

Оглавление

От авторов	20
Для кого эта книга	20
Изменения в шестом издании	21
Благодарности	22
От издательства	22
ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	23
Глава 1. Эволюция компьютерных сетей	25
Два корня компьютерных сетей	25
Первые компьютерные сети	26
Системы пакетной обработки	26
Многотерминальные системы — прообраз сети	27
Первые глобальные сети	28
Первые локальные сети	30
Конвергенция сетей	33
Конвергенция локальных и глобальных сетей	33
Конвергенция компьютерных и телекоммуникационных сетей	35
Интернет как фактор развития сетевых технологий	36
Глава 2. Общие принципы построения сетей	40
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 периферийным устройствам через сеть	44
Сетевое программное обеспечение	45
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	56
Топология физических связей	56
Адресация узлов сети	59
Коммутация	61

Обобщенная задача коммутации	62
Определение информационных потоков	62
Маршрутизация	64
Продвижение данных	67
Мультиплексирование и демultipлексирование	68
Разделяемая среда передачи данных	70
Глава 3. Коммутация каналов и пакетов	74
Коммутация каналов	74
Элементарный канал	75
Составной канал	77
Неэффективность передачи пульсирующего трафика	81
Коммутация пакетов	82
Буферизация пакетов	85
Дейтаграммная передача	86
Передача с установлением логического соединения	88
Передача с установлением виртуального канала	90
Сравнение сетей с коммутацией пакетов и каналов	92
Транспортная аналогия для сетей с коммутацией пакетов и каналов	92
Структура задержек в сетях с коммутацией каналов и пакетов	93
Количественное сравнение задержек. Пример	97
Ethernet — пример стандартной технологии с коммутацией пакетов	99
Глава 4. Стандартизация и классификация сетей	102
Декомпозиция задачи сетевого взаимодействия	102
Многоуровневый подход	102
Протокол и стек протоколов	105
Модель OSI	107
Общая характеристика модели OSI	107
Физический уровень	110
Канальный уровень	111
Сетевой уровень	112
Транспортный уровень	116
Сеансовый уровень	116
Уровень представления	116
Прикладной уровень	117
Модель OSI и сети с коммутацией каналов	117
Стандартизация сетей	118
Понятие открытой системы	118
Источники стандартов	119
Стандартизация Интернета	121
Стандартные стеки коммуникационных протоколов	121
Соответствие популярных стеков протоколов модели OSI	124
Информационные и транспортные услуги	125
Распределение протоколов по элементам сети	126
Вспомогательные протоколы транспортной системы	127
Классификация компьютерных сетей	129

Глава 5. Сетевые характеристики и качество обслуживания	133
Типы характеристик	133
Субъективные оценки качества	133
Требования к характеристикам со стороны пользователя и поставщика услуг	134
Долговременные, среднесрочные и краткосрочные характеристики.	134
Соглашение об уровне обслуживания	135
Производительность и надежность сети	136
Идеальная и реальная сети	136
Статистические оценки характеристик сети	138
Активные и пассивные измерения в сети.	141
Характеристики задержек пакетов	144
Характеристики скорости передачи	146
Характеристики надежности сети	148
Характеристики сети поставщика услуг	149
Приложения и качество обслуживания	151
Степень равномерности порождаемого трафика.	151
Чувствительность приложений к задержкам пакетов	152
Чувствительность приложений к потерям и искажениям пакетов	153
Методы обеспечения качества обслуживания	154
Управление очередями	155
Анализ очередей	156
Очереди и различные классы трафика	159
Техника управления очередями.	160
Механизмы кондиционирования трафика	165
Обратная связь для предотвращения перегрузок	168
Резервирование ресурсов	171
Процедура резервирования пропускной способности	172
Обеспечение заданного уровня задержек.	174
Инжиниринг трафика	175
Недостатки традиционных методов маршрутизации	175
Методы инжиниринга трафика	176
Работа в недогруженном режиме	178
Вопросы к части I	180
ЧАСТЬ II. ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ	183
Глава 6. Линии связи	184
Классификация линий связи	184
Первичные сети, линии и каналы связи	184
Физическая среда передачи данных	185
Аппаратура передачи данных	186
Характеристики линий связи	188
Спектральное представление сигнала	188
Затухание и опорная мощность.	193
Полоса пропускания	197
Помехи	199

