

Артем Нечипорук, Алексей Баринов

Сетевое программирование от основ до приложений



Санкт-Петербург • Москва • Минск

2025

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Создатели книги.....	20
Предисловие.....	25
Глава 1. Сетевое взаимодействие, сокет, порядок байтов	29
Глава 2. Адресация.....	67
Глава 3. Схема работы сети в ОС и в разных языках. UNIX и дейтаграммные сокеты.....	117
Глава 4. Простой обмен данными. Raw-сокеты.....	156
Глава 5. Соединение. Поточковый обмен данными. Серверный API	196
Глава 6. Внеполосные данные. Пространства имен.....	236
Глава 7. Сокет в ядре Linux.....	258
Глава 8. Управление сокетами.....	287
Глава 9. Вспомогательные данные.....	327
Глава 10. Управление сетевыми интерфейсами.....	353
Глава 11. Сокеты Netlink	407
Глава 12. Библиотеки Netlink.....	438
Глава 13. Специальные файловые системы.....	475
Глава 14. Введение в сетевое программирование для ОС Windows	504
Глава 15. Адресация в ОС Windows.....	541
Глава 16. Сокетный API в ОС Windows.....	584
Глава 17. Альтернативы сокетам в ОС Windows.....	628
Глава 18. Управление сетью в ОС Windows	652
Глава 19. IP Helper API.....	716
Глава 20. WinInet, WinHTTP, MFC, WFP, WSL.....	758

Глава 21. Проксирование, инкапсуляция.....	782
Глава 22. Перехват и захват трафика.....	831
Глава 23. TUN/TAP-интерфейсы. Техника Kernel bypass.....	884
Глава 24. Проблемы сетевых приложений, диагностика и отладка.....	924
Глава 25. Поиск ошибок и обнаружение места сбоя	962
Глоссарий.....	1003
Список использованных источников.....	1018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Создатели книги	20
Авторы	20
Эксперты	21
Консультанты	22
Ревьюеры	23
Иллюстратор	24
Прочие участники	24
Предисловие	25
Условные обозначения	27
От издательства	27
Глава 1. Сетевое взаимодействие, сокеты, порядок байтов	29
Введение	29
Модели сетевого взаимодействия	30
Обмен данными по сети	33
Адресация в протоколах	35
Задачи, которые решает книга	36
Ресурсы, необходимые для работы	38
RFC — Request For Comments	38
Стандарты	39
Команды ОС	39
Документация для Microsoft Windows	42
Документация по языкам программирования	42
Сайт StackOverflow	43
Прочие ресурсы	43
Примитивы, используемые для сетевого взаимодействия	44
Клиент и сервер	44
Сокеты Беркли, POSIX API	45
Сетевой порядок байтов и преобразование порядков	56
Обертка C++ для сокетов	61
Резюме	64
Вопросы и задания	65

Глава 2. Адресация	67
Введение.....	67
Адреса и доменные имена.....	67
Структуры адресов.....	68
IPv6.....	71
Общая структура адресов	73
Привязка адреса к сокету.....	74
Функция bind().....	74
Конвертация адреса в читаемую форму и обратно.....	76
Модуль ipaddress в Python	78
Доменные имена.....	81
Функции для работы с DNS	83
Получение списка адресов с помощью getaddrinfo().....	85
Преобразование адресов в имена	91
Прочие функции	92
Тонкая работа с DNS	94
Инициализация.....	95
Сжатие и раскрытие имен	100
Пример разрешения имени	104
Переход на IPv6.....	111
Совместное использование IPv6 и IPv4.....	112
Резюме	114
Вопросы и задания	115
 Глава 3. Схема работы сети в ОС и в разных языках.	
UNIX и дейтаграммные сокеты	117
Введение.....	117
Схема работы сети в ОС.....	118
Пример сетевой подсистемы: Windows	120
Пример сетевой подсистемы: QNX	123
Пример сетевой подсистемы: Linux	126
Сходства и различия сетевого API на разных платформах	128
Разница между BSD- и POSIX-сокетами	128
Отличия в разных ОС.....	129
Сокетный API в разных языках.....	130
Общий процесс работы с сокетами.....	133
Клиент	134
Сервер.....	135
Сокеты домена Unix.....	137

