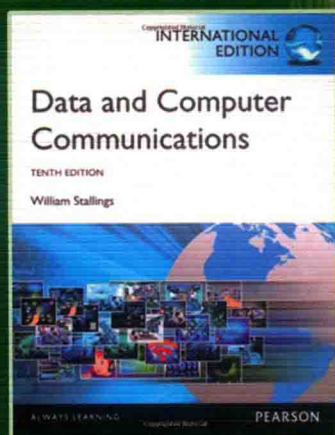


数据与计算机通信 (第十版)

Data and Computer Communications
Tenth Edition



英文版

[美] William Stallings 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

数据与计算机通信

(第十版) (英文版)

Data and Computer Communications
Tenth Edition

[美] William Stallings 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是著名计算机专业作家William Stallings的经典著作之一,内容涉及基本的数据通信原理、各种类型的计算机网络以及多种网络协议和应用。新增主题包括软件定义网络,无线传输技术复杂性分析,4G蜂窝,千兆位WiFi, DHCP, PIM, QoS结构框架和标准因特网邮件体系结构。此外,本书还包括术语表、参考文献、缩写词对照表。每章都附有习题和建议,以便读者进一步阅读。

本书可供通信或计算机、信息技术专业的本科生和研究生作为双语教学教材使用,同时也适合作为广大通信和计算机领域相关人员的参考用书。

Authorized Reprint from the English language edition, entitled DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS, Tenth Edition by STALLINGS, WILLIAM, published by Pearson Education, Ltd., Copyright © 2013 by Pearson Education Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

ENGLISH language edition published by PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2018.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale and distribution only in the mainland of China exclusively(except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书英文影印版专有出版权由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书在中国大陆地区出版,仅限在中国大陆发行。

本书贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2017-0864

图书在版编目(CIP)数据

数据与计算机通信: 第十版=Data and Computer Communications, Tenth Edition: 英文/(美)威廉·斯托林斯(William Stallings)著. —北京: 电子工业出版社, 2018.6

(国外计算机科学教材系列)

ISBN 978-7-121-34374-2

I. ①数… II. ①威… III. ①数据通信-高等学校-教材-英文 ②计算机通信-高等学校-教材-英文 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第122925号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 马 岚

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 53 字数: 1543千字

版 次: 2011年3月第1版(原著第8版)

2018年6月第3版(原著第10版)

印 次: 2018年6月第1次印刷

定 价: 129.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: classic-series-info@phei.com.cn。

第十版中的新内容

自本书第九版付梓以来，这个领域的发展以势不可挡的步伐持续向前。在此新版中，我一方面坚持对整个领域做出广泛而全面的介绍，另一方面也在努力跟上这些变化。在开始改版之前，有多位本专业的教授及专业人士对本书的第九版做了大量审阅工作。因此，这一版在很多地方的叙述比以往更清晰、更紧凑，并且许多图表都有所改进。

除了一些令本书更适合于教学和阅读的改进之外，还有一些实质性的变化贯穿全书。本书的章节组织结构改变了，现在的内容被分为两大单元，其中第二单元包含了许多高级内容以及与因特网相关的扩展材料。除了组织结构上的变动之外，最值得注意的变化包括以下内容：

- **套接字编程** 新增一节用于介绍套接字编程。另外还有一些套接字编程作业及其解题示例，可用于教师指导。
- **软件定义网络** 新增一节以涵盖这种被广泛使用的技术。
- **无线传输技术** 本书以统一的形式探讨各种无线网络传输的重要技术，包括FDD、DDD、FDMA、TDMA、CDMA、OFDM、OFDMA、SC-FDMA和MIMO。
- **4G蜂窝网络** 新增一节以涵盖4G网络和LTE-Advanced规范。
- **千兆位WiFi** 新增一节包括了两个新的WiFi标准，IEEE 802.11ac和802.11ad，它们提供吉比特量级的WiFi接入。
- **固定宽带无线接入** 新增几节内容以涵盖固定宽带无线接入因特网及相关的WiMAX标准。
- **前向纠错** 前向纠错技术在无线网络中必不可少。在新版中充实了大量与此重要话题相关的内容。
- **动态主机配置协议（DHCP）** DHCP是一种被广泛用于动态IP地址分配的协议。新增一节以涵盖这个协议。
- **数据报拥塞控制协议（DCCP）** DCCP是为了在不增加TCP开销的情况下，满足多媒体应用对拥塞控制传输协议的需求而出现的一个新协议。新增一节以涵盖DCCP。

