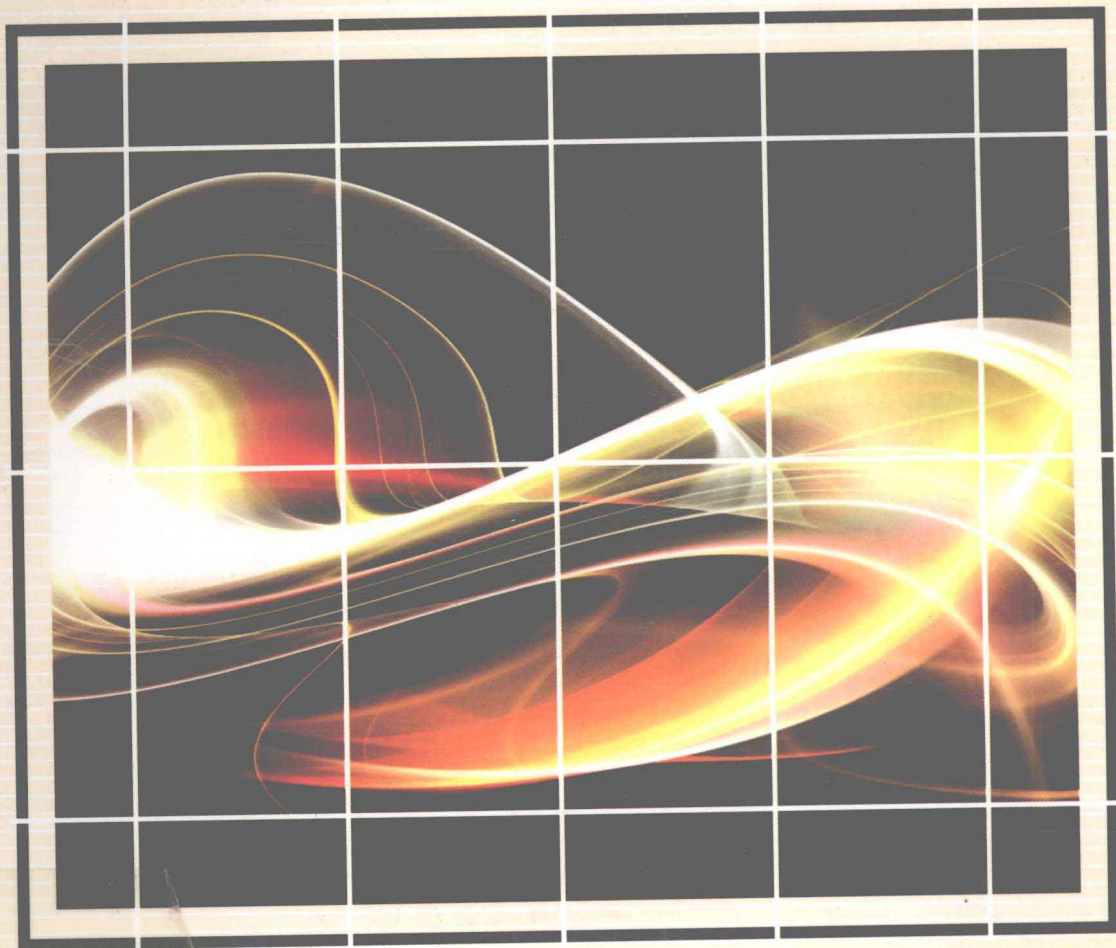


新世纪计算机类本科规划教材
COMPUTER

计算机网络(第三版)

雷震甲 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



新世纪计算机类本科规划教材

计 算 机 网 络

(第 三 版)

雷震甲 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书讲述了计算机网络的基本原理,选取常用的主流技术,简化了数学分析过程,注重从实用角度讲解计算机网络的基本概念和基本方法。本书也介绍了下一代互联网、3G/4G 通信网、无线局域网等新技术,以及有关网络安全和网络管理方面的基础知识,使读者能够了解计算机网络技术的发展和研究方向。

本书选材合理,讲解细致,语言流畅,并配备了适量的思考题和课后练习题,适合作为计算机科学技术专业教材,也可供网络技术人员作为参考书阅读。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络 / 雷震甲编著. —3 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.4

新世纪计算机类本科规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2527 - 0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 249951 号

策 划 陈宇光

责任编辑 李文娟 陈宇光

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2011 年 4 月第 3 版 2011 年 4 月第 15 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 25.5

字 数 602 千字

印 数 88 001~92 000 册

定 价 40.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2527 - 0/TP · 1258

XDUP 2819003-15

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书作为计算机科学技术专业的本科教材出版已经十多年了，这次修订有较大改进。首先，删除了明显过时的非主流技术，例如令牌总线和分布队列双总线等；其次，对一些已经不经常使用但对理解网络体系结构和网络新技术有帮助的基础知识进行了简化，例如 X.25 和 ATM 网络等；再次，也是最重要的，根据近年来网络应用技术的发展增加了许多新内容，例如移动通信技术 (GSM/CDMA、3G/4G)、弹性分组环和 P2P 应用模型等。此外还特别对无线局域网和下一代互联网用较大篇幅进行了重点分析，笔者认为这些内容代表了近期网络应用的主流技术。本书最后增加的一章“网络安全和网络管理”是重要的网络技术，但是也可以另外开设专门课程来讲述这些内容。

