

УДК 004.7
ББК 32.971.35
В15

В15 Жан Вальран, Шьям Парех

Коммуникационные сети: краткое введение / пер. с англ. К. В. Петрови-
чевой – М.: ДМК Пресс, 2023. – 268 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-967-5

Эта книга посвящена основным принципам, лежащим в основе проек-
тирования и функционирования интернета. В ней дается целостное
описание этой критически важной, но сложной инфраструктуры и четко
и ясно объясняются основные идеи, не скрываясь за несущественными
деталями реализации.

Издание предназначено ИТ-специалистам, студентам, преподавате-
лям, а также может быть полезно широкому кругу читателей.

Copyright ©2018 Morgan and Claypool Publishers. All Rights Reserved Morgan and Claypool
Publishers.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в ка-
кой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения
владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероят-
ность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать
абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство
не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-1-62705-887-2 (англ.)
ISBN 978-5-97060-967-5 (рус.)

Copyright © Morgan and Claypool Publishers, 2018
© Оформление, перевод на русский язык,
издание, ДМК Пресс, 2023

Оглавление

Предисловие от издательства	11
Отзывы	12
Аннотация ко второму изданию	14
Предисловие	15
Глава 1. Интернет	17
1.1. Основные операции.....	17
1.1.1. Хосты, маршрутизаторы, каналы связи	17
1.1.2. Коммутация пакетов	18
1.1.3. Адресация.....	19
1.1.4. Маршрутизация	19
1.1.5. Обнаружение ошибок.....	21
1.1.6. Повторная передача ошибочных пакетов	22
1.1.7. Управление перегрузками.....	22
1.1.8. Управление потоком.....	23
1.2. DNS, HTTP и www	23
1.2.1. DNS.....	23
1.2.2. HTTP и www.....	23
1.3. Краткое изложение	24
1.4. Задачи	24
1.5. Ссылки	25
Глава 2. Принципы	26
2.1. Совместное использование	26
2.2. Метрики	27
2.2.1. Скорость канала связи.....	28
2.2.2. Широкополосный канал и его производительность	28
2.2.3. Задержка.....	29
2.2.4. Пропускная способность	30
2.2.5. Джиттер	32
2.2.6. Очередь М/М/1	33
2.2.7. Закон Литтла.....	35
2.2.8. Fairness, или индексы справедливости в сети	37
2.3. Масштабируемость	38
2.3.1. Адресация на основе местоположения	38
2.3.2. Двухуровневая маршрутизация	39
2.3.3. Негарантированная доставка	40
2.3.4. Сквозной (end-to-end) принцип и маршрутизаторы stateless	41
2.3.5. Иерархическое именование.....	42
2.4. Приложения и технологическая независимость	42
2.4.1. Уровни модели OSI	43
2.5. Топология приложений	44
2.5.1. Клиент/сервер	44
2.5.2. P2P	45

2.5.3. Облачные вычисления	45
2.5.4. Распределение контента	46
2.5.5. multicast/anycast	46
2.5.6. push/pull	46
2.5.7. Подбор контента по местоположению	47
2.6. Резюме	47
2.7. Задачи	47
2.8. Ссылки	51
Глава 3. Ethernet	52
3.1. Типовая установка	52
3.2. История Ethernet	52
3.2.1. Сеть Aloha (Alohanet)	53
3.2.2. Кабельная сеть Ethernet	54
3.2.3. Хаб Ethernet	56
3.2.4. Коммутируемый Ethernet	57
3.3. Адреса	57
3.4. Кадр	57
3.5. Физический уровень	58
3.6. Коммутируемый Ethernet	59
3.6.1. Пример	59
3.6.2. Обучение (learning)	59
3.6.3. Протокол spanning tree	60
3.7. Aloha	62
3.7.1. Версия с тайм-слотами	62
3.8. Aloha без слотов	63
3.9. Хаб Ethernet	63
3.9.1. Максимальное время обнаружения коллизии	63
3.10. Приложение: теория вероятности	65
3.10.1. Вероятность	65
3.10.2. Аддитивность эксклюзивных событий	65
3.10.3. Независимые события	66
3.10.4. Слотовая Aloha	67
3.10.5. Неслотовая Aloha	67
3.10.6. Ожидание успеха	69
3.10.7. Хаб Ethernet	69
3.11. Резюме	70
3.12. Задачи	70
3.13. Ссылки	73
Глава 4. Wi-Fi	74
4.1. Основные операции	74
4.2. Управление доступом к среде (MAC)	75
4.2.1. Протокол MAC	75
4.2.2. Усовершенствования для доступа к среде передачи	78
4.2.3. MAC-адреса	79
4.3. Физический уровень	80
4.4. Анализ эффективности протокола MAC	81

