

计算机网络与 Internet

——网络应用（第三版）

Computer Networks and Internets

with Internet Applications (Third Edition)

[美] Douglas E. Comer 著
金舒原 段海新 译

本书附盘可从本馆主页 <http://lib.szu.edu.cn/>
上由“馆藏检索”该书详细信息后下载，
也可到视听部复制

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

著作权合同登记号: 01-2001-5318

内 容 简 介

本书系统地讲解了计算机网络与因特网的各个方面,包括数据传输、包传输、网络互连和网络应用 4 大部分内容。

全书第 1 部分解释了最底层承载信息的电子信号如何穿越电缆,并介绍了怎样用电子信号对数据进行编码;第 2 部分解释了计算机网络为何使用数据包、数据如何聚合成发送的包,以及数据包如何被传送到它的目的地址;第 3 部分主要介绍网络互连,讨论了将异构网络组合成一个大规模的、无缝的通信系统的动机和实现方法;第 4 部分介绍了应用系统如何使用底层网络进行通信。附录和光盘提供了网络术语的解释以及大量的网络编程和实验的例子、图表、动画等,这对于深入理解网络互连技术及组织网络素材都大有裨益。

本书可作为本科生和低年级研究生的教材或教学参考书。对于从事网络研究、网络工程、技术服务的科研和工程技术人员来说,本书也是一本很好的基础性参考读物。

Computer Networks And Internets——With Internet Applications (Third Edition)

Copyright © 2001 by The Prentice-Hall.

All rights reserved. No part of the 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 the Publisher. This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字版由美国培生教育出版集团授权清华大学出版社和北京科海培训中心合作出版。未经出版者书面允许不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 盗版必究。

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签, 无标签者不得销售。

书 名: 计算机网络与 Internet——网络应用(第三版)

作 者: Douglas E. Comer

译 者: 金舒原 段海新

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学校内, 邮编 100084) <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 朱起飞

印 刷 者: 北京市耀华印刷有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 异 16 印张: 33.75 字数: 737 千字

版 次: 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 0001~5000

盘 号: ISBN 7-900643-30-3

定 价: 58.00 元 (1CD)

关于作者

Douglas Comer 博士是国际公认的 TCP/IP 协议、计算机网络、Internet 领域的专家。作为形成于 20 世纪 70 年代和 80 年代的 Internet 的早期研究者，他是 Internet 体系结构委员会（Internet Architecture Board, IAB）的成员。IAB 是负责指导 Internet 发展的组织。他是 CSNET 技术委员会的主席，也是 CSNET 执行委员会的成员。

Comer 为工业界计算机网络的设计提供咨询。除了在大学里做报告以外，他每年还向遍布世界的网络专业人员讲授在线课程。他的操作系统, Xinu, 以及 TCP/IP 协议的实现（都归档在他的教科书中）已经用于许多商业产品中。

Comer 是普渡（Purdue）大学计算机科学系的教授，他教授课程并做一些计算机网络、网络互连和操作系统方面的研究工作。除写了一系列畅销的技术书籍以外，他还是杂志“software——practice and Experience”北美的编辑。Comer 还是 ACM 的特别会员。

其他的信息参见：

www.cs.purdue.edu/people/comer

其他人对本书的评论

“本书是我所读过的最好的一本书之一。谢谢你”

Gokhan Mutlu
土耳其 Ege 大学

“不论对初学者还是专业人士都是一部杰出的著作——出色的编写、广泛的覆盖面，而且易学易用”

John Lin
贝尔实验室

“覆盖面之宽广令人惊叹”

George Varghese
圣地亚哥加利福尼亚大学

“我在看完它之前根本无法停止。它是完美的”

Lalit Y.Raju
印度地区工程学院

“第3章所介绍的小型网络服务器简直是太好了——令读者感到兴奋”

Dennis Brylow
普渡大学

“尽管现在的网络界充斥着大量的缩略语，但本书并不令人望而生畏。Comer 是一个优秀的作者，他不但扩展了网络术语，而且清晰地解释了它们。这本书覆盖了从电缆到应用的所有网络主题。这是一本杰出的著作”

Jennifer Seitzer
Dayton 大学

前 言

本书如此受欢迎令我欣喜异常。除了几百所美国学校用它作为计算机网络课程的教材以外,许多专业人士还写信说它正用于工业界,而且还有来自海外译本的热情洋溢的评论。在市场上充斥着网络书籍的今天,本书的成功特别令人感到满意。它之所以能够脱颖而出,在于它覆盖面广、条理清晰、对概念的阐述透彻并关注于 Internet,而且随书附带的光盘以及下面的网站也为读者提供了丰富的材料:

