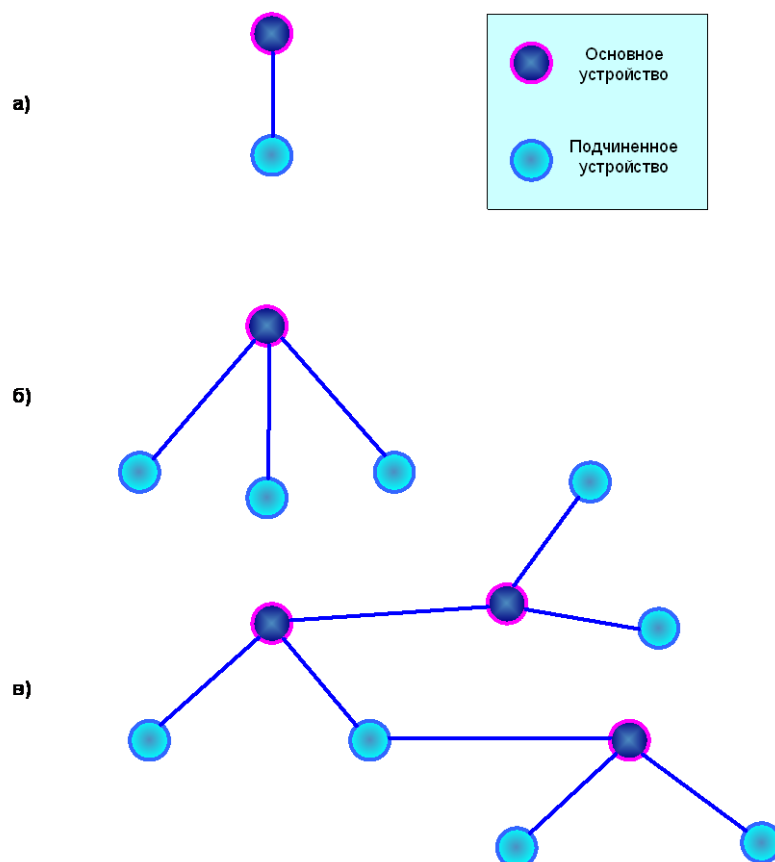


Рис. 1.11. Варианты построения пикосетей

В каждой пикосети действует только одно основное устройство, однако подчиненные устройства могут входить в различные пикосети. Кроме того, основное устройство одной пикосети может являться подчиненным в другой (рис. 1.11). Пикосети не синхронизированы друг с другом по времени и частоте – каждая из них использует свою последовательность частотных скачков. В одной же пикосети все устройства синхронизированы по времени и частотам. Псевдослучайная последовательность скачков уникальна для каждой пикосети и определяется адресом ее основного устройства. Длина цикла псевдослучайной последовательности – 227 элементов. В стандарте Bluetooth предусмотрена дуплексная передача на основе разделения времени (time division duplexing – TDD). Основное устройство передает пакеты в нечетные временные сегменты, а подчиненное устройство – в четные. Пакеты в зависимости от длины могут занимать до пяти временных сегментов. При этом частота канала не меняется до окончания передачи пакета. Протокол Bluetooth может поддерживать асинхронный канал данных, до трех синхронных (с постоянной скоростью) голосовых каналов или канал с одновременной асинхронной передачей данных и синхронной передачей голоса. Скорость каждого голосового канала – 64 кбит/с в каждом направлении, асинхронного в асимметричном режиме – до 723,2 кбит/с в прямом и 57,6 кбит/с в обратном направлениях или до 433,9 кбит/с в каждом направлении в симметричном режиме.

Синхронное соединение (SCO) возможно только в режиме точка-точка. Такой вид связи применяется для передачи информации, чувствительной к задержкам, например голоса. Основное устройство поддерживает до трех синхронных соединений, вспомогательное – до трех синхронных соединений с одним основным устройством или до двух – с разными основными устройствами. При синхронном соединении основное устройство резервирует временные сегменты, следующие через так называемые SCO-интервалы. Даже если пакет принят с ошибкой, повторно при синхронном соединении он не передается.

При асинхронной связи (ACL) используются временные сегменты, не зарезервированные для синхронного соединения. Асинхронное соединение возможно между основным и всеми активными подчиненными устройствами в пикосети. Основное и подчиненное устройства могут поддерживать только одно асинхронное соединение. Поскольку в пикосети может быть несколько подчиненных устройств, конкретное подчиненное устройство отправляет пакет основному, только если в предыдущем временном интервале на его адрес пришел пакет от основного устройства. Если в адресном поле ACL-пакета адрес не указан, пакет считается «широковещательным» – его могут читать все

устройства. Асинхронное соединение позволяет повторно передавать пакеты, принятые с ошибками (механизм ARQ — automatic repeat request).

Несмотря на всю свою привлекательность и универсальность, стандарт Bluetooth как действительно сетевой стандарт используется сегодня относительно редко. Возможно, причина кроется в том, что все же это еще очень новая технология, а также в том, что Bluetooth слишком универсален. В одних приложениях ему недостает скорости обмена (например, при передаче видеосигнала), в других — требуются более простые и дешевые устройства. Чтобы разрешить эти противоречия и окончательно стандартизовать принципы организации персональных СПИ, рабочая группа IEEE 802.15, не удовлетвовавшись стандартом IEEE 802.15.1, создала еще две исследовательские группы (Tg3 и Tg4). В результате в конце сентября 2003 года были опубликованы два новых стандарта — IEEE 802.15.3 «Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)» и IEEE 802.15.4 «Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)» — стандарты для высокоскоростной и низкоскоростной персональных БСПИ, соответственно.

Низкоскоростные сети стандарта IEEE 802.15.4 (ZigBee)

Не смотря на востребованность высокоскоростных технологий для очень широкого круга задач вполне достаточно не высокой скорости обмена — лишь бы сетевые устройства были максимально простыми, дешевыми, со сверхнизким потреблением энергии и несложным механизмом подключения к сети. Так, для интерактивных игр не нужна скорость обмена с компьютером выше 250 кбит/с, а различные системы сбора информации и диспетчеризации не требуют скоростей передачи более 20 кбит/с. Для решения подобных задач и был разработан стандарт низкоскоростных БСПИ IEEE 802.15.4. Его разработчиком выступил альянс компаний (Inven-sys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola, Philips), назвавший себя ZigBee — (от Zig-zag — зигзаг и Bee — пчела). Подразумевалось, что топология сети будет напоминать зигзагообразную траекторию полета пчелы от цветка к цветку.

Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) предусматривает работу в трех диапазонах: один канал 868,0-868,6 МГц (для Европы), 10 каналов в диапазоне 902-928 МГц (шаг центральных частот 2 МГц, самая нижняя из них — 906 МГц) и 16 каналов в диапазоне 2400-2483,5 МГц (шаг центральных частот 5 МГц, самая нижняя из них — 2405 МГц) (табл. 1.4).

Частотные диапазоны и скорости передачи в сетях IEEE 802.15.4

Частотный диапазон, МГц	Чиповая скорость, Кчип/с	Модуляция	Битовая скорость, кбит/с	Скорость символов, Ксимволов/с
868-868,6	300	BPSK	20	20
902-928	600	BPSK	40	40
2400-2483,5	2000	O-QPSK	250	62,5

В радиоканале использован метод широкополосной передачи с расширением спектра прямой последовательностью (DSSS). Модуляция и расширяющие последовательности для диапазонов 868/915 и 2450 МГц различны. В диапазоне 2450 МГц поток немодулированных данных разбивается на группы по четыре бита. Каждая группа заменяется одной из 16 квазиортогональных последовательностей длиной 32 бита (чипа). Модуляция данных — квадратурная фазовая (QPSK) со сдвигом. В диапазоне 868/915 МГц поток данных подвергается дифференциальному кодированию и замене каждого бита расширяющей последовательностью длиной 15 бит. Далее преобразованный поток данных передается в радиоканал посредством двухпозиционной фазовой модуляции (BPSK).

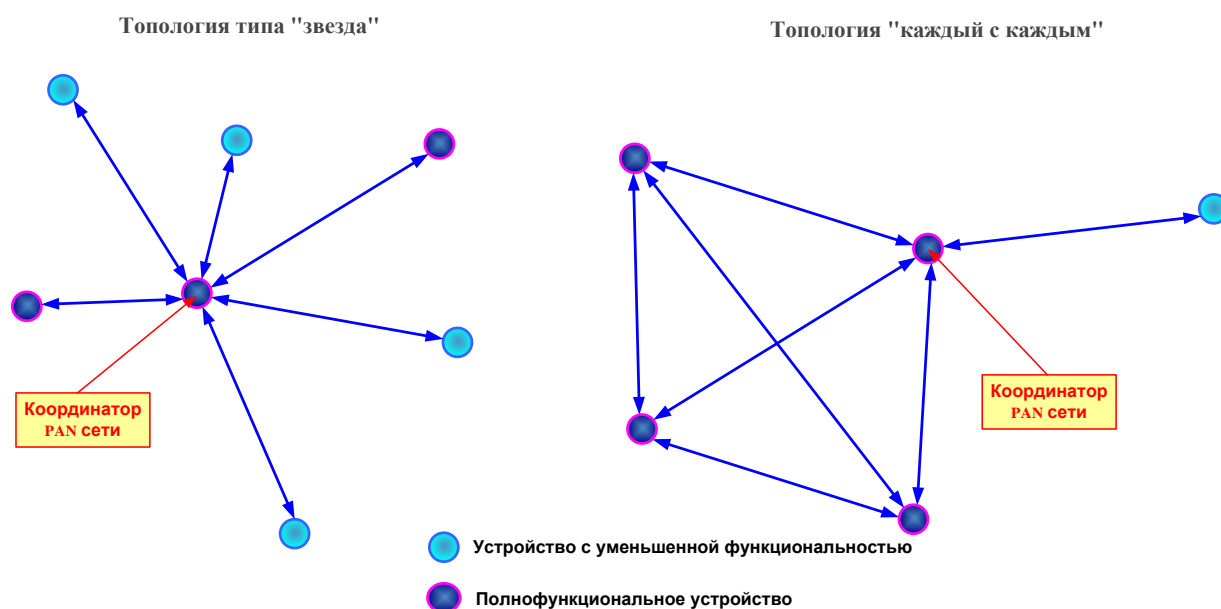


Рис. 1.12. Топология сети IEEE 802.15.4 типа «звезда» и «равный с равным»

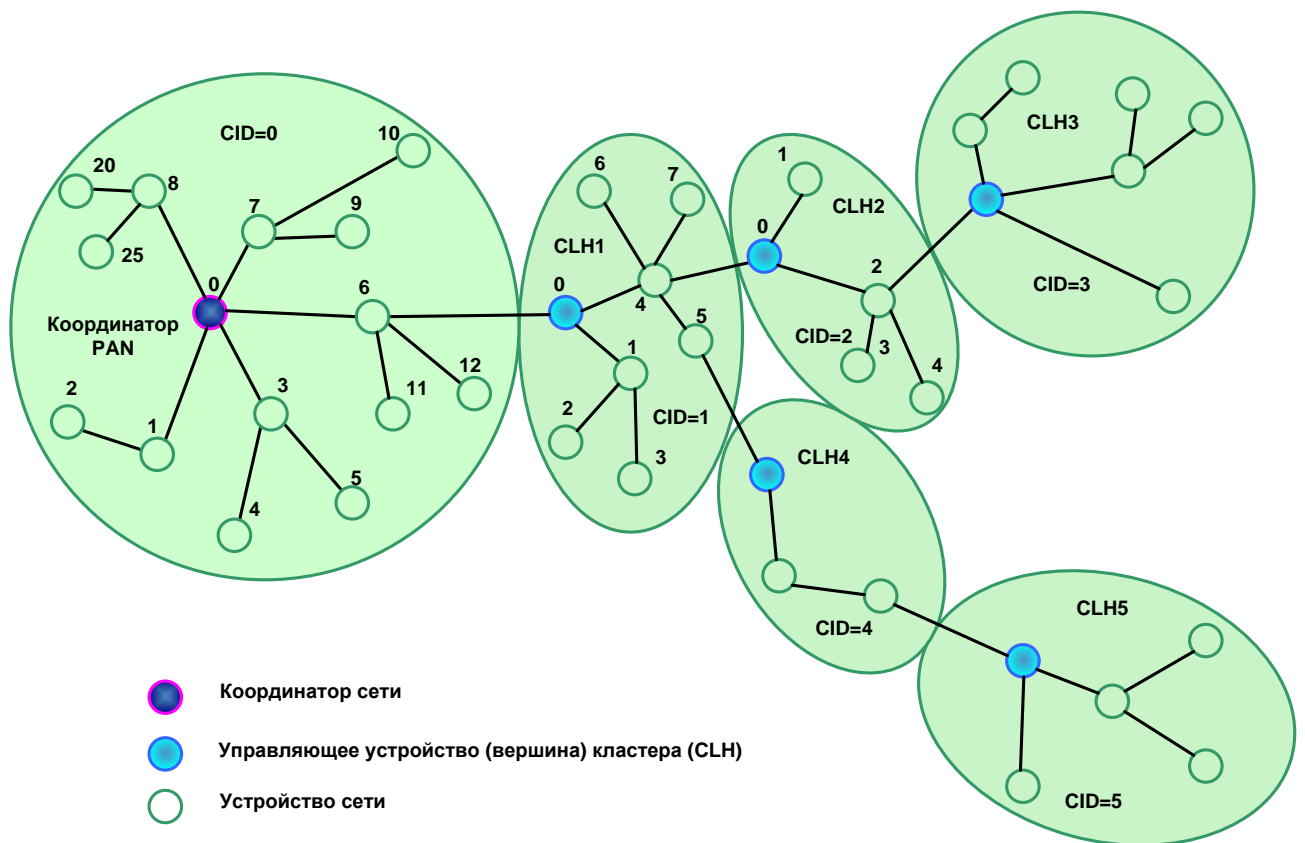


Рис. 1.13. Объединение нескольких кластеров в сеть IEEE 802.15.4

Сеть стандарта IEEE 802.15.4 содержит два типа устройств – так называемые полнофункциональные (FFD) и устройства с уменьшенной функциональностью (RFD). Их основное отличие в следующем: FFD могут устанавливать соединения с любыми устройствами, RFD – только с FFD. В каждой пикосети (PAN) должно быть устройство – координатор PAN. Его функции может выполнять только FFD. Сеть, состоящая из одного FFD и нескольких RFD, образует топологию типа «звезда». Если в сети FFD несколько, топология может быть более сложной – типа одноранговой сети (сети равноправных устройств – peer-to-peer) «каждый с каждым» (рис. 1.12) или объединение нескольких звездообразных кластеров (рис. 1.13). Но в любом случае одно из FFD выполняет функцию координатора сети. Каждому устройству сети присваивается 64-разрядный адрес.

Стандарт предусматривает взаимодействие устройств не только в рамках одной PAN, но и между различными соседними PAN (для чего и нужна развитая система адресации). Для упрощения обмена внутри сети координатор PAN может присвоить устройствам более короткие 16-разрядные адреса. В этом случае для межсетевое взаимодействия используются 16-разрядные идентификаторы сетей, также назначаемые координатором.

Данный стандарт, активно продвигаемый Альянсом ZigBee, призван заполнить вакуум в спектре низкоскоростных и дешевых беспроводных сетевых технологий, поскольку он предлагает разработчикам возможность создавать недорогие продукты с очень низким потреблением мощности и чрезвычайно гибкими функциями поддержки беспроводного сетевого взаимодействия.

1.6.3. Беспроводные локальные сети (стандарты IEEE 802.11 и DECT)

Беспроводные локальные сети передачи информации (WLAN) развиваются в последние десять лет невероятно быстро. Простота развертывания таких сетей ограничена только необходимостью оформления разрешительной документации (в тех странах, где это требуется).

Диапазон или область охвата большинства систем WLAN достигает 160 м, в зависимости от количества и вида имеющихся препятствий, а по пропускной способности они не уступают выделенным медным линиям. С помощью дополнительных точек доступа можно расширить зону действия, и тем самым обеспечить свободу передвижения и расширение зоны охвата сети. Сети WLAN исключительно надежны. Поскольку беспроводная технология уходит корнями в оборонную промышленность, обеспечение безопасности беспроводных устройств предусматривалось с самого начала. В сетях WLAN используется технология Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), которая отличается высокой устойчивостью к искажению данных, помехам, в том числе преднамеренным. Кроме того, все пользователи беспроводной сети проходят аутентификацию по системному идентификатору, что предотвращает несанкционированный доступ к данным. Для передачи особо уязвимых данных пользователи могут использовать режим Wired Equivalent Privacy (WEP), при котором сигнал шифруется дополнительным алгоритмом, а данные контролируются с помощью электронного ключа. В сетях WLAN, работающих по спецификации 802.11b, для обеспечения более высокой надежности сети вместе с аутентификацией пользователя могут применяться 40-битные и 128-битные алгоритмы шифрования. Перехват трафика, как умышленный, так и неумышленный, практически невозможен. Количество пользователей практически неограниченно. Его можно увеличивать, просто устанавливая новые точки доступа. Перекрывающихся каналов, которые не будут создавать взаимные помехи, одновременно может быть установлено не более трех.

Не смотря на молодость стандартов построения беспроводных локальных сетей, они уже очень хорошо проработаны и опробованы на практике. Учитывая достаточно подробное и обширное освещение в периодических изданиях и специальной литературе современных технологий WLAN, только кратко остановимся на двух наиболее

массовых множествах стандартов в области беспроводных локальных сетей - IEEE 802.11 и DECT.

Семейство стандартов IEEE 802.11

Базовый стандарт IEEE 802.11. Работы в области создания беспроводных ЛВС начались в 1989 году, когда была организована рабочая группа 11-го комитета IEEE 802. В июле 1997 года в результате работы этой группы был опубликован стандарт IEEE 802.11 «Спецификация физического уровня и уровня контроля доступа к каналу передачи беспроводных локальных сетей» (Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications). Он определял архитектуру сети, принципы доступа устройств к каналам связи, форматы пакетов, способы аутентификации и защиты данных. Хотя стандарт изначально задумывался как инвариантный по отношению к какому-либо частотному диапазону, на физическом уровне он определял три способа работы: два радиочастотных и оптический. В инфракрасном диапазоне предусматривалась импульсно-позиционная модуляция, в диапазоне 2,400-2,4835 ГГц – режимы модуляции с расширением спектра методом частотных скачков (FHSS) и методом прямой последовательности (DSSS). Скорости обмена устанавливались на уровне 1 и 2 Мбит/с. Однако устройства, соответствующие исходной спецификации IEEE 802.11, так и не были созданы ввиду того, что за период разработки стандарта пропускная способность проводных сетей Ethernet сильно возросла. Максимальная скорость передачи 2 Мбит/с, предусмотренная в IEEE 802.11, уже не удовлетворяла пользователей. Проблему решило появление стандартов (дополнений) IEEE 802.11b, 802.11a и 802.11g.

