



СТАНДАРТ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

В. Олифер, Н. Олифер

Компьютерные СЕТИ

Принципы, технологии, протоколы

4-е издание

Рекомендовано Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника»
и по специальностям «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»,
«Автоматизированные машины, комплексы, системы и сети»,
«Программное обеспечение вычислительной техники
и автоматизированных систем»



Москва · Санкт-Петербург · Нижний Новгород · Воронеж
Ростов-на-Дону · Екатеринбург · Самара · Новосибирск
Киев · Харьков · Минск

2015

Олифер В. Г.

Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы : учебное пособие для вузов / В. Олифер, Н. Олифер. — 4-е изд. — Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2015. — 943 с. : ил., табл., схемы. — (Учебник для вузов). — (Стандарт третьего поколения). — Библиогр.: с. 917.

УДК 004.7(075.8)

ББК 32

Ч/З №1 — 1 экз.

Новое издание одного из лучших российских учебников по сетевым технологиям можно считать юбилейным. Прошло ровно 10 лет с момента первой публикации книги «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы». За это время книга приобрела широкую популярность в России, была издана на английском, испанском, португальском и китайском языках, и с каждым новым изданием она существенно обновлялась. Не стало исключением и это, четвертое издание, в котором появилось много новых разделов, посвященных самым актуальным направлениям сетевых технологий.

Издание предназначено для студентов, аспирантов и технических специалистов, которые хотели бы получить базовые знания о принципах построения компьютерных сетей, понять особенности традиционных и перспективных технологий локальных и глобальных сетей, изучить способы создания крупных составных сетей и управления такими сетями.

Рекомендовано Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» и по специальностям «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети», «Автоматизированные машины, комплексы, системы и сети», «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем».

Оглавление

От авторов	17
Для кого эта книга	17
Изменения в четвертом издании	18
Структура книги	19
Веб-сайт поддержки книги	21
Благодарности	22

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Глава 1. Эволюция компьютерных сетей	24
Два корня компьютерных сетей	25
Вычислительная и телекоммуникационная технологии	25
Системы пакетной обработки	25
Многотерминальные системы — прообраз сети	26
Первые компьютерные сети	28
Первые глобальные сети	28
Первые локальные сети	30
Конвергенция сетей	33
Сближение локальных и глобальных сетей	33
Конвергенция компьютерных и телекоммуникационных сетей	35
Выводы	37
Вопросы и задания	37
Глава 2. Общие принципы построения сетей	39
Простейшая сеть из двух компьютеров	40
Совместное использование ресурсов	40
Сетевые интерфейсы	40
Связь компьютера с периферийным устройством	42
Обмен данными между двумя компьютерами	43
Доступ к ПУ через сеть	44
Сетевое программное обеспечение	44
Сетевые службы и сервисы	45
Сетевая операционная система	47
Сетевые приложения	49
Физическая передача данных по линиям связи	52
Кодирование	52
Характеристики физических каналов	54
Проблемы связи нескольких компьютеров	55
Топология физических связей	55
Адресация узлов сети	59
Коммутация	62

