

# Предисловие

Вот и наступил черед шестого издания нашей книги. Каждая ее предыдущая версия соответствовала определенному этапу эволюции компьютерных сетей. В 1980 году, когда вышло первое издание, сети представляли собой скорее диковинку, интересную больше с теоретической точки зрения. При выходе второго издания, в 1988-м, сети использовались в университетах и крупных компаниях. В год публикации третьего издания, 1996-й, компьютерные сети, особенно интернет, уже стали повседневной реальностью для миллионов людей. К моменту выхода четвертого издания, в 2003-м, стал вполне обыденным доступ в интернет через беспроводные сети и мобильные компьютеры. К пятому изданию на первый план в этой сфере вышло распределение контента (особенно видеоконтента — при помощи CDN и р2р-сетей) и мобильные телефоны. Теперь, на момент выхода шестого издания, основной акцент в отрасли делается на очень высокую производительность, благодаря использованию сотовых сетей 5G, 100-гигабитной сети Ethernet и Wi-Fi 802.11ax, так что скорости до 11 Гбит/с уже не за горами.

## НОВОЕ В ШЕСТОМ ИЗДАНИИ

Среди множества внесенных в эту книгу изменений важнейшим, конечно, является включение в число ее соавторов профессора Ника Фимстера (Nick Feamster). Ник Фимстер получил степень Ph.D. в Массачусетском технологическом институте и сейчас занимает должность профессора в Чикагском университете.

Еще одна важная доработка состоит в том, что профессор Херберт Бос (Herbert Bos) из Амстердамского свободного университета коренным образом переписал главу 8 (посвященную безопасности), сместив в ней акцент с криптографии на сетевую безопасность. Практически каждый день в новостях обсуждают компьютерный взлом, DoS-атаки и т. п., так что мы очень благодарны проф. Босу за переработку главы с упором на подробное обсуждение этих вопросов. Здесь описаны уязвимости, их исправление, реакция взломщиков на эти меры, ответная реакция защитников системы и далее до бесконечности. Посвященный криптографии материал был несколько сокращен, чтобы освободить место для новых материалов по сетевой безопасности.

Конечно, в эту книгу было внесено множество других изменений, отражающих постоянно меняющийся мир компьютерных сетей. Основные из них перечислены ниже, по главам.

**Глава 1** является вводной, как и в предыдущих изданиях, но ее содержимое было пересмотрено и актуализировано. Среди изменений: дополнительное обсуждение интернета вещей и современных архитектур сотовых сетей, включая сети 4G и 5G. Также был существенно обновлен раздел, посвященный политике в отношении интернета, особенно обсуждение сетевого нейтралитета.

Доработка **главы 2** включает обсуждение наиболее распространенных физических сред для сетей доступа, включая DOCSIS и различные оптоволоконные архитектуры. В этой главе были дополнительно освещены вопросы современных архитектур и технологий сотовых сетей, а также серьезно модифицирован раздел, посвященный спутниковым сетям. Появилось описание перспективной технологии виртуализации, в том числе обсуждение операторов мобильных виртуальных сетей и сегментации сотовых сетей. Раздел о нормативном регулировании переработан, добавлено обсуждение вопросов, связанных с беспроводными сетями (например, о диапазонах частот).

В **главе 3** в качестве примера протокола добавлена широко используемая технология доступа DOCSIS. Большинство корректирующих кодов, конечно, актуальности с течением времени не теряют.

**Глава 4** актуализирована и дополнена новыми материалами по 40- и 100-гигабитной сети Ethernet, протоколам 802.11ac, 802.11ad и 802.11ax. В нее вошли новые материалы по DOCSIS, рассказывающие о подуровне MAC кабельных сетей. Мы исключили материал о 802.16, так как эта технология постепенно уступает место 4G и 5G. Чтобы освободить место для новой информации, был также исключен раздел, посвященный RFID, как не связанный непосредственно с сетями.

**Глава 5** обновлена, чтобы внести ясность в вопросы перегруженности сети в соответствии с современным положением дел. Переработаны разделы, посвященные управлению трафиком, его формированию и регулированию. Кроме того, появился совершенно новый раздел о программно-конфигурируемых сетях (SDN), включая OpenFlow, и программируемом аппаратном обеспечении (например, Tofino). Данная глава включает обсуждение новейших сценариев применения SDN, например внутриполосной телеметрии сети. Также были внесены некоторые изменения в рассказ об IPv6.

