

高等学校电子信息类教材

计算机网络 原理与技术 (第2版)

Computer Networking:
Principles and Technologies, Second Edition

◎ 刘化君 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机网络工作原理、协议及其实现技术。全书由10章组成,在概述计算机网络基本概念、基本理论问题的基础上,主要讨论了数据通信基础、数据链路控制、局域网、网络互连及其协议、路由技术、网络传输服务、网络应用、多媒体通信网及网络性能分析评价等内容,反映了当前计算机网络领域的新技术和理论成果。为帮助读者掌握基础理论知识,每章附有小结、思考与练习题。

本书具有理论性、创新性和应用性等鲜明特色,内容丰富,全面深入,取材新颖,结构严谨。在文字叙述上由浅入深、循序渐进,概念描述准确,理论讲述透彻。

本书适用范围较广,既可以作为计算机、电子信息、通信工程、信息技术、自动化等专业教材,也可作为相关专业的研究生教材或教学参考书,同时可供从事网络工程的科技人员和网络爱好者参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络原理与技术 / 刘化君编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2012.6
高等学校电子信息类教材
ISBN 978-7-121-17086-7

I. ①计… II. ①刘… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第100984号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn) 特约编辑:王沈平

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:

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:787×1092 1/16 印张:29 字数:742千字

印 次:2012年6月第1次印刷

印 数:3000册 定价:55.00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。

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

服务热线:(010)88258888。

第 2 版前言

计算机网络在当今计算机科学与技术学科中发展最为迅速,它已经渗透到人们生活、工作和学习的各个领域,同时也已成为高等院校计算机、电子信息、电气工程、自动化等专业的主要专业课程。该课程内容的特点是内容更新快、跨专业性强、覆盖面广,既要介绍基本原理,又必须结合具体应用,才能使学习者建立起计算机网络的系统概念,了解该技术与应用的最新动态。为适应“计算机网络”课程教学的需要,本书在第 1 版的基础上,按照循序渐进、深入浅出、图文并茂的编写原则进行了全面修订,突出理论联系实际应用的特色,进一步丰富了计算机网络原理与技术的最新发展与应用。

考虑到当代计算机网络技术的新变化,第 2 版对上一版教材的大部分章节内容进行了全面修订和改写,剔除了一些比较陈旧的知识点,增加了相关的新技术。本书既包括计算机网络的基本概念、基本原理和基本方法等内容,又分析和讨论了典型的网络协议和具体的应用技术,还以专题形式安排了计算机网络性能分析与评价方法。全书共分为 10 章,以计算机网络体系结构为总纲,突出 TCP/IP 协议体系,按照物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层五层参考模型,重点讨论各层协议的数据封装和运行以及网络的组成及工作原理。读者可以从每一章的理论与应用密切结合的部分受益,对于想进行深度研究的读者,每一章中较深入的理论部分均将会引起其兴趣。

第 1 章(绪论)介绍计算机网络的概念、组成、功能、分类及发展趋势,讨论计算机网络体系结构与参考模型以及网络研究的基本理论问题,目的是勾画出全书的内容知识架构。

第 2 章(数据通信基础)主要讨论数据传输、交换和处理的理论、方法以及实现技术,包括数据的调制编码技术、多路复用技术、数据传输与交换方式等;然后针对计算机网络体系结构中物理层的功能特性,介绍常见的传输媒体、物理层协议及标准。

第 3 章(数据链路控制)在引入数据链路层基本概念的基础上,讨论数据链路控制机制,包括停止等待协议、连续 ARQ 协议、后退 N 帧 ARQ 协议和选择重传协议,以及滑动窗口机制。作为常用协议实例,介绍了高级数据链路控制协议(HDLC)和 Internet 中的点对点协议(PPP)。

第 4 章(局域网)从局域网体系结构、协议标准入手,介绍 CSMA/CD 介质访问控制方法,重点讨论目前比较先进的高速局域网、虚拟局域网,以及无线局域网(WLAN)及其组网技术。这是为突出网络应用技术而专门设置的内容。