- **协议独立多播 (PIM)** PIM是一种最重要的因特网多播路由算法, 以新的一节来涵盖此内容。
- **支持服务质量 (QoS) 的体系结构框架** 新增一节以涵盖ITU-T 建议书 Y.1291, 它为因特网QoS设施提供了一个整体框架。
- **电子邮件** 扩充第24章中关于电子邮件的章节以包含对标准因特网邮件体系结构的讨论。
- **学习目标** 现在, 每章开始都列出详细的学习目标。
- **教学大纲案例** 本书文字所包含的内容超过了一个学期能够轻松学完的量。因此, 我们为教师提供一些教学大纲案例, 以指导如何在有限的时间 (例如, 16周或12周) 使用这些内容。所有案例都是以使用本书第九版的教授的实践经验为基础的。

此外, 继承自第九版的内容也经过修订, 增加了新的图示, 并修订和更新了一些内容。

宗旨

本书力图向读者全面完整地介绍数据与计算机通信这一广阔领域。从书中的章节结构组成可以看出作者试图将此庞大的主题细化, 使之更易于理解, 并逐步向读者揭示这一领域内的高新技术。本书的重点是基本原理以及与该领域的技术和体系结构有关的本质问题, 同时也对前沿技术进行了详细讨论。

本书所讨论的内容始终围绕以下几条主线展开:

- **基本原理** 虽然所涉甚广, 但有一些基本原理会作为主线反复出现, 并贯穿该领域全部内容。例如复用、流量控制和差错控制。书中反复强调这些基本原理, 并对具体技术范围下的各种应用进行了对比。
- **设计方法** 本书详细讨论了满足特定通信需求的不同设计方法。
- **标准** 在数据与计算机通信领域中, 标准起着越来越重要的, 甚至是决定性的作用。要想了解某一技术的现状和发展方向, 就必须广泛深入地探讨其相关标准。

对2013版ACM/IEEE计算机科学课程体系的支持

本书的阅读对象包括学术研究人员和专业技术人员。对此领域有兴趣的专业技术人员可将本书视为基础入门教材, 十分适合于自学。作为教科书来说, 它可用于一个

学期或两个学期的课程。此版本的目的是为了支持ACM/IEEE Computer Science Curricula 2013 (CS2013) 课程体系。该CS2013课程体系包括网络和通信知识域 (Networking and Communication, NC)，它是计算机专业科学知识体系 (Body of Knowledge) 中的一项知识域 (Knowledge Areas)。CS2013将所有课程分为三类：一级核心Core-Tier 1 (在课程中应包括所有的主题)、二级核心Core-Tier 2 (课程应该包括所有或几乎所有的主题)、选修 (在向广度和深度扩展时需要)。在NC知识域中，CS2013包括了2个一级核心主题和5个二级核心主题，其中每个主题又有多个子课题。本书涵盖了CS2013在这两级课程中列出的所有主题和子课题。

下表列出了本书对NC知识域提供的支持。

主 题	本书涉及的章节
介绍 (一级) ● 因特网组织 (因特网服务提供商、内容提供商等等) ● 交换技术 (电路交换、分组交换等等) ● 网络的物理组成 (主机、路由器、交换机、ISP、无线、局域网、接入点、防火墙等等) ● 分层原理 (封装、复用) ● 不同层的角色 (应用层、运输层、网络层、数据链路层、物理层)	1 (数据通信) 2 (协议体系结构) 9 (广域网技术和协议)
网络的应用 (一级) ● 命名和寻址机制 (DNS、IP地址、统一资源标识等) ● 分布式应用 (客户/服务器、对等端、云等) ● 作为应用层协议代表的HTTP ● TCP和UDP的复用 ● 套接字API	24 (电子邮件、域名系统和HTTP) 2 (协议体系结构)
可靠的数据交付 (二级) ● 差错控制 (重传技术、计时器) ● 流量控制 (确认、滑动窗口) ● 性能问题 (流水线技术) ● TCP	6 (差错检测和纠正) 7 (数据链路控制协议) 15 (运输协议)
路由选择和转发 (二级) ● 路由选择与转发之比较 ● 静态路由选择 ● 网际互连协议 (IP) ● 可扩展性问题 (分级地址)	19 (路由选择) 14 (网际协议)