<http://www.netbook.cs.purdue.edu>

新版对原书做了彻底的修订和更新,增加了 3 章(第 3 章,第 14 章和第 25 章)和许多新的小节,并增加了 80 多个术语。光盘和 Web 站点的内容也重新做了整理和扩展。

新增的 3 章内容是应教师和读者的需求而增加的。第 3 章是专门为那些想初步了解网络应用和编程知识的读者设计的。该章在介绍网络底层技术和协议设施之前,揭示了怎样构造通过 Internet 操作的应用。并且,第 3 章还给出了一个简化的 API(包括可用的代码),举例说明 Internet 应用如何使用这个 API 进行通信。即便读者对编程不感兴趣,也会赞赏许多例子程序所达到的效果。

第 14 章是应那些要求更详细地了解面向连接网络的读者而编写的。该章以 ATM 为例,介绍了面向连接的网络范例。除了解释诸如标签交换等概念和细节之外,还提供了对这一技术的评估,并讨论了为什么 ATM 没有达到它雄心勃勃的设计目标。

第 25 章是应那些要求增加 Internet 路由和 Internet 路由协议内容的读者而编写的。该章讨论了静态和动态路由,覆盖了自治系统的概念和具体的路由协议,如 RIP, OSPF 和 BGP 等。最后,该章还讨论了组播路由传播。

本书从最广泛的意义上回答了“计算机网络和国际互联网是怎样操作的?”这一基本问题。它为读者提供了一个全面的、涵盖了从网络中最底层的数据传输和电缆到最高层的应用软件的学习旅程。在每个层次中,本书都展示了下一个层次怎样使用和扩展底层所提供的设施和服务。因此,本书在描述了一个调制解调器怎样使用载波编码以后,就开始介绍 Internet 这样的分组交换系统如何使用调制解调器发送帧;在描述了以太网这样的帧传输技术以后,就开始介绍像 TCP 这样的协议怎样利用这些传输设施实现对数据的可靠传输。最后,本书介绍了 Internet 应用,解释万维网(World Wide Web)在这样一个基础设施之上是怎样操作的。

本书是为那些没有或只有一点网络背景的读者准备的。书中没有使用复杂的数学描述,

也不需要读者有操作系统的知识。相反，本书清楚地定义了概念，使用实例和插图说明技术是怎样操作的，阐明了分析结果但并没有给出数学证明。

在引言（第 1~3 章）之后，本书的正文含有 4 部分：第 1 部分（第 4~6 章）简要说明了底层的硬件是怎样工作的。这一部分解释了载波信号的概念，讨论了载波的调制，说明了调制解调器怎样把发送的数据编码成载波信号。这一部分还讨论了异步、面向字符的数据传输，并定义了以后章节中出现的术语，诸如带宽、波特等。

第 2 部分（第 7~16 章）关注于分组交换。这一部分介绍了使用分组的动机，然后描述了用于网络分类的特征，如局域网、广域网、本地环、公共网络和私有网络、面向连接的网络或无连接网络，还有基本的网络拓扑结构和电缆模式。这一部分还介绍了如下一跳、路由、交换、协议分层等在每一章都要使用的术语。最后举例说明几种常见的网络，包括以太网、FDDI、令牌环、ATM 和 ADSL。

第 3 部分（第 17~25 章）着重介绍 Internet 协议。讨论网络互连的动机之后，这一部分描述了互连网的体系结构以及路由器、互连网编址、地址绑定、TCP/IP 协议等。详细回顾了 IP, TCP, ICMP 和 ARP 协议，让学生理解概念是怎样联系到实际的。在第 24 章介绍了 TCP，其内容覆盖了传输协议的可靠性这一重要的、深层次主题。附录 5 通过建设一个家庭网络、使用一个 IP 地址把多台计算机连接到 Internet 上，展示了怎样把理论付诸实践。

最后一部分（第 26~38 章）研究了网络应用。像本书其他部分一样，这一部分的覆盖面也是相当宽广的——既包括通用的原理，也包括具体的应用。这一部分首先描述了网络应用用以通信的客户-服务器模型，然后描述了套接字（socket）API，并给出了使用套接字进行通信的客户与服务器示例代码。这一部分还描述了域名系统中的名字解析和应用，如电子邮件、文件传输、Web 浏览等，还通过使用 CGI, Java, JavaScript 的例子，介绍了动态文档和主动文档。在介绍每一种技术的过程中，均描述了软件结构并解释了客户和服务器的交互以便提供服务。第 35 章还讨论了中间件（middleware），其中包括过程式的和面向对象的中间件技术。这一部分后面的章节讨论了网络安全，并介绍了如何使用应用软件进行网络管理。最后，第 38 章还探讨了有趣的初始化问题，介绍了应用层软件怎样实现看似不可能的事情——用协议软件获取正在使用的协议软件在初始化时必需的信息。

