



国外电子信息经典教材

Mc  
Graw  
Hill Education

# COMMUNICATION NETWORKS

Fundamental Concepts and  
Key Architectures  
(Second Edition)

# 通信网

——基本概念与主体结构  
(第2版)

(美) Alberto Leon-Garcia 编著  
Indra Widjaja  
王海涛 李建华 等译  
宋俊德 战晓苏 审校



清华大学出版社

国外电子信息经典教材

# 通 信 网

—— 基本概念与主体结构

(第 2 版)

(美)	Alberto Leon-Garcia	编著
	Indra Widjaja	
	王海涛 李建华	等译
	宋俊德 战晓苏	审校

清华大学出版社

北 京

Alberto Leon-Garcia, Indra Widjaja

Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, Second Edition

EISBN: 0-07-119848-2

Copyright © 2004 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition is published and distributed exclusively by Tsinghua University Press under the authorization by McGraw-Hill Education(Asia) Co., within the territory of the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行。未经许可之出口视为违反著作权法,将受法律之制裁。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。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-8678

**版权所有, 翻版必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933**

**本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签, 无标签者不得销售。**

#### 图书在版编目(CIP)数据

通信网——基本概念与主体结构(第2版)/(美)加西亚(Garcia, A.L.), (美)维得加加(Widjaja, I.)编著; 王海涛, 李建华等译; 宋俊德, 战晓苏审校. —北京: 清华大学出版社, 2005.9

书名原文: Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, Second Edition

(国外电子信息经典教材)

ISBN 7-302-09604-X

I. 通… II. ①加… ②维… ③王… ④李… ⑤宋… ⑥战… III. 通信网—教材 IV.TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 096943 号

出版者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦  
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084  
社总机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 曹 康

文稿编辑: 王 黎

封面设计: 康 博

版式设计: 康 博

印装者: 清华大学印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 45 字数: 1152 千字

版 次: 2005年9月第1版 2005年9月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-09604-X/TP·6660

印 数: 1~5000

定 价: 81.00 元

# 出版说明

电子信息产业是一项新兴的高科技产业，有“朝阳产业”之称，有着巨大的潜力和广阔的发展前景。近年来，我国电子信息产业的飞速发展，大大推动了对电子信息类人才的需求，迫切需要我国的高等院校能够培养出大批符合企业要求的电子信息类人才。

教育与教材的关系始终是密不可分的，教材的合适与否会直接影响到培养人才的质量好坏。虽然目前我国高校中现行的电子信息类教材曾经对我国电子信息类人才的培养做出了非常重要的贡献，但是确实普遍存着一些问题，如“课程系统老化”、“内容落伍”、“惯性大，更新速度慢”、“针对性差”、“缺乏原创精品”等等，教学内容和课程体系的改革已经成为目前教学改革过程中的当务之急。

基于这种背景，我们决定在国内引进并推出一套“国外电子信息经典教材”，通过系统地研究和借鉴国外一流大学的相关教材，为我国高校的课程改革和国际化教学进程提供参考和推动作用。

为了组织该套教材的出版，我们在国内聘请了一批资深的专家和教授，共同成立了教材编审委员会。由编委会结合目前国内高校电子信息类专业的课程体系和教学内容，从 McGraw-Hill Education、Thomson Learning、John Wiley & Sons 和 Springer 等一批国际著名的教育出版集团，精选出一套“国外电子信息经典教材”。列选的每本教材都经过了国内相应领域的资深专家推荐和审读，对于一些基础类的专业课程，我们列选了多种不同体系、不同风格和不同层次的教材，以供不同要求和不同学时的同类课程使用。为了确保该套教材的质量，我们聘请了高校相应专业的资深教师和相应领域的专家担纲译者，加强了该套教材各个出版环节的编审力量和质量控制。另外，为了丰富国内的教学资源，我们在引进教材的同时也积极引进了教材配套的教学资源。

该套教材的读者对象为电子信息与电气工程类专业的本科生，同时兼顾相关工程学科各专业的本科生或研究生。该套教材既可作为相应课程的教材或教学参考书，也适于相应技术领域的工程师和技术人员参考或自学。

尽管我们作了种种努力，但该套教材书目选择的恰当性，内容的合理性，都还有待于通过教学实践来检验。首先感谢选用该套教材的广大教生对我们的支持，同时期待广大读者积极为该套教材提出意见或建议。

# 前 言

## 学习目标

通信网目前正处于转变的时期，即从基于电话结构和标准的网络转向基于 IP 结构的网络。导致这种转变的主要原因是，Internet 已经延伸到了全球电话网的每一个角落，我们可以利用 Internet 进一步拓展高速率的新业务和新应用。对于学生而言，许多新的业务和应用都是显而易见的。例如，除了电子邮件和 Web 浏览，还可以在 Internet 上购买或出售商品，交换 MP3 和其他文件(如 Napster、KaZaA)以及交互式游戏、视频流(CNN)和基于 IP 的语音会话(网络会议、ICQ)等。其他许多应用和业务也正给商业、制造业、国际商务、医疗以及政府管理带来深远的影响。