Обобщенная задача коммутации	62
Определение информационных потоков	63
Маршрутизация	64
Продвижение данных	67
Мультиплексирование и демультиплексирование	69
Разделяемая среда передачи данных	70
Типы коммутации	73
Выводы	74
Вопросы и задания	75
Глава 3. Коммутация каналов и пакетов	77
Коммутация каналов	78
Элементарный канал	78
Составной канал	80
Неэффективность при передаче пульсирующего трафика	84
Коммутация пакетов	85
Буферизация пакетов	88
Дейтаграммная передача	89
Передача с установлением логического соединения	91
Передача с установлением виртуального канала	93
Сравнение сетей с коммутацией пакетов и каналов	95
Транспортная аналогия для сетей с коммутацией пакетов и каналов	95
Количественное сравнение задержек	96
Ethernet — пример стандартной технологии с коммутацией пакетов	103
Выводы	105
Вопросы и задания	106
Глава 4. Архитектура и стандартизация сетей	108
Декомпозиция задачи сетевого взаимодействия	109
Многоуровневый подход	109
Протокол и стек протоколов	112
Модель OSI	113
Общая характеристика модели OSI	113
Физический уровень	116
Канальный уровень	116
Сетевой уровень	118
Транспортный уровень	121
Сеансовый уровень	122
Уровень представления	122
Прикладной уровень	123
Модель OSI и сети с коммутацией каналов	123
Стандартизация сетей	124
Понятие открытой системы	124
Источники стандартов	125
Стандартизация Интернета	126
Стандартные стеки коммуникационных протоколов	126
Соответствие популярных стеков протоколов модели OSI	130
Информационные и транспортные услуги	131
Распределение протоколов по элементам сети	132
Вспомогательные протоколы транспортной системы	134
Выводы	136
Вопросы и задания	136
Глава 5. Примеры сетей	138
Классификация компьютерных сетей	139
Классификация компьютерных сетей в технологическом аспекте	139
Другие аспекты классификации компьютерных сетей	141

Обобщенная структура телекоммуникационной сети	143
Сеть доступа	143
Магистральная сеть	144
Информационные центры	144
Сети операторов связи	145
Услуги	146
Клиенты	147
Инфраструктура	148
Территория покрытия	149
Взаимоотношения между операторами связи различного типа	150
Корпоративные сети	151
Сети отделов	151
Сети зданий и кампусов	153
Сети масштаба предприятия	154
Интернет	156
Уникальность Интернета	157
Структура Интернета	158
Классификация провайдеров Интернета по видам оказываемых услуг	159
Выводы	160
Вопросы и задания	160
Глава 6. Сетевые характеристики	162
Типы характеристик	163
Субъективные оценки качества	163
Характеристики и требования к сети	163
Временная шкала	164
Соглашение об уровне обслуживания	165
Производительность	165
Идеальная сеть	165
Статистические оценки характеристик сети	168
Активные и пассивные измерения в сети	171
Характеристики задержек пакетов	174
Характеристики скорости передачи	177
Надежность	179
Характеристики потерь пакетов	179
Доступность и отказоустойчивость	179
Характеристики сети поставщика услуг	180
Расширяемость и масштабируемость	180
Управляемость	181
Совместимость	182
Выводы	182
Вопросы и задания	183
Глава 7. Методы обеспечения качества обслуживания	184
Обзор методов обеспечения качества обслуживания	185
Приложения и качество обслуживания	187
Предсказуемость скорости передачи данных	187
Чувствительность трафика к задержкам пакетов	188
Чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов	189
Классы приложений	190
Анализ очередей	191
Модель M/M/1	191
Очереди и различные классы трафика	195
Техника управления очередями	197
Очередь FIFO	197
Приоритетное обслуживание	197
Взвешенные очереди	200
Комбинированные алгоритмы обслуживания очередей	202

Механизмы кондиционирования трафика	202
Классификация трафика	203
Профилирование	203
Формирование трафика	204
Обратная связь	205
Назначение	205
Участники обратной связи	206
Информация обратной связи	208
Резервирование ресурсов	209
Резервирование ресурсов и контроль допуска	209
Обеспечение заданного уровня задержек	214
Инжиниринг трафика	215
Недостатки традиционных методов маршрутизации	216
Методы инжиниринга трафика	217
Инжиниринг трафика различных классов	220
Работа в недогруженном режиме	221
Выводы	223
Вопросы и задания	224