Вместе с тем стандарт IEEE 802.11 является базовым и определяет протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей (WLAN). Основные из них – протокол управления доступом к среде MAC (Medium Access Control – нижний подуровень уровня звена данных) и протокол PHY передачи сигналов в физической среде. В качестве физической среды допускается использование радиоволн и инфракрасного излучения. По сравнению с проводными ЛС Ethernet возможности подуровня MAC расширены за счет включения в него ряда функций, обычно выполняемых протоколами более высоких уровней, в частности, процедур фрагментации и ретрансляции пакетов. Это вызвано стремлением повысить эффективную пропускную способность системы благодаря снижению накладных расходов на повторную передачу пакетов. В качестве основного метода доступа к среде стандартом 802.11 определен механизм CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – множественный доступ с обнаружением несущей и предотвращением коллизий).

Для экономии энергоресурсов мобильных рабочих станций, используемых в беспроводных ЛС, стандартом 802.11 предусмотрен механизм переключения станций в пассивный режим с минимальным потреблением мощности.

В основу стандарта 802.11 положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной, так и нескольких ячеек (сот). Каждая сота управляется базовой станцией, называемой точкой доступа (Access Point, AP), которая вместе с находящимися в пределах радиуса ее действия рабочими станциями пользователей образует базовую зону обслуживания (Basic Service Set, BSS). Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой через распределительную систему (Distribution System, DS), представляющую собой эквивалент магистрального сегмента кабельных ЛС. Вся инфраструктура, включающая точки доступа и распределительную систему образует расширенную зону обслуживания (Extended Service Set). Стандартом предусмотрен также односотовый вариант беспроводной сети, который может быть реализован и без точки доступа, при этом часть ее функций выполняются непосредственно рабочими станциями.

Для обеспечения перехода мобильных рабочих станций из зоны действия одной точки доступа к другой в многосотовых системах предусмотрены специальные процедуры сканирования (активного и пассивного прослушивания эфира) и присоединения (Association), однако строгих спецификаций по реализации роуминга стандарт 802.11 не предусматривает.

Для защиты WLAN стандартом IEEE 802.11 предусмотрен целый комплекс мер безопасности передачи данных под общим названием Wired Equivalent Privacy (WEP). Он включает средства противодействия несанкционированному доступу к сети (механизмы и процедуры аутентификации), а также предотвращение перехвата информации (шифрование).

Стандарт IEEE 802.11a. Является наиболее «широкополосным» из семейства стандартов 802.11, он предусматривает скорость передачи данных до 54 Мбит/с. В IEEE 802.11a каждый пакет передается посредством 52 ортогональных несущих, каждая с шириной полосы порядка 300 кГц (20 МГц/64). Ширина одного канала 20 МГц. Несущие модулируются посредством BPSK, QPSK, 16- и 64-позиционной квадратурной амплитудной модуляции (QAM). В совокупности с различными скоростями кодирования (1/2 и 3/4, для 64-QAM – 2/3 и 3/4) образуется набор скоростей передачи 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 и 54 Мбит/с.

В отличие от базового стандарта, ориентированного на область частот 2,4 ГГц, спецификациями 802.11a предусмотрена работа в диапазоне 5 ГГц. В качестве метода модуляции сигнала выбрано ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM). Наиболее

существенное различие между этим методом и методами DSSS/FHSS заключается в том, что OFDM предполагает параллельную передачу полезного сигнала одновременно по нескольким частотам диапазона, в то время как технологии расширения спектра передают сигналы последовательно. В результате повышается пропускная способность канала и качество сигнала.

Диапазон 5,1-5,9 ГГц хорош тем, что там гораздо проще найти широкую полосу для системы связи. В США для безлицензионной работы в этом диапазоне выделены полосы 5,15-5,35 и 5,725-5,825 ГГц – всего 300 МГц по сравнению с 83 МГц в диапазоне 2,4 ГГц. Вместо трех неперекрывающихся каналов в диапазоне 2,4 ГГц для сетей IEEE 802.11b только в нижнем поддиапазоне 5,15-5,35 ГГц имеются восемь неперекрывающихся каналов. Аналогичная ситуация в Европе и в России (однако в нашей стране отсутствуют безлицензионные диапазоны) — в более высокочастотной области места больше. В частности, если в Москве диапазон 2,4 ГГц занят операторами достаточно давно, то область 5 ГГц еще только начинают осваивать, хотя свободных поддиапазонов там уже практически нет.

К недостаткам 802.11a относятся более высокая потребляемая мощность радиопередатчиков для частот 5 ГГц, а так же меньший радиус действия (оборудование для 2,4 ГГц может работать на расстоянии до 300м, а для 5ГГц - около 100м).

Стандарт IEEE 802.11b. Благодаря высокой скорости передачи данных (до 11 Мбит/с), практически эквивалентной пропускной способности обычных проводных ЛС Ethernet, а также ориентации на "освоенный" диапазон 2,4 ГГц, этот стандарт завоевал наибольшую популярность у производителей оборудования для беспроводных сетей.

Таблица 1.5

Скорость передачи данных в стандарте 802.11b

Стандарт передачи	Скорость передачи данных	Вид модуляции
IEEE 802.11	1 Мбит/с	DBPSK
IEEE 802.11	2 Мбит/с	DQPSK
IEEE 802.11b	5,5 Мбит/с	ССК
IEEE 802.11b	11 Мбит/с	ССК

В окончательной редакции стандарт 802.11b, известный также как Wi-Fi (wireless fidelity), был принят в 1999 г. В качестве базовой радиотехнологии в нем используется метод DSSS с 8-разрядными последовательностями Уолша.

Поскольку оборудование, работающее на максимальной скорости 11 Мбит/с (табл. 1.5) имеет меньший радиус действия, чем на более низких скоростях, то стандартом 802.11b предусмотрено автоматическое понижение скорости при ухудшении качества сигнала.

Средний радиус действия стандартных точек доступа 802.11b представлен в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Средний радиус действия стандартных точек доступа 802.11b

Среда	Радиус действия
Открытая местность, зона прямой видимости	около 300 м
Открытая местность с препятствиями	до 100 м
Большой офис	до 40 м
Жилой дом	до 20 м

Указанные радиусы действия представляют собой средние значения для стандартных точек доступа IEEE 802.11b. В зависимости от местных условий (много бетона или толстые стены) действительные значения радиуса действия могут оказаться существенно меньше.

Как и в случае базового стандарта 802.11, четкие механизмы роуминга спецификациями 802.11b не определены.

Спецификация IEEE 802.11d. Стремясь расширить географию распространения сетей стандарта 802.11, в данном стандарте IEEE разрабатывает универсальные требования к физическому уровню 802.11 (процедуры формирования каналов, псевдослучайные последовательности частот, дополнительные параметры для MIB и т.д.).

Спецификация IEEE 802.11e. Спецификации стандарта 802.11e описывают правила создания мультисервисных беспроводных ЛС, ориентированных на различные категории пользователей, как корпоративных, так и индивидуальных. При сохранении полной совместимости с уже принятыми стандартами 802.11a и b, он позволяет расширить их функциональность за счет поддержки потоковых мультимедиа-данных и гарантированного качества услуг (QoS).

Спецификация IEEE 802.11f. Спецификации 802.11f описывают протокол обмена служебной информацией между точками доступа (Inter-Access Point Protocol, IAPP), что необходимо для построения распределенных беспроводных сетей передачи данных.

Спецификация IEEE 802.11g. Спецификации 802.11g представляют собой развитие стандарта 802.11b и позволяют повысить скорость передачи данных в беспроводных ЛС до 11 - 54 Мбит/с (табл. 1.7) благодаря использованию более эффективных методов модуляции сигнала.

Таблица 1.7

Скорость передачи данных в стандарте 802.11g

Стандарт передачи	Скорость передачи данных	Вид модуляции
IEEE 802.11g (обязательный)	5,5/11 Мбит/с	ССК
IEEE 802.11g (обязательный)	до 54 Мбит/с	OFDM
IEEE 802.11g (опциональный)	до 33 Мбит/с	PBCC
IEEE 802.11g (опциональный)	до 54 Мбит/с	ССК-OFDM

Анализ чувствительности для систем стандарта 802.11b и 802.11g позволяет сделать два вывода (рис. 1.14):

- радиус действия при максимальной скорости передачи данных (54 Мбит/с) приблизительно равен одной трети радиуса действия для стандарта 802.11b и составляет порядка 14 м;
- системы стандарта 802.11g очень хорошо масштабируются вниз до этой границы, так что в «переходном диапазоне» от 54 до 11/12 Мбит/с скорость передачи изменяется относительно плавно.

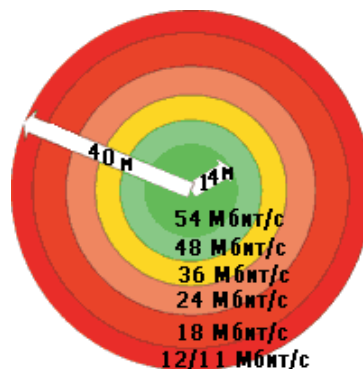


Рис. 1.14. Радиус действия в частотном диапазоне 2,4 ГГц (802.11g) при модуляции OFDM

На рис. 1.14 такой переход представлен схематически. Скорость передачи в 54 Мбит/с достигается в открытой офисной среде лишь на расстоянии до 14 м. При наличии какого-либо препятствия (к примеру, перегородки), которое должно быть преодолено, скорость снижается. Чувствительность при 11 Мбит/с (в случае модуляции ССК/802.11b) и чувствительность при 12 Мбит/с (в случае модуляции OFDM/802.11g), как правило, совпадают, поэтому такая скорость передачи может поддерживаться на расстоянии до 40 м от точки доступа.

Спецификация IEEE 802.11h. Рабочая группа IEEE 802.11h рассматривает возможность дополнения существующих спецификаций 802.11 для MAC уровня и 802.11a для уровня PHY алгоритмами эффективного выбора частот для офисных и уличных беспроводных сетей, а также средствами управления использованием спектра, контроля за излучаемой мощностью и генерации соответствующих отчетов.

Предполагается, что решение этих задач будет базироваться на использовании протоколов Dynamic Frequency Selection (DFS) и Transmit Power Control (TPC), предложенных Европейским институтом стандартов по телекоммуникациям (ETSI). Указанные протоколы предусматривают динамическое реагирование клиентов беспроводной сети на интерференцию радиосигналов путем перехода на другой канал, снижения мощности либо обоими способами.

Спецификация IEEE 802.11i. До мая 2001г. стандартизация средств информационной безопасности для беспроводных сетей 802.11 относилась к ведению рабочей группы IEEE 802.11e, но затем эта проблематика была выделена в самостоятельное подразделение. Разрабатываемый стандарт 802.1X призван расширить возможности протокола 802.11 уровня MAC, предусмотрев средства шифрования передаваемых данных, а также централизованной аутентификации пользователей и рабочих станций. В результате масштабы беспроводных локальных сетей можно будет наращивать до сотен и тысяч рабочих станций.

В основе 802.1X лежит протокол аутентификации Extensible Authentication Protocol (EAP), базирующийся на PPP. Сама процедура аутентификации предполагает участие в ней трех сторон – вызывающей (клиента), вызываемой (точки доступа) и сервера аутентификации (как правило, сервера RADIUS). В то же время новый стандарт, судя по всему, оставит на усмотрение производителей реализацию алгоритмов управления ключами.

Разрабатываемые средства защиты данных должны найти применение не только в беспроводных, но и в других локальных сетях - Ethernet и Token Ring. Вот почему будущий стандарт получил номер IEEE 802.1X, а его разработку группа 802.11i ведет совместно с комитетом IEEE 802.1.

Спецификация IEEE 802.11j. Спецификация 802.11j – настолько новая, что IEEE еще официально не сформировал рабочую группу для ее обсуждения. Предполагается, что стандарт будет оговаривать существование в одном диапазоне сетей стандартов 802.11a и HiperLAN2.

Спецификация IEEE 802.11n. Спецификация 802.11n обеспечивает работу WLAN вдвое быстрее, чем 54-мегабитные "g" и "a" – на скорости от 100 Мбит/с. и выше. Новый стандарт уравнивает проводные и беспроводные системы, что позволит корпоративным

клиентам использовать беспроводные сети там, где это было невозможно из-за ограниченной скорости.

Определение скоростных характеристик для стандарта "n" будет более строгим, чем у "g" или "b". Оно основывается на фактической скорости передачи файлов и потоков, а не на размере низкоуровневого трафика, снабженного множеством служебных заголовков. Ускорение достигается за счет более эффективного использования частотного диапазона, аналоговых радиочипов, выполненных по улучшенной CMOS-технологии и интеграции WLAN-адаптера в один чип.

Стандарт DECT

DECT — стандарт уникальный. Задуманный для телефонии, он практически сразу стал использоваться для построения систем передачи данных. DECT конкурирует со стандартами сотовой связи, радиорелейными технологиями, проникает в домашние мультимедийные системы, становится средством первичного доступа в публичные телефонные сети, входит в перечень стандартов сотовой телефонии третьего поколения IMT-2000. Рынок систем DECT до сих пор остается одним из наиболее динамичных в мире.

Исторически DECT был призван избавить пользователей телефонных аппаратов от соединительных шнуров. С развитием интегральных полупроводниковых технологий телефоны стали оснащать приемопередающими блоками: появились первые радиоудлинители — обычные аналоговые телефоны, в которых шнур заменен радиотрактом. Это поколение телефонов называют СТ-0 (Cordless Telephone). Их основное назначение — позволить владельцу свободно перемещаться в радиусе десятков (сотен) метров от точки подключения к телефонной сети. Главные недостатки данных устройств — относительно высокая мощность излучения (до 1 Вт), взаимные помехи, абсолютная открытость для подслушивания и несанкционированного подключения к радиотракту. В 80-х годах в Европе появились системы стандарта СТ-1 — те же аналоговые радиоудлинители, но с зачатками функций современных беспроводных средств связи, такими как роуминг и перемещение между сотами без разрыва соединения.

Однако подлинным прорывом стало появление цифровой спецификации СТ-2 (табл. 1.8). Разработана эта спецификация в Великобритании в 1989 году (общий беспроводной стык Common Air Interface, CAI/СТ-2, стандарт MPT 1375).

Основные характеристики систем связи стандартов CT-2 (Tangara RD), CT-3 и DECT

Параметр	CT-2 Tangara RD	CT-3	DECT
Диапазон рабочих частот, МГц	864-868,2	862-866	1880-1900
Способ разделения каналов	FDMA	TDMA с многочастотным разделением (4 канала), 8 дуплексных каналов на несущую	TDMA с многочастотным разделением (10 каналов), 12 дуплексных каналов на несущую
Ширина полосы канала, МГц	0,1	1	1,728
Организация дуплексной связи	TDD	TDD	TDD
Кодирование речи	ADPCM, 32 Кбит/с	—	ADPCM, 32 Кбит/с
Число каналов, поддерживаемых базовой станцией	2-6	32	до 120
Мощность передатчиков, мВт	10	—	10-250

В 1992 году ETSI принял CAI/CT-2 в качестве европейского стандарта. На основе CT-2 была создана система Telepoint, получившая достаточно широкое распространение во всем мире. В ней фактически впервые была реализована микросотовая архитектура. Системам CT-2 предрекали большое будущее, однако после резкого снижения цен на услуги сотовой связи во второй половине 90-х годов прошлого века интерес к ним упал. В начале 90-х появились системы на основе стандарта CT-3 фирмы Ericsson. Они были установлены в ряде стран, однако вскоре внимание европейского телекоммуникационного сообщества переключилось на новую спецификацию, названную Digital European Cordless Telecommunications – DECT.

Фактически DECT – это набор спецификаций, определяющих радиоинтерфейсы для различных видов сетей связи и оборудования. DECT CI содержит описание требований, протоколов и форматов сообщений, обеспечивающих взаимодействие сетей связи и окончного оборудования. Организация самих сетей и устройство оборудования в стандарт не входят.

Важнейшая задача DECT – обеспечить совместимость оборудования различных изготовителей. Для этого был разработан ряд профилей взаимодействия различных систем. В 1994 году появился

первый из них, унифицированный профиль доступа GAP (Generic Access Profile) – ETS 300 444. Он определяет работу конечных устройств DECT (телефоны, базовые станции, беспроводные офисные АТС) для всех приложений голосовой связи с полосой пропускания речевого тракта 3,1 кГц. Позднее появились профили взаимодействия DECT и GSM, DECT и ISDN, взаимодействия абонентов с ограниченной мобильностью с сетями общего пользования (Cordless Terminal Mobility, CTM), со средствами абонентского радиодоступа (Radio Local Loop, RLL) и т. д.

В соответствии со спецификацией DECT в диапазоне шириной 20 МГц (1880-1900 МГц) выделено 10 несущих частот с интервалом 1,728 МГц. В DECT применяется технология доступа с временным разделением каналов – TDMA (Time Division Multiple Access). Временной спектр разделен на отдельные кадры по 10 мс. Каждый кадр разбит на 24 временных слота: 12 слотов для приема (с точки зрения носимого терминала) и 12 – для передачи. Таким образом, на каждой из 10 несущих частот формируется 12 дуплексных каналов – всего 120. Дуплекс обеспечивается временным разделением (с интервалом 5 мс) приема/передачи (TDD, Time Division Duplex). В DECT предусмотрено сжатие речи в соответствии с технологией адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции АДИКМ (ADPCM) со скоростью 32 кбит/с (рекомендация ITU-T G.726). Поэтому информационная часть каждого слота — 320 бит. При передаче данных возможно объединение временных слотов и обеспечение скорости передачи данных до 70 Кбит/с. В радиотракте использована частотная модуляция с фильтром Гаусса (GFSK).

Базовые станции (БС) и абонентские терминалы (АТ) DECT постоянно сканируют все доступные каналы (до 120). При этом измеряется мощность сигнала на каждом из каналов, которая заносится в список RSSI (Received Signal Strength Indication). Если канал занят или сильно зашумлен (например, помехами от другого DECT-устройства), показатель RSSI для него высокий. БС выбирает канал с самым низким значением RSSI для постоянной передачи служебной информации о вызовах абонентов, идентификаторе станции, возможностях системы и т.д. Эта информация играет роль опорных сигналов для АТ – по ним абонентское устройство определяет, есть ли у него право доступа к той или иной БС, предоставляет ли она требуемые абоненту услуги, есть ли в системе свободная емкость, и выбирает базовую станцию с наиболее качественным сигналом.

В DECT канал связи всегда выбирает АТ. При запросе соединения от базовой станции (входящее соединение) АТ получает уведомление и выбирает радиоканал. Служебная информация передается БС и анализируется АТ постоянно, следовательно, АТ всегда синхронизируется с самой близкой из доступных БС. При установлении нового

соединения АТ выбирает канал с самым низким значением RSSI – это гарантирует, что новое соединение происходит на самом «чистом» канале из доступных. Данная процедура динамического распределения каналов DCS (Dinamic Channel Selection) позволяет избавиться от частотного планирования – важнейшее свойство DECT.

Поскольку АТ постоянно (даже при установленном соединении) анализирует доступные каналы, может происходить их динамическое переключение во время сеанса связи. Такое переключение возможно как на другой канал той же БС, так и на другую БС. Эта процедура называется «хэндовер» (handover). При хэндовере АТ устанавливает новое соединение, и какое-то время связь поддерживается по обоим каналам. Затем выбирается лучший. Автоматическое переключение между каналами разных БС происходит практически незаметно для пользователя и полностью иницируется АТ. Это особенно важно для построения микросотовых систем, позволяющих абоненту переходить из соты в соту без прерывания соединения. Отметим, что, хотя выбор каналов остается всегда за АТ, в DECT предусмотрена возможность оповещения абонентского терминала со стороны БС о низком качестве связи, что может инициировать хэндовер.

