

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие .....</b>	<b>30</b>
Об этом издании .....	30
Об этой книге .....	31
<b>Благодарности.....</b>	<b>38</b>
<b>Об авторе .....</b>	<b>41</b>
От издательства .....	41
<b>Глава 1. Введение .....</b>	<b>42</b>
1.1. Производительность системы.....	42
1.2. Роли.....	43
1.3. Действия .....	44
1.4. Перспективы .....	46
1.5. Сложности оценки производительности .....	46
1.5.1. Субъективность .....	47
1.5.2. Сложность.....	47
1.5.3. Множественные причины .....	48
1.5.4. Множественные проблемы с производительностью .....	48
1.6. Задержка.....	49
1.7. Наблюдаемость .....	50
1.7.1. Счетчики, статистики и метрики .....	50
1.7.2. Профилирование .....	52
1.7.3. Трассировка .....	54
1.8. Эксперименты .....	56
1.9. Облачные вычисления .....	58
1.10. Методологии.....	58
1.10.1. Анализ производительности Linux за 60 секунд.....	59

1.11. Практические примеры.....	60
1.11.1. Медленные диски.....	60
1.11.2. Изменение в программном обеспечении .....	63
1.11.3. Дополнительное чтение.....	65
1.12. Ссылки.....	65
<b>Глава 2. Методологии.....</b>	<b>66</b>
2.1. Терминология .....	67
2.2. Модели.....	68
2.2.1. Тестируемая система.....	68
2.2.2. Система массового обслуживания .....	69
2.3. Основные понятия.....	69
2.3.1. Задержка.....	70
2.3.2. Шкалы времени .....	71
2.3.3. Компромиссы .....	72
2.3.4. Настройка производительности .....	73
2.3.5. Целесообразность.....	74
2.3.6. Когда лучше остановить анализ.....	75
2.3.7. Рекомендации действительно на данный момент времени.....	76
2.3.8. Нагрузка и архитектура .....	77
2.3.9. Масштабируемость.....	78
2.3.10. Метрики .....	80
2.3.11. Потребление.....	81
2.3.12. Насыщенность.....	82
2.3.13. Профилирование.....	83
2.3.14. Кэширование .....	83
2.3.15. Известные неизвестные .....	86
2.4. Точки зрения.....	86
2.4.1. Анализ ресурсов.....	86
2.4.2. Анализ рабочей нагрузки.....	88
2.5. Методология .....	89
2.5.1. Антиметодология «Уличный фонарь» .....	91
2.5.2. Антиметодология «Случайное изменение» .....	92
2.5.3. Антиметодология «Виноват кто-то другой».....	92

---

2.5.4. Специальный чек-лист .....	93
2.5.5. Формулировка проблемы.....	94
2.5.6. Научный метод.....	94
2.5.7. Цикл диагностики.....	96
2.5.8. Метод инструментов .....	96
2.5.9. Метод USE.....	97
2.5.10. Метод RED.....	105
2.5.11. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	105
2.5.12. Анализ с увеличением детализации .....	107
2.5.13. Анализ задержек.....	109
2.5.14. Метод R .....	109
2.5.15. Трассировка событий.....	110
2.5.16. Базовые статистики.....	112
2.5.17. Статическая настройка производительности .....	113
2.5.18. Настройка кэширования .....	113
2.5.19. Микробенчмаркинг производительности .....	114
2.5.20. Мантры производительности .....	115
2.6. Моделирование .....	116
2.6.1. Корпоративные и облачные среды .....	117
2.6.2. Визуальная идентификация .....	117
2.6.3. Закон Амдала.....	119
2.6.4. Универсальный закон масштабируемости .....	120
2.6.5. Теория массового обслуживания .....	121
2.7. Планирование емкости.....	125
2.7.1. Пределы ресурсов.....	125
2.7.2. Факторный анализ .....	127
2.7.3. Решения масштабирования .....	128
2.8. Статистики .....	129
2.8.1. Количественная оценка прироста производительности .....	129
2.8.2. Усреднение .....	131
2.8.3. Стандартное отклонение, процентиля, медиана .....	132
2.8.4. Коэффициент вариации.....	133
2.8.5. Мультимодальные распределения .....	133
2.8.6. Выбросы.....	134