**Глава 6** серьезно отредактирована, в нее вошел новый раздел по современным транспортным протоколам, включая TCP CUBIC, QUIC и BBR. Полностью переписан материал об измерениях производительности сети с упором на оценку пропускной способности компьютерных сетей. Добавлено развернутое обсуждение проблем измерения эффективности сетей доступа при росте скоростей, предоставляемых интернет-провайдерами. Также эта глава включает новый материал, посвященный передовому направлению измерения производительности — оценке QoE.

Существенно отредактирована и **глава 7**. Из нее исключено более 60 уже неактуальных страниц материала. Практически полностью переписана часть, касающаяся системы DNS, чтобы отразить новейшие разработки в этой области, включая текущую тенденцию к шифрованию DNS и усовершенствованию ее безопасности в целом. Описаны новейшие протоколы, например DNS поверх

HTTPS и другие методы защиты персональной информации для DNS. Значительно переработано обсуждение Всемирной паутины с учетом растущего применения в ней шифрования, а также распространения серьезных угроз приватности (например, отслеживание пользователей). В главу включен совершенно новый раздел, посвященный приватности во Всемирной паутине. Кроме того, расширен материал о современных технологиях (сетях) доставки контента и пиринговых сетях. Отредактирован раздел, посвященный эволюции интернета, с тем чтобы осветить тенденции к переходу на распределенные облачные сервисы.

**Глава 8**, посвященная безопасности, полностью переработана. В предыдущих изданиях основное внимание в ней было сосредоточено на защите информации криптографическими средствами. Но криптография — лишь один из аспектов безопасности сетей, причем на практике обычно не самый проблемный. Чтобы исправить это упущение, мы добавили новые материалы по принципам безопасности, главным методам сетевых атак, механизмам защиты и широкому спектру системных проблем защиты информации. Более того, мы обновили уже имеющиеся разделы, исключив из них некоторые устаревшие методики шифрования, и теперь знакомим читателя с более современными версиями протоколов и стандартов.

В главе 9 вы найдете обновленный список рекомендуемой литературы и обширную библиографию.

Кроме того, в книгу были включены десятки новых упражнений и библиографических ссылок.

## СПИСОК АББРЕВИАТУР

Компьютерные книги полны аббревиатур. И эта книга — не исключение. Когда вы закончите ее читать, вам должны быть знакомы следующие аббревиатуры: AES, AMI, ARP, ARQ, ASK, BGP, BSC, CCK, CDM, CDN, CRL, DCF, DES, DIS, DMT, DMZ, DNS, EAP, ECN, EPC, FDD, FDM, FEC, FSK, GEO, GSM, HFC, HLR, HLS, HSS, IAB, IDS, IGP, IKE, IPS, ISM, ISO, ISP, ITU, IXC, IXP, KDC, LAN, LCP, LEC, LEO, LER, LLD, LSR, LTE, MAN, MEO, MFJ, MGW, MIC, MME, MPD, MSC, MSS, MTU, NAP, NAT, NAV, NCP, NFC, NIC, NID, NRZ, ONE, OSI, PAR, PCF, PCM, PCS, PGP, PHP, PIM, PKI, PON, POP, PPP, PSK, RAS, RCP, RED, RIP, RMT, RNC, RPC, RPR, RTO, RTP, SCO, SDH, SDN, SIP, SLA, SNR, SPE, SSL, TCG, TCM, TCP, TDM, TLS, TPM, UDP, URL, USB, UTP, UWB, VLR, VPN, W3C, WAF, WAN, WDM, WEP, WFQ и WPA. Не беспокойтесь — каждая аббревиатура выделена **жирным шрифтом** и расшифрована. Ради забавы можно подсчитать количество известных вам аббревиатур до знакомства с данной книгой. Запишите результат на полях, а затем попробуйте повторить подсчет *после* прочтения.

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Авторы поддерживают веб-сайт с дополнительными ресурсами для студентов по адресу [www.computernetworksbook.com](http://www.computernetworksbook.com).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Во время подготовки шестого издания данной книги нам помогало множество людей. Мы хотели бы особо поблагодарить Филлис Дэвис (Phyllis Davis, Муниципальный колледж Сент-Луиса), Фара Канда (Farah Kandah, Университет Теннесси, Чаттануга), Джейсона Ливингуда (Jason Livingood) из компании Comcast, Луизу Мозер (Louise Moser, Калифорнийский университет, Санта-Барбара), Дженнифер Рексфорд (Jennifer Rexford, Принстонский университет), Пола Шмитта (Paul Schmitt, Принстонский университет), Дага Сикера (Doug Sicker, Университет Карнеги — Меллона), Вэнье Вана (Wenye Wang, Университет штата Северная Каролина) и Грэга Уайта (Greg White) из компании Cable Labs.