主 题	本书涉及的章节
局域网(二级) ● 多路接入问题 ● 对多路接入的一般解决办法(指数退避、时分复用等) ● 局域网 ● 以太网 ● 交换	11(局域网概述) 12(以太网)
资源分配(二级) ● 资源分配的需求 ● 固定分配(TDM、FDM、WDM)与动态分配的比较 ● 端对端的方法与网络辅助方法的比较 ● 公平性 ● 拥塞控制的原理 ● 解决拥塞的方法(内容分发网络等)	8(复用) 20(拥塞控制) 22(互联网的服务质量)
移动(二级) ● 蜂窝网络原理 ● 802.11网络 ● 有关支持移动结点(归属代理)的问题	10(蜂窝无线网络) 13(无线局域网)

内容安排

本书分为两个单元,共包括九部分,详情参见第0章:

- 第一单元包括了数据通信与网络的基础知识,如下所示。

第一部分:概述

第二部分:数据通信

第三部分:广域网

第四部分:局域网

第五部分:网际协议与运输协议

- 第二单元包括了数据通信与组网高级专题,如下所示。

第六部分:数据通信与无线网络

第七部分:网际互连

第八部分:因特网应用

第九部分:网络安全

此外，本书还有许多与教学相关的特色，包括使用大量图表来阐明所讨论的内容。每一章都设有术语列表、复习题、习题，以及深入阅读的建议，并在书末列出了参考文献和缩略语表。本书还在网上提供了术语表，并为教师提供了试题库。

本书充分模块化的章节结构为课程安排提供了很大的灵活性。在第0章中有对课程安排的若干详细建议，可以采用自顶向下，也可采用自底向上的教学策略。

教师支持材料^①

本书的主要目标是尽可能地成为这个令人兴奋又充满变化的主题的一个有效的教学工具。这个目标既反映在本书的结构上，也反映在它的支持素材中。为了帮助教师，用以辅助正文的补充材料如下所示：

- **解题手册** 包含所有章节末的复习题和习题解答。
- **课题手册** 适用于下面列出的所有课题类型的课题布置建议。
- **PowerPoint幻灯片** 一组包括了所有章节内容的幻灯片，适合讲课使用。
- **PDF文件** 内容为本书中所有的图和表。
- **试题库** 逐章给出的习题集，另有单独的解答文件。
- **教学大纲案例** 本书文字所包含的内容超过了一个学期能够轻松学完的量。因此，我们为教师提供一些教学大纲案例，以指导如何在有限的时间使用这些内容。这些案例都以使用本书第九版的教授的实践经验为基础。

课题及其他学生练习

对于许多教师来说，一个或一组课题是数据通信和网络教学课程中的重要组成部分，可以让学生们通过亲自动手实践，从而加深对课本中概念的理解。本书有侧重地在一些课程中提供相关的课题材料。教师资源中心不仅对如何布置和指导这些课题提供帮助，而且还包括了用于各种不同类型课题的用户指导及具体的课题布置，所有课题都完全针对本书设计。教师可布置以下几种类型的作业：