Существенно, что в радиотракте аппаратуры DECT мощность сигнала весьма мала – от 10 до 250 мВт. Причем 10 мВт – практически номинальная мощность для микросотовых систем с радиусом соты 30-50 м внутри здания и до 300-400 м на открытом пространстве. Передатчики мощностью до 250 мВт используют для радиопокрытия больших территорий (до 5 км при направленной антенне). Столь низкая мощность делает устройства DECT наиболее безопасными для здоровья. Недаром в европейских медицинских учреждениях разрешено применение систем радиотелефонии только этого стандарта.

Кроме того, при мощности 10 мВт возможно располагать базовые станции на расстоянии 25 м. В результате достигается рекордная плотность одновременных соединений — до 100 тыс. абонентов, при условии расположения БС по схеме шестиугольника в одной плоскости (на одном этаже).

1.6.4. Беспроводные городские сети (технология WiMAX)

Широкополосная беспроводная связь уже давно рассматривается в качестве реальной альтернативы традиционным способам высокоскоростного абонентского доступа, в том числе и новым «проводным» технологиям, таким как DSL и кабельные модемы. Местные и многоканальные многоточечные распределительные системы (*Multipoint Distribution System* – MDS) LMDS и MMDS (которые называют также «сотовым телевидением» и «беспроводным КТВ»), первоначально предназначавшиеся для трансляции телепрограмм в районах, не имеющих кабельной инфраструктуры, в последнее время

все чаще используются для организации широкополосной беспроводной передачи данных на «последней миле». Радиус действия передатчиков MMDS, работающих в диапазоне 2,1-2,7 ГГц, может достигать 40-50 км, в то время как максимальная дальность передачи сигнала в системах LMDS, использующих значительно более высокие частоты в области 27-31 ГГц, составляет 2,5-3 км.

Массовому распространению этих систем до сих пор мешает отсутствие промышленных стандартов и, как следствие, несовместимость продуктов разных производителей.

В начале 2000 г. для изучения различных решений и выработки единых правил построения систем широкополосной беспроводной связи (BWA, Broadband Wireless Access) в IEEE был создан рабочий комитет 802.16, который изначально занималась разработкой технологии WLL (*Wireless Local Loop*). В первую очередь он сосредоточился на вопросах стандартизации систем LMDS диапазона 28-30 ГГц, однако вскоре полномочия комитета были распространены на область частот от 2 до 66 ГГц и в его составе образовано несколько рабочих групп:

- рабочая группа 802.16.1 – разрабатывает спецификации радиointерфейса для систем, использующих диапазон 10 - 66 ГГц;
- рабочая группа 802.16.2 – занимается вопросами «существования» сетей фиксированного широкополосного доступа в нелицензируемых диапазонах 5 - 6 ГГц (в частности, с беспроводными ЛС на базе стандарта 802.11a);
- рабочая группа 802.11.3 – разрабатывает спецификации радиointерфейса для лицензируемых систем диапазона 2-11 ГГц, главной целью создания группы стало содействие ускоренному развертыванию систем MMDS путем предоставления производителям возможности создавать совместимые продукты на основе единого стандарта.

Все стандарты разрабатываются комитетом 802.16 на базе единой эталонной модели, объединяющей интерфейсы трех типов в тракте связи между абонентскими устройствами или сетями (например, ЛС или учрежденческими АТС) и транспортной сетью (ТфОП или Internet). Первый радиointерфейс определяет взаимодействие абонентского приемо-передающего узла с базовой станцией, второй включает в себя два компонента, охватывающие обмен сигналами между радиоузлами и «находящимися за ними» сетями – абонентской и транспортной (в детальной проработке спецификаций этого интерфейса участвуют и другие комитеты IEEE). Спецификации третьего, дополнительного, радиointерфейса определяют использование повторителей или отражателей для увеличения зоны охвата системы и обхода препятствий на пути распространения сигнала.

В апреле 2003 году фирмами Nokia, Harris Corp., Ensemble и Crosspan был основан некоммерческий консорциум WiMAX Forum (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Глобальная Совместимость для Микроволнового Доступа). Главной задачей этого консорциума стало создание стандарта для технологии беспроводного широкополосного доступа с такой пропускной способностью, чтобы современный пользователь не чувствовал бы разницы по сравнению с любой существующей транспортной технологией. На сегодня в консорциум WiMAX Forum входит 180 компаний-производителей современного телекоммуникационного оборудования. Главной задачей WiMAX Forum можно определить выполнение тех же шагов, которые были сделаны альянсом WiFi Alliance для технологии IEEE 802.11 WLAN (*Wireless Local Area Networks*, Беспроводные Локальные Сети):

- определение и гармонизация стандартов;
- сертификация взаимодействия оборудования различных поставщиков;
- продвижение технологии WiMAX.

Сегодня термин WiMAX стал коммерческим именем стандарта IEEE 802.16 WMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*, Беспроводные Городские Сети Связи).

В целом, рабочим комитетом IEEE 802.16 по стандартам широкополосного доступа совместно с консорциумом WiMAX Forum к концу 2005 года были разработаны следующие стандарты серии 802.16 (таб. 1.9):

- IEEE 802.16 или IEEE 802.16-2001 – одобрен в декабре 2001 года, являлся первым стандартом «точка-многоточка» в области WMAN, был ориентирован на работу в спектре от 10 до 66 ГГц. И, как следствие, требовал нахождения передатчика и приемника в области прямой видимости (*LOS, Line of Sight*), что является достаточно существенным недостатком, особенно при применении технологии в условиях города. Согласно описанным спецификациям, сеть 802.16 могла обслуживать до 60 клиентов со скоростью класса T-1 (1,554 Мб/с) при стоимости установленного оборудования менее \$20 тыс. Этот стандарт не был достаточно хорошо проработан, и даже после его утверждения осталось большое количество открытых вопросов.
- IEEE 802.16a – одобрен в январе 2003 года, стал первым «законченным» стандартом, где было устранено большинство недостатков предыдущего стандарта. Также, в него было добавлено существенное количество новых функциональных возможностей – в частности, одним из главных шагов по сравнению с предыдущим стандартом, было понижение рабочей частоты до 2-11 ГГц и, как следствие, реализация

возможности функционирования в области не прямой видимости (NLOS, Near Line of Sight), а так же обеспечение работы в диапазонах лицензируемых и нелицензируемых частот спектра, используя принцип модуляции OFDM. Скорость передачи данных в такой сети может достигать 75 Мбит/с.

- IEEE 802.16REVd или IEEE 802.16-2004 – одобрен в июле 2004 года, является обновленной и доработанной версией стандарта 802.16a. Основные отличия данного стандарта от предыдущего: поддержка фиксированного офисного или домашнего оконечного терминального оборудования в диапазоне частот 2–11 ГГц и отсутствие необходимости наличия прямой видимости (NLOS) с поддержкой таких дополнительных функций, как формирование направленного сигнала на антенне и использование поднесущих OFDM. IEEE 802.16-2004 предусматривает возможность обмена данными со скоростью до 70 Мб/с между передатчиком и стационарным абонентским оборудованием, находящимся от него в радиусе до 50 км. Этот стандарт больше всего подходит для построения корпоративных сетей, с достаточно сильно распределенной структурой.
- IEEE 802.16e – одобрен в декабре 2005 года, является развитием идей предыдущих стандартов с фокусом на мобильности оконечного пользователя. Оборудование IEEE 802.16e работает на частотах 2–6 ГГц и обеспечивает возможность работы в условиях не прямой видимости. Клиентское оборудование может быть удалено от базовой станции на расстояние до 5 км при обеспечении максимальной скорости передачи данных порядка 20 Мбит/с. При этом, в среднем, пользователь получит в свое распоряжение канал с пропускной способностью от 1 до 4 Мбит/с. Реально, в городах с высокой плотностью населения, дальность передачи данных может составлять сотни метров, а в малонаселенных пригородных районах – до 1,5-3 километров. Несмотря на то, что существующие стандарты Wi-Fi обеспечивают не меньшую скорость передачи данных, они имеют ограничение по дальности передачи данных, которая в условиях офиса, зачастую, не превышает 15 метров. Иными словами, для обеспечения устойчивого покрытия в масштабах города на основе технологии Wi-Fi потребуется установить, как минимум, несколько сотен точек доступа. Здесь и реализуется главное преимущество WiMax, которая, в отличие от Wi-Fi, задумывалась не как технология для связи в пределах помещения, но как широкополосная технология с повышенной дальностью связи.

Семейство стандартов IEEE 802.16

	802.16	802.16a	802.16 REVd (2004)	802.16e
<i>Одобрен</i>	декабрь 2001	январь 2003	июль 2004	декабрь 2005
<i>Спектр</i>	от 10 до 66 ГГц	менее 1 ГГц	менее 1 ГГц	от 2 до 6 ГГц
<i>Видимость</i>	прямая, LOS	непрямая, NLOS для ближней зоны	непрямая, NLOS, для ближней зоны, и офисных, домашних пользователей	непрямая, NLOS
<i>Модуляция</i>	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256, OFDMA + 802.16	OFDM 256, OFDMA + 802.16	OFDM 256, OFDMA + 802.16
<i>Скорость</i>	32 -134 Мбит/с	1 - 75 Мбит/с	см. 802.16a	до 1.5 Мбит/с
<i>Мобильность</i>	нет	нет	нет	да, с возможностью роуминга
<i>Ширина канала</i>	20, 25 и 28 МГц	изменяемая от 1,25 до 20 МГц с 16 логическими подканалами	см. 802.16a	более 5 МГц
<i>Радиус ячейки</i>	от 1 до 5 км	от 5 до 8 км; максимум 50 км с соотв. антенной и максимальной мощностью передачи	см. 802.16a	от 1 до 5 км
<i>Терминальное оборудование</i>		внешнее с выносной антенной	Внешнее с встроенной антенной	PC-карта

Разные стандарты семейства 802.16 ориентированы на различные сегменты рынка. Так, стандарт 802.16-2004 обеспечивает решение «последней мили» для фиксированных пользователей, в то время как 802.16e ориентирован на обслуживание мобильных абонентов (рис. 1.15). При этом такие параметры, как скорость передачи и дальность действия конкретного стандарта семейства IEEE 802.16 существенно зависят от параметров настройки системы. Например, для 802.16-2004:

- скорость передачи данных 75 Мбит/с на стороне базовой станции может быть обеспечена только при использовании канала шириной 20 МГц в идеальных условиях. Государственное регулирование в области частот может накладывать ограничения на максимальную ширину канала таким образом, зачастую, существенно снижая максимальную скорость передачи данных;
- максимальная дальность действия 50 км может быть достигнута лишь при установке оптимальных значений ряда

параметров и достаточно низкой скорости передачи данных (в несколько Мбит/с); дальность действия коммерческой системы будет равна, в среднем, 5 километрам для офисных/домашних пользователей не находящихся в зоне прямой видимости (NLOS) и 15 для пользователей подключенных к внешней антенне находящейся в зоне прямой видимости с базовой станцией (LOS).

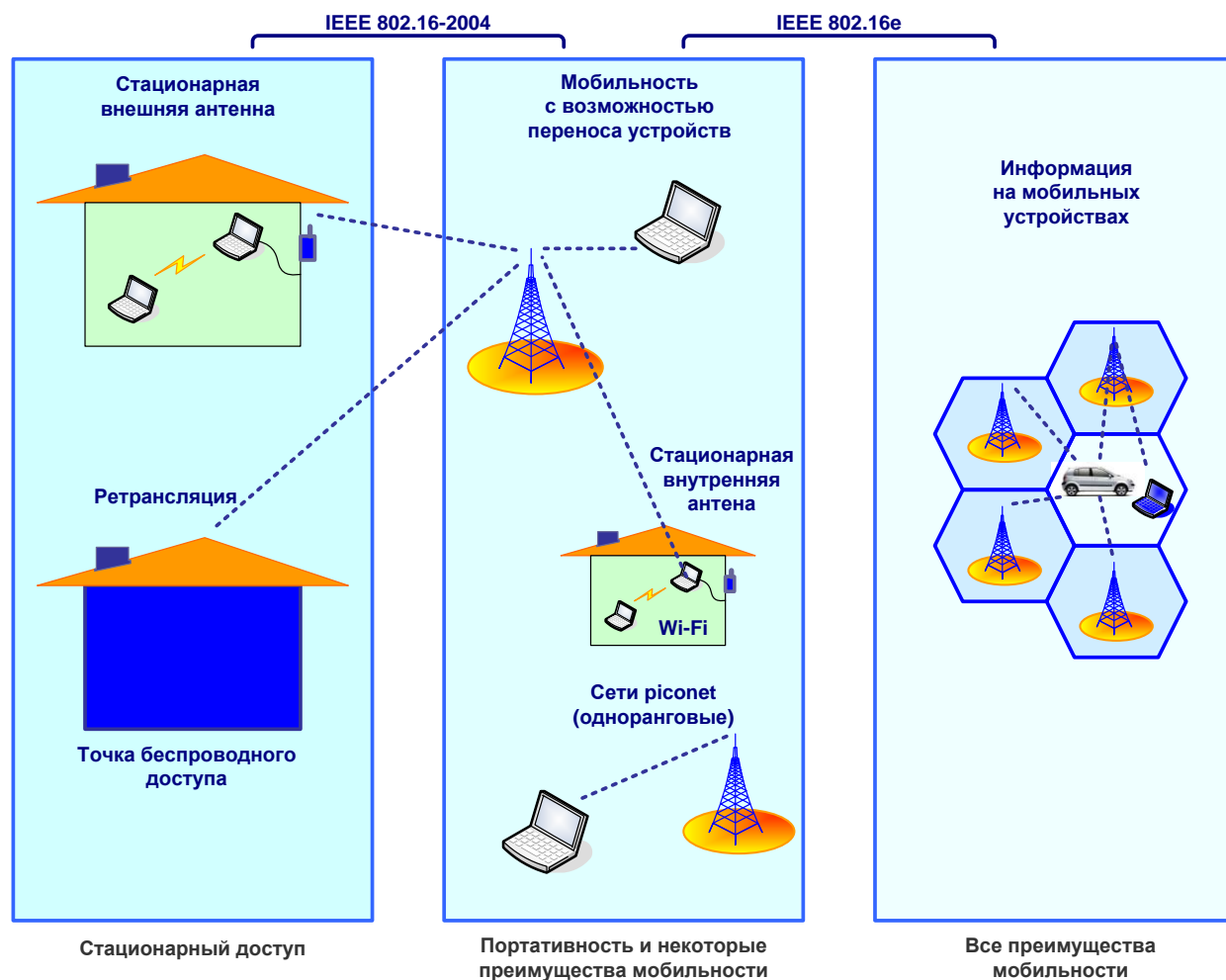


Рис. 1.15. Сравнение областей применения стандартов IEEE 802.16-2004 и IEEE 802.16e

Таким образом, к сожалению, для 802.16-2004 достижение максимальных значений скорости передачи данных в 75 Мбит/с при нахождении пользовательского оборудования на расстоянии более 15-20 км, учитывая физические параметры системы, на сегодня не представляется возможным даже при нахождении в области прямой видимости. Однако, операторы могут достаточно гибко настраивать системы WiMAX в соответствии со своими нуждами. Использование направленных антенн и правильная параметризация позволит операторам предоставлять каналы различной емкости для различных типов пользователей, например:

- сильно удаленных от базовой станции (десятки километров) пользователей можно обеспечить как телефонной связью, так и

доступом в Интернет с достаточно высокой скоростью, для этого необходимо наличие внешней направленной антенны на стороне пользователя в зоне прямой видимости базовой станции, причем антенна может быть использована как точка коллективного доступа;

- не сильно удаленных от базовой станции (от 5 до 20 км) пользователей можно обеспечить широкополосным доступом к услугам связи с использованием внешней антенны, для этого необходимо наличие внешней антенны на стороне пользователя в зоне прямой видимости базовой станции, причем антенна может быть использована как точка коллективного доступа;
- находящихся достаточно близко к базовой станции (до 5 км) пользователей можно обеспечить широкополосным доступом к услугам связи с использованием внутренней антенны, при этом пользователь может быть ограниченно мобильным - в зависимости от уровня сигнала.

Структура сети беспроводного широкополосного доступа в сети WiMAX, реализующей все три представленных выше сценария показана на рис.1.16. Очевидно, что базовые станции могут объединяться в сеть как с использованием технологии WiMAX (необходимо чтобы базовые станции находились в области прямой видимости LOS), так и с использованием фиксированных сетей (например, оптический или медный кабель).

Еще одной особенностью WiMAX является встроенная поддержка QoS, что обеспечивает минимальное время задержки в канале передачи для сервисов типа VoIP, TDM Voice, оптимальный транспорт VBR (Variable Bit Rate) трафика, а также возможность приоритизации передаваемых данных. До настоящего времени поддержка QoS в Wi-Fi-сетях предусмотрена только в стандарте 802.11e. Кроме того, стандарты 802.16 предполагают поддержку различных методов шифрования (3DES, RSA и AES), а для обеспечения дополнительного уровня безопасности при подключении пользовательских устройств предусмотрен в интересах аутентификации обмен сертификатами по протоколу X.509, а также поддерживается аутентификация с использованием протокола EAP (Extensible Authentication Protocol, Расширяемый Протокол Аутентификации). В целом, как отмечают специалисты, технология WiMAX более надежна в плане безопасности, чем Wi-Fi. Несмотря на все достоинства, определенные неудобства может доставить использование лицензированного спектра частот.