2.9. Мониторинг.....	135
2.9.1. Временные закономерности .....	135
2.9.2. Инструменты мониторинга .....	137
2.9.3. Сводная статистика, накопленная с момента загрузки .....	137
2.10. Визуализация .....	137
2.10.1. Линейная диаграмма.....	137
2.10.2. Диаграммы рассеяния .....	139
2.10.3. Тепловые карты.....	140
2.10.4. Временная шкала .....	141
2.10.5. График поверхности.....	142
2.10.6. Инструменты визуализации .....	143
2.11. Упражнения.....	144
2.12. Ссылки.....	144
<b>Глава 3. Операционные системы.....</b>	<b>146</b>
3.1. Терминология .....	147
3.2. Основы .....	148
3.2.1. Ядро.....	148
3.2.2. Ядро и пользовательские режимы.....	150
3.2.3. Системные вызовы.....	152
3.2.4. Прерывания.....	154
3.2.5. Часы и бездействие.....	158
3.2.6. Процессы .....	159
3.2.7. Стеки.....	162
3.2.8. Виртуальная память.....	164
3.2.9. Планировщики.....	165
3.2.10. Файловая система.....	167
3.2.11. Кэширование .....	169
3.2.12. Сеть .....	170
3.2.13. Драйверы устройств.....	171
3.2.14. Многопроцессорность .....	171
3.2.15. Вытеснение.....	172
3.2.16. Управление ресурсами .....	172
3.2.17. Наблюдаемость .....	173

---

3.3. Ядра.....	173
3.3.1. Unix .....	174
3.3.2. BSD.....	175
3.3.3. Solaris.....	176
3.4. Linux.....	177
3.4.1. Новые разработки в ядре Linux.....	178
3.4.2. systemd.....	184
3.4.3. KPTI (Meltdown) .....	185
3.4.4. Расширенный BPF.....	186
3.5. Другие темы .....	187
3.5.1. Ядра PGO.....	187
3.5.2. Одноцелевые ядра.....	188
3.5.3. Микроядра и гибридные ядра.....	188
3.5.4. Распределенные операционные системы.....	189
3.6. Сравнение ядер .....	189
3.7. Упражнения.....	190
3.8. Ссылки .....	191
3.8.1. Дополнительное чтение .....	193
<b>Глава 4. Инструменты наблюдения.....</b>	<b>195</b>
4.1. Покрытие инструментами.....	196
4.1.1. Инструменты статического анализа производительности.....	197
4.1.2. Инструменты анализа кризисных ситуаций .....	198
4.2. Типы инструментов .....	199
4.2.1. Фиксированные счетчики.....	200
4.2.2. Профилирование.....	202
4.2.3. Трассировка.....	203
4.2.4. Мониторинг.....	204
4.3. Источники информации.....	206
4.3.1. /proc .....	208
4.3.2. /sys.....	212
4.3.3. Учет задержек .....	213
4.3.4. netlink .....	214
4.3.5. Точки трассировки.....	214

4.3.6. kprobes .....	219
4.3.7. uprobes .....	222
4.3.8. USDT .....	224
4.3.9. Аппаратные счетчики (PMC) .....	225
4.3.10. Другие источники информации для наблюдения .....	229
4.4. sar .....	231
4.4.1. Область покрытия sar(1) .....	232
4.4.2. Мониторинг с sar(1) .....	232
4.4.3. Вывод оперативной информации с помощью sar(1) .....	236
4.4.4. Документация с описанием sar(1) .....	236
4.5. Инструменты трассировки .....	237
4.6. Наблюдение за наблюдаемостью .....	237
4.7. Упражнения .....	239
4.8. Ссылки .....	240
<b>Глава 5. Приложения .....</b>	<b>241</b>
5.1. Основы приложений .....	242
5.1.1. Цель .....	243
5.1.2. Оптимизация общего случая .....	245
5.1.3. Наблюдаемость .....	245
5.1.4. Нотация «О-большое» .....	245
5.2. Методы повышения производительности приложений .....	247
5.2.1. Выбор размеров блоков ввода/вывода .....	247
5.2.2. Кэширование .....	248
5.2.3. Буферизация .....	248
5.2.4. Опрос .....	248
5.2.5. Конкурентность и параллелизм .....	249
5.2.6. Неблокирующий ввод/вывод .....	254
5.2.7. Привязка к процессору .....	255
5.2.8. Мантры производительности .....	255
5.3. Языки программирования .....	256
5.3.1. Компилируемые языки .....	256
5.3.2. Интерпретируемые языки .....	258
5.3.3. Виртуальные машины .....	259
5.3.4. Сборка мусора .....	259