- **实践练习** 通过使用网络命令，学生可以获得网络连接方面的体验。
- **Socket编程课题** 在本前言稍后详细描述。

^① 采用本书作为教材的授课教师，可联系 te_service@phei.com.cn 获取相关教学资源。——编者注

- **Wireshark 课题** Wireshark是一个协议分析程序，它使得学生能够研究各种协议行为。我们提供了一个教学视频以帮助学生从零开始，另外还有一组Wireshark作业。
- **仿真课题** 学生可使用仿真软件包cnet来分析网络的行为。在教师资源中心包括一些相关作业。
- **性能建模课题** 提供了两种性能建模技术：tools软件包和OPNET。在教师资源中心包括一些相关作业。
- **调研课题** 教师资源中心包括一个推荐的调研课题列表，这些调研既有需要上网搜索的，也有需要查找文献的。
- **阅读/报告作业** 教师资源中心包括一个可用于阅读作业和写报告的论文列表，以及推荐的作业用语。
- **书面作业** 教师资源中心包括一个书面作业的列表，以促进对本书内容的了解。
- **讨论题** 这些讨论题可用于教室、聊天室或消息板等环境中，以便更深入地对特定领域进行探讨，并且有助于学生之间的相互合作。

多种多样的课题以及其他一些学生练习使教师可以将本书视为丰富多样的学习体验中的一个重要组成部分，并通过剪裁课程计划以满足教师和学生的特定需求，详见在线附录B。

套接字编程

套接字是所有使用TCP/IP协议族的网络通信背后所依赖的基础。套接字编程是相对简单的课题，对学生来说，它们则可能是非常令人满意和有效的实践项目。这本书为学生学习和使用套接字编程提供了大力支持，以加强他们对网络的理解，包括：

1. 第2章提供了对套接字编程的基本介绍，涉及TCP服务器和客户端程序详细分析。
2. 第2章还包括一些课后的套接字编程作业。解题示例在本书的教师资源中心可获得。
3. 更多的套接字编程作业，附以解题示例，同样可在教师资源中心获得，包括一些中等规模的任务以及内容更丰富的项目，以逐步实现一个简化的即时通信客户端和服务端。

总之，这些资源使得学生能够对套接字编程有充分的理解，并获得一定的网络应用程序开发经验。

学生用的在线文档

对于新版，有大量学生可使用的原始支持材料已在线提供，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册下载，具体内容如下所示。

- **在线章节** 为节省纸张并降低定价，本书中关于因特网应用和网络安全的内容以PDF文档的形式提供，本书目录中已列出。
- **在线附录** 有大量有趣的主题可用以支撑文中所讨论的内容，但是无法全部印在书中。我们为感兴趣的学生列出了19个相关主题，详见目录。
- **课后习题和解答** 为帮助学生了解相关内容，我们提供了独立的课后习题和解答。

致 谢

本书历经数版，一直以来它们都得益于数百位教师和专业人员的鼎力支持，他们慷慨地付出了自己的时间和专长。在此我谨向为此新版做出贡献的人员表示感谢。

参与评审本书全部或大部分原稿的教师有：Tibor Gyires（伊利诺伊州立大学）、Hossein Hosseini（威斯康星-密尔沃基大学）、Naeem Shareef（俄亥俄州立大学）、Adrian Lauf（路易斯维尔大学）和Michael Fang（佛罗里达大学）。

同时也要感谢为单独的章节提供了详细技术审阅的以下各位：Naji A. Albakay, C. Annamalai、Rakesh Kumar Bachchan、Alan Cantrell、Colin Conrad、Vineet Chadha、George Chetcuti、Rajiv Dasmohapatra、Ajinkya Deshpande、Michel Garcia、Thomas Johnson、Adri Jovin、Joseph Kellegher、Robert Knox、Bo Lin、Yadi Ma、Luis Arturo Frigolet Mayo、Sushil Menon、Hien Nguyen、Kevin Sanchez-Cherry、Mahesh S. Sankpal、Gaurav Santhalia、Stephanie Sullivan、Doug Tiedt、Thriveni Venkatesh和Pete Zeno。

还要感谢以下各位的慷慨付出。Yadi Ma提供了有关套接字编程的课后题。Michael Harris（曾在印第安纳大学）负责最初的Wireshark练习和用户手册。新西兰奥塔哥理工学院的首席讲师Dave Bremer负责更新了Wireshark练习中的大部分材料，同时他也制作了介绍如何使用Wireshark的在线教学视频。Kim McLaughlin制作了PPT幻灯片的课件。

最后我要感谢为本书的出版而付出努力的人们，他们的工作一如既往地出色。其中包括Pearson的工作人员，特别是我的编辑Tracy Johnson以及她的助手Jenah Blitz-Stoehr、项目经理Carole Snyder和权限主管Bob Engelhardt。我还要为迅速且出色的工作而感谢Shiny Rajesh以及Integra的工作人员。多亏了Pearson的市场营销和销售人员，没有他们的努力，这本书将无法面市。

ABOUT THE AUTHOR

Dr. William Stallings has authored 17 titles, and counting revised editions, over 40 books on computer security, computer networking, and computer architecture. His writings have appeared in numerous publications, including the *Proceedings of the IEEE*, *ACM Computing Reviews* and *Cryptologia*.

