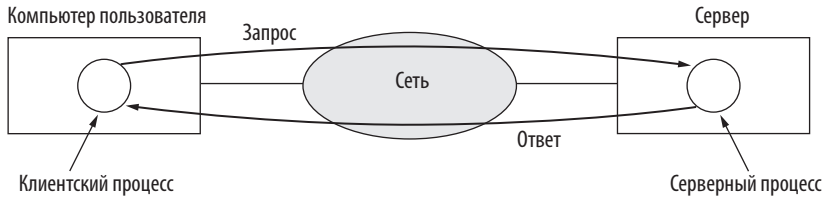
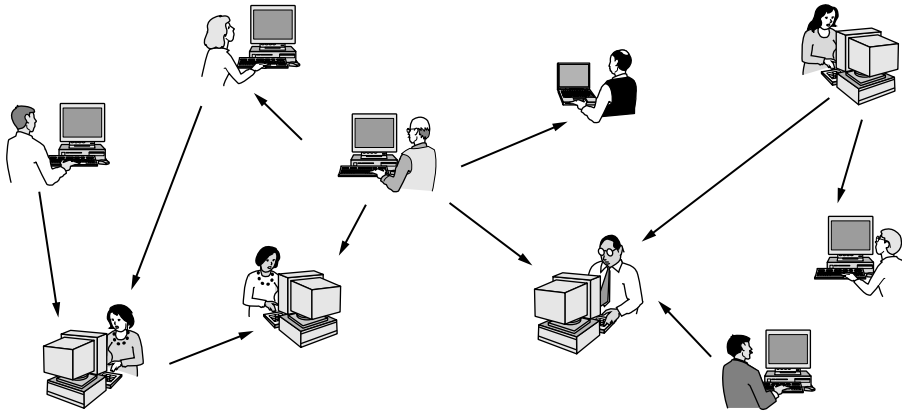


ответного сообщения. При получении запроса серверный процесс производит требуемые действия или находит запрашиваемые данные, после чего отправляет ответ. Эти сообщения показаны на илл. 1.2.



Илл. 1.2. Модель «клиент-сервер» включает запросы и ответы

Еще одна популярная модель доступа к информации — **одноранговая**, или **пиринговая (peer-to-peer), связь** (Парамешваран и др.; Parameswaran et al., 2001¹). При таком виде связи пользователи, образующие не слишком тесно связанную группу, могут обмениваться сообщениями с другими ее участниками, как показано на илл. 1.3. По сути, каждый из них может взаимодействовать с одним или несколькими людьми; никакого четкого деления на клиенты и серверы нет.



Илл. 1.3. В одноранговой системе отсутствует деление на клиенты и серверы

Во многих одноранговых системах, например BitTorrent (Коэн; Cohen, 2003), отсутствует централизованная база данных контента. Вместо этого каждый пользователь поддерживает свою локальную базу данных, а также список остальных участников системы. Новый пользователь может обратиться к любому участнику системы, чтобы получить его контент и имена остальных пользователей (для поиска дополнительного контента и прочих имен). Процесс поиска можно

¹ Список всех упоминаемых в тексте изданий вы найдете в конце книги в разделе «Алфавитный список литературы». — *Примеч. ред.*

повторять бесконечно, создавая обширную локальную базу данных. Для людей подобная деятельность утомительна, но компьютеры справляются с ней на ура.

Одноранговые системы связи часто применяются для распространения музыки и видео. Пик их популярности пришелся на 2000-е годы, с появлением сервиса обмена музыкой Napster, закрытого после грандиозного скандала по поводу нарушения авторских прав; см. Лам и Тань (Lam and Tan, 2001) и Македония (Macedonia, 2000). Сегодня существуют законные способы применения пиринговой связи. В их числе обмен музыкой, являющейся общественным достоянием, обмен семейными фотографиями и видео, а также скачивание пользователями общедоступных пакетов программного обеспечения. Кстати, одно из наиболее популярных интернет-приложений — электронная почта — по сути является одноранговой системой. Данный вид связи, вероятно, в будущем станет применяться еще более широко.

1.1.2. Общение

Общение онлайн — ответ XXI века на телефон XIX века. Электронная почта уже сейчас используется каждый день миллионами людей по всему миру, и ее популярность постоянно растет. Вложение в сообщения аудио- и видеофайлов наряду с текстом и рисунками — вполне обычное дело. Реализация отправки запахов может потребовать больше времени.

Многие пользователи интернета используют для общения тот или иной вид **мгновенного обмена сообщениями (instant messaging)**. Эта технология, ведущая начало от программы *talk* операционной системы Unix, используемой примерно с 1970 года, позволяет двум людям писать друг другу сообщения в режиме реального времени. Существуют также сервисы обмена сообщениями между несколькими людьми. Например, сервис **Twitter**, позволяющий отправлять короткие сообщения (с возможностью добавления видео), называемые твитами, своим друзьям, другим подписчикам или вообще всему миру.

Приложения могут использовать интернет для передачи аудио (интернет-радиостанции, стриминговые музыкальные сервисы) и видео (Netflix, YouTube). Это не только дешевый способ общения с друзьями из дальних стран, но и удобная возможность для удаленного обучения, с возможностью посещать занятия в восемь утра без необходимости вставать с кровати. В долгосрочной перспективе использование компьютерных сетей для расширения возможностей коммуникации будет иметь важнейшее значение. Благодаря им люди из далеких от цивилизации мест могут обрести такой же доступ к различным сервисам, что и жители мегаполиса.