Пропускная способность	202
Влияние способа кодирования на пропускную способность	204
Соотношение полосы пропускания и пропускной способности	206
Проводные линии связи	207
Экранированная и неэкранированная витая пара	207
Коаксиальный кабель	209
Волоконно-оптический кабель	209
Структурированная кабельная система зданий	213
Глава 7. Кодирование и мультиплексирование данных	215
Виды кодирования	215
Кодирование дискретной информации	216
Этапы кодирования	216
Спектр информационного сигнала	217
Выбор способа кодирования	219
Кодирование дискретной информации дискретными сигналами	220
Кодирование дискретной информации аналоговыми сигналами	226
Обнаружение и коррекция ошибок	229
Кодирование аналоговой информации	231
Кодирование аналоговой информации аналоговыми сигналами	231
Кодирование аналоговой информации дискретными сигналами	232
Мультиплексирование и коммутация	234
Мультиплексирование и коммутация на основе методов FDM и WDM	234
Мультиплексирование и коммутация на основе метода TDM	236
Глава 8. Технологии первичных сетей PDH и SDH	240
Принципы организации первичных сетей	240
Особенности первичных сетей	240
Топология и типы оборудования	241
Статичность нагрузки. Иерархия скоростей	243
Функции мультиплексора	245
Технологии первичных сетей	248
Технология PDH	249
Система T-каналов	249
Синхронизация в сетях PDH	251
Технология SDH	252
Функциональные уровни SDH	253
Топологии сетей SDH	254
Иерархия скоростей	256
Формат кадра SDH	257
Мультиплексирование в STM-N	258
Мультиплексирование в STM-1	259
Выравнивание	261
Коммутация в SDH	264
Отказоустойчивость сетей SDH	267

Глава 9. Технологии первичных сетей DWDM и OTN	271
Сети DWDM	271
Принцип работы	271
Частотные планы	274
Оборудование и топологии сетей DWDM	275
Ячеистая топология и реконфигурируемые оптические кросс-коннекторы	280
Сети OTN	285
Причины создания сетей OTN	285
Архитектура сетей OTN	286
Отображение и выравнивание пользовательских данных	290
Мультиплексирование блоков OTN	294
Вопросы к части II	302
ЧАСТЬ III. ТЕХНОЛОГИЯ ETHERNET	307
Глава 10. Ethernet в локальных сетях	308
Первый этап — разделяемая среда	308
Стандартная топология и разделяемая среда	308
Уровни Ethernet	310
MAC-адреса	312
Форматы кадров технологии Ethernet	313
Доступ к среде и передача данных	314
Возникновение и распознавание коллизии	315
Физические стандарты 10M Ethernet	317
Коммутируемый Ethernet	320
Мост как предшественник и функциональный аналог коммутатора	320
Коммутаторы	327
Скоростные версии Ethernet	333
Fast Ethernet	335
Gigabit Ethernet	337
10G Ethernet	340
100G и 40G Ethernet	341
400G, 200G и 50G Ethernet	343
Глава 11. Отказоустойчивые и виртуальные локальные сети	347
Алгоритм покрывающего дерева	347
Протокол STP	348
Версия RSTP	352
Фильтрация трафика	353
Агрегирование линий связи в локальных сетях	355
Транки и логические каналы	355
Динамическое агрегирование линий связи в стандарте IEEE Link Aggregation	357
Виртуальные локальные сети	364
Назначение виртуальных сетей	365
Создание виртуальных сетей на базе одного коммутатора	367
Создание виртуальных сетей на базе нескольких коммутаторов	367

