

1. Введение в компьютерные сети

1.1 Основные понятия

1.1.1 Определения компьютерных сетей и их компонентов

Рассмотрим самое общее определение современной компьютерной сети.

Компьютерной сетью (КС) назовем совокупность *компьютеров*, объединенных *сетью передачи данных* для обмена данными с целью *совместного решения* различных *прикладных задач* с использованием двух или более компьютеров сети.

Компьютерной сети также зачастую называют вычислительными сетями, что является отражением того факта, что изначально компьютерные сети создавались для решения вычислительных задач. Мы будем использовать эти термины как эквивалентные.

В число интеллектуальных устройств кроме собственно компьютеров могут входить различные мобильные устройства (телефоны, планшеты), а также контроллеры (специальные процессоры) различных управляемых по сети объектов: “умных” домов и их подсистем, автомобилей, и других технических объектов различного назначения.

Сеть передачи данных является совокупностью *каналов передачи данных* и соединяющих их *коммуникационных устройств*.

Под компьютерами здесь понимаются не только традиционные компьютеры, но и мобильные устройства доступа к сети (смартфоны, планшеты и пр.), встроенные компьютеры различных технических устройств и вообще, любые устройства, оснащенные процессором, оперативной памятью, устройствами связи с внешним миром и операционной системой.

Каналы передачи данных могут иметь различную организацию, использовать различную *среду передачи цифрового сигнала* (т.е. данных) и иметь различную пропускную способность (скорость передачи данных).

К числу наиболее распространенных типов среды передачи цифрового сигнала относятся различные виды медных или волоконно-оптических кабельных систем, радиоэфир, воздушная оптическая среда. Среда передачи данных может быть *монопольно используемой* для организации одного канала между парой устройств (любое из них может быть как конечным интеллектуальным устройством, так и коммуникационным устройством) или разделяемой и обеспечивать создание на ее базе нескольких каналов.

В качестве примеров разделяемой среды передачи цифрового сигнала приведем радиоэфир и кабельную систему сегмента сети Ethernet, построенного с использованием одного или нескольких концентраторов (hub-ов), как это подробно рассматривается во 2-й главе. В качестве примера монопольно используемой среды передачи упомянем среду телефонный кабель, используемый для модемного подключения компьютера конечного пользователя к компьютерной сети.

Перейдем к рассмотрению характеристик пропускной способности канала передачи данных. Пропускная способность канала - это максимально достижимая скорость передачи данных через этот канал. Пропускная способность каналов измеряется в битах в секунду (bit per second - bps), а также в Кило-, Мега-, Гига-, Терабит в секунду (К-, М-, G-, Tbps).

К числу коммуникационных устройств, используемых для "соединения" каналов передачи данных, относятся серверы (компьютеры, предоставляющие некоторые услуги другим компьютерам сети), маршрутизаторы (роутеры), коммутаторы (свитчи), мосты (бриджи) концентраторы (хабы), модемы для различных сред передачи, точки радиодоступа, мультиплексоры (все эти устройства с различной степенью подробности рассматриваются в настоящей книге) и некоторые другие более "экзотические" устройства. Различные каналы подключаются к сетевым портам (специализированным устройствам ввода-вывода) этих устройств. Отметим, что подавляющее большинство перечисленных устройств так же, как и "конечные", пользовательские устройства доступа к сети являются специализированными компьютерами, "заточенными" на решение коммуникационных задач.

Бегло рассмотрев техническую сторону организации компьютерных сетей, перейдем к рассмотрению цели их создания - совместному решению задач пользователей несколькими интеллектуальными устройствами компьютерной сети.

1.1.2 Краткая характеристика основных задач, решаемых с использованием компьютерных сетей

В наш век повсеместного проникновения интернета наиболее распространенные задачи применения компьютерных сетей так или иначе связаны с использованием информационных ресурсов Всемирной информационной паутины (World Wide Web - WWW, или просто "веб"). К числу этих задач относятся хорошо знакомые большинству читателей задачи непосредственного доступа к определенным ресурсам (страницам) этой паутины, задача поиска интересующей информации, например, путем обращения к специальным поисковым серверам (Яндекс, Рамблер, Google, Yahoo и др.), задача "скачивания" из сети определенных информационных объектов (документов, программ, оцифрованных аудио-треков и фильмов и пр.), задача коммуникаций через социальные сети (Одноклассники, ВКонтакте, Facebook, Twitter и др.), выполнение покупок в интернет магазинах и решение широкого круга проблем через сайт электронного правительства, а также некоторые другие задачи. Особо стоит отметить, что доступ к фильмам и другим видеоматериалам по данным 2016 года загружает интернет трафиком (переданными через сеть данными) на 73 % (!!!) от общего объема переданного через интернет трафика.

Другим, широко известным классом сетевых задач, являются многочисленные приложения для мобильных устройств (смартфонов, планшетов и др.). Для выполнения подавляющего большинства таких приложений требуется использование вычислительных и информационных ресурсов других компьютеров, доступных через сеть.

Однако в эпоху “дoveбовского” развития сети интернет и компьютерных сетей вообще основными задачами применения компьютерных сетей, для решения которых и создавались компьютерные сети, являлись другие задачи, которые сохранили высокую свою актуальность и по сей день.

И первой из таких задач является задача выполнения требуемых программ, имеющих высокую вычислительную сложность (в смысле времени, требуемого для выполнения этих программ) на удаленном суперкомпьютере (вычислительном сервере). Потребность в таком использовании сети возникает при выполнении научных исследований и/или инженерных расчетов с применением различных методов математического моделирования. И в настоящее время такие потребности постоянно расширяются. Достаточно отметить, что во многих современных авиа- и авто-конструкторских организациях ряд задач, включающих определение аэродинамических характеристик корпусов проектируемых объектов, решается без использования натурального эксперимента в аэродинамической трубе, путем математического моделирования проектируемых объектов и вычисления их требуемых характеристик на суперкомпьютерах.

Развитием только что рассмотренной задачи является задача распределенного выполнения некоторой крайне вычислительно сложной программы на сети из большого количества вычислительных устройств. Для решения этой задачи была разработана и нашла достаточно широкое применение специальная технология, называемая GRID computing. Примерами научных задач, требующих для своего решения столь мощных вычислительных ресурсов, являются задача расшифровки генома человека и задача обработки результатов проведения физических экспериментов в большом адронном коллайдере - гигантском ускорителе элементарных частиц, установленном в европейском центре ядерных исследований CERN (в котором, между прочим, была в 1989-1991 годах разработана технология WWW).

Для обеспечения решения задач выполнения программ на удаленных вычислительных серверах были разработаны средства решения задачи пересылки файлов (с исходными текстами программ и их входными данными, а также с результатами работы этих программ) между компьютером пользователя и вычислительными серверами.

Однако явная (выполняемая по специальным запросам пользователя) пересылка файлов между компьютером пользователя и одним или несколькими вычислительными серверами довольно обременительна для пользователя. Для того, чтобы обеспечить прозрачный доступ пользователя к файловым системам суперкомпьютеров, а также прозрачный доступ одних вычислительных серверов к файловым системам других, были разработаны сетевые файловые системы, задачей которых является обеспечение прозрачного доступа компьютеров к определенным каталогам файловых систем других компьютеров. Естественно, что сетевые файловые системы нашли широкое множество других применений.

Важной задачей, сразу же возникшей после обеспечения выполнения программ пользователей на удаленных компьютерах, стала задача компьютерных коммуникаций между пользователями этих компьютеров, обобщенная до задачи компьютерных коммуникаций между любыми пользователями произвольных компьютеров,

подключенных к компьютерной сети. Решение этой задачи с различными уровнями возможностей предоставляют средства электронной почты (e-mail), средства интерактивного обмена сообщениями (Slack, ICQ, WhatsApp, Viber, Telegram, и др.), клиентские приложения соцсетей, средства VoIP коммуникаций (IP-телефония, Skype, Hangouts и пр.), а также некоторые другие средства компьютерных коммуникаций.

Более подробно средства решения перечисленных задач рассматриваются в главе 6 настоящего учебного пособия.

И, наконец, важными задачами, решаемыми с использованием компьютерных сетей, являются задачи управления функционированием этих сетей, организацией эффективного разделения используемых каналов для качественной передачи сетевого трафика (цифровых потоков данных) различных сетевых служб (средств решения различных сетевых задач), а также задачи, связанные с обеспечением информационной безопасности при работе в компьютерных сетях. Методам и средствам решения упомянутых в настоящем абзаце задач посвящены главы 7-9 настоящей книги.

1.2 Общая организация сети Интернет

Говоря об интернете, большинство его пользователей полагают, что сеть Интернет является единой всемирной сетью, предоставляющей доступ ко всем входящим в ее состав вычислительным, информационным и иным ресурсам и управляемой из некоего единого центра. Но на самом деле, интернет является не единой сетью, а совокупностью большого числа независимых сетей, принадлежащих различным владельцам (управляемых ими же), соединяющихся друг с другом в специальных точках обмена трафиком и взаимодействующих друг с другом с использованием сетевых протоколов (правил взаимодействия входящих в сеть устройств и их пользователей) семейства TCP/IP, подробное рассмотрение которых в настоящем учебнике.

В число составляющих интернет сетей входят сети операторов связи разных уровней (называемых также провайдерами услуг интернет или просто интернет-провайдерами (Internet Service Provider)) и подключенные к ним абонентские сети организаций и сети или отдельные компьютеры частных лиц.

Инфраструктура сети Интернет образована взаимосвязанной совокупностью сетей операторов связи различного уровня: tier-1, tier-2, tier-3 (слово "tier" обычно не переводится, а читается как "тир" или "тьер", но может быть переведено как "уровень"). Общее количество сетей tier-1 в настоящее время больше 10 и может меняться от года к году как в большую, так и в меньшую сторону за счёт изменения некоторыми из этих сетей возможностей и/или условий обмена трафиком с другими сетями. Все сети tier-1 обмениваются трафиком с другими сетями этого же уровня исключительно на бесплатной основе через непосредственно соединяющие их каналы, не допускающие передачу через них транзитного трафика третьих сетей; такие каналы называются *пиринговыми*. Если такой канал между двумя сетями tier-1 будет ликвидирован по инициативе одной или обеих этих сетей, то доступ между этими сетями будет невозможен. Такой доступ может быть восстановлен путём подключения обеих этих сетей к третьим сетям платными каналами, но в этом случае их уровень будет понижен до tier-2.

Сеть операторов уровня Tier-1 образуют так называемое ядро интернета. Сети операторов более низких уровней могут подключаться к более высокоуровневым сетям через предоставляемые операторами этих высокоуровневых сетей точки подключения (именуемые точками присутствия PoP - Point of Presence) сетей операторов более низкого уровня. Кроме того, сети операторов двух нижних уровней могут подключаться к сетям операторов любых уровней через точки взаимного обмена трафиком нескольких сетей, называемые IX (Internet eXchange), через эти точки обычно выполняется пиринговый обмен локальным трафиком взаимодействующих через IX сетей (локальный трафик сети включает в себя и трафик подчинённых сетей). Сети корпоративных и индивидуальных абонентов могут подключаться к сетям провайдеров различного уровня как через PoP, так и через IX. Таким образом, упрощенная структура сети интернет может быть представлена в виде, приведенном на рис. 1.1.

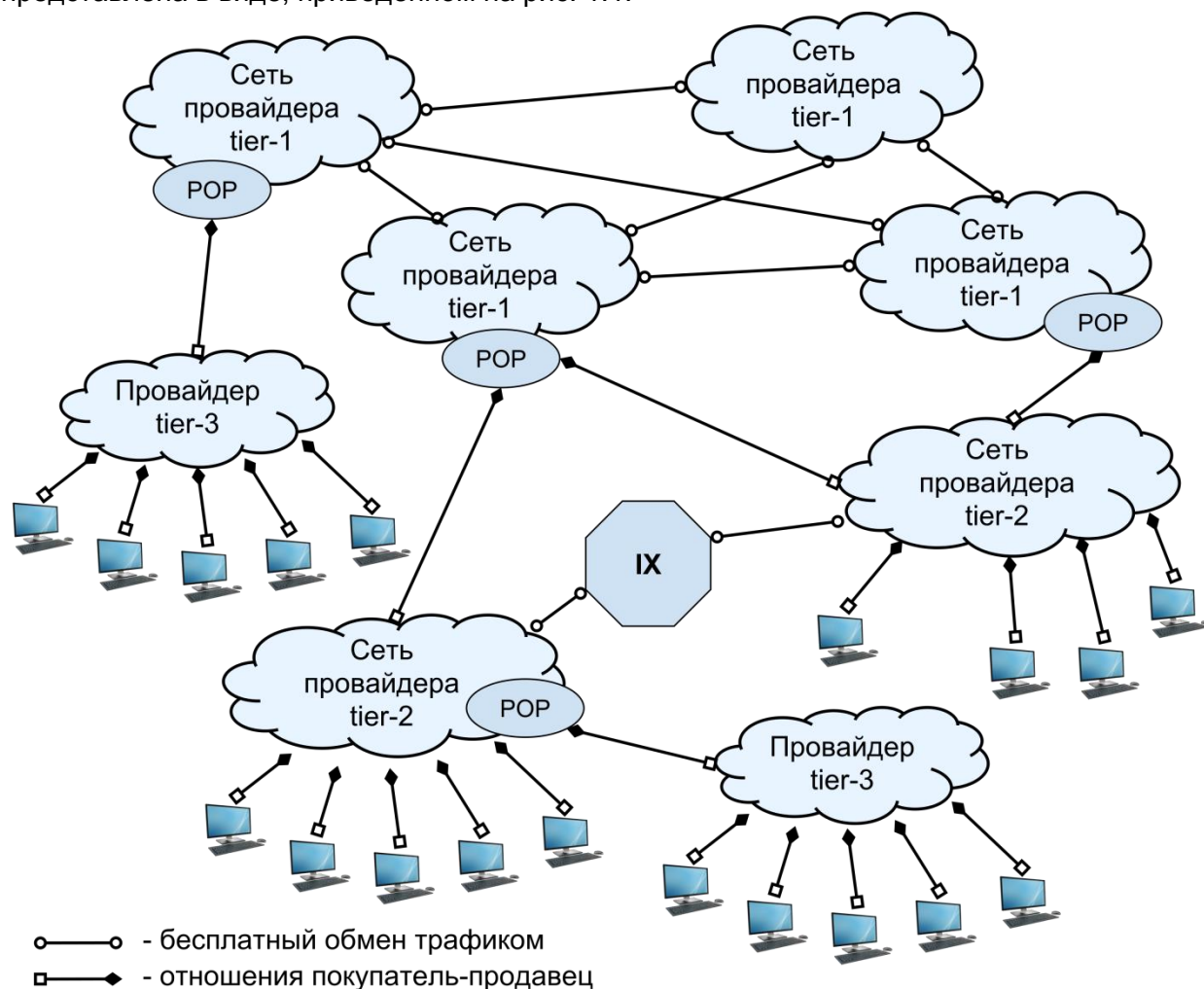


Рис. 1.1. Упрощенная структура сети Интернет

Отметим, что одна из крупнейших точек обмена трафиком США расположена в районе Нью Йорка, одна из основных Европы - в Амстердаме (Нидерланды), а главной

точкой обмена трафиком России является расположенный в Москве распределённый MSK IX, старейшая и крупнейшая площадка которого M9 расположена в здании МТС-9.