Социальные сети (social networks) предоставляют и возможность общаться, и доступ к информации. Поток данных в них определяется публично заявленными взаимоотношениями между пользователями. Одна из наиболее популярных социальных сетей — **Facebook**. С его помощью пользователи могут создавать/обновлять свои личные профили и делиться обновлениями со своими друзьями. Другие приложения соцсетей предоставляют также возможности знакомства с друзьями друзей, отправки друзьям новостных сообщений (как в вышеупомянутом Twitter) и многое другое.

В еще более общем случае люди могут совместно генерировать контент. В качестве примера можно привести технологию **вики (wiki)** — совместно созданный и редактируемый членами сообщества веб-сайт. Наиболее известный пример использования технологии вики — **Википедия**, онлайн-энциклопедия, доступная всем для чтения и редактирования; но существуют тысячи других вики.

1.1.3. Электронная коммерция

Покупка товаров через интернет весьма популярна. Пользователи просматривают онлайн-каталоги товаров тысяч компаний и заказывают доставку прямо домой. А если покупатель приобрел товар через интернет, но не может разобраться, как им пользоваться, — к его услугам онлайн-техподдержка.

Еще одна сфера широкого применения электронной коммерции — доступ к финансовым услугам. Многие уже сейчас производят оплату, управляют банковскими счетами и даже инвестируют средства через интернет. Благодаря финансовым технологиям (или финтех-приложениям) пользователи осуществляют самые разнообразные денежные онлайн-операции, включая переводы между банковскими счетами или между друзьями.

Немалый размах приобрели онлайн-аукционы б/у товаров. В отличие от обычной электронной коммерции, основанной на модели «клиент-сервер», онлайн-аукционы производятся по принципу одноранговой сети. Это значит, что их участники могут быть как покупателями, так и продавцами одновременно, несмотря на наличие центрального сервера, на котором хранится база данных продаваемых товаров.

Некоторые формы электронной коммерции получили изящные короткие названия-аббревиатуры, в основе которых лежит тот факт, что в английском языке «to»¹ и «2» произносятся одинаково. Наиболее распространенные из них представлены на илл. 1.4.

Аббревиатура	Полное название	Пример
B2C	Бизнес для потребителя (Business-to-consumer)	Заказ книг в интернете
B2B	Бизнес для бизнеса (Business-to-business)	Производитель автомобилей заказывает шины у поставщика
G2C	Правительство для потребителя (Government-to-consumer)	Правительство распространяет через интернет бланки налоговых деклараций
C2C	Потребитель для потребителя (Consumer-to-consumer)	Продажа на онлайн-аукционе б/у товаров
P2P	Пиринговые сети (Peer-to-peer)	Распространение музыки или файлов; Skype

Илл. 1.4. Некоторые виды электронной коммерции

¹ Английский многозначный предлог, в данном случае обозначающий «для». — *Примеч. пер.*

1.1.4. Развлечения

Четвертая наша категория — развлечения. Индустрия домашних развлечений в последние годы растет семимильными шагами. Онлайн-распространение музыки, фильмов, радио- и телепередач конкурирует с традиционными механизмами потребления контента. Пользователи могут находить, покупать и скачивать песни в формате MP3 и фильмы в высоком качестве, а затем добавлять их в свою домашнюю коллекцию. Во многие дома телешоу сейчас попадают посредством систем **IPTV (IP-телевидение)**, в основе которых лежат IP-технологии (взамен кабельного телевидения или радио). С помощью приложений для потоковой передачи мультимедиа пользователи могут слушать интернет-радиостанции или смотреть фильмы или свежие эпизоды любимых телесериалов. Естественно, весь этот контент можно перемещать между различными устройствами и выводить на всевозможные экраны и динамики в пределах квартиры (обычно с помощью беспроводной сети).

Вероятно, скоро появится возможность моментально найти любой когда-либо снятый фильм или телепрограмму и вывести их на свой экран. В будущем фильмы станут интерактивными, и пользователи смогут выбрать сюжетную линию (убить ли Макбету короля сейчас или подождать более благоприятного момента?) из нескольких альтернативных сценариев для каждого случая. Прямой эфир на телевидении также может быть интерактивным: зрители могут участвовать в телевикторинах, выбирая участников, и т. д.

Еще один вид развлечений — игры. Уже сейчас существуют многопользовательские онлайн-симуляторы. Например, прятки в виртуальном подземелье или авиасимуляторы, в которых игроки одной команды пытаются сбить игроков из команды противника. Виртуальные миры служат сценой, на которой тысячи игроков сосуществуют в одной вселенной с трехмерной графикой.

1.1.5. Интернет вещей

Термин **повсеместные вычисления (ubiquitous computing)** означает, что вычисления неразрывно вплетены в повседневную жизнь согласно концепции Марка Вайзера (Mark Weiser, 1991). Сегодня многие дома обеспечиваются системами безопасности с датчиками на дверях и окнах. Кроме того, существует множество других видов датчиков, которые можно подключить к системе умного дома, например, для учета потребления электроэнергии. Интеллектуальные счетчики электроэнергии, газа и воды могут отправлять показания по сети. Это позволяет коммунальным компаниям экономить средства и не нанимать специальных людей для съема показаний. Датчики дыма могут отправлять сигнал непосредственно пожарным вместо запуска громкой сирены (от которой все равно будет мало толку, если дома никого нет). Умные холодильники могли бы сами, например, заказывать молоко, если оно почти закончилось. По мере снижения стоимости датчиков и передачи данных все больше измерений и отчетов будет осуществляться с помощью сетей. Эта непрерывная революция, получившая название **IoT (internet of things — интернет вещей)**, ведет к подключению практически всех приобретаемых нами электронных устройств к интернету.

