

21世纪高等学校计算机规划教材

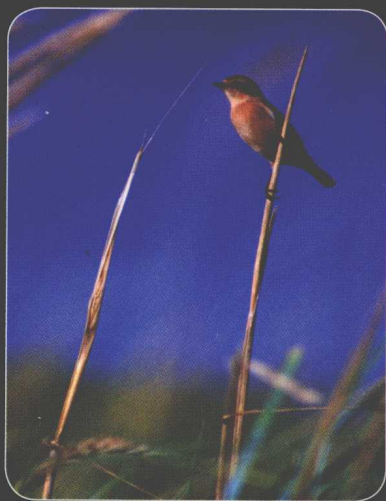
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机 网络

Computer Networks

杨心强 编著

- 概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂
- 以通俗语言阐述计算机网络基本原理
- 反映计算机网络最新进展



精品系列



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机 网络

Computer Networks

杨心强 编著



精品系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机网络 / 杨心强编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010.5
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-22384-5

I. ①计… II. ①杨… 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(2010)第044606号

内 容 提 要

本书是人民邮电出版社“21世纪高等学校计算机规划教材”精品系列之一。

全书共9章,比较系统全面地介绍了计算机网络的发展和原理性的体系结构、物理层、数据链路层、网络层、运输层、应用层、多媒体应用服务、无线网络,以及网络管理和安全等内容。各章末均附有习题。另有3个附录,附录A是部分习题参考答案,附录B是英文缩写词,附录C是参考文献及重要网址。为了便于教学,本书还提供了可修改的电子教案。

本书的特点是概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂;以通俗的语言,阐述了计算机网络的基本概念和基本原理,同时也力求反映计算机网络的一些最新进展。本书可作为高等学校计算机或通信以及其他有关专业的本科生教材,也可作为职业教育相关专业的参考教材,对从事数据通信和计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

21世纪高等学校计算机规划教材

计算机网络

◆ 编 著 杨心强

责任编辑 刘 博

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21.5

字数: 563千字

印数: 1—3000册

2010年5月第1版

2010年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22384-5

定价: 35.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

计算机应用能力已经成为社会各行业最重要的工作要求之一，而计算机教材质量的好坏会直接影响人才素质的培养。目前，计算机教材出版市场百花争艳，品种急剧增多，要从林林总总的教材中挑选一本适合课程设置要求、满足教学实际需要的教材，难度越来越大。

人民邮电出版社作为一家以计算机、通信、电子信息类图书与教材出版为主的科技教育类出版社，在计算机教材领域已经出版了多套计算机系列教材。在各套系列教材中涌现出了一批被广大一线授课教师选用、深受广大师生好评的优秀教材。老师们希望我社能有更多的优秀教材集中地呈现在老师和读者面前，为此我社组织了这套“21世纪高等学校计算机规划教材——精品系列”。

“21世纪高等学校计算机规划教材——精品系列”具有下列特点。

(1) 前期调研充分，适合实际教学需要。本套教材主要面向普通本科院校的学生编写，在内容深度、系统结构、案例选择、编写方法等方面进行了深入细致的调研，目的是在教材编写之前充分了解实际教学的需要。

(2) 编写目标明确，读者对象针对性强。每一本教材在编写之前都明确了该教材的读者对象和适用范围，即明确面向的读者是计算机专业、非计算机理工类专业还是文科类专业的学生，尽量符合目前普通高等教学计算机课程的教学计划、教学大纲以及发展趋势。

(3) 精选作者，保证质量。本套教材的作者，既有来自院校的一线授课老师，也有来自IT企业、科研机构等单位的资深技术人员。通过他们的合作使老师丰富的实际教学经验与技术人员丰富的实践工程经验相融合，为广大师生编写出适合目前教学实际需求、满足学校新时期人才培养模式的高质量教材。

(4) 一纲多本，适应面宽。在本套教材中，我们根据目前教学的实际情况，做到“一纲多本”，即根据院校已学课程和后续课程的不同开设情况，为同一科目提供不同类型的教材。

(5) 突出能力培养，适应人才市场要求。本套教材贴近市场对于计算机人才的能力要求，注重理论技术与实际应用的结合，注重实际操作和实践动手能力的培养，为学生快速适应企业实际需求做好准备。

(6) 配套服务完善，共促提高。对于每一本教材，我们在教材出版的同时，都将提供完备的PPT课件，并根据需要提供书中的源程序代码、习题答案、教学大纲等内容，部分教材还将在作者的配合下，提供疑难解答、教学交流等服务。

在本套教材的策划组织过程中，我们获得了来自清华大学、北京大学、人民大学、浙江大学、吉林大学、武汉大学、哈尔滨工业大学、东南大学、四川大学、上海交通大学、西安交通大学、电子科技大学、西安电子科技大学、北京邮电大学、北京林业大学等院校老师的大力支持和帮助，同时获得了来自信息产业部电信研究院、联想、华为、中兴、同方、爱立信、摩托罗拉等企业和科研单位的领导和技术人员的积极配合。在此，人民邮电出版社向他们表示衷心的感谢。

我们相信，“21世纪高等学校计算机规划教材——精品系列”一定能够为我国高等院校计算机课程教学做出应有的贡献。同时，对于工作欠缺和不妥之处，欢迎老师和读者提出宝贵的意见和建议。

