



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络

(第3版)

冯博琴 陈文革 主编

夏 秦 程向前 李 波 编

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络

Jisuanji Wangluo

(第3版)

冯博琴 陈文革 主编

夏 秦 程向前 李 波 编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,由参与“计算机网络”国家级精品课程建设的多名资深教师精心编写而成。

本书内容涵盖了数据通信和计算机网络领域的基本概念、原理和技术,主要包括数据通信的基础知识、计算机网络体系结构、因特网原理及应用、局域网技术、广域网技术和网络安全等内容。内容取材新颖,反映了网络技术的最新发展。

本书可作为各高等院校理、工、管等非计算机专业的“计算机网络”课程的教材或参考书,也可供各类希望了解计算机网络的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; 夏秦, 程向前, 李波编. — 3 版. — 北京: 高等教育出版社, 2016.9
ISBN 978-7-04-046269-2

I. ①计… II. ①冯… ②陈… ③夏… ④程… ⑤李…
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 (2016) 第 189445 号

策划编辑 武林晓
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 武林晓
责任校对 陈旭颖

封面设计 张志
责任印制 赵义民

版式设计 童丹

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
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 850mm×1168mm 1/16
印 张 26.75
字 数 590 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 1999 年 6 月第 1 版
2016 年 9 月第 3 版
印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷
定 价 42.00 元

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 46269-00

○ 数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、注册/登录

访问 <http://abook.hep.com.cn/1859017>，点击“注册”，在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”页面。

二、课程绑定

点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，正确输入教材封底防伪标签上的 20 位密码，点击“确定”完成课程绑定。

三、访问课程

在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

四、与本书配套的易课程数字课程资源包括案例素材，以便读者学习使用。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

如有账号问题，请发邮件至：abook@hep.com.cn。



计 算 机 网 络（第 3 版）

冯博琴 陈文革 主编

用户名

密码

验证码

3 6 5 9

进入课程

注册

内容介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

“计算机网络”数字课程与纸质教材一体化设计紧密配合。数字课程提供了电子教案、RFC文档、动画演示、实验、拓展阅读、微视频、习题答案等数字资源，充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时，为学生学习提供思维与探索的空间。



Android客户端

注册 登录 绑定课程

。第三版前言

计算机网络的广泛应用在过去的几十年里得到了长足的发展,尤其是因特网(Internet)自出现以来,更是对科学技术、生产生活乃至整个社会的发展产生了巨大的影响。为了使更多的人能够了解、掌握、使用计算机网络,计算机网络课程教学受到了许多大专院校的广泛重视,本教材就是为了适应这种需要,在多位长期从事计算机网络教学的教师的努力下精心编写而成的。

计算机网络涉及的领域极为广泛,相关技术众多,显然在一本教材中不可能全部涵盖,而且大多数学校的计算机网络课程学时数有限,内容不可能面面俱到。基于这两方面的考虑,本教材的重点是面向应用,内容包括计算机网络技术中最核心以及应用最广泛的知识,其中包括网络通信基础知识、网络体系结构、TCP/IP 协议簇、因特网、局域网、广域网和网络安全等。

本书的参考学时数为 48~64 学时。内容共分为 10 章:第 1 章介绍计算机网络的基本概念,内容包括计算机网络的发展,计算机网络的概念、组成、分类和应用模式等;第 2 章介绍数据通信的基础知识,内容包括通信系统的构成和数据通信过程、数据通信的基本概念、通信介质、数据编码、信道复用技术、数据交换技术、差错控制技术和数据通信的性能指标等;第 3 章介绍计算机网络的体系结构和标准,内容包括体系结构、协议和服务的基本概念,常见的网络参考模型、网络标准和标准化组织等;第 4 章介绍因特网应用,内容包括远程登录、电子邮件、文件传输、万维网和因特网的多媒体应用等;第 5 章介绍因特网的基础原理,内容包括因特网的体系结构、接入技术、域名服务、传输层协议、网络层、物理层和数据链路层的关键技术等;第 6 章介绍局域网技术,内容包括局域网的基本概念,介质访问控制方法,传统以太网、高速以太网、无线局域网、虚拟局域网、局域网扩展等流行网络技术;第 7 章介绍广域网技术,内容包括广域网的基本概念、通信服务类型、拥塞控制、常见的广域网系统;第 8 章介绍常用网络设备的工作原理、特点及应用;第 9 章介绍网络操作系统的基本服务和特征,以及常见的网络操作系统 Windows NT 和 Linux 的特点及应用;第 10 章介绍网络安全技术,内容包括网络安全的基本概念、信息安全技术、防火墙技术和网络病毒等。