---

5.4. Методология .....	260
5.4.1. Профилирование процессора.....	261
5.4.2. Анализ времени ожидания вне процессора.....	264
5.4.3. Анализ системных вызовов.....	268
5.4.4. Метод USE.....	269
5.4.5. Анализ состояния потока .....	270
5.4.6. Анализ блокировок .....	275
5.4.7. Настройка статической производительности .....	276
5.4.8. Распределенная трассировка.....	277
5.5. Инструменты наблюдения .....	277
5.5.1. perf.....	278
5.5.2. profile.....	281
5.5.3. offcputime.....	282
5.5.4. strace.....	284
5.5.5. execsnoop.....	286
5.5.6. syscount .....	287
5.5.7. bpftrace .....	288
5.6. Проблемы.....	292
5.6.1. Отсутствие символов .....	293
5.6.2. Отсутствие стеков .....	294
5.7. Упражнения.....	295
5.8. Ссылки .....	297
<b>Глава 6. Процессоры .....</b>	<b>299</b>
6.1. Терминология .....	300
6.2. Модели .....	301
6.2.1. Архитектура процессора .....	301
6.2.2. Кэш-память процессора .....	302
6.2.3. Очереди на выполнение .....	303
6.3. Понятия .....	303
6.3.1. Тактовая частота .....	304
6.3.2. Инструкции .....	304
6.3.3. Вычислительный конвейер.....	305
6.3.4. Ширина инструкций .....	305
6.3.5. Размеры инструкций.....	306

6.3.6. SMT .....	306
6.3.7. IPC, CPI.....	306
6.3.8. Потребление .....	307
6.3.9. Время в режиме пользователя/ядра.....	308
6.3.10. Насыщенность.....	308
6.3.11. Вытеснение.....	309
6.3.12. Инверсия приоритета .....	309
6.3.13. Несколько процессов, несколько потоков.....	310
6.3.14. Размер слова .....	312
6.3.15. Оптимизации компилятора.....	312
6.4. Архитектура .....	312
6.4.1. Аппаратное обеспечение.....	312
6.4.2. Программное обеспечение .....	326
6.5. Методология .....	330
6.5.1. Метод инструментов .....	331
6.5.2. Метод USE.....	332
6.5.3. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	333
6.5.4. Профилирование .....	335
6.5.5. Анализ тактов .....	338
6.5.6. Мониторинг производительности.....	339
6.5.7. Статическая настройка производительности.....	340
6.5.8. Настройка приоритетов .....	340
6.5.9. Управление ресурсами.....	341
6.5.10. Привязка к процессору .....	342
6.5.11. Микробенчмаркинг .....	342
6.6. Инструменты наблюдения .....	343
6.6.1. uptime.....	344
6.6.2. vmstat .....	347
6.6.3. mpstat .....	348
6.6.4. sar .....	349
6.6.5. ps.....	350
6.6.6. top.....	351
6.6.7. pidstat.....	352
6.6.8. time, ptime.....	353



