



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程主讲教材

面向 21 世纪课程教材

高等学校计算机网络技术课程系列教材

计算机网络(第2版)

冯博琴 陈文革 主编

程向前 李波 夏秦 编



高等教育出版社

Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程主讲教材
面向 21 世纪课程教材
高等学校计算机网络技术课程系列教材

计 算 机 网 络

(第二版)

冯博琴 陈文革 主编
程向前 李波 夏秦 编



高等教育出版社

内容提要

本书第一版是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革”的研究成果,被列为教育部高等教育“面向 21 世纪课程教材”,获得了 2002 年国家级优秀教材一等奖;第二版被列为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

本书内容涵盖数据通信和计算机网络领域的基本概念、原理和技术,主要包括数据通信基础知识、计算机网络体系结构、因特网及其应用、网络互连与因特网基础、局域网、广域网、常用网络设备、网络操作系统和网络安全等内容。内容取材新颖,反映网络技术的最新发展。各章均附有习题,可供读者检验对所学知识的掌握程度。

本书可作为高等院校理工、管理等非计算机专业的计算机网络课程的教材或参考书,也可供希望了解计算机网络的各类人员作为培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/冯博琴,陈文革主编. —2 版. —北京:

高等教育出版社, 2008.11

ISBN 978 - 7 - 04 - 025239 - 2

I. 计… II. ①冯… ②陈… 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(2008)第 154092 号

策划编辑 刘 茜 责任编辑 康兆华 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 26
字 数 630 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

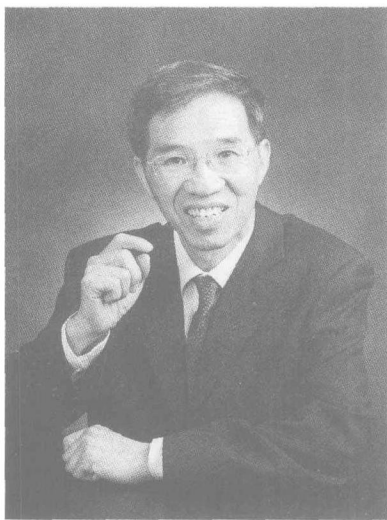
版 次 1999 年 6 月第 1 版
2008 年 11 月第 2 版
印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷
定 价 32.30 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25239 - 00

作者简介



冯博琴教授,博士生导师。生于1942年12月,江苏常州人,1965年毕业于西安交通大学计算数学专业,同年留校至今。现任教育部2006—2010年高校计算机基础课程教学指导委员会副主任委员、全国高等院校计算机基础教育研究会副理事长、陕西省计算机教育学会理事长。

冯博琴教授在我国计算机基础教学方面享有盛誉。他提出的计算机基础课程“精讲多练、教考分离、机试为主”的教学方法及亲自主持的教学指导委员会《关于进一步加强计算机基础教学的几点意见》和《计算机基础课程教学基本要求》在国内产生重大影响。曾获得国家级教学成果一等奖2项、二等奖3项;国家级优秀教材一、二等奖2项;主持国家

级精品课程2门,主编出版7部国家级和部级规划教材。

他一直站在教学和科研第一线,教学水平和敬业精神受到好评。先后获得首届高等学校教学名师奖、宝钢教育基金优秀教师特等奖、全国模范教师、全国五一劳动奖章、全国师德先进个人称号。现任西安交通大学国家级计算机实验教学示范中心主任和国家教学团队带头人。

第二版前言

教育部高等教育“面向 21 世纪课程教材”《计算机网络》自 1998 年出版以来,已经历十个年头,其间进行了全面修订。2003 年,西安交通大学“计算机网络”课程被评为国家级精品课程,同年,本课程进入高等教育出版社“高等教育百门精品课程教材建设计划”。本教材是在以上重大教学改革的基础上,对《计算机网络》进行的进一步修订。与本教材配套的《计算机网络实验教程》也被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由高等教育出版社出版。

《计算机网络》自出版以来,受到了广大读者的热切关注,我们收到了许多很好的意见和建议。同时,经过多年的使用,也发现该教材中存在的一些问题。比较突出的问题是教材中个别章节的编排顺序不利于教学实验的安排;因为该版教材在内容上基本是按照网络七层协议由低层到高层进行论述的,按照常理,实验内容也应按此顺序安排。但实际情况是,出于实验设备的限制,很多学校没有与低层协议相关的网络硬件实验条件,只能在课程的最后做一些与网络高层协议及应用有关的实验,这样就造成了教学与实验脱节。为了改变这种情况,在本次修订中,我们汲取国外优秀教材的经验,将内容编排顺序做了一些改动。具体做法是将“因特网及其应用”和“网络互连与因特网基础”提前到第 4 章和第 5 章,而将“局域网”和“广域网”后移到第 6 章和第 7 章。这样的调整有助于尽早安排学生去做那些比较容易开展的网络应用层的相关实验,这些实验往往只需要一台计算机和一些开源软件,在现有的网络环境下即可实现。及早开展实验也有利于保护学生的学习热情,使学生从网络实验中获得掌握知识的乐趣。

另外,本教材还进行了以下几个方面的改动:

- (1) “局域网”一章中增加了“第三层交换”的内容。
- (2) 网络设备的有关内容中增加了对无线接入点和无线路由器的介绍。
- (3) “网络操作系统”一章中删除了现在已很少使用的与 NetWare 操作系统相关的内容。
- (4) 对有关网络管理的内容进行了弱化。
- (5) 改正了前版教材中的一些错误。