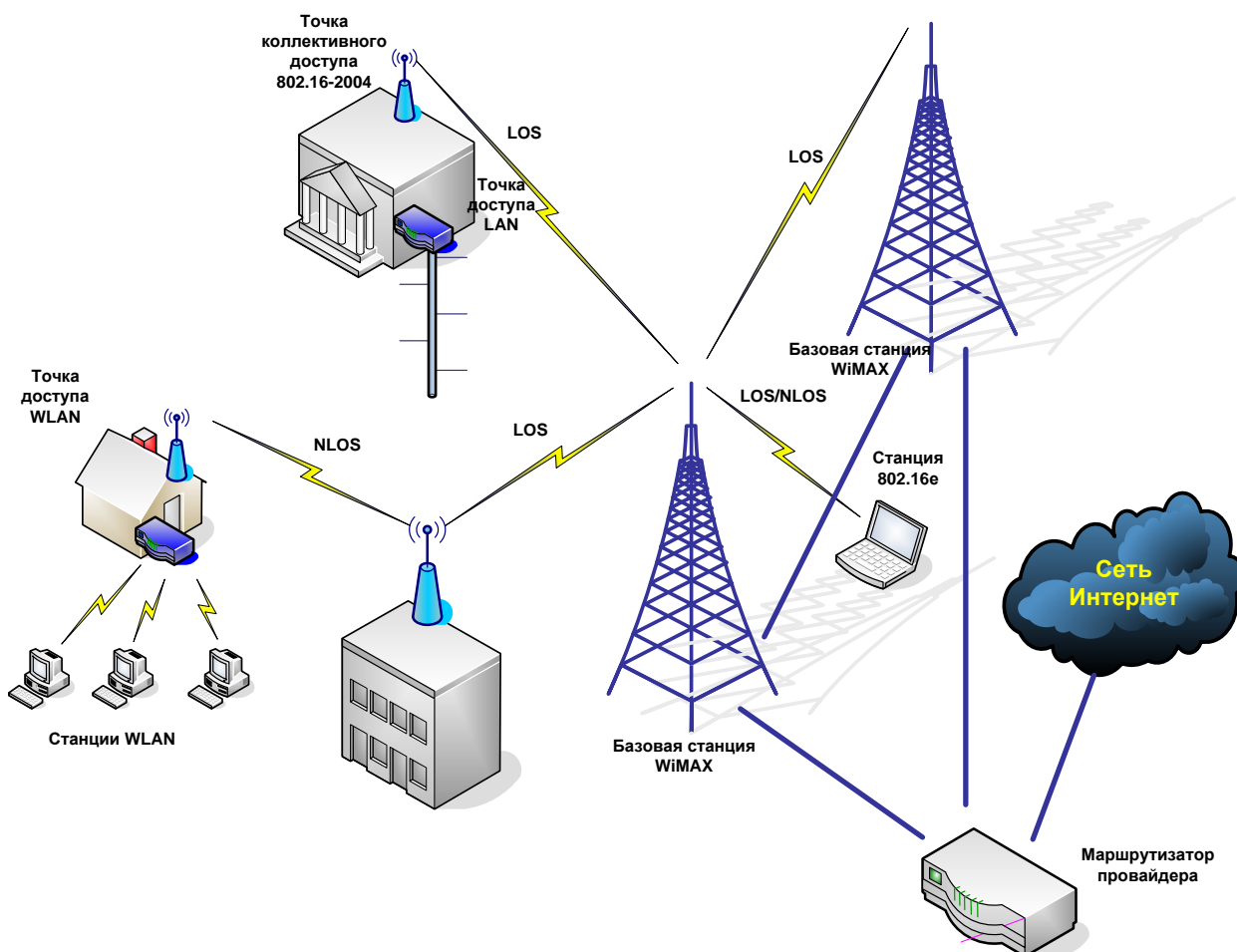


Рис. 1.16. Организация беспроводного широкополосного доступа в сети WiMAX

В настоящее время рабочим комитетом IEEE 802.16 проводятся интенсивные исследования вопросов, связанных с разработкой новых спецификаций 802.16f и 802.16h. Эти спецификации должны быть предназначены для работы с MIB (Management Information Base, базами управляющей информации) для сетей доступа, и обеспечивать поддержку работы мобильных (подвижных) клиентов при скорости их движения до 300 км/ч. Предполагается, что максимальная скорость передачи достигнет 10 Тб/с.

Специалисты полагают, что различные модификации WiMax смогут со временем полностью заменить не только беспроводные локальные сети, но и мобильные сети. С бурным ростом передачи данных через каналы сотовой связи выяснилось, что традиционная технология сотовых сетей не может обеспечить необходимую пользователям пропускную способность, даже в сетях третьего поколения скорость передачи данных для отдельного пользователя составляет от 400 до 700 кбит в секунду. Мобильный WiMax обещает в отдельных случаях десятикратное увеличение этой скорости.

Участие в WiMAX форуме практически всех производителей систем фиксированного беспроводного доступа, в том числе и компании InfiNet Wireless, начавшийся выпуск pre-WiMAX систем, разработка компаниями Intel и Fujitsu чипсета для массового производства WiMAX оборудования не оставляет сомнений в том, что

результат будет достигнут. Вопрос о том, когда появятся WiMAX совместимые системы, остается открытым. Сроки постоянно сдвигаются, а это означает, что до 2006-2007 года наиболее совершенными остаются системы класса pre-WiMAX, некоторые из которых, в частности SkyMAN, по ряду показателей уже превосходят будущие стандартные системы.

1.6.5. Беспроводные глобальные сети WWAN (технологии IEEE 802.20, GSM, CDMA, 3G)

Стандарт IEEE 802.20

Разработка стандарта IEEE 802.20 для мобильного доступа к данным еще не завершена. В отличие от WiMax, рассчитанного на работу в городах при ограниченном числе базовых станций, 802.20 имеет больше сходства с обычными сотовыми системами и предназначен для быстросействующих мобильных подключений на скоростях свыше 1 Мбит/с. в 3-ГГц частотном диапазоне. Данный стандарт занимает интересное положение среди остальных стандартов – с одной стороны, его называют ближайшим конкурентом WiMAX (802.16e), с другой стороны, он может использоваться в системах сотовой связи, заменяя GPRS или CDMA2000, а это уже WWAN. Возможно, в связи с этим, его можно выделить в отдельный класс беспроводных сетей связи MBWA (Mobile Broadband Wireless Access).

Главный сторонник спецификации 802.20 фирма Flarion Technologies уже испытывала свою технологию FLASH-OFDM (*Fast Low-Latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) вместе с компанией Nextel Communications. Однако рассмотрение стандарта находится еще на довольно ранней стадии и нет никакой гарантии, что технология Flarion в конечном счете ляжет в основу 802.20. Продвижению 802.16e, равно как и 802.20, также может помешать инерция операторов. Для поддержки массовых подключений владельцев мобильной аппаратуры потребуются значительные вложения в инфраструктуру, и операторы могут решить, что трудоемкое развертывание новых технологий приведет лишь к дублированию уже предоставляемых услуг. Соотношение перспективных беспроводных технологий показано на рис 1.17.

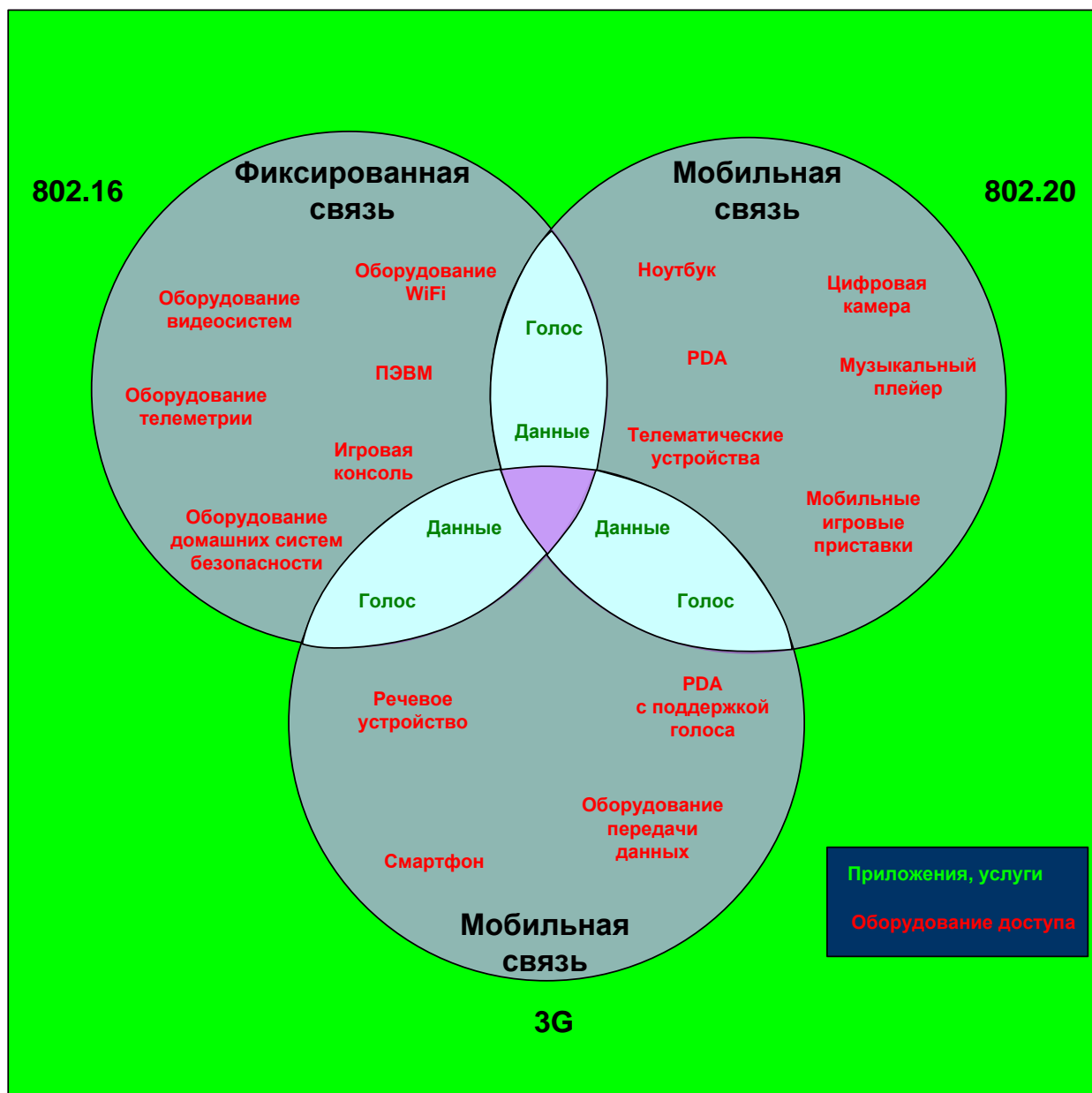


Рис. 1.17. Соотношение перспективных беспроводных технологий

Глобальная система мобильной связи (GSM)

Стандарт GSM является безусловным лидером по распространенности на мировом рынке. В 1982 году Европейская конференция администраций почты и телеграфа (CEPT) создала рабочую группу GSM (Group Special Mobile) для разработки общеевропейской системы подвижной сотовой связи. В 1989 году работы по GSM перешли под эгиду Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI), и в 1990 году были опубликованы спецификации первой фазы стандарта. К 1993 году в 22 странах мира уже действовало 36 сетей GSM, а к 1995 году насчитывалось же около 5 млн абонентов – стандарт стал общемировым и расшифровывался уже как Global System for Mobile Communications.

Стандарт GSM обеспечивает работу абонентов в диапазонах 900 и 1800 МГц (в США – 1900 МГц). В Европе и России в диапазоне 900 МГц

мобильный телефон передает (восходящий канал) в полосе 890-915 МГц, принимает (нисходящий канал) в интервале 935-960 МГц (для GSM-1800 – 1710-1785 и 1805-1880 МГц соответственно). Весь диапазон делится на частотные каналы по 200 кГц – в GSM-900 всего 124 канала (124 восходящих и 124 нисходящих), разнос между восходящим и нисходящим каналом – 45/95 МГц (в диапазонах 900/1800 МГц, соответственно). Базовая станция поддерживает от 1 до 16 частотных каналов. Таким образом, в GSM реализован частотный метод дуплексирования каналов (FDD).

Для доступа к среде передачи в GSM использован принцип временного разделения канала – TDMA. Частотные каналы разбиты на кадры по 8 временных интервалов (канальные интервалы) длительностью по 577 мкс. Каждому физическому каналу соответствует один определенный временной интервал на определенной частоте. Таким образом, мобильный терминал (МТ) передает базовой станции (БС) информацию в течение 577 мкс каждые 4615 мкс. БС связывается с МТ точно так же, но на три временных интервала раньше МТ (и на частоте на 45 МГц выше), чтобы разнести во времени прием и передачу. Это существенно упрощает аппаратуру МТ.

Временные интервалы в GSM бывают пяти типов – нормальный, подстройки частоты, синхронизации, установочный и доступа. Полезная информация передается двумя блоками по 57 бит. Между ними расположена тренировочная последовательность в 26 бит, ограниченная одноразрядными указателями РВ (*Pointer Bit*). Интервалы ВВ (*Border Bit*) длиной 3 бита ограничивают всю передаваемую последовательность. После трансляции всех 148 бит канального интервала передатчик «молчит» в течение защитного интервала ST (*Shield Time*) длительностью 30,44 мкс, что по времени эквивалентно передаче 8,25 бит.

Каждые 26 кадров объединены в мультикадр продолжительностью 120 мс. В мультикадре каждый 13-й кадр зарезервирован для канала управления, а в течение каждого 26-го кадра вся система «молчит».

В GSM использован принцип медленных частотных скачков – прием/передача нового кадра может происходить на новой несущей частоте. При этом сохраняется дуплексный разнос в 45 МГц. Начальное значение несущей и последовательность изменения назначаются мобильному терминалу при установлении связи. Модуляция сигнала – двоичная гауссова с минимальным частотным сдвигом GMSK (один бит на символ).

Радиус соты в GSM – до 35 км – ограничен возрастающей временной задержкой распространения сигнала, к которой чувствительна технология TDMA. Сетевая инфраструктура GSM/MAP основана на системе сигнализации ОКС7 (SS7). Для кодирования речи применен кодек VCELP на основе алгоритма RPE-LTP (Regular Pulse

Excitation-Long Term Prediction) со скоростью 13 кбит/с. Скорость передачи данных – до 9,6 кбит/с (по стандартной схеме).

Стандарт CDMA

CDMA расшифровывается как множественный доступ с кодовым разделением каналов (*Code-Division Multiple Access*). Метод множественного доступа с кодовым разделением каналов известен давно, однако, из-за сложности аппаратуры для обработки сигналов до определенного момента CDMA находил применение только в военной и специальной технике благодаря таким своим свойствам, как высокая стойкость к помехам и скрытность передачи. С развитием микроэлектроники в последнее десятилетие стало возможным создание недорогих портативных станций CDMA. Лидер в этой области – американская компания Qualcomm, разработавшая спецификацию IS-95 (CDMA-One). Сейчас именно на базе этого стандарта развивается одно из направлений сотовой телефонии третьего поколения.

В CDMA различают три вида кодового разделения каналов – расширение спектра методом прямой последовательности (CDMA-DS), частотных скачков (CDMA-FH) и временных скачков (CDMA-TH). В современных системах CDMA развитие получил метод доступа CDMA-DS (в отечественной литературе он известен как передача на основе шумоподобных сигналов (ШПС)). В CDMA-DS каждый бит информационного сигнала заменяется некоторой фиксированной последовательностью определенной длины – базой сигнала. Ноль и единица могут, например, кодироваться инверсными последовательностями. Для каждого канала задается определенная последовательность (код). Спектр сигнала расширяется пропорционально длине базы. Последовательности обычно подбирают ортогональными (скалярное произведение равно нулю). В приемнике происходит вычисление корреляционных интегралов входного сигнала и кодовой последовательности определенного канала. В результате принимается только тот сигнал, который был расширен посредством заданной кодовой последовательности (корреляционная функция выше порогового значения). Все остальные сигналы воспринимаются как шум. Таким образом, в одной полосе могут работать несколько приемопередатчиков, не мешая друг другу. Благодаря широкополосности сигнала снижается его мощность, причем при очень длинной базе – ниже уровня белого шума. При этом сильно возрастает помехоустойчивость, а с ней и качество связи – узкополосная помеха не повлияет на широкополосный сигнал. Кодовая последовательность автоматически является и элементом криптозащиты. Что особенно привлекательно для операторов сотовой связи – упрощается проблема частотного планирования, поскольку все станции работают в одной полосе. Все эти свойства и предопределили успех CDMA.

Сети IS-95 занимают практически тот же частотный диапазон, что и сети AMPS: 824-840 и 869-894 МГц. Нисходящий канал (от БС к МТ) всегда на 45 МГц выше восходящего. Ширина канала – 1,25 МГц. Существует и более высокочастотная версия в диапазонах 1890-1930 и 1950-1990 МГц. Там дуплексный разнос – 80 МГц. При работе в диапазоне до 900 МГц скорость передачи данных равна 1,2-9,6 Кбит/с, а в более высокочастотной версии – скорость передачи данных 14,4 кбит/с.

Важная особенность стандарта IS-95 – гибкое управление мощностью излучения МТ. В пределах соты уровни принимаемых БС сигналов должны быть одинаковыми независимо от удаления МТ. Для этого мощность МТ регулируется по специальному алгоритму в диапазоне порядка 80 дБ с шагом 1 дБ каждые 1,25 мс. Кроме того, в IS-95 скорость работы голосового кодека не постоянна, как в GSM, а может меняться в зависимости от интенсивности речи от 8 до 1,2 кбит/с. Эти особенности позволяют очень гибко регулировать загрузку в сети, не загружая соту избыточной информацией.

Одна БС может поддерживать до 64 каналов. Однако часть из них – служебные: пилотный, синхронизации, вызова. Оказывают влияние и соседние БС. Однако при фиксированной связи БС поддерживает до 40-45, при подвижной – до 25 каналов передачи трафика – и все это на одной частоте. Технология CDMA требует точной, до микросекунд, синхронизации БС. Для этого используют сигналы глобальной системы позиционирования GPS. Радиус соты – до 20км.

Третье поколение сотовой связи (технологии 3G)

Основной недостаток систем мобильной связи второго поколения (GSM, CDMA) – низкая скорость передачи данных – 9,6-14,4 кбит/с. Поэтому был инициирован проект создания сетей третьего поколения (3G) IMT-2000, в рамках которого была поставлена задача увеличить скорость потока данных до 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и до 384 кбит/с – для мобильных. В мире сформировались два глобальных партнерских объединения, формирующих стандарты 3G – 3GPP и 3GPP2 (3G Partnership Project). В первое вошли ETSI (Европа), подкомитет P1 телекоммуникационного комитета ANSI (США), ARIB и TTC (Япония), SWTS (Китай) и TTA (Южная Корея). Участники 3GPP сумели согласовать особенности своих подходов к технологии широкополосной CDMA (WCDMA) с частотным (FDD) и временным (TDD) дуплексированием, представив ITU проекты IMT-DS и IMT-TS соответственно. В основу легло европейское предложение UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access* – радиointерфейс наземного доступа к системе UMTS) – UTRA FDD и UTRA TDD. IMT-2000 – это целая совокупность стандартов построения сетей третьего поколения, при этом в качестве одного из стандартов IMT-2000 предложено дальнейшее развитие технологии микросотовых сетей DECT (проект

IMT-FT). Члены объединения 3GPP2 предлагают фактически эволюционный путь – варианты развития технологий DAMPS (UWC-136) и CDMA-One (CDMA-2000). Данные предложения представлены ITU как проекты IMT-SC и IMT-MC.

Таким образом, наметилось два пути: революционный – там, где есть свободный частотный ресурс, и эволюционный – в остальных регионах. В 1996 году в городе Чиста (Швеция) компания Ericsson запустила первую опытную сеть с технологией WCDMA. Эта технология легла в основу проекта наземного мобильного сегмента европейской универсальной системы телекоммуникаций UMTS. Было предложено два варианта WCDMA – с частотным и временным разносом прямого и обратного каналов (FDD WCDMA и TDD WCDMA) соответственно для парного (предполагается 2110-2170 и 1920-1980 МГц) и непарного спектра частот. Технология основывается на расширении спектра методом прямой последовательности в полосе 5 МГц на канал. Система может поддерживать требуемые 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и 384 кбит/с – для мобильных. Предусмотрена возможность применения интеллектуальных антенных систем (Smart-антенн с цифровым формированием диаграммы направленности). Принципы технологии FDD WCDMA во многом аналогичны CDMA-One. Одно из принципиальных отличий – сеть на базе FDD WCDMA может быть асинхронной (возможен и синхронный режим).