He has 12 times received the award for the best Computer Science textbook of the year from the Text and Academic Authors Association.

In over 30 years in the field, he has been a technical contributor, technical manager, and an executive with several high-technology firms. He has designed and implemented both TCP/IP-based and OSI-based protocol suites on a variety of computers and operating systems, ranging from microcomputers to mainframes. As a consultant, he has advised government agencies, computer and software vendors, and major users on the design, selection, and use of networking software and products.

He created and maintains the *Computer Science Student Resource Site* at ComputerScienceStudent.com. This site provides documents and links on a variety of subjects of general interest to computer science students (and professionals). He is a member of the editorial board of *Cryptologia*, a scholarly journal devoted to all aspects of cryptology.

Dr. Stallings holds a PhD from MIT in Computer Science and a BS from Notre Dame in electrical engineering.

ACRONYMS

AAL	ATM Adaptation Layer	ITU	International Telecommunication Union
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector
AES	Advanced Encryption Standard		
AM	Amplitude Modulation	LAN	Local Area Network
AMI	Alternate Mark Inversion	LAPB	Link Access Procedure—Balanced
ANS	American National Standard	LAPD	Link Access Procedure on the D Channel
ANSI	American National Standard Institute	LAPF	Link Access Procedure for Frame Mode Bearer Services
ARP	Address Resolution Protocol	LLC	Logical Link Control
ARQ	Automatic Repeat Request	MAC	Medium Access Control
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	MAN	Metropolitan Area Network
ASK	Amplitude-Shift Keying	MIME	Multi-Purpose Internet Mail Extension
ATM	Asynchronous Transfer Mode	MPLS	Multiprotocol Label Switching
BER	Bit Error Rate	NRZI	Nonreturn to Zero, Inverted
BGP	Border Gateway Protocol	NRZL	Nonreturn to Zero, Level
CBR	Constant Bit Rate	NT	Network Termination
CCITT	International Consultative Committee on Telegraphy and Telephony	OSI	Open Systems Interconnection
CIR	Committed Information Rate	OSPF	Open Shortest Path First
CMI	Coded Mark Inversion	PBX	Private Branch Exchange
CRC	Cyclic Redundancy Check	PCM	Pulse-Code Modulation
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	PDU	Protocol Data Unit
DCE	Data Circuit-Terminating Equipment	PM	Phase Modulation
DEA	Data Encryption Algorithm	PSK	Phase-Shift Keying
DES	Data Encryption Standard	PTT	Postal, Telegraph, and Telephone
DS	Differentiated Services	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
DTE	Data Terminal Equipment	QoS	Quality of Service
FCC	Federal Communications Commission	QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
FCS	Frame Check Sequence	RBOC	Regional Bell Operating Company
FDM	Frequency-Division Multiplexing	RF	Radio Frequency
FSK	Frequency-Shift Keying	RSA	Rivest, Shamir, Adleman Algorithm
FTP	File Transfer Protocol	RSVP	Resource ReSeRvation Protocol
FM	Frequency Modulation	SAP	Service Access Point
GFR	Guaranteed Frame Rate	SDH	Synchronous Digital Hierarchy
GPS	Global Positioning System	SDU	Service Data Unit
HDLC	High-Level Data Link Control	SLA	Service Level Agreement
HTML	Hypertext Markup Language	SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	SNMP	Simple Network Management Protocol
IAB	Internet Architecture Board	SONET	Synchronous Optical Network
ICMP	Internet Control Message Protocol	SS7	Signaling System Number 7
ICT	Information and Communications Technology	STP	Shielded Twisted Pair
IDN	Integrated Digital Network	TCP	Transmission Control Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	TDM	Time-Division Multiplexing
IETF	Internet Engineering Task Force	TE	Terminal Equipment
IGMP	Internet Group Management Protocol	UBR	Unspecified Bit Rate
IP	Internet Protocol	UDP	User Datagram Protocol
IPng	Internet Protocol—Next Generation	UNI	User-Network Interface
IRA	International Reference Alphabet	UTP	Unshielded Twisted Pair
ISA	Integrated Services Architecture	VAN	Value-Added Network
ISDN	Integrated Services Digital Network	VBR	Variable Bit Rate
ISO	International Organization for Standardization	VCC	Virtual Channel Connection
		VLAN	Virtual LAN
		VPC	Virtual Path Connection
		WDM	Wavelength Division Multiplexing
		Wi-Fi	Wireless Fidelity
		WWW	World Wide Web