参加本版修订工作的有:陈文革、程向前、李波和夏秦。由冯博琴、陈文革任主编,陈文革承担本次修订的统稿工作。

作为尝试,本教材在内容编排的顺序上进行了一些调整。这种调整是否合适,有待广大师生在教学实践中检验,也希望广大读者继续提出宝贵的改进建议,并对本教材中的不足之处和错误提出批评和指正。

编 者

2008 年 6 月

第一版前言

计算机网络是当今最热门的学科之一,在过去的几十年里取得了长足的发展。尤其是近十几年来,因特网(Internet)深入到千家万户,对科学、技术乃至整个社会的发展产生了巨大的影响。计算机网络的开发研究和把计算机网络作为一门课程进行教学,培养这方面的人才,已受到广泛重视。

作者在网络教学中深感,计算机网络技术发展非常迅速,新的技术、新的网络标准不断推出,使得人们熟悉的一些网络知识和教材很难适应这方面的工作,迫切需要一本反映当前技术状况、理论和实践相结合的计算机网络教材。作者依据多年来对本科生和研究生进行计算机网络教学及科学研究的实践,在阅读了大量的网络技术文献及与多位网络专家教授系统讨论的基础上,并征求了计算机专业及非计算机专业各类学员的意见,完成了本书的编写工作。

本书在介绍数据通信原理、网络体系结构等基础理论的基础上,用了大量篇幅介绍最新网络使用技术,并对目前流行的网络操作系统 Windows NT 从体系结构、实现特点、安装、使用到实验做了全面介绍。

本书的主要内容可划分为两部分:第一部分介绍计算机网络基础知识及最新网络技术,包括七章,即:第一章引论;第二章为数据通信的基础知识;第三章为计算机网络体系结构,着重介绍 ISO/OSI 体系结构及 Windows NT 等体系结构;第四章为计算机局域网,着重介绍 IEEE 802 标准,快速/交换式以太网、FDDI 等流行网络技术及综合布线;第五章为网络互联及建网技术,着重介绍网络互联基本方法及 DDN、X.25 等广域网接入技术;第六章为网络操作系统及网络管理,介绍网络操作系统的一般功能、当前流行的网络操作系统并重点介绍了 Windows NT Server 的实现特点,还介绍了网络管理的一般概念及简单网络管理协议;第七章为网络计算,介绍网络计算模式的发展及最新的基于 Web 的网络计算模式。第二部分为网络实践,包括六章,即:第八章 Internet 技术,介绍了当前流行的 Internet 的现状、接入技术及各种应用;第九章网络设备,介绍了从通信线路、网卡到路由器等多种网络设备的使用;第十章 Windows NT 网络操作系统,介绍 NT 网络的安装及使用;第十一章 Novell 网络操作系统,介绍 Novell 网络的安装及使用;第十二章 Windows NT 实验;第十三章 NetWare 实验。

本书由冯博琴和吕军主编,参加编写的有吕军(第一章~第七章)、陈文革(第八章~第九章)、程向前(第十章~第十三章),由冯博琴统稿。本书由清华大学李学农教授审稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心谢意。

由于计算机网络技术发展迅速,作者水平有限,书中难免有缺点、错误,欢迎同行专家和读者批评指正。

作 者

1998 年 7 月

目 录

第 1 章 引论	1	2.2.3 通信方式	27
1.1 计算机网络的产生和发展	1	2.2.4 传输方式	28
1.1.1 以单计算机为中心的联机网络系统	1	2.2.5 同步方式	29
1.1.2 分组交换网络	3	2.3 传输介质	31
1.1.3 计算机网络体系结构标准化	4	2.3.1 同轴电缆	31
1.1.4 局域网	5	2.3.2 双绞线	33
1.1.5 因特网时代	6	2.3.3 光纤	34
1.1.6 “三网”融合	8	2.3.4 无线传输介质	36
1.1.7 下一代网络	9	2.4 数据编码	38
1.2 计算机网络的概念	11	2.4.1 数字数据的数字信号编码	39
1.3 计算机网络系统的组成	13	2.4.2 数字数据的调制编码	39
1.4 计算机网络的分类	14	2.4.3 模拟数据的数字信号编码	41
1.5 计算机网络的应用	17	2.5 信道复用技术	42
1.5.1 计算机网络的应用领域	17	2.5.1 频分复用	42
1.5.2 计算机网络带来的社会问题	19	2.5.2 时分复用	43
1.6 与计算机网络相关的国际标准化组织	20	2.5.3 统计时分复用	45
1.6.1 国际标准化组织	20	2.5.4 波分复用	45
1.6.2 因特网标准化组织	20	2.5.5 码分复用	46
1.6.3 电信标准化组织	21	2.6 数据交换技术	49
本章小结	22	2.6.1 电路交换	49
习题一	22	2.6.2 报文交换	50
第 2 章 数据通信基础知识	23	2.6.3 分组交换	51
2.1 数据通信系统	23	2.6.4 快速分组交换	52
2.1.1 数据通信系统的构成	23	2.7 差错控制	53
2.1.2 数据通信过程	24	2.7.1 差错起因	53
2.2 一些基本概念	24	2.7.2 差错控制方法	53
2.2.1 数据与信号	25	2.7.3 常见的检错码	55
2.2.2 信道	26	2.8 数据通信性能指标	57
		2.8.1 时延与时延带宽积	57
		2.8.2 误码率与误比特率	58
		2.8.3 信息传输速率与码元传输速率	59