---

6.6.9. turbostat .....	354
6.6.10. showboost.....	355
6.6.11. pmcarch .....	355
6.6.12. tlbbstat .....	356
6.6.13. perf .....	357
6.6.14. profile .....	367
6.6.15. cpudist.....	369
6.6.16. runqlat.....	370
6.6.17. runqlen.....	371
6.6.18. softirqs.....	372
6.6.19. hardirqs.....	373
6.6.20. bpftrace .....	373
6.6.21. Другие инструменты.....	376
6.7. Методы визуализации .....	379
6.7.1. Тепловая карта потребления .....	379
6.7.2. Тепловая карта с субсекундным смещением .....	380
6.7.3. Флейм-графики .....	381
6.7.4. FlameScope .....	384
6.8. Эксперименты .....	385
6.8.1. Ad hoc.....	386
6.8.2. SysBench .....	386
6.9. Настройка .....	387
6.9.1. Параметры компилятора .....	387
6.9.2. Приоритет и класс планирования .....	387
6.9.3. Параметры планировщика.....	388
6.9.4. Режимы масштабирования частоты .....	389
6.9.5. Состояния энергопотребления.....	390
6.9.6. Привязка к процессору.....	390
6.9.7. Исключительные процессорные наборы .....	390
6.9.8. Управление ресурсами.....	391
6.9.9. Параметры безопасной загрузки.....	391
6.9.10. Параметры процессора (настройка BIOS).....	392
6.10. Упражнения.....	392
6.11. Ссылки.....	393

<b>Глава 7. Память .....</b>	<b>396</b>
7.1. Терминология .....	397
7.2. Основные понятия .....	398
7.2.1. Виртуальная память .....	398
7.2.2. Подкачка страниц.....	399
7.2.3. Подкачка страниц по требованию .....	401
7.2.4. Чрезмерное выделение памяти.....	402
7.2.5. Подкачка процессов .....	403
7.2.6. Использование кэша файловой системы .....	403
7.2.7. Потребление и насыщение .....	403
7.2.8. Распределители.....	404
7.2.9. Разделяемая память.....	404
7.2.10. Размер рабочего набора .....	405
7.2.11. Размер слова .....	405
7.3. Архитектура .....	406
7.3.1. Аппаратное обеспечение.....	406
7.3.2. Программное обеспечение .....	411
7.3.3. Адресное пространство процесса.....	416
7.4. Методология .....	421
7.4.1. Метод инструментов .....	422
7.4.2. Метод USE.....	422
7.4.3. Определение характеристик потребления памяти.....	424
7.4.4. Анализ тактов .....	425
7.4.5. Мониторинг производительности.....	425
7.4.6. Выявление утечек.....	426
7.4.7. Статическая настройка производительности.....	427
7.4.8. Управление ресурсами.....	427
7.4.9. Микробенчмаркинг .....	428
7.4.10. Уменьшение потребления памяти.....	428
7.5. Инструменты наблюдения.....	428
7.5.1. vmstat .....	429
7.5.2. PSI.....	431
7.5.3. swapon.....	431
7.5.4. sar .....	431

---

7.5.5. slabtop .....	434
7.5.6. numastat .....	435
7.5.7. ps .....	436
7.5.8. top .....	437
7.5.9. pmap .....	438
7.5.10. perf .....	439
7.5.11. drsnoop .....	443
7.5.12. wss .....	443
7.5.13. bpftrace .....	444
7.5.14. Другие инструменты .....	449
7.6. Настройка .....	451
7.6.1. Настраиваемые параметры .....	452
7.6.2. Несколько размеров страниц .....	454
7.6.3. Распределители .....	455
7.6.4. Привязка NUMA .....	455
7.6.5. Управление ресурсами .....	456
7.7. Упражнения .....	456
7.8. Ссылки .....	458
<b>Глава 8. Файловые системы .....</b>	<b>460</b>
8.1. Терминология .....	461
8.2. Модели .....	462
8.2.1. Интерфейсы файловых систем .....	462
8.2.2. Кэш файловой системы .....	463
8.2.3. Кэш второго уровня .....	464
8.3. Основные понятия .....	464
8.3.1. Задержки в файловой системе .....	464
8.3.2. Кэширование .....	465
8.3.3. Произвольный и последовательный ввод/вывод .....	465
8.3.4. Предварительная выборка .....	466
8.3.5. Упреждающее чтение .....	467
8.3.6. Кэширование с отложенной записью .....	468
8.3.7. Синхронная запись .....	468
8.3.8. Прямой и низкоуровневый ввод/вывод .....	469
8.3.9. Неблокирующий ввод/вывод .....	470