Для случаев, когда спектральный диапазон ограничен – нет возможности выделять частоты под парные каналы 5 МГц, – проработана версия WCDMA TDD с временным дуплексированием каналов. При этом весь временной диапазон представляет последовательность равных канальных интервалов. В течение каждого из них в каждом из логических каналов (с кодовым разделением) происходит передача в одном направлении – от БС или от МТ. Таким образом, в определенные промежутки все каналы – либо восходящие, либо нисходящие. Соотношение и последовательность восходящих/нисходящих канальных интервалов может гибко изменяться в зависимости от интенсивности трафика в обе стороны. Это крайне важно для многих приложений с асимметричной передачей данных (например, доступ в Интернет). По сравнению с FDD WCDMA сети с TDD должны быть синхронными, в остальном же их параметры практически совпадают.

Развитием метода WCDMA TDD стала система TD-SCDMA, созданная совместно компанией Siemens и китайской Академией телекоммуникационных технологий (*China Academy of Telecommunications Technology – CATT*). Это стандарт физического уровня беспроводных сетей 3G, одобренный ITU и объединением стандартизирующих организаций 3GPP как часть пула стандартов UMTS. TD-SCDMA (технология CDMA с одной несущей и временным

дуплексированием) ориентирована для работы в зонах с высоким дефицитом частотного ресурса – именно такова ситуация в КНР, связанная с высочайшей плотностью населения (в несколько раз выше, чем в густонаселенной Европе).

Сама технология доступа представляет собой комбинацию трех механизмов: временного разделения дуплексных каналов (TDD), временного мультиплексирования каналов (TDMA) и кодового мультиплексирования каналов (CDMA). Обмен происходит циклически повторяющимися кадрами (фреймами) длительностью 5 мс, разделенными на семь временных интервалов (тайм-слотов). Кроме того, в каждом тайм-слоте возможно формирование до 16 CDMA-каналов на основе 16 кодовых последовательностей. Так же предусмотрена возможность гибкого распределения тайм-слотов исходя из фактически передаваемого трафика. Например, в асимметричных приложениях (доступ в Интернет) для восходящего канала можно выделить один тайм-слот, для нисходящего – остальные шесть.

Ширина одной полосы TD-SCDMA 1,6 МГц. Скорость передачи модуляционных символов 1,28 Мчип/с. Это, вместе с переменным числом тайм-слотов во фрейме, назначенных одному соединению, позволяет добиваться скорости передачи данных в широчайшем диапазоне: от 1,2 кбит/с до 2 Мбит/с. Заявленная дальность передачи – 40 км, допустимая максимальная скорость движения мобильного абонента – не менее 120 км/ч. Важнейшее достоинство TD-SCDMA – эффективное использование спектра. Не менее важно, что разработчики TD-SCDMA предусмотрели ее гибкую интеграцию с GSM-сетями, а также мягкий переход к WCDMA-сетям благодаря поддержке сигнализации и протоколов верхних уровней как GSM, так и WCDMA. Более того, первые телефоны стандарта TD-SCDMA были двухмодовыми, на основе GSM-чипсета с дополнительной СБИС поддержки TD-SCDMA. WCDMA (UMTS) изначально разрабатывалась как замена сетей GSM с возможностью плавного перехода. Поэтому ее сетевая инфраструктура совместима с MAP/GSM. Кроме того, она ориентирована на глобальные сети с пакетной коммутацией (IP, X.25). Операторы могут создавать «островки» WCDMA в особо густонаселенных районах, постепенно расширяя их. Поэтому все абонентские терминалы для WCDMA в Европе будут поддерживать GSM.

Значительный потенциал заложен так же и в стандарте IS-95. Прямым его развитием стала спецификация IS-95b. Она позволяет объединять до восьми логических каналов. Теоретически достижимая скорость при этом $14,4 \times 8 = 115,2$ кбит/с. Реально работающие сети IS-95b обеспечивают передачу до 64 кбит/с.

Следующий шаг развития IS-95 – проект CDMA-2000, который в итоге должен удовлетворять требованиям IMT-2000. Предусматривалось три стадии развития CDMA-2000: 1X, 3X и CDMA-2000 DS

(прямая последовательность). Последний вариант технически аналогичен WCDMA, и потому работы над ним были прекращены.

CDMA 1X (CDMA 1XRTT) позволяет увеличить число логических каналов до 128 в той же спектральной полосе 1,25 МГц. При этом реальная скорость может достигать 144 Мбит/с. Первая такая сеть была организована в Южной Корее (оператор – SK Telecom).

Спецификация CDMA 3X – вторая фаза проекта CDMA-2000. Обозначение 3X указывает на утроение спектральной полосы канала CDMA-One: $1,25 \times 3 = 3,75$ МГц. При этом в обратном канале происходит передача методом прямой последовательности в полосе 3,75 МГц. В прямом же канале данные передаются параллельно по трем стандартным IS-95 каналам шириной 1,25 МГц (технология с несколькими несущими). В результате скорость может превышать 2 Мбит/с. Поскольку технология базируется на IS-95, БС в сетях CDMA-2000 требуют синхронизации. Существенно, что вполне возможно дальнейшее масштабирование – 6X, 9X и т. д. с соответствующим ростом скорости передачи.

Сегодня лидерство во внедрении 3G уверенно захватили страны Юго-Востока. 2003 год можно назвать первым годом эксплуатации 3G. В 2002 году японская корпорация NTT DoCoMo первой построила коммерческую 3G-сеть и начала активно оказывать услуги. Европейские и американские же операторы с внедрением 3G-технологий испытывают проблемы. На лицензии потрачены огромные деньги, их надо возвращать. Поэтому операторы все чаще приходят к выводу о необходимости объединения своих ресурсов в проектах по развертыванию 3G-сетей.

В России о технологиях 3G пока говорить рано. В то же время в нашей стране уже появилась вполне «3G -технология» – CDMA-2000 в диапазоне 450 МГц.

1.7. Магистральные сети передачи данных

Магистральные сети передачи данных по охватываемой ими территории принято делить на:

- региональные сети (*Metropolitan Area Network – MAN*)
- глобальные сети (*Wide Area Network – WAN*).

Основными отличиями между сетями различных групп, помимо территориального охвата, являются используемые в сетях технологии. При этом следует отметить, что в последнее время наблюдается взаимопроникновение технологий из одних групп в другие. Так, например, технология Ethernet, ранее используемая только в локальных сетях, сегодня выходит на уровень сетей MAN и даже WAN.

Магистральные сети передачи данных начали активно развиваться на рубеже 60–70х годов. В то время основными сетями были телефонные сети, в которых использовались аналоговые каналы,

так называемые каналы тональной частоты (ТЧ). Эти каналы являются каналами низкого качества. При передаче данных по этим каналам коэффициент ошибок на бит может достигать значений 10^{-3} (одна ошибка на 1000 переданных бит). Такой уровень ошибок абсолютно неприемлем при передаче данных, ибо высокая верность является одним из основных требований, предъявляемых к сети трафиком данных. Важной особенностью трафика данных является также его большая неравномерность во времени и требования, связанные с минимизацией задержек при его передаче через сеть. Данные обстоятельства (низкоскоростные каналы с высоким коэффициентом ошибок, неравномерность трафика во времени и требования по минимизации задержек) послужили основными причинами, по которым в сетях передачи данных стал использоваться метод коммутации пакетов (КП). Этот метод позволяет с одной стороны обеспечить эффективное использование канальных ресурсов в условиях неравномерного трафика, а, с другой – обнаружение и исправление ошибок по мере продвижения пакетов на отдельных участках сети. С сетями передачи данных связано также появление модели взаимодействия открытых систем (*Open System Interconnection – OSI*), называемой иногда семиуровневой моделью. Дело в том, что в компьютерных сетях, как в сетевых, так и в оконечных устройствах используются средства вычислительной техники и, соответственно, аппаратные, и программные средства. В этих условиях сложную задачу взаимодействия удаленных устройств через сеть передачи данных удобно, как это принято в программировании, разбить на отдельные более простые подзадачи (т. е. провести декомпозицию) и решать каждую подзадачу независимо. Это также обеспечивает большую гибкость при изменении каких-либо условий, например, изменении среды передачи. Платой за очевидные преимущества такого подхода является увеличение числа заголовков, т.е. увеличение накладных расходов, связанных с передачей информации по сети. На рис. 1.18 представлен процесс взаимодействия двух оконечных устройств с использованием модели OSI.

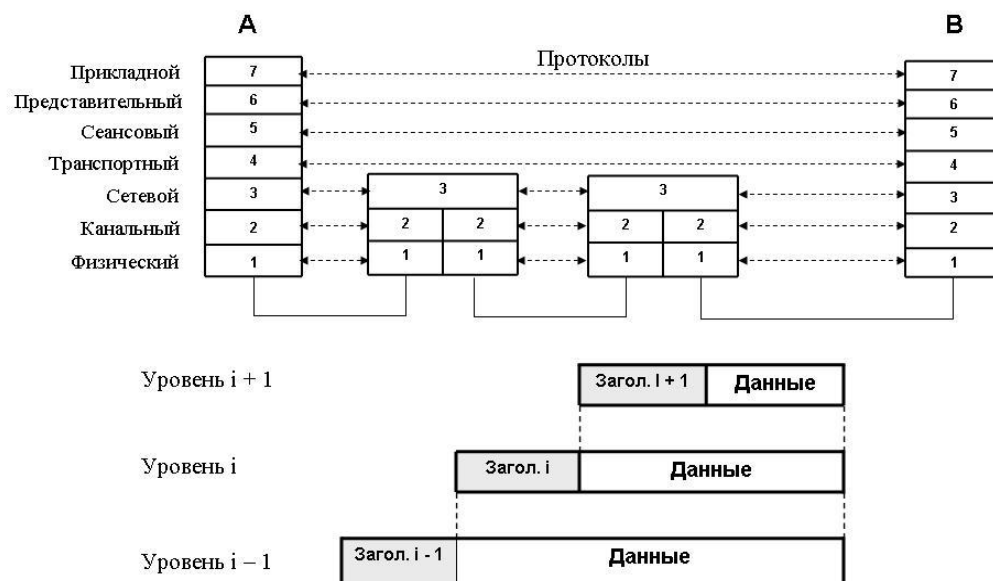


Рис. 1.18. Модель OSI

1.7.1. Сети с коммутацией пакетов X.25

Сети X.25 являются одними из первых сетей передачи данных общего пользования. Учитывая время, когда создавался данный стандарт, в технологии X.25 заложены мощные механизмы защиты от ошибок, (обнаружение и исправление ошибок), позволяющие обеспечивать передачу данных по каналам низкого качества. Другая особенность сетей X.25 заключается в низких скоростях передачи данных. Эта особенность также связана с тем, что эти сети были рассчитаны на работу по каналам тональной частоты, скорость передачи в которых ограничивается полосой частот 300 – 3400 Гц. Даже сегодня скорость передачи по этим каналам не превышает 33,6 кбит/с. Скорость 56 кбит/с, обеспечиваемая современными модемами при доступе в Internet, связана с особенностями построения современной цифровой телефонной сети и возможна только в направлении к абоненту. Более высокие скорости могут обеспечиваться при использовании цифровых каналов, но даже в этом случае оборудование X.25, выпускаемое сегодня работает на скоростях не более 256 кбит/с.

Технология X.25, как и технологии Frame Relay (FR), и ATM использует технику виртуальных соединений, которая как и ТфОП/ISDN предполагает наличие 3-х этапов:

- установление (виртуального) соединения
- передача информации
- разрушение соединения.

Но в отличие от ТфОП/ISDN при виртуальных соединениях отсутствует жесткое закрепление канальных ресурсов за каждым соединением. Вместо этого за установленным соединением фиксируется маршрут, т.е. последовательность коммутаторов, через которые будут передаваться блоки данных от источника к получателю. Это означает, что при малой загрузке сети в принципе одно соединение может использовать всю доступную полосу участков сети, через которые оно проходит. Но т.к. информация от источников поступает неравномерно (имеются значительные промежутки времени, когда информация не передается), то это позволяет разделять канальные ресурсы между большим числом виртуальных соединений. В этом и состоит суть статистического уплотнения (в отличие от статического закрепления канальных ресурсов в ТфОП/ISDN), при котором в общем случае значительно эффективнее используются канальные ресурсы. Это и позволяет обеспечить более низкую стоимость услуг таких сетей. Следует иметь в виду, что статистическое уплотнение предполагает возможность возникновения как кратковременных и долговременных перегрузок в сети. Кратковременные перегрузки приводят к возникновению очередей в коммутаторах и, как следствие к увеличению задержек при передаче информации через сеть. Долговременные перегрузки могут приводить к переполнению очередей и к потере части передаваемой информации.

В сетях с коммутацией пакетов, использующих режим виртуальных соединений, различают коммутируемые (*switched virtual connection – SVC*) и постоянные (*permanent virtual connection – PVC*) виртуальные соединения. Различие между ними примерно такое же, как между коммутируемыми соединениями в ТфОП/ISDN и арендованными каналами PDH/SDH.

При организации виртуальных соединений адреса источников и получателей информации используются только на этапе установления соединения. Во время передачи информации для идентификации соединения вместо адресов источников и получателей используются специальные комбинации бит, называемые метками (рис. 1.19) Значения меток никак не связаны с указанными адресами так, что во время передачи информации определение источников и получателей затруднительно. Данный механизм обеспечивает повышенную безопасность, особенно если учесть, что при организации частных сетей обычно используются постоянные виртуальные соединения, т.е. этап установления соединения отсутствует.

Технология X.25 работает на 3-х нижних уровнях модели OSI (рис. 1.20). На 2-м уровне определен протокол LAPB, обеспечивающий надежную передачу кадров между смежными устройствами. Для обнаружения ошибок в протоколе используется циклический код с образующим полиномом $P(x) = x^{16} + x^5 + x^2 + 1$, а для их исправления обратная связь. Кроме того, используется ряд дополнительных

механизмов, направленных на повышение верности при передаче: циклическая нумерация кадров, механизм окна, управление передачей.

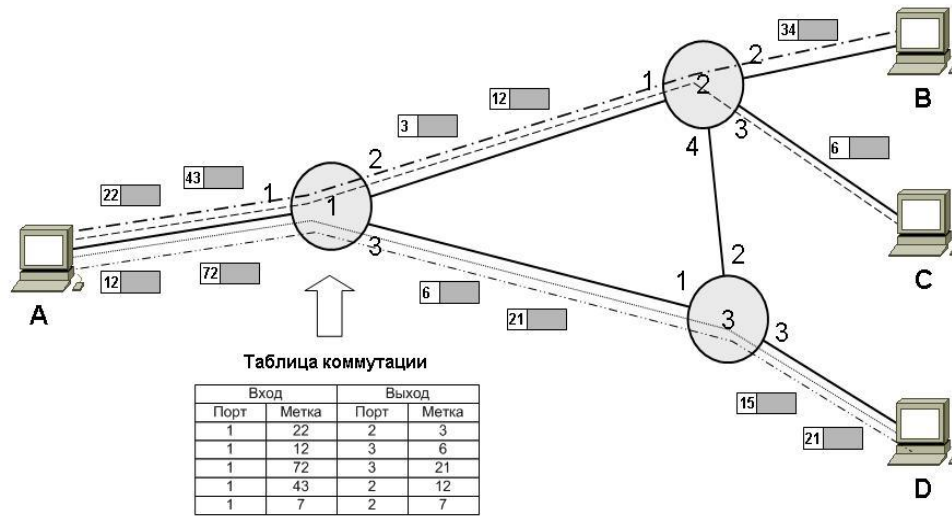


Рис. 1.19. Виртуальные соединения

Стек протоколов X.25



Рис. 1.20

Виртуальные соединения организуются на 3-м уровне модели OSI. При этом, для обеспечения гарантированной доставки пакетов на 3-м уровне для каждого виртуального соединения фактически дублируются многие механизмы, используемые на 2-м уровне.

Следует отметить, что при передаче данных по каналам низкого качества у сетей X.25, пожалуй, сегодня нет конкурентов. Поэтому не удивительно, что в современных модемах, используемых для работы по каналам ТЧ, для защиты от ошибок используются те же механизмы, что и в X.25 (протокол LAPM, рекомендация V.42). Раньше сети X.25 были основными сетями для передачи данных. Сегодня с развитием цифровых каналов ситуация резко изменилась. Но в нашей стране еще имеется много регионов, в которых можно рассчитывать только на технологию X.25.

Также можно отметить, что хотя сети X.25 являются сетями передачи данных общего пользования, тем не менее, на практике их услугами пользуются, в основном, только предприятия и учреждения, а не частные лица, что также способствует повышению безопасности при использовании этих сетей. Пример использования сетей X.25 для объединения удаленных офисов показан на рис. 1.21.

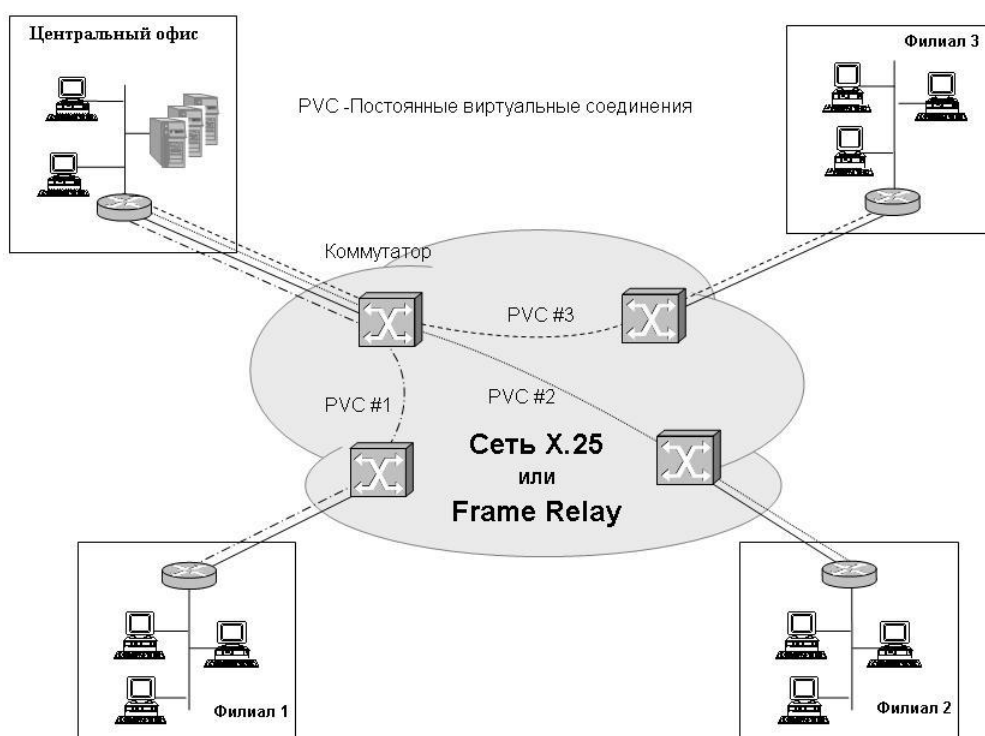


Рис. 1.21

1.7.2. Сети Frame Relay (Сети с ретрансляцией кадров)

Ретрансляция кадров (*Frame Relay – FR*) – это технология передачи информации в сетях передачи данных с коммутацией пакетов. Первоначально разработка стандарта FR ориентировалась на цифровые сети интегрального обслуживания – ISDN для поддержки услуг передачи данных вместо технологии X.25. Однако сегодня технология FR в основном используется как самостоятельная технология.