2.8.4 信道的最大传输速率	60	4.5.5 超文本标记语言	117
本章小结	62	4.5.6 浏览器的结构	119
习题二	62	4.5.7 万维网网站的软件架构	121
第3章 计算机网络体系结构	64	4.6 因特网的多媒体应用	123
3.1 网络体系结构	64	4.6.1 因特网的多媒体应用分类	123
3.1.1 网络体系结构的发展	64	4.6.2 开发因特网多媒体应用所面临的挑战	124
3.1.2 分层原理	65	4.6.3 音频和视频压缩	125
3.1.3 基本概念	67	4.6.4 存储式音频和视频流媒体	126
3.2 网络体系结构参考模型	74	4.6.5 IP 电话	130
3.2.1 OSI 参考模型	74	本章小结	132
3.2.2 TCP/IP 参考模型	84	习题四	132
3.2.3 OSI 与 TCP/IP 参考模型的比较	85	第5章 网络互连与因特网基础	133
3.3 五层网络参考模型	87	5.1 网络互连的基本概念	133
3.3.1 OSI 与 TCP/IP 参考模型的评价	87	5.2 因特网接入技术	134
3.3.2 五层网络参考模型	88	5.2.1 住宅接入网络	135
本章小结	89	5.2.2 机构接入网络	136
习题三	89	5.2.3 移动接入网络	136
第4章 因特网及其应用	90	5.3 因特网的链路层与网络层	137
4.1 域名服务	91	5.3.1 点对点协议	137
4.1.1 DNS 基本工作原理	91	5.3.2 因特网的网络层与 IP 协议	139
4.1.2 DNS 服务器	92	5.3.3 因特网的 IP 路由技术	143
4.2 远程登录	93	5.3.4 ICMP 协议	151
4.3 电子邮件系统	94	5.3.5 ARP 协议和 RARP 协议	152
4.3.1 电子邮件系统的组成	94	5.3.6 ARP 与 IP 的交互	153
4.3.2 简单邮件传送协议	96	5.3.7 ARP 与 DNS 的比较	155
4.3.3 电子邮件的信息格式	98	5.3.8 IP 地址的获取 (DHCP)	155
4.3.4 电子邮件读取协议	99	5.3.9 IPv6	156
4.3.5 多用途因特网邮件扩充	101	5.4 因特网传输层协议	159
4.4 文件传输服务	103	5.4.1 应用程序多任务处理	160
4.4.1 FTP 的工作原理	104	5.4.2 无连接的传输:UDP 协议	162
4.4.2 FTP 命令和应答	105	5.4.3 面向连接的传输:TCP 协议	163
4.4.3 简单文件传送协议	105	本章小结	167
4.4.4 网络文件系统	106	习题五	168
4.5 万维网	106	第6章 局域网	169
4.5.1 超文本传送协议	108	6.1 局域网概述	169
4.5.2 HTTP 报文格式	110	6.1.1 局域网的特点和组成	169
4.5.3 万维网的缓存机制	114	6.1.2 局域网的技术特征	171
4.5.4 HTTP 与 SMTP 的比较	116		

6.1.3 局域网体系结构	171	7.2.5 其他宽带接入方法	253
6.2 介质访问控制方法	174	7.3 广域网的通信服务类型	256
6.2.1 CSMA/CD	175	7.4 广域网的数据链路层协议	257
6.2.2 令牌传递	180	7.4.1 HDLC	257
6.3 传统以太网	186	7.4.2 PPP	260
6.3.1 以太网的产生和发展	186	7.5 综合业务数字网	260
6.3.2 以太网的物理层选项	187	7.5.1 ISDN 的产生和发展	260
6.3.3 MAC 帧格式	188	7.5.2 ISDN 服务	261
6.3.4 MAC 地址	189	7.5.3 ISDN 协议	262
6.3.5 同轴电缆以太网(10BASE5/ 10BASE2)	191	7.5.4 ISDN 的接入	263
6.3.6 双绞线以太网(10BASE-T)	193	7.5.5 ISDN 应用	265
6.3.7 光纤以太网	195	7.6 数字数据网	266
6.3.8 全双工以太网	197	7.6.1 DDN 概述	266
6.4 局域网扩展	198	7.6.2 DDN 的特点	267
6.4.1 在物理层上进行局域网扩展	198	7.6.3 DDN 提供的服务	267
6.4.2 在数据链路层上进行局域网 扩展	199	7.6.4 DDN 的接入	268
6.4.3 在网络层上进行局域网扩展	200	7.7 X.25 分组交换网	268
6.5 高速局域网技术	201	7.7.1 X.25 分组交换网概述	268
6.5.1 100 Mbps 快速以太网	202	7.7.2 分组交换网的组成	269
6.5.2 千兆以太网和万兆以太网	210	7.7.3 X.25 分组层	270
6.5.3 光纤分布式数据接口	220	7.7.4 X.25 网络的特点	271
6.6 无线局域网	222	7.7.5 X.25 网络的接入	272
6.6.1 无线网络的应用	223	7.8 帧中继	273
6.6.2 无线局域网标准	223	7.8.1 帧中继协议	274
6.6.3 无线局域网的物理层	225	7.8.2 帧中继的操作	275
6.6.4 无线局域网的数据链路层	228	7.8.3 帧中继网络的拥塞控制方法	277
6.6.5 新兴的 802.11n 无线局域网	231	7.8.4 帧中继的实现	277
6.7 简单局域网的构建	232	7.9 异步传输模式	278
本章小结	234	7.9.1 ATM 概述	278
习题六	234	7.9.2 ATM 的主要特性	279
第7章 广域网	236	7.9.3 ATM 协议	280
7.1 广域网概述	236	7.9.4 局域网仿真	285
7.2 公共传输系统及其接入技术	238	7.9.5 ATM 的缺点	286
7.2.1 电话系统	238	7.10 广域网、因特网和万维网之间 的关系	287
7.2.2 SONET/SDH 光传输网络	241	本章小结	289
7.2.3 xDSL	244	习题七	289
7.2.4 HFC(Cable MODEM)	251	第8章 常用网络设备	291
		8.1 调制解调器	291

