

· 高等学校计算机基础教育教材精选 · 网络工程与技术系列

计算机网络

史志才 编著



清华大学出版社

TP393/656

2009

· 高等学校计算机基础教育教材精选 ·
网络工程与技术系列

计算机网络

史志才 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

计算机网络是计算机科学与技术专业的主干课程之一,也是自动化、电子信息工程以及通信等专业学生所必须掌握的一门技术。本书采用自顶向下的方法,结合 Internet 和以太网技术,按照网络体系结构的层次模型,从应用层开始按照数据发送时的信息流向来深入剖析和讲解计算机网络的工作原理,为学生建立一个完整的网络通信模型,最后还介绍了主动网、自组网、无线传感器网等新型网络技术以及集群计算、网格计算、移动计算及普适计算等网络计算新模式。

本书兼顾实用性和先进性,内容精炼全面,结构清晰,系统性强,易于阅读和理解,可以作为高等学校计算机科学与技术及其相近专业的本科生和研究生教材,也可以作为广大网络爱好者自学的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络 / 史志才编著. —北京:清华大学出版社, 2009.5

(高等学校计算机基础教育教材精选·网络工程与技术系列)

ISBN 978-7-302-19437-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015844 号

责任编辑:谢琛 林都嘉

责任校对:李建庄

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.75

字 数:464 千字

版 次:2009 年 5 月第 1 版

印 次:2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:030913-01

前言

计算机网络

目前,计算机网络已经深入应用到社会的各个领域,有力地推动了经济的发展和社会的进步,熟练操作和使用计算机网络已成为现代公民的一种基本技能。但是对于计算机科学与技术专业的学生而言,不但要熟练地掌握计算机网络的各种应用技术,而且还要掌握计算机网络的工作原理。以往的计算机网络教材大都是从信息接收者的角度出发,从物理层开始讲解计算机网络的工作过程。但是作为计算机网络的使用者,当想要得到某种网络服务时我们首先要发送请求给网络,然后才能得到来自网络的响应信息;所以对于计算机网络的用户,从信息发送的角度来讲解计算机网络的工作原理更为直观和易于理解。本书就是从上述角度出发,根据国民经济建设和社会发展对计算机专业技术人才在素质、规格、能力等方面的要求,并参考 IEEE-CS/ACM 联合制定的 CC2001—2005 计算学科教程,结合 Internet 和以太网技术,采用自顶向下的方式,按照应用层、运输层到物理层的顺序详细介绍计算机网络的工作过程,使学生更好地理解和掌握计算机网络的工作原理和相关技术。本书具有如下特点:

1. 本书从用户角度出发,按照计算机网络中数据发送的信息流向,采用自顶向下的方法介绍计算机网络的工作原理,内容组织、安排合理,结构清晰,系统性强,易于阅读和理解。

2. 书中内容精简得当,重点突出。由于通信技术属于通信专业的教学内容,故书中仅做了简单介绍,而重点介绍目前典型的网络协议(以太网和 Internet)及其实现技术,突出书中内容的计算机专业特色,以符合计算机专业学生培养的特点。

3. 注重理论联系实际,概念讲解透彻、具体。对于许多网络协议层所包括的一些功能具体讲解到实现的细节,如物理层信号的编码以及数据链路层信息的编码,其功能和意义何在,文中均进行了详细解释。对于简化的 5 层网络协议,每层的功能不但讲解其原理,而且结合以太网、因特网等技术详细介绍了各种功能的具体实现方法。

4. 实用性和先进性并重。计算机及其网络技术发展迅速,可以说是日新月异。本书作为一门计算机网络课程的教材,不但要将以太网、因特网等传统的计算机网络技术详细地介绍给读者,而且也要将计算机网络技术的最新发展及其作用展现给读者,以激发读者的学习兴趣。

本书共分 5 篇、14 章。第一篇为计算机网络和通信技术基础篇,共 2 章。第 1 章为前言,介绍计算机网络的概念、组成、发展历史、网络体系结构及相关概念。第 2 章为数据通信基础,简单介绍计算机网络中所涉及的一些通信技术和基本概念。这两章为后续内