前 言

本书是人民邮电出版社“21 世纪高等学校计算机规划教材”精品系列之一。

全书共 9 章。第 1 章概述,介绍了计算机网络的发展过程、因特网的组成、计算机网络的定义、分类、功能和应用,以及计算机网络的体系结构、标准及其制定机构。第 2 章至第 6 章分别介绍了计算机网络各个层次(包括物理层、数据链路层、网络层、运输层和应用层)的基本概念、基本原理,以及相应的协议。第 7 章多媒体应用服务,介绍了流式存储音频/视频、流式直播音频/视频和实时交互音频/视频的基本概念及其相应的协议。第 8 章无线网络,介绍了无线局域网(WLAN)、无线传感器网(WSN)、无线网格网(WMN)、无线个人区域网(WPAN)和无线城域网(WMAN)。第 9 章网络管理和安全,介绍网络管理及其协议、网络安全需求、数据加密技术、网络安全策略和安全协议等。考虑到学习本课程必须具有一定的数据通信基础知识,因此在第 2 章的内容中增添了一些必备的数据通信基础知识。各章末均附有习题,以供读者选用。

书后有 3 个附录,附录 A 是部分习题参考答案(不是详细的解题步骤),附录 B 是英文缩写词,附录 C 是参考文献及重要网址。为了便于教学,本书还提供了可修改的电子教案。

本书的参考学时为 70 学时。在课程学时数较少的情况下,可只讲授本书最基本的内容,这在目录的相应章节前面加有星号“*”标记。

本书的特点是概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂;以通俗的语言,阐述了计算机网络的基本概念和基本原理,同时也力求反映计算机网络的一些最新进展。本书可作为高等学校计算机或通信以及其他有关专业的本科生教材,也可作为职业教育相关专业的参考教材,对从事数据通信和计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

在本书撰写过程中,陈国友教授对本书提出了许多有益的建议,谢希仁教授提供了宝贵的资料。王丽辛高工为本书图稿绘制给予了积极的支持和指导。对此,编者均表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。编者的电子邮箱地址:yang_xinqiang@163.com。

作 者

2010 年 3 月

目 录

第 1 章 概述.....1

- *1.1 计算机网络的发展过程.....1
 - 1.1.1 单一计算机网络的发展过程 1
 - 1.1.2 因特网的发展过程 3
 - 1.1.3 计算机网络在我国的发展过程 6
- *1.2 因特网的组成.....7
 - 1.2.1 因特网的核心部分 7
 - 1.2.2 因特网的周边部分 10
- 1.3 计算机网络的定义及分类.....11
 - 1.3.1 计算机网络的定义 11
 - 1.3.2 计算机网络的分类 12
- 1.4 计算机网络的功能与应用.....14
 - 1.4.1 计算机网络的功能 14
 - 1.4.2 计算机网络的应用 14
- *1.5 计算机网络的性能指标.....15
- *1.6 计算机网络的体系结构.....17
 - 1.6.1 层次型的体系结构 17
 - 1.6.2 OSI 参考模型 19
 - 1.6.3 TCP/IP 参考模型 21
 - 1.6.4 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型的比较 21
 - 1.6.5 若干重要概念 22
- 1.7 标准及其制定机构.....26
 - 1.7.1 标准 26
 - 1.7.2 国际性标准化组织 26
 - 1.7.3 因特网的标准化组织 27
- 习题 1.....28

第 2 章 物理层.....30

- *2.1 物理层概述.....30
- *2.2 数据通信基础知识.....31

- 2.2.1 数据通信系统模型.....31
- 2.2.2 信息、数据和信号.....32
- 2.2.3 传输信道35
- 2.3 传输媒体45
 - 2.3.1 导向传输媒体45
 - 2.3.2 非导向传输媒体49
- *2.4 主要传输技术54
 - 2.4.1 频带传输与调制技术54
 - 2.4.2 复用技术57
- *2.5 同步光纤网和同步数字序列63
- *2.6 宽带有线接入技术65
 - 2.6.1 基于铜线的 xDSL 技术65
 - 2.6.2 基于混合光纤/同轴电缆的接入技术67
 - 2.6.3 基于五类线的以太网接入技术69
 - 2.6.4 光纤接入技术69
- 习题 270

第 3 章 数据链路层.....73

- *3.1 数据链路层概述73
- *3.2 点对点信道数据链路层的基本问题74
 - 3.2.1 帧定界75
 - 3.2.2 透明传输76
 - 3.2.3 差错检测77
- *3.3 点对点协议 PPP.....79
 - 3.3.1 PPP 概述79
 - 3.3.2 PPP 的帧格式80
 - 3.3.3 PPP 的状态图81
- *3.4 广播信道的数据链路层82
 - 3.4.1 局域网概述82
 - 3.4.2 局域网参考模型83
 - 3.4.3 IEEE 802 标准84