8.3.10. Файлы, отображаемые в память .....	470
8.3.11. Метаданные.....	471
8.3.12. Логический и физический ввод/вывод.....	472
8.3.13. Неравноценность операций.....	474
8.3.14. Специальные файловые системы .....	475
8.3.15. Доступ к отметкам времени.....	475
8.3.16. Емкость .....	476
8.4. Архитектура .....	476
8.4.1. Стек ввода-вывода файловой системы .....	476
8.4.2. VFS .....	477
8.4.3. Кэши файловой системы .....	478
8.4.4. Особенности файловых систем .....	481
8.4.5. Типы файловых систем .....	482
8.4.6. Тома и пулы .....	490
8.5. Методология .....	491
8.5.1. Анализ дисков.....	492
8.5.2. Анализ задержек.....	492
8.5.3. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	495
8.5.4. Мониторинг производительности.....	497
8.5.5. Статическая настройка производительности.....	498
8.5.6. Настройка кэша.....	498
8.5.7. Разделение рабочей нагрузки .....	498
8.5.8. Микробенчмаркинг .....	499
8.6. Инструменты наблюдения.....	501
8.6.1. mount.....	502
8.6.2. free.....	502
8.6.3. top.....	503
8.6.4. vmstat .....	503
8.6.5. sar .....	503
8.6.6. slabtop .....	504
8.6.7. strace.....	505
8.6.8. fatrace .....	505
8.6.9. LatencyTOP .....	506
8.6.10. opensnoop .....	507
8.6.11. filetop .....	508

---

8.6.12. cachestat .....	509
8.6.13. ext4dist (xfs, zfs, btrfs, nfs).....	510
8.6.14. ext4slower (xfs, zfs, btrfs, nfs).....	511
8.6.15. bpftrace .....	512
8.6.17. Другие инструменты.....	519
8.6.18. Визуализация .....	520
8.7. Эксперименты .....	521
8.7.1. Ad hoc.....	522
8.7.2. Инструменты микробенчмаркинга .....	522
8.7.3. Очистка кэша .....	524
8.8. Настройка .....	525
8.8.1. Функции.....	525
8.8.2. ext4.....	526
8.8.3. ZFS.....	529
8.9. Упражнения.....	530
8.10. Ссылки.....	532
<b>Глава 9. Диски.....</b>	<b>533</b>
9.1. Терминология .....	534
9.2. Модели .....	535
9.2.1. Простой диск.....	535
9.2.2. Кэширующие диски.....	536
9.2.3. Контроллер.....	536
9.3. Основные понятия .....	537
9.3.1. Измерение времени .....	537
9.3.2. Масштаб времени .....	540
9.3.3. Кэширование.....	541
9.3.4. Произвольный и последовательный ввод/вывод .....	542
9.3.5. Соотношение операций чтения и записи.....	543
9.3.6. Размер ввода/вывода .....	543
9.3.7. Несопоставимость количества операций в секунду.....	544
9.3.8. Дисковые команды, не связанные с передачей данных .....	544
9.3.9. Потребление.....	545
9.3.10. Насыщенность.....	546
9.3.11. Ожидание ввода/вывода .....	546

9.3.12. Синхронный и асинхронный ввод/вывод.....	547
9.3.13. Дисковый ввод/вывод и ввод/вывод в приложении.....	548
9.4. Архитектура .....	548
9.4.1. Типы дисков .....	548
9.4.2. Интерфейсы .....	557
9.4.3. Типы хранилищ.....	559
9.4.4. Стек дискового ввода/вывода в операционной системе .....	563
9.5. Методология .....	567
9.5.1. Метод инструментов .....	568
9.5.2. Метод USE.....	568
9.5.3. Мониторинг производительности.....	570
9.5.4. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	571
9.5.5. Анализ задержек .....	573
9.5.6. Статическая настройка производительности.....	574
9.5.7. Настройка кэширования.....	575
9.5.8. Управление ресурсами.....	576
9.5.9. Микробенчмаркинг .....	576
9.5.10. Масштабирование.....	577
9.6. Инструменты наблюдения .....	578
9.6.1. iostat .....	579
9.6.2. sar .....	584
9.6.3. PSI.....	585
9.6.4. pidstat.....	586
9.6.5. perf.....	587
9.6.6. biolateney .....	590
9.6.7. biosnoop.....	592
9.6.8. iotop, biotop.....	594
9.6.9. biostacks .....	596
9.6.10. blktrace .....	597
9.6.11. bpftrace .....	601
9.6.12. MegaCli .....	605
9.6.13. smartctl.....	606
9.6.14. Журналирование SCSI.....	607
9.6.15. Другие инструменты.....	608

