



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

计算机网络 (第2版)

胡道元 编著

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

计算机网络 (第2版)

胡道元 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书阐述了通信的基本概念和计算机网络的基本原理,包括计算机网络体系结构和协议、数据通信的基本方法、主要网络技术与应用,以及网络管理和网络安全,使读者对计算机网络有全面而较深入的理解。

本书参照《中国计算机科学与技术学科教程 2002》拟定的“网络及其计算(NC)”知识领域中大部分的核心知识单元及相应的知识要点编著。第 2 版改用 Internet 五层体系结构,以符合当今计算机网络发展的主流方向。构建了 Internet 模型以替换 OSI 模型,以 Internet 的 TCP/IP 体系结构、技术和应用作为本书的主体。还增加了有关高速、宽频、多媒体、网络安全等新技术。

本书既可作为大学计算机专业、通信专业核心课程教材,也可供从事计算机网络设计、建设、管理和应用的专业人员参考。

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/胡道元编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2009.8

(清华大学计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-20401-5

I. 计… II. 胡… 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 102138 号

责任编辑:袁勤勇 李玮琪

责任校对:白 蕾

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

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

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:27

字 数:647 千字

版 次:2009 年 8 月第 2 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 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:029368-01

作者简历



胡道元 清华大学教授，博士生导师，知名计算机网络和计算机网络安全专家，原国际信息处理联合会（IFIP）通信系统专委会中国代表，第一、二届国家信息化办公室专家委委员。

是我国教育科研网的奠基者和开拓者，清华大学校园网的主要规划者，中关村地区教育科研示范网和中国教育科研计算机网的发起人和主要创建人。在教育科研网的技术路线制定、体系结构设计和若干关键技术的解决等方面起了十分重要作用。

是我国最早从事 Internet 研究和建设并在 Internet 年会上发表论文的学者。最先倡导采用 Internet 体系结构和标准建网，对中国 Internet 建设发挥了重要作用。主持了第一个由中国学者提出的 Internet 报文汉字编码规范——RFC1922 文本。对中国 Internet 建设的贡献受到国内外很多好评，被原美国加州大学伯克利分校校长、知名学者田长霖博士称为中国 Internet 之父。

在高科技 863 项目——国家 CIMS 实验工程的研究和建设中，主持研究和建设了我国第一个计算机集成制造系统网，提出的技术策略对 CIMS 实验工程集成环境建设起了关键作用。主持完成了 5 项有关 CIMS 网络的研究课题，成果突出，达到国际先进水平。

是我国最早从事计算机网络安全研究的学术带头人，主持完成了多项有关网络基础研究、网络关键技术及应用的国家重点科研项目。主持起草了《计算机信息系统安全保护等级划分准则》（GB17859—1999）国家标准。为建立我国网络安全产业作出了重要贡献。

为国家培养了一批信息网络和网络安全方面的高级人才，这些人才在信息网络和网络安全的研究、建设和产业化方面发挥了重要作用。已发表著作二十余本、论文近百篇，在社会上影响甚广。

由于在研究方面的突出贡献，先后获国家教委科技进步一等奖、国家科委科技进步二等奖以及美国工程师学会颁发的 CIMS 大学领先奖。

第2版前言

以 Internet 为代表的计算机网络技术及应用近年来又有了很大发展,十多年前 Internet 还只是国家信息基础设施(NII)和全球信息基础设施(GII)的雏形,如今已发展成一个现代化国家离不开的、极为重要的基础设施,尤其在当今全球化经济发展的进程中已成为不可缺少的信息基础设施。我国自 1994 年接入 Internet 以来,现今网民数已达 3 亿多,居世界首位,并且扮演着十分重要的角色。

在本书第 1 版中把计算机网络发展趋势概括为一个目标、两个支撑、三个融合、四个热点。近几年计算机网络正是按这个趋势发展的,而且这个总趋势仍然没有改变。

本书第 2 版根据这些发展做了修订,主要有以下几个方面:

(1) 计算机网络教材大部分采用 OSI 七层体系结构,随着 Internet 的广泛使用,第 2 版改用 Internet 五层体系结构,以符合当今计算机网络发展的主流技术。构建了 Internet 模型以替换 OSI 模型,并以此作为全书的主线。

(2) 在数据传输技术方面增加了正交幅度调制 QAM、码分多路 CDMA、成组编码和 ADSL 调制技术等。

(3) 以太网是局域网的主流技术,第 2 版主要阐述这类共享传输介质的局域网,并着重讲述区别三代不同以太网的 MAC 子层、物理层及其实现机制。

(4) 由于无线局域网的应用日益普及,因此将该部分内容单独作为一章,主要讲述 IEEE 802.11 和蓝牙两类无线 LAN 技术。

(5) 广域网合并成一章,并精简了低速广域网的内容。

(6) 在无线广域网这一章增加了三代蜂窝电话技术的内容。

(7) 网络层增加了网际协议 IP 的设计原则、IPv4 到 IPv6 的过渡、组播技术,充实了 Internet 地址结构的内容。

(8) 用 Internet 传输层服务和协议要素替换了 OSI 传输层服务及协议,增加了实时传输协议 RTP 和远程过程调用 RPC,充实了传输控制协议 TCP,同时还增加了服务质量 QoS。

(9) 网络应用增加了 Internet 的音频和视频多媒体应用。

(10) 改写了网络信息安全这一章,从网络体系结构的观点分析网络安全,按层次的方案深入研究网络环境的各种技术,分析网络各个层次存在的风险以及缓解风险的方法。

全书共分 15 章,大致可归纳为以下 6 个方面:

(1) 计算机网络概述:包括第 1 章“引论”和第 2 章“Internet 模型”。给出计算机网络定义,依据科学发展观分析计算机网络的发展史,深入分析计算机连网的需求,并阐述作为全书结构框架的 Internet 模型。

(2) 数据通信概述:包括第 3 章“数据传输”、第 4 章“数据链路控制”和第 5 章“数据交换”。现代计算机网络是计算机和通信融合的产物,掌握数据通信基础知识是十分必要的。

(3) 局域网技术:包括第 6 章“局域网技术”、第 7 章“以太网”和第 8 章“无线局域网”。

• III •

(4) 广域网技术：包括第 9 章“广域网”和第 10 章“无线广域网”。

(5) TCP/IP 与应用：包括第 11 章“网络层”、第 12 章“传输层”和第 13 章“应用层”。这是 TCP/IP 技术及应用的重要内容。

(6) 网络管理与安全：包括第 14 章“网络管理”和第 15 章“网络安全”。这是当前人们十分关注的问题。

作者

2009 年 5 月于清华园

第1版前言

自20世纪40年代电子计算机问世以来,计算机学科一直处于高速发展过程中。20世纪90年代后,以Internet为代表的计算机网络技术及应用的发展和普及,其速度是任何其他技术无法相比的。

计算机学科的教学知识体系也发生着迅速的变化。计算机网络不仅是计算机专业、通信专业的重要核心课程,也成为很多专业的必修课程,同时也是各行各业相关专业人员必须掌握的知识。

本书阐述了通信的基本概念和计算机网络的基本原理,包括计算机网络体系结构和协议、数据通信的基本方法、主要网络技术与应用,以及网络管理和网络安全,使学生对计算机网络有全面而较深入的理解。

编著本书的几个重要原则如下:

(1) 参照《中国计算机科学与技术学科教程2002》拟定的“网络及其计算(NC)”知识领域中大部分的核心知识单元及相应的知识要点编著。

(2) 采用开放系统互连(OSI)参考模型作为本书的结构框架。一方面使读者易于理解当今大多数连网理论和实践;另一方面OSI参考模型是独立于各种协议的模型,但又能参照该模型分析各种网络体系结构。