Не все организации обмениваются трафиком через ближайшие к ним точки доступа. Это приводит к увеличению времени пинга между ними. Так, например, в Амстердаме обменивается трафиком отраслевая сеть российских университетов RUNNet (основной путь подключения к Интернет корпоративной сети Южного федерального университета и большого числа других вузов России) с сетью мобильной связи 4-го поколения (4G) LTE ПАО "МТС". Это иллюстрируется представленной на рис. 1.2 трассировкой маршрута со смартфона, подключенного к Ростовской сети LTE ПАО "МТС" к WWW-серверу корпоративной сети ЮФУ, находящемуся в том же городе. В 13-й строке этого маршрута указано коммуникационное устройство (маршрутизатор) с именем ndn-gw2-runnet.ru - расположенный в Нидерландах (ndn) межсетевой шлюз (точка подключения) gw2 (gateway - шлюз) сети RUNNet к Северо-Европейской научно-образовательной сети NordUNet (см. также строки 11-12). Отметим, что еще лет пять тому назад (настоящий текст пишется в 2017 году) и сети 3G всех российских операторов мобильной связи также обменивались трафиком с сетью RUNNet в Амстердаме, но в настоящий момент такой обмен трафиком выполняется в Москве на MSK-IX. Будем надеяться, что и для сетей 4G обмен их трафиком с сетью RUNNet вскоре тоже будет происходить на MSK-IX.

```
C:\Program Files\Far Manager>tracert www.sfedu.ru
```

```
Трассировка маршрута к www-sfedu.r61.net [195.208.245.171]  
с максимальным числом прыжков 30:
```

| | | | | |
|----|--------|--------|--------|---|
| 1 | 1 ms | 1 ms | 1 ms | www.huaweimobilewifi.com [192.168.8.1] |
| 2 | 48 ms | 38 ms | 34 ms | 198.18.8.1 |
| 3 | 55 ms | 48 ms | 46 ms | 10.250.245.201 |
| 4 | 59 ms | 54 ms | 40 ms | 10.249.12.115 |
| 5 | 52 ms | 57 ms | 48 ms | 10.249.126.253 |
| 6 | 48 ms | 44 ms | 40 ms | ler-cr01-ae23.100.rnd.stream-internet.net [195.34.38.174] |
| 7 | 80 ms | 60 ms | 74 ms | mag9-cr01-be4.61.msk.stream-internet.net [212.188.29.5] |
| 8 | 80 ms | 76 ms | 70 ms | oct-cr03-be1.78.spb.stream-internet.net [212.188.2.37] |
| 9 | 91 ms | 79 ms | 99 ms | kivi-cr01-ae8.78.hel.stream-internet.net [212.188.54.2] |
| 10 | 99 ms | 80 ms | 87 ms | bro-cr01-be7.135.stk.stream-internet.net [195.34.50.146] |
| 11 | 110 ms | 99 ms | 88 ms | se-fre.nordu.net [194.68.128.24] |
| 12 | 115 ms | 94 ms | 90 ms | fi-csc.nordu.net [109.105.102.57] |
| 13 | 115 ms | 88 ms | 94 ms | ndn-gw2.runnet.ru [109.105.102.58] |
| 14 | 123 ms | 101 ms | 107 ms | b57-1-gw.spb.runnet.ru [194.85.40.186] |
| 15 | 115 ms | 107 ms | 99 ms | m9-3-gw.msk.runnet.ru [194.85.40.229] |
| 16 | 117 ms | 100 ms | 117 ms | m9-2-gw.msk.runnet.ru [194.85.40.214] |
| 17 | 133 ms | 128 ms | 127 ms | rsu.rostov-don.runnet.ru [194.190.254.58] |
| 18 | 125 ms | 124 ms | 200 ms | c1-uginfo-vl4.r61.net [195.208.248.141] |
| 19 | 148 ms | 158 ms | 158 ms | bg1-uginfo-gi0-1-130.r61.net [195.208.248.150] |
| 20 | 118 ms | 121 ms | 125 ms | c1-uginfo-vl156.r61.net [195.208.248.154] |
| 21 | 127 ms | 124 ms | 131 ms | www-sfedu.r61.net [195.208.245.171] |

```
Трассировка завершена.
```

Рис. 1.2 Трассировка маршрута со смартфона 4G на www-сервер ЮФУ

Как указывалось выше корпоративные сети и домашние сети или индивидуальные компьютеры (мобильные устройства) индивидуальных пользователей осуществляют доступ к интернету путем подключения к сетям тех или иных операторов связи. При этом

небольшие организации как правило используют одну точку подключения к Интернет. Что касается крупных, тем более, территориально распределенных организаций, филиалы которых находятся в различных городах, то зачастую они подключаются к сети Интернет в нескольких точках и, возможно, через сети различных операторов связи. При этом даже фрагмент корпоративной сети, расположенный в одном городе, может быть подключен к Интернет через сети 2-х операторов связи с целью обеспечения резервного канала, гарантирующего сохранение связности с Интернет при временном отказе основного канала выхода в Интернет. Кроме того, такой “резервный” канал может быть постоянно загружен трафиком приложений определенного типа или трафиком определенных подразделений организации.

Подключение различных фрагментов корпоративной сети к сети Интернет через сети различных операторов и взаимодействие этих фрагментов друг с другом только через сеть Интернет разрушает целостность корпоративной сети и изолированность внутрикорпоративных приложений от возможных небезопасных воздействий со стороны внешних сетей. Для того, чтобы в таких случаях можно было бы обеспечить интегрированность корпоративной сети и должный уровень ее изоляции от внешних сетей, были разработаны методы и технологии построения виртуальных частных сетей (VPN - Virtual Private Networks), рассматриваемые в параграфе 8.5.

1.3 Классификация компьютерных сетей

Компьютерные сети (называемые также вычислительными сетями, вспомните, какие функции компьютерных сетей были реализованы первыми) можно классифицировать по различным критериям, таким как: масштаб сети, топология сети, тип и пропускная способность используемой среды передачи (точнее - каналов передачи данных, построенных на базе этой среды), принадлежность сети, доступность сети всем или ограниченному кругу пользователей, используемые сетевые протоколы, функции сети.

1.3.1 Классификация компьютерных сетей по их масштабу

Согласно традиционной классификации масштаба компьютерных сетей, используемой в англоязычной литературе, компьютерные сети делятся на

- глобальные вычислительные сети (WAN - Wide Area Networks),
- вычислительные сети городского масштаба (MAN - Metropolitan Area Networks)
- локальные вычислительные сети (ЛВС или LAN - Local Area Networks).

Русскоязычные аналоги аббревиатур WAN и MAN в литературе и в технической документации не применяются.

Масштаб глобальных сетей может варьироваться в достаточно широких пределах, включая сети регионального, национального, транснационального, континентального и трансконтинентального масштаба. До недавнего прошлого сети всех этих разновидностей строились на базе магистральных каналов, работающих по технологии SDH (не рассматриваемой в настоящем методическом пособии, поскольку оно не ориентировано на подготовку профессиональных связистов, обслуживающих подобные каналы). Однако

ориентировочно с 2004-2005 годов ряд сетей достаточно большого масштаба (вплоть до всероссийских) был переведен на использование изначально ориентированной на ЛВС, но стремительно увеличившей к указанному моменту свою производительность и функциональность, а также — существенно более дешевую (по стоимости требуемых коммуникационных устройств) технологию Ethernet.

Сети городского масштаба изначально строились на базе технологии SDH (СОНЕТ), но уже с середины 1990-х годов начали постепенно переходить на использование “технологий построения локальных сетей”, сначала FDDI, а затем — современных технологий семейства Ethernet.

ЛВС — это компьютерные сети одного здания или нескольких “близко расположенных” зданий принадлежащих одной организации. При этом “близость расположения” является весьма относительным понятием: при использовании для связи между зданиями волоконно-оптических каналов передачи данных (собственных или арендуемых) “близкими” могут быть здания, расположенные на расстояниях в десятки километров. ЛВС имеют определенную (как правило - иерархическую) структуру, сконструированную из базовых единиц - сегментов ЛВС. Сегментом ЛВС будем называть совокупность компьютеров (интеллектуальных устройств, коммуникационных устройств), объединенных общей (разделяемой или монополюсно используемой) средой передачи. В случае монополюсно используемой среды передачи соответствующий сегмент включает 2 компьютера. Варианты структурной организации (топологии) сегментов ЛВС рассматриваются в параграфе 1.3.2.

1.3.2 Классификация вычислительных сетей по их топологии

Топологией вычислительной сети называется структура коммуникационного графа сети, вершинам которого соответствуют конечные и коммуникационные устройства сети, а ребрам — каналы передачи данных между этими устройствами. Топология вычислительных сетей для сетей различного масштаба имеет различный вид.

Топология глобальных вычислительных сетей, основанных на применении технологии SDH (СОНЕТ), обычно является иерархической: все или большинство вершин графа верхнего уровня имеют один канал, соединяющий эту вершину с графом сети более низкого уровня иерархии. Общее количество уровней может достигать 4-х. При этом топология связей между вершинами графа верхних уровней иерархии является полностью связанной (full mesh) или частично реализующей полностью связанную топологию (partial mesh). В структуре многосвязного графа имеется достаточно большое число не ориентированных циклов, гарантирующих сохранение связности графа (и коннективности соответствующей сети) при одновременном выходе из строя не более, чем одного канала в каждом из циклов. Это обеспечивает очень высокий уровень надежности сетей верхнего уровня. Для нижних уровней иерархии характерно использование кольцевой топологии. При выходе из строя любого единичного канала связи общая связность вершин коммуникационного графа сохраняется. Типовая схема топологии глобальных вычислительных систем представлена на рис. 1.3. Отметим, что подобная топология может быть реализована не только путем применения в качестве коммуникационных

устройств мультиплексов SDH (с использованием более производительных моделей этих мультиплексов и соединяющих их каналов на верхних уровнях иерархии, соединяющих большое число сетей более низких уровней иерархии), но например, построением требуемой иерархии с применением коммутаторов Ethernet различной производительности. Основным преимуществом 1-го решения является высокий уровень управляемости гигантского “сегмента” SDH, преимуществами второго - существенно меньшая стоимость, а также унификация технологий, используемых в локальных и глобальных сетях.

Вид топологии сетей городского масштаба (а также не “самых масштабных” глобальных сетей) определяется тем, какие технологии используются для построения магистральной структуры сети: технологии глобальных вычислительных сетей, или технологии построения ЛВС.

Базовые элементы топологии сегментов ЛВС и способ конструирования из них более крупных сегментов рассматриваются в параграфе 1.4.

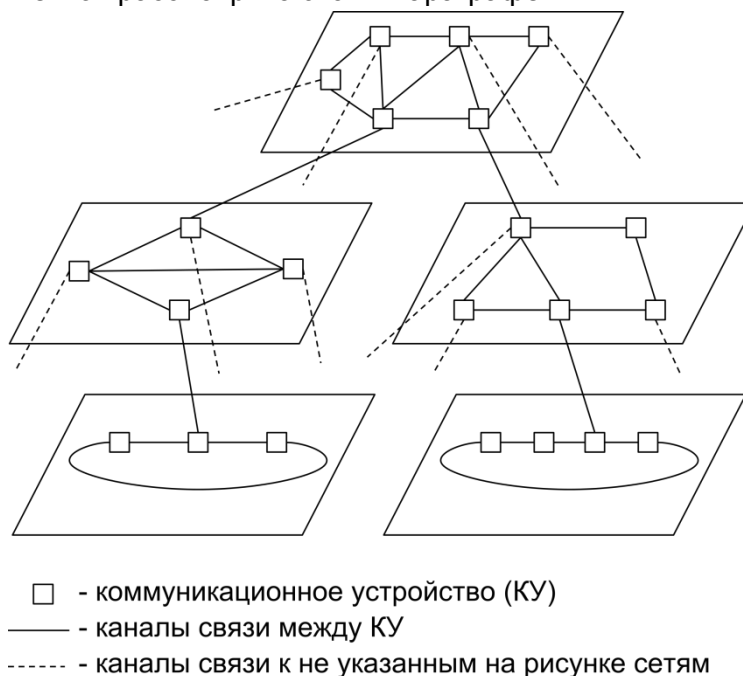


Рис. 1.3. Типовая схема топологии WAN

1.3.3 Классификация сетей по типу среды передачи и пропускной способности каналов

В качестве среды передачи данных в различных подсетях компьютерных сетей может использоваться проводная или беспроводная среда. К проводным средам относятся несколько типов медного кабеля и волоконно-оптические кабели. К беспроводным средам относятся радиосреда, оптическая атмосферная среда и среда СВЧ-излучения. Величина пропускной способности каналов (называемой также *емкостью каналов*), построенных на базе различных сред передачи варьируется в достаточно широких пределах в зависимости от используемой среды передачи.

1.4. Базовые топологии сегментов ЛВС

Напомним, что сегментом ЛВС является совокупность компьютеров, непосредственно соединенных общей, совместно используемой средой передачи. В настоящем параграфе рассмотрим базовые топологии сегментов ЛВС а также способы построения более крупных сегментов из “элементарных” сегментов, имеющих базовые топологии. К числу таких топологий обычно относят шинную, кольцевую и звездообразную. Мы дополним этот перечень видимо “очевидной” двухточечной топологией. В настоящем параграфе рассматриваются все указанные базовые топологии, а также способы “укрупнения” сегментов путем объединения в одну общую среду передачи нескольких сегментов одной и той же, либо различных базовых топологий. Отметим, что такая общая среда передачи обеспечивает взаимную доступность всех подключенных к ней компьютеров средствами протоколов наиболее низкого из доступных программисту — канального уровня (см. параграф 1.7).

1.4.1 Шинная топология

В шинной (bus) топологии сегмента ЛВС все входящие в этот сегмент компьютеры объединены общей одновременно доступной всем этим компьютерам средой передачи, как это показано на рис. 1.4 .

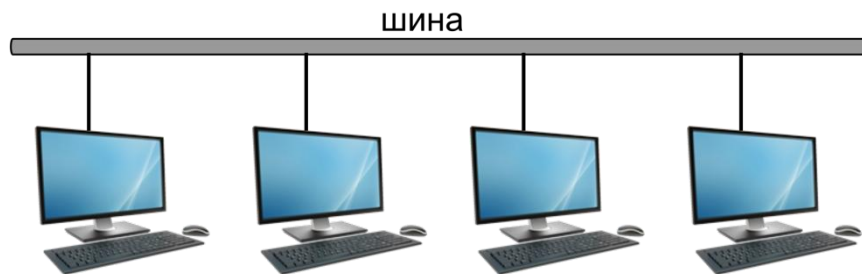


Рис. 1.4. Шинная топология

Типичным примером “по определению” шинной среды, является радиосреда, воспринимаемая всеми без исключения радиоприемниками и доступная для передачи всем без исключения радиопередатчикам. Поэтому неудивительно, что сегмент ЛВС, созданный на базе точки доступа WiFi, имеет шинную топологию.

Однако такую топологию могут иметь и кабельные сегменты. Так первые разновидности широко распространенных сетей, построенных по технологии Ethernet имеют шинную топологию. В дальнейшем мы будем называть указанные разновидности этой технологии “базовой Ethernet”. Отметим, что само название Ethernet, т.е. “эфирная сеть” говорит о том, что разработчики этой технологии использовали метафору радиосреды при создании всех механизмов взаимодействия компьютеров через кабельную среду Ethernet, разновидности которой рассматриваются в параграфе 2.2.

Механизм взаимодействия компьютеров через шинную среду таков. В каждый момент времени среда может передавать только один пакет данных от одного из компьютеров сегмента другому компьютеру-получателю (или всем входящим в сегмент компьютерам). Поэтому, если некоторый компьютер сегмента (точнее - сетевая карта

этого компьютера) готов начать передачу пакета данных (в заголовке которого содержится информация о получателях пакета), он “прослушивает” шину, определяя, свободна ли она, и, в случае если шина не занята, выполняет отправку пакета. Иначе компьютер переходит в режим ожидания освобождения шины. Однако, возможна ситуация, когда после завершения передачей шины некоторого пакета сразу несколько компьютеров, ожидавших освобождения шины, практически одновременно начинают передачу своих пакетов. Такая ситуация называется столкновением (пакетов). Она оперативно обнаруживается, передача пакетов прекращается и обеспечивается случайный выбор компьютера, которому предоставляется право первым начать передачу своего пакета. Все остальные компьютеры постоянно “прослушивают” шину и начинают считывать все передаваемые пакеты, определяя по информации, содержащейся в заголовках этих пакетов, входят ли они в число получателей пакета. Если да, то пакет считывается до конца, в противном случае пакет “отбрасывается”. Более детально метод передачи пакетов через разделяемую шину описан в параграфе 2.2.