---

9.7. Визуализация.....	609
9.7.1. Линейные диаграммы .....	609
9.7.2. Диаграммы рассеяния задержек .....	609
9.7.3. Тепловые карты задержек.....	610
9.7.4. Тепловые карты смещений.....	611
9.7.5. Тепловые карты потребления .....	612
9.8. Эксперименты .....	612
9.8.1. Ad hoc.....	613
9.8.2. Пользовательские генераторы нагрузки.....	613
9.8.3. Инструменты микробенчмаркинга .....	614
9.8.4. Пример произвольного чтения.....	614
9.8.5. ioping.....	615
9.8.6. fio.....	615
9.8.7. blkreplay .....	615
9.9. Настройка .....	616
9.9.1. Параметры операционной системы .....	616
9.9.2. Настраиваемые параметры дисковых устройств .....	617
9.9.3. Настраиваемые параметры контроллера диска.....	618
9.10. Упражнения.....	618
9.11. Ссылки.....	619
<b>Глава 10. Сеть.....</b>	<b>622</b>
10.1. Терминология.....	623
10.2. Модели.....	624
10.2.1. Сетевой интерфейс.....	624
10.2.2. Контроллер.....	624
10.2.3. Стек протоколов.....	625
10.3. Основные понятия.....	626
10.3.1. Сети и маршрутизация.....	626
10.3.2. Протоколы.....	627
10.3.3. Инкапсуляция.....	628
10.3.4. Размер пакета .....	628
10.3.5. Задержка .....	629
10.3.6. Буферизация.....	631
10.3.7. Очередь запросов на подключение .....	632

10.3.8. Согласование интерфейса.....	632
10.3.9. Предотвращение перегрузки.....	633
10.3.10. Потребление .....	633
10.3.11. Локальные подключения .....	634
10.4. Архитектура .....	635
10.4.1. Протоколы.....	635
10.4.2. Оборудование.....	643
10.4.3. Программное обеспечение.....	646
10.5. Методология .....	655
10.5.1. Метод инструментов.....	655
10.5.2. Метод USE .....	656
10.5.3. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	657
10.5.4. Анализ задержек.....	659
10.5.5. Мониторинг производительности .....	660
10.5.6. Перехват пакетов.....	661
10.5.7. Анализ TCP.....	662
10.5.8. Статическая настройка производительности .....	663
10.5.9. Управление ресурсами .....	664
10.5.10. Микробенчмаркинг.....	665
10.6. Инструменты наблюдения.....	665
10.6.1. ss .....	666
10.6.2. ip .....	668
10.6.3. ifconfig .....	670
10.6.4. nstat .....	670
10.6.5. netstat .....	671
10.6.6. sar .....	675
10.6.7. nicstat.....	678
10.6.8. ethtool.....	679
10.6.9. tcplife.....	680
10.6.10. tcptop.....	681
10.6.11. tcpretrans.....	682
10.6.12. bpftrace.....	683
10.6.13. tcpdump .....	691
10.6.14. Wireshark.....	693
10.6.15. Другие инструменты.....	694