Появление технологии FR вызвано с одной стороны появлением высокоскоростных цифровых каналов, а с другой – повышением «интеллектуальности» оконечного оборудования. Цифровые каналы, использующие, как правило, оптоволоконные линии, кроме высокой скорости по сравнению с аналоговыми каналами обеспечивают на несколько порядков меньший коэффициент ошибок по битам. Это вместе с повышением возможностей оконечного оборудования позволило отказаться от многих сложных механизмов обеспечения достоверности при передаче информации, использующихся в сетях X.25 и тем самым значительно упростить технологию FR. Это отражено и в названии технологии. Сети X.25 работают на сетевом и канальном уровнях и оперируют с блоками информации, называемыми соответственно пакетами и кадрами, в то время как сети FR при передаче информации работают только на канальном уровне и оперируют только с кадрами. В отличие от сетей X.25, которые гарантируют надежную доставку информации, в сетях FR эта задача возлагается на оконечное оборудование. Основная задача технологии FR – максимально быстрая передача информации так, что если кадр получен без искажений, он направляется далее по соответствующему маршруту. Искаженные кадры просто сбрасываются сетью без уведомления об этом источника. При возникновении проблем, связанных с перегрузкой сети FR, ее узлы также могут сбрасывать кадры.

Такой подход, наряду с высокими по сравнению с сетями X.25 скоростями (в настоящее время в соответствии со стандартами FR может работать со скоростями до 155 Мбит/с, что соответствует уровню STM-1 технологии SDH), обеспечивает малое время задержки передачи информации через сеть и простой формат кадров, содержащих минимум управляющей информации. Можно сказать, что технология FR на сегодня является, пожалуй, является самой простой и эффективной с точки зрения накладных расходов технологией.

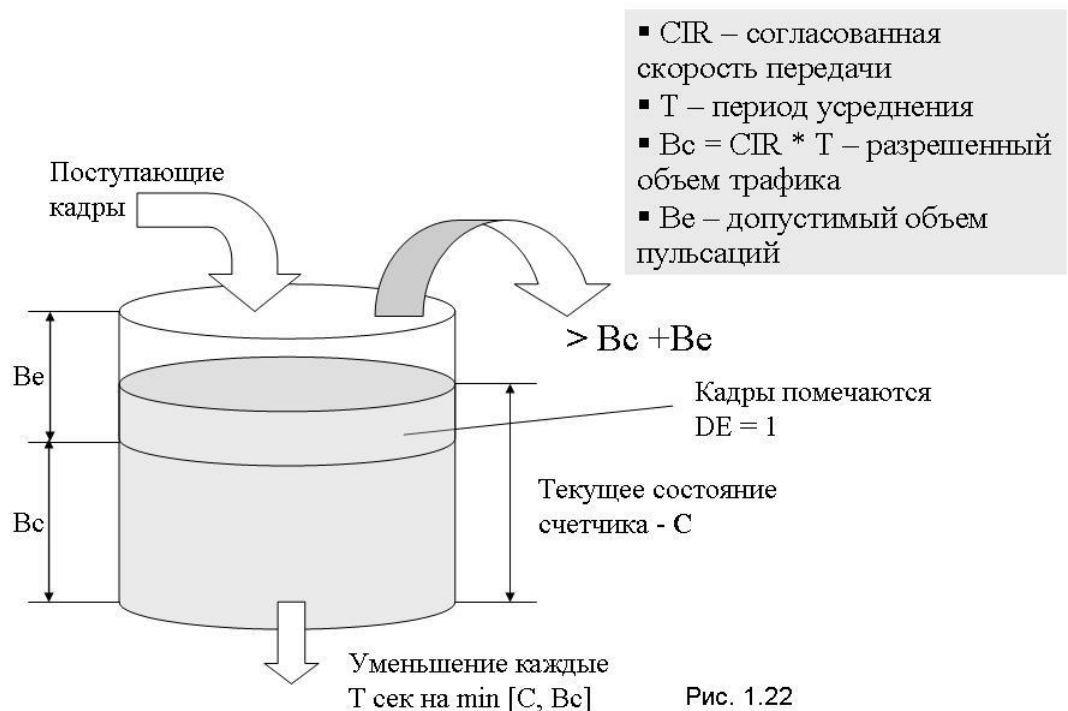
Надо отметить, что сегодня технология FR в основном используется для объединения локальных сетей, т.е. фактически для создания корпоративных сетей. При этом, как и в X.25 используется техника организации постоянных виртуальных соединений (рис. 1.22). Но в отличие от X.25 при заключении договора между клиентом и

поставщиком услуг сети в нем помимо скорости физического подключения указывается еще ряд параметров:

- гарантированная скорость передачи данных (*Committed Information Rate, CIR*), при этом обеспечивается требуемое качество доставки;
- гарантированный объем передачи информации (*Committed Burst Size, $B_c = CIR * T$*), при обеспечении требуемого качества доставки;
- дополнительный объем передачи информации (*Excess Burst Size, B_e*) - качество передачи данных может снижаться.

Другими словами можно говорить, что в технологии FR вводятся элементы соглашения о качестве обслуживания. Проверка выполнения указанного соглашения выполняется с использованием механизма, называемого «Leaky Bucket» (рис. 1.22).

Алгоритм «Leaky bucket»



Узел доступа к сети FR измеряет объем информации, поступающей от клиента. Если этот объем не превышает $B_c = CIR * T$, то кадры передаются без изменений. Если измеренный объем превышает B_c , но не более чем величину B_e , то в передаваемых кадрах устанавливается в "1" специальный бит DE, что дает возможность сети удалять эти кадры при возникновении перегрузок (абонент также имеет право решать, какие кадры для него менее важны). Наконец, если измеренный объем превышает $B_c + B_e$, то поступающие кадры не принимаются сетью вне зависимости от каких-

либо условий. Клиент может воспользоваться соглашением и для того, чтобы уменьшить свои затраты следующим способом. Стоимость услуг при передаче кадров с битом DE, установленным в "1" значительно ниже. При наличии в сети значительного запаса пропускной способности клиент может определить CIR равной "0". В этом случае во всех передаваемых кадрах бит DE будет установлен в "1", но при наличии запаса пропускной способности это практически не скажется на качестве передачи. Понимая это, большинство операторов устанавливают минимальное значение CIR.

Первоначально технология FR разрабатывалась только для передачи данных. Соответственно, все реализующие этот метод механизмы и качество обслуживания (QoS) определялись только для трафика данных, т.е. трафика не чувствительного к задержкам.

С повышением скоростей передачи и интеллектуальных возможностей используемого оборудования в технологии FR, как и в других технологиях передачи данных, введена возможность передачи трафика реального времени и, прежде всего, речи. Для повышения эффективности передачи речи используются сжатие (компрессия) речи и подавление пауз, благодаря чему минимизируется объем трафика, передаваемого по сети. Уменьшение задержек передачи, что очень важно для трафика реального времени, достигается за счет приоритизации речевого трафика и использования достаточно больших скоростей передачи на магистральных линиях связи. Для уменьшения задержек на низкоскоростных каналах применяется уменьшение максимального размера кадров неречевого трафика (фрагментация). Это позволяет избежать задержек, связанных с нахождением в очереди на передачу очень длинных кадров, с целью уменьшения задержки. Для передачи речи по сетям FR разработаны соответствующие стандарты, в частности стандарты форума Frame Relay (*Frame Relay Forum – FRF*): "Data Compression – FRF.9", "Voice Over Frame Relay - FRF.11", "Frame Relay Fragmentation – FRF.12" и некоторые другие. Следует отметить, что эффективность передачи голоса с использованием FR выше, чем с использованием технологии TCP/IP. В настоящее время выпускается оборудование VFRAD (*Voice Frame Relay Access Device*), которое обеспечивает эффективное мультиплексирование голосового трафика и трафика данных при передаче по сети FR.

Как уже говорилось выше, технология FR первоначально разрабатывалась как служба передачи данных в сетях ISDN, т.е. сети, предоставляющей, прежде всего, услуги по требованию (коммутируемый сервис). С этой целью для FR разработаны стандарты для поддержки коммутируемых виртуальных соединений – SVC. Эти стандарты основаны на стандартах для установления соединений с коммутацией каналов, применяемых в ISDN. Для адресации может использоваться план нумерации E.164, используемый в ISDN или,

используемый в сетях X.25, план нумерации X.121. Однако на практике данный сервис большинством операторов не поддерживается.

Следует еще раз особо подчеркнуть, что технология FR эффективно работает только на каналах с низким коэффициентом ошибок. Тем не менее, если технология FR используется на выделенных каналах, то в этом случае это требование не является обязательным. На рис. 1.23 показан пример соединения центрального офиса с филиалами посредством выделенных каналов с использованием FR для эффективного мультиплексирования разнородного трафика (речь + данные).

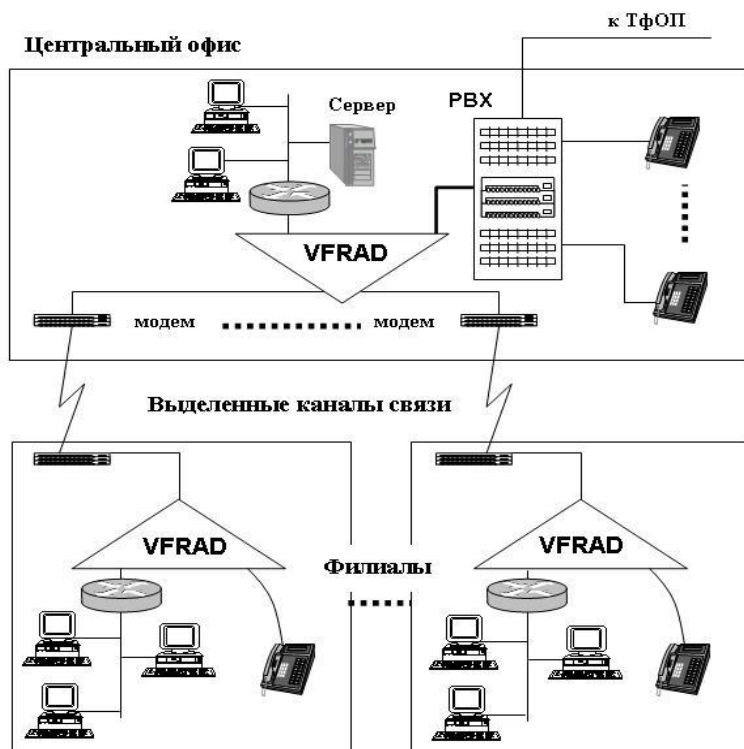


Рис. 1.23

В целом можно сказать, что технология FR является недорогой и высокоэффективной технологией и во многих случаях может являться хорошей альтернативой (по критерию цена/качество) выделенным каналам.

1.7.3. Сети ATM

В отличие от FR, которая изначально создавалась только для передачи данных (как впрочем и технология TCP/IP), технология ATM с самого начала создавалась как универсальная технология для передачи всех видов информации (речь, данные, видео и т.д.). Технология ATM разрабатывалась как основа для создания так называемой широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания – B-ISDN (сегодня чаще используется термин мультисервисная сеть). С этой целью в технологии ATM заложены

мощные механизмы, позволяющие ей эффективно передавать разнородный трафик. Но это же и определило высокую стоимость оборудования ATM (особенно, если учесть, что появилась эта технология уже достаточно давно) и привело к тому, что использование этой технологии в корпоративных сетях носит ограниченный характер. В современных условиях в связи с общей тенденцией стремительного роста производительности аппаратно-программных средств при одновременном снижении их стоимости можно отметить возрождение интереса к технологии ATM, хотя надо отметить и возрастающую конкуренцию со стороны, постоянно наращивающей возможности, технологии TCP/IP.

Асинхронный режим переноса (ATM), обеспечивает интегрированную передачу речи, данных, подвижных и неподвижных изображений методом статистического мультиплексирования в едином цифровом тракте. Передача всех видов информации в виде коротких пакетов фиксированной длины – ячеек, размером 53 байта позволяет перейти к распределению сетевых ресурсов по потребности, когда каждый потребитель в любой момент времени получает тот сетевой ресурс, который ему необходим в виде виртуального канала с изменяющейся скоростью передачи. Использование ячеек обеспечивает эффективное мультиплексирование разнородного трафика при определенных гарантиях качества обслуживания - QoS. Есть еще одна причина, по которой в ATM используются ячейки фиксированной длины. Дело в том, что данная технология с точки зрения размеров передаваемых блоков является компромиссом между технологиями, использующими метод КК и технологиями, использующими метод КП. Когда создавалась технология ATM, еще не было каналов со скоростями, измеряемыми в Гбит/с и, поэтому, с одной стороны надо было экономить каналные ресурсы, а с другой – в условиях относительно низкоскоростных каналов надо было обеспечить эффективное перемешивание трафика различных соединений, с тем чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания (в первую очередь для трафика реального времени). Для этого надо использовать блоки данных минимального размера, как это сделано в цифровой телефонии. Но, оставаясь в рамках КП, всегда есть ограничение на минимальный размер блока. Таким ограничением является размер заголовков. Поэтому в технологии ATM используется минимально возможный размер заголовка – 5 байт, который почти целиком используется под метку виртуального соединения (рис. 1.24) и отсутствуют привычные для технологий, использующих КП, разграничители блоков – флаги, что возможно только при использовании блоков постоянной длины – ячеек. Кстати по этой причине в ATM невозможно корректно реализовать датаграммный режим, и он всегда реализуется через установление виртуального соединения, т.е. с большими издержками. Вообще, передача поверх

АТМ трафика других технологий, использующих КП сопряжена с большими издержками, связанными с разбиением пакетов большого размера и размещением получающихся фрагментов в короткие ячейки на одном конце соединения и восстановлением из фрагментов пакетов на другом. Особенно, если учесть возможность потери ячеек.

Заголовок ячейки АТМ

интерфейс "пользователь-сеть"									интерфейс "сеть-сеть"								
8	7	6	5	4	3	2	1	Октет	8	7	6	5	4	3	2	1	Октет
GFC			VPI			1			VPI						1		
VPI			VCI			2			VPI			VCI			2		
VCI						3			VCI						3		
VCI			PTI		CLP		4		VCI			PTI		CLP		4	
HEC						5			HEC						5		

- GFC – поле типового управления потоком
- VPI – идентификатор виртуального пути
- VCI – идентификатор виртуального канала
- PTI – идентификатор, различающий ячейки, несущие информацию и пустые ячейки
- CLP – поле приоритета потери ячейки
- HEC – поле контроля ошибок заголовка

Рис. 1.24

Таким образом, в технологии АТМ реализован принцип коммутации ячеек, как разновидность пакетной коммутации с установлением виртуальных соединений. В этом отношении она близка к технологиям FR и X.25. Использование виртуальных соединений, обеспечивает лучшие по сравнению с технологией TCP/IP условия для обеспечения безопасности. При этом отпадает необходимость в организации "туннелей", одного из основных механизмов обеспечения безопасности, используемого в технологии TCP/IP, в которой каждый передаваемый пакет данных содержит в явном виде адреса источника и получателя. Тем не менее в АТМ разработаны надежные механизмы обеспечения безопасности, включающие:

- Аутентификацию, позволяющую обеим сторонам, участвующим в соединении быть уверенным, что абонент на противоположной стороне действительно является тем, за кого он себя выдает. Аутентификация основывается на криптографических методах;
- Конфиденциальность, т.е. предотвращение несанкционированного раскрытия передаваемой информации. Конфиденциальность обеспечивается шифровкой данных;

– Целостность, гарантирующая то, что во время сеанса данные не были изменены. Механизмы целостности используют шифрование контрольных сумм и последовательной нумерации передаваемых блоков данных.

– Контроль доступа, который ограничивает использование ресурсов или данных незарегистрированными пользователями.

В рамках Форума ATM имеется специальная рабочая группа по безопасности в ATM.

Как и FR технология ATM работает на 2-х нижних уровнях модели OSI. На рис. 1.25 представлена архитектура протоколов ATM. Физический уровень включает спецификацию передающей среды и обеспечивает передачу битов, включая линейное кодирование и электрооптическое преобразование. Следует отметить, что физический уровень предполагает использование синхронных каналов, например, SDH или PDH или каналов с собственной структурой цикла. Важной функцией физического уровня является определение границ ячеек. Эта функция реализуется путем проверки заголовка ячейки на наличие ошибок. В настоящее время, в соответствии со стандартами, оборудование ATM работает на скоростях до 622,08 Мбит/с (STM-4).

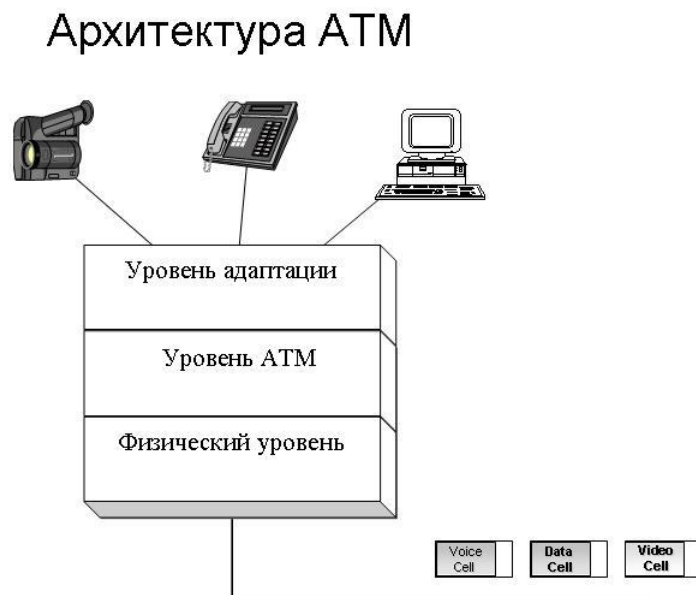


Рис. 1.25

Уровень ATM определяет, куда будут перенаправлены входящие ячейки, переустанавливает соответствующие идентификаторы соединения для следующего звена. При этом обеспечивается асинхронное мультиплексирование различных соединений. Уровень

АТМ также управляет функциями управления трафиком и буферами входящих и исходящих ячеек; он указывает следующему (более высокому) уровню ААЛ о наличии ситуации перегрузки во время передачи. Наконец, уровень АТМ контролирует соответствие трафика каждого соединения условиям обслуживания, которые были определены на этапе установления соединения (трафик-контракт) – формирование и контроль трафика. Отметим, что во время установления соединения при недостатке ресурсов сеть может отклонить вызов (или предложить обслуживание с другим качеством, поставить на ожидание и т. д.) с тем, чтобы обеспечить надлежащее обслуживание уже установленных соединений.