CONTENTS

Chapter 0 Guide for Readers and Instructors 25

- 0.1 Outline of the Book 26
- 0.2 A Roadmap for Readers and Instructors 27
- 0.3 Internet and Web Resources 28
- 0.4 Standards 29

UNIT ONE FUNDAMENTALS 31

PART ONE OVERVIEW 32

Chapter 1 Data Communications, Data Networks, and the Internet 32

- 1.1 Data Communications and Networking for Today's Enterprise 33
- 1.2 A Communications Model 39
- 1.3 Data Communications 42
- 1.4 Networks 45
- 1.5 The Internet 48
- 1.6 An Example Configuration 53

Chapter 2 Protocol Architecture, TCP/IP, and Internet-Based Applications 55

- 2.1 The Need for a Protocol Architecture 56
- 2.2 A Simple Protocol Architecture 57
- 2.3 The TCP/IP Protocol Architecture 61
- 2.4 Standardization within a Protocol Architecture 69
- 2.5 Traditional Internet-Based Applications 72
- 2.6 Multimedia 72
- 2.7 Sockets Programming 76
- 2.8 Recommended Reading and Animation 85
- 2.9 Key Terms, Review Questions, and Problems 87
- 2.10 Sockets Programming Assignments 90

Appendix 2A The Trivial File Transfer Protocol 90

PART TWO DATA COMMUNICATIONS 95

Chapter 3 Data Transmission 95

- 3.1 Concepts and Terminology 96
- 3.2 Analog and Digital Data Transmission 108
- 3.3 Transmission Impairments 116
- 3.4 Channel Capacity 122
- 3.5 Recommended Reading 128
- 3.6 Key Terms, Review Questions, and Problems 128

Appendix 3A Decibels and Signal Strength 131

Chapter 4	Transmission Media	134
4.1	Guided Transmission Media	136
4.2	Wireless Transmission	151
4.3	Wireless Propagation	159
4.4	Line-of-Sight Transmission	164
4.5	Recommended Reading	168
4.6	Key Terms, Review Questions, and Problems	169
Chapter 5	Signal Encoding Techniques	173
5.1	Digital Data, Digital Signals	175
5.2	Digital Data, Analog Signals	186
5.3	Analog Data, Digital Signals	197
5.4	Recommended Reading and Animations	204
5.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	205
Chapter 6	Error Detection and Correction	210
6.1	Types of Errors	212
6.2	Error Detection	213
6.3	Parity Check	214
6.4	The Internet Checksum	216
6.5	Cyclic Redundancy Check (CRC)	218
6.6	Forward Error Correction	225
6.7	Recommended Reading and Animations	231
6.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	232
Chapter 7	Data Link Control Protocols	235
7.1	Flow Control	237
7.2	Error Control	244
7.3	High-Level Data Link Control (HDLC)	250
7.4	Recommended Reading and Animations	257
7.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	257
Chapter 8	Multiplexing	260
8.1	Frequency-Division Multiplexing	262
8.2	Synchronous Time-Division Multiplexing	268
8.3	Cable Modem	278
8.4	Asymmetric Digital Subscriber Line	279
8.5	xDSL	284
8.6	Multiple Channel Access	285
8.7	Recommended Reading and Animations	289
8.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	290
PART THREE WIDE AREA NETWORKS		293
Chapter 9	WAN Technology and Protocols	293
9.1	Switched Communications Networks	295
9.2	Circuit-Switching Networks	296
9.3	Circuit-Switching Concepts	299
9.4	Softswitch Architecture	305