在开展新业务的迫切压力下，通信网的基础结构正经历着巨大的变革，而科技的不断创新使得这种变革得以实现。新一代无线设备结合了便携式电话、个人数字助理，甚至数码相机等各种设备，正在实现一种新的移动通信模式，如短信传送、事件通告、电子邮件和 Web 浏览。这些无线设备将为通信的发展开辟一条新的道路，即从传统电话转向基于 IP 的多媒体通信模式。当然，用于实现蜂窝网和电话网所有功能的信令系统也将不可避免地被基于 IP 的更加通用的信令所替代。新一代基于 IP 的协议将用于控制和管理下一代网络的资源。

令人兴奋的是，本书包含了新业务和正在兴起的下一代网络体系结构的内容。本书的目的主要是为了介绍基本网络体系结构的概念和原理以及它们在现有和新兴网络中的应用。我们着重强调了 IP 协议在未来网络中的关键作用，并同时给出了网络基本概念的广阔应用范围。我们希望读者了解不同的网络设计方案，从而对未来网络的不断变化做好充分的准备。

## 适用课程

本书可用于计算机网络和通信网的入门性课程，适用于电气工程、计算机科学专业的高年级本科生和研究生一年级的学生。本书涵盖了计算机网络和通信网课程中一个学期所要学习的全部基本内容，在后续章节中还包含了一些附加内容和高级主题，因此本书也可用于两个学期的连续课程。由于书中包含了新兴网络体系结构的最新内容，所以也适用于工程技术和计算机方面的专业人员。

作为先决条件，本书假定读者具备计算机系统方面的常识，在某些可选章节中，读者还需要具备程序设计、初等概率论和初等微积分学的知识。这些章节前已标注有\*号，学生在阅读本书时可以跳过相关内容。

## 方法和内容

本书共分为三个部分。第一部分介绍了网络的演变历程，介绍构成分层网络体系结构基础的主要概念和功能。我们给出研究者所熟悉的网络业务和应用示例(如 Web 浏览、电子邮件和电话)，并说明网络是怎样支持这些业务的。本书构建出一幅网络“全局图”，以帮助理解网络体系结构的各个部分是怎样协同工作，从而组成一个整体的。

### 第一部分 网络的总体描述(第 1、2 章):

- 电报网、电话网和计算机网等概念的演变
- 业务和应用怎样促进网络体系结构的发展
- 不同层之间怎样协作以提供业务
- 应用层、传输层和套接字
- 实验准备：网络协议分析器、IP 实用程序和套接字程序设计

第二部分介绍了网络体系结构的基本概念，并着重介绍协议栈中较低的 4 层。我们首先逐步介绍基本概念和原理，然后再举出具体示例来说明其应用。例如，在介绍 ARQ 的时候，首先把它作为对等协议的一个具体示例来进行详细说明，然后讨论它在 TCP 可靠流服务和流量控制中的应用。这部分的内容不仅涵盖了基本的计算机网络论题，还进一步论述了接入网和传输网、电话和蜂窝业务及其信令。这些附加的内容是可选的，本书之所以包含这些内容，是因为我们相信在不久的将来，网络体系结构的发展势必会将 IP 协议的应用扩展到传统的网络和业务中。

### 第二部分 网络体系结构的基本概念(第 3~7 章):

- 数字传输；铜线、电缆、无线电和光介质
- SONET 和光网络
- 电路交换、信令、电话业务和移动性
- 对等协议设计；PPP、HDLC、POS 和 GFP
- 介质访问控制；以太网和 802.11 无线局域网
- 语音和数字蜂窝网
- 分组交换、路由、拥塞控制和 QoS

第三部分和附录论述了重要的网络体系结构、其他高级主题和下一代网络，以及塑造于下一代网络的协议和标准。

### 第三部分 重要体系结构、高级主题和下一代网络(第 8~12 章及附录):

- IPv4 和 IPv6；TCP、UDP；RIP、OSPF、BGP；DHCP 和移动 IP
- ATM 网络
- 新的体系结构：IntServ、RSVP、DiffServ、对等和重叠模式的网络互联、MPLS 和 GMPLS、RTP、SIP 和 H.323
- 网络安全：DES 和 AES、RSA、IPSec、SSL、TLS 和 802.11
- 多媒体标准：JPEG、MPEG、音频应用、MP3 和 IP 语音会话
- 网络管理和性能建模

本书试图以一种平衡的视角来考虑所有重要的网络基本元素。对于一个学期的介绍性课程来说，因为课时有限，所以对这些重要的网络原理做到面面俱到就显得比较困难。我们对本书

的内容做了较好的组织，尽量以最少的文字来详细说明所有相关的论题。本书的附加内容用于教师进一步深入地研究某些论题。后文还将介绍各章节之间的相关性。

## 相对于第一版的改动

在第2版中最重要的改动是，在网络协议教学中广泛应用的开放源码式的Ethereal网络协议分析器。Ethereal允许任何PC机捕捉实时的网络流量，并分析第二层被捕获的信息流和更高层的头部及净荷。Ethereal用于以下几种情况：

- 利用Ethereal抓包机示例来说明协议的操作，如HTTP、SMTP、Telnet、SIP、RSVP、RTP、DNS、TCP、UDP、OSPF、IP、ARP、Ethernet、802.11、PPP、LCP、IPCP、SSL和TLS等的操作。
- 习题部分的某些练习要求学生自己来实现抓包机，利用真实的网络流量来检验和分析协议的操作。