(3) 以Internet的TCP/IP体系结构、技术和应用作为本书的主体,因为它是当今计算机网络的主流技术,并得到广泛认同和应用。

(4) 针对计算机网络技术、标准、应用日新月异变化的特点,以阐述基本概念、基本理论、分析方法为主,兼顾取材的先进性。

(5) 计算机网络是偏重于实用技术的学科,是理论性和实践性紧密结合的学科,本书既注重培养认知能力,又注重培养实践能力。

全书共分15章,大致可归纳为以下6个方面:

(1) 计算机网络概述:包括第1章“引论”、第2章“开放系统互连参考模型”。给出计算机网络定义,从科学发展观分析计算机网络的发展史,深入分析计算机连网的需求,并阐述作为全书结构框架的OSI参考模型。

(2) 数据通信概述:包括第3章“数据传输”、第4章“数据链路控制”、第5章“数据交换”。现代计算机网络是计算机和通信融合的产物,掌握数据通信基础知识是十分必要的。

(3) 局域网技术:包括第6章“局域网技术”、第7章“共享传输介质的局域网”。

(4) 广域网技术:包括第8章“低速广域网”、第9章“高速广域网”、第10章“无线广域网”。

(5) 网络互连与应用:包括第11章“网络互连”、第12章“传输层”、第13章“应用层”。这是TCP/IP技术及应用的重要内容。

(6) 网络管理与安全:包括第14章“网络管理”、第15章“网络信息安全”。这是当前人们十分关注的问题。

和本书配套的有“计算机网络学习辅导”，包括各章的知识要点、例题解析、习题与解答，以及进一步学习的补充知识。

与本书配套的电子教案、有关的专题讲座以及 Internet 的 RFC 文档，可以从清华大学出版社的网站(www.tup.com.cn)上免费下载。

本书的部分内容取材于由本书作者主编的《Intranet 网络技术及应用》、《网络设计师教程》以及《计算机局域网(第 3 版)》，卢开澄教授、赵锦蓉教授、史美林教授分别参与了上述 3 本书的编著。

参加编著的作者还有闵京华博士、徐刚、黄新民、刘旺泉、陆新宇、赵青。

作者

2004 年 11 月于清华园

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 计算机网络的产生和发展	1
1.1.1 历史的回顾	1
1.1.2 推动计算机网络发展的两大动力	3
1.1.3 计算机及数据网的重大发明	5
1.2 计算机网络的定义	9
1.3 计算机网络连网需求	10
1.3.1 连接性	10
1.3.2 有效的资源共享	12
1.3.3 公共服务的支持	13
1.3.4 网络的特性准则	15
1.3.5 网络的性能	17
1.4 网络的分类	22
1.5 网络体系结构	25
1.6 计算机网络发展趋势	27
1.7 本章小结	30
第 2 章 Internet 模型	31
2.1 OSI 模型简述	31
2.1.1 分层结构	31
2.1.2 基本构造技术	33
2.2 TCP/IP 体系结构	33
2.2.1 TCP/IP 分层模型	33
2.2.2 TCP/IP 和 OSI 的对应关系	35
2.3 Internet 模型各层职责	36
2.3.1 物理层职责	36
2.3.2 数据链路层职责	37
2.3.3 网络层职责	37
2.3.4 传输层职责	38
2.3.5 应用层职责	38
2.4 Internet 模型的实现机制	39
2.4.1 物理层	40
2.4.2 数据链路层	41
2.4.3 网络层	42
2.4.4 传输层	43