Ценные отзывы и замечания по рукописи и идеи мы получили от некоторых студентов профессора Таненбаума, в их числе: Эдже Додженер (Ece Doganer), Яэль Гуде (Yael Goede), Бруно Ховелакен (Bruno Hovelaken), Елена Иби (Elena Ibi), Оскар Клоновски (Oskar Klonowski), Йоханна Сэнгер (Johanna Sanger), Тереза Шанц (Theresa Schantz), Карлис Свиланс (Karlis Svilans), Маша ван дер Марель (Mascha van der Marel), Энтони Уилкс (Anthony Wilkes).

Многие из новых упражнений в конце глав придуманы, на радость читателю, Джессе Донкервлитом (Jesse Donkervliet, Амстердамский свободный университет).

Слайды лекций в PowerPoint для преподавателей создал Пол Нэйджин (Paul Nagin) из издательства Chimborazo Publishing.

Наш редактор из издательства Pearson Трэйси Джонсон (Tracy Johnson), как обычно, помогала нам решать множество серьезных и мелких проблем. Без ее советов, энергичности и настойчивости это издание могло вообще не появиться на свет. Спасибо тебе, Трэйси. Мы очень ценим твою помощь.

И наконец, пришел черед самых важных для нас людей. Сюзан пережила этот процесс уже 23 раза, всякий раз с неизменным терпением и любовью. Барбара и Марвин теперь уже знают разницу между хорошим и плохим учебником и всегда вдохновляют меня на написание хороших. Даниэл и Матильда — замечательное прибавление к нашему семейству. Арон, Нейтан, Оливия и Мирте, вероятно, это издание не прочитают, но они вдохновили меня в надежде на будущее (ЭТ). Маршини, Мила и Кира: моя любимая сеть — та, которую мы построили вместе. Спасибо вам за поддержку и любовь (НФ). Кэтрин и Люси не только всецело поддерживали меня, но и ухитрялись всегда обеспечить мне хорошее настроение. Спасибо вам (ДУ).

*Эндрю Таненбаум  
Ник Фимстер  
Дэвид Уэзеролл*

# Об авторах

**Эндрю Таненбаум** получил степень бакалавра естественных наук в Массачусетском технологическом институте и защитил докторскую диссертацию в Калифорнийском университете в Беркли. В настоящее время является почетным профессором компьютерных наук Амстердамского свободного университета, где преподает курсы по организации операционных систем, компьютерным сетям и смежным темам вот уже более 40 лет. Долгие годы Таненбаум изучал высоконадежные операционные системы, а также компиляторы, распределенные системы, безопасность и др. Результат его исследовательских проектов — более 200 рецензированных статей в журналах и докладов на конференциях.

Профессор Таненбаум является автором и соавтором пяти книг, которые были переизданы 24 раза и переведены на 21 язык, включая баскский, китайский, французский, немецкий, японский, корейский, румынский, сербский, испанский и тайский. Его книги изучают в университетах по всему миру.

Эндрю Таненбаум разработал Unix-подобную систему Minix, предназначенную для студенческих лабораторных работ по программированию. Она послужила вдохновением и платформой для создания операционной системы Linux.

Таненбаум является членом Ассоциации вычислительной техники (Association for Computing Machinery, ACM), Института инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE), а также Королевской академии искусств и наук Нидерландов. Его достижения отмечены множеством научных премий от ACM, IEEE и Ассоциации USENIX (полный список вы найдете на его странице в Википедии). Кроме того, Таненбаум удостоен двух почетных докторских степеней.

Домашняя страница Эндрю Таненбаума находится по адресу [www.cs.vu.nl/~ast](http://www.cs.vu.nl/~ast).

**Ник Фимстер**, профессор компьютерных наук, возглавляет Центр данных и вычислений (Center for Data and Computing, CDAC) в Чикагском университете. Его исследования касаются многих вопросов компьютерных сетей и сетевых систем. Особое внимание он уделяет сетевым операциям, сетевой безопасности, цензуре в интернете и применению машинного обучения в компьютерных сетях.