本书的第2版在组织结构和内容上也存在不少变化。下面，我们将列出本书相对于第1版在结构和内容上的主要改变：

- 我们已对本书内容做了重新编排，在阅读的时候可以跳过部分选读章节，而不会影响主题内容的连续性。包含可选读内容的章节用星号(\*)在标题处标识出来。
- 缩减了第1章的内容，简化了有关网络发展历程的讨论，在讨论网络演变的同时介绍网络每一层的功能。
- 在第2章讨论所有的层怎样协同工作时，引入了几个使用Ethereal进行分组捕捉的示例，对该问题的论述做了进一步改进。此外，我们对讨论应用层协议的章节进行了扩展，并新增加了一节内容来介绍网络协议分析器。
- 将对PCM语音编码的论述从第12章移到了第3章。
- 第4章中，我们对SONET和光传输网做了更为详细的介绍，删除了卫星蜂窝网的内容。
- 第5章现在包含两部分内容。第I部分使用可靠数据传输协议作为示例来介绍对等协议，另外还包括TCP可靠字节流服务的内容。第II部分集中介绍数据链路层协议，且增加一节内容来介绍成帧技术。
- 第6章也被分为两部分。第I部分介绍介质访问控制协议的原理，第II部分介绍局域网。我们简化了介质访问控制的数学讨论，并用单独的一节对其进行详细讨论。
- 在第7章中，我们简化了分组网的讨论，并详细地单独介绍了目前较为先进的流量管理技术。
- 第8章使用了分组捕捉的示例来说明TCP/IP协议的操作。
- 第10章的章名是“现代网络体系结构”，我们对该章内容做了较大改动。把原来讨论ATM over IP的部分删除掉，取而代之的是对用于网络互联的重叠模型和对等模型的讨论。该章还介绍了虚拟网络和GMPLS，更新了RTP和SIP的内容，并把它们从第12章移到本章。
- 第11章的内容有所更新，简要讨论了高级加密标准和802.11的安全机制。

## 各章节的相关性

本书的编写是为了用于计算机和通信网方面的各种入门课程。通过适当地选择章节，教师可以有自己授课的侧重点，也可以根据学生的具体情况适当地调整内容。图 1 是本书各章节之间相关性的流程图。其中，实线表明了主题的顺序，这些主题形成了大多数入门课程的核心。虚线表明了可以在各主题区域内进行进一步深入讨论的小节。圆括号中的小节号表示仅子节存在相关性。第 8 章之后(包括第 8 章)各章间的相关性较小。第 11 章仅在 IPv4 和 IPv6 的头结构部分与第 8 章关联；第 12 章仅与 3.1 节和 3.2 节相关；附录 A 中的排队模型为 4.7 节、5.7 节和 6.5 节提供了参考资料，因为这些小节都涉及到了性能建模。

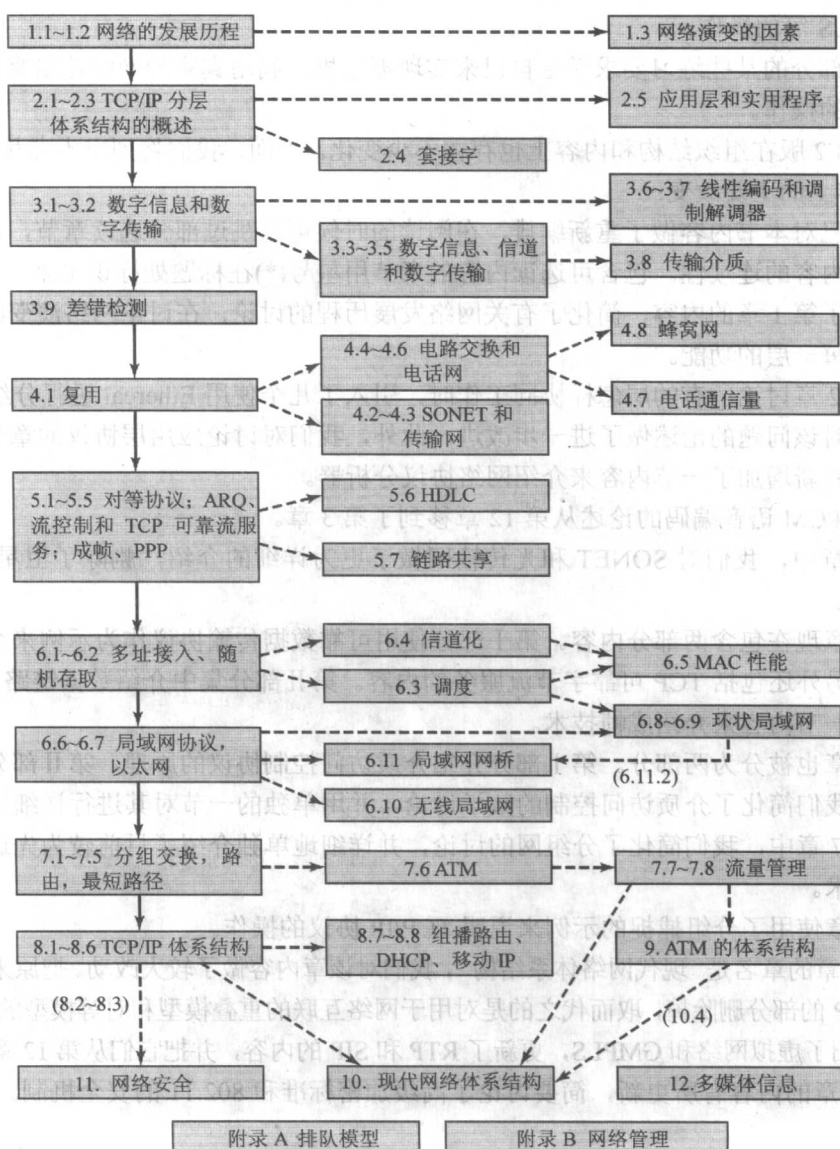


图 1 各章节间的相关性(实线箭头说明了核心主题的顺序)