第 5 章(网络互连及其协议)在介绍网络互连基本概念的基础之上,讨论了多个网络通过路由器互连成为一个互联网的各种问题。互联网的核心内容之一是网际互联协议(IP)、IP 数据报转发,这是本章的重点。当然,差错报告和控制机制、IP 组播技术,以及利用路由器进行组播的 Internet 组管理协议也是不可或缺的。考虑到计算机网络的最新发展应用,简要介绍了下一代网际互联协议(IPv6)、移动 IP 技术,包括移动 IPv4 和移动 IPv6。

第 6 章（路由技术基础）路由技术在计算机网络中具有重要的作用，而且也较难理解和掌握，为此将它单列一章，其内容包括路由选择算法、路由信息协议、开放式最短路径优先协议和边界网关协议等。目的是让读者理解数据报如何选择一条传输路径，掌握路由选择所要解决的一些关键技术。作为网络层设备的应用实例，本章还将介绍路由器工作原理及配置技术。

第 7 章（网络传输服务）重点讨论端到端的网络传输控制，旨在解决进程间通信问题，内容包括面向连接的 TCP 协议和无连接的 UDP 协议。TCP 协议比 UDP 协议复杂得多，重点是讨论 TCP 协议的各种机制，如面向连接的可靠服务、序号、确认、窗口、拥塞控制等。为便于分析 TCP/IP 协议实现的数据传输过程，本章还将介绍一种协议分析工具软件（WireShark 网络协议分析器），以便读者用来捕获数据包，查看分析协议与协议动作、协议数据单元格式、协议封装及交互过程。

第 8 章（网络应用及其协议）主要讨论各种应用进程通过什么样的应用层协议来使用网络所提供的服务，内容包括客户机/服务器模式、P2P 模型、Web 应用技术、FTP、电子邮件、DNS 和 DHCP 等。这些内容看似简单易于理解掌握，其实并非如此。

第 9 章（多媒体通信网）是为适应网络应用领域拓展而专门新增的内容，意在专题讨论多媒体通信问题。本章在介绍多媒体通信及其网络技术基础上，主要介绍多媒体传输协议（RTP、RTCP、RTSP、H.323、SIP），以及计算机网络多媒体通信服务的一些典型应用，诸如 IP 电话系统等。最后，还专门介绍了适用于流媒体传输的新一代传输层协议——流控制传输协议（SCTP）。

第 10 章（网络性能分析与评价）在介绍计算机网络中的数学问题，如随机过程、排队论、图论等知识的基础上，主要讨论网络性能分析与评价及网络仿真方法，介绍网络仿真开源软件（NS-3）的网络架构和使用方法。这是为了解网络性能分析、网络设计、网络性能评价等内容而设置的专题。

计算机网络涉及的内容比较广泛，远远不止以上所列。本书前 8 章内容兼顾了国家最新公布的计算机专业研究生入学（专业课）考试的统考大纲要求，其目的是让读者能够掌握计算机网络的基本概念、基本原理和基本方法；掌握计算机网络体系结构和典型的网络协议，掌握典型网络系统的组成和特点，理解典型网络设备的工作原理；能够运用计算机网络的基本概念、基本原理和基本方法，进行网络系统的分析、设计和应用。后两章是计算机网络基本内容的拓展，意在引领网络技术的纵深发展。同时，每章还附有简明扼要的小结和一定数量的思考与练习题。这些题目与本书内容密切相关，以便于读者巩固和复习有关的概念和理论知识。

本书力求继续保持理论性、创新性和应用性等特色。对每类问题的讨论都试图达到一定的广度和深度，旨在为读者进一步开阔视野、深入研究学习提供一些帮助。在有关章节中，还组织了一些相对深入的网络工作原理和新的研究成果，有些内容取自研究论文，并进行了整理和加工；其中也包括作者自己在该领域的多年教学经验、实践技术和研究成果。建议读者在阅读时，不妨根据自己的兴趣和专长进行一些选择。

本书适用范围较广，既可以作为计算机、电子信息、通信工程、信息技术、自动化等专业教材，也可作为相关专业的研究生教材或教学参考书，同时可供从事网络工程的科技人员、

网络爱好者参考使用。

参与本书第2版编写工作的还有刘枫、解玉洁、陈杰、任庆军、刘化英和朱春风等。自2005年7月本书第1版发行以来，得到了众多同行的支持和广大读者的厚爱，提出了许多修订建议，在此一并表示衷心感谢！