Ник Фимстер окончил Массачусетский технологический институт: в 2000 и 2001 годах он получил степени бакалавра и магистра технических наук в области электротехники и компьютерных наук, а в 2005 году защитил докторскую диссертацию по компьютерным наукам. Свою карьеру Фимстер начал в компании Looksmart<sup>1</sup>, для которой он создал первый поисковый модуль. Также он

---

<sup>1</sup> Поисковик, впоследствии ставший службой каталогов для поисковой системы AltaVista.

участвовал в разработке первого алгоритма мониторинга ботнетов компании Damballa.

Профессор Фимстер является членом ACM. За вклад в разработку подходов к сетевой безопасности, ориентированных на данные, он получил Президентскую премию для молодых ученых и инженеров (Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers, PECASE). Одна из его ранних публикаций о платформе управления маршрутизацией была отмечена наградой ассоциации USENIX Test of Time («Испытание временем») за влияние на развитие программно-конфигурируемых сетей. Фимстер выпустил первый онлайн-курс на эту тему. Помимо этого, он стал учредителем и преподавателем Магистерской программы дистанционного обучения компьютерным наукам Технологического института Джорджии.

Ник Фимстер — заядлый бегун на длинные дистанции. Он пробежал 20 марафонов, в том числе Бостонский, Нью-Йоркский и Чикагский.

**Дэвид Уэзеролл** работает в компании Google. Ранее он был доцентом кафедры компьютерных наук и электротехники Вашингтонского университета, а также консультантом Intel Labs в Сиэтле. Будучи родом из Австралии, Уэзеролл получил степень инженерии в области электротехники в Университете Западной Австралии. Докторскую диссертацию в области компьютерных наук он защитил в Массачусетском технологическом институте.

Последние 20 лет доктор Уэзеролл работает в сфере компьютерных сетей. Его исследования направлены на сетевые системы, в особенности беспроводные сети и мобильные вычисления, разработку интернет-протоколов и измерение параметров сетей.

За исследования, которые положили начало разработке активных сетей (архитектуры для быстрого внедрения новых сетевых служб), Уэзеролл получил премию ACM SIGCOMM Test of Time. Также он был удостоен премии IEEE им. Уильяма Беннета за прорыв в области веб-картографии. В 2002 году его работа была отмечена наградой Национального научного фонда CAREER (National Science Foundation CAREER), а в 2004-м он стал стипендиатом Фонда Слоуна (Sloan Foundation).

Дэвид Уэзеролл — активный участник сообщества исследователей компьютерных сетей. Он является сопредседателем программных комитетов SIGCOMM, NSDI и MobiSys, а также одним из организаторов семинаров ACM HotNets. Уэзеролл был членом программных комитетов множества конференций, посвященных сетевым технологиям. Также он работает редактором журнала ACM Computer Communication.

## ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Ваши замечания, предложения, вопросы отправляйте по адресу [comp@piter.com](mailto:comp@piter.com) (издательство «Питер», компьютерная редакция).

Мы будем рады узнать ваше мнение!

На веб-сайте издательства [www.piter.com](http://www.piter.com) вы найдете подробную информацию о наших книгах.

# ГЛАВА 1

## Введение

Каждое из прошлых трех столетий было отмечено своей господствующей технологией. Промышленная революция XVIII века положила начало развитию крупного машиностроения. XIX век стал эрой паровых двигателей. Ключевой технологией XX века стали сбор, обработка и распространение информации. В числе других достижений следует отметить создание всемирной телефонной сети, изобретение радио и телевидения, рождение и беспрецедентный рост компьютерной отрасли, запуск спутников связи и, конечно, появление интернета. Кто знает, какие чудеса ждут нас в XXI веке?

В результате стремительного научно-технического прогресса происходит слияние отраслей, и грань между сбором, передачей, хранением и обработкой информации стирается. Корпорации, насчитывающие сотни офисов по всему миру, должны иметь возможность получать информацию о своем даже самом удаленном представительстве одним нажатием клавиши. И как бы быстро ни росли возможности сбора, обработки и распространения информации, потребности во все более сложных технологиях растут еще быстрее.

### 1.1. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Хотя компьютерная индустрия еще очень молода по сравнению с другими отраслями промышленности (например, авиа- и автомобилестроением), ее эволюция за короткий промежуток времени поистине поразительна. В первые два десятилетия своего существования компьютерные системы были централизованными и, как правило, занимали целую комнату. Часто это были помещения со стеклянными окнами, через которые посетители могли полюбоваться на чудо электроники. Среднее предприятие или университет могли себе позволить один компьютер (иногда два), а крупная компания — до нескольких десятков. Сама идея о том, что через 50 лет будут произведены миллиарды куда более мощных компьютеров размером с почтовую марку, казалась научной фантастикой.