*3.5 以太网	85	4.5.2 地址解析协议 ARP	142
3.5.1 以太网概述	85	4.6 IP 多播及其协议	143
3.5.2 MAC 子层的地址和帧结构	87	4.6.1 IP 多播概述	143
3.5.3 CSMA/CD 协议	88	4.6.2 局域网 IP 多播	145
3.5.4 以太网的网卡	90	4.6.3 因特网 IP 多播协议	145
3.6 扩展的局域网	91	*4.7 下一代网际协议 IPv6	148
3.6.1 在物理层扩展局域网	91	4.7.1 IPv6 概述	148
3.6.2 在数据链路层扩展局域网	93	4.7.2 IPv6 数据报的格式	148
3.7 高速局域网	99	4.7.3 IPv6 的地址	151
*3.7.1 100BASE-T 以太网	99	4.7.4 由 IPv4 过渡到 IPv6	155
*3.7.2 吉比特以太网	101	4.7.5 网际控制报文协议 ICMPv6	156
3.7.3 十吉比特以太网	101	习题 4	157
3.7.4 高速数据接口	102		
习题 3	103	第 5 章 运输层	162
第 4 章 网络层	105		
*4.1 网络层概述	105	*5.1 运输层概述	162
4.1.1 虚拟互连网络	105	5.1.1 运输层的基本功能	162
4.1.2 网络层提供的服务	106	5.1.2 运输层的协议	163
*4.2 网际协议 IPv4	108	5.1.3 运输层的服务	164
4.2.1 分类的 IP 地址	109	5.1.4 运输层的端口	165
4.2.2 划分子网	112	*5.2 用户数据报协议 UDP	167
4.2.3 无分类编址	115	5.2.1 UDP 概述	167
4.2.4 网络地址转换技术	117	5.2.2 UDP 报文的格式	168
4.2.5 IP 数据报的格式	118	*5.3 传输控制协议 TCP	169
4.2.6 IP 层分组转发机制	122	5.3.1 TCP 概述	169
*4.3 因特网的路由选择协议	127	5.3.2 TCP 报文段的格式	170
4.3.1 路由选择协议概述	127	5.3.3 TCP 传输控制	172
4.3.2 内部网关协议	129	5.3.4 TCP 拥塞控制	182
4.3.3 外部网关协议	135	5.3.5 TCP 连接管理	186
4.3.4 路由选择的关键部件—— 路由器	137	5.3.6 TCP 连接管理模型	189
*4.4 网际控制报文协议	138	5.4 流传输控制协议 SCTP	191
*4.5 地址解析协议	141	5.4.1 SCTP 概述	191
4.5.1 IP 地址与硬件地址	141	5.4.2 SCTP 分组格式	192
		5.4.3 SCTP 传输控制	194
		5.4.4 SCTP 拥塞控制	197
		5.4.5 SCTP 关联管理	197

5.4.6 SCTP 关联管理模型.....	200	习题 6.....	239
习题 5.....	201		
第 6 章 应用层	205	第 7 章 多媒体应用服务	241
6.1 应用层概述.....	205	*7.1 概述.....	241
*6.2 域名系统.....	206	7.1.1 多媒体信息的传输特性.....	241
6.2.1 概述.....	206	7.1.2 音频/视频服务的分类.....	243
6.2.2 因特网的域名结构.....	207	7.1.3 音频信号的数字化和压缩.....	243
6.2.3 域名服务器.....	208	7.1.4 视频信号的数字化和压缩.....	244
6.2.4 域名解析.....	210	*7.2 流式存储音频/视频.....	244
6.3 文件传送.....	211	7.2.1 使用具有元文件的万维网 服务器.....	245
6.3.1 概述.....	211	7.2.2 使用媒体服务器.....	246
6.3.2 文件传送协议 FTP.....	212	7.2.3 使用媒体服务器和实时流协议 RTSP	246
6.3.3 简单文件传送协议 TFTP.....	213	7.3 流式直播音频/视频.....	247
6.3.4 网络文件系统 NFS.....	214	*7.4 实时交互音频/视频.....	247
6.4 远程登录.....	214	7.4.1 IP 电话的基本原理.....	248
*6.5 万维网.....	216	7.4.2 IP 电话的关键技术.....	249
6.5.1 概述.....	216	7.4.3 IP 电话的信令标准.....	250
6.5.2 统一资源定位符 URL.....	218	7.4.4 实时运输协议 RTP.....	253
6.5.3 超文本传送协议 HTTP.....	218	7.4.5 实时运输控制协议 RTCP.....	256
6.5.4 超文本标记语言 HTML.....	223	习题 7.....	257
6.5.5 万维网的文档.....	224		
6.5.6 搜索引擎.....	227	第 8 章 无线网络	258
*6.6 电子邮件.....	228	*8.1 无线局域网.....	258
6.6.1 概述.....	228	8.1.1 无线局域网概述.....	258
6.6.2 电子邮件的格式.....	229	8.1.2 IEEE 802.11 标准.....	260
6.6.3 简单邮件传送协议 SMTP.....	230	8.1.3 IEEE 802.11 媒体接入控制.....	262
6.6.4 邮件读取协议 POP3 和 IMAP4.....	232	8.1.4 IEEE 802.11 帧结构和服务.....	266
6.6.5 通用因特网邮件扩充协议 MIME	232	8.2 无线传感器网.....	268
6.6.6 基于万维网的电子邮件.....	235	8.2.1 无线传感器网的基本结构.....	268
*6.7 动态主机配置协议 DHCP.....	235	8.2.2 无线传感器网的参考模型.....	270
6.8 应用进程间的通信.....	237	8.3 无线网格网.....	270
6.8.1 系统调用.....	237	8.3.1 无线网格网概述.....	270
6.8.2 应用编程接口.....	238	8.3.2 无线网格网的网络结构.....	271
		8.4 无线个人区域网.....	272

8.4.1 蓝牙技术	273	9.4.1 加密通信模型	292
8.4.2 低速无线个人区域网	273	9.4.2 对称密钥密码体制	293
8.4.3 高速无线个人区域网	277	9.4.3 公开密钥密码体制	296
8.5 无线城域网	277	9.5 网络安全策略	298
8.5.1 无线城域网概述	277	9.5.1 加密策略	298
8.5.2 IEEE 802.16 标准	278	9.5.2 密钥分配	299
习题 8	281	9.5.3 鉴别	300
第 9 章 计算机网络的管理和安全	283	9.5.4 防火墙	302
9.1 计算机网络的管理	283	9.5.5 网络安全应用举例——虚拟专用网	303
9.1.1 网络管理概述	283	9.6 因特网的安全协议	305
*9.1.2 网络管理的一般模型	284	9.6.1 网络层安全协议	305
9.1.3 网络管理的体系结构	285	9.6.2 运输层安全协议	308
*9.1.4 ISO 的网络管理功能	285	9.6.3 应用层安全协议	309
9.2 简单网络管理协议 SNMP	287	习题 9	311
*9.3 网络安全概述	290	附录 A 部分习题参考答案	313
9.3.1 计算机网络的安全性需求	290	附录 B 英文缩写词	327
9.3.2 计算机网络的安全攻击	291	附录 C 参考文献及重要网址	334
*9.4 数据加密技术	292		