本书最适合于作为一学期的网络高级引论课程使用。由于涉及目标的广泛性，所以本书覆盖了网络从电缆到应用的所有主题。比如，在普渡（Purdue）大学，学生有每周一次的实验室作业以强化概念的理解，并提供动手的经验。到完成该课程时，每个学生都可以：知道 IP 路由器怎样使用路由表转发 IP 数据报；描述一个数据报怎样穿越 Internet；解释集线器和 2 层交换机之间的不同；了解 TCP 如何识别一个连接；知道为什么当前的 Web 服务器能够在 80 端口上同时处理多个连接；描述网桥和 IP 路由器之间概念上的不同；计算一个比特穿越 100BaseT 网络的时间长度；解释为什么 TCP 归于端到端一类；区分以太网使用的 CSMA/CD 介质访问机制和令牌传递模式；了解 DSL 如何使用多路复用技术高速传输数据。

一门课程的目标是广泛的，而不是深奥的——它覆盖所有的主题，读者可以不必专注于少数几种技术或概念。因此，一门成功课程的关键在于保持一个敏捷的步伐，在一个学期里覆盖基础的主题。本书第 1 部分中基础的内容可以压缩在一周之内完成，网络和网络互连部分可以分配五周时间，留下几个星期给应用和网络管理与安全等主题。

教师应该向学生强调概念和原理的重要性：具体的技术可能几年后过时了，但是原理是不变的。另外，教师应该激发学生彻底学习网络的动力。

尽管没有一个单独的主题是具有挑战性的，但学生仍可以发现许多内容不很容易接受。特别是，当学生们面对过多新的术语时。缩写的网络术语和行话可能会非常令人困惑：学生花费了大量的时间才能习惯这些术语。为帮助学生掌握术语，附录 1 包含了一个术语和缩写词汇表。为更加清晰起见，词汇表中的词汇定义是单独描述的，而不是在文中逐字逐句说明的。

由于编程和实验对帮助学生学习网络起着非常关键的作用，所以实验室练习是任何一门网络课程的重要部分。附录 6 描述了 Purdue 大学本科生网络实验室的体系结构，展示了怎样用一些廉价的硬件设备构造一个有用的实验环境。我们的实验课程强调网络的两个重要方面：套接字编程和数据包分析。我们让学生构造客户软件访问网络并提取数据（如编写程序打印当前的温度）。第 3 章介绍了简单的 API，使用我们的 API，学生可以在了解协议、地址、套接字之前编写可运行的代码。当然，学生在学期后面会学习如何使用套接字 API。最后，学生需要编写一个并发的 Web 服务器（CGI 支持是可选的）。除了应用编程之外，学生们还需要使用实验室设施从一个真实的网络中捕获数据包，然后编写程序解码数据包头。

让学生访问网络提高了他们的热情，教师应该鼓励学生们做实验——我们的经验表明，访问过实际网络的学生能更好地理解主题。因此，如果没有专用的包分析仪，可以在一个标准 PC 上安装相应的软件来配置一个廉价的分析仪。对那些无法访问网络设施的学生来说，光盘中包含了包跟踪的例子，学生们可以编写程序来读取踪迹并处理包，就像从网络中捕获它们一样。

本书所带的光盘和 Web 站点都包含许多材料，有助于教学和读者对本书内容的理解。对于教师，光盘包含了课程的内容，文中的图表可以做演示，生动的图表有助于阐明概念。光盘还包括书中没有的内容，包括网络电缆和设备的照片以及用于学生工程作业中的数据文件。

为帮助教授和学生们定位信息，光盘还包括一个关键字搜索机制。给定一个术语，该搜索机制从联机词汇表中定位术语的定义以及与该术语相关的其他术语。最后，光盘包含了指向 Web 站点的链接，该站点在不断地更新。本书专门建立了两个电子邮件列表：一般的信息可以从 netbook@cs.purdue.edu 获得，关于本书教学内容的讨论参见 netbook-inst@cs.purdue.edu。欲加入列表，向相应列表名字发一封电子邮件信息，邮件体由 `subscribe` 组成。为避免邮件服务器通过 Internet 发送一个消息的多个拷贝，教师需要为他们