由于计算机网络技术发展速度很快，囿于作者理论水平和实践经验，书中可能存在不妥之处，恳请广大读者不吝赐教，批评斧正。

作 者

2012年1月

第 1 版前言

计算机网络是计算机科学技术与通信技术紧密结合而产生的一门新技术。目前,人类社会正从工业社会快速进入信息社会,信息已经成为人们改造世界和推动社会发展的直接媒体和动力。美国著名未来学家阿尔文·托夫勒(Alvin Toffler)曾说,谁掌握了信息、谁掌握了网络,谁就将拥有整个世界。目前,计算机网络已经进入了大发展、普及应用阶段,以 Internet 为代表的计算机网络已成为现代社会最重要的信息基础设施之一。充分认识计算机网络的基础理论问题,不但是摆在我们面前的紧迫任务,而且是培养具有计算机网络理论和技术人才的迫切需要。在我们承担主持的“十五”国家级研究课题的子课题“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的“电子与电气信息类专业应用型人才培养的目标与模式”研究中,如何构建应用型人才培养体系、突出工程技术能力本位的教育思想、构建优秀课程群及其教材是其重要研究内容之一。本课题也旨在通过课题研究带动相应精品教材的研究与建设。

通过“电子与电气信息类专业应用型人才培养的目标与模式”课题研究发现,有关计算机网络方面的教材较多,但大多数按照 ISO/OSI-RM 或者 TCP/IP 协议体系,讲授计算机网络知识及其工程实现。由于 ISO/OSI-RM 和 TCP/IP 协议体系各自存在优缺点,而且全面深入地讲解计算机网络原理知识的书也较少,难以满足 IT 领域相关本科专业教学及高层次读者的需要。为实现应用型人才培养目标,拟撰写一本《计算机网络原理与技术》,以飨具有一定计算机网络技术基础知识、意欲深入全面掌握计算机网络原理和工程技术的读者。

主要内容与体系 《计算机网络原理与技术》针对计算机网络的工作原理及其技术,以计算机网络体系结构为总纲,按照基于 ISO/OSI-RM 修改的五层参考模型:物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层,系统分层讲述计算机网络的基本概念、主要协议及其应用,并将 Internet 所采用的 TCP/IP 协议体系渗透其中。同时,在我们所承担的江苏省高校自然科学研究计划项目“网络处理器路由队列管理与分组调度”中,对 IP 网络的服务质量 QoS (Quality of Service) 控制、网络处理器 NP (Network Processor) 等路由队列管理与分组调度问题,展开了一些研究工作。为体现相关的研究收获,反映当前计算机网络研究领域的最新技术和理论成果,构建一个新的计算机网络知识体例结构,用少许篇幅阐述 IP 网络服务质量控制、网络处理器以及网络仿真与性能度量等内容也是必要的。但考虑到计算机网络技术的发展非常迅速,限于篇幅难以全面涵盖最新发展概况,还是以广泛使用的成熟网络理论技术为背景进行介绍和讨论较为恰当。因此,全书共分 12 章,按以下体例结构组织内容:

第 1 章(绪论)介绍计算机网络的一些基本概念、诞生与发展历程,以及计算机网络的组成和发展趋势等。

第 2 章(计算机网络体系结构)介绍研究制定计算机网络体系结构的科学方法,讲授网络协议及其分层的概念、ISO/OSI-RM 和 TCP/IP 协议体系结构、局域网体系结构、广域网和综合业务数字网体系结构等。

第 3 章(数据传输和物理层)主要讲授数据通信的理论基础、数据编码技术、多路复用

技术、数据传输方式、数据交换技术和物理层特性等。

第4章（数据链路控制）主要讲授数据链路层的基本概念、数据链路协议、无线链路、点到点的数据链路协议、广播网络的媒体访问控制及网络互连中的第二层交换技术。

第5章（网络互连与路由）讲授网络层基本概念、网络层IP协议、路由技术基础和路由选择算法。

第6章（网络传输服务）在概述传输层基本概念的基础上，主要讲授传输层协议的基本要素、简单的传输协议实例、面向连接的TCP协议和无连接的UDP协议。最后介绍用简单协议分析工具进行协议分析的方法。