## 教学工具

在本书中，我们对第1版所使用的教学工具进行了改进，并应用了一些新的教学工具。

- **Ethereal 虚拟实验室。**实验是对课堂上所学概念加深理解的最有效手段。在物理层有多种工具(如示波器、频谱仪、分析器、误比特率装置)，不仅可以用来调试系统，还可以在实验室中用于教学和演示实际系统中各种原理和概念的应用。Jacobson、Leres 和 McCanne 编写的 tcpdump 程序已成为许多网络协议分析器的基础。目前在实际环境和实验室里，网络协议分析器被用来调试网络系统中所使用的协议。开放源码的 Ethereal 工具就是一种网络分析器，它支持大量的网络协议，并由一个巨大的开发者团队对其进行不断更新。我们已经在课堂上和实验中采用 Ethereal 来讲解协议，发现采用 Ethereal 可以有效地把协议的原理和概念生动地展现在学生面前。

图2显示了采用 Ethereal 进行分组捕捉的示例，学生可以很容易地在家中从 PC 机上捕捉到类似的视图。在该图中，最上面的窗格显示了学生在点击一个网络链接后所产生的分组序列：DNS 查询和应答；TCP 通过三次握手建立连接；HTTP 请求，然后依次是 TCP 确认应答和 HTTP 开始响应。通过这种方式，我们可以分析多种类型协议分组顺序的交换。中间的窗格使得使用者可以深入研究第二层及其上层的任何协议数据单元头部的详细信息，另外，它还显示了 IP、UDP 和 DNS 头部的详细内容。底部的窗格使用户可以有针对性地研究头部和净荷中比特和字节的内容。Ethereal 已经开发出一系列丰富的功能，用于在实验室开发和实际环境下调试协议，这使得 Ethereal 成为功能强大的教学工具。

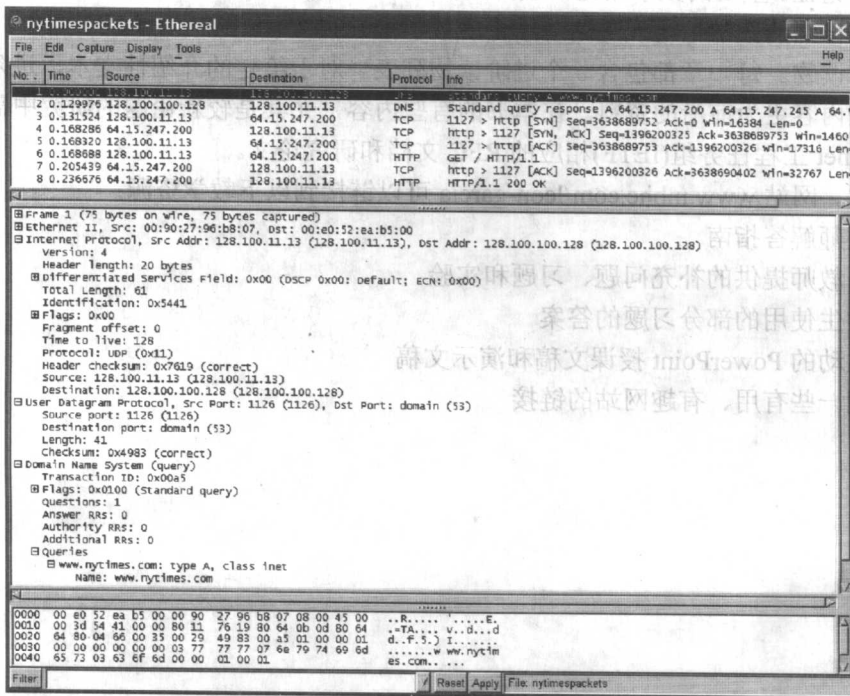


图2 Ethereal 示例窗口

本书使用 Ethereal 来分析 PPP、HDLC、Ethernet、MPLS、IP、IPv6、OSPF、UDP、TCP、DNS、HTTP、RTP、SIP、H.323、SSL 和 TLS。本书还介绍了一些网络应用程序，如 PING、IPconfig、netstat 和 traceroute，这些程序都可以用在需要 Ethereal 分组捕捉的练习中。