本书编写过程中遵循以下原则：对于网络通信理论，以够用为原则，注重基本概念的介绍，尽量简化数学分析过程；对于网络基础知识，主要选取主流技术，从应用角度介绍基本概念和基本方法，并注意与后续课程(如网络操作系统，组网技术和网络应用程序设计等)的衔接；最后，本书在介绍新技术方面进行了适当的拓展，使得读者能够了解网络技术的发展和研究方向。

本书每一章都配有适量的习题，完成这些练习对于深入理解课程的内容是必要的。如果结合教学进度，开设一些简单的网络实验（例如局域网互连、IP 地址配置和子网划分、Windows 服务器的配置等），这对于建立感性认识和实践网络操作技能都会有所帮助。建议本书在 60 课时内讲完。

欢迎读者批评指正。

编 者
2010 年 10 月

第二版前言

本教材自从 1999 年出版以来已历经 5 个年头, 5 年中本书重印 8 次, 发行近 6 万册, 被许多学校用作教材, 受到了广大读者的欢迎, 也收到了许多反馈意见。这次修订做了比较大的改动, 根据技术发展的形势和读者的意见, 删去了许多过时的内容, 增加了网络建设和组网工程中得到广泛应用的一些成熟技术, 例如快速分组交换技术、高速局域网技术、路由器技术、宽带网和无线局域网技术等。

经过修改后, 本书主要内容可以分为三大模块:

- **OSI/RM 理论:** OSI 参考模型是学习和理解 (甚至研究) 网络体系结构的总体框架。本书详细介绍了 OSI 参考模型的理论, 以 X.25 公用数据网作为实例, 讲述了网络通信方面的基础知识, 并把这些知识从传统的分组交换网推广到更先进的分组交换技术 (例如帧中继和 ATM)。

- **TCP/IP 协议簇和因特网:** 详细介绍了 TCP/IP 网络的主要协议、关键技术和重要算法, 特别是通过组网工程中的路由器技术讲述了网络协议之间的关系, 使学生可以获得构建和管理网络的实际技能。通过对宽带集成服务的介绍向学生展示了网络应用发展的方向。

- **局域网标准:** 通过详细介绍 IEEE 802 标准使学生掌握局域网的基本原理, 学会组建和管理局域网。组网工程中的实用技术, 例如网桥技术和交换机技术都有详细介绍, 使学生可以深入理解网络中的通信机制, 以及协议之间的相互关系。

本书包含的材料都是网络方面的基础知识, 在一段时间内不会过时, 有利于教学经验的积累和教学水平的提高。同时, 本教材的内容又是进一步学习 (研究生学习和应用开发) 所必须掌握的知识, 可以为后续的研究生学习或应用开发打好基础。

积十多年的网络教学经验, 作者认为, 计算机网络教材既不能写成解释网络技术标准的说明书, 也不能写成推介网络新产品的科普论文。重要的是通过对网络协议操作原理的深入分析, 使学生掌握进行网络理论和技术研究的基础知识, 至于实际的操作技能, 则要通过实践课程来获得。这种看法是否妥当, 敬请使用本教材的读者不吝指教。

作 者

2003 年 5 月

第一版前言

近年来,计算机网络技术的发展非常迅速,新的网络技术和网络标准不断推出,使得人们熟悉的网络知识很快就过时了。笔者在教学中深感需要一种能够反映当前技术现状,符合最新国际标准的计算机网络教材,因此参考国内外已有的教材和最近颁布的国际标准编写了这本书。本书的内容适合作为计算机及相关专业研究生和本科生的教材,如作为专科生的教材可选用部分内容。下面对本书的内容作一简要介绍,供使用时参考。

本书在介绍数据通信和计算机网络基本概念的基础上,以 OSI 参考模型为主线,全面系统地阐述了计算机网络七层协议的主要内容,同时分三个模块讲述了 X.25 公用数据网、国际互联网和局域网方面的基本概念和基本原理。本书的参考教学时数为 50~70 学时。第 1 章介绍计算机网络的基本概念。第 2 章是数据通信方面的基础知识,若学生已学过数据通信课程,这一章可以不讲。第 3 章介绍计算机网络体系结构的基本概念,这些概念贯穿于全书,本书的内容就是按照参考模型的体系结构组织的。第 4、5、6、7 章分别讲述物理层、数据链路层、网络层和传输层的主要概念、协议及其原理。考虑到远程联网的需求越来越多,在物理层一章介绍了比较实用的有关 RS-232-C 和 Modem 的基础知识;数据链路层主要讲述 HDLC 协议的原理及简单的计算方法。我们在网络层一章(第 6 章)对 IP 协议的原理进行了重点讲述,同时完整地介绍了 X.25 公用数据网的基本原理及其协议;在传输层一章(第 7 章)讲述 OSI 传输协议的机制,同时对 TCP 协议也进行了详细的介绍;OSI 体系结构的高层协议在第 8 章介绍。这些内容反映了网络技术发展的最新成就,因此在本书中占的篇幅也略大一些。其中,在会话层,我们突出了会话结构化技术;在表示层着重讲述抽象语法表示 ASN.1 的基本概念,这是设计高层网络协议的基本技术。由于应用层的内容太多太杂,我们只能介绍 OSI 应用层的基础知识和基本概念,不能(也没有必要)详细介绍某种特殊的应用。本书第 9 章是关于局域网的,重点介绍了 IEEE 802.3、802.4、802.5、802.6 以及 FDDI 等几个局域网标准,CSMA/CD 协议和令牌环网协议是本章的重点。最后一章是网络互联技术,讲述局域网之间、广域网之间以及局域网和广域网之间的互联技术,这一章也介绍了国际互联网(Internet)提供的服务及其应用。本书在每章后均附有丰富的习题,有些习题是关于课文基本内容的,有些是为了扩充和提高而加入的,在教学实施时可根据具体情况选用。