第7章（网络应用技术）主要讲授应用层协议原理、动态主机配置协议、域名系统DNS、万维网WWW及多媒体实时通信等，阐明各种应用进程通过什么样的应用层协议来使用网络所提供的服务。

第8章（网络管理）主要讨论网络管理的基本概念及功能，介绍和讨论简单网络管理协议SNMP，以及与网络管理相关的软件工具。

第9章（网络安全）主要讲述网络安全的基本概念、数据加密技术基础、网络安全技术，包括数字签字、数字证书；简单介绍Internet的网络层安全协议簇IPSec，以及防火墙技术等。

第10章（IP网络服务质量控制）主要讨论IP网络中QoS的概念，TCP/IP拥塞控制机制和拥塞避免机制，IP QoS体系结构和服务模型，以及队列调度算法等。

第11章（网络处理器）在介绍网络处理器基本概念、功能、结构的基础上，主要讨论网络处理器技术原理、路由队列管理和IP分组调度算法；简单介绍Intel IXP1200网络处理器，以及网络处理器的研究发展概况。

第12章（网络仿真与性能度量）在介绍NS2（Network Simulator V2）组成结构和各组件功能的基础上，讨论在Windows XP环境下的安装及操作使用方法，并给出编程示例。同时，对NS2仿真的输出结果及数据分析予以阐述。作为对NS2的应用实例，以ping子类为例讨论怎样对NS2的功能进行扩展、增加一个新继承类对象进行仿真。最后讨论网络性能的度量和测试问题。

每章末均附思考与练习题，这些题目与本书基本内容密切相关，以利于巩固和复习有关的概念和理论知识。

编撰理念与特色 计算机网络是现代计算机科学与技术、通信及电子信息类专业的一门主要专业课程。在编撰时作者努力使之具有理论性、创新性和应用性等特色。

本书具有一定的理论高度，内容按照物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层，系统地、分层讨论计算机网络的基本概念、主要协议及其应用原理，呈现出一个完整而系统的知识结构；不但反映计算机网络技术的理论体系，而且概念描述准确，理论讲述透彻；体现出理论性特色。

本书具有一定的前瞻性和学术参考价值，内容取材新颖、丰富，体例结构严谨，比较全面地展示了近年来计算机网络领域的研究进展和最新成果，描述了QoS、NP的体系结构、实现机制、性能度量评价等，并在某些章节的内容中反映了作者相关的研究工作；体现出创新性特色。

本书注重理论联系实际，在文字叙述上由浅入深，循序渐进，清楚易懂。通过阅读学习，读者能够了解有关计算机网络的基本概念，掌握其基本工作原理及应用技术，理解Internet

采用的 TCP/IP 协议体系工作原理和应用方法,形成以计算机网络体系结构的分层模型为总纲的知识链,有利于为今后各种计算机网络技术的专题学习和研究奠定基础。因此,本书具有应用性。

本书适合计算机网络和通信领域的教学、科研和工程设计应用参考,适用范围较广;既可以作为计算机科学与技术、通信、电子、信息、自动化等相关专业的教学参考书,也可供信息技术、计算机网络研究与工程技术、IT 管理等人员参考使用。

本书是经多位同志共同努力而形成的一项成果,具体情况为:王志明(南京工程学院)执笔第 3 章和第 4 章;黄晓宇(湖南工程学院)执笔第 5 章和第 6 章;其余各部分由刘化君(南京工程学院)执笔。全书由刘化君教授主编,并对大部分章节内容进行了统编改写,最后予以定稿;南京航空航天大学信息技术学院的王彩霞等在本书的编撰过程中做了许多工作;本书作者的研究工作得到了“十五”国家级研究课题的子课题“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的“电子与电气信息类专业应用型人才培养的目标与模式”(No: BIA010091-1-G12)和江苏省高校自然科学研究指导性计划项目(No: 04KJD520084)的资助支持,在此一并表示深深的谢意!