4.4.1. Одно устройство	81
4.4.2. Несколько устройств.....	82
4.5. Последние достижения.....	87
4.5.1. IEEE 802.11n – введение MIMO в Wi-Fi.....	87
4.5.2. IEEE 802.11ad – Wi-Fi в миллиметровом диапазоне	88
4.5.3. IEEE 802.11ac – введение MU-MIMO в Wi-Fi	88
4.5.4. IEEE 802.11ah – Wi-Fi для IoT и M2M	89
4.5.5. Одноранговая Wi-Fi.....	90
4.6. Приложение: цепи Маркова.....	91
4.7. Резюме.....	94
4.8. Задачи	95
4.9. Ссылки	97
Глава 5. Маршрутизация	98
5.1. Домены и двухуровневая маршрутизация.....	98
5.1.1. Масштабируемость	99
5.1.2. Транзит и пиринг.....	99
5.2. Междоменная маршрутизация	100
5.2.1. Алгоритм вектора пути	101
5.2.2. Возможные колебания.....	102
5.2.3. Мультивыходные дискриминаторы	103
5.3. Внутримоменная маршрутизация по кратчайшему пути.....	103
5.3.1. Алгоритм Дейкстры и состояние связи.....	103
5.3.2. Алгоритм Беллмана–Форда и вектор расстояния	105
5.4. Anycast, multicast.....	107
5.4.1. Anycast	108
5.4.2. Multicast.....	108
5.4.3. Прямая коррекция ошибок (FEC)	109
5.4.4. Сетевое кодирование.....	111
5.5. Сети ad hoc.....	113
5.5.1. AODV	113
5.5.2. OLSR.....	114
5.5.3. Муравьиная маршрутизация	114
5.5.4. Географическая маршрутизация	114
5.5.5. Маршрутизация обратного давления	114
5.6. Резюме	114
5.7. Задачи	115
5.8. Ссылки	118
Глава 6. Работа в сети Интернет	119
6.1. Цель.....	119
6.2. Основные компоненты: маска, шлюз, ARP	120
6.2.1. Адреса и подсети	121
6.2.2. Шлюз.....	121
6.2.3. DNS-сервер.....	122
6.2.4. ARP.....	122
6.2.5. Конфигурация	122
6.3. Примеры	122
6.3.1. Одна и та же подсеть.....	123

6.3.2. Разные подсети	123
6.3.3. Поиск IP-адресов	124
6.3.4. Фрагментация	124
6.4. DHCP	125
6.5. NAT	125
6.6. Резюме	127
6.7. Задачи	127
6.8. Ссылки	128
Глава 7. Транспорт	129
7.1. Транспортные услуги	129
7.2. Транспортный заголовок	130
7.3. Состояния TCP	131
7.4. Контроль ошибок	132
7.4.1. Stop-and-wait	132
7.4.2. Go Back N	133
7.4.3. Выборочные подтверждения	134
7.4.4. Таймеры	135
7.5. Управление перегрузками	135
7.5.1. AIMD	136
7.5.2. Усовершенствования: быстрая ретрансляция и быстрое восстановление	137
7.5.3. Регулировка производительности	138
7.5.4. Размер окна TCP	139
7.5.5. Терминология	140
7.6. Управление потоком	140
7.7. Альтернативные схемы управления перегрузками	141
7.8. Резюме	142
7.9. Задачи	143
7.10. Ссылки	148
Глава 8. Модели	149
8.1. Графы	149
8.1.1. Max-flow, min-cut	150
8.1.2. Раскраска графа и протоколы MAC	151
8.2. Очереди	153
8.2.1. Очередь М/М/1	154
8.2.2. Сети Джексона	155
8.2.3. Очередь против коммуникационных сетей	156
8.3. Роль уровней	158
8.4. Управление перегрузками	159
8.4.1. Справедливость против производительности	159
8.4.2. Распределенное управление перегрузками	162
8.4.3. И снова о TCP	165
8.5. Динамические маршрутизация и управление перегрузками	167
8.6. Беспроводная связь	169
8.7. Приложение: обоснование теоремы двойственности линейного программирования	172