ЧАСТЬ II. ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Глава 8. Линии связи	228
Классификация линий связи	229
Первичные сети, линии и каналы связи	229
Физическая среда передачи данных	230
Аппаратура передачи данных	232
Характеристики линий связи	233
Спектральный анализ сигналов на линиях связи	233
Затухание и волновое сопротивление	235
Помехоустойчивость и достоверность	239
Полоса пропускания и пропускная способность	242
Биты и боды	244
Соотношение полосы пропускания и пропускной способности	246
Типы кабелей	247
Экранированная и неэкранированная витая пара	247
Коаксиальный кабель	249
Волоконно-оптический кабель	250
Структурированная кабельная система зданий	252
Выводы	253
Вопросы и задания	254
Глава 9. Кодирование и мультиплексирование данных	256
Модуляция	257
Модуляция при передаче аналоговых сигналов	257
Модуляция при передаче дискретных сигналов	257
Комбинированные методы модуляции	259
Дискретизация аналоговых сигналов	261
Методы кодирования	263
Выбор способа кодирования	263
Потенциальный код NRZ	264
Биполярное кодирование AMI	266
Потенциальный код NRZI	266
Биполярный импульсный код	267
Манчестерский код	267
Потенциальный код 2B1Q	268

Избыточный код 4В/5В	268
Скремблирование	269
Компрессия данных	272
Обнаружение и коррекция ошибок	274
Методы обнаружения ошибок	274
Методы коррекции ошибок	275
Мультиплексирование и коммутация	276
Коммутация каналов на основе методов FDM и WDM	276
Коммутация каналов на основе метода TDM	278
Дуплексный режим работы канала	280
Выводы	281
Вопросы и задания	282
Глава 10. Беспроводная передача данных	284
Беспроводная среда передачи	285
Преимущества беспроводных коммуникаций	285
Беспроводная линия связи	286
Диапазоны электромагнитного спектра	287
Распространение электромагнитных волн	288
Лицензирование	290
Беспроводные системы	292
Двухточечная связь	292
Связь одного источника и нескольких приемников	293
Связь нескольких источников и нескольких приемников	295
Типы спутниковых систем	296
Геостационарный спутник	298
Средне- и низкоорбитальные спутники	300
Технология широкополосного сигнала	302
Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты	302
Прямое последовательное расширение спектра	305
Множественный доступ с кодовым разделением	306
Выводы	308
Вопросы и задания	308
Глава 11. Первичные сети	310
Сети PDH	311
Иерархия скоростей	311
Методы мультиплексирования	312
Синхронизация сетей PDH	314
Ограничения технологии PDH	315
Сети SONET/SDH	316
Иерархия скоростей и методы мультиплексирования	317
Типы оборудования	319
Стек протоколов	320
Кадры STM-N	322
Типовые топологии	324
Методы обеспечения живучести сети	325
Новое поколение протоколов SDH	331
Сети DWDM	333
Принципы работы	334
Волоконно-оптические усилители	335
Типовые топологии	336
Оптические мультиплексоры ввода-вывода	339
Оптические кросс-коннекторы	340

Сети OTN	341
Причины и цели создания	341
Иерархия скоростей	342
Стек протоколов OTN	343
Кадр OTN	344
Выравнивание скоростей	345
Мультиплексирование блоков	346
Коррекция ошибок	346
Выводы	347
Вопросы и задания	348

ЧАСТЬ III. ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Глава 12. Технологии локальных сетей на разделяемой среде	353
Общая характеристика протоколов локальных сетей на разделяемой среде	354
Стандартная топология и разделяемая среда	354
Стандартизация протоколов локальных сетей	356
Ethernet со скоростью 10 Мбит/с на разделяемой среде	360
MAC-адреса	360
Форматы кадров технологии Ethernet	361
Доступ к среде и передача данных	362
Возникновение коллизии	364
Время оборота и распознавание коллизий	365
Спецификации физической среды	366
Максимальная производительность сети Ethernet	370
Технологии Token Ring и FDDI	372
Беспроводные локальные сети IEEE 802.11	375
Проблемы и области применения беспроводных локальных сетей	375
Топологии локальных сетей стандарта 802.11	378
Стек протоколов IEEE 802.11	380
Распределенный режим доступа DCF	380
Централизованный режим доступа PCF	383
Безопасность	384
Физические уровни стандарта 802.11	385
Персональные сети и технология Bluetooth	389
Особенности персональных сетей	389
Архитектура Bluetooth	390
Стек протоколов Bluetooth	392
Кадры Bluetooth	394
Поиск и стыковка устройств Bluetooth	395
Пример обмена данными в пикосети	396
Новые свойства Bluetooth	398
Выводы	398
Вопросы и задания	399