Слияние вычислительной техники и телекоммуникаций в корне изменило организацию компьютерных систем. Концепция «вычислительного центра» как помещения с одним большим компьютером, куда пользователи приносят свои задачи для обработки, безнадежно устарела (хотя вполне обыденными стали центры обработки данных, содержащие сотни тысяч интернет-серверов). На смену одному компьютеру, обслуживающему все вычислительные потребности

компании, пришла система множества отдельных, но связанных между собой компьютеров. Такие системы получили название **компьютерных сетей (computer networks)**<sup>1</sup>. Их архитектуре и организации и посвящена наша книга.

В этой книге термин «компьютерная (вычислительная) сеть» обозначает набор взаимосвязанных автономных вычислительных устройств. Компьютеры считаются взаимосвязанными, если могут обмениваться информацией. Соединение осуществляется с использованием разнообразных сред передачи данных. Это могут быть медные провода, оптоволоконные кабели и радиоволны (например, микроволны, инфракрасные волны, спутники связи). Нам предстоит исследовать компьютерные сети самых разных размеров, конфигураций и форм. Часто они объединяются в более крупные сети. Наиболее известный пример системы сетей — **интернет**.

### 1.1.1. Доступ к информации

Доступ к информации осуществляется разными способами. Веб-браузер — основной инструмент доступа к интернету. Он позволяет извлекать данные с различных сайтов, включая набирающие популярность соцсети. Сегодня мобильные приложения на смартфонах также предоставляют удаленный доступ к информации на всевозможные темы. Искусство, бизнес, кулинария, госуправление, здоровье, история, хобби, развлечения, наука, спорт, путешествия... Всего не перечислить (а некоторые темы и не стоит упоминать).

Большинство СМИ также мигрировали в интернет, а некоторые даже полностью отказались от бумажной версии. Доступ к информации, включая новости, все более персонализируется. Некоторые интернет-СМИ дают читателю возможность самому выбрать интересующие его темы. Например: коррумпированные политики, масштабные пожары, скандалы с участием знаменитостей и эпидемии, но не, скажем, футбол. Подобная тенденция определенно угрожает заработку 12-летних разносчиков газет — интернет позволяет распространить новости на гораздо более широкую аудиторию.

Отбор новостей также все чаще происходит в социальных сетях. Они позволяют публиковать новостной контент из самых разнообразных источников и делиться им с другими пользователями. Новости сортируются и персонализируются не только в соответствии с выбором конкретного пользователя, но и на основе сложных алгоритмов машинного обучения. Алгоритмы прогнозируют предпочтения на основе истории просмотра. Публикация в интернете и подбор контента в соцсетях порождают финансовую модель, которая во многом зависит от таргетированной поведенческой рекламы. Разумеется, это требует

---

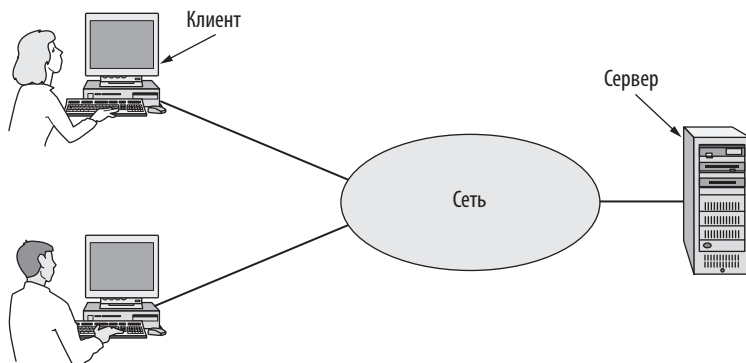
<sup>1</sup> Исторически сложилось так, что термины *computer networks* и *computer systems* чаще всего переводят на русский язык как «компьютерные сети» и «компьютерные системы», но на самом деле речь идет о вычислительных устройствах, которые являются компонентами сетей и систем. В этой книге мы будем придерживаться привычной терминологии, но имейте в виду, что под компьютером (*computer*) понимается вычислительное устройство. — *Примеч. науч. ред.*



сбора данных о поведении отдельных пользователей. Иногда такая информация используется неправомерно.