Рассмотренная процедура является простой и поэтому устройства, реализующие ее выполнение, относительно недорогие. Это является одним из главных достоинств шинной топологии. Другим достоинством среды передачи, основанной на использовании коаксиального кабеля, является предельно малый метраж используемого кабеля, что влечет снижение стоимости кабельной системы сегмента. Кабельные системы, построенные с использованием витой пары, внешне похожи на звезду, в центре которой находится концентратор (hub), но логика работы этого концентратора такова же, как и логика работы шины.

Однако у шинной топологии есть и недостатки. Во-первых, кабельные системы, построенные на коаксиальном кабеле, приходят в полностью нерабочее состояние даже при повреждении кабеля в единственной точке или при плохом контакте лишь в одном соединительном разъеме (в этом случае в кабеле распространяется отраженный сигнал, искажающий все передаваемые пакеты). И, во-вторых, (и это является главным недостатком) шинные сегменты, построенные с использованием любой среды передачи, плохо масштабируемы. Дело в том, что при вхождении в состав сети N компьютеров, возможно до $[N/2]$ пар компьютеров, нуждающихся в передаче пакетов между ними. Поэтому если общая пропускная способность шины составляет B (Bandwidth) бит/сек, то на каждом из сетевых соединений будет доступно в среднем лишь $B/[N/2]$ бит/сек. Очевидно, что при возрастании N скорость соединений между парами компьютеров в сети будет уменьшаться в обратно пропорциональной зависимости, что зачастую является недопустимым.

Отметим, что при развитии технологии Ethernet указанный недостаток базовой Ethernet был преодолен путем создания специальных коммуникационных устройств - коммутаторов Ethernet, реализующих другую топологию сегментов ЛВС. Указанные коммуникационные устройства будут сначала вкратце, а затем - подробно рассмотрены в пункте 1.4.3 и параграфе 2.3 соответственно.

1.4.2 Кольцевая топология

В кольцевой (ring) топологии сегмента ЛВС все входящие в этот сегмент компьютеры объединены общей кабельной средой передачи, соединяющей компьютеры по кольцу, как это показано на рис. 1.5.

В сегментах с кольцевой топологией совместное использование и разделение общей кольцеобразной среды передачи выполняется по следующей схеме. Все передаваемые по кольцу пакеты (от источника до получателя, определяемого по содержащейся в заголовке пакета адресной информации) пересылаются в определенном направлении. При этом отправка пакета некоторым компьютером возможна не в произвольный момент времени, а только в момент прохождения через этот компьютер специального технологического пакета - маркера (token). Пересылаемый пакет присоединяется к маркеру и "путешествует" с ним по кольцу до достижения компьютера, являющегося получателем пакета. Во время такого "путешествия" присоединение к пересылаемому пакету никаких дополнительных пакетов невозможно. По прибытии пакета к получателю тот забирает пакет и освобождает маркер. Текущий и все следующие за ним по маршруту пересылки маркера могут присоединять к нему пакеты.

Кроме индивидуальных компьютеров в кольцо могут включаться концентраторы (hub) FDDI, к которым могут подключаться несколько индивидуальных компьютеров и/или устройств сопряжения с другими сегментами ЛВС.

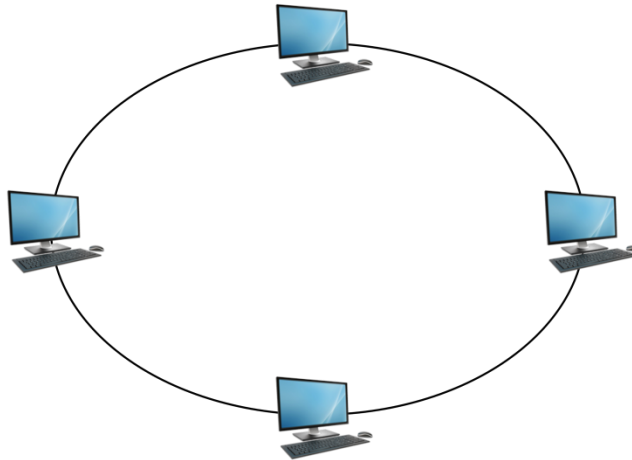


Рис. 1.5. Кольцевая топология

Отметим, что для кольцевой топологии, точно так же как и для шинной, актуальна проблема масштабирования количества компьютеров в сегменте. Средняя пропускная способность, "достающаяся на долю" одного сетевого соединения все так же обратно пропорциональна количеству компьютеров в сегменте.

Примерами сетевых технологий, основанными на использовании этой топологии являются уже давно не используемая технология Token Ring (буквально "маркерное кольцо") и довольно популярная в 1990-х и в первом пятилетии 2000-х годов технология FDDI (Fiber Distributed Data Interface - распределенный волоконно-оптический интерфейс передачи данных). В этой технологии компьютеры связываются двойным волоконно-оптическим кольцом. При этом пересылка пакетов данных выполняется только по внешнему кольцу. Внутреннее кольцо используется для резервирования каналов

пересылки данных. При повреждениях внешнего кольца в компьютерах по обе стороны места повреждения внешнее кольцо замыкается на внутреннее и пакеты начинают пересылаться в обход места повреждения по внутреннему кольцу (в направлении, противоположном направлению пересылки пакетов по внешнему кольцу). Во время своего появления технология FDDI обеспечивала 10 кратное превосходство в скорости передачи по сравнению с существовавшими на тот момент технологиями семейства Ethernet (100 против 10 Мбит/сек) и, благодаря использованию волоконно-оптических каналов - возможность взаимной удаленности компьютеров кольца на десятки километров. Одновременно технология FDDI, также как и Ethernet использовала относительно простую логику взаимодействия, эффективно реализуемую в коммуникационном оборудовании, и также была относительно дешевой. Поэтому эта технология была использована в качестве магистральной технологии построения созданной в 1995 году Южно-Московской опорной сети ЮМОС.

Однако, в отличие от технологии Ethernet, FDDI не эволюционировала в направлении повышения пропускной способности используемых каналов передачи данных и разработки средств, обеспечивающих возможности масштабирования количества компьютеров сегмента, и была практически вытеснена современными технологиями семейства Ethernet, рассматриваемыми в параграфе 2.3 настоящей книги.

1.4.3 Звездообразная топология

В звездообразной (star) топологии сегмента ЛВС входящие в этот сегмент периферийные компьютеры соединены расположенными как лучи звезды каналами с находящимся в центре этой звезды центральным компьютером, как это показано на рис. 1.6 .

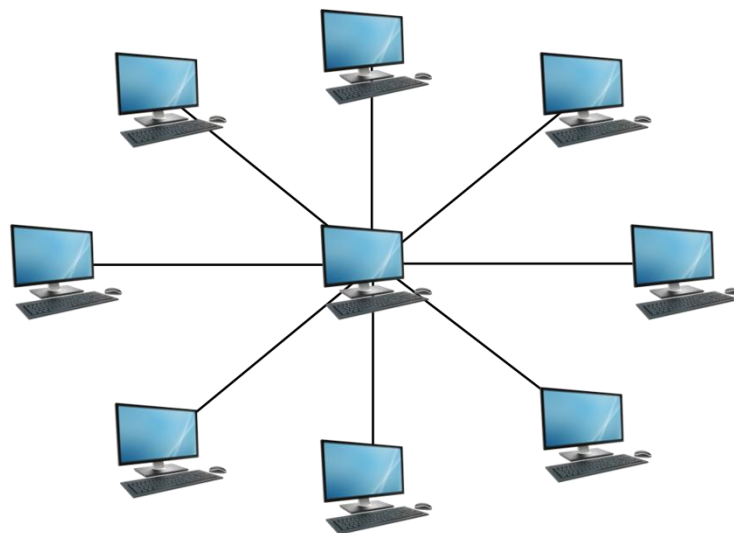


Рис. 1.6. Звездообразная топология

Пересылка данных между любыми парами периферийных компьютеров выполняется через центральный компьютер. При этом центральный компьютер обеспечивает возможность одновременной передачи данных между любыми парами периферийных компьютеров.

Отметим, что при такой организации пересылки пакетов данных к центральному компьютеру предъявляются повышенные требования надежности и производительности. Повышенная надежность необходима поскольку отказ в работе центрального компьютера влечет отказ в работе всего сегмента сети. Повышенная производительность необходима для обеспечения возможности параллельной по времени пересылки пакетов между любыми парами периферийных компьютеров.

Необходимость использования дополнительного центрального компьютера (и соединения каждого периферийного компьютера с центральным компьютером отдельным кабелем) вкупе с предъявляемыми к нему высокими требованиями влечет существенное увеличение стоимости кабельного и коммуникационного оборудования звездообразных сегментов по сравнению с шинными и кольцеобразными сегментами.

Но, в отличие от последних типов сегментов звездообразный сегмент меньше страдает проблемами плохого масштабирования. Все пересылки данных между любыми парами периферийных компьютеров выполняются с одинаковой скоростью. Если возможности масштабирования (увеличения количества периферийных компьютеров) начинают ограничиваться из-за ограниченного количества сетевых портов центрального компьютера, можно решить возникающую проблему путем увеличения количества таких портов, что на практике обычно достигается путем замены используемой модели центрального на более производительную (по суммарной скорости одновременно выполняемых передач пакетов данных в рамках различных соединений) и поддерживающую большее число портов.

Однако потребность масштабирования количества компьютера сегмента в достаточно широких пределах была столь востребованной, а обеспечение этой потребности звездообразной архитектурой сегмента с высокопроизводительным и высоконадежным центральным компьютером этой сети, обеспечивающем выполнение лишь коммуникационных функций столь естественным, что были предприняты успешные усилия, направленные на максимально возможное снижение стоимости таких компьютеров путем их узкой специализации и разработки коммутаторов пакетов, предназначенных для использования в качестве центральных компьютеров звездообразных сегментов. А последующее массовое производство таких коммутаторов еще более снизило их стоимость, что, наряду с широкими возможностями масштабирования привело к массовому использованию звездообразных структур в топологиях большинства ЛВС. Подробнее принципы функционирования коммутаторов и множество предоставляемых ими возможностей на примере коммутаторов Ethernet рассматриваются в параграфе 2.3.

1.4.4 Двухточечная топология

В двухточечной топологии единая среда передачи данных, по сути являющаяся единственным каналом передачи данных, соединяет два компьютера и/или коммуникационных устройства (Рис 1.7).

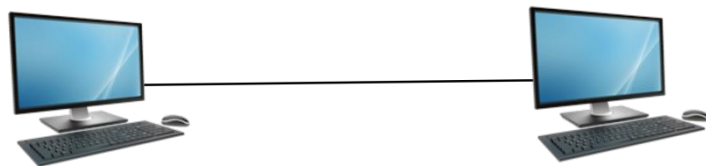


Рис. 1.7 Двухточечная топология

При помощи множества двухточечных соединений может быть построен граф произвольной топологии, но, как правило, такое соединение выполняется при помощи устройств, работающих выше канального уровня сетевых протоколов. Но топологии первых вычислительных сетей строились на базе двухточечных каналов

Двухточечные соединения используются как правило либо для организации каналов передачи данных между различными сетями, принадлежащими разным владельцам, каналов передачи данных от “основной части” корпоративной сети, к подсетям ее филиалов, а также для создания каналов подключения к сети индивидуальных удаленных абонентов. В последнем случае канал зачастую создается на базе телефонного кабеля и подключается к одному из сегментов сети при помощи специального устройства Ethernet мост-модем (вкратце рассматриваемого в следующем пункте), интегрирующего этот двухточечный канал в топологию единой среды передачи данных упомянутого сегмента.

1.4.5 Способы объединения нескольких сегментов ЛВС в единую среду передачи

Итак, в предыдущих пунктах настоящего параграфа нами рассмотрены 4 базовые топологии, используемые при построении сегментов ЛВС. При использовании разновидностей медного кабеля общая длина создаваемых на их базе сегментов не превышала 100 - 175 метров (в зависимости от типа используемого кабеля). А на практике зачастую требовались сегменты большей длины. Поэтому были разработаны средства “удлинения” сегментов, позволяющие объединить 2 или более сегментов в единую среду передачи данных. Первыми из таких средств стали двухпортовые повторители сигнала (repeater) и двух- или многопортовые мосты (bridge). Повторители являлись простыми усилителями сигнала, передаваемого с каждой из сторон и не представляют для нас дальнейшего интереса.

А мосты предоставляют две важные и востребованные до настоящего времени возможности. В частности, двухпортовые мосты могут иметь порты различного типа и выполнять взаимную трансляцию формата пакетов технологий передачи данных, используемые в сегментах по обе стороны моста. Такие мосты называются транслирующими. В качестве одного из примеров транслирующего моста можно указать упомянутый выше Ethernet мост-модем, имеющий порт для подключения к сети Ethernet с одной стороны и порт для подключения к телефонному кабелю с другой стороны. В качестве другого примера упомянем мост FDDI-Ethernet, соединяющий сегменты, работающие на основе соответствующих технологий.

Вторая возможность является еще более важной. Четырех- и более портовые мосты с портами одинакового типа (называемые прозрачными мостами), обеспечивают

параллельную во времени пересылку пакетов между соединяемыми парами сегментов! Таким образом они делают первый шаг в направлении повышения уровня масштабируемости совокупности объединенных сегментов по количеству подключенных к ним компьютеров. А следующими шагами стало увеличение количества портов до достаточно большого числа (от 8 до 128) с одновременной заменой названия “мост” на название “коммутатор” (switch) и создание на их базе управляемых коммутаторов. Между тем, базовые алгоритмы организации пересылки пакетов из соединяемых сегментов, используемые еще в мостах, без существенных изменений “перекочевали” и в коммутаторы. Отметим, что под “однотипностью” портов коммутаторов понимается факт использования ими одной и той же технологии, передачи данных, например семейства технологий Ethernet. Но при этом различные порты коммутатора могут различаться по скорости передачи данных конкретного семейства.