第 1 章

概述

众所周知，现代社会已步入以网络为核心的信息时代，信息时代的重要特征是数字化、网络化和信息化。由于网络为用户提供了连通性（connectivity）和资源共享两个重要功能，所以网络已经成为现代社会的命脉和发展知识经济的重要基础，它对社会生活的各个方面，以及社会经济的发展都将产生非常深远的影响。这里所涉及的网络指的是“三网”，即电信网络、有线电视网络和计算机网络。其中，尤以计算机网络发展最快。尽管这 3 种网络为用户提供了不同的服务，但它们在信息化过程中都起到十分重要的作用。随着科学技术的发展和进步，电信网络和有线电视网络都将逐渐融入计算机网络，从而呈现出“网络融合”的态势。

本章首先简要介绍计算机网络的发展过程，接着阐述因特网的组成，计算机网络的定义、分类、功能与应用，以及性能指标，随后再重点介绍计算机网络的体系结构和若干重要概念，最后是有有关计算机网络的标准及其制定机构。

1.1 计算机网络的发展过程

计算机网络是通信技术与计算机技术密切结合的产物。通信技术与计算机技术两者之间既相互渗透又密切结合，这主要体现在两个方面：一是通信技术为多台计算机之间进行信息传输和交换提供了必要的手段；二是计算机技术应用于各个通信领域，极大地提高了通信系统的各项性能。这两个方面当然都离不开半导体技术（尤其是大规模集成电路技术）的进展。

计算机网络自问世以来，其发展速度是非常迅猛的，它经历了一个由单一计算机网络向互联网发展的过程。下面简述这个发展过程。

1.1.1 单一计算机网络的发展过程

20 世纪 40 年代世界上第一台数字电子计算机问世之际，计算机与通信联系并不密切。早期的电子计算机量少、价贵。由于设备高度集中，给用户使用计算机带来诸多不便。为了解决这一问题，制造商开发了具有收发功能的终端和电传机。用户可以在终端上输入数据，经通信线路送往远地的计算机，而计算机的计算结果也可以回送给终端用户。这便是计算机与通信相结合的开始。

为了提高资源的利用率，早期的计算机采用批处理方式。为了适应终端与计算机的连接，出现了多线路控制器（multiline controller），它使得一台计算机可与多台远程终端相连接，如图 1-1 所示。这种以单个计算机为中心的远程联机系统称为面向终端的计算机通信网络。当时典型的联

机系统有：20 世纪 50 年代设计并投入使用的美国空军半自动地面防空系统 SAGE，60 年代建立的美 国航空公司预订飞机票系统 SABRE-1。



图 1-1 采用多重线路控制器的计算机网络

在远程联机系统中，随着所连接的远程终端个数的增多，计算机与远程终端的通信对成批数据处理构成很大的额外开销，因而出现了由前端处理机（Front End Processor，FEP，简称前端机）取代多重线路控制器来完成全部通信任务，而让主机（即原来的计算机）专门进行数据处理。显然，这将有利于提高主机数据处理的效率。另外，远程终端数量的不断增多，将使通信费用随之增加。为了节省通信费用和提高线路的利用率，通常在终端较密集处设置集中器或复用器。

20 世纪 60 年代后期开始出现将多台主机通过通信线路互连构成的计算机网络。在这种结构模式中，主机承担着数据处理和通信双重任务。为了提高主机数据处理的效率，又专门设立通信控制处理机（Communication Control Processor，CCP）来承担网上各主机之间的通信控制和通信处理任务，而主机仅负责数据处理。各 CCP 构成的通信子网构成整个网络的内层，主机和终端构成的资源子网则成为整个网络的外层。通信子网为资源子网提供信息传输服务。没有通信子网，整个网络无法工作；而没有资源子网，通信子网也将失去存在的意义，只有两者结合才能构成统一的资源共享的层次式网络。这样，用户不仅共享通信子网的资源，而且还共享资源子网中的软件和硬件资源。图 1-2 表示具有通信子网的计算机网络。

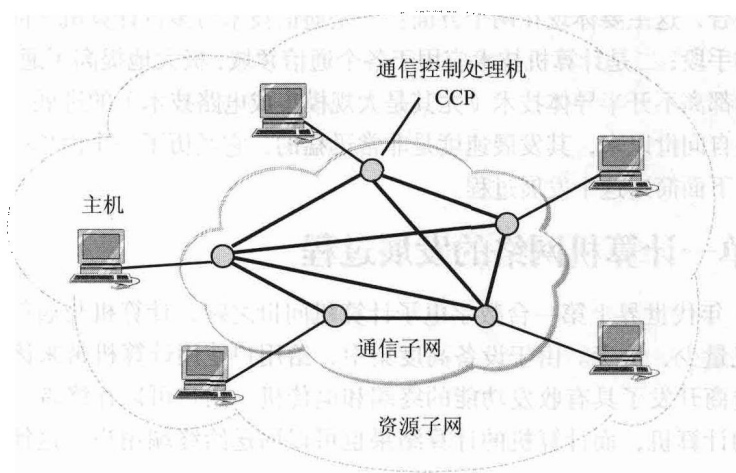


图 1-2 具有通信子网的计算机网络

这种以通信子网为中心的典型代表是 ARPA 网（ARPANET）。ARPA 网是美国国防部高级研究计划局（Defense Advanced Research Project Agency，DARPA）为促进对新型计算机网络