另外本书还采用如下内容来帮助读者更透彻地理解所学知识。

- 大量的图表，如网络示意图、时间图、性能图解和状态转换图。这些图在说明网络的原理和概念时都是必不可少的有效工具。
- 大量的示例。在讨论基本概念和原理的同时，会结合具体示例来说明这些概念和原理在实际环境中的应用。在可能的情况下，原文中还将包括用数字表示的示例。
- 注意部分。注意部分用来论述网络的发展趋势以及业界所关注的发展状况，并预测网络未来的发展，激发新的研究课题。
- 习题。作者坚信在学习的过程中必定包含疑难问题的解决。本书大约含有 600 道习题。每一章的习题包括从概念和原理的简单应用到各种原理和问题的研究、开发或详细阐述，难度深浅不一。定量分析的习题包含从简单的计算到某些算法、技术或网络的各个方面简要的论文研究。我们也在相关的章节中安排了一些涉及到套接字和 TCP/IP 应用程序的程序设计题。
- 章首简介。每一章都包含一段介绍性的文字，概述了该章和网络“全局图”上下文所包含的内容。
- 章尾的总结和重要术语列表。每一章都包含一段结束语，总结说明了该章中最重要的概念和原理。重要术语的列表有助于学生复习书中的内容。
- 数学论证。重要的数学结论一般都放在正文中做概要论述。数学论证小节(可选)则包含更为详细的数学论述或是这些结论的数学推导。
- 进阶读物。每一章都包含一个进阶读物列表。对于给定的介绍性文本，进阶读物多是一些内容更为前沿的资料。在本书的有些内容，尤其是较新论题的研究中需要参考 Internet 工程任务组(IETF)相应的 RFC 文档和研究论文。
- 网站。网站 [www.mhhe.com/leon-garcia](http://www.mhhe.com/leon-garcia) 可以链接到以下教学资源：
  - ◆ 教师解答指南
  - ◆ 为教师提供的补充问题、习题和实验
  - ◆ 学生使用的部分习题的答案
  - ◆ 生动的 PowerPoint 授课文稿和演示文稿
  - ◆ 到一些有用、有趣网站的链接

# 目 录

<b>第 1 章 通信网及其业务</b> .....1	2.5.4 IP 实用工具.....70
1.1 网络体系结构及其业务的发展 历程.....1	2.5.5 tcpdump 和网络协议分析器.....73
1.1.1 电报网和报文交换.....2	2.6 小结.....74
1.1.2 电话网和电路交换.....4	2.7 重要术语.....74
1.1.3 Internet、计算机网和分组交 换.....7	2.8 进阶读物.....75
1.2 未来的网络体系结构及其服务.....17	2.9 习题.....76
1.3 通信网络发展的关键因素.....19	<b>第 3 章 数字传输的基本原理</b> .....82
1.3.1 技术的作用.....19	3.1 信息的数字化表示.....83
1.3.2 政府的作用.....21	3.1.1 面向块的信息.....83
1.3.3 市场的作用.....21	3.1.2 面向流的信息.....85
1.3.4 标准的作用.....22	3.2 采用数字化通信的原因.....87
1.4 重要术语.....22	3.2.1 模拟传输和数字传输的比较.....88
1.5 进阶读物.....24	3.2.2 数字传输系统的基本属性.....90
1.6 习题.....24	3.3 模拟信号的数字化表示.....93
<b>第 2 章 应用与分层的体系结构</b> .....28	3.3.1 模拟信号带宽.....94
2.1 协议、服务和分层示例.....29	3.3.2 模拟信号采样.....96
2.1.1 HTTP、DNS 和 SMTP.....29	3.3.3 模拟信号的数字传输.....97
2.1.2 TCP 和 UDP 传输层服务.....35	*3.3.4 量化器的 SNR 性能.....100
2.2 OSI 参考模型.....35	3.4 信道的特征.....100
2.2.1 7 层 OSI 参考模型.....36	3.4.1 频域特征.....100
2.2.2 层、协议与服务的统一.....39	3.4.2 时域特征.....103
2.3 TCP/IP 体系结构概述.....42	3.5 数字传输中的基本限制.....104
2.3.1 TCP/IP 体系结构.....42	3.5.1 奈奎斯特信号速率.....105
2.3.2 TCP/IP 协议: 各层的协作方式.....44	3.5.2 香农信道容量.....107
2.3.3 协议概述.....49	3.6 线性编码.....109
*2.4 BERKELEY 应用编程接口.....50	3.7 调制解调器与数字调制.....111
2.4.1 套接字系统调用.....52	3.7.1 二进制相位调制.....112
2.4.2 网络的实用函数.....55	3.7.2 QAM 和信号星座图.....113
*2.5 应用层协议和 TCP/IP 实用工具.....63	3.7.3 电话调制解调器标准.....115
2.5.1 Telnet.....63	3.8 数字传输系统和传输介质的 属性.....117
2.5.2 文件传输协议.....65	3.8.1 双绞线.....118
2.5.3 超文本传输协议和万维网.....67	3.8.2 同轴电缆.....121