Дейтаграммные сокеты INET-доменов	146
UDP	147
Резюме	153
Вопросы и задания	154
Глава 4. Простой обмен данными. Raw-сокеты.....	156
Введение.....	156
Связь без установки соединения.....	156
Функции sendto() и recvfrom().....	157
Работа по UDP	160
Эхо-сервер поверх UDP.....	160
Raw-сокеты	164
Создание	165
Прием данных.....	166
Отправка данных.....	166
ICMP	166
Утилита ping.....	167
Резюме	194
Вопросы и задания	194
Глава 5. Соединение. Поточковый обмен данными. Серверный API	196
Введение.....	196
Сокеты, ориентированные на соединение	196
Сокеты, ориентированные на потоковый обмен.....	197
Различия транспортных протоколов.....	198
API сокетов, ориентированных на соединение	200
Установка соединения.....	200
Получение информации о точках подключения	212
Обмен данными.....	216
Завершение соединения.....	221
Реализация TCP-клиента по типу приложения Telnet	225
Резюме	233
Вопросы и задания	234
Глава 6. Внеполосные данные. Пространства имен.....	236
Введение.....	236
Внеполосные данные.....	236
Отправка внеполосных данных.....	238
Прием внеполосных данных.....	239
Сетевые пространства имен	249
API пространств имен.....	251

Резюме	256
Вопросы и задания	257
Глава 7. Сокет в ядре Linux	258
Введение.....	258
Общие структуры для сокетов.....	258
Структура socket.....	259
Структура sock.....	260
Структура sock_common.....	266
Структура proto.....	268
Структура net_proto_family.....	269
INET-сокет	270
Структуры транспортных протоколов.....	272
Работа стека.....	275
Инициализация.....	275
Создание сокета	281
Прием и передача данных.....	282
Устройства	283
Резюме	284
Вопросы и задания	286
Глава 8. Управление сокетами	287
Введение.....	287
Функции setsockopt() и getsockopt().....	287
Опции сокета.....	289
Уровень сокетов	290
Уровень IP	299
Уровень IPv6.....	304
Уровень UDP	307
Уровень UDPLite	308
Уровень TCP.....	309
Опции raw-сокетов.....	318
Опции сокетов PF_PACKET	318
Опции сокетов Unix-domain	320
Опции сокетов Netlink.....	321
Прочие уровни.....	321
Функция fcntl().....	322
Резюме	324
Вопросы и задания	325

Глава 9. Вспомогательные данные	327
Введение.....	327
Функции <code>sendmsg()</code> и <code>recvmsg()</code>	327
Обмен вспомогательными данными	333
Прием вспомогательных данных	336
Создание и отправка вспомогательных данных	340
Вспомогательные данные Internet-сокеты	341
Вспомогательные данные Unix-сокеты	343
Отправка и получение файловых дескрипторов	343
Резюме	351
Вопросы и задания	351
Глава 10. Управление сетевыми интерфейсами	353
Введение.....	353
Функция <code>ioctl()</code>	354
Вызовы к сетевым интерфейсам и модулям протоколов	359
Стандартные вызовы.....	360
Получение номера интерфейса и перечисление интерфейсов	361
Флаги интерфейса.....	374
Адреса интерфейса.....	381
Метрики и другие параметры интерфейса	385
Интерфейс <code>SIOCETHTOOL</code>	385
Интерфейс MII.....	392
ARP	396
Маршруты	398
Вызовы для сокета.....	401
Вызовы для TCP	402
Вызовы для UDP	403
Вызовы для Unix-сокеты.....	404
Прочие вызовы	404
Резюме	404
Вопросы и задания	405
Глава 11. Сокеты Netlink.....	407
Введение.....	407
Создание сокетов Netlink и их типы	408
Формат адресов	410
Формат сообщений	412
Сообщения RTNetlink.....	415

Макросы для работы с Netlink и RTNetlink	417
Сокеты Netlink типа SOCK_DIAG	420
Запрос	421
Ответ	425
Получение списка Internet-сокеты	426
Аналоги сокетов Netlink	434
Резюме	436
Вопросы и задания	437
Глава 12. Библиотеки Netlink	438
Введение.....	438
Пакет Libnl	438
Создание, настройка и освобождение сокета.....	439
Отправка и получение сообщений	440
Конструирование и разбор сообщений.....	442
Прочие возможности libnl-core	446
libnl-route.....	447
libnl-iddiag.....	448
libnl-genl	448
libnl-nf	449
Пример работы с libnl	449
Библиотека Libmnl	451
Библиотека Libnetlink	459
Пакет Pyroute2.....	462
Пакет Python-netlink.....	471
Резюме	473
Вопросы и задания	474
Глава 13. Специальные файловые системы	475
Введение.....	475
DevFS.....	476
FDescFS.....	482
ProcFS.....	482
Чтение настроек сети через ProcFS	483
Настройка параметров сети через ProcFS	485
SysFS	489
/sys/bus	490
/sys/devices	491
/sys/firmware.....	492
/sys/fs	492