容的学习奠定基础。第二篇为 Internet 和 TCP/IP 协议,共 3 章。第 3 章介绍 Internet 的 HTTP、FTP、SMTP 和 TELNET 等应用层协议,讲述了网络系统是如何接受和响应用户的应用请求。第 4 章介绍 Internet 的 TCP、UDP 等运输层协议,并详细介绍 TCP 协议在确保网络传输可靠性中的作用。第 5 章介绍 Internet 的网络层协议,即 IP 协议,全面论述 IP 协议在网络互联中的重要作用。同时也介绍 ICMP、IGMP、ARP、路由选择等与 IP 协议密切相关的几个协议。第三篇为物理网络篇,共 4 章,分别介绍数据链路层和物理层的功能以及为网络提供底层通信功能的局域网、广域网和接入网等技术。其中,第 6、7 两章从共性角度出发,分别介绍数据链路层和物理层的功能,介绍数据链路层中进行流量控制和差错控制的方法,并介绍了几个典型的数据链路层和物理层协议。第 8 章以以太网系列局域网为例,通过从 10M 到吉比特的发展过程详细介绍局域网技术的原理及其演变进程。第 9 章介绍广域网技术,具体包括 X.25、帧中继、ISDN 和 ATM 等。第 10 章介绍网络接入技术。第四篇为网络安全与管理篇,共 2 章,分别介绍网络管理和网络安全技术。第五篇共 2 章,第 13 章介绍主动网、自组网、无线传感器网等新型网络及其相关技术。第 14 章以计算机网络对计算模式的变革为主线,介绍集群计算、网格计算、移动计算和普适计算等网络计算技术以及所涉及的一些关键问题。

由于计算机网络技术发展速度快,涉及的知识面广,加上作者的知识和水平有限,书中定有不妥和错误之处,恳请读者批评指正,以便对本书内容进行改进和完善。

本书可以作为高等学校计算机科学与技术及其相关专业本科或研究生教材,建议授课时为 48 个学时。最后一篇的内容在对本科生的授课过程中可以概略地介绍给学生,目的在于拓宽学生的视野和知识面,使学生能够了解网络技术的最新发展以及对相关技术的促进和支撑作用;而对于研究生可以作为其相关研究方向的指导。本书配有教学课件,若需要可以到出版社的相关网站下载,也可以直接向作者索取。作者的电子邮箱为 szc1964@163.com。

作 者

2009 年 3 月

目录

第一篇 计算机网络与通信基础

第 1 章 计算机网络概述	3
1.1 计算机网络的产生与发展	3
1.2 计算机网络的定义和功能	5
1.3 计算机网络的组成与分类	6
1.3.1 计算机网络的组成	6
1.3.2 计算机网络的拓扑结构	7
1.3.3 计算机网络的分类	8
1.4 计算机网络协议与体系结构	9
1.4.1 网络协议	9
1.4.2 网络体系结构	10
1.4.3 层次网络体系结构下数据的发送和接收过程	11
1.5 典型的网络体系结构	12
1.5.1 开放式系统互连参考模型 OSI/RM	12
1.5.2 Internet 体系结构	13
1.6 常用的网络设备	14
1.7 计算机网络中的一些重要概念	15
1.7.1 IP 地址和物理地址	15
1.7.2 计算机网络的服务模式	15
1.7.3 计算机网络的性能指标	16
1.7.4 计算机网络中的数据传输方式	17
1.8 网络操作系统	17
1.9 典型的计算机网络简介	20
1.10 计算机网络在我国的发展	22
1.11 计算机网络的应用	23
习题 1	24

第 2 章 数据通信技术基础	26
2.1 数据通信的基本概念	26
2.2 传输介质	27
2.2.1 有线传输介质	27
2.2.2 无线传输介质	28
2.3 信道及其复用	29
2.3.1 信道	29
2.3.2 信道复用	29
2.4 数据传输的方式	31
2.5 信息编码与数字信号编码	32
2.6 信息传输速率	34
2.7 调制技术与远程传输	34
习题 2	35