由于计算机网络发展速度很快,加上作者水平有限和时间仓促,因此,本书中难免存在一些缺点、错误或疏漏之处,恳请广大读者批评赐教。

作 者

2005 年 3 月 6 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机网络的诞生与发展	1
1.1.1 计算机网络的诞生	1
1.1.2 计算机网络的发展	2
1.1.3 计算机网络发展趋势	11
1.2 计算机网络的基本概念	14
1.2.1 计算机网络的定义	15
1.2.2 计算机网络的主要功能	16
1.2.3 计算机网络的分类	18
1.3 计算机网络的组成	21
1.3.1 计算机网络的组成结构	21
1.3.2 计算机网络的拓扑结构	22
1.3.3 计算机网络系统的组成	24
1.4 计算机网络的体系结构	28
1.4.1 网络体系结构的分层	29
1.4.2 ISO/OSI 参考模型	31
1.4.3 TCP/IP 协议体系	37
1.4.4 基于 OSI 的实用参考模型	41
1.4.5 计算机网络标准及 RFC 文档	43
1.5 计算机网络的基本理论问题	45
本章小结	46
思考与练习	46
第 2 章 数据通信基础	48
2.1 数据通信的理论基础	48
2.1.1 数据通信的基本概念	48
2.1.2 傅里叶分析与有限带宽信号	53
2.2 数据编码技术	55
2.2.1 模拟信号传输模拟数据	55
2.2.2 模拟信号传输数字数据	56
2.2.3 数字信号传输数字数据	57
2.2.4 数字信号传输模拟数据	60
2.3 数据传输方式	61
2.3.1 数据通信方式	61

2.3.2	数据同步方式	63
2.4	传输媒体	64
2.4.1	导向传输媒体	65
2.4.2	非导向传输媒体	67
2.5	多路复用技术	72
2.5.1	频分多路复用	72
2.5.2	时分多路复用	73
2.5.3	波分多路复用	75
2.5.4	码分多址访问	76
2.6	数据交换技术	79
2.6.1	电路交换	79
2.6.2	存储转发交换	80
2.6.3	光交换	83
2.7	物理层协议及标准	85
2.7.1	物理层接口的四种特性	85
2.7.2	物理层接口标准示例	87
2.7.3	数据传输质量参数	93
	本章小结	95
	思考与练习	95
第3章	数据链路控制	97
3.1	数据链路层的基本概念	97
3.1.1	数据链路层的功能	97
3.1.2	数据链路层提供的服务	98
3.2	帧与帧同步技术	99
3.2.1	帧的基本格式	99
3.2.2	帧同步方法	100
3.2.3	通用组帧规程	102
3.3	差错检测和纠错技术	103
3.3.1	奇偶校验	103
3.3.2	汉明码	104
3.3.3	循环冗余校验	106
3.3.4	校验和	107
3.4	数据链路控制机制	109
3.4.1	滑动窗口机制	110
3.4.2	停止等待式 ARQ 协议	112
3.4.3	后退 N 帧式 ARQ 协议	117
3.4.4	选择重传式 ARQ 协议	118
3.5	高级数据链路控制	120
3.5.1	HDLC 的基本概念	120

3.5.2	HDLC 的帧格式	122
3.5.3	HDLC 帧的类型及功能	124
3.6	因特网数据链路接入控制	127
3.6.1	PPP 协议概述	127
3.6.2	PPP 协议的帧格式	129
3.6.3	PPP 链路的控制过程	130
	本章小结	130
	思考与练习	131
第 4 章	局域网	133
4.1	局域网体系结构	133
4.1.1	局域网的基本概念	133
4.1.2	IEEE 802 局域网标准系列	134
4.1.3	IEEE 802 局域网的体系结构	136
4.2	以太网工作原理	140
4.2.1	介质访问控制方法	140
4.2.2	CSMA/CD 协议	141
4.2.3	以太网帧格式及数据封装	146
4.3	以太网技术	148
4.3.1	传统以太网	148
4.3.2	快速以太网	154
4.3.3	千兆以太网	158
4.3.4	万兆以太网	162
4.4	虚拟局域网	166
4.4.1	虚拟局域网的基本概念	166
4.4.2	虚拟局域网的帧格式	167
4.4.3	虚拟局域网的实现技术	168
4.5	无线局域网 (WLAN)	169
4.5.1	WLAN 和无线链路特征	169
4.5.2	WLAN 标准	171
4.5.3	IEEE 802.11 帧结构	173
4.5.4	IEEE 802.11 MAC 协议	175
4.5.5	WLAN 组网设备	178
4.5.6	WLAN 组网实例	180
	本章小结	181
	思考与练习	181
第 5 章	网络互连及其协议	183
5.1	网络互连概述	183
5.1.1	何谓网络互连	183
5.1.2	网络互连的类型及层次	186