的研究,于1969年12月建成的一个具有4个结点的实验性网络。在ARPA网中,运行用户应用程序的主计算机称为主机,负责通信控制处理的CCP称为接口报文处理机(Interface Message Processor,IMP)。IMP和与其互连的通信线路构成通信子网,通过通信子网互连的主机向网络提供可共享的软硬件资源,并构成资源子网。IMP之间以存储转发方式传送信息,其存储转发信息的单位称为分组(packet)。因此,以存储转发方式传送分组的通信子网又称为分组交换网。在ARPA网中,IMP是实现分组交换的结点,通常由小型机或微型机来实现。为了区别于主机,常称其为结点机。以ARPA网为先例,在20世纪70~80年代,英国、法国、日本和加拿大等发达国家都相继建成了计算机网络。我国的计算机网络建设也是在20世纪80年代初起步的。

单一计算机网络产生了很好的经济效益和社会效益。但是,它的根本性不足是没有统一的网络体系结构,使得不同制造商生产的计算机及网络互连起来十分困难。这个问题在20世纪70年代后期就引起了人们的重视。一些著名的计算机公司(如IBM、DEC)相继推出了自己的网络体系结构,以及实现该网络体系结构的软、硬件产品。这样,用户只要购买该公司的网络产品,自己提供或租用通信线路,就可以达到组建或扩建计算机网络的目的。由此可见,要实现不同体系结构计算机网络的互连,客观上要求计算机网络体系向标准化方向发展。

1977年,为适应计算机网络向标准化发展的趋势,国际标准化组织(ISO)下属的计算机与信息处理标准化技术委员会TC97成立了一个分委员会SC16。该组织在研究、吸收既有网络体系结构经验的基础上,提出了一个试图使各种计算机在世界范围内互连成网的标准框架——ISO 7498(我国的相应标准是GB 9387),即著名的“开放系统互连基本参考模型(Open System Interconnection/Reference Model,OSI/RM)”。这里,“开放”意指只要遵循OSI标准,一个系统就可以与位于世界上任何地方,也遵循着同一标准的其他任何系统进行通信。“系统”是指在现实的系统中与互连有关的各个部分。因此,OSI/RM是一个抽象的概念。OSI参考模型已被国际社会普遍接受,被认为是一个标准化的框架结构。

然而,在贯彻执行OSI标准的过程中,OSI未能取得预想的应用前景。到20世纪90年代初,虽然整套OSI国际标准都已制定出来,但由于TCP/IP协议族已成为占主导地位的商用体系结构,通过了广泛的测试,并在因特网中得到广泛的应用,这样就出现了TCP/IP胜过OSI的局面。因此,得到最广泛应用的不是国际标准OSI,而是非国际标准TCP/IP。TCP/IP被认为是事实上的国际标准。

1.1.2 因特网的发展过程

人们从生活实践中逐渐认识到计算机网络的发展潜力,以及它对我们工作和生活的各个方面的影响。因此,早在20世纪70年代中期,人们就意识到多个单一计算机网络间的资源共享问题,也就是说,欲把多个单一计算机网络互连起来构成互联网(internet)。图1-3表示互联网的概念示意图。当时的APRANET开始研究了多种网络的互连技术,从1969年12月实验性的4台计算机互连成网试运行,发展到1981年的分布于88个不同地点,具有94个结点的大型分组交换网。1983年,TCP/IP成为ARPANET上的标准协议,使得所有使用TCP/IP的计算机都能利用互联网相互通信。这样,就形成了一种特定互联网——因特网(Internet)。1990年,ARPANET正式宣布关闭,因为它的实验任务已经完成。以上是因特网发展的第一阶段,其特点是从单一的APRANET发展为互联网。

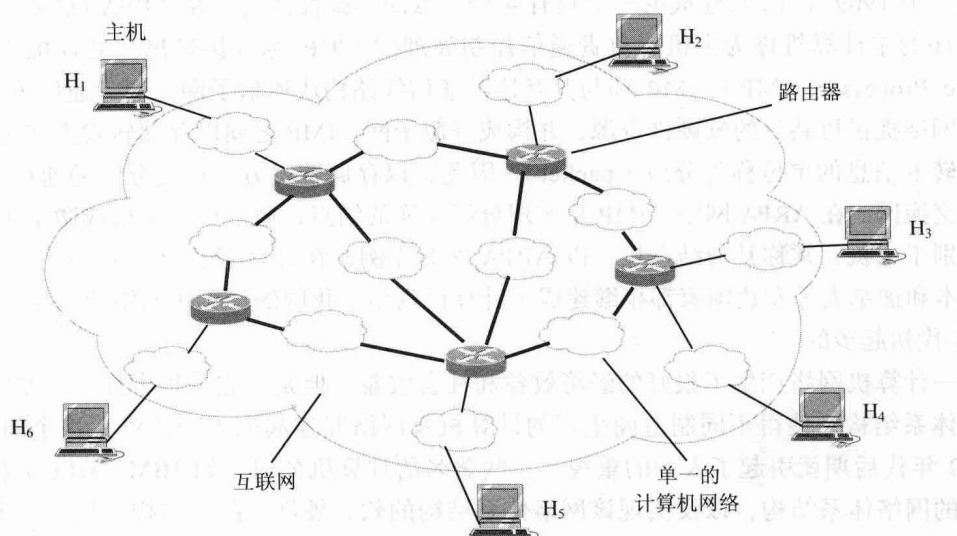


图 1-3 互联网的概念示意图

因特网发展的第二阶段的特点是建成了三级结构的因特网。从 1985 年起，美国国家科学基金会 (National Science Foundation, NSF) 围绕 6 个大型计算机中心建设国家科学基金网 (NSFNET)。它是一个三级计算机网络，分为主干网、地区网和校园网 (或企业网)。NSFNET 覆盖了全美国的主要大学和研究所，并成为因特网的主要组成部分。1991 年，NSF 和美国政府意识到，因特网必将扩大其使用范围，不应仅限于大学和研究机构。世界上许多公司纷纷接入因特网，使网络上的通信量急剧增大，因特网的容量已满足不了实际需要。于是美国政府决定将因特网的主干网转交给私人公司来经营，并开始对接入因特网的单位进行收费。1992 年，因特网上的主机超过 100 万台。1993 年，因特网主干网的速率提高到 45 Mbit/s (T3 速率)。