8.1.1 调制解调器的基本技术与相关标准	291
8.1.2 差错控制协议	292
8.1.3 数据压缩协议	293
8.1.4 流量控制	293
8.1.5 高速调制解调器	293
8.2 网络接口与网络接口卡	295
8.2.1 网络接口的技术体系类型	296
8.2.2 网络接口卡的功能	297
8.2.3 以太网卡的构造	298
8.2.4 以太网卡的配置参数	298
8.2.5 提高网卡性能的技术	299
8.2.6 网络接口卡的选用	300
8.3 中继器和集线器	302
8.3.1 中继器	302
8.3.2 集线器	303
8.4 网桥和以太网交换机	305
8.4.1 传统以太网的问题	305
8.4.2 网桥	306
8.4.3 以太网交换技术和以太网交换机	313
8.4.4 虚拟局域网	316
8.5 无线接入点	322
8.5.1 概述	322
8.5.2 AP 的硬件	323
8.5.3 AP 的工作模式及应用	323
8.6 路由器	326
8.6.1 概述	327
8.6.2 路由器的结构	327
8.6.3 路由器的路由选择过程	328
8.6.4 路由器与网桥的比较	330
8.6.5 无线路由器	331
8.7 第三层交换机	332
8.7.1 第三层交换的概念	332
8.7.2 第三层交换的基本原理	333
8.7.3 第三层交换的特点	336
8.7.4 第三层交换机的应用领域	336
8.8 网关	337

本章小结	338
------------	-----

习题八	339
-----------	-----

第9章 网络操作系统

9.1 概述	341
--------------	-----

9.1.1 网络操作系统的类型	341
-----------------------	-----

9.1.2 网络操作系统的基本服务	342
-------------------------	-----

9.1.3 网络操作系统的特征	344
-----------------------	-----

9.1.4 网络操作系统服务能力和性能 的评估策略	352
------------------------------------	-----

9.2 常见的网络操作系统	352
---------------------	-----

9.2.1 UNIX 和 Linux	352
--------------------------	-----

9.2.2 Windows NT 网络操作系统	362
-------------------------------	-----

本章小结	371
------------	-----

习题九	371
-----------	-----

第10章 网络安全

10.1 网络安全的基本概念	373
----------------------	-----

10.1.1 网络安全的基础知识	373
------------------------	-----

10.1.2 威胁网络安全的因素	375
------------------------	-----

10.1.3 网络安全的解决方案	375
------------------------	-----

10.2 信息安全技术	377
-------------------	-----

10.2.1 数据加密	377
-------------------	-----

10.2.2 用户认证	381
-------------------	-----

10.2.3 数字签名	383
-------------------	-----

10.2.4 作业和交易的安全——加密技术 应用案例	385
-------------------------------------	-----

10.3 防火墙技术	387
------------------	-----

10.3.1 防火墙的基本概念	387
-----------------------	-----

10.3.2 防火墙体系结构	388
----------------------	-----

10.3.3 防火墙的类型	391
---------------------	-----

10.3.4 防火墙的应用	396
---------------------	-----

10.4 网络病毒	398
-----------------	-----

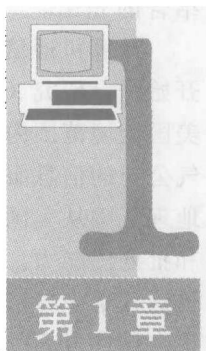
10.4.1 计算机病毒简介	398
----------------------	-----

10.4.2 宏病毒及网络病毒	399
-----------------------	-----

本章小结	401
------------	-----

习题十	401
-----------	-----

参考文献	403
------------	-----



引 论

第 1 章

计算机网络是密切结合计算机技术和通信技术,正在迅速发展并获得广泛应用的一门综合性学科。一个国家计算机网络建设的规模和应用水平是衡量其综合国力、科技水平和社会信息化水平的重要标志。经过几十年的发展,计算机网络技术已经进入一个崭新的时代,特别是在当今的信息社会,网络技术已深入到国民经济相关部门和社会生活的各个方面,成为人们日常生活和工作中不可缺少的工具。本章将从计算机网络的产生和发展开始,全面介绍计算机网络的组成、功能和应用等基本概念。

1.1

计算机网络的产生和发展

计算机网络源于计算机技术与通信技术的结合,始于 20 世纪 50 年代,50 多年来得到迅猛的发展。从单机与终端之间的远程通信,到当今全球范围内成千上万台计算机互联;从 4 800 bps 的无线传输系统发展到 10 000 Mbps (10 Gbps) 的光纤传输系统,其发展经历了几个阶段。

1.1.1 以单计算机为中心的联机网络系统

以单计算机为中心的联机网络系统有时被称为第一代网络。20 世纪 60 年代中期以前,计算机主机系统极其昂贵,而通信线路和通信设备的价格则相对便宜。为了共享主机资源(强大的数据处理能力)和进行信息的采集与综合处理,以单计算机为中心的联机终端网络成为一种主要的系统结构形式。