Сегодня онлайн-библиотеки и интернет-магазины содержат электронные версии изданий, от научных журналов до книг. Многие профессиональные объединения, такие как ACM (Association for Computing Machinery — Ассоциация по вычислительной технике; [www.acm.org](http://www.acm.org)) и IEEE Computer Society (Общество специалистов по вычислительной технике IEEE; [www.computer.org](http://www.computer.org)), уже давно оцифровали и выложили в интернет все свои журналы и труды конференций. В один прекрасный день бумажные книги могут стать архаизмом, уступив место электронным книгам и онлайн-библиотекам. Скептикам стоит сравнить этот процесс с эффектом, который оказало изобретение печатного станка на средневековые иллюстрированные рукописи.

Доступ к значительной доле информации в интернете производится посредством модели «клиент-сервер». Клиент явным образом запрашивает информацию с хранящего ее сервера, как показано на илл. 1.1.

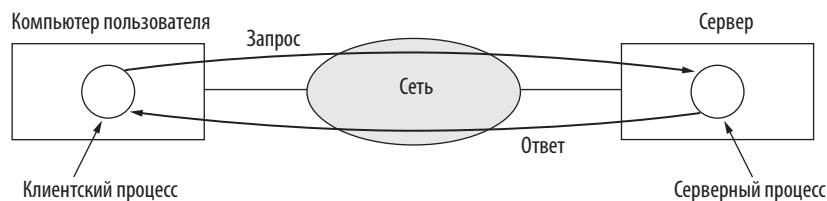


**Илл. 1.1.** Сеть, включающая два клиента и один сервер

**Модель «клиент-сервер»** используется очень широко, на ней основана большая часть сетевых приложений. Наиболее распространенная реализация этой модели — **веб-приложение**. Сервер генерирует веб-страницы на основе своей базы данных в ответ на запросы клиентов. Эти запросы, в свою очередь, пополняют базу данных сервера. Такая модель применима не только когда клиент и сервер физически находятся в одном здании (и принадлежат одной компании), но и когда они удалены на значительное расстояние. Например, пользователь у себя дома обращается к странице во Всемирной паутине. В этом случае его домашний компьютер играет роль клиента, а удаленный веб-сервер — сервера. Как правило, один сервер способен обслуживать большое число (сотни или тысячи) клиентов одновременно.

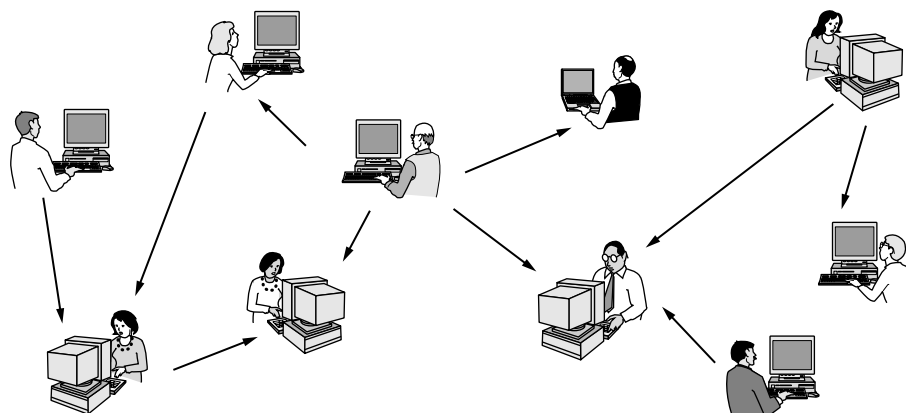
В первом приближении в модели «клиент-сервер» участвуют два процесса (работающие программы), один на компьютере пользователя, а второй — на сервере. Связь между ними происходит путем отправки клиентским процессом по сети сообщения серверному процессу. Далее клиентский процесс ожидает

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., 2001<sup>1</sup>). 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

<sup>1</sup> 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»<sup>1</sup> и «2» произносятся одинаково. Наиболее распространенные из них представлены на илл. 1.4.

| Аббревиатура | Полное название   | Пример  |
|--------------|---|---|
| B2C          | Бизнес для потребителя<br>(Business-to-consumer)          | Заказ книг в интернете  |
| B2B          | Бизнес для бизнеса<br>(Business-to-business)              | Производитель автомобилей заказывает шины у поставщика                  |
| G2C          | Правительство для потребителя<br>(Government-to-consumer) | Правительство распространяет через интернет бланки налоговых деклараций |
| C2C          | Потребитель для потребителя<br>(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

<sup>1</sup> 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.