本书在选材上考虑到既要跟踪最新的国际标准,又不能把教科书写成标准的缩编,因此对协议背后的基本概念和基本原理都进行了细致的解释和举例。笔者认为,作为计算机网络原理课程的教材,应该教给学生解决问题的思路,而不只是给学生提供一本工作手册。限于篇幅和教学时数,本书未能收入一些新出现的网络技术,但本书的内容仍然反映了当

前应用最广、最接近实际的网络技术。

笔者在编写过程中深感网络技术发展太快，网络知识涉及面很广，很难完全包容在一门课程或一本书中。本书的内容和取舍是否得当，学生是否容易接受，只好留待读者指正了。

在本书编写过程中作者得到西安电子科技大学 301 教研室很多同事的支持和帮助，在此深表谢意。王西民和杨建堂协助作者查找了很多资料，杜雪芳打印了大部分书稿。杨清永为本书绘图做了大量工作。西安电子科技大学出版社的陈宇光对本书的编辑做了细致而有成效的工作，给本书增色不少。限于作者的水平和学识，疏漏甚至错误之处在所难免，万望读者不吝指教。

作 者

1998 年 12 月

目 录

第 1 章 计算机网络概论 1	2.5 数据通信方式 36
1.1 计算机网络的基本概念 1	2.6 多路复用技术 36
1.1.1 什么是计算机网络 1	2.6.1 频分多路复用 36
1.1.2 计算机网络的通信方式 1	2.6.2 波分多路复用 37
1.1.3 计算机网络的分类 2	2.6.3 时分多路复用 37
1.2 计算机网络的发展简史 3	2.6.4 同步数字系列 39
1.2.1 计算机通信网 3	2.7 传输介质 40
1.2.2 早期的远程联机系统 4	2.7.1 双绞线 40
1.2.3 ARPAnet 4	2.7.2 同轴电缆 42
1.2.4 Internet 5	2.7.3 光缆 42
1.2.5 下一代互联网 6	2.7.4 无线信道 43
1.2.6 我国互联网络的发展 7	2.8 结构化综合布线 45
1.3 互联网对人类社会的影响 9	2.9 公共交换电话网 48
1.3.1 互联网的应用 9	2.10 串行通信接口 49
1.3.2 互联网带来的机遇和挑战 10	2.10.1 EIA RS-232-C 50
1.4 计算机网络体系结构 11	2.10.2 RS-422 和 RS-485 接口 53
1.4.1 计算机网络的标准化 11	2.10.3 USB 接口 54
1.4.2 计算机网络的功能特性 11	2.10.4 IEEE-1394 接口 54
1.4.3 开放系统互连参考模型 14	2.11 ADSL 接入技术 55
1.5 几种商用网络的体系结构 19	2.11.1 对称 DSL 技术 55
1.5.1 SNA 19	2.11.2 非对称 DSL 技术 55
1.5.2 X.25 20	2.12 公用数据网接口 57
1.5.3 Novell NetWare 21	2.12.1 X.21 接口 57
1.5.4 TCP/IP 22	2.12.2 V.35 接口 58
习题 23	习题 59
第 2 章 物理层 24	第 3 章 数据链路层 61
2.1 数据通信的基本概念 24	3.1 同步通信和异步通信 61
2.1.1 信道带宽 25	3.2 纠错编码 62
2.1.2 信道延迟 26	3.2.1 检错码 62
2.2 数据编码 26	3.2.2 海明码 63
2.3 数字调制技术 30	3.2.3 循环冗余校验码 64
2.4 脉冲编码调制 33	3.3 链路配置和传输控制 66
2.4.1 PCM 原理 33	3.4 流量控制 68
2.4.2 增量调制 34	3.4.1 停等协议 69