Бытовые электроприборы все чаще подключаются к сети. Например, некоторые дорогие камеры подключаются к беспроводной сети и отправляют фотографии на ближайший экран для просмотра. Профессиональные фоторепортеры также пересылают снимки редакторам в режиме реального времени, сначала по беспроводной сети к точке доступа, а затем через интернет. Приборы, подключаемые к розетке (например, телевизоры), могут использовать **связь по ЛЭП (power-line networks)** для передачи информации по дому через электропроводку. Присутствием подобных устройств в сети трудно удивить. Однако объекты, которые обычно не ассоциируются с компьютерами, также могут считывать и передавать информацию. Например, душ может фиксировать расход воды (вы можете следить за ним прямо во время мытья), а по завершении отправить отчет в домашнее приложение экологического мониторинга, чтобы помочь вам сэкономить на воде.

1.2. ТИПЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Существует множество видов компьютерных сетей. В этом разделе перечислены некоторые из них. Это мобильные и широкополосные сети доступа (через них обычно осуществляется выход в интернет); сети дата-центров (они хранят ежедневно используемые нами данные и приложения); транзитные сети (соединяющие сети доступа с дата-центрами); корпоративные сети (внутренние сети университетов, компаний и других организаций).

1.2.1. Сети широкополосного доступа

В 1977 году президентом Digital Equipment Corporation (на тот момент второго по величине производителя компьютеров в мире после IBM) был Кен Олсен (Ken Olsen). Когда его спросили, почему Digital не стремится завоевать рынок персональных компьютеров, он сказал: «Не вижу никакой причины, зачем кому-то держать компьютер дома». Однако история доказала обратное, и Digital канула в Лету. Изначально люди покупали компьютеры для работы с документами и игр. Сегодня же основная причина покупки домашнего компьютера — доступ в интернет. Кроме того, многие бытовые электроприборы (например, ТВ-тюнеры, игровые консоли, телевизоры и даже дверные замки) содержат встроенные компьютеры с возможностью доступа к компьютерным сетям, в первую очередь беспроводным. Кроме того, домашние сети широко используются для развлечений, включая прослушивание музыки, просмотр фото и видео, а также создание контента.

Доступ в интернет предоставляет домашним пользователям возможность **подключения (connectivity)** к удаленным компьютерам. Как и в случае с компаниями, домашние пользователи могут просматривать информацию, общаться с другими людьми, а также покупать товары и услуги. Главное преимущество состоит в возможности подключения этих устройств к другим компьютерам, находящимся за пределами дома. Боб Меткалф (Bob Metcalfe), создатель Ethernet, выдвинул гипотезу, что полезность сети пропорциональна квадрату числа ее пользователей, поскольку оно приближенно равно числу возможных

соединений (Гилдер; Gilder, 1993). Эта гипотеза известна под названием «Закон Меткалфа». Она объясняет, как колоссальная популярность интернета связана с его размером.

Сегодня число широкополосных сетей доступа быстро растет. Во многих уголках мира домашний широкополосный доступ предоставляется с помощью медных проводов (например, линий телефонной связи), коаксиальных кабелей (в качестве примера можно привести кабельное ТВ/интернет) или оптоволоконной связи. Скорость широкополосного доступа в интернет также продолжает расти. Многие провайдеры в развитых странах обеспечивают для домашних пользователей скорость 1 Гбит/с. В некоторых регионах, особенно в развивающихся странах, основной вид доступа в интернет — через мобильные сети.

1.2.2. Мобильные и беспроводные сети

Мобильные компьютеры, такие как ноутбуки, планшеты и смартфоны, — один из наиболее активно развивающихся сегментов компьютерной индустрии. С точки зрения продаж они уже давно обогнали традиционные ПК. Почему они так востребованы? Люди часто используют мобильные устройства вне дома: для чтения и отправки электронной почты, твитов, просмотра фильмов, скачивания музыки, игр, доступа к картам или просто для веб-серфинга. Пользователи хотят иметь возможность делать все то же самое, что и дома или в офисе, причем везде — на суше, на море и в воздухе.

Почти для всех этих действий необходимо подключение к интернету. А поскольку проводное соединение в автомобилях, на кораблях и самолетах невозможно, растет интерес к беспроводным сетям. Примером таких сетей являются всем известные сотовые сети. Они предоставляются телефонными операторами и обеспечивают мобильную связь. Беспроводные **хот-споты (hotspots)** на основе стандарта 802.11 — еще одна разновидность беспроводной сети для мобильных компьютеров и переносных устройств (телефонов и планшетов). Они растут как грибы всюду, куда только ходят люди. В результате возникает «лоскутное одеяло» покрытия в кафе, отелях, аэропортах, школах, поездах и самолетах. При наличии мобильного устройства и беспроводного модема можно просто подключиться к интернету через беспроводную точку доступа, так же как через обычную проводную сеть.

Беспроводные сети необходимы водителям грузовиков, такси, автомобилей служб доставки, а также специалистам по ремонту — для связи с диспетчерской. Например, очень часто таксистами работают независимые предприниматели, а не служащие таксопарка. Обычно такси оборудовано специальным дисплеем для водителя. При поступлении заказа диспетчер указывает место, откуда надо забрать пассажира, и пункт назначения. Эта информация отображается на дисплеях водителей со звуковым сигналом. Заказ получает таксист, первым нажавший кнопку на дисплее. Взлет популярности мобильных и беспроводных сетей привел также к революции в самих наземных перевозках. Экономика совместного потребления позволяет водителям использовать свои собственные телефоны в качестве диспетчерского устройства, например, в случае таких агрегаторов такси, как Uber и Lyft.

Беспроводные сети играют также важную роль для военных. Если нужно в короткие сроки начать военные действия в любой точке земного шара, лучше не полагаться на локальную сетевую инфраструктуру, а развернуть свою собственную.