第二篇 Internet 与 TCP/IP 协议

第 3 章 应用层	39
3.1 概述	39
3.2 域名和域名解析	41
3.2.1 域名及域名结构	41
3.2.2 域名解析	43
3.3 远程终端协议	45
3.4 文件传输协议	46
3.4.1 FTP 的工作原理	46
3.4.2 FTP 的使用及所传输的文件类型	47
3.4.3 TFTP 及与 FTP 的区别	48
3.5 电子邮件服务	48
3.5.1 电子邮件系统的组成及工作过程	48
3.5.2 电子邮件协议的扩充	49
3.6 WWW 服务	50
3.6.1 WWW 服务的工作原理	51
3.6.2 超文本标记语言	51
3.6.3 统一资源定位符	52
3.6.4 HTTP 协议	52
3.7 动态主机配置协议	54
3.8 其他 Internet 服务	57
习题 3	57

第 4 章 运输层	59
4.1 TCP/IP 协议的运输层	59
4.2 TCP 协议	60
4.2.1 TCP 报文段的格式	61
4.2.2 TCP 协议的复用和分用	63
4.2.3 报文段的顺序控制	63
4.2.4 可靠性控制	65
4.2.5 流量控制与拥塞控制	66
4.2.6 TCP 的连接管理	70
4.3 用户数据报协议	71
4.3.1 概述	71
4.3.2 用户数据报的首部	73
4.3.3 UDP 协议的应用	73
习题 4	73
第 5 章 网络层与网络互联	75
5.1 路由器	76
5.2 因特网的网络层	77
5.3 IP 协议	78
5.3.1 IP 地址	78
5.3.2 IP 数据报	83
5.3.3 数据报的分片与重组	87
5.3.4 IP 数据报的转发	89
5.3.5 地址解析与逆向地址解析	90
5.4 路由选择协议	92
5.4.1 路由选择算法	92
5.4.2 路由选择协议	93
5.5 因特网控制报文协议	99
5.6 因特网组管理协议	102
5.7 下一代网际协议 IPv6	104
习题 5	108

第三篇 物理网络

第 6 章 数据链路层	113
6.1 引言	113
6.2 流量控制	114
6.2.1 停止等待协议	114
6.2.2 连续 ARQ 协议	116

6.3	差错控制	118
6.3.1	奇偶校验	119
6.3.2	校验和	119
6.3.3	循环冗余校验	119
6.4	高级数据链路控制协议	120
6.4.1	概述	120
6.4.2	HDLC 的帧结构	121
6.4.3	HDLC 的信息交换过程	123
6.5	SLIP/PPP 协议	123
6.5.1	SLIP 协议	124
6.5.2	PPP 协议	124
习题 6		126
第 7 章	物理层	128
7.1	物理层的基本概念	128
7.2	典型的物理层协议	129
习题 7		131
第 8 章	局域网	132
8.1	局域网概述	132
8.2	传统以太网	134
8.2.1	逻辑链路控制层	134
8.2.2	介质访问控制层	136
8.2.3	以太网的介质访问控制方式	138
8.2.4	传统以太网的物理层	142
8.2.5	传统以太网的连接方法	143
8.3	高速以太网	145
8.3.1	100BASE-T 以太网	145
8.3.2	千兆以太网	147
8.3.3	万兆以太网	148
8.4	其他高速局域网	150
8.5	局域网中的网络连接设备	152
8.5.1	中继器	152
8.5.2	集线器	152
8.5.3	网桥	153
8.5.4	以太网交换机	155
8.6	虚拟局域网	157
8.6.1	虚拟局域网的概念	157