С учетом возможности использования рассмотренных средств объединения сегментов может быть, например, создан сегмент с топологией, представленной на рис. 1.8

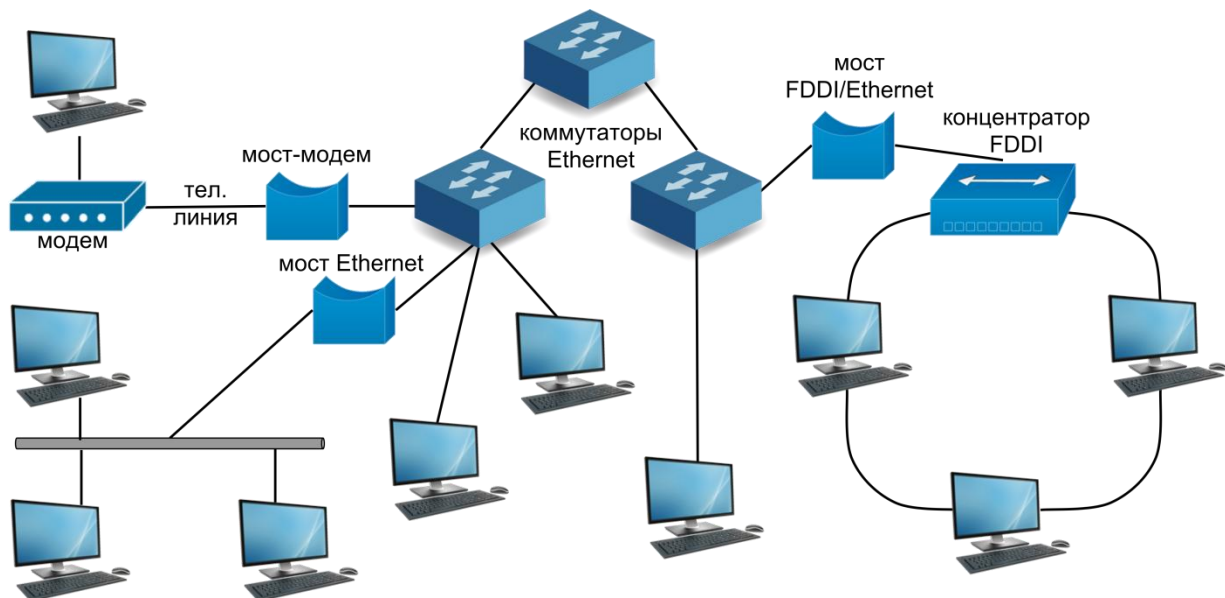


Рис 1.8. Пример сегмента, интегрирующего базовые элементы различных топологий

Достаточно типичным видом топологии “составных” сегментов ЛВС является древовидная топология. На верхнем уровне этой топологии находится иерархическая структура звездообразных сегментов. К коммутаторам (центрам звезд) нижних уровней иерархии могут подключаться сегменты, построенные на базе концентраторов (hub-ов), лишь внешне имеющих сходство со звездообразной топологией, но функционирующих с использованием логики взаимодействия шинных сегментов. Пример подобной древовидной структуры изображен на рис. 1.9.

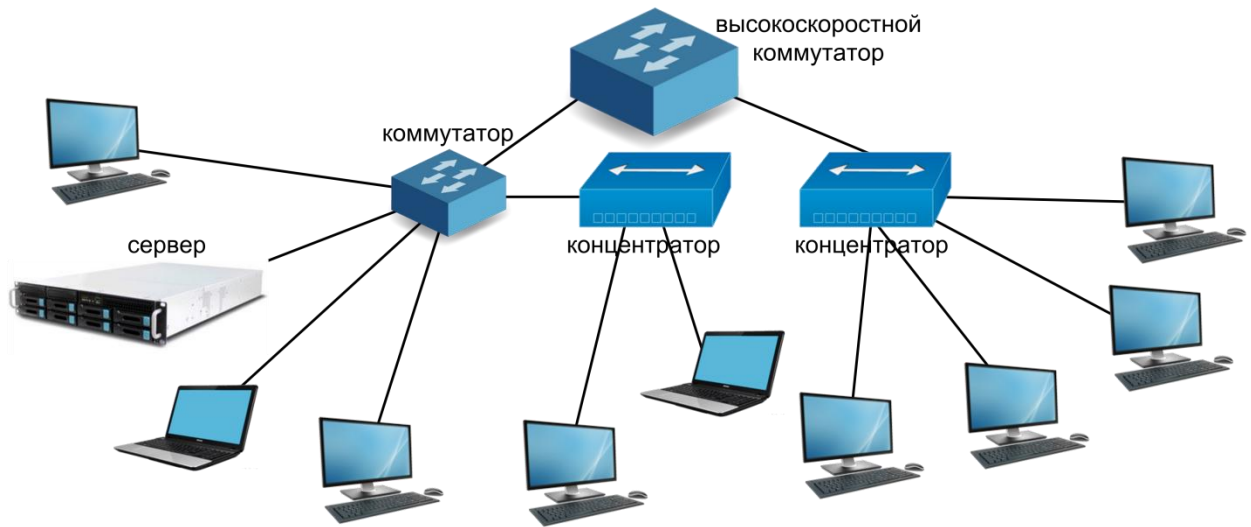


Рис. 1.9. Древообразная топология ЛВС

После того, как коммутаторы стали использоваться шире, “тиражи” выпуска коммутаторов сильно возросли. Это позволило существенно снизить стоимость единицы продукции, что повлекло еще более широкое использование коммутаторов и дальнейшее снижение их стоимости. Таким образом, при создании сетей Ethernet стала все шире внедряться практика построения полностью коммутируемых сегментов ЛВС, не содержащих элементов с шинной (или кольцеобразной) топологией, и представляющих из себя созданную на базе иерархического подключения коммутаторов друг к другу иерархическую структуру. В параграфе 2.3 мы узнаем о предоставляемых управляемыми коммутаторами Ethernet возможности использования неориентированных циклов в графе топологии связи коммутаторов. Эта возможность обеспечивает резервные пути передачи данных, используемые при выходе из строя тех или иных каналов, входящих в состав циклических структур. Таким образом на базе технологии Ethernet могут, в частности, реализоваться сильносвязные топологические структуры, востребованные для построения магистральных сегментов территориально-распределенных сетей.

1.6 Краткая история развития компьютерных сетей

История развития компьютерных сетей включает доинтернетовский период и период становления и развития интернета. Последний период, в свою очередь, включает два этапа: довебовский этап и этап становления и развития веб-технологий. Такое разбиение на периоды и этапы более естественно для конечных пользователей и сетевых программистов (на которых и ориентирована настоящая книга), чем более привычная для профессиональных связистов разбиение на этапы развития технологий построения все более и более скоростных средств передачи данных. Поэтому далее в настоящем

параграфе мы будем придерживаться предложенного нами разбиения на этапы и периоды, но постараемся на фоне “высокоуровневых” содержательных достижений каждого из этапов по возможности не забыть и об основных “низкоуровневых” достижениях в области развития высокоскоростных технологий передачи данных.

1.6.1 Доинтернетовский период развития компьютерных сетей

Первые компьютерные сети были созданы в конце 1950-х - начале 1960-х годов (по данным разных источников от 1959 г. до 1962 г.) для решения задачи обеспечения доступности вычислительных ресурсов чрезвычайно редких “суперкомпьютеров” того времени, называвшихся тогда мэйнфреймами (mainframe), для пользователей удаленных на значительные (порою - гигантские) расстояния других обычных компьютеров.

По своему территориальному масштабу такие сети зачастую были глобальными, по количеству входящих в них компьютеров и топологиям связей между ними - локальными (обычно - древовидная структура с возможными резервными каналами, построенная на базе соединяемых через компьютеры двухточечных сегментов), по принадлежности - корпоративными и/или ведомственными. Эти сети были доступны ограниченному кругу сотрудников организаций (ведомств), владеющих этими сетями. Отметим, что одним из разработчиков таких сетей было и агентство ARPA, впоследствии создавшее прототип интернета (см. ниже). Однако используемые в таких сетях протоколы взаимодействия компьютеров кардинально отличались от протоколов интернета и не обеспечивали сколь либо высокой степени масштабируемости построенных с их использованием сетей и устойчивости к отказам отдельных каналов передачи данных.

Компьютеры первых компьютерных сетей были связаны совокупностью двухточечных соединений каналами, созданными на базе обычных телефонных кабелей пропускной способностью от 9.6 до 19.2 Кбит/сек. Поэтому даже работа таких немногочисленных сетевых приложений, как удаленное выполнение программ (в пакетном режиме их выполнения в операционной системе мэйнфрейма), пересылка файлов с исходными данными и результатами вычислений между компьютером пользователя и мэйнфреймом, была весьма “неторопливой”.

Но основным недостатком доинтернетовских компьютерных сетей была совсем не медленная скорость решения их пользователями своих прикладных задач. Главным недостатком была необходимость явного указания пользователем сетевого приложения при вызове этого приложения (обычно - из командной строки) всей цепочки промежуточных компьютеров (называемой маршрутом передачи данных), используемой для последовательной пересылки данных по всем компьютерам цепочки между компьютером пользователя и мэйнфреймом. Это требовало от пользователей приложений знания топологии связей между компьютерами и умения “вручную выполнять всю маршрутизацию” при вызове каждого сетевого приложения. Конечно, пользователь мог запоминать (в том числе - и в командных файлах) маршруты, соединяющие его компьютер с нужными ему компьютерами сети. Но при изменении топологии сети в результате отказа одних и введения в работу других (резервных) каналов связи

возникла объемная и требующая значительного времени выполнения работа по оповещению всех пользователей сети о произошедших изменениях топологии сети и по выполнению этими пользователями “перепрограммирования” маршрутов между используемыми ими компьютерами. При сколь либо большом увеличении количества компьютеров в сети эта задача становилась совершенно “неподъемной” и фактически вызывала весьма продолжительный во времени отказ в доступности сетевых услуг. Для критически важных приложений такая ситуация становилась совершенно недопустимой. Вот почему однажды произошло событие, упоминаемой в самом начале следующего пункта.

Все существовавшие с начала 20 века телефонные сети работали по принципу коммутации каналов. При каждом телефонном звонке обеспечивалось контактное соединение в единый канал (в одну электрическую цепь) совокупности всех промежутков между телефонными коммутаторами, находящимися на пути соединения. Организация междугородних каналов связи стоила недешево. Для компьютеров, нуждающихся в наличии постоянного соединения со всеми узлами сети, такой принцип коммутации являлся плохо масштабируемым и требовал больших затрат. Сэкономить средства позволил пакетный способ передачи данных, принципы которого разработал Леонард Клейнрок в 1961г., будучи аспирантом Массачусетского технологического института. В сетях с коммутацией пакетов все контактные соединения на каналах между коммуникационными устройствами постоянны и не изменяются в процессе установления соединений между компьютерами. Данные, передаваемые между компьютерами, разбиваются на пакеты, которые пересылаются каждым из коммуникационных устройств по тому каналу, который ведет в направлении к получателю. В режиме коммутации пакетов сеть работает как конвейер: освободившиеся маршрутизаторы могут приступить к передаче данных от других абонентов. В режиме коммутации каналов — все части пути заняты, пока данные не достигнут точки назначения.

Появившийся впоследствии предшественник интернета ARPANet был основан на технологии коммутации пакетов.

1.6.2 Этап становления и начального развития интернета

В начале 1969 года министерством обороны США (DoD - Department of Defence) была поставлена перед подчиненным ему (до сих пор) Агентством перспективных исследовательских проектов ARPA (Advanced Research Project Agency) задача разработки методов и протоколов построения компьютерных сетей, которые позволяли бы сохранить работоспособность и бесперебойность функционирования этих сетей даже при массовом выходе из строя каналов связи, например в случае нанесения противником массированного ядерного удара.

Агентство ARPA привлекло к выполнению этих работ Калифорнийский университет г. Лос-Анджелеса, Стэнфордский исследовательский центр, Университет штата ЮТА и Калифорнийский университет г. Санта-Барбара. В первой половине 1969 года коллектив исследователей из этих организаций занимался разработкой уровневой организации протоколов взаимодействия компьютеров в создаваемой сети (см. параграф 1.7), с конца сентября начались простейшие эксперименты в сети, состоящей из двух компьютеров, и к

концу 1969 г. была создана конфигурация сети, объединяющая по одному из компьютеров участников проекта. Созданная сеть получила название ARPANet (“net” по английски означает “сеть”). Эксперименты продолжались еще более года и в 1971 году была создана конфигурация, обеспечивающая доступ к сети с 17 терминалов. В качестве каналов связи использовались арендованные у телефонной корпорации AT&T Bell Laboratories цифровые каналы пропускной способностью 56 Кбит/сек. Первыми прикладными протоколами (службами) этой сети стали протоколы удаленного терминала и пересылки файлов. Протокол электронной почты ARPANet (вместе с форматом адреса “пользователь@компьютер”) был разработан уже в 1973 г. Иногда именно 1971 год считают годом создания сети ARPANet, протоколы которой (основанные на протоколе NCP - Network Control Protocol) послужили основой создания протоколов TCP/IP (стандартизованных только в 1983 г.), являющимися протоколами интернета, а сама сеть ARPANet стала тем ядром, вокруг которого “вырос” интернет.

Интересно отметить, что параллельно с рассмотренными событиями началось выполнение другой цепочки событий, впоследствии тесно переплывшейся с историей развития интернета. Речь идет о том, что в том же 1969 году два сотрудника уже упоминавшейся телефонной корпорации AT&T Bell Laboratories Денис Ритчи и Кеннет Томпсон в свободное от основной работы время разработали интерактивную многотерминальную операционную систему UNIX которая устраивала их (а потом - и их руководителей) больше, чем использовавшаяся в то время в их корпорации ОС Multics, выполнявшей пакетную обработку нескольких потоков заданий. В 1971 году (этот год мы уже упоминали в предыдущем абзаце) ОС UNIX была полностью переписана на специально разработанном для этого языке С (названием этого языка стало третье из рабочих названий промежуточных версий этого языка: А, В и С) и стала первой ОС, полностью написанной на языке высокого уровня.

А в 1973 году пути развития ARPANet и ОС UNIX впервые и надолго (по сей день) пересеклись. Именно в этом году произошли два знаменательных события (и еще четыре события высокой значимости для дальнейшего развития интернета). Во-первых протоколы сети ARPANet были переданы для их дальнейшего развития широкому кругу университетов США. И, во-вторых, этому же кругу были переданы исходные тексты ОС UNIX, также для дальнейшего развития этой системы. Поэтому далеко не случайно большинство производительных современных серверов интернета работают под управлением различных (довольно многочисленных) версий ОС UNIX и операционной системой широкого круга моделей мобильных устройств доступа к интернету является ОС Android, принадлежащая к славному семейству многочисленных версий ОС UNIX.

Университетом, по-видимому внесшим наибольший вклад в развитие как системы UNIX, так и протоколов TCP/IP, является Калифорнийский университет г. Беркли (Berkeley). Созданная сотрудниками и студентами этого университета ОС BSD UNIX, ставшая прототипом таких свободно распространяемых ОС семейства UNIX как Free BSD и Linux, ядро которого используется в ОС Android. Одновременно Берклиевский университет внес большой вклад в развитие и создание сетевых протоколов семейства TCP/IP..

Четырьмя другими знаменательными событиями истории развития интернета, произошедшими в 1973 году (в некоторых источниках первые два из этих событий

датируют 1972 годом), стало подключение к сети ARPANet компьютеров из организаций двух государств северо-запада Европы - Великобритании и Норвегии; подключение к ARPANet компьютера из Гавайского университета (расположенного в центре Тихого океана); начало разработки протокола TCP и обеспечение возможности подключения к сети ARPANet внешних сетей (а не просто удаленных компьютеров. Первое из подключений было выполнено с использованием каналов передачи данных, основанных на “медленном” трансатлантическом телефонном кабеле (существенно более медленном, чем арендуемые у AT&T междугородние телефонные каналы), но сделало сеть международной и межконтинентальной. Для второго подключения был использован спутниковый канал - первый скоростной канал сети фактически межконтинентального масштаба. Упомянутые события по сути стали началом создания “сети сетей”, то есть - интернета.

Следующий значимой вехой в расширении территориального охвата и количества подключенных к ней компьютеров из разных стран Европы являлось создание в 1997 году нескольких скоростных спутниковых каналов между ARPANet и странами Европы. К этому моменту общее количество компьютеров громадной по территориальному охвату сети составляло всего “круглую цифру” 111 (что это по сравнению с сегодняшними миллиардами подключенных к интернету компьютеров и мобильных интеллектуальных устройств?). Столь медленный рост количества компьютеров в сети объяснялся не только очень высокой в ту пору стоимостью компьютеров, но и низкой пропускной способностью (и дороговизной) каналов связи, не способных “вместить” информационные потоки между сколь либо большим количеством пар взаимодействующих компьютеров.