3.4.2 滑动窗口协议	70	4.6 综合业务数字网	120
3.5 差错控制	73	4.6.1 窄带 ISDN	120
3.5.1 停等 ARQ 协议	73	4.6.2 宽带 ISDN	121
3.5.2 后退 N 帧 ARQ 协议	74	习题	123
3.5.3 选择重发 ARQ 协议	75	第 5 章 传输层	126
3.5.4 协议性能分析	76	5.1 传输服务	126
3.6 HDLC 协议	78	5.1.1 服务质量	126
3.6.1 HDLC 的基本概念	78	5.1.2 加急投送服务	127
3.6.2 HDLC 帧结构	79	5.1.3 连接管理服务	127
3.6.3 HDLC 的帧类型	80	5.2 传输协议	128
3.6.4 HDLC 的操作	82	5.2.1 传输协议的分类	128
3.7 PPP 协议	83	5.2.2 寻址	129
3.7.1 PPP 协议的应用	83	5.2.3 多路复用	130
3.7.2 PPP 的帧格式	84	5.2.4 流量控制	130
3.7.3 LCP 和 NCP 协议	85	5.2.5 连接管理	132
3.7.4 PPP 认证协议	86	5.2.6 网络失效和系统崩溃的恢复	136
习题	86	5.3 TCP 协议	136
第 4 章 网络层	89	5.3.1 TCP 服务	136
4.1 交换方式	89	5.3.2 TCP 段头格式	138
4.1.1 电路交换	89	5.3.3 TCP 的连接管理	140
4.1.2 报文交换	90	5.3.4 TCP 拥塞控制	142
4.1.3 分组交换	90	5.4 UDP 协议	144
4.1.4 网络服务及其实现	91	习题	144
4.2 路由选择	93	第 6 章 局域网与城域网	146
4.2.1 最短通路算法	94	6.1 LAN 局域网技术概论	146
4.2.2 路由选择策略	97	6.1.1 拓扑结构和传输介质	146
4.2.3 距离矢量路由算法	99	6.1.2 LAN/MAN 的 IEEE 802 标准	151
4.2.4 链路状态算法	101	6.2 逻辑链路控制(LLC)子层	152
4.3 交通控制	102	6.2.1 LLC 地址	153
4.3.1 交通控制技术的分类	102	6.2.2 LLC 服务	154
4.3.2 交通控制技术的分级	106	6.2.3 LLC 协议	154
4.4 IP 协议	107	6.3 介质访问控制技术	155
4.4.1 IP 地址	107	6.3.1 循环式	156
4.4.2 IP 协议的操作	109	6.3.2 预约式	156
4.4.3 IP 协议数据单元	110	6.3.3 竞争式	156
4.4.4 ICMP 协议	111	6.4 以太网	156
4.5 公共数据网	112	6.4.1 ALOHA 协议	157
4.5.1 X.25 建议	112	6.4.2 CSMA/CD 协议	159
4.5.2 帧中继	115	6.4.3 CSMA/CD 协议的性能分析	163

6.4.4	MAC 和 PHY 规范	164	7.5.2	组播地址.....	227
6.4.5	交换式以太网	168	7.5.3	因特网组管理协议.....	228
6.4.6	高速以太网	169	7.5.4	组播路由协议.....	232
6.4.7	虚拟局域网	171	7.6	IP QoS 技术	235
6.5	令牌环网	173	7.6.1	集成服务.....	236
6.5.1	令牌环网的工作特点	173	7.6.2	资源预约.....	237
6.5.2	令牌环的 MAC 协议	174	7.6.3	区分服务	240
6.5.3	光纤环网 FDDI.....	178	7.6.4	流量工程	243
6.6	局域网互连	178	7.7	Internet 应用	244
6.6.1	网桥协议的体系结构	178	7.7.1	远程登录协议.....	245
6.6.2	生成树网桥	181	7.7.2	文件传输协议.....	245
6.6.3	源路由网桥	185	7.7.3	超文本传输协议.....	246
6.7	城域网	187	7.7.4	P2P 应用模型	249
6.7.1	城域以太网	187	习题.....		252
6.7.2	弹性分组环	190	第 8 章 无线通信网		254
习题		193	8.1	移动通信.....	254
第 7 章 TCP/IP 协议与互联网		195	8.1.1	蜂窝通信系统.....	254
7.1	网络互连设备	195	8.1.2	第二代移动通信系统.....	255
7.1.1	中继器	195	8.1.3	第三代移动通信系统.....	257
7.1.2	网桥	196	8.2	无线局域网.....	258
7.1.3	路由器	197	8.2.1	WLAN 的基本概念.....	258
7.1.4	网关	198	8.2.2	WLAN 通信技术.....	259
7.2	域名和地址	199	8.2.3	IEEE 802.11 体系结构	264
7.2.1	网际互连	199	8.2.4	移动 Ad Hoc 网络.....	269
7.2.2	域名系统	201	8.2.5	IEEE 802.11 的新进展.....	277
7.2.3	域名服务器	204	8.3	无线个人网.....	281
7.2.4	地址分解协议	206	8.3.1	蓝牙技术.....	282
7.2.5	动态主机配置协议	209	8.3.2	ZigBee 技术.....	286
7.3	路由协议	212	8.4	无线城域网.....	291
7.3.1	自治系统	212	8.4.1	关键技术	293
7.3.2	外部网关协议	213	8.4.2	MAC 子层	293
7.3.3	内部网关协议	214	8.4.3	向 4G 迈进	294
7.3.4	核心网关协议	221	习题.....		295
7.4	路由器技术	221	第 9 章 下一代互联网.....		297
7.4.1	NAT 技术.....	222	9.1	IPv6	297
7.4.2	CIDR 技术.....	223	9.1.1	IPv6 分组格式.....	298
7.4.3	第三层交换技术	225	9.1.2	IPv6 地址.....	301
7.5	IP 组播技术.....	226	9.1.3	IPv6 路由协议.....	305
7.5.1	组播模型概述	226	9.1.4	IPv6 对 IPv4 的改进	307