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。该系统分为 17 个防区,每个防区的指挥中心装有两台 IBM AN/FSQ-7 计算机,通过通信线路连接防区内的各个雷达观测站、机场、防空导弹和高射炮阵地,形成联机计算机系统。由计算机程序辅助指挥员制定决策,自动引导飞机和导弹进行拦截。SAGE 系统最先采用了人机交互式显示器,研制了小型计算机形式的前端处理器,制定了 1 600 bps 的数据通信规程,并提供了高可靠性的多路径选择算法。这个系统最终于 1963 年建成,被认为是计算机技术和通信技术相

结合的先驱。

计算机通信技术应用用于民用系统方面,始于美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 50 年代初开始联合研究、60 年代初投入使用的飞机订票系统 SABRE-1。这个系统由一台中央计算机与美国全境范围内的 2 000 个终端组成,这些终端采用多点线路与中央计算机相连。美国通用电气公司的信息服务系统(GE Information Service)则是世界上最大的商用数据处理网络,其覆盖的地理范围从美国本土延伸到欧洲、大洋洲和日本。该系统于 1968 年投入运行,具有交互式处理和批处理能力。网络配置为分层的星状结构:各终端设备连接到分布在世界上 23 个地点的 75 个远程集中器;远程集中器分别连接到 16 个中央集中器,各主计算机也连接到中央集中器;中央集中器经过 50 Kbps 线路连接到交换机。由于涉及的地理范围很广,可以利用时差达到资源的充分利用。

在以单处理器为中心的联机系统中,涉及多种通信技术、数据传输设备和数据交换设备等。从计算机技术的角度来看,这是由单用户独占一个系统发展到远距离的分时多用户系统。联机终端网络主要存在以下缺点:一是主机负载较重,既要承担通信工作,又要承担数据处理工作,主机的运行效率低。二是通信线路的利用率低,尤其在距离较远时,分散的终端都要单独占用各条通信线路,费用昂贵。为了解决这个问题,在终端密集的区域,可以采用远程线路集中器,尽量减少通信费用。三是这种网络结构属于集中控制方式,可靠性低,中央主机的失效将直接导致整个系统崩溃。

在早期的计算机通信网络中,为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担,人们开始使用多点通信线路、终端集中器以及前端处理器。这些技术对以后计算机网络的发展有着深远的影响,现分别介绍如下:

(1) 所谓多点通信线路就是在一条通信线路上串接多个终端(terminal,简称 T),如图 1.1(a)所示。这样,多个终端可以共享同一条通信线路与主机进行通信。由于主机-终端间的通信具有突发性和高带宽等特点,所以各个终端与主机间的通信可以分时使用同一高速通信线路。相对于每个终端与主机之间都设置专用通信线路的配置方式,多点通信线路能够极大地提高信道的利用率。

(2) 终端集中器和前端处理器(Front-End-Processor, FEP)的作用是类似的,不过后者的功能要强一些。主机资源主要用于计算任务,如果由主机兼顾终端的通信任务,一来会影响主机的计算任务;二来会使主机的接口增多,配置过于庞大,系统灵活性欠佳。为了解决这一矛盾,可以把与终端进行通信的任务分配给专门的终端集中器来承担。终端集中器的软硬件配置都是面向通信的,可以置于终端相对集中的地点,它与各个终端之间以低速线路相连,收集终端的数据,然后用高速线路传送给主机的前端处理器。这种通信配置的结构如图 1.1(b)所示。

终端集中器的硬件配置相对简单,它主要负责从终端到主机的数据集中,以及从主机到终端的数据分发。显然,采用终端集中器可以提高远程高速通信线路的利用率。前端处理器除了具有上述功能以外,还可以互相连接,并连接多个主机,具有路由选择功能,能够根据数据包的地址把数据发送到适当的主机。不过在早期的计算机网络中,前端处理器的功能还不是很强,互连规模也不是很大。

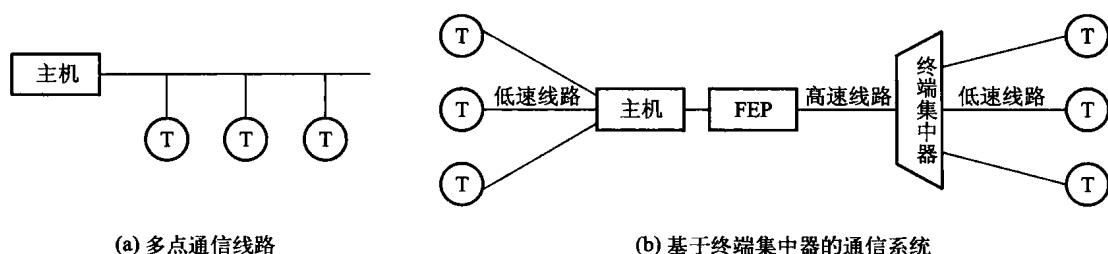


图 1.1 早期计算机网络通信方式

1.1.2 分组交换网络

从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期,随着计算机技术和通信技术的进步,可以将多个单处理器联机终端网络互相连接起来,形成多处理器互连的网络。这种网络利用通信线路将多台计算机连接起来,利用分组交换技术传输网络数据,为用户提供服务。

第一种形式是通过通信线路将主机直接互连,主机既承担数据处理工作又承担通信工作,如图 1.2(a)所示。

第二种形式是把通信功能从主机中分离出来,设置通信控制处理器 (Communication Control Processor, CCP),通过 CCP 的中继功能间接进行主机间的通信。由多个 CCP 组成的传输网络称为通信子网,如图 1.2(b)所示。