Глава 13. Коммутируемые сети Ethernet	402
Мост как предшественник и функциональный аналог коммутатора	403
Логическая структуризация сетей и мосты	403
Алгоритм прозрачного моста IEEE 802.1D	407
Топологические ограничения при применении мостов в локальных сетях	411
Коммутаторы	413
Параллельная коммутация	413
Дуплексный режим работы	417
Неблокирующие коммутаторы	419

Борьба с перегрузками	420
Характеристики производительности коммутаторов	424
Скоростные версии Ethernet	426
Fast Ethernet	427
Gigabit Ethernet	431
10G Ethernet	436
Архитектура коммутаторов	438
Конструктивное исполнение коммутаторов	442
Выводы	445
Вопросы и задания	446

Глава 14. Интеллектуальные функции коммутаторов **448**

Алгоритм покрывающего дерева	449
Классическая версия STP	449
Версия RSTP	456
Агрегирование линий связи в локальных сетях	459
Транки и логические каналы	459
Борьба с «размножением» пакетов	460
Выбор порта	462
Фильтрация трафика	464
Виртуальные локальные сети	467
Назначение виртуальных сетей	468
Создание виртуальных сетей на базе одного коммутатора	469
Создание виртуальных сетей на базе нескольких коммутаторов	470
Альтернативные маршруты в виртуальных локальных сетях	474
Качество обслуживания в виртуальных сетях	475
Ограничения коммутаторов	478
Выводы	479
Вопросы и задания	479

ЧАСТЬ IV. СЕТИ TCP/IP

Глава 15. Адресация в стеке протоколов TCP/IP **482**

Стек протоколов TCP/IP	483
Типы адресов стека TCP/IP	486
Локальные адреса	486
Сетевые IP-адреса	487
Доменные имена	488
Формат IP-адреса	488
Классы IP-адресов	489
Особые IP-адреса	490
Использование масок при IP-адресации	492
Порядок назначения IP-адресов	493
Назначение адресов автономной сети	493
Централизованное распределение адресов	494
Адресация и технология CIDR	494
Отображение IP-адресов на локальные адреса	496
Протокол разрешения адресов	497
Протокол Proxy-ARP	501
Система DNS	502
Плоские символьные имена	502
Иерархические символьные имена	503
Схема работы DNS	505
Обратная зона	507

Протокол DHCP	508
Режимы DHCP	508
Алгоритм динамического назначения адресов	510
Выводы	512
Вопросы и задания	512
Глава 16. Протокол межсетевого взаимодействия	514
Формат IP-пакета	515
Схема IP-маршрутизации	517
Упрощенная таблица маршрутизации	519
Таблицы маршрутизации конечных узлов	521
Просмотр таблиц маршрутизации без масок	522
Примеры таблиц маршрутизации разных форматов	523
Источники и типы записей в таблице маршрутизации	527
Пример IP-маршрутизации без масок	528
Маршрутизация с использованием масок	533
Структуризация сети масками одинаковой длины	534
Просмотр таблиц маршрутизации с учетом масок	536
Использование масок переменной длины	538
Перекрытие адресных пространств	541
CIDR	544
Фрагментация IP-пакетов	547
Параметры фрагментации	547
Механизм фрагментации	548
Выводы	550
Вопросы и задания	551
Глава 17. Базовые протоколы TCP/IP	553
Протоколы транспортного уровня TCP и UDP	554
Порты и сокет	554
Протокол UDP и UDP-дейтаграммы	557
Протокол TCP и TCP-сегменты	558
Логические соединения — основа надежности TCP	560
Повторная передача и скользящее окно	564
Реализация метода скользящего окна в протоколе TCP	567
Управление потоком	570
Общие свойства и классификация протоколов маршрутизации	572
Протокол RIP	575
Построение таблицы маршрутизации	575
Адаптация маршрутизаторов RIP к изменениям состояния сети	578
Пример зацикливания пакетов	580
Методы борьбы с ложными маршрутами в протоколе RIP	581
Протокол OSPF	582
Два этапа построения таблицы маршрутизации	583
Метрики	584
Маршрутизация в неоднородных сетях	585
Взаимодействие протоколов маршрутизации	585
Внутренние и внешние шлюзовые протоколы	586
Протокол BGP	588
Протокол ICMP	591
Утилита traceroute	593
Утилита ping	596
Выводы	597
Вопросы и задания	598