Хотя беспроводные и мобильные сети часто взаимосвязаны, это не одно и то же, как демонстрирует илл. 1.5. На нем показаны различия между **стационарными беспроводными (fixed wireless)** и **мобильными беспроводными (mobile wireless) сетями**. Даже ноутбуки зачастую подключаются к сети по проводам. Например, путешественник может получить доступ в интернет, подключив ноутбук к сетевой розетке в номере отеля. Конечно, вследствие повсеместного распространения беспроводных сетей подобная ситуация — редкость, хотя проводные сети обеспечивают большее быстродействие.

Беспроводная	Мобильная	Типичные приложения
Нет	Нет	Стационарные компьютеры в офисах
Нет	Да	Ноутбук в номере отеля
Да	Нет	Сети в зданиях, где не проложены сетевые провода
Да	Да	Складской учет с использованием карманного компьютера

Илл. 1.5. Варианты сочетания беспроводных сетей и мобильных вычислений

В свою очередь, некоторые беспроводные компьютеры не являются мобильными. Иногда в доме, в офисе или отеле может не быть соответствующего кабеля. Поэтому удобнее подключать стационарные компьютеры или проигрыватели мультимедиа по беспроводной связи, а не прокладывать провода. Для настройки беспроводной сети обычно достаточно купить маленькую коробочку с электроникой, распаковать ее и подключить. Это намного дешевле, чем нанимать рабочих для монтажа кабель-каналов и прокладки кабеля в здании.

Наконец, существуют по-настоящему мобильные беспроводные сетевые приложения. Например, когда кладовщик ходит по складу с карманным компьютером, фиксируя остатки товаров, он использует такое приложение. Во многих загруженных аэропортах клерки, занимающиеся возвратом арендованных машин, работают на парковке с беспроводными мобильными компьютерами. Они сканируют штрихкоды или RFID-метки возвращаемых автомобилей, а их мобильное устройство (со встроенным принтером) запрашивает данные из главного компьютера, получает информацию об аренде и печатает счет прямо на месте.

Ключевой стимул для развития приложений мобильной беспроводной связи — мобильные телефоны. Развитие таких приложений ускоряется вследствие слияния телефонных и интернет-технологий. **Смартфоны**, такие как iPhone компании Apple или Galaxy от Samsung, сочетают элементы мобильных телефонов и мобильных компьютеров. Эти телефоны тоже могут подключаться к беспроводным точкам доступа и автоматически переключаться между сетями, выбирая оптимальный для пользователя вариант. Ранее чрезвычайно популярным был

обмен текстовыми сообщениями (text messaging, texting) через сотовые сети. За пределами США эта технология называется **SMS (Short Message Service — сервис коротких сообщений)**. Пользователи мобильных телефонов могут набирать короткие сообщения и отправлять их по сотовой сети другому мобильному абоненту. Обмен текстовыми сообщениями — исключительно выгодная вещь для мобильного оператора. Передача сообщения обходится компании в ничтожную долю цента, а пользователи платят за этот сервис намного больше. Некоторое время SMS приносили бешеные прибыли операторам мобильной связи. Теперь же существует множество альтернатив, использующих либо сотовую сеть, либо Wi-Fi, включая WhatsApp, Signal и Facebook Messenger.

Использовать сотовые сети и точки доступа Wi-Fi для подключения к удаленным компьютерам может и другая бытовая электроника. Планшеты и устройства для чтения электронных книг могут скачать при подключении к интернету купленную книгу, последний выпуск журнала или свежую газету. А цифровые фоторамки могут выводить на экран новое изображение в нужный момент.

Мобильные телефоны обычно «знают», где находятся. **GPS (Global Positioning System — система глобального позиционирования)** может напрямую определить местоположение устройства. Кроме того, телефон может определить свое местоположение путем триангуляции по точкам доступа Wi-Fi с известными координатами. Работа некоторых приложений основана на этой информации. В первую очередь это мобильные карты, ведь ваш телефон или автомобиль с GPS, вероятно, лучше вас знает, где вы находитесь. Сюда входят также приложения для поиска ближайшего книжного магазина или китайского ресторана либо местный прогноз погоды. Регистрируют местоположение и другие сервисы, например, для снабжения фотографий и видео метками, соответствующими месту съемки. Проставление подобных меток называется **геотегированием (geo-tagging)**.

Мобильные телефоны все чаще используются в **мобильной коммерции (m-commerce)** (Сенн; Senn, 2000). Отправка SMS используется для авторизации платежей в торговых автоматах, оплаты билетов в кинотеатры и других мелких покупок (вместо наличных денег и платежных карт). Позже сумма покупки снимается со счета мобильного телефона. При наличии технологии **NFC (Near Field Communication — беспроводная связь малого радиуса действия)** мобильный телефон может играть роль бесконтактной (RFID) платежной карты. В этом случае платеж происходит путем взаимодействия со считывающим устройством. Движущими силами этого явления выступают производители мобильных устройств и провайдеры, которые отчаянно стремятся откусить кусок пирога электронной коммерции. С точки зрения магазина такая схема позволяет сэкономить большую часть банковской комиссии, которая обычно составляет несколько процентов. Конечно, у этого плана есть и недостатки. Покупатели могут воспользоваться RFID или сканером штрихкода на своих мобильных устройствах и получить подробную информацию о ценах на интересующий их товар в соседних магазинах.

Мобильная коммерция особенно привлекательна тем, что пользователи смартфонов привыкли за все платить. Это отличает их от интернет-пользователей, которые считают, что все должно быть бесплатно. Если бы какой-то веб-сайт

начал взимать плату с пользователей за возможность платить кредитной картой, они подняли бы страшный шум. При этом если мобильный оператор предоставит возможность оплатить товары в магазине, просто помахав перед кассой телефоном, а затем спишет за это удобство небольшую комиссию, то, вероятно, пользователи воспримут это как должное. Время покажет.