9.5	Packet-Switching Principles	307
9.6	Asynchronous Transfer Mode	316
9.7	Recommended Reading	321
9.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	322
Chapter 10	Cellular Wireless Networks	326
10.1	Principles of Cellular Networks	327
10.2	Cellular Network Generations	340
10.3	LTE-Advanced	344
10.4	Recommended Reading	352
10.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	353
PART FOUR LOCAL AREA NETWORKS		355
Chapter 11	Local Area Network Overview	355
11.1	Bus and Star Topologies	356
11.2	LAN Protocol Architecture	358
11.3	Bridges	366
11.4	Hubs and Switches	374
11.5	Virtual LANs	377
11.6	Recommended Reading and Animations	382
11.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	383
Chapter 12	Ethernet	385
12.1	Traditional Ethernet	387
12.2	High-Speed Ethernet	395
12.3	IEEE 802.1Q VLAN Standard	405
12.4	Recommended Reading and Animations	407
12.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	407
Appendix 12A Digital Signal Encoding for LANs		409
Appendix 12B Scrambling		416
Chapter 13	Wireless LANs	419
13.1	Overview	420
13.2	IEEE 802.11 Architecture and Services	424
13.3	IEEE 802.11 Medium Access Control	428
13.4	IEEE 802.11 Physical Layer	436
13.5	Gigabit Wi-Fi	443
13.6	IEEE 802.11 Security Considerations	446
13.7	Recommended Reading	447
13.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	448
PART FIVE INTERNET AND TRANSPORT PROTOCOLS		451
Chapter 14	The Internet Protocol	451
14.1	Principles of Internetworking	452
14.2	Internet Protocol Operation	457
14.3	Internet Protocol	464
14.4	IPv6	474
14.5	Virtual Private Networks and IP Security	484

14.6	Recommended Reading and Animations	487
14.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	488
Chapter 15 Transport Protocols 491		
15.1	Connection-Oriented Transport Protocol Mechanisms	492
15.2	TCP	511
15.3	UDP	518
15.4	Recommended Reading and Animations	519
15.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	520
UNIT TWO ADVANCED TOPICS IN DATA COMMUNICATIONS AND NETWORKING 523		
PART SIX DATA COMMUNICATIONS AND WIRELESS NETWORKS 524		
Chapter 16 Advanced Data Communications Topics 524		
16.1	Analog Data, Analog Signals	525
16.2	Forward Error-Correcting Codes	532
16.3	ARQ Performance Issues	547
16.4	Recommended Reading and Animations	554
16.5	Key Terms, Review Questions, and Problems	556
Chapter 17 Wireless Transmission Techniques 558		
17.1	MIMO Antennas	559
17.2	OFDM, OFDMA, and SC-FDMA	562
17.3	Spread Spectrum	568
17.4	Direct Sequence Spread Spectrum	569
17.5	Code Division Multiple Access	574
17.6	Recommended Reading	577
17.7	Key Terms, Review Questions, and Problems	578
Chapter 18 Wireless Networks 582		
18.1	Fixed Broadband Wireless Access	583
18.2	WiMAX/IEEE 802.16	585
18.3	Bluetooth Overview	597
18.4	Bluetooth Radio Specification	601
18.5	Bluetooth Baseband Specification	601
18.6	Bluetooth Logical Link Control and Adaptation Protocol	610
18.7	Recommended Reading	612
18.8	Key Terms, Review Questions, and Problems	612
PART SEVEN INTERNETWORKING 614		
Chapter 19 Routing 614		
19.1	Routing in Packet-Switching Networks	615
19.2	Examples: Routing in ARPANET	625
19.3	Internet Routing Protocols	631
19.4	Least-Cost Algorithms	642
19.5	Recommended Reading and Animations	648
19.6	Key Terms, Review Questions, and Problems	649