因特网发展的第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 ISP 结构的因特网。从 1993 年开始，由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的因特网主干网替代，政府机构不再负责因特网的运营。于是，就出现了一种负责运营因特网的公司，即因特网服务提供商 (Internet Service Provider, ISP)。其实，ISP 只是一个进行商业活动的公司，它拥有从因特网管理机构申请到的多个 IP 地址 (IP 地址的概念将在第 4 章中详细介绍)、通信线路 (大型 ISP 自建通信线路，小型 ISP 租用通信线路) 以及路由器等连网设备，因此任何机构和个人只要向 ISP 缴纳规定的费用，就可从 ISP 得到所需的 IP 地址，并通过该 ISP 接入到因特网。这样，IP 地址的管理机构不再为单个用户分配单一的 IP 地址，而是把一批 IP 地址有偿地分配给有资格的 ISP。根据 ISP 提供服务的覆盖面大小以及所拥有的 IP 地址数目的不同，ISP 也分为不同的层次。图 1-4 是具有三层结构 ISP 的因特网概念示意图。

图中，最高级别的第一层 ISP 的服务面积最大 (一般都能覆盖国家范围)，并且拥有高速主干网。第二层 ISP 和一些大公司都是第一层 ISP 的用户。第三层 ISP 又称为本地 ISP，它们是第二层 ISP 的用户，且只拥有本地范围的网络，一般的校园网或企业网以及拨号上网的用户，都是第三层 ISP 的用户。为了使不同层次 ISP 经营的网络都能够互连互通，1994 年开始创建了 4 个网络接入点 (Network Access Point, NAP)，分别由 4 家电信公司经营。NAP 用来交换因特网上的流量，其中安装有性能很好的交换设施 (如 ATM 交换机)。到 21 世纪初，美国的 NAP 的数量已达到十几个。NAP 可算是最高等级的接入点，它主要向各 ISP 提供交换设施。NAP 又称对等点 (peering)

point), 表示接入到 NAP 的设备无从属关系。正如图 1-4 所示, 因特网逐渐演变成基于 ISP 和 NAP 的多级结构网络。当然, 今天的因特网规模越来越大, 简直很难对整个网络结构给出确切细致的描述。图 1-4 中的灰色粗线表示主机 A 与主机 B 之间通过因特网内若干个不同层次的 ISP 进行数据传送的通信路径。

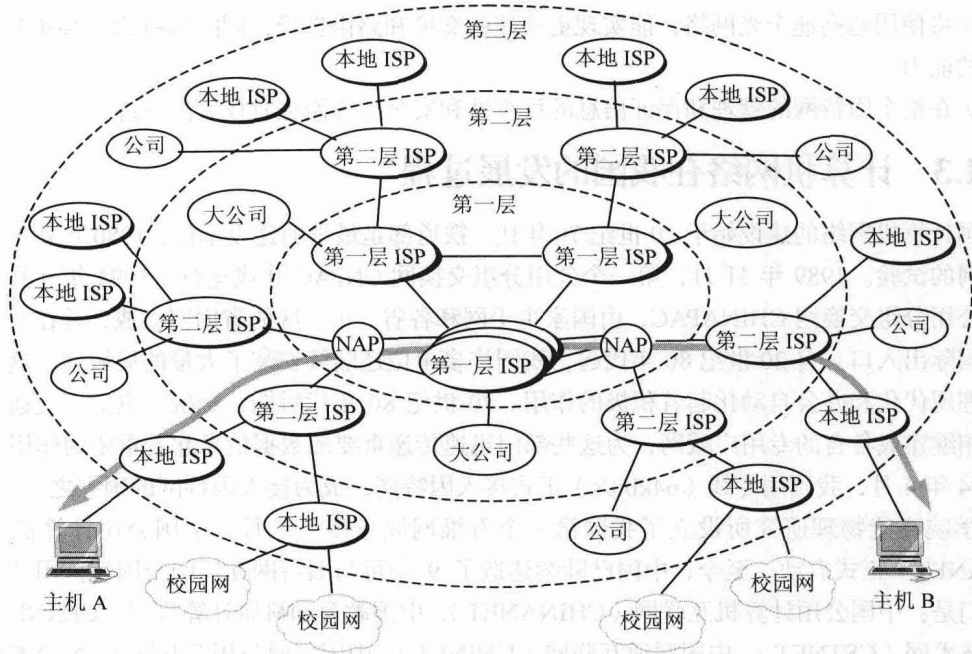


图 1-4 基于 ISP 三层结构的因特网概念示意图

目前, 因特网已经发展成为世界上规模最大和增长速率最快的计算机网络, 没有人能够准确地说出因特网究竟有多大。因特网的迅猛发展始于 20 世纪 90 年代。由欧洲原子核研究组织 (CERN) 开发的万维网 (World Wide Web, WWW) 被广泛使用在因特网上, 大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用, 这是造成因特网按指数级增长的主要驱动力。因特网上的数据通信量每月约增加 10%。表 1-1 是因特网的发展概况。

表 1-1

因特网的发展概况

年 份	网 络 数	主 机 数	用 户 数	管理机构数
1980	10	10^2	10^2	1
1990	10^3	10^5	10^6	10^1
2000	10^5	10^7	10^8	10^2
2005	10^6	10^8	10^9	10^3