书内各章均附有习题,可供读者检验对所学内容的掌握程度。作为新形式教材,本书还提供了大量相关的电子资源:电子教案 PPT、RFC 文档、动画演示、实验指导、拓展阅读材料、重要知识点的微视频以及部分习题答案等,可供读者参考、学习使用。目录中带有*的章节属于提高内容,各学校可根据教学的学时安排酌情讲授。

本书由冯博琴、陈文革主编,参加本版编写的有夏秦(第 1 章~第 3 章)、程向前(第 4 章、第 5 章和第 9 章)、陈文革(第 6 章~第 8 章)、李波(第 10 章)。胡成臣在编写过程中提出了很多好的建议,研究生孙秀文也为本书的电子资源编辑做了大量的工作。

本书在编写过程中参考了国内外大量的资料和教材，还参考了网络上各种资源，在此对有关的作者表示诚挚的感谢。由于计算机网络技术发展极为迅速，新技术层出不穷，加上作者水平所限，书中的内容和编排难免会出现一些不足之处，希望广大读者提出宝贵的建议，以便作者在下一版中进行改进。

作 者

2016 年 7 月

○ 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1999年出版以来，已经历九个年头，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	001
1.1 计算机网络的产生和发展	001
1.1.1 以单计算机为中心的联机系统	001
1.1.2 分组交换网络	002
1.1.3 计算机网络体系结构标准化	004
1.1.4 局域网	005
1.1.5 因特网时代	005
1.1.6 “三网”融合	008
1.1.7 下一代通信网络	009
1.2 计算机网络的概念	011
1.3 计算机网络系统的组成	013
1.4 计算机网络的分类	013
1.5 计算机网络的应用	017
1.5.1 计算机网络的应用领域	017
1.5.2 计算机网络带来的社会问题	019
1.6 与计算机网络相关的国际标准化组织	020
1.6.1 国际标准化组织	020
1.6.2 因特网标准化组织	020
1.6.3 电信标准化组织	021
小结	022
习题	022

第2章 数据通信基础知识

2.1 数据通信系统	023
2.1.1 数据通信系统的构成	023
2.1.2 数据通信过程	024

2.2 一些基本概念	024
2.2.1 数据与信号	024
2.2.2 信道	026
2.2.3 通信方式	026
2.2.4 传输方式	027
2.2.5 同步方式	028
2.3 传输介质	030
2.3.1 同轴电缆	031
2.3.2 双绞线	032
2.3.3 光纤	033
2.3.4 无线介质	035
2.4 数据编码	038
2.4.1 数字数据的数字信号编码	038
2.4.2 数字数据的调制编码	039
2.4.3 模拟数据的数字编码	040
2.5 信道复用技术	041
2.5.1 频分复用	041
2.5.2 时分复用	042
2.5.3 统计时分复用	043
2.5.4 *波分复用	044
2.5.5 *码分复用	045
2.6 数据交换技术	047
2.6.1 电路交换	048
2.6.2 报文交换	049
2.6.3 分组交换	050
2.6.4 *快速分组交换	051
2.7 差错控制	052
2.7.1 差错起因	052
2.7.2 差错控制方法	052
2.7.3 常见的检错码	053