Тем не менее, с момента создания указанных трансатлантических спутниковых каналов, используемых для подключений к сети ARPANet подсетей из разных стран Европы одновременно возросли как количество компьютеров, подключенных к ARPANet, так и степень ее международной. Так к 1983 г количество подключенных компьютеров “перевалило” за 4000. В силу же приобретения сетью ARPANet явно международного статуса, она к концу 1970-х годов стала называться ARPA Internet.

В 1983 году разрабатывавшиеся с 1973 года протоколы TCP/IP были приняты Министерством обороны США в качестве стандартных протоколов сети ARPANet (вместо изначального протокола NCP), а сама сеть ARPANet была разбита на 2 независимых сети: военную сеть MILNet, включившую в себя большую часть инфраструктуры исходной сети, и научную сеть ARPANet. Однако с 1986 года эта сеть перестала оставаться единственной научной сетью после создания Национальным научным фондом США NSF (National Science Foundation) собственной научной сети NSFNet, соединившей совокупность созданных в 1985 году этим фондом ряда суперкомпьютерных центров 56-килобитными каналами (и соединенную с сетью ARPANet каналами передачи данных). С этого момента поддержка развития ARPANet со стороны научного сообщества уменьшилась и эта сеть стала приобретать все более коммерческий характер. После этих событий из названия международной сети “ARPA Internet” постепенно исчезло первое слово и сеть стала называться просто “Internet”. В конце концов в 1990 г. Министерство обороны США также прекратило финансовую поддержку ARPANet и приняло решение о расформировании этой сети с передачей ее оставшейся инфраструктуры в состав сети NSFNet. И в этом же году к сети Internet была подключена первая компьютерная сеть из

Советского Союза - компьютерная сеть Курчатовского института. После этого, уже на вебовском этапе развития сети в России название "Internet" сначала транслитерировалось в "Интернет", а затем из имени собственного превратилось в имя нарицательное - "интернет".

На протяжении всего рассмотренного периода с 1970 по 1990 годы непрерывно шло развитие как "внутренних", так и пользовательских (прикладных) сетевых протоколов. Так разработка "внутренних" протоколов TCP/IP заняла 10 лет с 1973 (год создания первой версии протокола TCP, создание протокола IP началось годом позже) по 1983 годы. Все это время проводились многочисленные эксперименты с различными версиями этих протоколов. В частности, только для базового протокола маршрутизации IP в 1983 году была стандартизована 4-я его версия, называемая в настоящее время IPv4. В 1983-1984 годах была разработана служба DNS - доменная служба именования компьютеров в интернете.

Что касается прикладных протоколов, то помимо созданных в самом начале развития сети ARPANet протоколов удаленного терминала telnet, пересылки файлов ftp и протокола электронной почты за указанный период были разработаны первая сетевая файловая система NFS (Network File System), службы новостей UseNet и ListServ, графическая оконная система X Window System и используемый ею протокол удаленного графического терминала X11, служба Gopher поиска информации в сети, служба Whois поиска информации о зарегистрированных в сети личностях, служба электронных досок объявлений BBS (Bulletin Board System), являвшихся порталами доступа удаленных dial-up пользователей (подключаемых к сети по коммутируемым телефонным каналам) к различным сетевым службам, и ряд других сетевых служб и соответствующих им протоколов. Часть указанных служб и протоколов была впоследствии вытеснена появившимися на следующем этапе развития интернета и стремительно развившимися в ширину и в глубину веб технологиями, оставшись при этом достаточно яркими явлениями в развитии интернета. Другая часть прикладных сетевых служб с успехом применяется и по сей день и будет подробнее рассмотрена в главе 6 настоящей книги.

Параллельно с развитием сетевой инфраструктуры и сетевых протоколов сети ARPANet на рассматриваемом этапе ее развития наблюдался огромный прогресс в развитии средств вычислительной техники и технологий построения каналов передачи данных.

В области средств вычислительной техники на смену ламповым компьютерам пришли компьютеры, построенные на базе сначала больших интегральных схем (БИС), затем — сверхбольших интегральных схем (СБИС), и, наконец — выполненных "на одном кристалле" чипов (миниатюрных компоновочных блоков) процессоров, блоков памяти и других блоков компьютера. Результатом всего этого стало создание сначала мини- и микро-ЭВМ, а затем персональных компьютеров, компактных серверов и интеллектуальных коммуникационных устройств (в настольном или предназначенном для монтажа в коммуникационную стойку исполнении) и, в частности, X-терминалов, аппаратно реализующих протокол X11 и "терминальную" часть X Window System и ставших первыми тонкими клиентами в истории развития интернета. При этом с наряду с кардинальным уменьшением размера компьютеров и коммуникационных устройств произошло не менее кардинальное уменьшение их стоимости, резко увеличившее количество покупателей такого оборудования, способных строить собственные локальные вычислительные сети и подключать их к внешним сетям, в частности к ARPANet. Поэтому не удивительно, что с учетом соответствующего прогресса технологий

передачи данных (рассматривается чуть ниже) только за предпоследний год в истории ARPANet (1989 год) количество узлов этой сети возросло вдвое с 80 тысяч в начале года до 160 тысяч в его конце.

В области развития технологий построения каналов передачи данных к середине 1980-х годов был создан целый ряд высокоскоростных для того времени 10-мегабитных технологий построения локальных вычислительных сетей, таких как Ethernet, Token Ring и Arcnet. Более того, в 1986-1988 годах была создана 100-мегабитная технология FDDI, основанная на использовании 100 мегабитного волоконно-оптического кабеля.

Для “дальних” каналов передачи данных стремительный рост их пропускной способности начался с внедрения волоконно-оптических кабельных систем. Первый протяженный волоконно-оптический кабель был создан в 1977 году в Западной Германии компанией Deutsche Telekom. А в 1988 г. был проложен работавший до 2002 года трансатлантический кабель TAT-8, включавший в себя 3 канала пропускной способностью по 20 Мбит/сек. Затем был создан еще ряд трансатлантических кабелей, уже выведенных из употребления. До 2010 года эксплуатировался созданный в 1994 году кабель CANTAT-3 (2 канала по 2,5 Гбит/сек). До сих пор работают созданный в 1996 г. TAT-12/13 (2 канала по 5 Гбит/сек) и созданный в 2001 году TAT-14 (64 канала по 10 Гбит/сек). Все эти каналы обеспечивают одновременную передачу (в режиме разделения емкости канала) цифрового сигнала множества телефонных каналов и каналов сетей передачи данных. Такая возможность обеспечивалась ранее технологией PDH и с первой половины 1990-х годов (это уже следующий этап развития интернета) обеспечивается технологией SDH (SONET), применяющейся и по настоящее время.

1.6.3 Этап становления и развития веб-технологий

Знаменательно, что 1989 год - год, предшествующий “упразднению” сети ARPANet, стал годом появления революционно новых технологий построения сетевых служб — технологий работы со всемирной информационной паутиной WWW (World Wide Web), коротко называемых сегодня Web-технологиями или веб-технологиями. То влияние, которое эти технологии оказали на последующее развитие интернета, трудно переоценить. Поэтому не случайно многие отождествляют технологии интернета с веб-технологиями и склонны считать год их создания годом создания интернета, а разработчика этих технологий Тима Бернерса-Ли — создателем интернета.

Тим Бернерс-Ли, будучи техническим консультантом в Европейской лаборатории физики частиц при Европейском центре ядерных исследований CERN в Женеве написал на паскале программу ENQUIRE, которая стала прообразом будущей WWW. Программа служила для удобной навигации между веб-страницами (тогда они назывались карточками), описывающими книги, статьи, людей, программы, изобретения и т.п. Занимаясь несколько лет поддержкой проекта, Бернерс-Ли осознал, что архитектура службы с одним сервером, только на страницы которого можно было делать гиперссылки, сильно ограничивает масштабируемость системы. Поэтому было принято решение начать работу над новым проектом, который бы позволил организовывать гиперсвязи между страницами по всему интернету, вне зависимости от операционной системы и используемого протокола. Всего через пару лет (в 1991 г.) был написан первый сервер и

браузер, который совмещал в себе функции веб-редактора и назывался WorldWideWeb. Первый сайт бережно хранится CERN и доступен по адресу: <http://info.cern.ch>.

В 91-92 годах всемирная паутина потихоньку росла, пополняясь веб-страницами университетов и научных лабораторий. В 1993 году появляются первые развлекательные сайты (комиксы). Все браузеры тех времен поддерживали два протокола: HTTP Бернерса-Ли и доминировавший в интернете протокол Gopher. Владелец лицензии на технологию Gopher — университет Миннесоты — объявил о намерении взимать лицензионные отчисления за использование своей интеллектуальной собственности. В ответ на это образованный при поддержке DARPA (изменившего свое название агентства ARPA, буква “D” вначале явно отражает оборонную (Defence) принадлежность этого агентства) консорциум всемирной паутины W3C во главе с Тимом Бернерсом-Ли разрешает всем использовать стандарты WWW на безвозмездной основе. Это послужило толчком к бурному развитию всемирной паутины, в том числе и ее коммерческого сектора.

Большую роль в истории WWW сыграли создатели первого всемирно популярного браузера Netscape Navigator (изначально называвшегося Mosaic). Перу (клавиатуре :-)) этих разработчиков принадлежит один из самых популярных сегодня языков программирования — Javascript и защищенный протокол передачи данных SSL (Secure Sockets Layer), который сегодня использует большинство крупных веб-сайтов. К сожалению, компания Netscape не смогла состязаться с гигантом Microsoft, и в результате “войны браузеров” Internet Explorer полностью вытеснил навигатор. Группа программистов, разработавшая Navigator, впоследствии основала проект Mozilla для создания свободного браузера с открытым исходным кодом.

Появление стандарта CGI в 1993г. взаимодействия веб-сервера и сторонних программ придало Вебу новую функциональность. Раньше в WWW размещались только документы, теперь все больше и больше коммерческих сайтов, используя CGI и Javascript, предлагали через Веб свои сервисы: отправка почты, поиск информации, заказы товаров, и т.д. Последующее развитие этой функциональной составляющей клиентов и серверов WWW привело сейчас к тому, что веб-технологии начали использоваться как самая удобная кроссплатформенная система работы сетевых приложений. На рынке успешно продаются устройства с единственной программой на борту — браузером и операционной системой Chromium OS. Все остальные функции владельцы этих устройств получают благодаря веб-приложениям.

Конец 90-х отмечен рождением большого числа крупных компаний, основавших свой бизнес на технологиях всемирной паутины: интернет-магазинов Amazon.com, поисковых систем Yahoo, Google, Рамблер, Яндекс, системы электронных платежей PayPal, почтовой службы Mail.ru, студии веб-дизайна Артемия Лебедева. Быстрый успех WWW-предпринимателей настолько вдохновил инвесторов, что те уверились в наступлении “новой экономики” и начали активно искать и инвестировать деньги в любые проекты веб-стартапов, лишь бы их название оканчивалось на “.com” (произносится как “дотком”). Бизнес-модели появлявшихся компаний зачастую не были продуманы, а деньги акционеров тратились на рекламу и привлечение новых финансовых вливаний. Это привело к резкому обвалу цен акций на американской бирже в марте 2000 года, цен на серверные технологии и последующему кризису. Пузырь доткомов лопнул, сотни

интернет-компаний обанкротились, а руководители некоторых были осуждены за мошенничество.

Всемирная паутина постепенно стала самым популярным источником информации и одним из самых популярных средств общения людей. Основанная в 2001 году Википедия сейчас является самым крупным и наиболее популярным справочником во всемирной паутине. Многие интернет-пользователи предпочитают общаться на сайтах социальных сетей, нежели по электронной почте, мессенджерам или телефону. Всемирная паутина оказала такое же (если не большее) влияние на мир, как и изобретение книгопечатания.

Отдельно следует упомянуть технологии облачных вычислений, первые идеи создания которых были предложены еще при зарождении ARPANet в 1970 году. Суть этих идей заключалась в том, что в число сетевых услуг (сетевых сервисов) предлагалось включить услуги хранения данных и программ, а также выполнения программ на “облачных” ресурсах (in Cloud), расположенных где-то в недрах интернета. Но впервые эти идеи были реализованы в более или менее полном объеме в 2006 году, когда компания Amazon запустила веб сервис Elastic Compute cloud (EC2), где пользователи могли не только хранить и обрабатывать свои данные с использованием предоставляемых “облаком” приложений (эти возможности Amazon предоставила уже в 2002 году), но и запускать “в облаке” свои собственные приложения. С тех пор количество и разнообразие доступных облачных технологий существенно возросло. Например, стали доступны облачные решения для почтовых серверов (вместе со всеми их почтовыми ящиками), серверы АТС систем IP-телефонии и многие другие серверные приложения. При этом облачная среда обеспечивает автоматическое резервирование баз данных таких приложений. Отметим также, что текст настоящей книги создавался авторами в облачной среде коллективного редактирования документов Google docs.

Параллельно с развитием веб-технологий происходило стремительное развитие технологий создания компьютеров (с такими же стремительными уменьшениями их размеров и роста производительности и объемов оперативной и внешней памяти) и не менее стремительное развитие различных технологий передачи данных. Существующий протокол IP (IPv4) оказался не вполне готовым к такому бурному росту, и в середине 1990-х годов была разработана очередная версия этого протокола (IPv6), допускающая совместное использование старого и нового протоколов в растущей сети и предполагающая постепенный плавный переход всех сетей на новую версию протокола.

Переходя к развитию технологий передачи данных отметим, что в начале 1990-х годов были созданы высокоскоростные волоконно-оптические технологии построения магистральных каналов SDH (уже упоминалась нами) и ATM, а также технология построения “локальных” (до нескольких десятков километров в диаметре) сетей FDDI. Первая из указанных технологий с успехом используется и по сей день в “самых магистральных” сетях интернета, участвующих в передаче данных между огромным числом подключенных к интернету сетей. Значительный вклад в развитие технологий построения высокоскоростных сетей внесла технология ATM, предоставившая наряду с высоким быстродействием сети в целом возможности обеспечения гарантированного качества обслуживания (в частности, требуемой пропускной способности) для отдельных сетевых соединений (между конкретной парой подключенных к этой сети устройств). Благодаря своим достоинствам эта технология к концу 1990-х годов получила довольно

широкое распространение, но из-за дороговизны используемого оборудования и стремительного развития существенно более дешевых, а затем и более производительных технологий семейства Ethernet, постепенно уступила свою “экологическую нишу” последним технологиям уже с начала 1-го пятилетия 2000-х годов.

Важным этапом развития технологий высокоскоростной передачи данных стало также создание в начале 2000-х годов технологий WDM и DWDM многократного увеличения пропускной способности волоконно-оптических кабелей за счет передачи по единственному оптическому волокну большого количества каналов, для каждого из которых передаваемый сигнал представляется “цветным” лучём света одним из множества возможных окрасок.

Переходя к стремительному развитию Ethernet отметим два основных направления этого развития: повышение быстродействия (от 100 Мбит/сек в середине 1990-х годов до 40 Гбит/сек в 2003 году) и переход к коммутируемым сетям, обеспечивающим построение иерархических звездообразных топологий, дополненных возможностью использования резервных каналов (создающих циклические структуры в топологии сетей), а также рядом других крайне полезных функциональных возможностей.

И, естественно, рассмотрение прогресса в передаче данных будет неполным без рассмотрения технологий, “выросших” из мобильной телефонной связи, начиная от появившейся в первом пятилетии 2000-х годов в сетях мобильной телефонной связи стандарта GSM технологии “скачивания” файлов GPRS, через быстро сменившие указанную технологию сети мобильного доступа к интернету 3-го поколения 3G (тоже основанные на GSM) к высокоскоростным технологиям 4-го поколения 4G (LTE). Появление технологий мобильного доступа к интернету 3G и 4G совместно с миниатюризацией компьютеров и “упаковкой” их в оболочки смартфонов, “умных часов”, специальных контроллеров управления разнообразными “умными” устройствами и системами, обеспечило возможность высокоскоростного доступа к интернету индивидуальным пользователям и техническим системам, как размещенным в постоянном месте, так перемещающихся по любой части обитаемой территории поверхности Земли.