/sys/module	492
/sys/kernel	493
/sys/power	493
DebugFS	493
TraceFS	495
BPFFS	495
ConfigFS	496
SockFS	497
Каталоги /run и /tmp	499
Функции sysctl() и sysconf()	500
Резюме	502
Вопросы и задания	503
Глава 14. Введение в сетевое программирование для ОС Windows	504
Введение	504
Состав сетевого API Windows	505
Раздел Networking and Internet	505
Функции других разделов	510
Модули Python	511
NetBIOS — предшественник сокетов	513
Пример API NetBIOS	516
Введение в WinSock	518
История сокетов в Windows	518
Инициализация WinSock	519
Основные заголовочные файлы и DLL для Windows	523
ANSI- и UNICODE-версии функций	524
Подключение библиотек	527
Расширения WinSock	528
Нерекомендованные функции	529
Макросы, предоставляемые WinAPI, и практики написания кода в ОС Windows	530
Типы	533
Порядок байтов	536
Резюме	538
Вопросы и задания	539
Глава 15. Адресация в ОС Windows	541
Введение	541
Структуры адресов IPv4 и IPv6	541
Формирование и конвертация адресов	543

Некоторые функции для работы с адресами	544
POSIX-совместимые функции	545
Функции <code>WSAStringToAddress()</code> и <code>WSAAddressToString()</code>	547
Функции RTL	548
Конвертация между длиной префикса адреса и маской подсети	551
Разбор строки адреса	552
Преобразование IDN	553
Функции для работы с DNS	555
База узлов и работа с ней	555
Получение списка адресов с помощью <code>getaddrinfo()</code>	556
Получение сообщений об ошибках	559
Регистрация и удаление имен	559
Преобразование адресов в имена	560
База служб	561
Тонкая работа с DNS	570
Прочие функции	580
Резюме	582
Вопросы и задания	583
Глава 16. Сокетный API в ОС Windows	584
Введение	584
Основы WinSock API	584
Создание сокета	585
Привязка адреса	588
Unix-сокеты	588
Raw-сокеты	589
Модели ввода-вывода в WinSock	590
Связь без установки соединения	591
Связь, ориентированная на соединение	593
Внеполосные данные	603
Различия между WinSock- и POSIX-сокетами	604
Провайдеры адресов и протоколов WinSock	606
Провайдеры транспорта	607
Провайдеры имен	619
Резюме	626
Вопросы и задания	627
Глава 17. Альтернативы сокетам в ОС Windows	628
Введение	628
Почтовые ящики или Mailslots	629

Именованное	630
API почтовых ящиков	631
Пример работы с ящиками	632
Именованные каналы	634
Именованное	636
API именованных каналов	636
Пример работы с именованными каналами на C++	643
Пример работы с именованными каналами на Python	648
Резюме	650
Вопросы и задания	651
Глава 18. Управление сетью в ОС Windows	652
Введение	652
Функции-обертки над опциями	653
Получение и установка MTU	654
Проверка на исполнение блокирующего вызова	654
Управление сокетами	654
Функции <code>setsockopt()</code> и <code>getsockopt()</code>	655
Вспомогательные данные	666
Функции сокетного <code>ioctl</code>	670
Состав сокетного <code>ioctl</code>	672
Unix <code>ioctl</code>	672
Управление дескриптором	672
Управление уведомлениями	673
Управление сетевыми интерфейсами	673
Операции ввода-вывода	675
Управление буферами	675
Привязка обработки к процессорному ядру	676
Временные метки	677
Резервирование портов	678
Работа с IP-адресами	679
Настройки UDP	680
Настройки TCP	680
Широковещательный трафик	681
Многоадресная рассылка	682
Управление фильтром адресов многоадресной рассылки	683
QoS	685
<code>ioctl</code> для WFP	685
<code>ioctl</code> для повышения безопасности	686