2.8 数据通信性能指标	057	4.4 文件传输服务	102
2.8.1 时延与时延带宽积	057	4.4.1 FTP 的工作原理	103
2.8.2 误码率与误比特率	058	4.4.2 FTP 命令和应答	104
2.8.3 信息传输速率与码元传输 速率	058	4.4.3 简单文件传输协议	104
2.8.4 信道的最大传输速率	059	4.4.4 网络文件系统	105
小结	061	4.5 万维网	105
习题	062	4.5.1 超文本传送协议	107
第3章 计算机网络体系结构	064	4.5.2 HTTP 报文格式	109
3.1 网络体系结构	064	4.5.3 万维网的缓存机制	113
3.1.1 网络体系结构的发展	064	4.5.4 HTTP 与 SMTP 的比较	115
3.1.2 分层原理	065	4.5.5 超文本标记语言	116
3.1.3 基本概念	066	4.5.6 浏览器的结构	118
3.2 网络参考模型	074	4.5.7 万维网网站的软件构架	120
3.2.1 OSI 参考模型	074	4.6 * 因特网的多媒体应用	122
3.2.2 TCP/IP 参考模型	083	4.6.1 因特网的多媒体应用分类	123
3.2.3 OSI 与 TCP/IP 参考模型 比较	084	4.6.2 开发因特网多媒体应用 所面临的挑战	123
3.3 五层网络参考模型	086	4.6.3 音频和视频压缩	124
3.3.1 OSI 与 TCP/IP 参考模型的 评价	086	4.6.4 存储式音频和视频流媒体	125
3.3.2 五层网络参考模型	087	4.6.5 IP 电话	129
小结	088	小结	131
习题	088	习题	131
第4章 因特网及其应用	089	第5章 网络互连与因特网基础	133
4.1 域名服务	090	5.1 网络互连的基本概念	133
4.1.1 DNS 基本工作原理	090	5.2 因特网接入技术	134
4.1.2 DNS 服务器	091	5.2.1 住宅接入网络	134
4.2 远程登录	092	5.2.2 机构接入网络	136
4.3 电子邮件系统	093	5.2.3 移动接入网络	136
4.3.1 电子邮件系统的组成	093	5.3 因特网的链路层与网络层	136
4.3.2 简单邮件传送协议 SMTP	095	5.3.1 点对点协议	137
4.3.3 电子邮件的信息格式	097	5.3.2 因特网的网络层与 IP	139
4.3.4 邮件读取协议	098	5.3.3 因特网的 IP 路由技术	143
4.3.5 通用因特网邮件扩充	099	5.3.4 ICMP	151
		5.3.5 ARP 和 RARP	152
		5.3.6 ARP 与 IP 的交互	153
		5.3.7 ARP 与 DNS 的比较	154

5.3.8 IP 地址的获取	155	6.5.3 * 光纤分布式数据接口	219
5.3.9 * IPv6	155	6.6 无线局域网	221
5.4 因特网传输层协议	159	6.6.1 无线网络的应用	222
5.4.1 应用程序多任务处理	159	6.6.2 无线局域网标准	223
5.4.2 无连接的传输: UDP	162	6.6.3 无线局域网的物理层	224
5.4.3 面向连接的传输: TCP	162	6.6.4 无线局域网的数据链路层 ...	228
小结	167	6.6.5 * 高速 WLAN	231
习题	168	6.7 简单局域网的构建	233
第 6 章 局域网	170	小结	235
6.1 局域网概述	170	习题	235
6.1.1 局域网的特点和组成	170	第 7 章 广域网	237
6.1.2 局域网的技术特征	171	7.1 广域网概述	237
6.1.3 局域网体系结构	172	7.2 公共传输系统及其接入技术	239
6.2 介质访问控制方法	175	7.2.1 电话系统	239
6.2.1 CSMA/CD	175	7.2.2 * SONET/SDH 光传输网络 ...	242
6.2.2 * 令牌传递	180	7.2.3 xDSL	245
6.3 传统以太网	186	7.2.4 HFC	252
6.3.1 以太网的产生和发展	186	7.2.5 其他宽带接入方法	253
6.3.2 以太网的物理层选项	187	7.3 广域网的通信服务类型	256
6.3.3 MAC 帧格式	188	7.4 常见的广域网数据链路层	
6.3.4 MAC 地址	189	协议	257
6.3.5 * 同轴电缆以太网	191	7.4.1 HDLC	257
6.3.6 双绞线以太网	193	7.4.2 PPP	260
6.3.7 光纤以太网	195	7.5 * 拥塞控制	264
6.3.8 全双工以太网	197	7.5.1 防止拥塞的方法	264
6.4 局域网扩展	198	7.5.2 TCP 的拥塞控制机制	265
6.4.1 在物理层上进行局域网		7.6 综合业务数字网	268
扩展	198	7.6.1 ISDN 的产生和发展	268
6.4.2 在数据链路层上进行局域网		7.6.2 ISDN 服务	268
扩展	199	7.6.3 ISDN 协议	270
6.4.3 在网络层上进行局域网		7.6.4 ISDN 的接入	271
扩展	200	7.6.5 ISDN 应用	272
6.5 高速局域网技术	201	7.7 数字数据网	273
6.5.1 100 Mbps 快速以太网	202	7.7.1 DDN 概述	273
6.5.2 千兆位以太网和万兆位		7.7.2 DDN 网的特点	274
以太网	210	7.7.3 DDN 提供的服务	274