由于因特网存在着技术上和功能上的不足, 用户数量的剧增更使现有的因特网不堪重负。因此, 美国一些大学申请国家科学基金, 提出建立一个仅供这些大学内部使用的专用网络, 这个想法于 1996 年 10 月以 Internet2 的形式付诸实施。Internet2 是可以连接到现有因特网上的, 但它的宗旨是组建一个为其成员服务的专用网络。1997 年 10 月, 美国克林顿政府在此基础上提出“下一代因特网计划”, 即“NGI (Next Generation Internet) 计划”。NGI 计划的实现目标可概括为:

- (1) 开发下一代网络结构，以比现有的因特网高 100 倍的速率连接至少 100 个研究机构，以比现有的因特网高 1000 倍的速率连接 10 个类似的网点。其端到端的传输速率要超过 100 Mbit/s，达到 10 Gbit/s。
- (2) 使用更加先进的网络服务技术，开发许多带有革命性的应用，如远程医疗、远程教育、有关能源和地球系统的研究、高性能的全球通信、环境监测和预报、紧急情况处理等。
- (3) 将使用超高速全光网络，能实现更快速的交换和路由选择，同时具有为一些实时应用保留带宽的能力。
- (4) 在整个因特网的管理和保证信息的可靠性和安全性方面也有较大的改进。

1.1.3 计算机网络在我国的发展过程

我国计算机网络的建设始于 20 世纪 70 年代。铁道部是最早的建设单位，1980 年就进行了计算机联网的试验。1989 年 11 月，第一个公用分组交换网 CNPAC 建成运行。1993 年 9 月，又建成新的公用分组交换网 CHINAPAC，由国家主干网和各省、市、区的省内网组成，并在北京和上海设有国际出入口。自 20 世纪 80 年代起，我国许多单位还陆续安装了大量的局域网，这对实现企业管理现代化和办公自动化起着积极的作用。20 世纪 80 年代后期，金融、电信、交通、军队等部门相继建成各自的专用广域网，为这些部门迅速传递重要的数据信息起着重要的作用。

1994 年 4 月，我国用专线（64kbit/s）正式接入因特网，成为接入因特网的国家之一。5 月，中国科学院高能物理研究所设立了我国第一个万维网服务器。9 月，中国公用计算机互联网（CHINANET）正式启动。至今，中国已陆续建造了 9 个可与因特网互连的全国性公用计算机网络，它们是：中国公用计算机互联网（CHINANET）、中国教育和科研计算机网（CERNET）、中国科学技术网（CSTNET）、中国联通互联网（UNINET）、中国网通公用互联网（CNCNET）、中国国际经济贸易互联网（CIETNET）、中国移动互联网（CMNET）、中国长城互联网（CGWNET）和中国卫星集团互联网 CSNET（注：最后两个还在建设中）。此外，为了研究因特网新技术，在北京中关村地区建造了一个高速互连研究试验网 NSFnet。2004 年 2 月我国下一代互联网（CNGI）的主干网 CERNET2 试验网正式开通并提供服务。试验网的速率为 2.5~10Gbit/s，可连接北京、上海和广州 3 个 CERNET 核心结点，并与国际下一代互联网相连接。这标志着我国的互联网技术已达到了国际先进水平。

表 1-2 是中国互联网络信息中心公布的近几年来因特网在中国的发展状况。

表 1-2 因特网在中国的发展状况

统计时间	上网计算机数 (万台)	上网用户数 (万户)	注册的域名数 (.cn)(个)	WWW 站点 数(个)	国际线路总容量 (Mbit/s)
1997.10	29.9	62	4066	1500	25.408
1999.1	74.7	210	18396	5300	143.256
2000.1	350	890	48695	15153	351
2001.1	892	2250	122099	265405	2799
2002.1	1254	3370	127319	277100	7597.5
2003.1	2083	5910	179544	371600	9380
2004.1	3089	7950	340040	595550	27216
2005.1	4160	9400	432077	668900	74429
2006.1	4950	11100	1096924	694200	136106
2007.1	5940	13700	1803393	843000	256696

1.2 因特网的组成

如前所述, 因特网是一个覆盖全球, 拓扑结构颇为复杂的互联网。根据它们的工作方式, 因特网由两大部分组成。

(1) 核心部分。由大量的各种网络和连接这些网络的路由器组成。它为周边部分提供连通和交换服务。

(2) 周边部分。由所有连接在因特网上的主机组成。它为用户提供数据通信和资源共享服务。

图 1-5 表示因特网的组成示意图。下面分别阐述这两部分的工作方式和采用的技术。

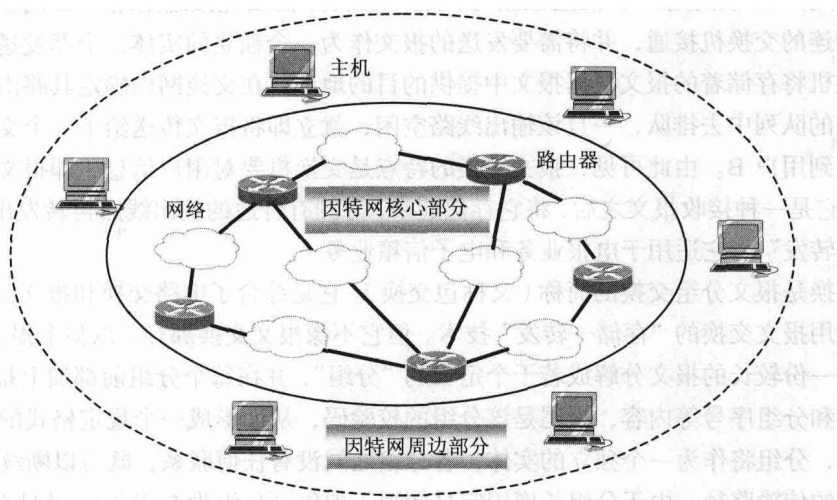


图 1-5 因特网的组成示意图

1.2.1 因特网的核心部分

因特网的核心部分是相当复杂的, 其中包含着类型、结构完全不同的网络, 这些网络通过路由器互连起来, 向因特网周边部分提供连通和交换服务, 这使得位于周边部分的任何一台主机都可以与其他主机进行通信。