В будущем области применения мобильных и беспроводных компьютеров по мере уменьшения их размеров будут быстро расширяться, вероятно, совершенно неожиданным образом. Давайте рассмотрим некоторые из потенциальных вариантов. **Сенсорные сети (sensor networks)** состоят из узлов, собирающих и передающих информацию о состоянии окружающего мира. Эти узлы могут встраиваться в машины или телефоны, а могут представлять собой отдельные маленькие устройства. Например, автомобиль может собирать данные о своем местоположении, скорости, вибрации и КПД топлива из бортовой системы диагностики и загружать их в базу данных (Халл и др.; Hull et al., 2006). С помощью этой информации водитель сможет засечь ямы на дорогах, объехать пробки или выяснить, что он тратит слишком много бензина по сравнению с другими водителями на одном участке дороги.

Сенсорные сети производят настоящую революцию в науке, поскольку предоставляют массу данных о ранее не наблюдавшихся видах поведения. Один из примеров — отслеживание миграции отдельных зебр путем прикрепления к каждой из них маленького датчика (Цзюань и др.; Juang et al., 2002). Исследователи сумели уместить беспроводный компьютер в один-единственный кубический миллиметр (Варнеке и др.; Warneke et al., 2001). Благодаря таким крошечным компьютерам можно отслеживать перемещения даже маленьких птиц, грызунов и насекомых.

Беспроводные парковочные автоматы могут принимать платежи с помощью кредитных или дебетовых карт, с мгновенной верификацией по беспроводной линии связи. Они также сообщают, если место занято. Благодаря этому водители могут скачать актуальную карту парковок и с легкостью найти свободное место. Разумеется, когда оплаченное время заканчивается, автомат может проверить (с помощью датчика отраженного сигнала), на месте ли машина, и известить об этом охранника. По некоторым оценкам, только муниципальные власти США собирают подобным образом дополнительные \$10 млрд штрафов (Харте и др.; Harte et al., 2000).

1.2.3. Сети доставки контента

В настоящее время многие интернет-сервисы подключены к «облаку», то есть **сетям дата-центров (data-center networks)**. Современные дата-центры состоят из сотен тысяч или даже миллионов серверов, находящихся в одном месте. Серверные стойки располагаются тесными рядами в помещениях, которые могут быть более километра в длину. Сети дата-центров обслуживают стремительно растущие потребности **облачных вычислений (cloud computing)**. Они проектируются в расчете на перемещение больших объемов данных между серверами дата-центра, а также между самим дата-центром и остальным интернетом.

Большинство используемых вами приложений и сервисов, начиная от посещаемых веб-сайтов и до облачных программ редактирования заметок, хранят данные в сетях дата-центров. Подобные сети сталкиваются с проблемой масштабирования, в плане как пропускной способности сети, так и использования электроэнергии. Одна из основных проблем, связанных с пропускной способностью сети, — так называемая пропускная способность сегмента сети, то есть скорость передачи данных между двумя серверами сети. В основе архитектуры ранних сетей дата-центров лежала простая топология типа «дерево» с тремя слоями коммутаторов: доступ, агрегирование и ядро. Эта простая архитектура плохо масштабировалась и была подвержена сбоям.

Многие популярные интернет-сервисы доставляют контент пользователям по всему миру. Для этого используются **сети доставки контента (CDN, Content Delivery Network)**. CDN представляет собой большой набор серверов, географически расположенных таким образом, что контент размещается как можно ближе к запрашивающему его пользователю. У крупных поставщиков контента, таких как Google, Facebook и Netflix, есть свои собственные CDN. Некоторые CDN, например Akamai и Cloudflare, предоставляют услуги хостинга более мелким сервисам, у которых нет своих собственных CDN.

Необходимый пользователям контент (от статических файлов до потокового видео) реплицируется по множеству различных мест в одной CDN. Когда пользователь запрашивает некий контент, CDN выбирает, какая реплика выдаст данные этому пользователю. Этот процесс должен учитывать расстояние до клиента от каждой из реплик, загруженность серверов CDN, а также интенсивность трафика и перегруженность самой сети.

1.2.4. Транзитные сети

Данные в интернете проходят через множество независимых сетей. Вряд ли контент посещаемых вами веб-сайтов содержится в сети, которую обслуживает ваш домашний провайдер. Обычно он располагается в сетях дата-центров, а пользователи могут обращаться к нему из сети доступа. При этом контент должен пройти через интернет от дата-центра до сети доступа, а затем до устройства пользователя.

Если поставщик контента и **интернет-провайдер (ISP, Internet Service Provider)** не связаны напрямую, трафик между ними зачастую передается через **транзитную сеть (transit network)**. Транзитные сети обычно взимают плату за сквозную передачу трафика как с ISP, так и с поставщика контента. Если содержащая контент сеть и сеть доступа обмениваются друг с другом достаточным количеством трафика, возможно, для них имеет смысл установить прямое взаимоподключение. Подобное прямое соединение характерно для серьезных ISP и крупных поставщиков контента, таких как Google и Netflix. Для этого ISP и поставщик контента должны создать и поддерживать сетевую инфраструктуру для прямого взаимного соединения, зачастую в нескольких географических точках.

Транзитные сети традиционно называют **опорными**, или **магистральными, сетями (backbone networks)**, поскольку их задача заключается в перемещении

трафика между двумя конечными точками. Много лет тому назад транзитные сети приносили огромный доход, поскольку все остальные сети нуждались в них (и платили им) для соединения с остальным интернетом.