7.7.4 DDN 网的接入	274	8.2.5 提高网卡性能的技术	305
7.8 *X.25 分组交换网	275	8.2.6 网络接口卡的选用	306
7.8.1 X.25 分组交换网概述	275	8.3 中继器和集线器	308
7.8.2 X.25 分组交换网的组成	276	8.3.1 中继器	308
7.8.3 X.25 分组层	276	8.3.2 集线器	309
7.8.4 X.25 网的特点	278	8.4 网桥和以太网交换机	311
7.8.5 X.25 网的接入	279	8.4.1 传统以太网的问题	311
7.9 帧中继	279	8.4.2 网桥	313
7.9.1 帧中继协议	281	8.4.3 以太网交换技术和以太网 交换机	319
7.9.2 帧中继的操作	282	8.4.4 虚拟局域网	322
7.9.3 帧中继网络的拥塞控制 方法	283	8.5 无线接入点	327
7.9.4 帧中继的实现	284	8.5.1 概述	327
7.10 *异步传输模式	285	8.5.2 AP 的硬件	328
7.10.1 ATM 概述	285	8.5.3 AP 的工作模式及应用	328
7.10.2 ATM 的主要特性	286	8.6 路由器	331
7.10.3 ATM 协议	287	8.6.1 概述	331
7.10.4 局域网仿真 LANE	292	8.6.2 路由器的结构	332
7.10.5 ATM 存在的问题	293	8.6.3 路由器的路由选择过程	332
7.11 广域网、因特网和万维网 之间的关系	294	8.6.4 路由器与网桥的比较	334
小结	295	8.6.5 无线路由器	335
习题	295	8.7 *第三层交换机	336
第8章 常用网络设备	298	8.7.1 什么是第三层交换	336
8.1 调制解调器	298	8.7.2 第三层交换的基本原理	337
8.1.1 调制解调器的基本技术与 相关标准	298	8.7.3 第三层交换的特点	339
8.1.2 *差错控制协议	299	8.7.4 第三层交换机的应用领域	339
8.1.3 *数据压缩协议	299	8.8 网关	340
8.1.4 *流量控制	300	小结	340
8.1.5 *高速调制解调器	300	习题	342
8.2 网络接口与网络接口卡	302	第9章 网络操作系统	344
8.2.1 网络接口的技术体系类型	302	9.1 概述	344
8.2.2 网络接口卡的功能	303	9.1.1 网络操作系统的类型	344
8.2.3 以太网卡的结构	304	9.1.2 网络操作系统的基本服务	345
8.2.4 以太网卡的配置参数	305	9.1.3 网络操作系统的特征	347
		9.1.4 网络操作系统服务能力和 性能的评估策略	356

9.2 常见的网络操作系统	356	10.2.3 数字签名	388
9.2.1 UNIX 和 Linux	356	10.2.4 作业和交易的安全—— 加密技术应用案例	390
9.2.2 Windows NT 网络操作 系统	366	10.3 防火墙技术	392
小结	376	10.3.1 防火墙基本概念	392
习题	376	10.3.2 防火墙体系结构	393
第 10 章 网络安全	378	10.3.3 防火墙类型	396
10.1 网络安全基本概念	378	10.3.4 防火墙的应用	402
10.1.1 网络安全基础知识	378	10.4 网络病毒	403
10.1.2 威胁网络安全的因素	380	10.4.1 什么是计算机病毒	404
10.1.3 网络安全解决方案	380	10.4.2 宏病毒及网络病毒	404
10.2 信息安全技术	381	小结	406
10.2.1 数据加密	381	习题	407
10.2.2 用户认证	386	参考文献	409