Конфигурирование VLAN	369
Автоматизация конфигурирования VLAN	372
Альтернативные маршруты в виртуальных локальных сетях	373
Ограничения коммутаторов	374
Глава 12. Ethernet операторского класса	376
Движущие силы экспансии Ethernet	376
Области улучшения Ethernet	377
Разделение адресных пространств пользователей и провайдера	377
Маршрутизация, инжиниринг трафика и отказоустойчивость	378
Функции эксплуатации, администрирования и обслуживания	378
Функции OAM в Ethernet операторского класса	379
Протокол CFM	379
Протокол мониторинга качества соединений Y.1731	382
Стандарт тестирования физического соединения Ethernet	382
Интерфейс локального управления Ethernet	383
Мосты провайдера	383
Магистральные мосты провайдера	385
Формат кадра PBB	386
Двухуровневая иерархия соединений	387
Пользовательские MAC-адреса	389
Маршрутизация и отказоустойчивость в сетях PBB	390
Магистральные мосты провайдера с поддержкой инжиниринга трафика	392
Вопросы к части III	395
ЧАСТЬ IV. СЕТИ TCP/IP	399
Глава 13. Адресация в стеке протоколов TCP/IP	400
Структура стека протоколов TCP/IP	400
Типы адресов стека TCP/IP	404
Формат IP-адреса	405
Классы IP-адресов	406
Особые IP-адреса	408
Использование масок при IP-адресации	409
Порядок назначения IP-адресов	410
Централизованное распределение адресов	410
Технология бесклассовой маршрутизации CIDR	411
Отображение IP-адресов на локальные адреса	413
Протокол ARP	413
Протокол Проху-ARP	417
Доменная служба имен DNS	419
Пространство DNS-имен	419
Сервер, клиент и протокол DNS	421
Иерархическая организация службы DNS	422
Итеративная и рекурсивная процедуры разрешения имени	423
Корневые серверы	425
Обратная зона	425

Протокол DHCP	427
Режимы DHCP	427
Динамическое назначение адресов	429
Глава 14. Протокол межсетевого взаимодействия IP	432
IP-пакет	432
Схема IP-маршрутизации	435
Упрощенная таблица маршрутизации	437
Таблицы маршрутизации конечных узлов	438
Просмотр таблиц маршрутизации без масок	440
Примеры таблиц маршрутизации разных форматов	440
Источники и типы записей в таблице маршрутизации	445
Пример IP-маршрутизации без масок	446
Маршрутизация с использованием масок	450
Структуризация сети масками одинаковой длины	450
Просмотр таблиц маршрутизации с учетом масок	453
Использование масок переменной длины	454
CIDR и маршрутизация	457
Фрагментация IP-пакетов	458
Параметры фрагментации	459
Механизм фрагментации	460
Протокол ICMP	462
Формат, типы и коды ICMP-сообщений	463
Ошибка недостижимости узла и утилита traceroute	464
Сообщения «эхо-запрос» и «эхо-ответ» в утилите ping	466
Глава 15. Протоколы транспортного уровня TCP и UDP	468
Мультиплексирование и демупльтиплексирование приложений	468
Порты	468
Сокеты	470
Протокол UDP и UDP-дейтаграммы	471
Протокол TCP и TCP-сегменты	472
Логические соединения — основа надежности TCP	474
Методы квитирования	478
Метод простоя источника	479
Концепция скользящего окна	481
Передача с возвращением на N пакетов	483
Передача с выборочным повторением	485
Метод скользящего окна в протоколе TCP	487
Сегменты и поток байтов	487
Система буферов при дуплексной передаче	488
Накопительный принцип квитирования	490
Параметры управления потоком в TCP	491
Глава 16. Протоколы маршрутизации и технология SDN	493
Общие свойства и классификация протоколов маршрутизации	493
Протокол RIP	496