В последнее десятилетие, впрочем, возникли две иные тенденции. Первая из них порождена изобилием сервисов и крупных сетей доставки содержимого, размещающих данные в облаке. Эта тенденция состоит в консолидации контента у нескольких крупных поставщиков. Вторая тенденция заключается в расширении зон обслуживания отдельных сетей доступа ISP. Ранее многие ISP были небольшими, региональными, однако сегодня многие из них охватывают целые страны (или даже несколько стран). Это расширяет как географию их возможного соединения с другими сетями, так и их абонентскую базу. А по мере того как размеры (и переговорные возможности) сетей доступа и сетей поставщиков контента растут, более крупные сети все меньше полагаются на транзитные сети при доставке трафика. Зачастую они предпочитают соединяться напрямую, оставляя транзитные сети в качестве резервного варианта.

1.2.5. Корпоративные сети

В большинстве организаций (компаний, университетов и т. д.) много компьютеров. Они могут понадобиться любому сотруднику для выполнения различных задач — от проектирования продукта до формирования платежной ведомости. Обычно эти компьютеры подключаются к общей сети, что позволяет сотрудникам совместно использовать данные, информацию и вычислительные ресурсы.

Совместное использование ресурсов (resource sharing) делает программы, оборудование и прежде всего данные доступными другим пользователям сети, независимо от того, где эти ресурсы и пользователи находятся физически. Самый простой пример — совместное использование принтера работниками офиса. Личный принтер многим сотрудникам ни к чему, а высокопроизводительный сетевой принтер намного экономичнее, быстрее и проще в обслуживании, чем большой парк отдельных принтеров.

Совместное использование информации, вероятно, играет даже более важную роль, чем совместное использование материальных ресурсов (таких, как принтеры и системы резервного копирования). Большинство компаний предоставляет сотрудникам онлайн-доступ к данным о клиентах и товарах, складской информации, финансовым и налоговым отчетам и многому другому. Банк не смог бы проработать и пяти минут, если бы все его компьютеры внезапно отказали. Современная фабрика, с управляемым компьютером конвейером, не продержалась бы и пяти секунд. Даже маленькому турагентству или юридической фирме из трех человек чрезвычайно необходимы компьютерные сети для быстрого доступа к нужной информации и документам.

В случае мелких компаний компьютеры могут располагаться в одном офисе отдельного здания. Что касается крупных корпораций, их компьютеры и сотрудники могут быть разбросаны по десяткам офисов и фабрик в нескольких странах. Тем не менее сотруднику отдела сбыта в Нью-Йорке может потребоваться доступ к базе данных склада товаров в Сингапуре. Для соединения географически удаленных сетей в одну логическую сеть применяются **виртуальные частные**

сети (VPN, Virtual Private Networks). Пользователь, даже если он оказался за 15 000 км от нужных ему данных, должен иметь возможность обращаться к ним так, как будто он находится в том же офисе. Эту цель можно кратко сформулировать как попытку освободиться от «тирании географии».

Информационную систему компании можно представить как одну или несколько баз, содержащих все данные компании, и определенное количество сотрудников с удаленным доступом к этим базам. При такой модели данные хранятся на мощных компьютерах, называемых **серверами (servers)**. Чаще всего они размещаются в централизованной серверной комнате и обслуживаются системным администратором. Компьютеры сотрудников, с помощью которых они получают доступ к удаленным данным (например, для работы с электронными таблицами), — более простые, размещаются на их рабочих столах и называются **клиентами**, или **рабочими станциями (clients)**. Иногда мы будем называть клиентом человека, который использует рабочую станцию, но из контекста обычно понятно, что имеется в виду — компьютер или его пользователь. Рабочие станции и серверы объединяются сетью, как показано на илл. 1.1. Обратите внимание, что сеть на этом рисунке показана в виде простого овала, без каких-либо подробностей. Этот вариант мы будем использовать при обсуждении компьютерных сетей на наиболее абстрактном уровне. Когда же необходимы будут детали, мы их обозначим.

Вторая цель создания корпоративной сети связана скорее с человеческим фактором, а не с данными или даже с компьютерами. Компьютерная сеть обеспечивает прекрасную **среду обмена информацией (communication medium)** между сотрудниками. Практически в каждой компании, где есть хотя бы два компьютера, для повседневного обмена информацией чаще всего используется **электронная почта (email)**. При этом сотрудники любой компании жалуются в курилке на то, сколько писем им приходится читать. Просто началоство обнаружило, что достаточно нажать одну кнопку, чтобы отправить одно и то же сообщение (нередко лишенное всякого осмысленного содержания) всем подчиненным сразу.

Компьютерные сети могут вместо телефонной компании обеспечить и телефонную связь между сотрудниками. При использовании интернета эта технология называется **IP-телефонией (IP telephony)** или **VoIP (Voice over IP, передача голоса по IP, или по интернет-протоколу)**. При этом на обоих концах линии может использоваться телефон с поддержкой VoIP или компьютер сотрудника. Компании рассматривают эту технологию как замечательный способ сэкономить на счетах за телефон.

Компьютерные сети позволяют совершенствовать формы коммуникации. К аудио добавляется видео, чтобы несколько сотрудников вне офиса могли не только слышать, но и видеть друг друга во время совещания. Это отличный инструмент снижения затрат (денежных и временных) на путешествия. Благодаря **демонстрации рабочего стола (desktop sharing)** удаленные сотрудники могут видеть и взаимодействовать с экранами компьютеров своих коллег. Они могут читать общую информационную «доску» и писать на ней либо, например, совместно создавать отчет. При внесении одним из них правок в онлайн-документ остальные сразу же видят эти изменения, а не ждут письма в течение нескольких дней. Это ускоряет и значительно упрощает (и порой вообще делает возможным)

сотрудничество разбросанных на большие расстояния групп людей. Более амбициозные формы удаленного согласования действий, такие как телемедицина, лишь начинают появляться, но потенциально могут сыграть намного более важную роль (например, удаленный мониторинг пациентов). Иногда говорят, что в гонке между обменом информацией и перевозками победит что-то одно, а второе станет безнадежно устаревшим.