3.8.3	光纤	124	*4.7	电话网的流量和过载控制	202
3.8.4	无线电传输	128	4.7.1	集中	202
3.8.5	红外线	130	4.7.2	路由控制	205
3.9	检错和纠错	131	4.7.3	过载控制	207
3.9.1	错误检测	131	4.8	蜂窝电话网	208
3.9.2	二维奇偶校验	134	4.9	小结	213
3.9.3	Internet 校验和	135	4.10	重要术语	214
3.9.4	多项式编码	136	4.11	进阶读物	215
3.9.5	标准多项式码	139	4.12	习题	216
3.9.6	多项式编码的错误检测能力	140	<b>第 5 章 对等协议和数据链路层</b>	<b>224</b>	
3.9.7	线性编码	141	第 I 部分: 对等协议	225	
3.9.8	纠错	146	5.1	对等协议和服务模型	225
3.10	小结	150	5.1.1	服务模型	225
3.11	重要术语	151	5.1.2	服务示例	227
3.12	进阶读物	153	5.1.3	端对端方式和逐跳方式	228
3.13	习题	153	5.2	ARQ 协议和可靠的数据传输	
3.14	附录 3A: 异步数据传输	160	服务	231	
3.15	附录 3B: 傅里叶级数	162	5.2.1	停止-等待式 ARQ	233
3.16	附录 3C: 采样定理	163	5.2.2	后退 N 帧式 ARQ	238
<b>第 4 章 电路交换网</b>		<b>165</b>	5.2.3	选择重传式 ARQ	245
4.1	复用技术	166	5.3	其他对等协议	250
4.1.1	频分复用	166	5.3.1	滑动窗流量控制	250
4.1.2	时分复用	167	5.3.2	同步服务的定时恢复	251
4.1.3	波分复用	169	5.3.3	TCP 可靠的流服务和流量控制	254
4.2	SONET	170	第 II 部分: 数据链路控制	257	
4.2.1	SONET 复用技术	171	5.4	成帧	257
4.2.2	SONET 帧结构	172	5.5	点对点协议	261
4.3	传输网	176	5.6	HDLC 数据链路控制	264
4.3.1	SONET 网络	176	5.6.1	数据链路服务	264
4.3.2	光传输网络	184	5.6.2	HDLC 的配置和传输模式	265
4.4	电路交换器	186	5.6.3	HDLC 帧格式	265
4.4.1	空分交换机	187	5.6.4	典型的帧交换	267
4.4.2	时分交换机	189	*5.7	使用分组复用器的链路共享	269
4.5	电话网	193	5.7.1	统计复用	269
4.5.1	传输设施	195	5.7.2	话音内插和分组化话音的复用	275
4.5.2	端到端的数字业务	197	5.8	小结	278
4.6	信令	199	5.9	重要术语	279
4.6.1	电话网中的信令	199	5.10	进阶读物	281
4.6.2	7 号信令系统体系结构	201	5.11	习题	281

5.12 附录 5A: ARQ 协议效率的推导 .....	290	6.7.3 物理层 .....	341
<b>第 6 章 局域网和介质访问控制协议</b> .....	<b>292</b>	6.7.4 快速以太网 .....	343
第 I 部分: 介质访问控制协议 .....	293	6.7.5 吉比特以太网 .....	344
6.1 多路访问通信 .....	293	6.7.6 10GB 以太网 .....	345
6.2 随机访问 .....	299	6.8 令牌环和 IEEE 802.5 局域网标准 .....	346
6.2.1 ALOHA .....	300	6.8.1 令牌环协议 .....	347
6.2.2 时隙 ALOHA .....	301	6.8.2 帧结构 .....	349
6.2.3 载波侦听多路访问 .....	302	6.9 FDDI .....	350
6.2.4 含碰撞检测的载波侦听多路访问 .....	303	6.10 无线局域网和 IEEE 802.11 标准 .....	352
6.3 介质访问控制的调度方法 .....	307	6.10.1 特定网络和基础设施网络 .....	354
6.3.1 预约系统 .....	307	6.10.2 帧结构和寻址 .....	356
6.3.2 轮询 .....	308	6.10.3 介质访问控制 .....	357
6.3.3 令牌传送环 .....	311	*6.10.4 物理层 .....	362
6.3.4 介质访问控制的调度方法的比较 .....	313	6.11 局域网网桥和以太网交换机 .....	367
6.3.5 随机访问和调度介质访问控制的比较 .....	314	6.11.1 透明网桥 .....	369
*6.4 信道化 .....	315	6.11.2 源路由网桥 .....	374
6.4.1 FDMA .....	315	6.11.3 混合介质网桥 .....	376
6.4.2 TDMA .....	316	6.11.4 虚拟局域网 .....	376
6.4.3 CDMA .....	317	6.12 小结 .....	377
6.4.4 蜂窝电话网络中的信道化 .....	323	6.13 重要术语 .....	378
*6.5 MAC 和信道化技术的延时性能 .....	328	6.14 进阶读物 .....	381
6.5.1 信道化技术在突发性业务方面的性能 .....	328	6.15 习题 .....	381
6.5.2 轮询和令牌环系统的性能 .....	330	<b>第 7 章 分组交换网</b> .....	<b>388</b>
6.5.3 随机访问和 CSMA-CD .....	333	7.1 网络服务和网络内部操作 .....	389
第 II 部分: 局域网 .....	333	7.2 分组网络拓扑 .....	392
6.6 局域网协议 .....	333	7.3 数据报和虚电路 .....	396
6.6.1 局域网的结构 .....	334	7.3.1 无连接的分组交换 .....	397
6.6.2 介质访问控制子层 .....	335	7.3.2 虚电路分组交换 .....	400
6.6.3 逻辑链路控制子层 .....	336	7.3.3 分组交换机的结构 .....	403
6.7 以太网和 IEEE 802.3 局域网标准 .....	338	7.4 分组网络中的路由选择 .....	406
6.7.1 以太网协议 .....	338	7.4.1 路由算法的分类 .....	407
6.7.2 帧结构 .....	339	7.4.2 路由表 .....	408
		7.4.3 分级路由 .....	410
		7.4.4 特殊的路由 .....	411
		7.5 最短路径路由 .....	413
		7.5.1 Bellman-Ford 算法 .....	413
		7.5.2 Dijkstra 算法 .....	419