Построение таблицы маршрутизации	496
Адаптация маршрутизаторов RIP к изменениям состояния сети	499
Пример зацикливания пакетов	500
Методы борьбы с ложными маршрутами в протоколе RIP	502
Протокол OSPF	503
Два этапа построения таблицы маршрутизации	503
Метрики	504
Маршрутизация в неоднородных сетях	506
Взаимодействие протоколов маршрутизации	506
Внутренние и внешние шлюзовые протоколы	507
Протокол BGP	509
Групповое вещание	511
Стандартная модель группового вещания IP	511
Адреса группового вещания	513
Протокол IGMP	513
Принципы маршрутизации трафика группового вещания	516
Программно-определяемые сети SDN	518
Недостатки традиционной модели маршрутизации	518
Протокол автоматического распознавания связей BDDP	524
Виртуализация сетевых функций: NFV	535
Глава 17. IPv6 как развитие стека TCP/IP	540
Исторические предпосылки	540
Система адресации IPv6	541
Отличие от IPv4.	541
Типы адресов IPv6	542
Индивидуальные адреса	543
Групповые адреса	546
Типичный набор адресов интерфейса IPv6	548
Формат пакета IPv6	549
Основной заголовок	550
Дополнительные заголовки	551
Снижение нагрузки на маршрутизаторы	553
Протокол обнаружения соседей Neighbour Discovery	554
Задачи протокола ND и протокол ICMPv6	554
Сообщения протокола ND	555
Проверка наличия дубликата адреса с помощью протокола ND	557
Разрешение адресов в IPv6	559
Процесс адаптации версии IPv6	560
Темпы миграции	560
Проблема интеграции сетей разных технологий	562
Двойной стек, трансляция, туннелирование	563
Способы сосуществования сетей IPv4 и IPv6	566
Вопросы к части IV	572

ЧАСТЬ V. ГЛОБАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ	579
Глава 18. Организация и услуги глобальных сетей	581
Сети операторов связи	581
Услуги операторов связи	582
Потребители услуг	583
Инфраструктура	584
Территория покрытия	586
Взаимоотношения между операторами связи	587
Организация Интернета	588
Многослойное представление технологий и услуг глобальных сетей	591
Многоуровневый стек транспортных протоколов	591
Технологии и услуги физического уровня	592
Технологии и услуги сетей коммутации пакетов	593
Модели межуровневого взаимодействия в стеке протоколов глобальной сети	594
Облачные сервисы	597
Концепция облачных вычислений	597
Определение облачных вычислений	599
Модели сервисов облачных сервисов	600
Глава 19. Транспортные технологии глобальных сетей	603
Технологии виртуальных каналов — от X.25 к MPLS	603
Принципы работы виртуального канала	603
Эффективность виртуальных каналов	606
Технология X.25	607
Технология Frame Relay	608
Технология ATM	611
Технологии двухточечных каналов	613
Протокол HDLC	613
Протокол PPP	614
Технологии доступа	615
Проблема последней мили	615
Коммутируемый аналоговый доступ	617
Модемы	619
Технология ADSL	621
Пассивные оптические сети	624
Глава 20. Технология MPLS	628
Базовые принципы и механизмы MPLS	628
Совмещение коммутации и маршрутизации	628
Пути коммутации по меткам	630
Заголовок MPLS и технологии канального уровня	633
Стек меток	634
Протокол LDP	638
Инжиниринг трафика в MPLS	643
Мониторинг состояния путей LSP	647
Тестирование путей LSP	647