第 1 章 引论

计算机网络是密切结合计算机技术和通信技术，正迅速发展并获得广泛应用的一门综合性学科。一个国家网络建设的规模和应用水平是衡量一个国家综合国力、科技水平和社会信息化的重要标志。经过 60 多年的发展，计算机网络技术已经进入了一个崭新的时代，特别在当今的信息社会，网络技术已日益深入到国民经济各部门和社会生活的各个方面，成为人们日常生活工作中不可缺少的工具。本章将从网络的产生和发展开始，全面地介绍计算机网络的功能、应用、组成等基本概念。

1.1 计算机网络的产生和发展

计算机网络源于计算机与通信技术的结合，始于 20 世纪 50 年代，近 60 年来得到迅猛发展。由单机与终端之间远程通信，到今天全球范围内成千上万计算机互连；从 4 800 bps 无线传输系统发展到 10 000 Mbps（10 Gbps）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，计算机主机系统极为昂贵，而通信线路和通信设备的价格相对便宜，为了共享主机资源（强大的处理能力）和进行信息的采集及综合处理，以单计算机为中心的联机终端网络是一种主要的系统构造形式。

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（赛其）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 公司的 AN/FSQ-7 计算机，通过通信线路连接防区内各雷达观测站、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作用的显示器，研制了小型计算机形式的前端处理机，制定了 1 600 bps 的数据通信规程，并提供了高可靠性的多种路径选择算法。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结合的先驱。

计算机通信技术应用用于民用系统方面，最早的是美国航空公司与 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全美范围内的 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。网络配置为分层星形结构：各终端设备连接到分布世界上 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。由于地理范围很大，可以利用时差达到资源的充分利用。

在以单处理机为中心的联机系统中，涉及多种通信技术、数据传输设备、数据交换设备等。从计算机技术上来看，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。联机终端网络主要有如下缺点：一是主机负荷较重，既要承担通信工作，又要承担数据处理工作，主机的效率低；二是通信线路的利用率低，尤其在远距离时，分散的终端都要单独占用一条通信线路，费用高，为了解决这个问题，在终端密集的区域采用了远程线路集中器，以尽量减少通信费用；三是这种网络结构属集中控制方式，可靠性低，中央主机的失效直接导致整个系统的崩溃。

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、集中器以及前端处理机。这些技术对以后计算机网络的发展有着深刻的影响，现分别介绍如下。

所谓多点通信线路就是在一条通信线路上串接多个终端，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的特点，所以各个终端与主机间的通信可以分时地使用同一高速通信线路。相对于每个终端与主机之间都设立专用通信线路的配置方式，这种多点线路能极大地提高信道的利用率。

终端集中器和前端处理机 (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，二来使主机的接口很多，配置过于庞大，系统灵活性不好。为了解决这一矛盾，可以把与终端的通信任务分配给专门的终端集中器承担。终端集中器的硬/软件配置都是面向通信的，可以放置于终端相对集中的地点，它与各个终端以低速线路连接，收集终端的数据，然后用高速线路传送给主机的前端处理机。这种通信配置的结构如图 1.1 (b) 所示。

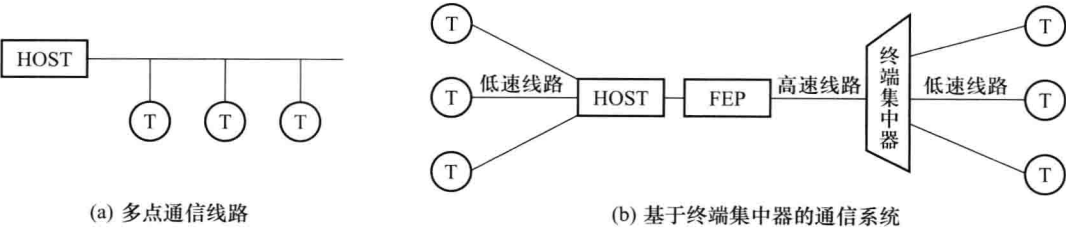


图 1.1 多点通信线路和终端集中器

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，和从主机到终端的数据分发。显然采用终端集中器可提高远程高速通信线路的利用率。前端处理机除了具有以上功能外，还可以互相连接，并连接多个主机，具有路由选择功能，它能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机的功能还不是很强，互连规模也不是很大。