7.5.3 源路由与逐跳路由	421	8.6 Internet 路由协议	492
7.5.4 链路状态路由和距离矢量路由	422	8.6.1 路由信息协议	493
7.6 ATM 网络	422	8.6.2 开放最短路径优先	494
7.7 分组级的业务量管理(流量管理)	426	8.6.3 边界网关协议	501
7.7.1 FIFO 和优先级队列	427	8.7 组播路由	510
7.7.2 公平队列	429	8.7.1 反向路径广播	511
7.7.3 加权公平队列	432	8.7.2 Internet 组管理协议	513
7.7.4 随机早期检测	434	8.7.3 反向路径组播	514
7.8 流级的业务量管理	434	8.7.4 距离矢量组播路由协议	515
7.8.1 开环控制	435	8.8 DHCP、NAT 和移动 IP	515
7.8.2 闭环控制	442	8.8.1 动态主机配置协议	515
7.9 流聚集级的业务量管理	444	8.8.2 网络地址翻译	516
7.10 小结	444	8.8.3 移动 IP	516
7.11 重要术语	445	8.9 小结	518
7.12 进阶读物	446	8.10 重要术语	519
7.13 习题	447	8.11 进阶读物	521
<b>第 8 章 TCP/IP 协议</b>	<b>455</b>	8.12 习题	522
8.1 TCP/IP 体系结构	456	<b>第 9 章 ATM 网络</b>	<b>529</b>
8.2 网际协议	458	9.1 提出 ATM 的动机	529
8.2.1 IP 分组	458	9.2 BISDN 参考模型	530
8.2.2 IP 地址	460	9.3 ATM 层	533
8.2.3 子网地址	461	9.3.1 ATM 信元头	533
8.2.4 IP 路由	463	9.3.2 虚连接	535
8.2.5 无类域间路由(CIDR)	465	9.3.3 QoS 参数	535
8.2.6 地址解析	466	9.3.4 流量描述符	537
8.2.7 反向地址解析协议	467	9.3.5 ATM 业务类别	537
8.2.8 分段和重组	467	9.3.6 流量合约、连接接纳控制和 流量管理	539
8.2.9 ICMP: 错误与控制消息	469	9.4 ATM 适配层	540
8.3 IPv6	471	9.4.1 AAL1	541
8.3.1 头部格式	472	9.4.2 AAL2	543
8.3.2 网络编址	473	9.4.3 AAL3/4	545
8.3.3 扩展头	475	9.4.4 AAL5	548
8.3.4 从 IPv4 到 IPv6 的迁移问题	477	9.4.5 信令 AAL	549
8.4 用户数据报协议	478	9.4.6 应用、AAL 和 ATM 业务类别	550
8.5 传输控制协议	479	9.5 ATM 信令	552
8.5.1 TCP 操作和可靠的流服务	479	9.5.1 ATM 编址	552
8.5.2 TCP 协议	481	9.5.2 UNI 信令	553
8.5.3 TCP 拥塞控制	491		

9.5.3 PNNI 信令	556	10.7.2 H.323 多媒体通信系统	604
9.6 PNNI 路由	557	10.7.3 介质网关控制协议	607
9.7 基于 ATM 的 IP 的经典模型	560	10.8 小结	607
9.8 小结	561	10.9 重要术语	608
9.9 重要术语	561	10.10 进阶读物	609
9.10 进阶读物	562	10.11 习题	610
9.11 习题	563	<b>第 11 章 安全协议</b>	<b>615</b>
<b>第 10 章 现代网络体系结构</b>	<b>567</b>	11.1 安全和加密算法	615
10.1 Internet 中的综合业务	568	11.1.1 密码术在安全性中的应用	617
10.1.1 保证型业务	569	11.1.2 密钥的分配	621
10.1.2 受控负载业务	569	11.2 安全协议	623
10.2 RSVP	569	11.2.1 应用场景	623
10.2.1 由接收方发起的预留请求	571	11.2.2 服务类型	624
10.2.2 预留合并	572	11.2.3 安全性关联的建立	626
10.2.3 预留类型	572	11.2.4 IPSec	628
10.2.4 软状态	574	11.2.5 安全套接字层和传输层 安全性	630
10.2.5 RSVP 消息的格式	575	11.2.6 802.11 与有线等效保密 算法	635
10.3 区分业务	577	11.3 加密算法	635
10.3.1 DS 字段	578	11.3.1 数据加密标准(DES)	636
10.3.2 逐跳行为	578	11.3.2 RSA 算法	638
10.3.3 流量调节器	579	11.4 小结	639
10.3.4 带宽代理	580	11.5 重要术语	640
10.4 网络互联模型	581	11.6 进阶读物	641
10.4.1 重叠模型	582	11.7 问题	642
10.4.2 对等模型	583	<b>第 12 章 多媒体信息</b>	<b>645</b>
10.5 MPLS	584	12.1 无损数据压缩	645
10.5.1 标签的基本原理	586	12.1.1 霍夫曼编码	645
10.5.2 标签栈和 LSP 层次	588	12.1.2 游程编码	649
10.5.3 VC 合并机制	589	12.1.3 自适应数据压缩编码	653
10.5.4 标签分配协议	590	12.2 模拟信号的压缩	654
10.5.5 MPLS 对虚拟网的支持	592	12.2.1 自适应量化器	655
10.5.6 生存性	593	12.2.2 预测编码	655
10.5.7 GMPLS	595	12.2.3 变换编码和子带编码	659
10.6 实时传输协议	596	12.3 图像和视频编码	660
10.6.1 RTP 示例和术语	598	12.3.1 离散余弦变换编码	660
10.6.2 RTP 分组的格式	598	12.3.2 JPEG 图像编码标准	661
10.6.3 RTP 控制协议(RTCP)	600	12.3.3 视频信号的压缩	663
10.7 会话控制协议	601		
10.7.1 会话启动协议	602		