Трассировка путей LSP	649
Протокол двунаправленного обнаружения ошибок продвижения	650
Отказоустойчивость путей в MPLS	650
Общая характеристика	650
Использование иерархии меток для быстрой защиты	652
Виртуальные частные сети на базе MPLS.	653
Общие свойства VPN	653
Стандартизация услуг VPN второго уровня	655
Технология MPLS VPN второго уровня	657
Вопросы к части V.	666
ЧАСТЬ VI. БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ	669
Глава 21. Технологии физического уровня беспроводных сетей	670
Беспроводные линии связи	670
Преимущества беспроводных коммуникаций.	670
Диапазоны электромагнитного спектра	672
Распространение электромагнитных волн	673
Борьба с искажениями сигнала в беспроводных линиях связи	676
Лицензирование	677
Антенны	678
Прием и передача с использованием нескольких антенн (MIMO)	681
Конфигурации систем с несколькими антеннами	681
Пространственное разнесение	683
Формирование диаграммы направленности и предварительное кодирование	684
Пространственно-временное кодирование (STC)	686
Пространственное мультиплексирование (SM)	687
Техника расширенного спектра	688
Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты FHSS.	689
Прямое последовательное расширение спектра DSSS	691
Множественный доступ с кодовым разделением CDMA	692
Ортогональное частотное мультиплексирование.	694
Глава 22. Беспроводные локальные и персональные сети	700
Особенности среды беспроводных локальных сетей	700
Беспроводные локальные сети IEEE 802.11.	702
Топологии локальных сетей стандарта IEEE 802.11	702
Стек протоколов IEEE 802.11	705
Стандарты физического уровня	705
Формат кадра	707
Процедура присоединения к сети.	708
Управление потреблением энергии	709
Распределенный режим доступа.	709
Централизованный режим доступа.	711
Персональные сети и технология Bluetooth.	713
Особенности персональных сетей	713
Архитектура Bluetooth	714

Поиск и стыковка устройств Bluetooth	715
Физический уровень Bluetooth	716
Глава 23. Мобильные телекоммуникационные сети	719
Принципы мобильной связи	719
Соты	719
Установление соединения	721
Эстафетная передача	723
Управление мобильностью	724
Мобильные сети первых поколений	724
Архитектура сети GSM	725
Организация радиодоступа в сети GSM	726
Идентификация абонента и телефона	728
Маршрутизация при вызове мобильного абонента	729
Эстафетная передача в сетях GSM	731
Передача компьютерных данных с помощью услуги GPRS	732
Мобильные сети третьего поколения UMTS	735
Четвертое поколение мобильных сетей — сети LTE	736
Особенности сетей LTE	736
Архитектура сети LTE	737
Радиоинтерфейс LTE	739
Передача голоса в сети LTE (Voice over LTE)	740
Мобильный IP	743
Проблема сохранения адреса	743
Мобильный IPv4	744
Мобильный IPv6	746
Прокси-мобильный IPv6	747
Пятое поколение 5G	750
Новый взгляд на роль мобильных сетей	750
Области применения сетей 5G	751
Виртуализация сети 5G	752
Различные представления архитектуры сети 5G	754
Новое радио	757
Вопросы к части VI	760
ЧАСТЬ VII. СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЛУЖБЫ	763
Глава 24. Информационные службы IP-сетей	765
Общие принципы организации сетевых служб	765
Веб-служба	767
Веб- и HTML-страницы	767
URL-адрес	768
Веб-клиент и веб-сервер	769
Протокол HTTP	771
Формат HTTP-сообщений	772
Динамические веб-страницы	774
Почтовая служба	776
Электронные сообщения	776

Протокол SMTP	778
Непосредственное взаимодействие клиента и сервера	779
Схема с выделенным почтовым сервером	780
Схема с двумя почтовыми серверами-посредниками	782
Протоколы POP3 и IMAP	783
Глава 25. Служба управления сетью	785
Функции систем управления сетью	785
Архитектура систем управления сетью	786
Агент управляемого объекта	786
Двухзвенная и трехзвенная схемы управления	787
Взаимодействие менеджера, агента и управляемого объекта	789
Системы управления сетью на основе протокола SNMP	791
Протокол SNMP	791
База данных MIB	792
Режим удаленного управления и протокол telnet	794
Вопросы к части VII.	796
ЧАСТЬ VIII. БЕЗОПАСНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	799
Глава 26. Основные понятия и принципы информационной безопасности	801
Идентификация, аутентификация и авторизация	801
Модели информационной безопасности	804
Триада «конфиденциальность, доступность, целостность»	804
Гексада Паркера	806
Уязвимость, угроза, атака	807
Ущерб и риск. Управление рисками	810
Типы и примеры атак	811
Пассивные и активные атаки	811
Отказ в обслуживании	812
Внедрение вредоносных программ	814
Кража личности, фишинг	815
Иерархия средств защиты	816
Принципы защиты информационной системы	817
Подход сверху вниз	817
Защита как процесс	818
Эшелонированная защита	818
Сбалансированная защита	820
Компромиссы системы безопасности	821
Шифрование — базовая технология безопасности	822
Основные понятия и определения	822
Симметричное шифрование	823
Проблема распределения ключей	825
Метод Диффи—Хеллмана передачи секретного ключа по незащищенному каналу	826
Концепция асимметричного шифрования	828
Алгоритм асимметричного шифрования RSA	830
Хеш-функции. Односторонние функции шифрования. Проверка целостности	832