1.8 Сетевые протоколы и их многоуровневая организация

1.8.1 Определение и принципы уровневой организации сетевых протоколов

Коротко говоря, сетевыми протоколами называются правила взаимодействия компьютеров сети при совместном решении ими тех или иных задач. В русском языке слово “протокол” может иметь два различных значения. Так протоколом называют зачастую некоторый документ, фиксирующий процесс выполнения некоторого мероприятия (протокол собрания) или достигнутого соглашения (протокол о намерениях сторон). Но протоколом же называют и некоторый свод правил, регламентирующих

взаимодействие сторон (дипломатический протокол). Именно последнее значение слова “протокол” и используется в термине “сетевой протокол”. И так же, как и в дипломатическом протоколе, для сетевого протокола любое отклонение какой-либо из взаимодействующих сторон от соблюдения определяемого протоколом свода правил может повлечь за собой полный разрыв каких-либо отношений, либо даже катастрофу (вплоть до военного конфликта, в случае нарушений дипломатического протокола, либо вывод на запределный уровень сердечников ядерного реактора, управляемого через компьютерную сеть, при несоблюдении сетевых протоколов).

Приведем более формальное определение сетевого протокола.

Сетевой протокол – это совокупность правил, методов, стандартов и реализующих их аппаратных и программных средств, совместно обеспечивающих взаимодействие компьютеров в компьютерной сети.

Отметим, что указанная совокупность включает чрезвычайно широкий спектр правил, стандартов и пр. и не может быть реализована в аппаратуре и программном обеспечении без специальной структуризации этой совокупности. С одной стороны указанного спектра находятся “низкоуровневые”, неинтересные и обычно непонятные конечному пользователю (но необходимые для обеспечения возможности передачи между компьютерами каких-либо данных) требования к используемой среде передачи данных, способу представления цифрового сигнала некоторым сигналом этой среды, соединительным разъемам и аппаратной реализации приемо-передающих устройств и т.д. С другой стороны — “высокоуровневые” требования к языку общения пользователя с некоторым сетевым приложением и языку взаимодействия клиентской и серверной частей этого приложения.

Поэтому естественным способом структуризации сетевых протоколов, зачастую используемым при реализации других сложных программных систем, является их уровневая организация, в которой все множество сетевых протоколов разбивается на несколько (скажем на N) иерархически упорядоченных уровней. При этом пересылку данных через среду передачи могут выполнять лишь протоколы нижнего (1-го) уровня; с пользователем взаимодействуют лишь протоколы верхнего (N -го) уровня; а каждый из промежуточных уровней i взаимодействует лишь через стандартизованные интерфейсы пересылки сообщений (никаких глобальных переменных!) между этим уровнем и соседними с ним уровнями $i-1$ и $i+1$.

Под интерфейсом между парой уровней (верхним и нижним) как обычно понимается совокупность параметризованных функций нижнего уровня, путем вызова которых осуществляется взаимодействие верхнего уровня с нижним. Обратное взаимодействие реализуется путем возврата значений вызываемых функций и их изменяемых параметров.

Более детально: для пересылки информации через сеть i -й уровень ($i \in [2, N]$) “выполняет” требуемую пересылку путем “отправки” соответствующего сообщения своему соседу снизу, т.е. уровню $i-1$ (напомним, что фактически такая “отправка” обычно реализуется как передача параметров при вызове соответствующей функции следующего уровня); при получении информации из сети уровень j ($j \in [1, N-1]$) направляет эту

информацию по направлению к пользователю путем отправки соответствующего сообщения уровню $j+1$ (обычно в виде результата выполнения функции текущего уровня вызывавшей его функции более высокого уровня и/или измененных значений параметров таких функций).

Обычно при уровневой разработке сложных систем ее ведут по принципу “снизу вверх”. Определяют на нижнем (первом) уровне некоторый набор функций, при помощи которого можно будет, не вдаваясь в несущественные для следующего (второго) уровня детали, запрограммировать функции второго уровня, за ним - третьего, и т.д. В случае сетевых протоколов довольно естественной функцией первого уровня представляется пересылка данных между смежными (непосредственно связанными средой передачи) компьютерами, на 2-м уровне — обеспечение транзитной передачи данных между несмежными компьютерами через промежуточные с решением на каждом узле задачи маршрутизации, состоящей в выборе одного из нескольких возможных направлений пересылки. На третьем уровне могла бы решаться задача надежной доставки пакетов данных, включая повторную пересылку потерянных пакетов.

При рассмотренной выше организации взаимодействия уровней сетевых протоколов обеспечивается соблюдение двух принципов, известных как принципы построения открытых систем.

- 1) Реализация каждого из уровней полностью независима от реализации любых других уровней (при условии неизменности интерфейсов) этого и соседних с ним уровней и может быть изменена без нарушения работоспособности всей совокупности сетевых протоколов. Соблюдение этого принципа уменьшает объем независимо решаемых задач при изначальном создании сетевых протоколов и позволяет выполнять независимое развитие протоколов различных уровней.
- 2) Взаимодействие одноименных (имеющих одинаковый номер в иерархии) уровней различных компьютеров сети прозрачно по отношению к другим уровням. На обоих концах сети эти уровни, при их взаимодействии друг с другом, “видят” только интерфейс к более низкому уровню, воспринимаемый ими как интерфейс друг к другу.

Соблюдение указанных принципов при построении любых сложных систем сетевого программного обеспечения делает их открытыми для понимания и независимого изменения различных “частей” указанных систем.

Иллюстрация взаимодействия уровней сетевых протоколов приведена на рис. 1.14.

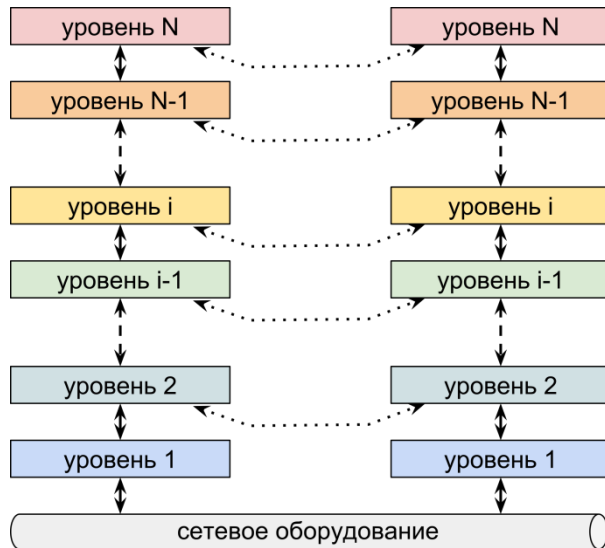


Рис. 1.14 Схема организации взаимодействия протоколов в многоуровневой модели

На этом рисунке представлена одновременно и картина реального взаимодействия модулей (стрелки, соединяющие соседние уровни в “столбцах” уровней, соответствуют интерфейсам между этими уровнями) и картина прозрачного взаимодействия одноименных уровней (точечные стрелки).

Рассмотренная нами схема взаимодействия уровней является абстрактной, применимой к любым протоколам с уровневой организацией. Но в силу своей абстрактности она не дает никакого представления ни о реальном количестве уровней, ни о функциональности каждого из уровней. Поэтому далее мы рассмотрим две конкретные модели: эталонную модель уровневой организации сетевых протоколов OSI/ISO и уровневую организацию протоколов семейства TCP/IP.

1.8.2 Эталонная модель уровневой организации сетевых протоколов OSI/ISO

Для начала расшифруем смысл аббревиатуры “OSI/ISO”. OSI (Open Systems Interconnection - взаимодействие открытых систем) - это название соответствующего стандарта, рекомендуемого в качестве эталона всем разработчикам новых сетевых протоколов. ISO (International Standard Organization - международная организация по стандартам) - это название организации, разработавшей указанный стандарт.

Организация ISO разрабатывала свою эталонную модель уровневой организации сетевых протоколов OSI одновременно с повсеместным внедрением протоколов TCP/IP. Поэтому обсуждаемая в пункте 1.7.3 близость модели OSI и уровневой организации протоколов TCP/IP совершенно не случайна.

В соответствии с эталонной моделью OSI множество всех сетевых протоколов разбивается на следующие 7 уровней, указанные нами в порядке сверху вниз:

7. Прикладной (Application layer)
6. Уровень представления данных (Presentation layer)

5. Сеансовый уровень (Session layer)
4. Транспортный уровень (Transport layer)
3. Сетевой уровень (Network layer)
2. Уровень каналов данных (Data link layer)
1. Физический уровень (Physical layer)

Охарактеризуем кратко каждый из уровней в порядке “снизу вверх”, указав основные функции, их форму реализации и соответствующие стандарты. При рассмотрении функций уровней мы будем называть *сетевыми устройствами* 1) компьютеры (смартфоны, планшеты и другие мобильные устройства мы отнесем к категории компьютеров) или 2) коммуникационные устройства, обеспечивающие пересылку данных между сегментами сети и называемые *маршрутизаторами*.

Физический уровень обеспечивает выполнение процесса передачи непрерывного битового потока данных между непосредственно связанными средой передачи данных сетевыми устройствами.

На этом уровне стандартизуются: используемая среда передачи данных (разновидности кабеля, радиосреда и др.) с её детальными характеристиками; используемые соединительные разъемы и методы аппаратной реализации; способы представления пересылаемого через среду передачи цифрового сигнала изменением некоторого параметра среды передачи (например, разностью электрического потенциала в медных кабелях, яркость светового луча в волоконно-оптическом кабеле, различной частотой сигнала, представляющего значения “0” и “1” для разнообразных сред передачи).

Протоколы физического уровня реализуются в аппаратуре всех устройств, подключенных к сети. При этом разные технологии передачи данных реализуются различными, соответствующими технологии, протоколами физического уровня.

Уровень каналов данных (или просто “канальный уровень”) в некоторых источниках именуют “уровнем звена связи”, что является далеко не самым удачным переводом англоязычного названия уровня. Основной задачей этого уровня является потенциально ненадежная доставка корректных пакетов данных (в отличие от битового потока) между сетевыми устройствами, непосредственно связанными средой передачи данных. Для обеспечения корректности передачи данных могут использоваться специальные методы избыточного кодирования (количество бит закодированного значения превосходит длину в битах самого этого значения) и/или иные способы проверки контроля корректности принятых из сети данных (такие, например, как контрольные суммы). При использовании методов избыточного кодирования в ряде случаев возможно восстановление корректных исходных значений по искаженным принятым битам. Если восстановление значения хотя бы одного байта из принятого пакета невозможно, отбрасывается весь пакет. И для многих сетевых технологий никаких действий по повторной пересылке отброшенных пакетов не предпринимается: эта задача решается на более высоких уровнях.

Протоколы канального уровня обычно реализуются в драйверах устройств, обеспечивающих подключение компьютеров или маршрутизаторов к сети (сетевых карт, интерфейсных модулей и пр.).

Следует, однако, отметить, что для некоторых сетевых технологий (к числу которых относится и Ethernet) четкая граница между физическим и канальным уровнем не стандартизуется. Так, например, функция буферизации принимаемых из сети пакетов для различных моделей сетевых карт (даже одного и того же производителя) может быть реализована либо полностью аппаратно на самой сетевой карте в собственной оперативной памяти, либо, при отсутствии таковой памяти, реализуется в драйвере с использованием оперативной памяти компьютера. Карты первого типа дороже, но являются более “быстрыми”. Карты второго типа, соответственно, дешевле, но обеспечивают меньшие скорости передачи данных. Учитывая нестандартизованность границы между физическим и канальным уровнями ряда технологий, эти уровни зачастую объединяют в один *драйверный уровень*, сохраняя за ним номер 2 канального уровня.

Сетевой уровень обеспечивает ненадежную передачу пакетов данных между произвольными сетевыми устройствами, которые могут находиться как в одном и том же, так и в *различных сегментах и даже различных сетях*.

В случае, когда взаимодействующие сетевые устройства находятся в различных сегментах сети, средствами данного уровня решается задача маршрутизации пакетов, транзитом проходящих через соединяющие сегменты сетевое устройство в направлении “конечного” сетевого устройства. Задача маршрутизации, то есть выбора одного из нескольких потенциально возможных направлений, ведущих к цели, решается на каждом из упомянутых транзитных сетевых устройств, обычно именуемых маршрутизаторами.

Кроме своей основной задачи — маршрутизации пакетов — средства сетевого уровня могут разбивать пакеты на части (выполнять фрагментацию пакетов), если размер этих пакетов превосходит максимально возможную длину пакетов используемой среды передачи. Тогда при приеме таких пакетов выполняется их “сборка”, называемая дефрагментацией.

Средства сетевого уровня реализуются в виде модулей ядра операционной системы сетевого устройства.

Транспортный уровень обеспечивает надежную передачу данных между парой программных процессов, работающих на одном и том же, или на различных компьютерах, расположенных в произвольных частях сети. Надежность обеспечивается контролем доставки пакетов и повторной пересылкой “потерянных” пакетов. Поскольку последовательные пакеты, маршрутизируемые по разным маршрутам, могут в ходе пересылки “обгонять” друг друга, важной функцией этого уровня является управление последовательностью доставки пакета их получателю. И, наконец, размер пакета транспортного уровня может превосходить максимально допустимую длину пакета сетевого уровня. В этом случае на передающей стороне выполняется сегментация пакета (разбиение его на сегменты), а на принимающей — его десегментация.

Разные сегменты сети по пути следования пакетов имеют разную пропускную способность. Важной функцией протокола транспортного уровня является контроль перегрузки сети. В 1986 году после повсеместного внедрения надежного протокола транспортного уровня, в котором не было функции контроля, из-за потоков данных из быстрой сети национального научного фонда США NSFNet в медленный ARPANet весь интернет несколько месяцев страдал от постоянных перегрузок сети.

Средства транспортного уровня реализуются в виде модулей ядра операционной системы сетевого устройства.

Сеансовый уровень предоставляет средства для установления, *поддержания* (восстановления после случайного разрыва) и управления соединением между программными процессами, работающими на одном и том же, либо на разных компьютерах сети. Уровень реализуется программными модулями, работающими над ядром операционной системы (вызываемыми из прикладных процессов).

Уровень представления данных обеспечивает автоматическое преобразование формата передаваемых структурированных данных из вида, принятого на передающей стороне, к виду, принятому на принимающей стороне. Например, признаки конца строки и конца файла в текстовых файлах различны в файловых системах разных операционных систем (например, MS Windows и в UNIX). Уровень представления данных в этом случае должен обеспечить автоматическую замену признаков конца строки и конца файла в текстовых файлах.

Уровень реализуется в виде модулей, работающих над ядром операционной системы (и над уровнем модулей сеансового уровня).

И, наконец, **прикладной уровень** состоит из совокупности прикладных программных процессов, реализующих все известные приложения пользователей.

Подводя итоги рассмотрению модели OSI/ISO еще раз отметим, что эта модель является эталонной, служащей методическими рекомендациями разработчикам новых сетевых протоколов, и не была в полной мере реализована ни в одном сколь-либо широко распространенном семействе сетевых протоколов. В то же время, следует отметить, что эта методическая роль очень важна. При осознанных и мотивированных отклонениях от этой модели разработчики новых сетевых протоколов не утрачивают их структурированности, являющейся залогом надежной реализации, но, возможно, добиваются некоторого повышения эффективности реализации сетевых протоколов, предназначенных для определенных частных условий их эксплуатации.