站点的所有学生建立一个单独的本地别名（alias）。

感谢所有对本书的新版做出贡献的人：Dennis Brylow 和 John Lin 校对了本书的所有章节，Jennifer Seitzer, Abdullah Abonamah 和 George Varghese 审读了早期的版本，并提出了有价值的建议。Mike Evangelista 写了第 3 章中的客户和服务器应用代码和 API，并把这个 API 移植到 Linux, Solaris 和 Windows 平台。Ralph Droms 准备了光盘，并且管理 Web 的内容。Jim Griffioen 审读了新增加的 3 章，提供了全球的前景和技术细节。特别感谢我的妻子和伙伴，Chris，本书的许多进步来源于她细心的编辑和有益的提议。

Douglas E.Comer

目 录

第 1 章 简介	1	3.5 一个应用编程接口的例子	13
1.1 计算机网络的增长	1	3.6 一个简单的 API 调用过程	14
1.2 网络系统的复杂性	1	3.7 API 的定义	15
1.3 克服复杂性	2	3.7.1 await_contact 函数	15
1.4 概念和术语	2	3.7.2 make_contact 函数	15
1.5 本书的结构	2	3.7.3 appname_to_appnum 函数	15
1.6 小结	3	3.7.4 cname_to_comp 函数	16
第 2 章 动机与工具	4	3.7.5 send 函数	16
2.1 简介	4	3.7.6 recv 和 recvln 函数	16
2.2 资源共享	4	3.7.7 send_eof 函数	16
2.3 Internet 的增长	5	3.7.8 API 类型总结	17
2.4 探测 Internet	6	3.8 回声 (echo) 应用程序代码	17
2.5 解释 ping 的响应	8	3.8.1 回声服务器代码实例	18
2.6 跟踪一个路由	9	3.8.2 回声客户代码实例	19
2.7 小结	10	3.9 一个聊天 (chat) 应用程序代码	22
2.8 练习	10	3.9.1 聊天服务器代码示例	23
第 3 章 网络编程与应用	12	3.9.2 聊天客户代码实例	25
3.1 简介	12	3.10 Web 应用程序代码	27
3.2 网络通信	12	3.10.1 Web 客户代码实例	28
3.3 客户-服务器计算	12	3.10.2 Web 服务器代码实例	29
3.4 通信模式	13	3.11 小结	34
		3.12 练习	34

第 1 部分 数 据 传 输

第 4 章 传输介质	36	4.4 无线电	38
4.1 简介	36	4.5 卫星	38
4.2 铜缆	36	4.6 地球同步卫星	39
4.3 玻璃纤维	38	4.7 低地球轨道卫星	40

4.8 低地球轨道卫星阵列	40	5.11 小结	50
4.9 微波	41	5.12 练习	51
4.10 红外线	41		
4.11 激光	41	第 6 章 远距离通信（载波、调制和调制解调器）	52
4.12 小结	42	6.1 简介	52
4.13 练习	42	6.2 远距离发送信号	52
第 5 章 本地异步通信（RS-232）	43	6.3 用于调制和解调的调制解调器硬件	54
5.1 简介	43	6.4 租用模拟数据线路	55
5.2 异步通信的需求	43	6.5 光、无线电频率和拨号调制解调器	56
5.3 用电流发送比特	43	6.6 载波频率和多路复用	57
5.4 通信标准	44	6.7 基带和宽带技术	58
5.5 波特率、帧与出错	46	6.8 波分多路复用	59
5.6 全双工异步通信	47	6.9 扩展频谱	59
5.7 实际硬件的限制	48	6.10 时分多路复用	60
5.8 硬件带宽与比特传输	49	6.11 小结	60
5.9 噪声对通信的影响	49	6.12 练习	61
5.10 定理对数据网络的意义	50		

第 2 部分 包 传 输

第 7 章 包、帧和错误检测	62	7.14 小结	73
7.1 简介	62	7.15 练习	74
7.2 包的概念	62	第 8 章 局域网技术及网络拓扑	76
7.3 包和时分多路复用	64	8.1 简介	76
7.4 包和硬件帧	64	8.2 直接的点对点通信	76
7.5 字节填充	66	8.3 共享通信信道	78
7.6 传输错误	67	8.4 局域网的重要性和引用的本地性	78
7.7 奇偶位和奇偶校验	67	8.5 LAN 的拓扑结构	79
7.8 概率、数学和错误检测	68	8.5.1 星形拓扑	79
7.9 使用校验和检测错误	69	8.5.2 环形拓扑	80
7.10 使用循环冗余校验检测错误	70	8.5.3 总线形拓扑	80
7.11 模块连接	71	8.5.4 存在多种拓扑结构的原因	81
7.12 突发错误	72	8.6 总线网实例：以太网	81
7.13 帧格式和错误检测机制	72	8.6.1 以太网的历史	81