2.4.5	应用层	44
2.5	本章小结	45
第3章	数据传输	47
3.1	数据通信模型	47
3.2	时域和频域概念	48
3.2.1	时域概念	48
3.2.2	频域概念	49
3.2.3	数据率和频带的关系	51
3.2.4	数据率的限制	52
3.2.5	几个重要的信号传输度量	53
3.3	数据调制与编码	53
3.3.1	模拟数据的模拟信号调制	56
3.3.2	数字数据的模拟信号调制	56
3.3.3	数字数据的数字信号编码	59
3.3.4	模拟数据的数字信号编码	61
3.4	数字数据传输方式	62
3.4.1	串行传输与并行传输	62
3.4.2	异步传输和同步传输	62
3.5	数字数据传输接口	63
3.5.1	DTE-DCE 接口	63
3.5.2	物理层的特性	64
3.5.3	RS232C 接口	65
3.5.4	其他标准接口	69
3.6	传输介质	71
3.6.1	传输介质特性	71
3.6.2	传输损耗	71
3.7	多路复用	71
3.7.1	频分多路复用	72
3.7.2	时分多路复用	73
3.7.3	统计时分多路复用	76
3.7.4	波分多路复用	77
3.7.5	码分多路复用	78
3.8	铜环接入技术	80
3.8.1	铜环接入类别	81
3.8.2	ADSL 调制技术	84
3.9	电缆调制器	86
3.9.1	混合光纤同轴电缆	86
3.9.2	DOCSIS 协议	87

3.10 本章小结	88
第4章 数据链路控制	89
4.1 流控技术	89
4.1.1 停-等流控	90
4.1.2 滑动窗口流控	90
4.2 差错检测	92
4.2.1 奇偶校验	92
4.2.2 循环冗余检错	93
4.3 差错控制	94
4.3.1 停-等 ARQ	95
4.3.2 Go-Back-N ARQ	95
4.3.3 Selective-Reject ARQ	97
4.4 高级数据链路控制	97
4.4.1 HDLC 基本特征	97
4.4.2 HDLC 帧结构	98
4.4.3 HDLC 操作	100
4.5 其他数据链路控制协议	102
4.6 本章小结	104
第5章 数据交换	105
5.1 线路交换技术	105
5.1.1 空分交换	105
5.1.2 时分交换	107
5.2 分组交换	108
5.2.1 分组交换的原理	108
5.2.2 分组交换的技术	109
5.2.3 外部的和内部的操作	112
5.3 帧中继交换	113
5.3.1 帧中继原理	113
5.3.2 帧中继的应用	114
5.4 信元交换技术	115
5.5 本章小结	116
第6章 局域网技术	118
6.1 局域网的定义及特性	118
6.2 局域网参考模型	118
6.3 局域网协议标准	123
6.4 介质访问控制	125

6.5	争用协议	126
6.5.1	载波监听多路访问	126
6.5.2	载波监听多路访问/冲突检测	128
6.5.3	退避算法	128
6.6	标记环介质访问控制	129
6.7	光纤分布数据接口(FDDI)介质访问控制	130
6.7.1	FDDI 原理	130
6.7.2	FDDI 系列	131
6.7.3	FDDI 协议	132
6.8	本章小结	134
第 7 章	以太网	135
7.1	传统以太网	136
7.1.1	MAC 子层	136
7.1.2	物理层	137
7.1.3	物理层实施	137
7.1.4	桥接以太网	139
7.1.5	交换式以太网	139
7.1.6	全双工以太网	140
7.2	交换式局域网	140
7.2.1	交换式局域网的基本模块	140
7.2.2	LAN 交换器的特点	142
7.2.3	两种交换方式	142
7.2.4	第 3 层交换器	143
7.3	快速以太网	145
7.3.1	MAC 子层	145
7.3.2	物理层	145
7.3.3	物理层实施	146
7.4	千兆位以太网	149
7.4.1	以太网的进展	149
7.4.2	MAC 子层	151
7.4.3	物理层	151
7.4.4	物理层实施	151
7.4.5	千兆位以太网的应用	155
7.5	虚拟局域网工作原理	158
7.6	网络互连方式	160
7.6.1	中继器互连方式	161
7.6.2	网桥互连方式	161
7.6.3	路由器互连方式	163