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，将多

个单处理机联机终端网络互相连接起来，形成了多处理机互连的网络。这种网络利用通信线路将多个计算机连接起来，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计算机直接互连起来，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从主机分离出来，设置通信控制处理机 (Communication Control Processor, CCP)，主机间的通信通过 CCP 的中继功能间接进行。由多个 CCP 组成的传输网络称为通信子网，如图 1.2 (b) 所示。

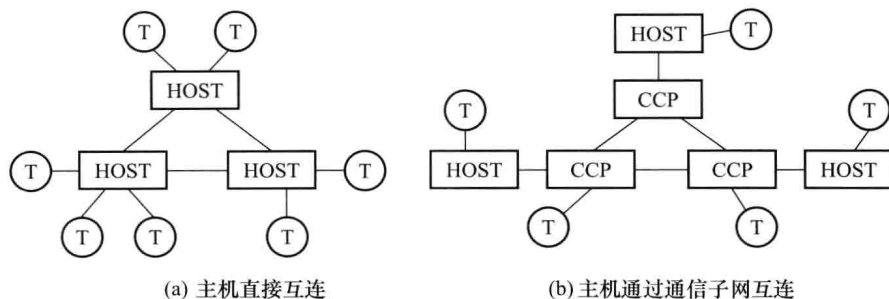


图 1.2 主机的互连方式

通信控制处理机负责网上各主机间的通信控制和通信处理，它们组成的通信子网是网络的内层，或骨架层，是网络的重要组成部分。网上主机负责数据处理，是计算机网络资源的拥有者，它们组成了网络的资源子网，是网络的外层，通信子网为资源子网提供信息传输服务，资源子网上用户间的通信建立在通信子网的基础上。没有通信子网，网络不能工作，而没有资源子网，通信子网的传输也就失去了意义，两者合起来组成了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，使之变成社会公用的数据通信网，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。这种网络允许异种机入网，兼容性好、通信线路利用率高，是计算机网络概念最全、设备最多的一种形式。

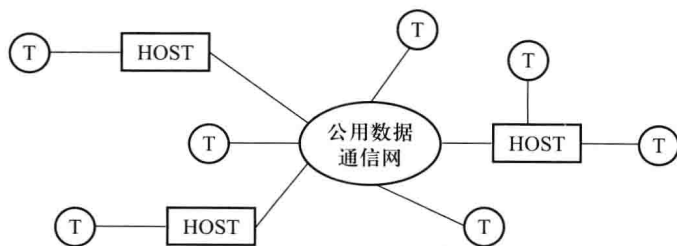


图 1.3 具有公用数据通信网的计算机网络

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，两年后，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，网络节点超过 60 个，主机 100 多台，地域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等地区的

拓展阅读：
ARPANET

计算机网络相互连通。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。这些特点往往被认为是现代计算机网络的基本特征。

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

（1）用户为在一定范围内共享专用资源而建立的网络，如 OCTOPUS 网络，由美国加州大学劳伦斯原子能研究所建立，它由 2 台 CDC-7600、2 台 CDC-6600 和其他一些机器近 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，由加州大学的欧文分校研制，是一个面向进程通信的分布式异种机环形网络。

（2）用户在一定的地域范围内以进行通信处理和通信服务为目的的通信网络，如欧洲情报网络 EIN。

（3）用于商用目的的公用分组交换数据通信网络，美国的 TELENET 网络是由美国远航网络公司建的，目前已发展成为一个要向国内 250 个城市、国外 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 网等都属这一类。

1.1.3 计算机网络体系结构标准化

计算机网络在体系结构上按功能被划分为若干层次（Layer）。网络中计算机之间要进行正常有序的通信，必须有一定的约定，如信息应按什么顺序进行交互，信息应该如何表示等，这就是所谓的协议（Protocol），协议是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计算机网络的体系结构（Architecture）。

早在 20 世纪 70 年代到 80 年代，世界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。这种封闭性使它们变成一个个信息孤岛，不能适应更大范围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研究计算机网络体系结构的标准化问题，经过多年艰苦的努力，于 1983 年制定出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，这些标准总称为 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 在实施时受到了诸多因素的制约，最终并没有达到预期的效果。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 的强大对手。因特网过去和现在都得到迅猛的发展，投资者（包括建网机构和大量的用户）不会轻