1.8.3 Уровневая организация и стек протоколов TCP/IP

Протоколы TCP/IP были разработаны раньше эталонной семиуровневой модели OSI/ISO, и опыт разработки этих протоколов был весьма существенно учтен при разработке указанной модели. Модель протоколов семейства TCP/IP состоит из пяти уровней:

5. Прикладной (Application layer)
4. Транспортный уровень (Transport layer)
3. Межсетевой уровень (Internet layer или Internet Protocol - IP)
2. Уровень каналов данных (Data link layer)
1. Физический уровень (Physical layer)

Нетрудно заметить, что названия двух нижних уровней совпадают с OSI. Совпадают и их функции. И, поскольку для некоторых технологий четкой границы между этими уровнями нет, их обычно также объединяют в драйверный уровень. На этом уровне, в зависимости от сетевой технологии сегмента, подключенного к определенному сетевому

интерфейсу, “прикрепляется” драйвер, обслуживающий интерфейсы к сегментам, построенных на базе соответствующей технологии. Одновременно с драйвером для каждого сетевого интерфейса используется модуль ARP одноименного протокола ARP (Address Resolution Protocol - протокол разрешения адресов), используемый для преобразования видов адресов, применяемых на более высоком IP-уровне, в адреса канального уровня. Уровень этого модуля несколько выше уровня соответствующего драйвера и взаимодействует только с этим драйвером.

Третий уровень модели TCP/IP называется межсетевым (Internet layer или Internet Protocol - IP). Вот мы и встретились впервые с одним из основных протоколов семейства TCP/IP, название которого содержится в названии семейства. По своим функциям протокол IP модели TCP/IP идентичен протоколам сетевого уровня модели OSI/ISO. Но на межсетевом уровне (или IP-уровне) кроме протокола IP работает межсетевой протокол управляющих сообщений ICMP (Internet Control Message Protocol), основной задачей которого является контроль работоспособности протокола IP. На самом деле два этих протокола находятся в неразрывном единстве и даже определены в “соседних” стандартах RFC 791 и RFC 792 соответственно.

Транспортный уровень модели TCP/IP включает два независимых протокола TCP и UDP. TCP — это второй протокол, название которого стало составной частью названия семейства TCP/IP. Отметим, что протокол TCP (Transmission Control Protocol - протокол управления передачей) в точности соответствует спецификации транспортного уровня модели OSI/ISO, обеспечивая так называемый *виртуальный канал* между взаимодействующими процессами. В отличие от него протокол UDP (User Datagram Protocol - дэйтаграммный протокол пользователя) обеспечивает ненадежное дейтаграммное соединение между взаимодействующими процессами, в котором могут происходить как потери пакетов, так и нарушения порядка следования пакетов. Как мы увидим в дальнейшем, для некоторых приложений такое ненадежное соединение оказывается более предпочтительным по сравнению с соединением через надежный, но требующий время для установления соединения и повторной доставки потерянных пакетов виртуальный канал.

Отметим, что программные модули всех рассмотренных выше уровней, включая транспортный реализованы в ядре ОС. Поскольку более высокий уровень может взаимодействовать только с верхним из указанных уровней (транспортным), все сетевые ОС предоставляют пользователям совокупность системных вызовов (функций, выполняемых путём обращения к ядру ОС), обеспечивающих *интерфейсы транспортного уровня* к более высоким уровням. Эти интерфейсы рассматриваются в главе 6 настоящей книги.

Нетрудно заметить, что в уровневой модели протоколов TCP/IP отсутствуют сеансовый уровень и уровень представления данных. Если работающее на прикладном уровне приложение нуждается в услугах каких-либо из этих уровней, оно должно содержать внутри себя реализацию требуемых функций сеансового уровня и/или представления данных. В качестве примера приложения, реализующего “внутри себя” функции сеансового уровня, можно привести протокол защищенного удаленного терминала ssh, который в дополнение к своему основному функционалу может автоматически восстанавливать соединения, “разорвавшиеся” из-за ненадежной работы

сети. В качестве примера приложения, реализующего некоторые функции уровня представления данных, можно привести протокол пересылки файлов ftp, предоставляющий возможности автоматического “приведения” формата пересылаемых символьных файлов к формату, используемому в операционной системе принимающего компьютера.

Отметим, что среди великого множества протоколов, работающих на прикладном уровне TCP/IP, есть протоколы, имеющие иерархическую структуру. В качестве примера приведем протокол сетевой файловой системы NFS, пользующийся услугами как протокола транспортного уровня UDP, так и прикладного протокола RPC (Remote Procedure Call - удаленный вызов процедур), работающего над транспортным протоколом TCP.

Общая схема взаимодействия протоколов семейства TCP/IP представлена на рис. 1.15. Фрагментами этого рисунка мы будем не раз пользоваться при рассмотрении различных протоколов тех или иных уровней.

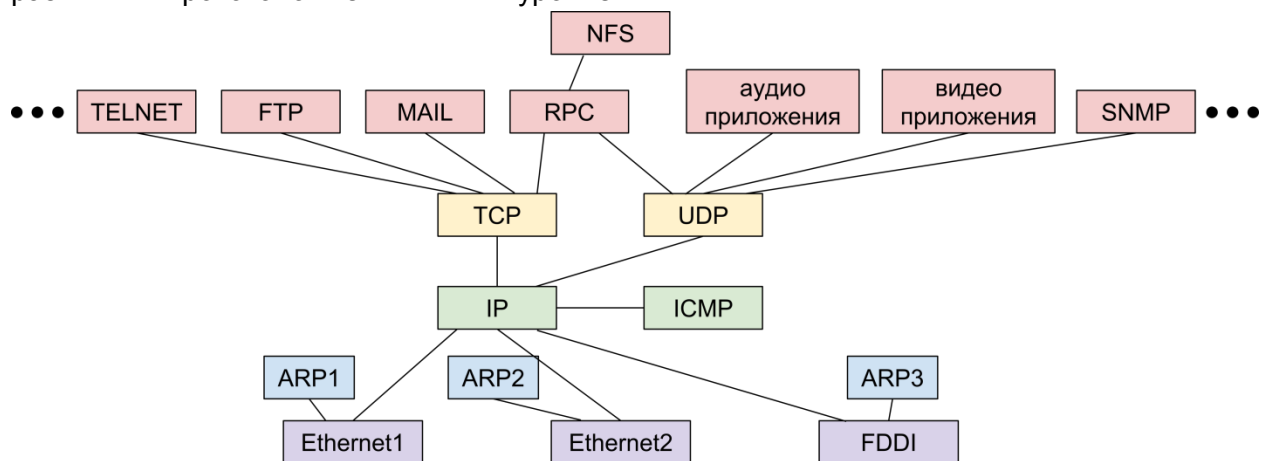


Рис. 1.15. Схема взаимодействия протоколов семейства TCP/IP

При отправлении пакетов данных в сеть с передающей стороны выполняется мультиплексирование (объединение) пакетов параллельно работающих протоколов в единый поток пакетов, пересылаемый через сеть передачи данных. На принимающем компьютере выполняется обратная процедура демultipлексирования (выделения пакетов, предназначенных конкретным протоколам), в ходе которой для каждого пакета строится цепочка протокольных модулей, через которую этот пакет последовательно поднимается по уровням. При построении этой цепочки используется принцип стека, на дно которого помещается драйверный модуль того интерфейса, через который поступил пакет. Затем модули добавляются в цепочку по принципу стека: при обработке пакета на текущем уровне принимается решение о том, какому модулю более высокого уровня адресован пакет (как это делается мы узнаем чуть позже), этот модуль заносится на верхушку стека и этому модулю передается пакет от расположенного “под ним” модуля. При взаимодействии двух конкретных приложений содержимое стека протоколов, участвующих в передаче пакета адресату однозначно определяется взаимодействующими приложениями. Поэтому сетевые специалисты зачастую говорят, что такие-то приложения взаимодействуют с использованием такого-то *стека протоколов*.

Рассмотрим несколько подробнее порядок пересылки информации через компьютерную сеть. Пусть браузер на клиенте, подсоединенном к интернету через WiMax-роутер, отправляет запрос к веб-серверу. В этой пересылке участвуют несколько промежуточных сетевых устройств: WiMax-устройства, маршрутизаторы провайдеров. На каждом из этих маршрутизаторов принятый пакет поднимается по стеку протоколов до модуля протокола IP и затем отправляется вниз по стеку протоколов выбранного для дальнейшей передачи пакета сетевого интерфейса. И лишь на конечных компьютерах информация проходит полный стек протоколов, спускаясь с вершины этого стека к его дну, на компьютере-источнике данных и, поднимаясь от дна стека к его вершине, на компьютере-получателе данных. Рассмотренная картина изображена на рис. 1.16.

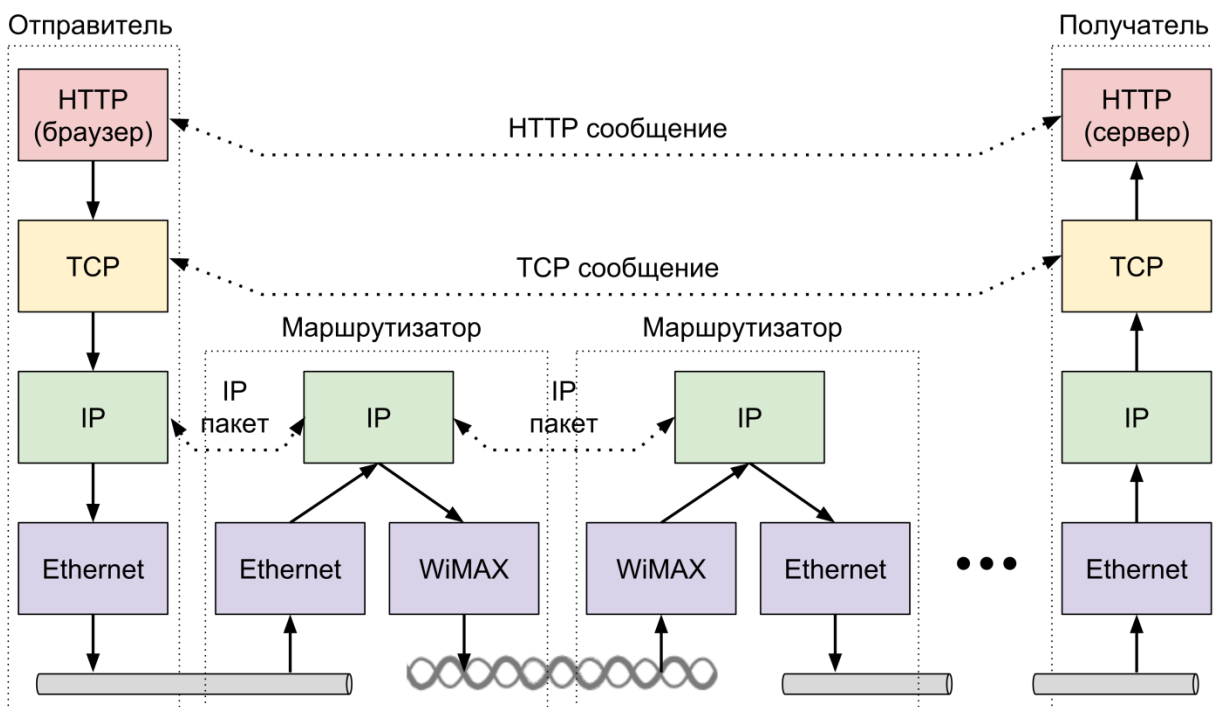


Рис. 1.16 Схема передачи через сеть информации между парой процессов

А теперь рассмотрим, каким преобразованиям подвергается в процессе ее пересылки информация, “путешествующая” через сеть между парой приложений. Приложение-отправитель направляет получателю некоторое *прикладное сообщение*, путем отправки его через интерфейс с протоколом транспортного уровня. Этот протокол инкапсулирует прикладное сообщение в новый пакет, называемый *транспортным сообщением* и содержащий кроме информации прикладного сообщения дополнительный заголовок транспортного уровня (ЗагТУ), содержащий, в частности, информацию о получателе (его компьютере и принимающем данные программном процессе), номере пакета и некоторую другую информацию. Сформированное таким образом транспортное сообщение передается на сетевой уровень, подвергаясь при этом очередной инкапсуляции в *IP-пакет*, содержащий в дополнение к полученному “сверху” транспортному сообщению заголовок IP-пакета (IP-заг), включающем адресную информацию, тип протокола транспортного уровня (TCP или UDP) и некоторые другие сведения. И, наконец, переданный IP-модулем драйверу IP-пакет инкапсулируется в пакет физического уровня, называемый *кадром* (frame) и пересылаемый через среду

передачи данных. В ходе этой инкапсуляции в начало кадра добавляется его заголовок (ЗагК), а в конец - контрольная сумма всех слов содержания кадра. В заголовок кадра указывается адресная информация физического уровня, сведения о протоколе, чей пакет инкапсулирован в кадр (ARP, IP, ICMP) и некоторые другие сведения. Отметим, что транспортные сообщения, не помещающиеся в один IP-пакет, могут подвергаться разбиению на части, называемому фрагментацией, а IP-пакеты, не помещающиеся в один кадр — аналогичному разбиению на части, называемому сегментацией IP-пакетов.

Сформированные кадры пересылаются через среду передачи получателю, определяемому адресной информацией и при приеме этой информации автоматически вычисляется контрольная сумма всех слов содержимого кадра. Полученное значение сравнивается с контрольной суммой из конца кадра, и при несовпадении этих значений кадр выбрасывается. Если же контрольные суммы совпали, начинается последовательная декапсуляция пакетов и их демультимплексирование — направление тому протоколу верхнего уровня, информация о котором содержится в заголовке пакета текущего уровня. В ходе “путешествия” вверх при необходимости выполняются требуемые десегментация и дефрагментация. “Путешествие” заканчивается прибытием полностью декапсулированного прикладного сообщения получающему его приложению. Этот процесс иллюстрируется на рис. 1.17.

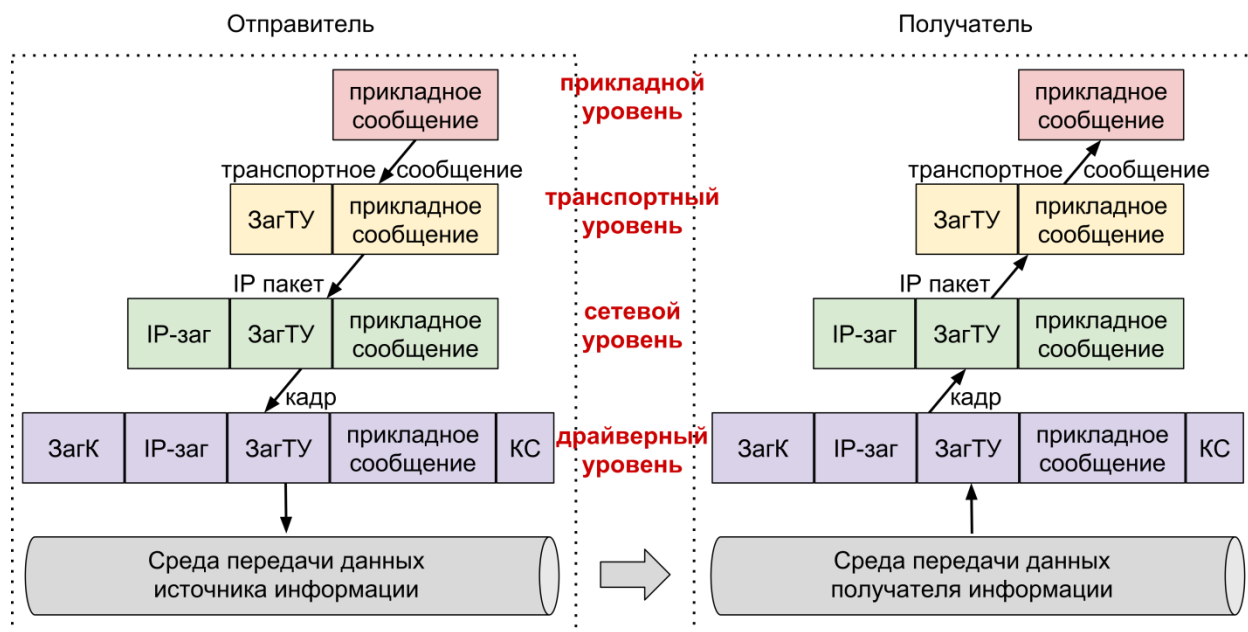


Рис. 1.17. Преобразование пакетов данных при пересылке через стеки протоколов

Рассмотренная картина может быть пояснена простой аналогией отправки писем по обычной (не электронной) почте. Отправитель письма на листе бумаги пишет содержание письма (аналог прикладного сообщения), которое он хочет направить адресату. Для того, чтобы сделать это, он обращается к следующему уровню (уровню почтового ящика), предварительно запечатав письмо в конверт и написав на нем адреса отправителя и получателя письма. Далее начинают работать уровни, невидимые для конечных пользователей почты. Из почтового ящика письма поступают в почтовые отделения, в которых они сортируются по индексам адресов получателей, упаковываются в ящики, предназначенные для отправки на определенных поездах и самолетах (чем не различные

среды передачи?), на которых пишется соответствующая адресная информация, и доставляются в пункты назначений. Затем содержимое ящиков сортируется по отделениям связи, из которых письма поштучно приносятся в почтовые ящики получателей. И, наконец, получатель вынимает письмо из своего почтового ящика, открывает конверт и получает адресованное ему послание. Разумеется, что приведенная аналогия не идеально точна (письма и ящики с письмами не разрезаются на части и не склеиваются потом воедино). Тем не менее, на наш взгляд, она помогает понять суть происходящих процессов.