Третья цель для многих компаний — электронное ведение бизнеса, прежде всего с покупателями и поставщиками. Авиакомпании, книжные магазины и другие представители ритейла обнаружили, что многим покупателям очень нравится совершать покупки, не выходя из дома. Поэтому многие компании предоставляют онлайн-каталоги товаров и сервисов и принимают заказы через интернет. Производители автомобилей, самолетов, компьютеров (среди прочих) закупают комплектующие у множества поставщиков, а затем собирают части воедино. С помощью компьютерных сетей производители при необходимости размещают заказы в электронной форме. Это снижает потребность в больших складах и повышает производительность.

1.3. СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОТ ЛОКАЛЬНЫХ ДО ГЛОБАЛЬНЫХ

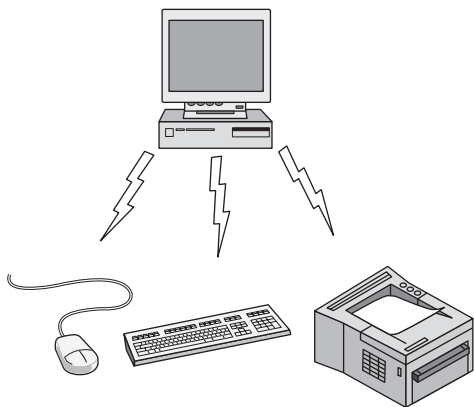
Сети варьируются от небольших и персональных до крупных и глобальных. В этом разделе представлены разнообразные сетевые технологии, позволяющие реализовывать сети различных размеров и масштабов.

1.3.1. Персональные сети

Персональные сети (PAN, Personal Area Network) обеспечивают обмен информацией между устройствами, используемыми одним человеком. Типичный пример — беспроводная сеть, связывающая компьютер с его периферийными устройствами. PAN используются для подключения беспроводных наушников, гарнитуры или часов к смартфону. Также они позволяют установить соединение между автомобилем и цифровым музыкальным плеером, как только устройство попадает в радиус действия сети.

Почти у каждого компьютера имеется несколько периферийных устройств: монитор, клавиатура, мышь и принтер. Если бы не беспроводные сети, все эти подключения пришлось бы выполнять при помощи кабелей. Для неопытного пользователя поиск нужных проводов и соответствующих им разъемов может стать настоящей проблемой (хотя обычно они различаются формой и цветом). По этой причине большинство поставщиков компьютеров предлагают услугу вызова мастера на дом. Чтобы помочь таким пользователям, несколько компаний объединились и разработали беспроводную сеть малого радиуса действия под названием **Bluetooth**. Идея в том, чтобы больше не нужно было возиться с проводами. Если все ваши устройства поддерживают Bluetooth, достаточно просто включить их, положить рядом, и они сами установят соединение друг с другом. Для многих людей такая простота в эксплуатации — большое преимущество.

В самом простом варианте Bluetooth-сети используют парадигму «главный — подчиненный» («master — slave»), приведенную на илл. 1.6. Системный блок (ПК) обычно играет роль главного узла и взаимодействует с мышью или клавиатурой, играющими подчиненную роль. Главный узел сообщает подчиненным, какие адреса использовать, когда и в течение какого промежутка времени осуществлять передачу данных, какие частоты использовать и т. д. Мы обсудим Bluetooth подробнее в главе 4.



Илл. 1.6. Конфигурация персональной сети на основе Bluetooth

Для создания PAN используется множество других технологий ближнего радиуса действия; они также представлены в главе 4.

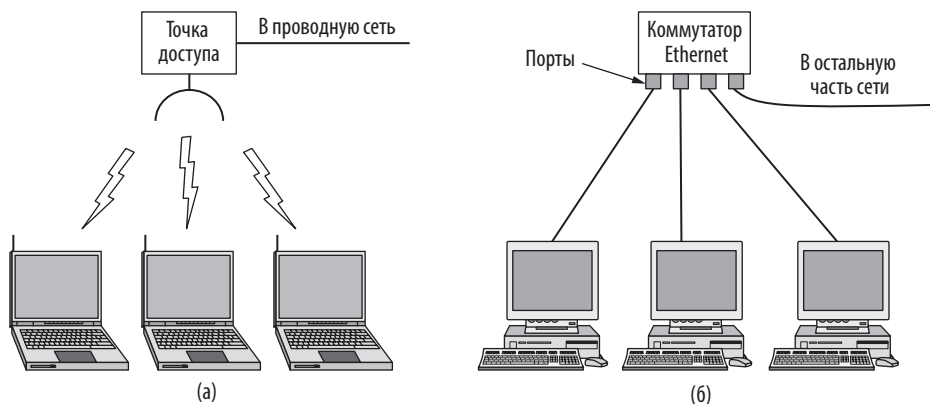
1.3.2. Локальные сети

Локальная сеть (LAN, Local Area Network) — частная сеть, функционирующая в отдельном здании и на прилегающей территории (это может быть дом, офис или завод). LAN широко применяется для соединения персональных компьютеров и бытовой электроники, позволяя совместно использовать различные ресурсы (например, принтеры) и обмениваться информацией.