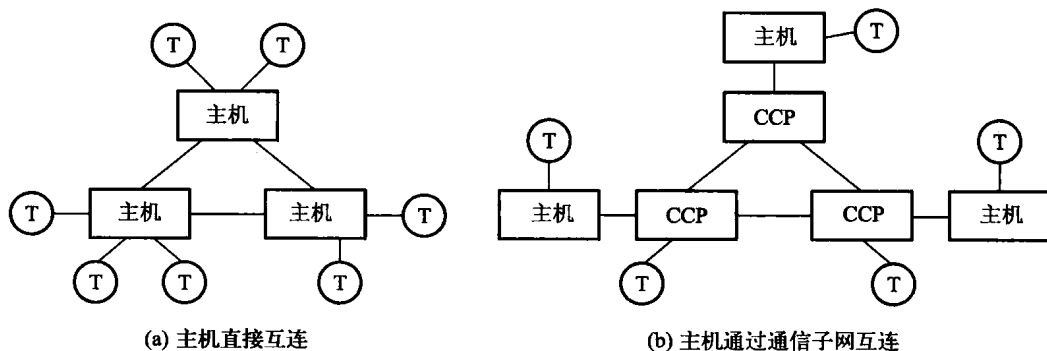


图 1.2 分组交换网络的两种形式

通信控制处理器负责网络上各主机间的通信控制和通信处理,其所组成的通信子网是网络的内层,或骨干层,是网络的重要组成部分。网络上的主机负责数据处理,是计算机网络资源的拥有者,它们组成网络的资源子网,是网络的外层。通信子网为资源子网提供信息传递服务,资源子网用户间的通信建立在通信子网的基础上。如果没有通信子网,网络不能正常工作,而如果没有资源子网,通信子网的数据传输也就失去了意义,两者合起来组成统一的、资源共享的两层网络。将通信子网的规模进一步扩大,使之成为社会公有的数据通信网,如图 1.3 所示。广域网,特别是国家级的计算机网络大多采用这种形式。这种网络允许异型机入网,兼容性好,通信线路的利用率高,是计算机网络概念最全、设备最多的一种形式。

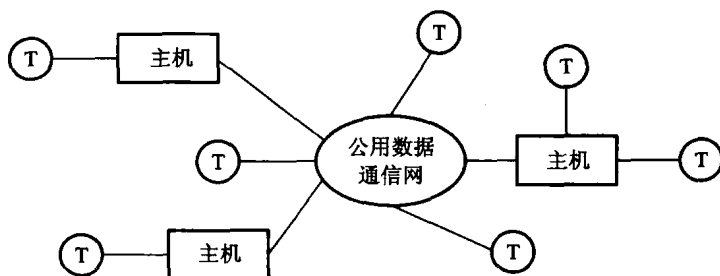


图 1.3 具有公用数据通信网的计算机网络

现代意义上的计算机网络是从 1969 年美国国防部高级研究计划署 (DARPA) 建成的 ARPANET 实验网开始的。该网络当时只有 4 个节点,以电话线路作为主干网络。1971 年,建成 15 个节点,进入工作阶段。此后,ARPANET 的规模不断扩大。到 20 世纪 70 年代后期,网络节点已超过 60 个,主机 100 多台,地域范围跨越北美洲大陆,连通了美国东部和西部的一些大学和科研机构,而且通过通信卫星与夏威夷和欧洲等地区的计算机网络相互连通。ARPANET 的主要特点是:资源共享;分散控制;分组交换;采用专门的通信控制处理器;采用分层网络协议。这些特点往往被认为是现代计算机网络的应有特征。

英国国家物理实验室 (NPL) 网络在 20 世纪 70 年代初连接 12 台主机、80 多个终端。其他网络还有英国邮政局的 EPSS 公用分组交换网 (1973 年)、法国信息与自动化研究所 (IRIA) 的 CYCLADES 分布式数据处理网络 (1975 年)、加拿大的 DATAPAC 公用分组交换网 (1976 年)、日本电报电话公司的 DDX-3 公用数据网 (1979 年) 等。这些网络以远程大规模互连为主要特点,称为第二代网络。根据其应用目的,可分为以下三种类型。

(1) 用户为在一定地域范围内共享专用资源而建立的网络,如美国加州大学劳伦斯原子能研究所建立的 OCTOPUS 网络。它由 2 台 CDC-7600、2 台 CDC-6600 和其他一些机器共将近 500 多个终端组成,可共享容量巨大的数据库。另一个例子是 DCS 网,由美国加州大学欧文分校研制,是一个面向进程通信的分布式异型机环状网络。

(2) 用户在一定地域范围内进行通信处理和通信服务而建立的通信网络,如欧洲情报网络 EIN。

(3) 用于商业目的公用分组交换数据通信网络,如美国的 TELENET 网络由美国远航网络公司创建,目前已发展成为一个向美国国内 250 个城市、境外 37 个国家的用户提供服务的全球性分组交换网。另外,加拿大的 DATAPAC 网、法国的 TRANSPAC 网等都属于这一类网络。

1.1.3 计算机网络体系结构标准化

计算机网络的体系结构按功能可被划分为若干层次 (layer)。网络中计算机之间要进行正常、有序的通信,必须遵从一定的约定,如信息的交互顺序、信息的表示方法等,这就是所谓的协议 (protocol)。协议是网络中同等层次之间信息交互的规则。计算机网络的层次结构及各层协议的集合统称为计算机网络的体系结构 (architecture)。