5.1.3	网络互连设备	188
5.1.4	网络层服务模型	191
5.2	网际互联协议 (IPv4)	192
5.2.1	IPv4 数据报格式	192
5.2.2	IPv4 地址	197
5.2.3	子网和超网	200
5.2.4	无分类域间路由	205
5.2.5	地址解析	208
5.3	差错报告和控制机制	211
5.3.1	ICMP 报文格式	212
5.3.2	ICMP 差错报告报文	213
5.3.3	ICMP 查询报文	215
5.3.4	ICMP 协议应用示例	217
5.4	IP 数据报转发	217
5.4.1	IP 数据报转发处理过程	218
5.4.2	IP 路由表	219
5.4.3	IP 数据报转发算法	221
5.5	IP 组播和 IGMP	224
5.5.1	IP 组播	225
5.5.2	Internet 组管理协议	227
5.6	IPv6	230
5.6.1	IPv6 编址	230
5.6.2	IPv6 数据报格式	235
5.6.3	从 IPv4 向 IPv6 的过渡	238
5.7	移动 IP 技术	240
5.7.1	移动 IPv4	240
5.7.2	移动 IPv6	243
	本章小结	245
	思考与练习	246
第 6 章	路由技术基础	248
6.1	路由的基本概念	248
6.1.1	何谓路由	248
6.1.2	静态路由	249
6.1.3	动态路由	251
6.2	路由选择算法	253
6.2.1	距离向量路由算法	253
6.2.2	链路状态路由算法	255
6.2.3	Internet 路由协议	257
6.3	路由信息协议	259

6.4	开放最短路径优先 (OSPF) 协议	261
6.5	边界网关协议	266
6.6	路由器配置基础	269
6.6.1	路由器配置环境的准备	270
6.6.2	路由器配置模式	272
6.6.3	IOS 命令行接口简介	274
6.6.4	路由器常用配置	277
6.6.5	路由器配置示例	281
	本章小结	285
	思考与练习	286
第 7 章	网络传输服务	288
7.1	传输层概述	288
7.1.1	传输层的地位	288
7.1.2	传输层的基本功能	289
7.1.3	传输层提供的服务	290
7.2	进程间通信	293
7.2.1	端口及其作用	294
7.2.2	传输层的复用与解复用	297
7.3	传输控制协议	300
7.3.1	TCP 协议概述	300
7.3.2	TCP 报文格式	303
7.3.3	TCP 连接管理	307
7.3.4	TCP 流量控制	311
7.3.5	TCP 定时管理	313
7.3.6	TCP 拥塞控制	315
7.4	用户数据报协议	319
7.4.1	UDP 协议概述	319
7.4.2	UDP 数据报格式	319
7.4.3	UDP 校验和	320
7.5	协议分析器与协议分析	321
7.5.1	协议分析器及应用	321
7.5.2	TCP 协议实例分析	324
	本章小结	326
	思考与练习	327
第 8 章	网络应用及其协议	329
8.1	网络应用概述	329
8.1.1	应用层的地位和作用	329
8.1.2	应用层协议	330
8.1.3	网络应用模式	331