8.8. Резюме	173
8.9. Задачи	174
8.10. Ссылки	177
Глава 9. LTE.....	179
9.1. Сотовая сеть.....	179
9.2. Технологическая эволюция	182
9.3. Ключевые аспекты LTE	183
9.3.1. Архитектура системы LTE	185
9.3.2. Физический уровень.....	187
9.3.3. Поддержка требований QoS	190
9.3.4. Планировщик.....	190
9.4. LTE-Advanced	192
9.4.1. Агрегация несущих.....	193
9.4.2. Поддержка расширенного MIMO.....	193
9.4.3. Узлы ретрансляции (RN).....	193
9.4.4. Координированная многоточечная работа (CoMP).....	194
9.5. 5G.....	195
9.6. Резюме	196
9.7. Задачи	196
9.8. Ссылки	198
Глава 10. QOS.....	199
10.1. Обзор.....	199
10.2. Формирование трафика.....	200
10.2.1. Механизм leaky bucket	200
10.2.2. Границы задержки	201
10.3. Планирование	202
10.3.1. GPS	202
10.3.2. WFQ.....	204
10.4. Регулируемые потоки и WFQ	205
10.5. Сквозное QOS	206
10.6. Управление сквозным пропусканием	207
10.7. Сетевой нейтралитет.....	207
10.8. Резюме	208
10.9. Задачи	208
10.10. Ссылки	210
Глава 11. Физический уровень сети.....	211
11.1. Как передавать биты?	211
11.2. Характеристики каналов связи.....	212
11.3. Проводные и беспроводные каналы связи	213
11.3.1. Схемы модуляции: BPSK, QPSK, QAM.....	213
11.3.2. Межсотовые помехи и OFDM	216
11.4. Оптические линии связи	218
11.4.1. Работа оптоволокна.....	218
11.4.2. Модуляция OOK	219
11.4.3. Мультиплексирование с разделением по длине волны.....	220

11.4.4. Оптическая коммутация	220
11.4.5. Пассивная оптическая сеть	221
11.5. Резюме	222
11.6. Ссылки	223
Глава 12. Дополнительные темы	224
12.1. Коммутаторы.....	224
12.1.1. Модульные коммутаторы.....	224
12.1.2. Матричные коммутаторы каналов.....	227
12.2. Оверлейные сети.....	229
12.2.1. Примеры сетей: CDN и P2P	231
12.2.2. Маршрутизация в оверлейных сетях.....	232
12.3. Как работают популярные протоколы P2P.....	232
12.3.1. Первое поколение: на базе сервер/клиент.....	232
12.3.2. Второе поколение: централизованный каталог	233
12.3.3. Третье поколение: полностью распределенный протокол.....	233
12.3.4. Появление иерархического оверлея – суперузлов	233
12.3.5. Продвинутый распределенный совместный доступ к файлам: BitTorrent.....	234
12.4. Сенсорные сети	235
12.4.1. Вопросы проектирования	235
12.5. Распределенные приложения	238
12.5.1. Алгоритм маршрутизации Беллмана–Форда	238
12.5.2. Регулировка мощности.....	239
12.6. Византийское соглашение.....	241
12.6.1. Соглашение при ненадежном канале связи	241
12.6.2. Консенсус в присутствии противников.....	242
12.7. Сжатие источника	244
12.8. SDN и NFV	244
12.8.1. Архитектура SDN	245
12.8.2. Новые услуги, предоставляемые SDN.....	246
12.8.4. Фреймворк управления для NFV	250
12.9. Интернет вещей (IoT)	252
12.9.1. Парадигмы удаленных вычислений и хранения данных	252
12.10. Резюме	253
12.11. Задачи	254
12.12. Ссылки	256
Об авторах.....	258
Библиография.....	259
Предметный указатель	266