7.6.4	网络互连方式的对比	163
7.7	本章小结	164
第8章	无线局域网	166
8.1	IEEE 802.11 体系结构	166
8.2	IEEE 802.11 物理层	167
8.3	IEEE 802.11 MAC	167
8.3.1	协议结构	167
8.3.2	帧结构	170
8.4	IEEE 802.11 地址机制	170
8.5	蓝牙体系结构	171
8.6	蓝牙层结构	172
8.6.1	无线电层	172
8.6.2	基带层	172
8.6.3	L2CAP 层	173
8.7	本章小结	174
第9章	广域网	175
9.1	低速广域网	175
9.2	点到点通信	177
9.2.1	SLIP 协议	178
9.2.2	PPP 协议	178
9.3	发展高速广域网的驱动因素	181
9.4	帧中继网	181
9.4.1	帧中继网产生背景	181
9.4.2	帧中继网与 X.25 网比较	182
9.4.3	帧中继协议结构	183
9.4.4	帧中继呼叫控制	185
9.4.5	用户数据传输	188
9.4.6	帧中继网络功能	189
9.5	ATM 网	190
9.5.1	ATM 网产生的背景	190
9.5.2	ATM 交换和控制	192
9.5.3	ATM 协议参考模型	195
9.5.4	ATM 层	196
9.5.5	ATM 物理层	197
9.5.6	ATM 的服务类别	198
9.5.7	ATM 适配层	200
9.6	同步光纤网	201

9.6.1	同步光纤网产生的背景	201
9.6.2	同步传输信号	201
9.6.3	SONET 物理配置	202
9.6.4	SONET 层	203
9.6.5	SONET 帧	204
9.6.6	多路复用 STS 帧	206
9.6.7	SONET 应用	207
9.7	本章小结	207
第 10 章	无线广域网	209
10.1	蜂窝技术发展概况	210
10.2	蜂窝电话	210
10.2.1	第一代蜂窝电话	211
10.2.2	第二代蜂窝电话	211
10.2.3	第三代蜂窝电话	214
10.3	移动通信	215
10.3.1	移动通信网	215
10.3.2	全球移动通信系统	216
10.3.3	无线软件应用协议	218
10.4	个人通信业务/个人通信网	220
10.5	卫星通信系统	221
10.5.1	卫星通信	221
10.5.2	甚小口径天线地球站	223
10.5.3	低轨道卫星通信系统	224
10.6	本章小结	225
第 11 章	网络层	226
11.1	网络层职责	226
11.1.1	网络互连要求	226
11.1.2	网络层职责	227
11.2	网间协议 IP	227
11.2.1	Internet IP 设计原则	227
11.2.2	Internet 体系结构	228
11.2.3	IP 数据报	229
11.2.4	IP 数据报选项	231
11.2.5	IP 操作	231
11.2.6	无连接互连网络的设计	231
11.3	Internet 地址	234
11.3.1	Internet 地址结构	234

11.3.2	Internet 地址映射	236
11.3.3	子网划分	238
11.3.4	无类别域间路由选择	241
11.3.5	网络地址转换	241
11.4	Internet 地址空间的扩展	242
11.4.1	IP 的更新	242
11.4.2	IPv6 数据报格式	243
11.4.3	IPv6 地址空间	244
11.4.4	IPv4 过渡到 IPv6	246
11.5	Internet 控制报文协议 ICMP	247
11.5.1	ICMP 机制	247
11.5.2	ICMP 报文格式	247
11.6	路由器体系结构	249
11.6.1	核心路由器体系结构	249
11.6.2	自治系统	249
11.7	IP 数据报的路由选择	250
11.7.1	IP 数据报的直接传送和间接传送	250
11.7.2	IP 路由选择表与算法	251
11.7.3	距离矢量路由选择	252
11.7.4	链路状态路由选择	252
11.8	内部网关协议	253
11.8.1	路由选择信息协议	253
11.8.2	开放最短路径优先协议	255
11.9	外部网关协议	258
11.10	边界网关协议	260
11.11	组播	261
11.11.1	组播路由	261
11.11.2	组播路由协议	262
11.12	本章小结	263
第 12 章	传输层	265
12.1	传输层服务和协议要素	265
12.1.1	网络层、传输层、应用层提供服务的关系	265
12.1.2	传送服务原语	266
12.1.3	传输层协议机制	268
12.2	用户数据报协议 UDP	273
12.2.1	UDP 协议功能	274
12.2.2	UDP 报文格式	274
12.2.3	UDP 的协议分层与封装	274