---

10.7. Эксперименты .....	695
10.7.1. ping .....	695
10.7.2. traceroute .....	696
10.7.3. pathchar .....	697
10.7.4. iperf .....	698
10.7.5. netperf .....	699
10.7.6. tc .....	699
10.7.7. Другие инструменты .....	700
10.8. Настройка .....	701
10.8.1. Общесистемные .....	701
10.8.2. Параметры сокетов .....	707
10.8.3. Конфигурация .....	708
10.9. Упражнения .....	708
10.10. Ссылки .....	709
<b>Глава 11. Облачные вычисления .....</b>	<b>714</b>
11.1. Основы .....	715
11.1.1. Типы экземпляров .....	716
11.1.2. Масштабируемая архитектура .....	717
11.1.3. Планирование мощности .....	718
11.1.4. Хранилище .....	721
11.1.5. Мультиарендность .....	722
11.1.6. Оркестровка (Kubernetes) .....	723
11.2. Виртуализация оборудования .....	724
11.2.1. Реализация .....	726
11.2.2. Оверхед .....	727
11.2.3. Управление ресурсами .....	734
11.2.4. Наблюдаемость .....	738
11.3. Виртуализация операционной системы .....	746
11.3.1. Реализация .....	748
11.3.2. Оверхед .....	751
11.3.3. Управление ресурсами .....	755
11.3.4. Наблюдаемость .....	760
11.4. Легковесная виртуализация .....	775
11.4.1. Реализация .....	776

11.4.2. Оверхед.....	777
11.4.3. Управление ресурсами .....	777
11.4.4. Наблюдаемость .....	777
11.5. Другие типы виртуализации.....	779
11.6. Сравнение .....	780
11.7. Упражнения.....	782
11.8. Ссылки.....	783
<b>Глава 12. Бенчмаркинг .....</b>	<b>786</b>
12.1. Основы.....	787
12.1.1. Причины.....	787
12.1.2. Эффективный бенчмаркинг.....	788
12.1.3. Проблемы бенчмаркинга.....	790
12.2. Типы бенчмаркинга.....	798
12.2.1. Микробенчмаркинг .....	799
12.2.2. Моделирование.....	801
12.2.3. Воспроизведение.....	802
12.2.4. Отраслевые стандарты .....	803
12.3. Методология.....	805
12.3.1. Пассивный бенчмаркинг .....	805
12.3.2. Активный бенчмаркинг .....	806
12.3.3. Профилирование процессора .....	809
12.3.4. Метод USE .....	811
12.3.5. Определение характеристик рабочей нагрузки.....	811
12.3.6. Собственный бенчмаркинг .....	811
12.3.7. Пиковая нагрузка.....	812
12.3.8. Проверка правильности.....	814
12.3.9. Статистический анализ.....	815
12.3.10. Чек-лист бенчмаркинга .....	816
12.4. Вопросы о бенчмаркинге.....	817
12.5. Упражнения.....	819
12.6. Ссылки.....	819
<b>Глава 13. perf.....</b>	<b>821</b>
13.1. Обзор подкоманд.....	822
13.2. Однострочные сценарии.....	824

---

13.3. События perf .....	830
13.4. Аппаратные события.....	832
13.4.1. Дискретная выборка .....	833
13.5. Программные события .....	834
13.6. События точек трассировки.....	835
13.7. События зондов .....	836
13.7.1. kprobes.....	836
13.7.2. uprobes.....	838
13.7.3. USDT.....	840
13.8. perf stat .....	842
13.8.1. Параметры .....	843
13.8.2. Интервальные статистики .....	844
13.8.3. Баланс между процессорами .....	844
13.8.4. Фильтрация событий.....	844
13.8.5. Теневые статистики.....	845
13.9. perf record .....	845
13.9.1. Параметры .....	846
13.9.2. Профилирование процессора .....	846
13.9.3. Обход стека .....	847
13.10. perf report .....	848
13.10.1. TUI.....	848
13.10.2. STDIO.....	849
13.11. perf script .....	850
13.11.1. Флейм-графики.....	852
13.11.2. Сценарии обработки трассировок .....	852
13.12. perf trace .....	852
13.12.1. Версии ядра.....	853
13.13. Другие команды .....	854
13.14. Документация perf.....	855
13.15. Ссылки.....	855
<b>Глава 14. Ftrace .....</b>	<b>857</b>
14.1. Обзор возможностей.....	858
14.2. tracefs (/sys) .....	861
14.2.1. Содержимое tracefs.....	861