Глава 18. Дополнительные функции маршрутизаторов IP-сетей	599
Фильтрация	600
Фильтрация пользовательского трафика	600
Фильтрация маршрутных объявлений	603
Стандарты QoS в IP-сетях	603
Модели качества обслуживания IntServ и DiffServ	604
Алгоритм ведра маркеров	605
Случайное раннее обнаружение	607
Интегрированное обслуживание и протокол RSVP	608
Дифференцированное обслуживание	611
Трансляция сетевых адресов	616
Причины подмены адресов	616
Традиционная технология NAT	616
Базовая трансляция сетевых адресов	618
Трансляция сетевых адресов и портов	619
Групповое вещание	621
Стандартная модель группового вещания IP	622
Адреса группового вещания	626
Основные типы протоколов группового вещания	627
Протокол IGMP	627
Принципы маршрутизации трафика группового вещания	630
Протокол DVMRP	632
Протокол MOSPF	635
Протокол PIM-SM	635
IPv6 как развитие стека TCP/IP	640
Система адресации протокола IPv6	641
Снижение нагрузки на маршрутизаторы	644
Переход на версию IPv6	647
Маршрутизаторы	648
Функции маршрутизаторов	648
Классификация маршрутизаторов по областям применения	651
Выводы	657
Вопросы и задания	657

ЧАСТЬ V. ТЕХНОЛОГИИ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Глава 19. Транспортные услуги и технологии глобальных сетей	661
Базовые понятия	662
Типы публичных услуг сетей операторов связи	662
Многослойная сеть оператора связи	666
Технология Frame Relay	672
История стандарта	672
Техника продвижения кадров	672
Гарантии пропускной способности	675
Технология ATM	678
Ячейки ATM	678
Виртуальные каналы ATM	680
Категории услуг ATM	681
Виртуальные частные сети	682
IP в глобальных сетях	689
Чистая IP-сеть	689
Протокол HDLC	690
Протокол PPP	690
Использование выделенных линий IP-маршрутизаторами	692
Работа IP-сети поверх сети ATM	693

Выводы	695
Вопросы и задания	696
Глава 20. Технология MPLS	698
Базовые принципы и механизмы MPLS	699
Совмещение коммутации и маршрутизации в одном устройстве	699
Пути коммутации по меткам	702
Заголовок MPLS и технологии канального уровня	704
Стек меток	706
Протокол LDP	709
Мониторинг состояния путей LSP	714
Тестирование путей LSP	715
Трассировка путей LSP	716
Протокол двунаправленного обнаружения ошибок продвижения	717
Инжиниринг трафика в MPLS	717
Отказоустойчивость путей MPLS	722
Общая характеристика	722
Использование иерархии меток для быстрой защиты	723
Выводы	724
Вопросы и задания	725
Глава 21. Ethernet операторского класса	727
Обзор версий Ethernet операторского класса	728
Движущие силы экспансии Ethernet	728
Разные «лица» Ethernet	729
Стандартизация Ethernet как услуги	731
Технология EoMPLS	733
Псевдоканалы	733
Услуги VPWS	737
Услуги VPLS	739
Ethernet поверх Ethernet	741
Области улучшений Ethernet	741
Функции эксплуатации, администрирования и обслуживания в Ethernet	743
Мосты провайдера	746
Магистральные мосты провайдера	748
Магистральные мосты провайдера с поддержкой инжиниринга трафика	753
Выводы	756
Вопросы и задания	757
Глава 22. Удаленный доступ	759
Схемы удаленного доступа	760
Типы клиентов и абонентских окончаний	761
Мультиплексирование информации на абонентском окончании	763
Режим удаленного узла	765
Режим удаленного управления и протокол telnet	767
Коммутируемый аналоговый доступ	768
Принцип работы телефонной сети	769
Удаленный доступ через телефонную сеть	771
Модемы	772
Коммутируемый доступ через сеть ISDN	775
Назначение и структура ISDN	775
Интерфейсы BRI и PRI	777
Стек протоколов ISDN	779
Использование сети ISDN для передачи данных	781
Технология ADSL	784