9.2 移动 IP	307	10.4.1 X.509 数字证书	344
9.2.1 移动 IP 的通信过程	308	10.4.2 数字证书的获取	345
9.2.2 移动 IPv6	310	10.4.3 数字证书的吊销	346
9.3 从 IPv4 向 IPv6 的过渡	313	10.4.4 密钥管理	346
9.3.1 隧道技术	313	10.5 虚拟专用网	349
9.3.2 协议翻译技术	320	10.5.1 虚拟专用网工作原理	349
9.3.3 双协议栈技术	322	10.5.2 VPN 解决方案	350
9.4 下一代互联网的发展	324	10.5.3 第二层安全协议	351
9.4.1 IP 地址的分配	325	10.5.4 网络层安全协议	353
9.4.2 IPv6 在亚洲	326	10.5.5 安全套接层(SSL)	355
9.4.3 IPv6 在欧美	329	10.6 防火墙	356
9.4.4 我国的下一代互联网研究	332	10.6.1 防火墙的基本概念	357
习题	333	10.6.2 防火墙的体系结构	358
第 10 章 网络安全与网络管理	335	10.7 网络管理系统	361
10.1 网络安全的基本概念	335	10.7.1 网络管理的基本概念	361
10.1.1 网络安全威胁	335	10.7.2 网络管理系统体系结构	361
10.1.2 网络攻击的类型	335	10.7.3 网络监视	364
10.1.3 网络安全技术分类	336	10.7.4 网络控制	369
10.2 数据加密	336	10.8 网络管理标准	374
10.2.1 经典加密技术	337	10.8.1 简单网络管理协议	375
10.2.2 信息加密原理	337	10.8.2 管理信息库	377
10.2.3 现代加密技术	338	10.9 网络管理工具	380
10.3 认证技术	341	10.9.1 网络配置和诊断命令	380
10.3.1 基于共享密钥的认证	341	10.9.2 网络监视工具	390
10.3.2 基于公钥算法的认证	341	10.9.3 网络管理平台	392
10.3.3 数字签名	342	习题	395
10.3.4 报文摘要	343	参考文献	396
10.4 数字证书与密钥管理	344		

第 1 章

计算机网络概论

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物。计算机网络是信息收集、分发、存储、处理和应用的载体。计算机网络作为一种生产和生活设施被人们广泛接纳和使用之后，对人类社会的政治、经济和文化生活产生了重大影响。本章讲述计算机网络的基本概念和发展简史，以及国际标准化组织定义的开放系统互连参考模型，后者是分析和认识计算机网络的理论框架。

1.1 计算机网络的基本概念

1.1.1 什么是计算机网络

计算机网络是由通信线路连接的许多自主工作的计算机构成的集合体。计算机联网的目的是实现资源共享，包括信息资源、软件资源和硬件资源的共享。信息资源共享就是联网的计算机用户之间可以互相通信，包括发送电子邮件和实时会话通信，然而最典型的信息资源共享方式是许多计算机作为远程终端可以访问远程数据库服务器中的数据。软件资源共享是指共享软件的功能。有些软件的功能可以遍及联网的所有计算机，这样的软件叫做网络软件，例如服务器操作系统和网络游戏软件就是网络软件。硬件资源共享的简单例子是局域网用户共享打印机，更一般的硬件资源共享可以扩展到共享 CPU 资源，即联网的计算机协同工作完成一个比较大的计算任务。

在计算机网络发展的过程中，曾经产生过许多技术不同、形态各异的网络，今天我们直接接触的计算机网络就是国际互联网(Internet)。Internet 融合了现代计算机技术、信息技术和通信技术的研究成果，使得人类历史跨入了信息化时代。

1.1.2 计算机网络的通信方式

计算机网络采用包交换方式通信，就是把计算机要发送的信息打成一个数据包，然后在各个交换结点之间不断传递，最后到达目标。如果把联网的计算机和组成网络的交换设备都抽象成网络结点，则得到如图 1-1 所示的拓扑结构图。

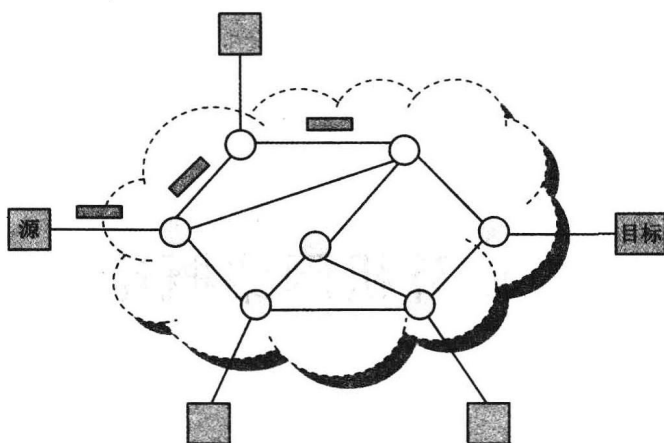


图 1-1 网络拓扑结构图

在图 1-1 中，虚线框外的方块结点表示联网的计算机，所有的计算机及其外围设备构成了资源子网；虚线框内的圆圈结点表示网络交换设备(路由器、交换机等)，所有的交换设备构成了通信子网。从源计算机发出的二进制信息被打包成多个数据包，包头中含有目标地址和源地址。网络中的交换结点根据目标地址选择路由，一站一站地转发，并把数据包送达目标。这个过程类似于邮政系统邮递邮包的过程。

1.1.3 计算机网络的分类

可以根据不同的标准对计算机网络进行分类，以便了解各种计算机网络的特点。从网络覆盖范围来分类，可以将其分为局域网(Local Area Network, LAN)、城域网(Metropolitan Area Network, MAN)和广域网(Wide Area Network, WAN)。局域网的覆盖范围小，一个实验室网络或校园网都属于局域网。局域网的特点是：