8.6.2	VLAN 的标准及帧格式	158
8.6.3	VLAN 的划分方法	159
8.6.4	VLAN 交换机及应用	160
8.7	无线局域网	161
8.7.1	无线局域网的组成与分类	161
8.7.2	无线局域网的体系结构	162
习题 8		163
第 9 章	广域网	165
9.1	广域网概述	165
9.2	广域网的组成及数据交换技术	165
9.3	广域网中的物理地址与分组转发	168
9.4	广域网的拥塞控制	169
9.5	X.25 网	171
9.5.1	X.25 网概述	171
9.5.2	X.25 网络协议	171
9.5.3	X.25 网的接入	173
9.5.4	X.25 网的特点及应用	174
9.6	帧中继	174
9.6.1	帧中继的概念及特点	174
9.6.2	帧中继的协议层次及帧格式	175
9.6.3	帧中继的工作过程	176
9.6.4	帧中继的拥塞控制	177
9.6.5	帧中继网的接入	178
9.6.6	帧中继的应用	179
9.7	ISDN	180
9.7.1	ISDN 的定义与特点	180
9.7.2	ISDN 的协议和基本结构	181
9.7.3	ISDN 的接入	182
9.7.4	ISDN 的应用	182
9.8	ATM	183
9.8.1	ATM 的基本概念及特点	184
9.8.2	ATM 的工作原理	184
9.8.3	ATM 的协议参考模型和信元结构	186
9.8.4	ATM 的流量控制与拥塞控制	188
9.8.5	ATM 设备及接入	189
9.8.6	ATM 的应用	191
习题 9		191

第 10 章 Internet 接入技术	193
10.1 概述	193
10.2 双绞线接入	193
10.2.1 通过普通电话拨号接入	193
10.2.2 通过 ISDN 接入	194
10.2.3 通过 ADSL 接入	196
10.3 DDN 接入	196
10.4 HFC 接入	198
10.5 光纤接入	198
10.6 无线接入	199
习题 10	200

第四篇 计算机网络安全与管理

第 11 章 网络管理	203
11.1 概述	203
11.2 网络管理的功能	203
11.3 简单网络管理协议	205
11.3.1 SNMP 的产生与发展	205
11.3.2 SNMP 的组成及网络管理模型	206
11.4 远程网络监控	210
11.5 常用的网络管理系统	211
习题 11	213

第 12 章 网络与信息安全	214
12.1 概述	214
12.2 网络的脆弱性及安全威胁	215
12.2.1 网络的脆弱性	215
12.2.2 网络的安全威胁	216
12.3 网络攻击与攻击过程	217
12.3.1 网络攻击	217
12.3.2 网络攻击过程	219
12.4 网络安全的基本功能和网络安全技术	220
12.5 密码学与数据加密	221
12.5.1 对称密钥密码体制	222
12.5.2 非对称密钥密码体制	222
12.5.3 混合密码体制	223
12.5.4 常见的密码算法	223
12.5.5 新兴的密码技术	224

12.6	消息认证与数字签名	225
12.6.1	消息认证	225
12.6.2	数字签名	226
12.7	信息隐藏技术	227
12.8	公开秘钥基础设施	229
12.8.1	数字证书	229
12.8.2	PKI 的组成及功能	231
12.9	防火墙技术	233
12.9.1	防火墙技术概述	233
12.9.2	防火墙的功能及分类	234
12.9.3	防火墙的体系结构	236
12.9.4	防火墙的发展趋势	238
12.10	网络入侵检测技术	238
12.10.1	入侵检测及入侵检测系统	239
12.10.2	入侵检测系统的组成及其工作过程	239
12.10.3	入侵检测系统的分类	240
12.10.4	典型的入侵检测系统	242
12.10.5	入侵检测和其他技术的融合及发展	243
习题 12		245

第五篇 新型计算机网络与计算模式的变革

第 13 章	新型计算机网络	249
13.1	主动网	249
13.1.1	主动网的产生及特点	249
13.1.2	主动网体系结构	250
13.1.3	主动网的实现方法	253
13.1.4	主动网的应用	253
13.2	自组网	255
13.2.1	自组网的概念及其特征	256
13.2.2	自组网的组成结构	257
13.2.3	自组网中的关键技术	258
13.2.4	自组网的应用	261
13.3	无线传感器网络	262
13.3.1	概述	262
13.3.2	无线传感器网络的体系结构	264
13.3.3	无线传感器网络的关键技术及研究重点	266
13.3.4	无线传感器网络的应用	267
习题 13		268