8.6.2 以太网传输与曼彻斯特编码	82	10.6 连接多路复用	111
8.6.3 以太网上的共享	83	10.7 细线以太网布线	112
8.7 载波侦听多路访问网 (CSMA)	83	10.8 双绞线以太网	113
8.8 带有 CSMA/CD 的冲突检测与回退	84	10.9 布线方案的优缺点	114
8.9 802.11 无线局域网和 CSMA/CA	85	10.10 拓扑矛盾	116
8.10 总线网络的另一个实例: LocalTalk	86	10.11 网络接口卡和布线方案	116
8.11 环形网实例: IBM 令牌环	87	10.12 布线方案和其他网络技术	117
8.12 环形网的另一个实例: FDDI	88	10.13 小结	118
8.13 星形网实例: ATM	90	10.14 练习	119
8.14 小结	91		
8.15 练习	92		
第 9 章 硬件编址与帧类型识别	94	第 11 章 扩展局域网: 光纤调制解调器、	
9.1 简介	94	中继器、网桥和交换机	120
9.2 指定接收者	94	11.1 简介	120
9.3 局域网硬件如何使用地址来过滤包	95	11.2 距离限制与局域网设计	120
9.4 物理地址的格式	96	11.3 光纤扩展	121
9.5 广播	97	11.4 中继器	122
9.6 组播	98	11.5 网桥	124
9.7 组播编址	99	11.6 帧过滤	124
9.8 标识包的内容	99	11.7 桥接网络的启动和达到稳定状态的	
9.9 帧头和帧格式	100	动作	126
9.10 帧格式的一个例子	100	11.8 设计一个桥接网络	126
9.11 不使用自标识帧的网络	102	11.9 建筑物间的桥接	127
9.12 网络分析仪、物理地址和帧类型	103	11.10 跨越长距离的桥接	127
9.13 小结	105	11.11 桥接环路	129
9.14 以太网地址分配	106	11.12 分布式生成树	130
9.15 练习	106	11.13 交换	130
		11.14 交换机与集线器的组合	131
第 10 章 局域网布线、物理拓扑和接		11.15 用于其他技术的桥接和交换	132
口硬件	107	11.16 小结	132
10.1 简介	107	11.17 练习	133
10.2 局域网和计算机的速度	107		
10.3 网络接口硬件	108	第 12 章 长距离数字连接技术	134
10.4 网络接口卡与网络间的连接	109	12.1 简介	134
10.5 早期的粗线以太网布线	110	12.2 数字电话	134
		12.3 同步通信	135
		12.4 数字电路与 DSU/CSU	136

12.5 电话标准	137	13.15 距离向量路由	162
12.6 DS 术语与数据速率	137	13.16 链路状态路由 (SPF)	163
12.7 小容量电路	138	13.17 广域网技术实例	164
12.8 中等容量的数字电路	139	13.17.1 ARPANET	164
12.9 大容量电路	139	13.17.2 X.25	164
12.10 光载波标准	140	13.17.3 帧中继	164
12.11 后缀 C	140	13.17.4 SMDS	165
12.12 同步光网络 (SONET)	141	13.17.5 ATM	165
12.13 本地用户回路	142	13.18 小结	165
12.14 ISDN	142	13.19 练习	166
12.15 非对称数字用户线路技术	143	第 14 章 面向连接的网络与 ATM	167
12.16 其他 DSL 技术	145	14.1 简介	167
12.17 电缆调制解调器技术	146	14.2 单一全球网络	167
12.18 上流通信	147	14.3 ISDN 与 ATM	168
12.19 混合光纤同轴	148	14.4 ATM 的设计与信元	168
12.20 光纤到路边	148	14.5 面向连接的服务	169
12.21 特殊情况下的替代方案	149	14.6 VPI/VCI	170
12.22 广播卫星系统	149	14.7 标签和标签交换	170
12.23 小结	150	14.8 通过 ATM 网络通信的一个例子	171
12.24 练习	151	14.9 永久虚电路	172
第 13 章 广域网技术和路由	152	14.10 交换虚电路	173
13.1 简介	152	14.11 服务质量	173
13.2 大型网络和广域	152	14.12 采用信元和标签交换的动机	174
13.3 分组交换机	153	14.12.1 信元与分组的对比	174
13.4 构建广域网	153	14.12.2 标签交换与路由的对比	175
13.5 存储转发	154	14.13 ATM 数据传输与 AAL5	175
13.6 广域网内的物理编址	155	14.14 对 ATM 的批评	175
13.7 下一跳转发	155	14.15 小结	177
13.8 源无关	156	14.16 练习	177
13.9 分层地址与路由的关系	157	第 15 章 网络特性: 所有权、服务模式	
13.10 广域网内的路由	157	与性能	178
13.11 默认路由的使用	159	15.1 简介	178
13.12 路由表计算	159	15.2 网络所有权	178
13.13 计算图中最短路径	160	15.2.1 专用网络	178
13.14 分布式路由计算	161		