Для обеспечения возможности передачи разнородного трафика с требуемым качеством в технологии АТМ определены различные службы, которые реализуются с помощью уровня адаптации – ААЛ. Если физический уровень и уровень АТМ являются общими для всех служб и обеспечивают перенос ячеек, то уровень ААЛ зависит от служб. Основное назначение уровня ААЛ – изолировать высшие уровни от специфических характеристик уровня АТМ посредством отображения блоков данных протокола высшего уровня – PDU в информационное поле ячеек АТМ с целью возможности переноса по сети АТМ, а затем собрать блоки данных из ячеек АТМ для доставки верхним уровням. В АТМ определены следующие категории служб:

Службы реального времени:

- Постоянная битовая скорость (*Constant Bit Rate – CBR*);
- Переменная битовая скорость реального времени (*real-time Variable Bit Rate – rt-VBR*);

Службы не реального времени:

- Переменная битовая скорость не реального времени (*non-real-time Variable Bit Rate – nrt-VBR*);
- доступная битовая скорость (*Available Bit Rate – AVR*);
- Неопределенная битовая скорость (*Unspecified Bit Rate – UBR*);
- Гарантированная скорость передачи кадров (*Guaranteed Frame Rate – GFR*).

Служба CBR используется приложениями, для которых требуется передача с постоянной скоростью с жестким ограничением на величину задержки и её вариацию. Служба ориентирована на создание соединения. Типичным примером является передача речи с постоянной скоростью (64 кбит/с) или транспортирование по сети АТМ цифровых каналов Е1/Т1. Еще одним примером может служить передача видео с постоянной скоростью. Предоставление такой услуги в сетях АТМ называется эмуляцией канала – CES.

В службе rt-VBR также необходимо обеспечивать требуемые характеристики по задержке и её вариации для служб, которые

ориентированы на соединение. Отличие от службы CBR в том, что источниками трафика являются источники с переменной скоростью передачи. Типичными примерами являются передача подвижных изображений и звука со сжатием.

Служба nrt-VBR предназначена для приложений не реального времени, для которых допустимы более высокие задержки и их вариация по сравнению службами реального времени. При её использовании оконечные устройства указывают максимальную скорость передачи ячеек, а также описывают степень неравномерности потока ячеек. Основываясь на этой информации, сеть резервирует необходимые ресурсы с тем, чтобы удовлетворить требованиям приложений с точки зрения минимизации задержки и потерь ячеек. Служба ориентирована на соединения. Примером использования этой службы может служить резервирование железнодорожных и авиабилетов, банковские операции.

Служба ABR предназначена для приложений, генерирующих неравномерный трафик. Приложения с таким трафиком определяют максимальную или пиковую и минимальную скорости передачи ячеек (Peak Cell Rate – PCR и Minimum Cell Rate – MCR, соответственно). Сеть резервирует ресурсы таким образом, чтобы каждое приложение, использующее службу ABR, получило как минимум ресурс, обеспечивающий MCR. По мере возможности остающиеся свободными ресурсы распределяются между всеми приложениями. При этом используется механизмы обратной связи, обеспечивающие справедливое распределение ресурсов. Службу ABR может использоваться при передаче трафика между LAN.

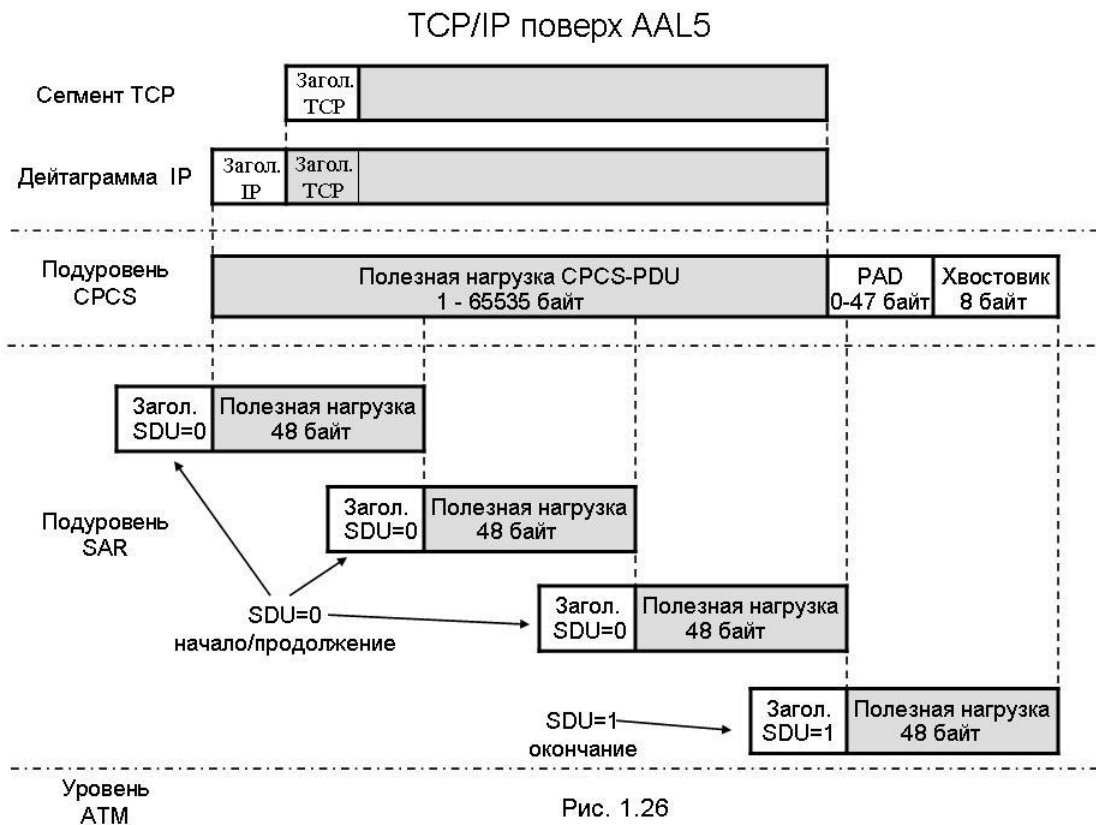
Служба UBR рассчитана на приложения, допускающие значительные задержки. Эта служба использует ресурсы, остающиеся свободными после удовлетворения потребностей других служб. Источник передачи не получает каких-либо гарантий по задержке и потере ячеек. Примером приложения, использующего службу UBR, может быть передача текста.

Служба GFR была разработана для поддержки передачи IP-трафика, который часто передается через ATM. Дело в том, что при передаче между маршрутизаторами, соединенными через сеть ATM, IP-пакетов, имеющих большие размеры, их разбивают на короткие ячейки. При этом, если хотя бы одна ячейка будет сброшена, например, вследствие перегрузки сети ATM, то придется повторно передавать все ячейки, из которых состоял исходный IP-пакет, т.е. повторять передачу большого количества уже переданных ячеек и, таким образом, еще больше увеличивать перегрузку. Поэтому, важно, чтобы все коммутаторы ATM знали о границах фрагментированных пакетов или кадров. Тогда при перегрузке коммутатор ATM сможет сбрасывать не одну ячейку, а и все последующие ячейки, вплоть до

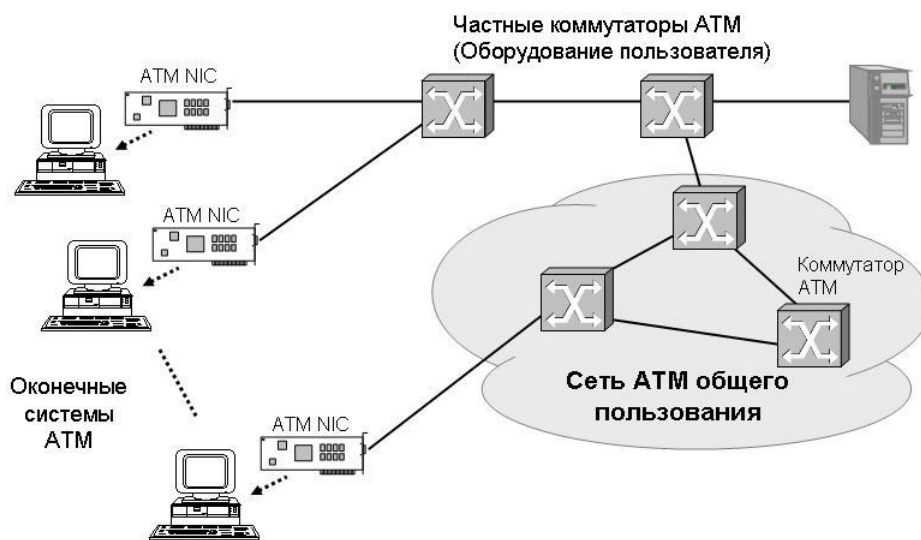
последней, соответствующей границе пакета. Именно эта возможность реализована в этой службе.

Требования по доставке информации в каждой службе существенно различаются. Например, речь и видео критичны к задержкам (требования соблюдения реального времени), а данные критичны к потерям информации (требование целостности информации). Поэтому на этапе установления соединения между сетью АТМ и приложениями заключается соглашение о качестве обслуживания, так называемый трафик-контракт. В этом соглашении, с одной стороны, описываются параметры подлежащего передаче трафика, а, с другой стороны, сеть обязуется гарантировать приложению запрашиваемые параметры качества передачи. В трафик-контракт входят параметры, характеризующие максимальную и минимальную скорости поступления ячеек от отправителя и такие параметры качества обслуживания, как задержка при передаче ячеек через сеть и её вариация, а также процент потерянных ячеек. Еще раз отметим, что сеть АТМ устанавливает соединение только в случае, если вновь устанавливаемое соединение не ухудшит параметры качества обслуживания для уже установленных соединений.

Для поддержки различных служб в технологии АТМ определен набор протоколов уровня ААЛ. Уровень адаптации состоит из двух подуровней: подуровень конвергенции (*Convergence Sublayer – CS*) и подуровень сегментации и сборки (*Segmentation And Reassembly sublayer – SAR*). В настоящее время определены 4 типа протоколов ААЛ: ААЛ1, ААЛ2, ААЛ3/4, ААЛ5. Из этих четырех типов на практике по различным причинам используются только 2 типа: ААЛ1 и ААЛ5. ААЛ1 используется для поддержки служб реального времени, а ААЛ5 – для передачи данных. На рис. 1.26 показано использование протокола ААЛ5 для передачи IP-пакетов.



Для обеспечения QoS в технологии ATM используются различные механизмы, из которых в первую очередь можно отметить алгоритм GCRA (Generic Cell Rate Algorithm), являющийся модификацией, рассмотренного ранее алгоритма “Leaky Bucket”.



Оконечные системы ATM содержат платы сетевого интерфейса ATM NIC и соответствующее сетевое программное обеспечение

Рис. 1.27

Технология ATM может применяться и как технология, используемая из конца в конец, так и как технология для объединения удаленных площадок предприятия. При использовании ATM из конца в конец необходимо обеспечить поддержку ATM всеми устройствами в локальной сети предприятия (рис. 1.27). Однако в настоящее время сложилась такая ситуация, что в большинстве предприятий используются локальные сети (*Local Area Network – LAN*), построенные, как правило, на основе достаточно дешевой технологии Ethernet. Очевидно, что переход на технологию ATM был бы связан с большими затратами. При этом надо иметь в виду, что технология Ethernet не стоит на месте и постоянно развивается. Для обеспечения совместимости с локальными сетями была разработана технология эмуляции локальной сети – *LAN Emulation (LANE)*. Данная технология призвана использовать преимущества ATM применительно к пользователям локальных сетей. Она фактически как бы превращает различные локальные сети в одну с сохранением функциональности локальной сети (рис. 1.28):

- сохранение доступности всех существующих приложений LAN;
- использование ATM в качестве транспортной среды между территориально разнесенными LAN;
- обеспечение доступа из LAN к серверам, подключенным непосредственно к ATM.

Использование технологии LANE

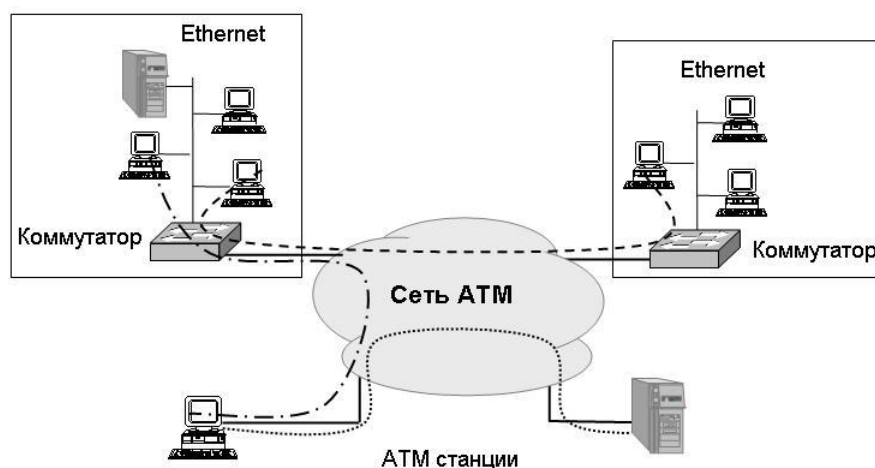


Рис. 1.28

Заключая рассмотрение технологии ATM отметим, что в настоящее время данная технология в наибольшей степени отвечает

задаче построения мультисервисной сети. Однако сейчас акцент все больше смещается в пользу технологии TCP/IP. Основными аргументами в пользу TCP/IP являются, с одной стороны, сложность и дороговизна оборудования ATM, а с другой стороны, доступность и повсеместная распространенность технологии TCP/IP, которая постепенно наращивает свои возможности, представляя таким образом эволюционный подход к построению мультисервисной сети. Немаловажным фактором также является стремительный рост канальных ресурсов, что в значительной мере нивелирует преимущество коротких пакетов (ячеек ATM).

1.7.4. Технология TCP/IP

Технология TCP/IP является, с одной стороны, одной из первых технологий передачи данных, берущей начало с сети ARPANET (конец 60-х годов прошлого века), а, с другой стороны, сегодня это наиболее популярная и постоянно развивающаяся технология, рассматриваемая многими как основа будущей мультисервисной сети. В современных условиях, когда постоянно появляющиеся новые решения обычно быстро вытесняют, даже не слишком старые технологии, такой интерес к технологии TCP/IP может показаться удивительным. Среди многих причин (как объективных, так и субъективных) успеха данной технологии хотелось отметить две. Во-первых, эта технология наиболее тесно привязана к компьютерным сетевым технологиям и, прежде всего, к технологии Ethernet. Во-вторых, и это особенно важно, TCP/IP никогда не предлагал завышенного сервиса. Эта технология всегда предлагала только те услуги, которые были легко и, соответственно, дешево реализуемы в соответствующее время. Другими словами возможности технологии росли вместе с технологическими возможностями (элементная база, скорость передачи) и, поэтому, стоимость услуг всегда была низкой. В то же время другие технологии, например, ISDN или ATM изначально предлагали услуги, реализация которых была на пределе технологических возможностей своего времени, и эти услуги были и слишком дорогими и не востребованными. Так, в 80-х годах прошлого века ISDN предлагал услуги передачи данных, но в то время персональных компьютеров практически не было так, что большинству населения эта услуга не требовалась.

TCP/IP

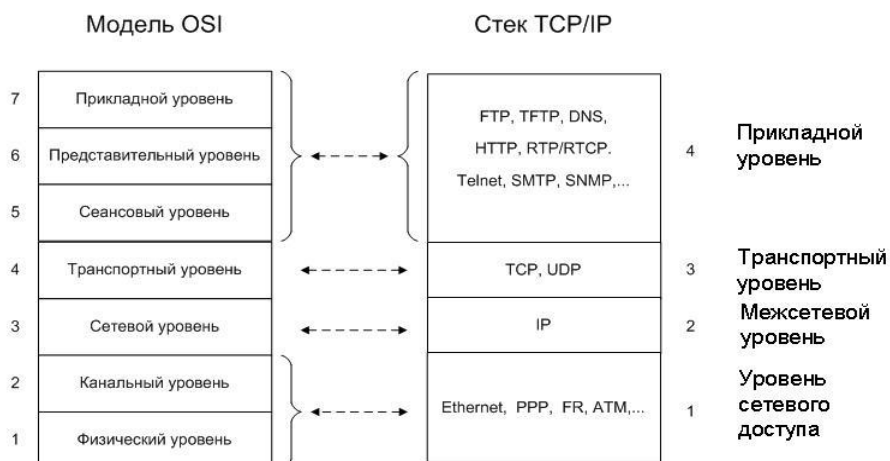


Рис. 1.29

На рис. 1.29 представлен стек протоколов TCP/IP и его соответствие модели OSI. Отличительной особенностью технологии TCP/IP является, то, что IP-пакеты могут передаваться, с использованием различных сетевых технологий, в том числе посредством уже рассмотренных, которые, вообще говоря, являются самостоятельными, со своей адресацией и своими способами идентификации трафика. Такая особенность является с одной стороны достоинством, а с другой – недостатком технологии, т.к. порождает проблемы установления соответствия между IP-адресацией и адресацией, используемой технологией, используемой для переноса IP-пакетов.

На рис. 1.30 показан пример взаимодействия двух устройств, одно из которых подключено к локальной сети Ethernet, а другое к сети ATM. Устройство А имеет два адреса. Во-первых, как устройство в сети Ethernet, оно имеет MAC-адрес. Во-вторых, как устройство в сети TCP/IP оно имеет IP-адрес. Приложения используют IP-адреса, а передача кадров по сети Ethernet осуществляется с использованием MAC-адресов. Аналогично, устройство В имеет ATM-адрес и IP-адрес. Поэтому возникает задача отображения IP-адресов на адреса той технологии, которая используется для передачи IP-пакетов. Решение этой задачи зависит от используемой технологии. Если это широковещательная технология, например, Ethernet, то применяются широковещательные запросы (протокол ARP). В противном случае, например, при использовании технологий ATM, соответствие между IP-адресами и адресами ATM можно установить используя таблицы, составляемые вручную или автоматически (технологии «клиент-сервер»).

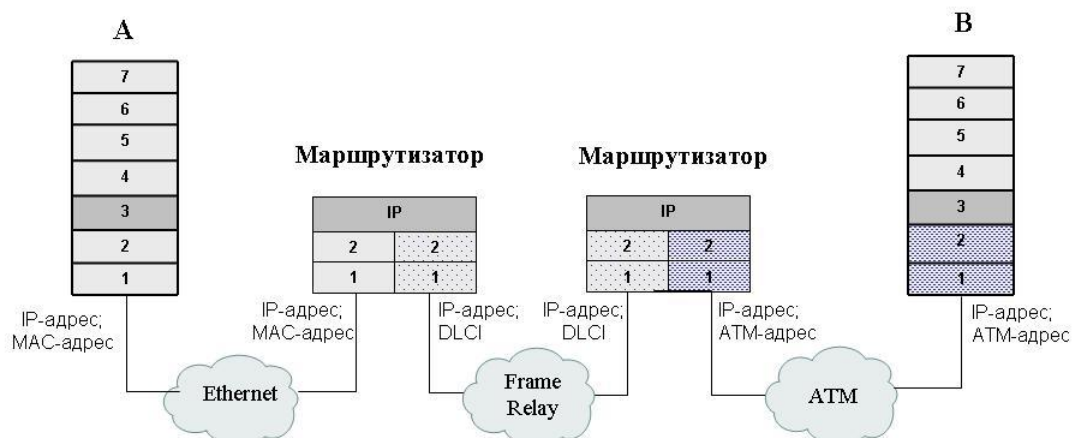


Рис. 1.30

Другой особенностью технологии TCP/IP, отличающей её от уже рассмотренных (X.25, FR, ATM) является использование датаграммного режима передачи пакетов, т.е. режима без установления соединения. Данный режим имеет свои достоинства и недостатки. Одним из недостатков этого режима является возможность нарушения порядка следования пакетов. В целом протокол сетевого уровня IP не обеспечивает гарантий доставки. Для обеспечения надежной доставки в стеке TCP/IP используется протокол транспортного уровня TCP. Можно сказать, что этот протокол эмулирует виртуальные соединения. При этом в протоколе TCP используются механизмы, аналогичные механизмам протоколов, входящим в семейство протоколов HDLC (последовательная нумерация, управление потоком посредством механизм окна, ...). Приложения, допускающие потери пакетов, (например, передача речи) используют на транспортном уровне протокол UDP. На уровне приложений имеется много различных протоколов, количество которых непрерывно увеличивается. Следует отметить, что стек протоколов TCP/IP постоянно совершенствуется с тем, чтобы обеспечить все возрастающие потребности, вызываемые стремительным расширением сферы его применения. Для поддержки качества обслуживания – QoS введены механизмы дифференцированного (*DiffServ*) и интегрированного (*IntServ*) обслуживания. Несмотря на то, что, как отмечалось, технология TCP/IP работает в датаграммном режиме, тем не менее, она фактически (иногда в неявном виде), тоже использует виртуальные соединения. Во-первых, это соединения в технологии

MPLS, во-вторых, это соединения в рамках предоставления интегрированных услуг – Intserv (протокол RSVP), в-третьих, это соединения между смежными маршрутизаторами, соответствующие классам обслуживания – CoS в концепции дифференцированных услуг – Diffserv. Фактически техника виртуальных соединений реализуется при коммутации 2-го уровня и многоуровневой коммутации. В ближайшее время ожидается переход на новую версию протокола IP – IPv6.