- (1) 采用规则的拓扑结构(总线型、星型、环型)，参见图 1-2。
- (2) 采用广播通信方式，一个站点发送的信息要广播到全网，但是只有目标站点接收。
- (3) 由于通信距离短，所以通信速率高，传播速度快。
- (4) 由一个组织所有，按照组织制定的管理策略进行管理，提供组织内部的网络应用。

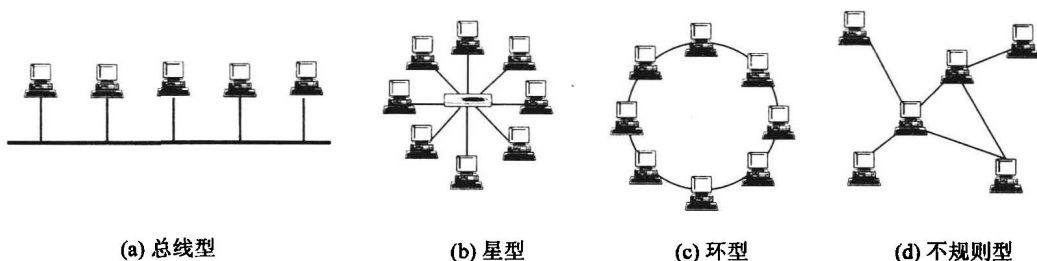


图 1-2 网络的拓扑结构

城域网的覆盖范围可以达到整个市区和郊区，它采用的通信方式也是广播方式。广域网是指覆盖全国乃至全世界的网络，采用分组交换的通信方式。城域网和广域网都是由通信公司运营和管理的，向社会提供公共服务。

按照使用方式可以把计算机网络划分为校园网(Campus Network)和企业网(Enterprise

Network),前者用于学校内部的教学和科研信息的交换和共享,后者用于企业管理和办公自动化。一个校园网或企业网可以由内联网(Intranet)和外联网(Extranet)组成。内联网是采用 Internet 技术(TCP/IP 协议和 B/S 结构)建立的校园网或企业网,用防火墙限制了与外部的信息交换,以确保网络内部信息的安全。外联网是校园网或企业网向外延伸的部分,通过 Internet 上的安全通道与内部网进行通信,例如一个企业的重要客户可以通过外联网与企业内部网进行通信。

按照网络服务的范围可以把计算机网络分为公用网和专用网。公用网是通信公司建立和经营的网络,向社会提供有偿的通信服务。专用网一般是建立在公用网基础上的虚拟网络,仅限于一定范围内的用户之间进行通信,或者对一定范围内的通信设备实施特殊的管理。通常在公用网上可以建立针对一个用户群的虚拟专用网,提供用户群内部的私有信息交换。

按照网络提供的服务可以将其分为通信网和信息网。通信网提供远程联网服务,各种校园网和企业网通过远程连接形成了互联网,提供联网服务的供应商叫做 ISP(Internet Service Provider)。信息网提供 Web 信息浏览、文件下载和电子邮件传送等多种增值服务,提供信息服务的供应商叫做 ICP(Internet Content Provider)。

1.2 计算机网络的发展简史

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物,广域通信网的发展为计算机联网提供了信息高速公路,关于计算机网络的发展历史要从广域通信网的发展谈起。

1.2.1 计算机通信网

1876年,贝尔(Alexander Graham Bell)获得了电话专利,这一年被认为是电话系统的元年。第二年贝尔电话公司成立,建立了第一个电话控制平台,采用人工交换方式实现拨号、通话、挂断等操作,从而结束了点对点专线连接的时代。1895年,贝尔公司将长途业务分割出来,成立了美国电话电报公司(AT&T)。这个公司曾经长期垄断美国的长途和本地电话市场,并把业务推广到了全世界。后来 AT&T 经历了多次分拆和重组,目前仍是美国最大的电话公司,其总部位于德克萨斯州圣安东尼奥市。

电话网络采用电路交换的通信方式,在一对通话的用户之间建立一条临时的电话通路,以电波传播的速度传送话音。面向社会提供电话服务的通信网被称为公共交换电话网(Public Switched Telephone Network, PSTN)。PSTN 经历了从人工交换到自动交换、从机电式交换到程控式交换、从空分交换到时分交换、从模拟交换到数字交换的发展过程。1888年 Strowger 发明了第一台自动控制的电话交换系统,这种交换机包含马达、凸轮、旋转开关和继电器等部件,被称为机电式交换机。程控交换机是由电子计算机控制的,用预先编制好的程序来控制电话的接续工作。1965年,美国贝尔系统的 1 号电子交换机问世,这是第一部开通使用的程控交换机,但还不是时分数字式的,而是“空分”的。所谓空分,就是用户通话时要占用一对线路,一直到打完电话为止。从 1965 年到 1975 年这 10 年间,大部分交换机都是空分的、模拟的程控交换机。1970 年,法国开通了第一部程控数字交换机,采用了时

分复用技术和大规模集成电路设备。进入 20 世纪 80 年代, 程控数字电话交换机才开始普遍使用。

程控数字交换与数字传输技术相结合, 不仅可以实现电话交换, 还能实现传真、数据、图形图像信息的交换。20 世纪 70 年代中后期是数据通信快速发展的时期, 各个发达国家的政府部门、研究机构和电报电话公司都在发展传输数据的分组交换网。分组交换就是把信息打包成“分组”, 通过数字电话网传送二进制数据信息。英国邮政局于 1973 年建立了 EPSS 分组交换网, 法国信息与自动化研究所(IRIA)于 1975 年建成了称为 CYCLADES 的分布式数据处理网络, 加拿大在 1976 年建成 DATAPAC 分组交换网, 日本电报电话公司于 1979 年建立了 DDX-3 公用数据网。这一类网络都是以实现计算机之间的远程数据传输为主要目的, 从而形成了区别于以话音通信为主要目的的公用数据网(Public Data Network, PDN)。

