

УДК 004.7
ББК 32.973.202
С50

Р е ц е н з е н т ы:

генеральный директор АО «РтСофт», д-р техн. наук *О.В. Синенко*;
директор фирмы «ІС», канд. экон. наук *Б.Г. Нуралиев*

Смирнова, Е.В.

С50 Технологии TCP/IP в современных компьютерных сетях : учебное пособие / Е. В. Смирнова, А. В. Пролетарский, Е. А. Ромашкина. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 638, [2] с. : ил. — (Компьютерные системы и сети).

ISBN 978-5-7038-5166-1

Книга посвящена изучению стека протоколов TCP/IP — технологической основе сети Интернет. Описывается стек протоколов TCP/IP. Рассматривается протокол PPP и его основные компоненты, протоколы аутентификации, сжатия и шифрования данных PPP, протоколы туннелирования PPP, включая PPPoE, PPPoA, PPTP и L2TP, типы подключения к провайдерам.

Изучается протокол IP версии 4 и версии 6, технология NAT, архитектура безопасности IP. Рассматривается протокол разрешения адресов ARP, методы Gratuitous ARP и Proxy ARP. Описан протокол ICMP версии 4 и версии 6. Рассматривается разрешение адресов IPv6, определение недоступности соседа, дублирования адресов, обнаружение маршрутизатора с помощью протокола NDP.

Отдельная глава посвящена технологиям маршрутизации. Изучается архитектура протоколов маршрутизации, алгоритмы маршрутизации, подробно описан протокол OSPF, включая версию 3. Рассматриваются основополагающие протоколы транспортного уровня TCP и UDP. Приведено описание протоколов уровня приложений Telnet, SSH, SSL/TLS, DHCP, DHCPv6. Изложена методика поиска неисправностей в сетях TCP/IP.

Предлагаемые практические работы охватывают все рассмотренные темы. Издание содержит обширный глоссарий. Учебное пособие является результатом многолетнего сотрудничества МГТУ им. Н.Э. Баумана и компании D-Link по подготовке кадров для сферы информационно-коммуникационных технологий.

УДК 004.7
ББК 32.973.202

ISBN 978-5-7038-5166-1

© Смирнова Е.В., Пролетарский А.В.,
Ромашкина Е.А., 2019
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Оглавление

Предисловие	10
1. Обзор TCP/IP	12
1.1. История TCP/IP	12
1.2. Стек протоколов TCP/IP	13
2. Протокол PPP	15
2.1. Общий формат кадра PPP	16
2.2. Функционирование канала PPP	17
2.3. Link Control Protocol (LCP)	19
2.4. Network Control Protocol (NCP)	23
2.5. Протоколы аутентификации PPP	25
2.5.1. Протокол Password Authentication Protocol (PAP)	26
2.5.2. Протокол Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP)	28
2.5.3. Протокол Microsoft Challenge Handshake Authentication Protocol (MS-CHAP)	31
2.6. Сжатие данных в PPP	34
2.7. Протоколы шифрования данных PPP	35
2.8. Протоколы туннелирования PPP	39
2.9. Передача PPP через Ethernet	40
2.10. Передача PPP через ATM	50
2.10.1. Обзор технологии ADSL	51
2.10.2. Обзор технологии ATM	58
2.11. Протокол PPTP	64
2.12. Протокол L2TP	69
2.13. Типы подключения к провайдерам	80
3. Протокол IP	85
3.1. Протокол IP версии 4	86
3.1.1. Поле Type of Service	88
3.1.2. Фрагментация пакетов IPv4	90
3.1.3. Понятие IP-адресации	93
3.1.4. Представление и структура адреса IPv4	94
3.1.5. Классовая адресация IPv4	96
3.1.6. Частные и публичные адреса IPv4	98
3.1.7. Формирование подсетей	99
3.1.8. Маски подсети переменной длины (VLSM)	103
3.1.9. Бесклассовая адресация IPv4	105
3.1.10. Технология NAT	110
3.1.11. Многоадресная передача пакетов IPv4	114
3.2. Протокол IP версии 6	117
3.2.1. Формат заголовка IPv6	119
3.2.2. Размер пакета IPv6	122
3.2.3. Представление и структура адреса IPv6	123
3.2.4. Типы адресов IPv6	125
3.2.5. Индивидуальные адреса	126
3.2.6. Альтернативные адреса	132
3.2.7. Групповые адреса	133