1.7.5. Технология Ethernet в магистральных сетях передачи данных

В 1998 году появился Gigabit Ethernet, а в 2002 году – технология 10 Gigabit Ethernet. Раньше в Ethernet использовался метод доступа CSMA/CD (полудуплексный режим – Half Duplex) и основным оборудованием в сети были концентраторы или хабы (*Hub*), работающие на 1-м уровне модели OSI. Метод CSMA/CD, основанный на обнаружении коллизий, имеет ограничения на максимальную длину сегмента, причем, чем выше скорость передачи, тем меньше допустимая длина сегмента. Если на скорости 10 Мбит/с максимальная длина сегмента составляет 2500 м, то на скорости 1000 Мбит/с – только 25 м. Кроме того, сеть, построенная на концентраторах, плохо масштабируется. Сегодня можно говорить об отказе от CSMA/CD и переходе на коммутируемый Ethernet (полнодуплексный режим – Full Duplex) с использованием коммутаторов (*Switch*), работающих на 2-м уровне OSI. Использование коммутаторов позволило снять ограничения на длину сегмента, связанные с методом CSMA/CD. Дополнительным аргументом в пользу перехода на коммутируемый Ethernet может служить также то, что в настоящее время в технологию Ethernet введены механизмы приоритизации трафика (IEEE 802.1p), что очень важно для построения мультисервисных сетей. Введение возможности по созданию виртуальных локальных сетей – VLAN (IEEE 802.1Q) значительно увеличило возможности по структуризации локальных сетей. Тем не менее, в технологии еще остаются ограничения, связанные, например, с топологией сети (протокол STP – IEEE 802.1D).

С появлением 10 Gigabit Ethernet появилась возможность использования привычной для всех технологии не только в локальных сетях, но и в региональных сетях (Metropolitan Area Network – MAN) и даже в глобальных сетях (Wide Area Network – WAN). Особенностью данной технологии являются:

- использование только режима Full Duplex;
- управление скоростью передачи;
- использование только оптической среды передачи;
- возможность использования на расстояниях до 40 км;

– возможность подключения к оборудованию SDH/SONET.

Сегодня даже появился термин Metro Ethernet, означающий использование технологии Ethernet в сетях MAN. На рис. 1.31 и 1.32 показаны различные варианты использования 10 Gigabit Ethernet для построения корпоративной сети. Преимущества использования концепции Metro Ethernet для построения корпоративной сети очевидны и заключаются, прежде всего, в использовании единой технологии во всей корпоративной сети без необходимости преобразования протоколов.

Transparent LAN 802.1QinQ

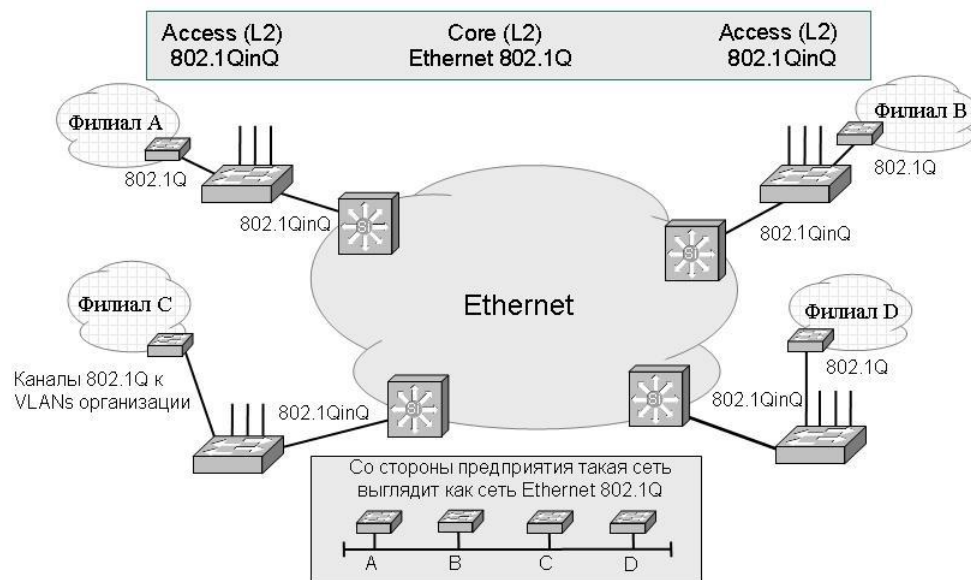


Рис. 1.31

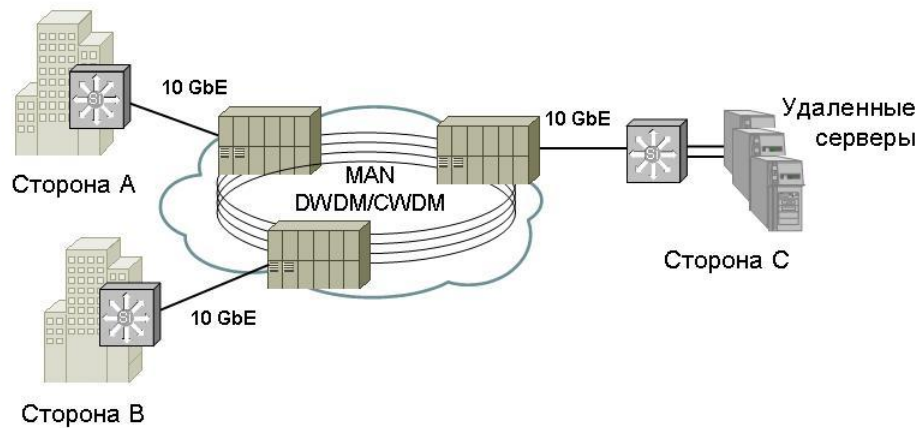


Рис. 1.32

С локальными сетями связано и появление в сетях MAN технологии динамических (эластичных) пакетных колец – RPR (IEEE 802.17), которая становится все более популярной (рис. 1.33). В основу данной технологии положена известная локальная сеть с методом доступа “Вставка регистра”.

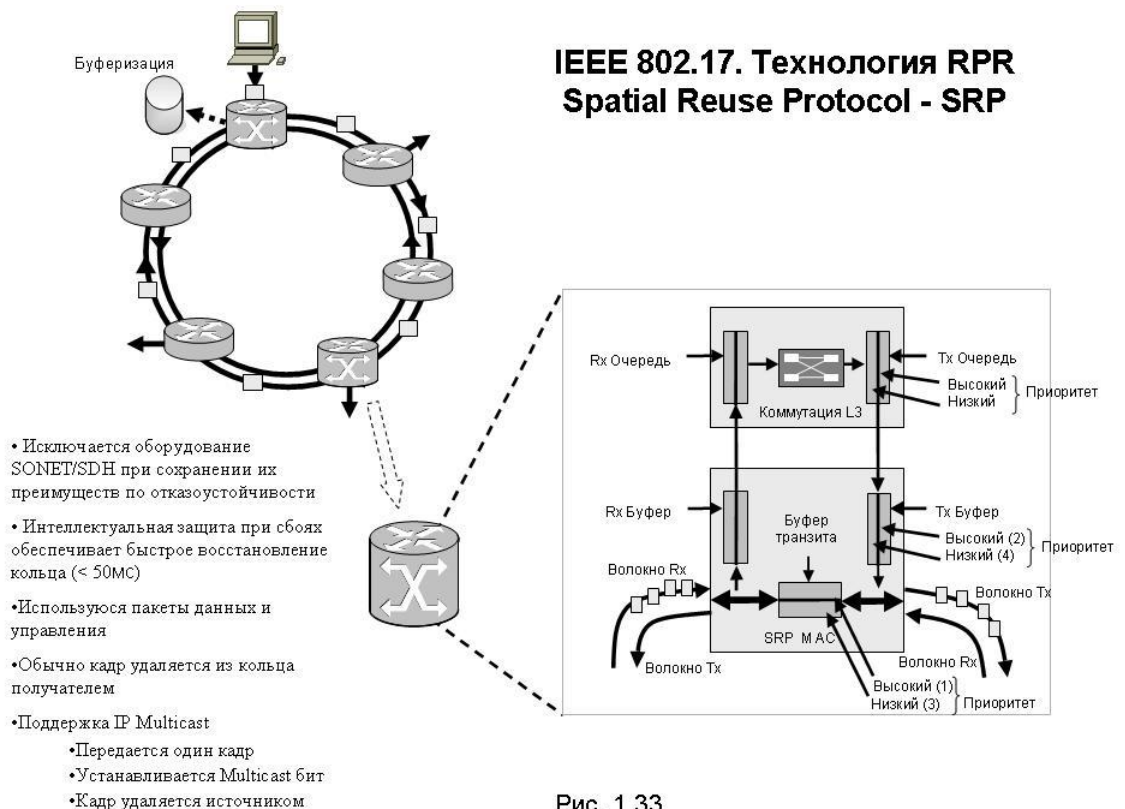


Рис. 1.33

Как уже говорилось, сегодня при построении мультисервисных сетей сделан выбор в пользу технологии TCP/IP. И здесь решающим фактором, позволяющим данной технологии (и вообще технологиям КП) претендовать на обеспечение мультисервисности, конечно же, является переход от скоростей передачи, измеряемых в кбит/с к скоростям, измеряемым в Мбит/с, Гбит/с и Тбит/с. То, что в технологии АТМ (уменьшение времени передачи пакета) достигалось путем максимального возможного уменьшения размера пакета (короткие ячейки), сегодня достигается за счет резкого увеличения скорости передачи. Это позволяет, используя механизмы приоритезации, обеспечить возможность передачи трафика реального времени (РВ) средствами КП, с приемлемыми задержкой и её вариацией.

Тем не менее, сети с КП хорошо передают трафик РВ только тогда, когда его доля в общем объеме трафика невелика. В самом деле, если загрузка сети близка к 0, то задержка, связанная с передачей через сеть, минимальна и практически равна некоторой постоянной величине, которая, в основном, определяется суммой задержек передачи, распространения и коммутации, независимо от наличия или отсутствия в сети приоритезации. При увеличении загрузки задержка увеличивается и может изменяться во времени (очереди). Изменение загрузки сети в течение сеанса связи приводит к дополнительному увеличению вариации задержки. Введение приоритезации, например, для трафика РВ приводит к перераспределению задержек между двумя (или большим числом) видами трафика, но не устраняет причин вариации задержки. При этом, если доля трафика реального времени увеличивается, то эффективность приоритезации снижается, что, в конце концов, приводит к ситуации наличия в сети только одного вида трафика, только теперь это трафик реального времени. Выделение канальных ресурсов для трафика РВ по существу приводит к тому, что этот трафик передается теми же средствами КП в выделенной для него доле канальных ресурсов и, соответственно, как уже сказано, может удовлетворительно передаваться только, если его доля, теперь уже в выделенной части канальных ресурсов, не велика.

Сказанное выше подтверждается и практическими рекомендациями. Так, по рекомендации компании Cisco доля трафика РВ не должна превышать 33% от доступной пропускной способности. Таким образом, сети с КП не инвариантны к структуре трафика (ограничение на долю трафика РВ), что, очевидно, является недостатком. Отмеченные ограничения являются следствием отсутствия в сетях с КП учета параметров времени. С одной стороны, асинхронность, характерная для сетей передачи данных, обеспечивает хорошее использование сетевых ресурсов. С другой стороны, в таких сетях каждое устройство действует в значительной мере независимо от других. Поступившие в сетевое устройство пакеты надо как можно

скорее отправить дальше. Такое правило, хорошо работающее в двухточечной сети, в сети со сложной топологией, содержащей много узлов, постоянно создает условия для возникновения локальных перегрузок, которые затем пытаются разрешить, используя сложные механизмы управления трафиком. Данная особенность, присущая сетям с КП и приводящая к образованию очередей большого размера, допустима при передаче трафика данных, но оказывает крайне негативное воздействие на передачу трафика РВ.

Можно отметить, что сегодня в рамках технологий КП отсутствуют механизмы обеспечения QoS, сравнимые по эффективности с механизмами, используемыми в КК, так что вопросы обеспечения QoS в значительной мере возлагаются на оконечное оборудование.

Каждый из существующих методов коммутации хорошо подходит для трафика определенного типа. Очевидно, что с точки зрения накладных расходов, для передачи трафика с низким коэффициентом пульсаций лучше использовать метод КК, для передачи трафика с высоким коэффициентом пульсаций – КП. В современных сетевых технологиях, базирующихся на одном методе коммутации, в полной мере учесть этот параметр практически невозможно.

Если бы в реальных условиях доминировал трафик одного типа, то можно было бы строить мультисервисную сеть, оптимизируя её для передачи трафика соответствующего типа. Однако соотношение объемов трафика разного типа с течением времени может изменяться и тогда, оптимальную сегодня сеть необходимо будет коренным образом модифицировать. Решая задачу построения мультисервисной сети на базе одной технологии, мы на самом деле создаем моносервисную сеть с эмуляцией мультисервисности. В такой сети имеется один базовый сервис, соответствующий используемой технологии, так что трафик всех приложений пропускается через один и тот же стек протоколов независимо от того подходит этот стек для конкретного приложения или нет. Отсюда и происходят дополнительные издержки, связанные со стремлением обеспечить требуемый сервис фактически используя “негодные” средства. В этом и состоит задача эмуляции мультисервисности, неизбежно сопровождаемая значительными издержками.

В определенном смысле можно говорить, что в настоящее время реализуется очередной этап построения мультисервисной сети (если рассматривать ISDN и B-ISDN на основе АТМ, как предшествующие), учитывающий современное состояние сетевых технологий и имеющиеся технологические возможности. В будущем надо стремиться к действительно мультисервисной сети, которая будет обеспечивать прозрачную передачу разнородного трафика при эффективном использовании сетевых ресурсов.

Выводы

1. Информационная система (база) – это организационно-упорядоченная взаимосвязанная совокупность средств и методов информационных технологий, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели. Информационные системы создаются для обеспечения взаимодействия информационных процессов в природе и обществе, и связанного с этим взаимодействием обмена какими-либо сигналами или сведениями в рамках организационно-технической системы.
2. Современная *информационная сеть* – это сложная распределенная в пространстве техническая система, представляющая собой функционально связанную совокупность программно-технических средств обработки и обмена информацией и состоящая из территориально распределенных информационных узлов (подсистем обработки информации) и физических каналов передачи информации их соединяющих.
3. Компьютерные сети делят на типы по территориальному признаку. К *локальным сетям* – *Local Area Networks (LAN)* – относят сети компьютеров, сосредоточенные на территории в радиусе не более 1-2 км. В общем случае локальная сеть представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации. *Глобальные сети* – *Wide Area Networks (WAN)* – объединяют территориально рассредоточенные компьютеры, которые могут находиться в различных городах и странах. *Городские сети (или сети мегаполисов)* – *Metropolitan Area Networks (MAN)* – предназначены для связи локальных сетей в масштабах города и соединения локальных сетей с глобальными.
4. Основной международной организацией, занимающейся стандартизацией локальных информационно-вычислительных сетей, является комитет 802 американского института IEEE.
5. Базовыми технологиями проводных локальных сетей являются Ethernet (шинная топология) и Token Ring (кольцевая топология).
6. Расширяется использование информационных сетей, основанных на беспроводных технологиях Wi-Fi, WiMAX и др.
7. Методы доступа в локальных сетях делятся на конфликтные (CSMA/CD) и бесконфликтные (маркерный метод).
8. С появлением Gigabit Ethernet 10 Gigabit Ethernet технология Ethernet успешно применяется не только в локальных сетях, но и в магистральных (MAN и WAN).

9. Доминирующей технологией в магистральных сетях становится технология TCP/IP. Именно эта технология становится основой построения мультисервисных сетей нового поколения NGN.

Литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник. – С-Пб.: Питер, 2003.
2. Перспективы развития инфокоммуникаций. / Под редакцией проф. А.А. Гоголя и проф. Г.Г. Яновского. - СПб.: Петеркон, 2003.
3. Жигадло В.Э. Архитектура телекоммуникационных сетей. СПб: ВАС, 1999.
4. Иммореев И.Я., Судаков А.А., Сверхширокополосная помехоустойчивая система скрытой связи с высокой скоростью передачи данных. - Труды Всероссийской научной конференции-семинара «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике» (СРСА`2003), Россия, Муром, Июль 2003.
5. Шахнович И. В., Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16 для диапазона ниже 11 ГГц. ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес, Россия, Москва, 2005, №1
- 6 Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации, М.: Техносфера, серия: Мир связи, 2005
7. Кучерявый Е.А. и Молчанов Д.А. Сети WiMAX, их характеристики и перспективы внедрения, <http://www.baltic-it.ru/publications.html>
8. Олег Нечай. Мобильный WiMax получил путёвку в жизнь. Сети. 12 декабря 2005 года
9. Стандарты мобильной связи, <http://www.mobil.ru/article.php?advice=1>
10. WiMax – беспроводная сеть завтрашнего дня, <http://www.mobil.ru/article.php?advice=85>
11. Феизов Т. А., Горизонты Wi-Fi, <http://www.mobil.ru/article.php?advice=78>
12. WiMAX Forum white papers, http://www.wimaxforum.org/technology/White_Papers
13. The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, <http://www.ieee802.org/16/>
14. IEEE 802.16 Published Standards and Drafts, <http://www.ieee802.org/16/published.html>
15. http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgi_update.htm
16. http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgf_update.htm
17. http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tge_update.htm

18. <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11-1999.pdf>
19. <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11a-1999.pdf>
20. <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.11b-1999.pdf>
21. http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgg_update.htm
22. http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgh_update.htm
23. <http://www.uwbgroup.ru/>
24. <http://www.cdma.ru/technology/standart/evdo/>