14.3. Профилировщик функций .....	863
14.4. Трассировщик function.....	865
14.4.1. Использование файла trace .....	866
14.4.2. Использование файла trace_pipe.....	867
14.4.3. Параметры .....	868
14.5. Точки трассировки.....	869
14.5.1. Фильтрация.....	870
14.5.2. Триггеры .....	871
14.6. Зонды kprobes.....	871
14.6.1. Трассировка событий .....	871
14.6.2. Аргументы .....	872
14.6.3. Возвращаемые значения.....	873
14.6.4. Фильтры и триггеры .....	874
14.6.5. Профилировщик kprobe .....	874
14.7. Зонды uprobes.....	875
14.7.1. Трассировка событий.....	875
14.7.2. Аргументы и возвращаемые значения.....	876
14.7.3. Фильтры и триггеры .....	876
14.7.4. Профилировщик uprobe .....	876
14.8. Трассировщик function_graph .....	876
14.8.1. Трассировка графа .....	877
14.8.2. Параметры .....	878
14.9. Трассировщик hwlat .....	878
14.10. Триггеры hist.....	879
14.10.1. Гистограмма с единственным ключом.....	880
14.10.2. Поля.....	881
14.10.3. Модификаторы .....	881
14.10.4. Фильтры PID .....	882
14.10.5. Гистограмма с несколькими ключами .....	882
14.10.6. Трассировки стека в роли ключей.....	883
14.10.7. Синтетические события .....	884
14.11. trace-cmd .....	887
14.11.1. Обзор подкоманд .....	887
14.11.2. Однострочные сценарии для trace-cmd .....	889

---

14.11.3. Сравнение trace-cmd и perf(1).....	891
14.11.4. trace-cmd function_graph.....	892
14.11.5. KernelShark.....	892
14.11.6. Документация для trace-cmd.....	894
14.12. perf ftrace.....	894
14.13. perf-tools.....	895
14.13.1. Покрытие инструментами.....	895
14.13.2. Специализированные инструменты.....	896
14.13.3. Многоцелевые инструменты.....	898
14.13.4. Однострочные сценарии для perf-tools.....	898
14.13.5. Пример.....	901
14.13.6. Сравнение perf-tools и BCC/BPF.....	901
14.13.7. Документация.....	902
14.14. Документация для Ftrace.....	902
14.15. Ссылки.....	903
<b>Глава 15. BPF.....</b>	<b>904</b>
15.1. BCC.....	907
15.1.1. Установка.....	908
15.1.2. Покрытие инструментами.....	908
15.1.3. Специализированные инструменты.....	909
15.1.4. Многоцелевые инструменты.....	911
15.1.5. Однострочные сценарии.....	911
15.1.6. Пример многоцелевого инструмента.....	913
15.1.7. Сравнение BCC и bpftrace.....	914
15.1.8. Документация.....	914
15.2. bpftrace.....	915
15.2.1. Установка.....	917
15.2.2. Инструменты.....	917
15.2.3. Однострочные сценарии.....	918
15.2.4. Программирование.....	920
15.2.5. Справочник.....	929
15.2.6. Документация.....	937
15.3. Ссылки.....	937

<b>Глава 16. Пример из практики .....</b>	<b>939</b>
16.1. Необъяснимый выигрыш .....	939
16.1.1. Постановка задачи .....	939
16.1.2. Стратегия анализа.....	940
16.1.3. Статистики .....	941
16.1.4. Конфигурация.....	943
16.1.5. Счетчики РМС.....	944
16.1.6. Программные события .....	945
16.1.7. Трассировка.....	946
16.1.8. Заключение .....	948
16.2. Дополнительная информация .....	949
16.3. Ссылки .....	949
<b>Приложение А. Метод USE: Linux .....</b>	<b>950</b>
<b>Приложение В. Краткий справочник по sar .....</b>	<b>957</b>
<b>Приложение С. Однострочные сценарии для bpftrace .....</b>	<b>959</b>
<b>Приложение Д. Решения некоторых упражнений .....</b>	<b>966</b>
<b>Приложение Е. Производительность систем, кто есть кто .....</b>	<b>969</b>
<b>Глоссарий .....</b>	<b>974</b>