15.2.2 公共网络	179	15.16 小结	188
15.3 私密性与公共网络	179	15.17 练习	189
15.4 优点与缺点	179	第 16 章 协议与分层	190
15.5 虚拟专用网	180	16.1 简介	190
15.6 保证绝对私密性	181	16.2 协议需求	190
15.7 服务模式	181	16.3 协议组	191
15.8 面向连接服务模式	182	16.4 一个协议设计方案	191
15.8.1 连续的通信和突发的通信	182	16.5 七层	192
15.8.2 单工和全双工连接	182	16.6 栈：分层软件	193
15.8.3 连接持续时间与永久性	182	16.7 分层软件如何工作	194
15.8.4 服务保证	182	16.8 多重嵌套头部	194
15.8.5 流接口或消息接口	182	16.9 分层的科学基础	195
15.9 无连接服务模式	183	16.10 协议使用的技术	195
15.10 内部和外部服务模式	183	16.10.1 无序传送的序列化	196
15.11 服务模式的对比	183	16.10.2 删除复制数据包的序列化	197
15.12 服务模式的实例	184	16.10.3 重传丢失的数据包	197
15.13 地址与连接标识符	184	16.10.4 避免因过多延迟造成的重播 (replay)	198
15.14 网络性能特性	185	16.10.5 防止数据溢出的流控制	198
15.14.1 延迟	185	16.10.6 避免网络拥塞的机制	201
15.14.2 吞吐量	186	16.11 协议设计的艺术	202
15.14.3 延迟和吞吐量之间的关系	186	16.12 小结	203
15.14.4 延迟-吞吐量乘积	187	16.13 练习	203
15.15 抖动	188		
15.15.1 等时网络	188		
15.15.2 异步网络	188		

第 3 部分 网 络 互 连

第 17 章 网络互连：概念、体系结构和 协议

205

17.1 简介	205
17.2 网络互连的原因	205
17.3 通用服务的概念	205
17.4 异构系统中的通用服务	206

17.5 网络互连	206
17.6 使用路由器的物理网络连接	207
17.7 互连网体系结构	207
17.8 实现通用服务	208
17.9 虚拟网络	208
17.10 网络互连协议	209
17.11 网络互连和 TCP/IP 重要性	210

17.12 分层和 TCP/IP 协议	210	19.1 简介	230
17.13 主机、路由器和协议层	211	19.2 协议地址和数据包传送	230
17.14 小结	212	19.3 地址解析	231
17.15 练习	212	19.4 地址解析技术	232
第 18 章 IP: 网际协议地址	214	19.5 表查找的地址解析	232
18.1 简介	214	19.6 使用 closed-form 计算的地址解析 ..	234
18.2 虚拟互连网地址	214	19.7 使用消息交换的地址解析	234
18.3 IP 编址模式	215	19.8 地址解析协议 (ARP)	236
18.4 IP 地址的层次	215	19.9 ARP 消息传送	236
18.5 最初的 IP 地址类	216	19.10 ARP 消息格式	237
18.6 地址类的计算	217	19.11 发送一个 ARP 消息	238
18.7 点分十进制表示法	218	19.12 标识 ARP 帧	238
18.8 类和点分十进制表示法	219	19.13 缓存 ARP 应答	239
18.9 地址空间的划分	219	19.14 处理到来的 ARP 消息	239
18.10 地址权威	220	19.15 分层、地址解析、协议地址	240
18.11 类编址的例子	220	19.16 小结	240
18.12 子网和无类编址	221	19.17 练习	241
18.13 地址掩码	222	第 20 章 IP 数据报和数据报转发	242
18.14 CIDR 表示法	223	20.1 简介	242
18.15 CIDR 地址块的例子	223	20.2 无连接服务	242
18.16 CIDR 主机地址	224	20.3 虚拟数据包	242
18.17 特殊的 IP 地址	224	20.4 IP 数据报	243
18.17.1 网络地址	225	20.5 转发 IP 数据报	244
18.17.2 直接广播地址	225	20.6 IP 地址和路由表项	245
18.17.3 受限广播地址	225	20.7 掩码字段和数据报转发	246
18.17.4 本机地址	225	20.8 目标和下一跳地址	246
18.17.5 回送地址	225	20.9 尽力而为的传送	247
18.18 特殊 IP 地址小结	226	20.10 IP 数据报头格式	247
18.19 伯克利广播地址形式	226	20.11 小结	248
18.20 路由器和 IP 编址原则	227	20.12 练习	249
18.21 多宿主机	228	第 21 章 IP 封装、分片和重组	250
18.22 小结	228	21.1 简介	250
18.23 练习	229	21.2 数据报传输和帧	250
第 19 章 绑定协议地址 (ARP)	230	21.3 封装	250