На сегодняшний день беспроводные LAN применяются повсеместно. Изначально они были популярны в жилых помещениях, старых офисных зданиях, кафе и других местах, где прокладка кабелей обошлась бы слишком дорого. В подобных системах компьютеры обмениваются информацией с помощью встроенного радиомодема и антенны. Чаще всего компьютер обращается к специальному устройству, которое называется **точкой доступа (AP, Access Point)**, **беспроводным маршрутизатором (wireless router)** или **базовой станцией (base station)**, как показано на илл. 1.7. Это устройство осуществляет передачу пакетов данных между беспроводными компьютерами, а также между компьютером и интернетом. Точка доступа напоминает популярного ребенка в школе, поскольку все хотят с ней «поговорить». Еще один часто встречающийся сценарий — близко расположенные устройства обмениваются пакетами в конфигурации так называемой **ячейковой сети (mesh network)**. Иногда

конечные узлы выступают в роли передатчиков. Однако в большинстве случаев в ячеистую сеть входит специальный набор узлов, единственная функция которых — передача трафика. Ячеистые сети часто применяются в развивающихся регионах, где развертывать соединение по всей территории неудобно и дорого. Кроме того, растет их популярность в качестве решения для домашних сетей, особенно в больших зданиях.

Одним из самых популярных стандартов беспроводных LAN является **IEEE 802.11**, более известный как Wi-Fi. Он работает со скоростью от 11 Мбит/с (802.11b) до 7 Гбит/с (802.11ad). Обратите внимание, что в этой книге мы придерживаемся традиции и измеряем скорость передачи данных по линии в мегабитах в секунду, где 1 Мбит/с равен 1 000 000 бит/с, и гигабитах в секунду, где 1 Гбит/с равен 1 000 000 000 бит/с. Степени двойки мы будем использовать только при описании хранения информации, в этом случае 1 МБ памяти равен 2^{20} , то есть 1 048 576 байт. Стандарт 802.11 подробнее обсуждается в главе 4.



Илл. 1.7. Беспроводные и проводные LAN. (а) 802.11. (б) Коммутируемая сеть Ethernet

В проводных LAN используется множество различных технологий передачи; наиболее распространенные физические среды — медные провода, коаксиальный кабель и оптоволокно. Размеры LAN ограничены, а значит, наихудшее время прохождения сигнала имеет предел и известно заранее. Знание этих ограничений помогает разрабатывать сетевые протоколы. Обычно проводные LAN работают на скорости от 100 Мбит/с до 40 Гбит/с. Они отличаются низкой задержкой (не более десятков миллисекунд, а зачастую намного меньше), при этом ошибки передачи случаются редко. Проводные LAN обычно обладают меньшим значением задержки и процентом потери пакетов, а также более высокой пропускной способностью, чем беспроводные. И хотя с течением времени этот разрыв в показателях сократился, передавать сигналы по проводам или через оптоволокно намного проще, чем по воздуху.

Многие проводные LAN включают двухточечные проводные соединения. Стандарт IEEE 802.3, более известный как **Ethernet**, однозначно самая

популярная разновидность проводной LAN. На илл. 1.7 (б) показан пример **коммутируемой сети Ethernet (switched Ethernet)**. Любой компьютер может использовать протокол Ethernet и подключаться к устройству, называемому **коммутатором (switch)**, посредством двухточечного соединения. Задача этого устройства в том, чтобы передавать пакеты между связанными с ним компьютерами. Каждый пакет содержит адрес, по которому коммутатор определяет, на какой компьютер отправить данные.

Коммутатор содержит несколько **портов**, каждый из которых может быть подключен к одному устройству, например компьютеру или даже другому коммутатору. Для создания более крупных LAN коммутаторы можно подключать друг к другу через порты. Что произойдет, если случайно их зациклить? Сохранится ли работоспособность сети? К счастью, специалисты об этом уже подумали, и теперь все коммутаторы в мире используют соответствующий алгоритм против заикливания (Перлман; Perlman, 1985). За выбор пути, по которому должен идти пакет, чтобы в целости и сохранности достичь нужного компьютера, отвечает протокол. В главе 4 мы увидим, как это происходит на деле.

Одну физически большую LAN можно разбить на две меньших логических. Наверное, вам интересно, зачем это может понадобиться. Иногда схема сетевого оборудования не соответствует структуре организации. Например, компьютеры инженерного и финансового отделов компании могут физически находиться в одной сети, поскольку они размещаются в одном крыле здания. Но если бы у каждого из этих отделов была своя **виртуальная LAN (VLAN, Virtual LAN)**, администрирование системы значительно упростилось бы. При такой архитектуре каждый порт будет помечен своим «цветом», скажем, финансовый отдел зеленым, а инженерный — красным. Коммутатор направляет пакеты таким образом, что компьютеры, подключенные к зеленым портам, отделены от подключенных к красным. Зеленый порт не будет получать широковещательные пакеты, отправляемые на красный порт, как будто это две физически отдельные LAN. VLAN подробнее рассматривается в конце главы 4.

Существуют и другие топологии проводных LAN. Известно, что коммутируемая сеть Ethernet представляет собой современный вариант первоначальной архитектуры Ethernet с широковещательной передачей всех пакетов по одному линейному кабелю. Успешно производить передачу сигнала могла только одна машина за раз, а для разрешения конфликтов использовался распределенный механизм арбитража. Применялся простой алгоритм: компьютеры могли осуществлять передачу в любое время, когда кабель не использовался. При конфликте двух или более пакетов каждый компьютер просто ожидал в течение случайного промежутка времени и повторял попытку отправки. Для ясности мы будем называть эту архитектуру **классической Ethernet (classic Ethernet)**. Как вы уже догадались, о ней можно прочесть в главе 4.

И беспроводные, и проводные широковещательные LAN могут выделять ресурсы как статически, так и динамически. Типичный вариант статического выделения ресурсов — разбиение времени на дискретные интервалы и использование циклического алгоритма, при котором каждая машина может передавать сигнал только в свой временной слот. При статическом выделении ресурсов