1.2.2 早期的远程联机系统

1946 年第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国问世, 不久就有了计算机技术与通信技术的结合。1951 年, 美国麻省理工学院林肯实验室开始为美国空军设计称为 SAGE 的半自动化地面防空系统, 该系统最终于 1963 年建成, 被认为是计算机技术与通信技术结合的先驱。在将计算机通信技术应用于民用系统方面, 最早的当数美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 50 年代初开始联合研发、20 世纪 60 年代初投入使用的飞机订票系统 SABRE-I。美国通用电气公司的信息服务系统是当时世界上最大的商用数据处理网络, 其地理范围从美国本土延伸到欧洲、澳大利亚和日本, 该系统于 1968 年投入运行, 具有交互式处理和批处理能力, 由于地理范围大, 可以利用时差达到资源的充分利用。这一类系统都是以大型计算机为中心的远程联机系统, 形成了早期的计算机网络应用模式, 如图 1-3 所示。

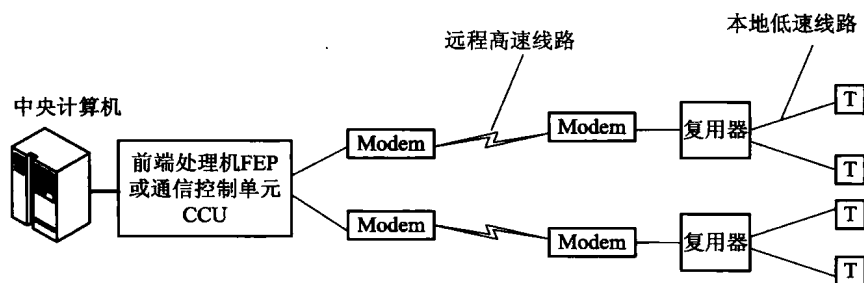


图 1-3 远程联机系统

1.2.3 ARPAnet

Internet 是美苏冷战的产物。1957 年, 在前苏联第一颗人造地球卫星上天的刺激下, 美国国防部立即成立了一个战略研究机构——高级研究计划局(Advanced Research Project Agency, ARPA), 负责资助“High Risk, High Gain”的军事研究计划。1962 年, ARPA 提出了建立分布式军事通信系统的设想, 这种系统能够承受第一次核打击的考验, 当部分站点被摧毁后, 其他站点能够绕过已被摧毁的站点而继续保持联系。显然, 这样的通信系统不能沿用传统电话系统的通信方式。电话网络, 以及后来建立的数据通信网都是采用面向连接的通信模式, 即在正式通信之前, 先要通过呼叫过程建立一个从源站到目标站的连接(物理的或逻辑的), 然后才能开始通信, 而建立连接的过程是漫长的(相对于发送很短的作战命

令)、脆弱的(可能被干扰和破坏)。

1969年,在ARPA的资助下,加州大学洛杉矶分校(UCLA)、加州大学圣芭芭拉分校(UCSB)、斯坦福研究院(SRI),以及位于盐湖城的犹他大学(UTAH)把4台计算机通过专门的通信控制处理机和专用通信线路连接起来,进行了通信实验,并成功地发送了一组数据,这就是ARPAnet的发端。ARPAnet采用了与传统通信网不同的无连接的网络协议,没有建立连接的过程,直接发送带有目标地址的数据分组,可以通过多种路径到达目标。两年后,ARPAnet建成15个结点,进入工作阶段。此后,ARPAnet的规模不断扩大,到了20世纪70年代后期,其网络节点超过60个,主机达100多台,地理范围跨越了美洲大陆,连通了美国东部和西部的许多大学和研究机构,而且通过通信卫星与夏威夷和欧洲地区的计算机网络互相连通。ARPAnet的主要特点是:① 资源共享;② 分散控制;③ 分组交换;④ 采用专门的通信控制处理机;⑤ 分层的网络协议。这些特点被认为是现代计算机网络的一般特征。

1.2.4 Internet

1973年9月,Bob Kahn和Vint Cerf在互联网工作组的一次会议上发表了主机对主机的传输控制协议TCP,随后又在1977年展示了不同网络间的互联协议IP。由于TCP/IP解决了不同网络间的互联问题,因此很受欢迎,有人称Bob Kahn和Vint Cerf为互联网之父。TCP/IP协议最早是由UC Berkeley的计算机专家将其结合到Unix系统中的,在大学里作为教学与研究之用。1982年,美国国防部把TCP/IP技术公开,作为网络标准发布,促进了互联网技术的蓬勃发展。

出于安全的考虑,1983年ARPAnet被分成两部分,专门用于军事的部分叫做MILnet,其余的仍以ARPAnet相称,以ARPAnet为主体互联而成的广域网络称为互联网(Internet)。从1969年ARPAnet诞生到1983年,是互联网发展的第一阶段,也是研究试验的阶段,当时接在互联网上的计算机约235台。