第 14 章 计算机网络与计算模式的变革	270
14.1 高性能集群计算	270
14.1.1 集群计算系统及其体系结构	270
14.1.2 集群计算系统的分类	272
14.1.3 集群计算系统中的关键技术	273
14.1.4 集群计算系统的应用	275
14.2 网格计算	276
14.2.1 网格的基本特征和内涵	276
14.2.2 网格的分类	278
14.2.3 网格的体系结构	278
14.2.4 网格系统的层次划分	281
14.2.5 网格计算中的关键技术	281
14.2.6 国内外网格计算技术的研究现状	284
14.2.7 网格计算的应用	285
14.3 移动计算	285
14.3.1 移动计算环境的组成及特点	286
14.3.2 移动计算中的关键技术	287
14.3.3 移动计算的应用	290
14.4 普适计算	290
14.4.1 普适计算的产生、组成及特性	291
14.4.2 实现普适计算的关键技术	292
14.4.3 普适计算的典型研究工作介绍	294
习题 14	296
参考文献	298



第一篇

计算机网络 与通信基础

本篇从计算机网络和通信技术的基础出发,分别介绍了计算机网络的基本概念以及数据通信技术的基本知识,为后续章节内容的学习奠定基础。本篇共包括两章,第1章为计算机网络概述,第2章为数据通信技术基础,所介绍的主要内容有:

- 计算机网络的产生和发展;
- 计算机网络的定义和功能;
- 计算机网络的组成与分类以及网络拓扑结构;
- 网络体系结构和协议;
- 典型的网络体系结构(OSI/RM 参考模型和 Internet 体系结构);
- 常用的网络设备;
- 计算机网络的基本概念(网络服务模式、网络性能指标、IP 地址与物理地址);
- 网络操作系统;
- 典型计算机网络以及我国计算机网络发展的具体情况;
- 传输介质;
- 信道及其复用技术;
- 数据传输方式和信息传输速率;
- 信息编码与数字信号编码;
- 调制技术与远程传输。

随着计算机网络以及通信技术的迅猛发展,现代社会已经步入信息化时代,信息的获取、传输、存储和处理之间的孤岛现象因计算机网络的应用而逐渐消失,人类广泛活动于计算机网络所构筑的数字化空间中。正如操作系统的出现屏蔽了计算机硬件上的差异一样,计算机网络以及中间件等技术的出现有效屏蔽了计算机硬件和操作系统的差异,为用户提供了一个统一、易用、友好的使用环境和操作界面,使得用户在一个虚拟的网络空间中非常方便地享受到越来越为丰富的信息资源和越来越为强大的计算能力。目前,计算机网络已经发展成为人们工作、学习和生活过程中不可分割的一部分。

1.1 计算机网络的产生与发展

任何一种技术的产生或是由于强烈的社会需求,或是缘于快速发展的技术驱动;计算机网络也不例外,它是计算机技术和通信技术高度发展、密切结合的产物。20世纪50年代,相关技术的发展和进步驱动了计算机网络的产生,而计算机网络技术的快速发展反过来又加速了计算机网络及其相关技术的应用进程,目前社会的各个角落均能见到计算机网络的身影。今天,计算机网络的广泛应用彻底改变了人们的工作和生活方式,极大地提高了社会生产率,充分体现出科学技术是第一生产力的真谛。下面从两个不同的角度出发分别阐述计算机网络的产生和发展历程。

从数据传输的角度看,计算机网络的产生是由电路交换和报文交换发展到分组交换的结果。我们知道,传统的电话网是采用电路交换方式,通话双方一旦接通,就被分配一条固定的通信线路(该线路或者其中的某一段可能与其他用户共享),一旦该线路出现问题,通信即被中断。若要继续通信,则需要重新拨号。显然这种电路交换方式的可靠性较差,很难满足一些像军事部门这样的重要领域的需要。为了提高通信系统的可靠性,急需研究一种新型的、高可靠性的通信网络,这就是采用分组交换技术的计算机通信网络。