21.4 在互连网上的传输	251	第 24 章 TCP: 可靠传输服务	275
21.5 MTU, 数据报大小和封装	252	24.1 简介	275
21.6 重组	253	24.2 可靠传输的需求	275
21.7 标识数据报	254	24.3 传输控制协议	275
21.8 片段丢失	254	24.4 TCP 提供给应用程序的服务	276
21.9 将片段再次分片	255	24.5 端到端服务和数据报	276
21.10 小结	255	24.6 可靠性	277
21.11 练习	256	24.7 数据包的丢失和重新传送	278
第 22 章 未来的 IP (IPv6)	257	24.8 自适应重新传送	279
22.1 简介	257	24.9 重新传送次数的比较	279
22.2 IP 的成功	257	24.10 缓冲区、流控制和窗口	280
22.3 改变的原因	258	24.11 3 次握手	281
22.4 名称和版本号	258	24.12 拥塞控制	282
22.5 IPv6 的特点	259	24.13 TCP 数据段的格式	283
22.6 IPv6 数据报格式	259	24.14 小结	283
22.7 IPv6 基本头格式	260	24.15 练习	284
22.8 IPv6 如何处理多个头部	261	第 25 章 Internet 路由	285
22.9 分片、重组和 path MTU	262	25.1 简介	285
22.10 多个头部的目的	263	25.2 静态与动态路由	285
22.11 IPv6 编址	264	25.3 主机的静态路由和默认路由	285
22.12 IPv6 冒号十六进制表示法	265	25.4 动态路由和路由器	286
22.13 小结	265	25.5 全球 Internet 路由	288
22.14 练习	266	25.6 自治系统概念	288
第 23 章 错误报告机制 (ICMP)	267	25.7 Internet 路由协议的两种类型	289
23.1 简介	267	25.7.1 内部网关协议 (IGP)	289
23.2 尽力而为的语法和错误检测	267	25.7.2 外部网关协议 (EGP)	289
23.3 互连网控制消息协议	268	25.7.3 何时使用 EGP 和 IGP	289
23.4 ICMP 消息传输	270	25.7.4 最优路由、路由度量和 IGP	290
23.5 使用 ICMP 消息检测可达性	271	25.8 路由和数据流量	291
23.6 使用 ICMP 跟踪路由	271	25.9 边界网关协议 (BGP)	291
23.7 由 traceroute 输出的最后地址	272	25.10 路由信息协议 (RIP)	292
23.8 ICMP 用于 path MTU 发现	273	25.11 RIP 数据包格式	293
23.9 小结	274	25.12 开放最短路径优先协议 (OSPF) ..	294
23.10 练习	274	25.13 OSPF 示例图	295
		25.14 OSPF 区域	295

25.15 组播路由.....	296	25.15.4 组播协议.....	298
25.15.1 IP 组播语义.....	296	25.16 小结.....	299
25.15.2 IGMP.....	297	25.17 练习.....	300
25.15.3 转发和发现技术.....	297		

第 4 部分 网 络 应 用

第 26 章 客户-服务器交互 301

26.1 简介.....	301
26.2 应用软件提供的功能.....	301
26.3 互连网提供的功能.....	302
26.4 取得联系.....	302
26.5 客户-服务器模式.....	303
26.6 客户和服务器的特点.....	303
26.7 服务器程序和服务器级计算机.....	304
26.8 请求、响应和数据流方向.....	304
26.9 传输协议和客户-服务器交互.....	304
26.10 一台计算机上的多种服务.....	305
26.11 标识某一特定的服务.....	306
26.12 提供单一服务的多个服务器拷贝.....	306
26.13 动态服务器创建.....	307
26.14 传输协议和确定通信.....	307
26.15 面向连接和无连接传输.....	308
26.16 多协议均可到达的服务.....	308
26.17 复杂的客户-服务器交互.....	309
26.18 交互和环形依赖.....	309
26.19 小结.....	310
26.20 练习.....	310