12.3.4	MPEG 视频编码标准	665	A.3.1	M/M/1 稳态概率和稳定性 概念	684
12.3.5	MPEG 多路复用技术	667	A.3.2	规模对性能的影响	687
12.4	小结	668	A.3.3	网络的平均分组延迟	687
12.5	重要术语	669	A.4	M/G/1 模型	688
12.6	进阶读物	670	A.4.1	服务时间变化率和延迟	689
12.7	习题	670	A.4.2	优先排队系统	689
			A.4.3	假期模型和复用器性能	690
<b>第 13 章</b>	<b>结束语——网络体系 结构的发展趋势</b>	<b>674</b>	A.5	厄兰 B 公式: M/M/c/c 系统	691
<b>附录 A</b>	<b>延迟和丢失性能</b>	<b>676</b>	A.6	进阶读物	692
A.1	延迟分析和 Little 公式	676	<b>附录 B</b>	<b>网络管理</b>	<b>693</b>
A.1.1	到达速率和流量负荷定义	677	B.1	网络管理概述	693
A.1.2	Little 公式	678	B.2	简单网络管理协议(SNMP)	695
A.2	基本排队模型	680	B.3	管理信息结构	697
A.2.1	到达过程	680	B.4	管理信息库	698
A.2.2	服务时间	681	B.5	远程网络监视	699
A.2.3	排队系统的分类	682	B.6	进阶读物	699
A.3	M/M/1: 基本复用器模型	683			



# 第 1 章 通信网及其业务

最简单的通信网，就是为不同地理位置的用户提供信息传送业务的一组设备和装置。我们最熟悉的通信网是提供电话业务的电话网，它可以在人们之间进行话音信号的双向传输。此外，通信网还包括计算机网、广播电视网、蜂窝网和因特网(Internet)。

通信网提供的服务基本类似于其他常见的公共设施，如供水系统或供电系统。不过，通信网可以在应用中表现出极大的灵活性，就这方面而言，它们更像交通运输网。通信网和运输网已经成为现代社会中必不可少的基础设施，这是因为，它们都可以提供灵活的互连性：运输网允许人员和货物的流动，而通信网则允许信息的传送。运输网和通信网是有效的因为它们都允许开发各种新业务。例如，邮政业务的发展需要一个好的运输系统的支持。同样，其他诸如传真、语音邮件和电子银行等业务的发展需要通信网的支持。

现代通信网能够以非常高的速率传输信息，从而使得用户能够在瞬间获取大量的信息，而借助于计算机，用户又可以执行远距离的实时操作。上述两种能力构成了许多新兴业务和今后不计其数的网络业务的基础。例如，Internet 当前提供的通信业务能够为计算机和服务器提供大量有价值的业务，如：电子邮件、即时消息、信息搜索和检索以及各种形式的电子商务。音频流和交互式网络游戏的兴起都暗示着多媒体业务在未来的 Internet 上具有巨大的潜能。

本章旨在说明网络上的业务是如何影响该网络的设计或“体系结构”的。在 1.1 节中，我们讨论三种示例网络的演变过程及其相关的业务，以阐明网络必须提供的基本要素。在 1.2 节中，我们又重新讨论一些新型、新兴的业务，并考虑这些业务怎样影响着现代网络的发展。1.3 节通过考察影响网络发展的其他因素来结束本章。

## 注意：

Internet 是特指，表示一种基于 TCP/IP 协议和惟一地址控制的全球信息系统，为避免混淆，本书不作翻译；internet 为泛指，表示使用 TCP/IP 互连的所有网络，本书中译为“互联网”。

——编者按

## 1.1 网络体系结构及其业务的发展历程

通信业务包括信息的传输，不同服务的区别之处在于信息具体是如何传输或是以何种形式传输的。我们将使用三个典型的示例网络来详细说明业务是如何影响网络设计的。这三种示例网络是：电报网、电话网和计算机网。对于每一种网络，我们都会概括它的发展过程，然后从一个更为通用的业务/体系结构的观点来讨论网络。通信技术发展的一个指标就是按照比特/秒计量的信息传输速率。图 1-1 给出了在过去的 150 年以来传输比特率的增长情况。现在，我们已经实现了从速度为数十比特/秒的电报系统到速度为太比特(terabit)/秒的现代光系统的过渡。