分组交换技术借鉴报文交换的一些思想,并有所改进,它克服了电路交换的缺点。在分组交换方式下,被传输的数据分成多个数据包在通信网络中进行传输,每个数据包称为一个分组(packet)。发送数据和接收数据的节点间一般存在多条传输路径,属于同一次传输的各个分组可以经过不同的路径传输到接收节点。因而当某条通信线路发生故障时,网络会感知故障的存在,并通过其他冗余线路继续传输分组数据,从而达到显著提高通信网络可靠性的目的。数据传输过程可能要经过多个中间节点和多段线路。在分组交

换情况下,数据传输对通信线路是分段占用的,中间节点接收到分组数据后暂时存储在内部存储器中,然后进行判断并将分组通过某个输出端口转发给下一个节点,这种处理数据分组的方式称为存储转发,而电路交换却始终占用一条固定的、从发送方到接收方间的通信线路,所以分组交换中通信网络的各段线路可以灵活地被多个用户所共享,即提高了通信资源的利用率。由上述介绍可见,计算机网络不同于传统通信网络的显著特征是它采用了存储转发和分组交换技术。

电路交换、报文交换和分组交换技术及其特点将在 9.2 节进行详细阐述。

从另一个角度看,计算机网络的形成和发展历史可以分成如下几个阶段。

1. 单机系统阶段

20 世纪 50 年代,计算机技术处于发展初期,计算机主机价格昂贵,数量少,只能集中管理和使用,使远程用户使用起来非常不方便。随着通信技术的发展,人们尝试采用通信线路将处于不同地理位置的智能终端与远程计算机相连,人们可以通过终端提交作业给远程计算机,异地操作计算机,提交的作业和计算机处理结果通过通信线路进行传输,处理结果显示在用户的本地终端上。这样在多用户分时系统的基础上,使得多个远程用户可以同时共享同一台计算机主机上的资源,形成了单机多用户系统。这样极大地方便了远程用户,提高了工作效率和计算机的利用率。这种单机系统的组成如图 1.1 所示,常把这种以单个计算机为中心的联机系统称为面向终端的远程联机系统。单机系统的典型代表为美国航空公司 20 世纪 60 年代初投入使用的航空订票系统 SABRE-1。该系统由一台中央计算机与分布在美国各地的 2000 多个终端组成,提供全美范围内的航空订票业务。

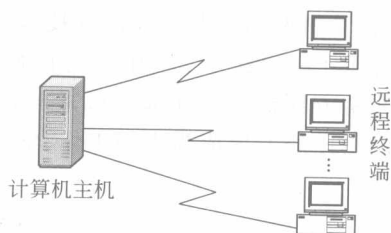


图 1.1 单机系统的组成

2. 多机系统阶段

远程联机系统为计算机网络的雏形,还很不完善。特别是计算机要承担与用户通信以及数据处理双重任务,工作负荷较重。同时各个远程终端通过独立的通信线路连接到计算机上,通信线路仅供自己使用,利用率低。为了克服上述缺点,对单机系统进行改进,进而发展成了多机系统。多机系统由主计算机、前端处理机和线路集中器组成,如图 1.2 所示。主计算机仅负责数据处理,与远程用户间的通信工作完全由前端处理机完成。这样工作负荷合理均衡分配,进一步提高了计算机系统的工作效率。此外,对于用户集中的区域,这些用户可以使用低速线路连接到线路集中器上,再由线路集中器通过快速的共享线路连接到前端处理机,从而提高通信线路的利用率。前端处理机和线路集中器一般采用通信功能较强的专用计算机,这样成本较低,使整个多机系统具有合理的性能价格比。

3. 计算机通信网阶段

随着微电子技术以及大规模集成电路设计和制造技术的快速发展,计算机的性能价格比越来越高,功能越来越强,使用越来越方便,因而计算机的应用得到了快速普及。许多单位配备了多台计算机,这些计算机可能分布在不同的地方,用户希望这些计算机能够进行通信和交换信息。这种情况下,常将各台计算机通过通信线路连接起来,组成计算机通信网,这种网络的功能以数据通信为主,资源共享能力有限。