8.2	Web 服务与 HTTP 协议	334
8.2.1	Web 服务工作原理	335
8.2.2	统一资源定位器	337
8.2.3	Web 页及其设计	339
8.2.4	超文本传输协议	342
8.3	文件传输与远程文件访问	351
8.3.1	文件传输协议	351
8.3.2	简单文件传输协议	354
8.3.3	网络文件系统	355
8.4	电子邮件及其传输	356
8.4.1	电子邮件系统	356
8.4.2	电子邮件报文格式和 MIME	359
8.4.3	SMTP 邮件传输	362
8.4.4	邮件读取协议	364
8.5	域名系统	367
8.5.1	Internet 域名结构	367
8.5.2	DNS 的工作机制	369
8.6	动态主机配置协议	374
8.6.1	DHCP 概述	374
8.6.2	DHCP 工作原理	375
	本章小结	377
	思考与练习	378
第 9 章	多媒体通信网	379
9.1	多媒体通信概述	379
9.1.1	何谓多媒体通信	379
9.1.2	多媒体通信关键技术	381
9.1.3	多媒体通信协议体系	385
9.2	多媒体通信网简介	386
9.3	多媒体通信协议	390
9.3.1	实时传输协议	390
9.3.2	实时传输控制协议	392
9.3.3	实时流式协议	393
9.4	IP 电话	394
9.4.1	IP 电话简介	394
9.4.2	H.323 协议	395
9.4.3	会话起始协议	398
9.5	流控制传输协议	403
9.5.1	SCTP 的功能特性	403
9.5.2	SCTP 协议数据包结构	405

9.5.3 Sctp 关联	411
9.5.4 Sctp 协议应用	414
本章小结	416
思考与练习	417
第 10 章 网络性能分析与评价	419
10.1 计算机网络中的数学问题	419
10.1.1 随机过程	419
10.1.2 排队论	421
10.1.3 图论	424
10.2 网络性能的测量与评价	426
10.2.1 网络性能测评的目的及准则	426
10.2.2 网络性能测量指标	429
10.2.3 网络性能测量的工具与方法	431
10.2.4 网络系统的性能分析与评价	432
10.3 计算机网络仿真	434
10.3.1 网络仿真软件	434
10.3.2 NS-3 网络仿真系统软件	436
10.3.3 基于 Ubuntu 平台的 NS-3 的安装与运行	441
10.3.4 NS-3 仿真脚本示例	443
本章小结	445
思考与练习	445
参考文献	446

第1章 绪 论

自 20 世纪 70 年代世界上出现第一个远程计算机网络开始,到 80 年代的局域网,90 年代的综合业务数字网……计算机网络得到了迅猛异常的高速发展。计算机网络的规模不断扩大,功能也不断增强,今天已经形成了覆盖全球的互联网,并向着全球智能信息网发展。计算机网络技术的发展促进了信息技术革命“第三次浪潮”的到来,把人类社会从工业化时代推向了信息化时代。在 20 世纪末,接触、应用网络的人还很少;现在,计算机网络已成为社会结构的一个基本组成部分。网络的出现,改变了人们使用计算机的方式;而互联网的出现,又改变了人们使用网络的方式。互联网使计算机用户不再被局限于分散的计算机上,同时也脱离了特定网络的约束,计算机网络已遍布社会各个领域。任何人只要进入了互联网,就可以利用网络中丰富的资源。从某种意义上讲,计算机网络的发展水平不仅反映了一个国家计算机科学和通信技术的水平,同时也是衡量其国力及现代化程度的重要标志之一。

计算机网络涉及的内容比较广泛,已成为迅速发展并在信息社会中得到广泛应用的一门综合性学科。本章在简单介绍计算机网络诞生及发展过程的基础上,介绍计算机网络的定义、功能、计算机网络系统的组成、计算机网络体系结构等基本概念,讨论计算机网络研究的理论问题,给出全书的内容知识架构。

1.1 计算机网络的诞生与发展

计算机技术与通信技术(Computer and Communication, C&C)的紧密结合,形成了现代计算机网络技术。计算机网络的发展过程是计算机技术与通信技术的融合过程。20 世纪 60 年代,计算机网络技术萌芽;70 年代兴起,以试验网络为主,出现了计算机局域网;80 年代,国际标准化组织(ISO)制定了计算机网络的开放型互联参考模型,学术网络得到了飞速发展;90 年代以商业网络为主,Internet 空前普及推广,Web 技术在 Internet/Intranet 中得到广泛应用。现在,计算机网络已发展成为信息社会的重要基础设施。