1.8.4 Основы адресации компьютеров и процессов на разных уровнях стека протоколов TCP/IP

При обсуждении формата заголовков пакетов, добавляемых в начало пакета различными уровнями мы упоминали, что в состав заголовков транспортного, IP и канального уровня включается адресная информация соответствующего уровня. Подчеркнем, что на каждом уровне используется собственная система адресации компьютеров (на всех трех упомянутых уровнях), а также процессов и соединений между процессами (на транспортном уровне). Необходимость использования различных систем адресации обусловлена потребностями эффективной реализации задач каждого уровня. Вкратце рассмотрим системы адресации, используемые на каждом из упомянутых уровней, начиная с самого нижнего из них.

На транспортном уровне используются адреса компьютеров, называемые *физическими адресами* или *MAC-адресами* (MAC: Media Access Control - управление доступом к среде (передачи данных)). В зависимости от конкретной технологии передачи данных длина значения MAC-адреса составляет от 48 бит (например, в технологии Ethernet) до 60 бит (в уже не используемой технологии X.25). Для организации эффективной доставки пакетов адресату сетевым оборудованием (сетевыми картами компьютеров), во-первых, каждая сетевая карта должна “знать” свой собственный MAC-адрес (навечно “зашитый” в нее ее производителем), и, во-вторых, MAC-адрес каждой сетевой карты должен быть уникальным вне зависимости от производителя этой карты. Уникальность значения MAC-адреса обеспечивается очень просто: диапазоны значений MAC-адресов распределяются между всеми производителями сетевых карт, а в рамках выделенного ему диапазона каждый производитель в состоянии обеспечить требуемую уникальность.

Отметим, что при объединении сегментов через мосты и коммутаторы в памяти этих устройств ведутся таблицы, содержащие MAC-адреса **всех** сетевых карт объединенного сегмента. Уже одно это обстоятельство не позволяет расширить размер сетевого сегмента до размеров всего интернета и, поэтому интернет состоит из множества сегментов, осуществляющих пересылку информации между компьютерами входящими в разные сегменты средствами IP-уровня. Отметим также, что MAC-адресация не подходит для эффективного решения выполняемых IP-уровнем задач маршрутизации: значение MAC-адреса не содержит никакой информации, идентифицирующей сеть (сегмент или совокупность сегментов), к которой принадлежит адресуемый компьютер.

На IP-уровне, предназначенном для решения задач маршрутизации, используются предназначенные для эффективного решения этой задачи IP-адреса. Для версии IPv4 протокола IP размер значений этих адресов составляет 4 байта. Но принципиально важным для решения задач маршрутизации является не это, а то что IP-адрес включает 2 поля: номер сети и номер компьютера в сети. Диапазоны IP-адресов (фактически диапазоны номеров сети) распределяются между операторами связи, которые, в свою очередь, оставляют определенные поддиапазоны выделенных IP-адресов для организации собственной сети и предоставляет другие поддиапазоны “вассальным” сетевым операторам а также - корпоративным и индивидуальным абонентам, которым этот оператор предоставляет доступ к интернету.

С использованием рассмотренных IP-адресов, содержащих информацию о номерах сетей адресатов, и простых правил умолчания на каждом из маршрутизаторов (компьютеров, соединяющих сегменты) создаются достаточно компактные таблицы маршрутизации. Эти таблицы могут автоматически изменяться при изменении состояния (работоспособности) доступных в топологии сети каналов передачи данных. Эти изменения выполняются средствами специальных протоколов управления маршрутизацией, работающих на прикладном уровне.

Отметим также, что при пересылке пакета данных сверху вниз по стеку протоколов TCP/IP для преобразования IP-адресов в MAC-адреса используется специальный протокол ARP (Address Resolution Protocol - протокол преобразования адресов), относящийся к канальному уровню, но для большей ясности картины рассматриваемый нами в главе, посвященной уровню IP.

На транспортном уровне решается задача надежной передачи потока данных между *парой программных процессов*, работающих на одном и том же или разных компьютерах сети. Естественно, что для постановки решения такой задачи необходимо идентифицировать не только взаимодействующие компьютеры (для этого и на транспортном уровне используется IP-адресация), но и конкретные программные процессы, выполняемые на этих компьютерах. Эти процессы идентифицируются несколько непривычным для не сетевого программиста образом. С каждым сетевым процессом связывается номер специального псевдоустройства (виртуального устройства, реализуемого над оборудованием взаимодействия компьютера с сетью), используемого этим процессом для передачи информации через сеть и называемого *портом*. Для серверных процессов каждой из *общеизвестных сетевых служб* (Well Known Services - WKS) такой номер порта по необходимости является фиксированным (однотипные серверные процессы, работающие на различных компьютерах должны идентифицироваться одинаково). Сведения о номерах портов всех WKS хранятся в специальном конфигурационном файле сетевой операционной системы. Для клиентского приложения номер используемого им порта выделяется ему динамически в процессе *установления соединения* между этим клиентским и соответствующим серверным процессом. Необходимость такого решения обусловлена тем простым фактом, что параллельно с одного и того же клиентского компьютера пользователь может при помощи различных экземпляров одной и той же клиентской программы взаимодействовать с несколькими работающими на разных компьютерах серверов.

Поскольку на одном и том же серверном компьютере могут одновременно работать программные процессы серверов различных служб, а на одном и том же клиентском компьютере - различные экземпляры одной и той же или разных клиентских программ, для однозначной идентификации *сетевого соединения* между конкретной парой работающих в сети процессов необходимо задать четверку значений: IP-адрес и номер порта источника данных плюс IP-адрес и номер порта получателя данных. Указанная четверка задает полную информацию объектов транспортного уровня - соединений между процессами.

Процессы прикладного уровня при обращении к функциям транспортного уровня передают им в числе своих параметров рассмотренную только что рассмотренную информацию об обрабатываемых сетевых соединениях. Между тем читатели, имеющие хотя бы минимальный опыт работы в интернете знают, что они задают используемым им приложениям адресную информацию о требуемых серверах в виде иерархически организованных обычно достаточно мнемоничных символьных имен, называемых доменными именами компьютеров. Преобразование таких имен в IP-адреса выполняется приложениями при помощи специальных функций, обращающейся к специальной распределенной службе обеспечения символического именования компьютеров сети - доменной службе имен (Domain Name Service - DNS).

1.9 Краткая характеристика основных источников о компьютерных сетях

К числу основных источников о компьютерных сетях относятся литературные источники (книги), стандарты и содержимое информационной паутины — веба. И хотя большинство источников первых двух типов в той или иной степени доступны через веб (иногда за определенную плату), именно они дают более систематизированное и, как правило, более полное (по сравнению с вебом) представление о принципах, методах реализации, протоколах и прикладных службах компьютерных сетей (т. е. дают целостную картину леса, а не плохо упорядоченный набор зарисовок отдельных деревьев, ветвей или просто листьев, встречающихся в этом лесу). Поэтому имеет смысл рассмотреть вкратце рекомендуемые книги, основные группы стандартов, а также особую роль веба в изучении компьютерных сетей.

1.9.1 Основные рекомендуемые книги по компьютерным сетям

В качестве литературных источников, рекомендуемых авторами читателям настоящего учебника, приведем некоторые книги, которые в свое время использовались самими авторами для изучения компьютерных сетей, сопроводив библиографические ссылки на эти книги краткими аннотациями.

1. Клименко С., Уразметов В. INTERNET. Среда обитания информационного общества // Издательство Российского Центра Физико-технической информатики, Протвино, 1995.
В этой книге ее авторы в увлекательной (почти как приключенческий роман :-), легкой и доступной для понимания самыми широкими кругами читателей форме (в своей книге мы воспользовались некоторыми их метафорами и выводами) раскрывают широкий круг тем, посвященных описанию безграничных возможностей интернета, рассмотрению общей организации интернета и методов реализации его сетевых протоколов, рассмотрению основных служб, включая достаточно детальное описание службы WWW и высочайшую оценку ее значимости, сделанную в начале вебовского периода истории интернета.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. — Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 5-е издание // С.-Петербург: Питер, 2016.
Эта книга, “выдержавшая” 5 изданий (с 1999 по 2016 годы) на наш взгляд является лучшим учебником по компьютерным сетям, но, в силу своей глубины, ориентированной преимущественно на подготовку студентов в области связи и использование в качестве справочного пособия специалистами в области связи, не очень подходит в качестве основного учебника для коротких (1-3 семестра) курсов по компьютерным сетям для студентов других специальностей и для широкого круга других читателей, интересующихся методами построения интернета и многообразием предоставляемых интернетом сетевых служб.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей // С.-Петербург: BHV, 2000.
Очередной великолепный учебник по дополнительным разделам курса (или дополнительного курса) по компьютерным сетям. Но хотелось бы, чтобы ряд тем этого учебника в том или ином объеме вошел в учебник для относительно короткого курса (1-3 семестра) по компьютерным сетям.
4. Куроуз Дж., Росс К. Компьютерные сети. Нисходящий подход. 6 издание // Город: издательство, 2016.
Один из самых популярных учебников по компьютерным сетям от преподавателей этой дисциплины. Рассмотрение сетевых технологий ведется в обратном порядке: с прикладного уровня до физического. Такой подход выбран для того, чтобы теоретический материал лекций рассматривать одновременно с решением задач на лабораторных занятиях. Книга дополняется описанием новых технологий и переиздается с 2000 года.
5. Кульгин М.В. Коммутация и маршрутизация IP/IPX - трафика // Издательство: КомпьютерПресс, 1998, С. 320.
Эта книга, на наш взгляд, является одним из лучших учебников по темам коммутации и маршрутизации.
6. Чан Т. Системное программирование на C++ для Unix // М: BHV, 1998.
В этой книге рассматривается ряд современных технологий разработки сложных системных приложений для среды UNIX, включая технологию разработки сетевых приложений с использованием программных интерфейсов транспортного уровня Sockets.

1.9.2 Основные группы сетевых стандартов.

Двумя основными группами сетевых стандартов являются стандарты IEEE, стандарты RFC и рекомендации ITU-T. Первая группа указанных стандартов касается реализуемых в аппаратуре технологий передачи данных физического и канального уровней, в то время как вторая определяет требования к реализации программных протоколов более высоких уровней.

IEEE (произносится как “I triple E” - “Ай трипл и”) - это международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники с полным названием Institute of Electrical and Electronics Engineers (Институт инженеров электротехники и электроники. Названия стандартов, разрабатываемых IEEE имеют вид “IEEE код1.код2”, где цифровой “код1” идентифицирует семейство технологий, а буквенно-цифровой “код2” определяет конкретный стандарт или протокол из этого семейства. Так код1=802 определяет семейство технологий Ethernet, код2=11 соответствует стандарту технологии WiFi, принадлежащей семейству технологий Ethernet, таким образом, полным именем стандарта WiFi будет “IEEE 802.11”.

Аббревиатура **RFC**, в отличие от IEEE соответствует не названию организации, а скорее характеризует тип стандарта. RFC является сокращением термина Request For Comments - запрос на получение комментария (по стандарту). Именно так с самого начала назывались стандарты по протоколам сети ARPANet и ее наследников. Стандарты RFC различных протоколов семейства TCP/IP идентифицируются своими номерами. Так, например, протокол IP (и связанный с ним протокол ICMP) определены в стандарте RFC 791.

Рекомендации **ITU-T** (International Telecommunication Union - Telecommunication Sector, то есть Сектор телекоммуникаций международного союза по электросвязи - МСЭ-Т) относятся, в частности, к вопросам качества передачи данных, например, в системах передачи голоса через интернет, и к некоторым другим вопросам.

1.9.3 Значение веба в изучении компьютерных сетей

При изучении компьютерных сетей веб может оказать фантастическую информационную поддержку этого процесса. Во первых, средствами веба можно получить доступ к любому источнику информации первых двух типов. И, во-вторых, он поможет найти ответы на вопросы, не найденные Вами в этих источниках. Все эти возможности реализуются с использованием поисковых серверов веба.

Так, например, чтобы получить доступ к полному тексту той или иной книги достаточно ввести в поисковой строке на странице поискового сервера фамилии авторов и/или название интересующей Вас книги. Так набрав в поисковой строке текст “Клименко Уразметов” вы получите множество ссылок на pdf-файлы книги указанных авторов, на множество предложений по приобретению “бумажных” экземпляров книги и на станицу чтения книги в режиме on-line <http://bookre.org/reader?file=1472349>.

Аналогично, при поиске стандартов. Вы можете запросить поиск “RFC 791” (стандарт протокола IP) и получить перечень ссылок на различные описания этого стандарта, от канонического <https://tools.ietf.org/html/rfc791> до стандарта, уже переведенного на русский язык <http://rfc.com.ru/rfc791.htm>.

Естественно, литературные источники и тексты известных читателю стандартов не отвечают на абсолютно все вопросы по тематике компьютерных сетей, возникающие у читателя. В этом случае читателю рекомендуется обратиться прямо к вебу с возникшими у него вопросами, например “поля IP-заголовка”, или “как сконфигурировать такую-то возможность для такой-то модели коммутатора. И всезнающий веб предложит читателю набор ответов на каждый из заданных вопросов. Если заданный вопрос касается деталей каких либо из протоколов семейства TCP/IP (как первый из вопросов”, то большая часть ответов будет содержать одну и ту же информацию (с возможными различиями в порядке и глубине изложения). И именно вопросы такого типа как правило возникают у читателей, использующих книгу в качестве учебника по курсу компьютерных сетей. Вопрос второго типа, может возникнуть у читателя, попытавшегося использовать книгу в качестве справочника по построению, например, достаточно сложного сегмента сети и не нашедшего в книге информации о конфигурировании коммутаторов. И в этой ситуации веб также с большой вероятностью поможет ему в решении его вопросов. Таким образом, при наличии у читателя некоторого объема базовых знаний о концепциях, методах, протоколах и средствах построения компьютерных сетей (надеемся почерпнутых главным образом из настоящего курса), веб поможет читателю углублять и конкретизировать эти знания в выбранном читателем направлении, иногда пополняя их актуальными знаниями, еще не созданными к моменту изучения настоящего курса .