必须指出的是, 路由器是一种专用计算机 (将在 4.3.4 小节进行介绍), 它的主要功能是转发接收到的分组, 是因特网上实现分组交换的关键部件。为了说明分组交换的概念, 下面将由简到繁, 分别介绍电路交换和分组交换的基本原理。

1. 电路交换的基本原理

电路交换是根据电话交换的原理发展起来的一种交换方式。它是根据一方的请求在一对站 (或数据终端) 之间建立的电路连接过程。在该连接被拆除之前, 所建立起来的电路一直被占用着。这一过程类似于电话通信。因此, 利用电路交换进行数据通信要经历 3 个阶段, 即建立电路、传送数据和拆除电路, 因此电路交换属于电路资源的预分配。在一次接续中, 电路资源预分配给一对用户固定使用, 不管电路上是否有数据在传输, 它一直被占用着, 直到通信双方有一方要求拆除电路连接为止。

电路交换的特点是接续路径采用物理连接。当电路接通之后, 出现在数据终端用户面前的就

如同一条专线一样，交换机的控制电路不再干预信息的传输，即在用户之间提供了完全“透明”的信号通路。不难看出，以电路交换进行数据通信时，存在着两个限制条件：①欲通信的两个站必须同时处于激活可用的状态；②两个站之间的通信资源必须可用，而且必须专用。因此，对于传输信息量大，通信对象比较确定的场合，这种交换方式是较为适用的。

世界各国对建设以电路交换方式的数据通信网曾经掀起过一个热潮，如前西德、日本、意大利等国都投资建造了电路交换数据通信网。但是，由于在实现各种不同类型和特性的数据终端设备（包括计算机在内）之间的互通方面存在灵活性差等问题，其发展前景不如分组交换数据通信网好。

2. 分组交换的基本原理

为了克服电路交换存在的缺点，在分组交换出现之前，先提出了报文交换。报文交换的基本思想是：当用户 A 欲向用户 B 发送数据时，用户 A 并不需要先接通至用户 B 的整条电路，而只需与直接相连的交换机接通，并将需要发送的报文作为一个独立的实体，全部发送给该交换机。然后该交换机将存储着的报文根据报文中提供的目的地址，在交换网内确定其路由，并将报文送到输出线路的队列中去排队，一旦该输出线路空闲，就立即将报文传送给下一个交换机。依此类推，最后送到用户 B。由此可见，报文交换的特点是交换机要对用户信息（即报文）进行存储和处理，因此它是一种接收报文之后，将它存储起来，等到有合适的输出线路再转发出去的技术（简称“存储—转发”）。它适用于电报业务和电子信箱业务。

分组交换是报文分组交换的简称（又称包交换）。它是综合了电路交换和报文交换的优点。分组交换仍采用报文交换的“存储—转发”技术。但它不像报文交换那样，以整个报文为交换单位，而是设法将一份较长的报文分解成若干个定长的“分组”，并在每个分组前都加上报头和报尾。报头中含地址和分组序号等内容，报尾是该分组的校验码，从而形成一个规定格式的交换单位。在通信过程中，分组将作为一个独立的实体，各分组之间没有任何联系，既可以断续地传送，也可以经历不同的传输路径。由于分组长度固定且较短（如每个分组为 512bit），又具有统一的格式，就便于交换机存储、分析和处理。

图 1-6 表示分组交换的示意图。图中，为了突出网络核心部分中路由器转发分组的过程，把单个网络简化为一条链路，而路由器成为转发分组的结点。现在假定源主机 H_1 向目的主机 H_2 发送数据。源主机 H_1 先将报文 M 划分成 3 个分组 P_1 、 P_2 和 P_3 ，逐个地送往与它直接相连的路由器 R_1 。然后这 3 个分组将经由不同的路径传送到目的路由器 R_6 。即 P_1 经由 R_1 - R_2 - R_4 - R_6 ， P_2 经由 R_1 - R_4 - R_5 - R_6 ， P_3 经由 R_1 - R_3 - R_5 - R_6 。最后，由 R_6 把分组送往目的主机 H_2 。这里需注意的是， P_3 可能先于 P_2 到达 R_6 。

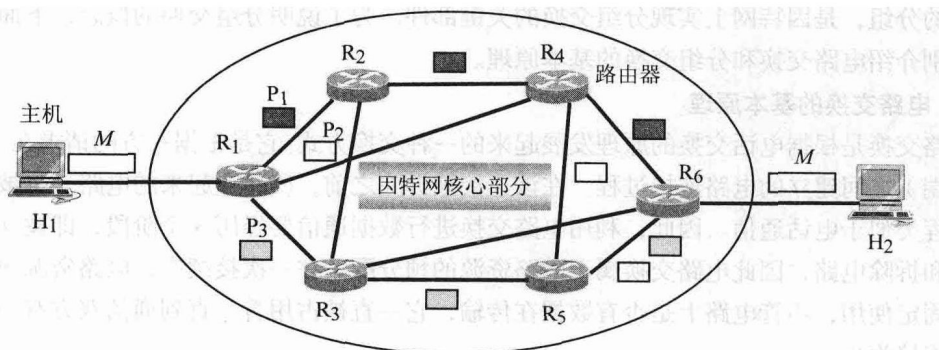


图 1-6 分组交换的示意图