12.2.4	UDP 的复用、分解与端口	275
12.2.5	远程过程调用 RPC	276
12.2.6	实时传输协议 RTP	277
12.3	可靠的数据流传输	278
12.3.1	可靠数据流传输服务特性	278
12.3.2	可靠数据流传输服务的实现	279
12.4	传输控制协议	280
12.4.1	TCP 功能	280
12.4.2	TCP 报文格式	281
12.4.3	TCP 的操作	282
12.4.4	状态转换图	283
12.5	网络服务质量	284
12.5.1	流特性和改进 QoS 的技术	286
12.5.2	网络集成服务	288
12.5.3	网络资源预约协议	288
12.5.4	网络区分服务	289
12.6	本章小结	290
第 13 章	应用层	292
13.1	网络计算模式	292
13.2	客户机/服务器计算模式	294
13.2.1	客户机/服务器计算模式工作原理	294
13.2.2	客户机/服务器模式的优点	295
13.2.3	客户机/服务器模式在 Internet 中的使用	296
13.3	基于套接字的进程之间通信	297
13.3.1	客户机/服务器模式的通信	297
13.3.2	进程通信基本概念	298
13.3.3	套接字类型	300
13.4	Internet 域名系统	301
13.4.1	域名系统原理	301
13.4.2	域名的分级	302
13.4.3	Internet 域名系统	303
13.4.4	域名和地址的映射	304
13.5	文件传送协议 FTP	305
13.5.1	FTP 概述	305
13.5.2	镜像系统	307
13.6	用户登录 TELNET	308
13.6.1	本地登录	308
13.6.2	远程登录	308

13.7	电子邮件	309
13.7.1	电子邮件工作原理	309
13.7.2	简单邮件传输协议	314
13.7.3	通用 Internet 邮件扩展协议	317
13.8	环球信息网	320
13.8.1	环球信息网工作原理	320
13.8.2	超文本传输协议	321
13.8.3	超文本标记语言	322
13.8.4	通用资源访问地址	324
13.8.5	动态 Web 文档与 CGI 技术	325
13.8.6	活动 Web 文档和 Java 技术	327
13.8.7	BWD 模式的特点及优点	328
13.9	多媒体	329
13.9.1	存储的音频/视频流实现方案	330
13.9.2	直播的音频/视频流实现方案	332
13.9.3	实时交互式音频/视频实现	332
13.9.4	基于 IP 的语音	333
13.10	本章小结	335
第 14 章	网络管理	337
14.1	网络管理功能	337
14.2	网络管理模式与管理体制	340
14.3	网络管理的标准	343
14.4	简单网络管理协议	345
14.4.1	SNMP 网络管理模型	345
14.4.2	抽象语法表示	346
14.4.3	管理信息结构	346
14.4.4	常用管理信息库	349
14.4.5	SNMP 协议数据格式与工作模式	350
14.5	网络日常管理和维护	351
14.5.1	VLAN 管理	351
14.5.2	WAN 接入管理	352
14.5.3	网络故障诊断和排除	353
14.5.4	网络管理工具	355
14.6	本章小结	357
第 15 章	网络安全	358
15.1	网络安全体系结构	358
15.1.1	不同层次的安全	358