Доступ через сети CATV	787
Беспроводной доступ	789
Выводы	791
Вопросы и задания	792
Глава 23. Сетевые службы	794
Электронная почта	795
Электронные сообщения	795
Протокол SMTP	795
Непосредственное взаимодействие клиента и сервера	796
Схема с выделенным почтовым сервером	797
Схема с двумя почтовыми серверами-посредниками	799
Протоколы POP3 и IMAP	800
Веб-служба	801
Веб- и HTML-страницы	802
URL	803
Веб-клиент и веб-сервер	803
Протокол HTTP	805
Формат HTTP-сообщений	806
Динамические веб-страницы	807
IP-телефония	808
Ранняя IP-телефония	808
Стандарты H.323	809
Стандарты на основе протокола SIP	811
Связь телефонных сетей через Интернет	813
Новое поколение сетей IP-телефонии	814
Распределенные шлюзы и программные коммутаторы	816
Новые услуги	817
Интеграция систем адресации E.164 и DNS на основе ENUM	818
Протокол передачи файлов	819
Основные модули службы FTP	819
Управляющий сеанс и сеанс передачи данных	820
Команды взаимодействия FTP-клиента с FTP-сервером	820
Сетевое управление в IP-сетях	821
Функции систем управления	821
Архитектуры систем управления сетями	823
Выводы	826
Вопросы и задания	827
Глава 24. Сетевая безопасность	828
Основные понятия информационной безопасности	829
Определение безопасной системы	829
Угроза, атака, риск	830
Типы и примеры атак	831
Атаки отказа в обслуживании	831
Перехват и перенаправление трафика	833
Внедрение в компьютеры вредоносных программ	837
Троянские программы	837
Сетевые черви	838
Вирусы	842
Шпионские программы	844
Спам	844
Методы обеспечения информационной безопасности	845
Классификация методов защиты	845
Политика безопасности	846

Шифрование	847
Симметричные алгоритмы шифрования	848
Алгоритм DES	849
Несимметричные алгоритмы шифрования	850
Алгоритм RSA	853
Односторонние функции шифрования	854
Аутентификация, авторизации, аудит	856
Понятие аутентификации	856
Авторизация доступа	858
Аудит	859
Строгая аутентификация на основе многоразового пароля в протоколе CHAP	860
Аутентификация на основе одноразового пароля	861
Аутентификация на основе сертификатов	863
Аутентификация информации	869
Антивирусная защита	871
Сканирование сигнатур	872
Метод контроля целостности	873
Сканирование подозрительных команд	874
Отслеживание поведения программ	874
Сетевые экраны	875
Типы сетевых экранов разных уровней	878
Реализация	879
Архитектура	880
Прокси-серверы	882
Функции прокси-сервера	882
Прокси-серверы прикладного уровня и уровня соединений	885
«Проксификация» приложений	886
Системы обнаружения вторжений	887
Протоколы защищенного канала. IPsec	887
Иерархия технологий защищенного канала	889
Распределение функций между протоколами IPsec	890
Безопасная ассоциация	891
Транспортный и туннельный режимы	893
Протокол AH	895
Протокол ESP	896
Базы данных SAD И SPD	898
Сети VPN на основе шифрования	900
Выводы	902
Вопросы и задания	903
Ответы на вопросы	905
Рекомендуемая и использованная литература	917
Алфавитный указатель	918