Оглавление

3.2.8. Способы конфигурации адреса IPv6	135
3.2.9. Планирование подсетей IPv6	139
3.3. Обзор архитектуры безопасности для протокола IP	141
3.3.1. Компоненты IPSec	144
3.3.2. Протокол Encapsulating Security Payload (ESP)	154
3.3.3. Протокол Internet Key Exchange (IKE)	160
3.3.4. Использование NAT в протоколе IPSec	169
3.3.5. Определение жизнеспособности IPSec-соединения	174
4. Протоколы разрешения адресов	177
4.1. Протокол ARP	178
4.2. Gratuitous ARP	182
4.3. Proxy ARP	184
4.4. Разрешение адресов для IPv6	184
5. Протокол ICMP	186
5.1. Классы, типы и коды сообщений ICMP	188
5.2. Правила генерации сообщений ICMP	190
5.3. Утилита ping	191
6. Протокол NDP	194
6.1. Разрешение адресов IPv6 и определение недоступности соседа	195
6.2. Определение дублирования адресов	198
6.3. Обнаружение маршрутизатора	199
7. Понятие маршрутизации	200
7.1. IP-интерфейсы маршрутизирующих коммутаторов	206
7.2. Архитектура протоколов маршрутизации	209
7.3. Алгоритмы маршрутизации	211
7.4. Дистанционно-векторные протоколы маршрутизации	215
7.4.1. Протокол RIP	216
7.4.2. Проблемы при функционировании дистанционно-векторного алгоритма маршрутизации	222
7.4.3. Протокол RIPv2	226
7.4.4. Протокол RIPv2	228
7.5. Протокол OSPF	229
7.5.1. Обзор протокола	230
7.5.2. Типы пакетов протокола OSPF	236
7.5.3. Состояния соседства	240
7.5.4. Установление соседства	241
7.5.5. Вычисление маршрутов	251
7.5.6. Обновление маршрутной информации внутри области	253
7.6. Протокол OSPF версии 3	255
7.6.1. Пакеты OSPFv3	257
7.6.2. Обзор LSA OSPFv3	258
8. Протоколы транспортного уровня	261
8.1. Адресация протоколов TCP и UDP	261
8.2. Протокол UDP	266
8.3. Протокол TCP	267
8.3.1. Сегмент TCP	268
8.3.2. Модель управления TCP-соединением	270

8.3.3. Установка соединения TCP	273
8.3.4. TCP Fast Open	277
8.3.5. Подтверждения и повторная передача	282
8.3.6. Завершение соединения TCP	283
8.3.7. Механизм скользящего окна	284
8.3.8. Контроль и предотвращение перегрузки в TCP	287
8.3.9. Явное уведомление о перегрузке (ECN)	293
8.3.10. Функция Virtual Server	296
9. Протоколы уровня приложений	299
9.1. Протокол Telnet	299
9.2. Протокол SSH	301
9.2.1. Транспортный протокол SSH	302
9.2.2. Протокол аутентификации пользователей SSH	309
9.2.3. Протокол соединений SSH	310
9.3. Протоколы SSL/TLS	313
9.3.1. Архитектура SSL/TLS	315
9.3.2. Основные отличия TLS 1.2 от TLS 1.3	316
9.3.3. Протокол Change Cipher Spec	317
9.3.4. Протокол Alert	318
9.3.5. Сертификаты X.509	318
9.3.6. Протокол Handshake в TLS 1.2	323
9.3.7. Протокол Handshake в TLS 1.3	332
9.3.8. Протокол Record	341
9.4. Протокол DHCP	342
9.4.1. Архитектура DHCP	343
9.4.2. Формат сообщения DHCP	347
9.4.3. Взаимодействие между клиентом и сервером DHCP	350
9.4.4. Функционирование relay-агента DHCP	359
9.4.5. Опция DHCP Relay Agent Information (Option 82)	368
9.4.6. Функция DHCP Local Relay	372
9.4.7. Технология DHCP Snooping	373
9.5. Протокол DHCPv6	378
9.5.1. Типы сообщений DHCPv6	380
9.5.2. Уникальный идентификатор DHCP (DUID)	383
9.5.3. Ассоциация идентичности (IA)	385
9.5.4. Stateful DHCPv6	386
9.5.5. Stateless DHCPv6	394
9.5.6. DHCPv6 Prefix Delegation	396
9.5.7. Опции DHCPv6 Relay Agent	402
9.5.8. Функция DHCPv6 Guard	402
10. Поиск неисправностей в сетях TCP/IP	404
10.1. Методика поиска неисправностей	404
10.2. Средства поиска и устранения неполадок	405
10.3. Анализ неисправностей	406
10.3.1. Проверка параметров протокола IP	408
10.3.2. Проверка физического соединения	412
10.3.3. Проверка канального уровня	418