早在 20 世纪 70 年代到 80 年代,出现了大量的计算机网络,它们大都由研究部门、大学或公司各自研制开发,没有统一的体系结构,难以实现互连。这种固有的封闭性使它们变成一个个孤

岛,不能适应更广阔范围内的信息交流与资源共享。于是,开放(open)就成了计算机网络发展的主题。

1977年,国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)下属的计算机与信息处理标准化技术委员会成立了一个专门的分委员会,致力于研究计算机网络体系结构的标准化问题。经过多年的艰苦努力,于1983年制定了称为开放系统互连参考模型(Open System Interconnection/Reference Model, OSI/RM)的国际标准 ISO 7498。OSI/RM分为7层,每层都规定了相应的服务和协议标准,这些标准统称为OSI标准。OSI标准的基本宗旨就是开放,遵循该标准的系统都必须是相互开放的,能够实现互连。

但是,OSI标准在实施时受到了诸多因素的制约,最终并未达到预期的效果。其原因是多方面的:首先,作为因特网(Internet)基础的TCP/IP体系就是OSI标准的强大对手。因特网一直在迅猛发展,投资者(包括建网机构和大量的用户)不会轻易放弃在TCP/IP网络上的巨额投资。其次,研究人员虽然在学术上对OSI进行了大量的研究工作,但是它缺乏商业运作的驱动力和积极配合。再者,OSI网络体系结构本身分层过多,有些功能如流量控制和差错控制在多个层次中重复出现,实现起来比较复杂。

虽然OSI没有发展成新一代计算机网络,但它所提出的关于计算机网络的很多概念和技术被人们广泛接受和使用。也正是在OSI的推动和影响下,使得计算机网络体系结构的标准化进程不断推进。

在DARPA的资助下,20世纪70年代末期推出了TCP/IP协议规范。1983年,DARPA将ARPANET上的所有计算机转向TCP/IP协议,并以ARPANET为主干网建立和发展了因特网,形成TCP/IP体系结构。

TCP/IP体系结构虽然不是国际标准,但其发展和应用都远远超过了OSI标准,成为事实上的标准。20世纪90年代,许多国家相继建立了本国的主干网,并接入因特网。因特网以惊人的速度发展着,覆盖了全世界的各个角落。计算机网络发展到一个崭新的时代,这就是以TCP/IP体系结构为基础的因特网时代。

1.1.4 局域网

局域网(Local Area Network, LAN)是计算机网络发展史上一个重要而又活跃的领域。局域网的发展始于20世纪70年代,1972年美国加州大学研制Newhall loop网,1974年英国剑桥大学计算机实验室建立剑桥环(Cambridge Ring)网,1975年施乐公司Palo Alto研究中心研制第一个总线结构的实验性的以太网(Ethernet)。20世纪80年代,多种类型的局域网纷纷出现,并投入市场。

超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)技术的发展大大促进了微型计算机技术的发展,微型计算机的价格大幅度下降,连接局域网的网络接口卡和其他网络连接设备的价格也在不断下降,推动了微型计算机局域网PC-LAN的发展,其中以微软公司的Windows NT、Windows 2000和Novell公司的NetWare PC-LAN最为著名。

目前,局域网技术发展最迅速的当属著名的以太网(Ethernet),它历经30多年的发展,其数据传输速率已由原来的10 Mbps提高到今天的10 Gbps。以太网是局域网的主流网络,全世界大部分的局域网都是以太网,它保持了统治性的市场地位。

电气与电子工程师学会(IEEE)对局域网的发展做出了卓越的贡献,它制定的 IEEE 802 标准已成为具有广泛影响的国际标准。

1.1.5 因特网时代

进入 20 世纪 90 年代,计算机网络步入一个崭新的历史时代,这就是因特网时代。因特网的应用和发展从科研、教育到商用,逐步深入到人类社会活动的各个方面,它极大地改变了人们的生产、工作、生活和思维方式,对人类信息社会的发展产生了巨大而深远的影响。因特网自诞生以来经历了几个阶段的变迁,包括因特网、NGI 以及 Intranet 等。

1. 因特网

因特网的形成和发展始于 20 世纪 60 年代后期,由 ARPANET 发展演化而逐步形成。20 世纪 70 年代末期,DARPA 资助网络专家开发了著名的 TCP/IP 协议族,并于 20 世纪 80 年代初期在 ARPANET 上正式使用。TCP/IP 协议为因特网的发展注入了新的活力,使网络互连成为现实。到 1983 年,ARPANET 上已经连接了 300 多台计算机,由美国政府部门和研究机构使用。1984 年 ARPANET 分成两个部分,一部分用于军事,称为 MILNET;另一部分用于民用科研和教育,仍称 ARPANET,它们都由多个网络互连而成。ARPANET 发展成为因特网的主干网。

美国国家科学基金会(National Science Foundation,NSF)继 DARPA 之后对因特网的发展也做出了卓越的贡献。1986 年,NSF 建立美国国家科学基金网 NSFNET,连接美国 100 所左右的大学和研究机构。NSFNET 为三级网络结构,分为主干网、区域网和校园网。主干网的数据传输速率开始为 56 kbps,后来提高到 1.544 Mbps。NSFNET 也和 ARPANET 相连,并成为因特网的主要组成部分。

20 世纪 90 年代初,许多公司纷纷接入因特网,网络通信量大幅度增长,每日传送的分组数达 10 亿个之多,NSFNET 不堪重负。为了解决这一问题,美国政府决定将因特网主干网交给私人公司来经营。IBM、MCI 和 Merit 三家公司共同组建了一个高级网络服务公司(Advanced Networks and Services,ANS),经营 NSFNET。ANS 于 1993 年建造了一个速率为 44.746 Mbps 的主干网 ANSNET,取代了 NSFNET。