Глава 27. Технологии аутентификации, авторизации и управления доступом	834
Технологии аутентификации.	834
Факторы аутентификации человека	834
Аутентификация на основе паролей	835
Аутентификация на основе аппаратных аутентификаторов	840
Аутентификация информации. Электронная подпись	843
Аутентификация на основе цифровых сертификатов	845
Аутентификация программных кодов	849
Аутентификация пользователей ОС	851
Технологии управления доступом и авторизации.	852
Формы представления ограничений доступа	852
Дискреционный метод управления доступом	855
Мандатный метод управления доступом	856
Ролевое управление доступом	859
Управление доступом в операционных системах.	861
Централизованные системы аутентификации и авторизации	861
Глава 28. Технологии безопасности на основе анализа трафика	864
Фильтрация	864
Виды фильтрации.	864
Правила фильтрации маршрутизаторов Cisco	865
Файерволы	868
Функциональное назначение файервола	868
Типы файерволов	871
Программные файерволы хоста	875
Влияние DHCP на работу файервола	876
Прокси-серверы	877
Функции прокси-сервера	877
«Проксификация» приложений	879
Трансляция сетевых адресов	880
Традиционная технология NAT.	881
Базовая трансляция сетевых адресов	882
Трансляция сетевых адресов и портов.	883
Системы мониторинга трафика	885
Анализаторы протоколов	886
Система мониторинга NetFlow	889
Системы обнаружения вторжений	891
Аудит событий безопасности	894
Типовые архитектуры сетей, защищаемых файерволами	895
Логическая сегментация защищаемой сети	895
Архитектура сети с защитой периметра и разделением внутренних зон	898
Глава 29. Атаки на транспортную инфраструктуру сети	901
Атаки на транспортные протоколы	901
TCP-атаки	901
ICMP-атаки	904
UDP-атаки	908

IP-атаки	909
Сетевая разведка	910
Атаки на DNS	912
DNS-спуфинг	912
Атаки на корневые DNS-серверы	913
DDoS-атаки отражением от DNS-серверов	915
Методы защиты службы DNS	916
Безопасность маршрутизации на основе BGP	916
Уязвимости протокола BGP	916
Инциденты с протоколом BGP	918
Технологии защищенного канала	919
Способы образования защищенного канала	920
Иерархия технологий защищенного канала	921
Система IPsec	923
Глава 30. Безопасность программного кода и сетевых служб	933
Уязвимости программного кода и вредоносные программы	933
Уязвимости, связанные с нарушением защиты оперативной памяти	933
Троянские программы	935
Сетевые черви	935
Вирусы	938
Программные закладки	940
Антивирусные программы	940
Ботнет	941
Безопасность веб-сервиса	942
Безопасность веб-браузера	943
Приватность и куки	943
Протокол HTTPS	945
Безопасность средств создания динамических страниц	946
Безопасность электронной почты	947
Угрозы приватности почтового сервиса	947
Аутентификация отправителя	948
Шифрование содержимого письма	951
Защита метаданных пользователя	952
Спам	953
Атаки почтовых приложений	954
Безопасность облачных сервисов	954
Облачные вычисления как источник угрозы	954
Облачные сервисы как средство повышения сетевой безопасности	957
Вопросы к части VIII	961
Рекомендуемая и использованная литература	968
Ответы	970
Алфавитный указатель	979