Оглавление

10.3.4. Проверка сетевого уровня	419
10.3.5. Проверка протоколов верхних уровней	422
Лабораторные работы	429
<i>Лабораторная работа № 1. Подключение к сети провайдера с использованием метода доступа PPPoE</i>	<i>430</i>
1.1. Настройка PPPoE-соединения между рабочими станциями и сервером	430
1.2. Настройка маршрутизатора в качестве PPPoE-клиента	439
1.3. Настройка маршрутизатора в качестве прозрачного моста для передачи PPPoE-трафика	442
<i>Лабораторная работа № 2. Подключение к PPPoE-серверу из разных VLAN стандарта IEEE 802.1Q</i>	<i>443</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Подключение к сети провайдера с использованием метода доступа L2TP</i>	<i>449</i>
3.1. Настройка L2TP-соединения между клиентами LAC и LNS	450
3.2. Настройка маршрутизатора в качестве LAC-клиента	456
3.3. Настройка маршрутизатора в качестве прозрачного моста для передачи L2TP-трафика	459
<i>Лабораторная работа № 4. Планирование IP-подсетей</i>	<i>461</i>
4.1. Планирование подсетей с использованием VLSM	463
4.2. Поиск ошибок адресации в IP-сетях	466
<i>Лабораторная работа № 5. Настройка фильтрации трафика по IP-адресам</i>	<i>467</i>
5.1. Фильтрация IPv4-адресов	467
5.2. Фильтрация IPv6-адресов	471
<i>Лабораторная работа № 6. Изучение команд настройки коммутатора через CLI</i>	<i>474</i>
6.1. Подключение к интерфейсу командной строки коммутатора	476
6.2. Основные команды коммутатора	478
<i>Лабораторная работа № 7. Настройка IPSec-туннеля между двумя сетями</i>	<i>483</i>
<i>Лабораторная работа № 8. Изучение протоколов разрешения адресов</i>	<i>493</i>
8.1. Изучение принципа работы протокола ARP	495
8.2. Изучение механизма Gratuitous ARP	497
8.3. Изучение разрешения IPv6-адресов с помощью протокола NDP	499
<i>Лабораторная работа № 9. Настройка протокола маршрутизации RIP с агрегированными каналами</i>	<i>503</i>
<i>Лабораторная работа № 10. Настройка протокола маршрутизации OSPF в широковещательной сети</i>	<i>514</i>
10.1. Настройка протокола OSPFv2	517
10.2. Настройка протокола OSPFv3	526
<i>Лабораторная работа № 11. Настройка перераспределения маршрутов между RIP и OSPF</i>	<i>533</i>
<i>Лабораторная работа № 12. Обнаружение и защита от атаки TCP SYN Flood</i>	<i>539</i>
12.1. Защита от атаки TCP SYN Flood в ОС Linux	540
12.2. Защита от атаки TCP SYN Flood на маршрутизаторе	544
<i>Лабораторная работа № 13. Изучение механизма TCP Fast Open</i>	<i>547</i>
<i>Лабораторная работа № 14. Настройка доступа к локальному FTP-серверу из внешней сети</i>	<i>553</i>
<i>Лабораторная работа № 15. Организация удаленного доступа к коммутатору по Telnet</i>	<i>557</i>

<i>Лабораторная работа № 16. Организация удаленного доступа к коммутатору по SSH.</i>	565
16.1. Доступ к коммутатору по SSH с рабочей станции ОС Linux	566
16.2. Доступ к коммутатору по SSH с рабочей станции ОС Windows	573
<i>Лабораторная работа № 17. Настройка безопасного доступа к Web-интерфейсу коммутатора</i>	580
17.1. Подключение к коммутатору через Web-интерфейс	582
17.2. Настройка доступа к коммутатору по SSL	584
<i>Лабораторная работа № 18. Изучение взаимодействия между клиентом и сервером DHCP</i>	589
<i>Лабораторная работа № 19. Функционирование relay-агента DHCP</i>	594
<i>Лабораторная работа № 20. Настройка сети провайдера для подключения клиентов по IPoE</i>	601
<i>Лабораторная работа № 21. Настройка функции DHCP Local Relay</i>	612
<i>Лабораторная работа № 22. Самостоятельная настройка сети и поиск неисправностей</i>	616
Приложение А. Инструкция по импорту и настройке образа виртуальной машины в VirtualBox	625
Приложение Б. Отключение механизма удаления тегов 802.1Q для сетевого адаптера в ОС Windows	628
Глоссарий	630