与此同时,许多国家相继建立本国的主干网,并接入因特网。欧洲主干网 EBONE、加拿大的 Canet、英国的 PIPEX 和 JANET 以及日本的 WIDE 都接入了因特网,因特网从此逐渐成为全球性的互联网。现在,因特网已经覆盖了全世界绝大多数国家。

因特网在我国的发展是与世界同步的。中国互联网络信息中心(CNNIC)于 2007 年发布的《第 20 次中国互联网络发展状况统计报告》显示,截至 2007 年 12 月 31 日,我国网民总人数已达到 2.1 亿,2007 年平均每分钟就新增近 100 个网民,互联网普及率已达到 16%;宽带网民人数达 1.63 亿,手机网民已有 5 040 万人;国内域名总数达到 1 193 万个,年增长率达到 190.4%,其中 cn 域名注册量大幅度增长,已达到 900 万个;我国网站数量达到 150 万个,cn 域名下的网站数量已达 100.6 万个,具有 cn 域名的网站数量首次大幅度超过 com 域名网站的数量。此外,报告还全面分析了互联网的应用情况,发现互联网的获取信息、娱乐和沟通功能被普遍使用。其中以互联网信息获取为代表的网络新闻和搜索引擎应用的网民比例已达 3/4(76.3%);以沟通工具为代表的即时通信和电子邮件应用的网民比例分别达到 7 成(69.8%)和超过半数(55.4%);以娱乐为代表的网络音乐、网络影视和网络游戏应用的网民比例也很高,网络音乐的使用率已经超过

2/3 (68.5%), 体验过网络游戏的网民也已经接近一半 (47.0%)。

2. 下一代因特网

因特网已经有 30 多年的发展历史, 因特网的发展推动了网络应用范围的迅速扩展, 融合文本、语音、图形、图像等多媒体信息的传输业务大量涌现, 对网络的带宽要求越来越高。另外, 因特网上的主机数量急速增加, 使得原来设计的 32 位 IP 地址空间几乎用尽。因此, 在新的信息时代中, 如何推进因特网深入发展就成了各国研究人员的共同任务。下一代因特网 (Next-Generation Internet, NGI) 也随着时代的发展应运而生。

1996 年美国国务院出台 NGI 计划, 进行 NGI 关键技术的研究, 其目标是更快、更强大、更安全、更高的服务质量和更方便的使用。作为 NGI 的倡导者, 美国国家科学基金会支持大学和科研机构建立高速网络试验床 (very high speed Backbone Network Service, vBNS)。vBNS 采用 IP over ATM over SDH/SONET (IP over 异步传输模式 over 同步数字系列/同步光纤网) 方式, 数据传输速率达到 622 Mbps。由于千兆以太网的日益成熟和高速千兆交换路由器和太比特 (Terabit, 1 Tbps = 10^3 Gbps = 10^6 Mbps) 交换路由器的出现, 又产生了 IP over SDH/SONET, 使遵循 IP 协议的数据直接在 SDH/SONET 上传输。

1998 年, 美国 100 多所大学联合成立 UCAID (University Corporation for Advanced Internet Development), 从事 Internet2 研究计划, 现在已有 206 所院校参与。UCAID 建立了另一个高速网络试验床 Abilene, 于 1999 年 1 月开始提供服务, 其目的是为美国的教育和科研提供先进的信息基础设施, 保持美国在高速计算机网络及其应用领域的技术优势。

除美国外, 其他国家和地区也相继开展了下一代高速互联网络的研究, 包括加拿大的 CA * 3NET、英国的 JANET2 以及亚太地区的 APAN 等。

我国下一代互联网示范工程 (China Next Generation Internet, CNGI) 是实施我国下一代互联网发展战略的工程, 由当时的国家发展和改革委员会、科技部、国务院信息化工作办公室、中国科学院、中国工程院、国家自然科学基金委员会、信息产业部、教育部等八部委联合领导。第一个下一代互联网试验网络 NSFCNET 于 1999 年 12 月开始建设, 2001 年 7 月通过了验收。NSFCNET 使用密集波分多路复用 (Dense Wave length Division Multiplexing, DWDM) 光传输技术, 采用 IPv6 与国际 IPv6 网络连接, 第一次实现了与 Internet2 的互连。此外, 国家 863 项目中的中国高速信息示范网 CAINONet、中国科学院的中国先进互联网 CAINet 也都是宽带 IP 网络技术、设备与先进应用的研究实验平台。

2001 年, 中国教育科研网 CERNET 提出建设全国性下一代中国教育科研网 CERNET2 计划, 2003 年 8 月, CERNET2 计划被纳入 CNGI。2004 年 3 月 19 日, CERNET2 实验网开通。CERNET2 建成后将是目前已知的世界上规模最大的纯 IPv6 国家级主干网。CERNET2 主干网的数据传输速率为 2.5 Gbps ~ 10 Gbps, 连接北京、上海、广州等 20 个城市的 CERNET2 核心节点, 将实现全国 200 余所高等院校的 IPv6 接入, 并与国内的其他下一代互联网及国际下一代互联网实现高速互连。CERNET2 将支持更高速、更丰富的下一代互联网服务, 如网格计算、视频语音综合通信、高清晰度电视、智能交通、远程教育和远程医疗、环境和地震监测等。

3. 内联网

因特网的发展大大促进了企业的信息化和经济的全球化。内联网 (Intranet) 是因特网技术