第 27 章 套接字接口 311

27.1 简介.....	311
27.2 应用程序接口.....	311
27.3 套接字 API.....	311
27.4 套接字和套接字库.....	312
27.5 套接字通信和 UNIX I/O.....	313

27.6 套接字、描述字和网络 I/O.....	313
27.7 参数和套接字 API.....	314
27.8 实现套接字 API 的过程.....	314
27.8.1 socket 过程.....	314
27.8.2 close 过程.....	315
27.8.3 bind 过程.....	315
27.8.4 listen 过程.....	316
27.8.5 accept 过程.....	317
27.8.6 connect 过程.....	317
27.8.7 send, sendto 和 sendmsg 过程.....	318
27.8.8 recv, recvfrom 和 recvmsg 过程.....	319
27.9 使用套接字读和写.....	320
27.10 其他套接字过程.....	320
27.11 套接字、线程和继承.....	320
27.12 小结.....	321
27.13 练习.....	322

第 28 章 客户和服务器的例子 323

28.1 简介.....	323
28.2 面向连接的通信.....	323
28.3 一个服务例子.....	323
28.4 例子程序的命令行参数.....	324
28.5 套接字过程调用顺序.....	324
28.6 客户例子的代码.....	325
28.7 服务器例子的代码.....	328
28.8 流服务和多个 recv 调用.....	331
28.9 套接字过程和阻塞.....	332
28.10 代码大小和错误报表.....	332

28.11 使用另一种服务检测客户例子.....	333	30.12 邮件网关.....	357
28.12 使用另一个客户检测服务器例子	333	30.13 自动邮件列表.....	358
28.13 小结.....	334	30.14 邮件中继和电子邮件地址.....	358
28.14 练习.....	334	30.15 邮箱存取.....	359
第 29 章 域名系统的命名.....	336	30.16 拨号连接和 POP.....	360
29.1 简介.....	336	30.17 小结.....	361
29.2 计算机名称的结构.....	336	30.18 练习.....	362
29.3 地理结构.....	338	第 31 章 文件传输和远程文件存取 ...	363
29.4 组织中的域名.....	338	31.1 简介.....	363
29.5 DNS 客户-服务器模型.....	339	31.2 数据传输和分布式计算.....	363
29.6 DNS 服务器层次结构.....	340	31.3 存储中间结果.....	363
29.7 服务器结构.....	341	31.4 通用文件传输.....	364
29.8 引用的本地化和多服务器.....	342	31.5 交互式 and 批处理传输模式.....	364
29.9 服务器之间的链接.....	342	31.6 文件传输协议.....	365
29.10 名称解析.....	343	31.7 FTP 通用模式和用户接口.....	365
29.11 DNS 性能优化.....	344	31.8 FTP 命令.....	366
29.12 DNS 入口的类型.....	345	31.9 连接、认证和文件存取权限.....	367
29.13 使用 CNAME 类型的别名.....	345	31.10 匿名文件存取.....	367
29.14 多类型的重要性.....	346	31.11 双向文件传输.....	368
29.15 缩写与 DNS.....	346	31.12 文件名称的通配符.....	368
29.16 小结.....	347	31.13 文件名转换.....	369
29.17 练习.....	347	31.14 改变目录和列表内容.....	369
第 30 章 电子邮件表示和传输.....	349	31.15 文件类型和传输模式.....	370
30.1 简介.....	349	31.16 使用 FTP 的例子.....	370
30.2 电子邮件范型.....	349	31.17 详细输出.....	373
30.3 电子邮箱和地址.....	349	31.18 FTP 中的客户-服务器交互.....	373
30.4 电子邮件消息格式.....	350	31.19 控制和数据连接.....	373
30.5 副本拷贝.....	352	31.20 数据连接和文件的结束.....	374
30.6 通用因特网邮件扩展.....	353	31.21 普通文件传输协议.....	375
30.7 电子邮件和应用程序.....	354	31.22 网络文件系统.....	375
30.8 邮件传输.....	354	31.23 小结.....	376
30.9 简单邮件传输协议.....	355	31.24 练习.....	377
30.10 一台计算机上的多接收者优化.....	355	第 32 章 万维网页面和浏览.....	378
30.11 邮件查看、列表和转发.....	356	32.1 简介.....	378