Прочие вызовы	689
Управление дескриптором	692
Управление сетевыми устройствами	695
Управление сетевыми адаптерами	697
Управление сетевыми интерфейсами	703
Резюме	713
Вопросы и задания	714
Глава 19. IP Helper API	716
Введение.....	716
Получение информации о конфигурации сети.....	716
Управление IP-адресами.....	720
Получение данных об IP-адресах интерфейса	720
Работа с DHCP	724
Установка некоторых параметров IP	725
Получение информации об IP и ICMP.....	726
Работа с ICMP	727
Использование ARP	740
Управление маршрутизацией	742
Получение уведомлений о сетевых событиях	743
Получение информации о транспортных протоколах.....	747
TCP.....	747
UDP.....	754
Резюме	756
Вопросы и задания	757
Глава 20. WinInet, WinHTTP, MFC, WFP, WSL.....	758
Введение.....	758
API высокого уровня: Windows Internet и Windows HTTP.....	758
Сокеты в MFC.....	765
WFP: платформа фильтрации Windows	768
Подсистема фильтрации.....	769
Драйверы Callout.....	770
Shims — оболочки совместимости	770
Базовый модуль фильтрации	771
Работа с WFP.....	771
Немного о WSL	776
Резюме	779
Вопросы и задания	780

Глава 21. Проксирование, инкапсуляция	782
Введение.....	782
Проксирование	784
Режимы проксирования.....	788
Реализации прокси	789
Обратный прокси	791
Прокси-протокол	792
Прозрачное проксирование в Linux.....	793
Примеры HTTP Proxy	795
Отличие проксирования от VPN	827
Резюме	828
Вопросы и задания	829
Глава 22. Перехват и захват трафика.....	831
Введение.....	831
Перехват трафика	831
Неразборчивый режим	832
Реализация простого sniffера	839
Сниффер на Python	845
Решения для захвата трафика	860
Примеры sniffеров.....	860
Формат PCAP и поддерживающие его библиотеки	866
Резюме	881
Вопросы и задания	882
Глава 23. TUN/TAP-интерфейсы. Техника Kernel bypass.....	884
Введение.....	884
TUN/TAP	885
Различие между TUN и TAP	887
Создание устройства	887
Общие вызовы и опции	888
Форматы данных и опции TUN	890
Форматы данных и опции TAP	890
Пример использования.....	891
TUN/TAP-адаптеры в других ОС	898
Пример использования TUN/TAP на Python.....	899
Zero-copy	902
Kernel bypass.....	904
In-Kernel FastPath	904

Фреймворки, реализующие kernel bypass.....	907
Модель WSD.....	916
Программно-аппаратные решения.....	918
Язык P4.....	919
Резюме.....	920
Вопросы и задания.....	922
Глава 24. Проблемы сетевых приложений, диагностика и отладка.....	924
Введение.....	924
Заблуждения относительно распределенных систем.....	925
Точки возникновения проблем.....	927
Поиск точки возникновения проблем.....	928
Некоторые системные утилиты.....	929
Снифферы.....	939
Прочие инструменты.....	939
Трассировка.....	940
Утилиты strace, ltrace и им подобные.....	940
Проект BCC.....	941
Утилита tcptrace.....	943
Утилита iptables-tracer.....	943
Утилита nsnttrace.....	944
Трассировка WinSock.....	944
Диагностика сбоев вне приложения.....	947
Минимальный перехватчик вызовов.....	947
Scapy.....	957
Резюме.....	959
Вопросы и задания.....	960
Глава 25. Поиск ошибок и обнаружение места сбоя.....	962
Введение.....	962
Некорректный клиент.....	963
Как определить местонахождение проблемы.....	965
Проверка данных.....	965
Отладка.....	966
Динамический анализ.....	967
Подмена функций и библиотек.....	968
Ужесточение проверок.....	969
Статический анализ.....	970
Улучшение журналирования.....	971

О поиске ошибок	974
Некоторые распространенные ошибки.....	975
Обработка ошибок при вызове сетевых функций.....	976
Работа с ошибками в С и в POSIX API	976
Работа с ошибками функции getaddrinfo()	983
Работа с ошибками в C++.....	983
Обработка сетевых ошибок в Python	985
Прочие языки.....	986
Особенности сетевых приложений	987
Сигналы	988
Проблемы с дескрипторами.....	995
Повышение стабильности работы	997
Heartbeat.....	998
Литература по отладке.....	999
Резюме	1000
Вопросы и задания	1001
Глоссарий.....	1003
Список использованных источников	1018