1986年,美国国家科学基金会(NSF)制定了一个使用超级计算机的计划,在全美建立了5个超级计算机中心,利用ARPAnet的TCP/IP协议把这些计算中心连接起来,形成了NSFnet的雏形。NSF资助各大学和研究机构与这些巨型计算机联网,建立了一个广域网,成为互联网的主体部分。1987年,经过公开招标,由IBM、MCI和多家大学组成的非盈利性机构Merit获得了NSF的合同,对NSFnet进行运营和管理。由于NSF的鼓励和资助,从1986年至1991年,NSFnet的子网从100个增加到3000多个。随着计算机网络在全球的拓展和扩散,美洲以外的网络也逐渐接入NSFnet主干网。1989年,MILnet与NSFnet连接后就开始采用Internet这个名称。当其他部门的计算机网络相继并入Internet时,ARPAnet即功成身退。1992年,Internet学会成立,该学会把Internet定义为“组织松散的、独立的国际合作互联网络”,“通过自主遵守计算协议和过程支持主机对主机的通信”。

1993年,伊利诺大学的学生马克·安德瑞森(Marc Andreessen)深感网络上信息量浩如烟海,查找资料非常麻烦,于是开发了一个叫做马赛克(Mosaic)的软件,通过它可以作定向导航,这就是早期的网络浏览器。1994年4月风险投资家克拉克与安德瑞森创办了网景公司,把马赛克改名为网景航海家(Netscape Navigator),微软紧随其后推出了自己的IE浏览器。由于有了浏览器,网络的使用变得非常简单,从此网络变成了普通百姓手中的玩物,使得

Internet 的用户数量和覆盖范围迅速扩大。

1991 年, 美国国会议员阿尔·戈尔提出了建设国家信息基础设施(National Information Infrastructure, NII)的法案, 他把这个项目称为“信息高速公路”。时任美国总统布什在当年 11 月签署了这一法案。1992 年, 克林顿入主白宫, 戈尔担任副总统, 随即成立了由戈尔主持的国家信息基础设施顾问委员会。1994 年 1 月 25 日, 克林顿在《国情咨文》中对这个项目作了发展规划, 其长期目标是: 用 15 年到 20 年时间, 耗资 2000~4000 亿美元, 以建设美国国家信息基础设施作为发展政策的重点和产业发展的基础。将 NII 寓意于信息高速公路, 令人联想到 20 世纪早期美国兴起的高速公路建设在振兴经济中的巨大作用。信息高速公路将改变人们生活、工作和相互沟通的方式, 将产生比工业革命更为深刻的影响。1995 年, 北美、欧洲和东亚地区迎来了互联网建设的高潮, 这一年被称为国际网络年。

从 1983 年到 1995 年是 Internet 发展的第二阶段, 这是 Internet 开始在教育 and 科研领域广泛使用的实用阶段。在 1995 年之后的五、六年间, Internet 进入了全速发展时期。NSF 不再向 Internet 提供资金, 为了解决网络运营经费的问题, Internet 的经营开始商业化, 同时向社会开放商业应用。于是 Internet 进入了第三个发展阶段, 即商业应用阶段。商业用户的介入, 为互联网的发展带来了更大的机遇。

1.2.5 下一代互联网

现在的互联网是建立在 IPv4 协议的基础上, 经过多年发展以后, 它逐渐显露出一些当初设计中的缺陷, 其中最紧迫的就是地址空间短缺问题。上世纪 90 年代初, 人们就开始讨论新的互联网络协议。IETF 的 IPng 工作组在 1994 年 9 月提出了一个正式草案“The Recommendation for the IP Next Generation Protocol”, 1995 年底确定了 IPng 协议规范, 称为 IPv6。尽管设计 IPv6 最初的动机主要是解决地址空间日益紧张的问题, 但是人们希望它同时能够解决 IPv4 难以解决的其他问题, 包括网络安全、服务质量(QoS)和移动计算等。

国际 IPv6 试验网 6bone 于 1996 年建立, 曾经扩展到 50 多个国家和地区, 对 IPv6 的关键技术进行了广泛的实验。到 1998 年初, IPv6 协议的基本框架已经逐步成熟, IETF 成立了专门的工作组——Next Generation Transition(简称 ngtrans), 研究从 IPv4 向 IPv6 过渡的策略和技术。

下一代网络(Next Generation Network, NGN)将基于 IPv6 来构建。2004 年, 美国 NLR(National LambdaRail)联盟开通了传输速率达 10G 的光纤网络, 在相距 6000 英里的圣迭哥大学与芝加哥大学之间建立了以太网连接, 在此基础上研究人员开展了 Internet 2 的研究工作。NLR 联盟由美国领先的研究型大学和技术公司组成, 发起组建覆盖全美国的联网基础设施, 以此促成科学、工程和医学领域中基于下一代网络的应用。2004 年 9 月, 欧盟宣布开通了 GéANT, 建成了所有欧盟国家的学术网, 用于研究下一代互联网技术。2004 年 3 月, CERnet 2 试验网开通, 这是我国第一个 IPv6 主干网, 与日本和韩国的 IPv6 网形成了亚太地区的 APAN (Asia Pacific Advanced Network)。2004 年 1 月 15 日, 包括上述三大网络在内的全球最大的学术互联网在布鲁塞尔欧盟总部向全世界宣布, 同时开通全球的下一代互联网服务。

在这些研发项目中, 特别需要提到的是中国的下一代互联网示范工程 CNGI (China Next Generation Internet)。CNGI 是实施我国下一代互联网发展战略的起步工程。2003 年 8 月,