1.1.1 计算机网络的诞生

自从 1946 年冯·诺依曼发明第一台存储程序电子计算机以来,计算机技术的研究和应用取得了迅猛异常的发展,计算机的应用渗透到了各个技术领域和社会的各个方面。社会的信息化、数据的分布处理和各种计算机资源共享等种种应用需求,推动了计算机技术和通信技术的紧密结合。计算机网络技术就是这种结合的结果。早在 1951 年,美国麻省理工学院林肯实验室就开始为美国空军设计称为 SAGE 的半自动化地面防空系统,该系统于 1963 年建成,可以看做计算机技术与通信技术的首次结合。SAGE 系统是一个专用网,整个系统分为 17 个防区,每个防区指挥中心配置 2 台 IBM 公司当时的 AN/FSQ-7 计算机(每台计算机有 58 000 只电子管,耗电 1 500 kW)。由小型计算机构成的前置通信处理机(FEP),通过通信线路连

接防区内各雷达观测站、机场、防空导弹和高炮阵地，形成终端联机计算机系统。

计算机通信技术应用于民用系统的最早范例，是由美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 50 年代初期开始联合研制、60 年代投入使用的联机飞机票预订系统 SABRE-I。它通过通信线路，将一台中央计算机 CABRE-I 与全美范围内 2 000 多台终端连接起来，进行实时事务处理。可以认为 SABRE-I 是计算机技术与通信技术结合的典范。另一个典型范例是在 1968 年投入运行的美国通用电器公司的信息服务网络（GE Information Services）。这是 20 世纪 60 年代出现的面向终端分布的最大分时商用数据处理系统，各终端连接 75 个远程集中器，这些远程集中器再连接 16 个中央集中器，其地理范围从美国本土延伸到加拿大、欧洲、日本和澳大利亚，分布在世界上的 23 个地点。

20 世纪 60 年代初，世界正处于冷战时期，美国国防部高级研究计划局（Defense Advanced Research Project Agency, DARPA）组织研究了一种受到攻击仍能有效实施控制和指挥的计算机系统。在 1964 年研究小组提交的研究报告中指出，这样的网络必须是分布式的，能够连接不同类型的计算机；各网络结点（Node）平等独立，每个结点上的计算机都能生成、接收和发送信息；在网络上传输信息应分解成小包，从源结点沿不同路线传送到目的结点后重新组装。1969 年 DARPA 建成了这个计算机网络，并按该组织名称命名为 ARPANet。ARPANet 采用了崭新的“存储转发分组交换”原理及传输控制协议/网际互联协议，即著名的 TCP/IP 协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol），成功地连接了 4 台计算机系统。在 ARPANet 中提出的一些概念和术语至今仍被引用，为计算机网络的发展奠定了基础。因此，它有分组交换网之父的殊荣，而分组交换网的出现则被公认为现代电信时代的开始。ARPANet 的开通，标志着计算机网络的正式形成，是计算机技术与通信技术全面深入结合的里程碑。此后，许多大学、研究中心、企业集团，以及一些工业国家纷纷开始研制和建立专用的计算机网和公用交换数据网。

20 世纪 70 年代中期，随着计算机技术、通信技术的发展和应用领域的扩大，计算机网络技术一直在迅速发展。为了在更大范围内实现计算机资源的共享，人们将众多的局域网（Local Area Network, LAN）、广域网（Wide Area Network, WAN）互联起来，形成了规模更大的、开放的互联网络，即常说的 Internet 网络。

1.1.2 计算机网络的发展

计算机网络的发展已经有了几十年的历史，到今天，最大的也是大家最熟悉的计算机网络就是因特网。实际上，在 20 世纪 80 年代，没有人敢设想计算机网络能够发展得这样快，应用得这么广泛。目前，网络就是计算机，这已是计算机领域人人皆知的格言。纵观计算机网络的发展，经历了由简单到复杂、从低级到高级的过程，这一过程大致可分为面向终端的通信网络、分组交换网络、体系结构标准化网络及高速互联网络四个阶段。

1. 面向终端的通信网络（第一代）

面向终端分布的联机系统是计算机技术与通信技术结合的前驱，它由一台大型计算机和若干台远程终端设备通过通信线路连接起来，构成面向终端的通信网络，解决远程信息的收集、计算和处理。根据信息处理方式的不同，它们可分为实时处理联机系统、成批处理联机系统和分时处理联机系统。较为典型的是 1963 年美国空军建立的 SAGE，其结构如图 1.1 所