


高等学校计算机专业规划教材

计算机

网络原理

王能 **主编**

刘锦高 陆刚 张卫 **编著**

 **电子工业出版社**
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校计算机专业规划教材

计算机网络原理

王 能 主编

刘锦高 陆 刚 张 卫 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是高等学校计算机专业规划教材之一,着重介绍计算机网络的基本概念、基本原理。内容包括计算机网络的功能、体系结构的概念、物理层接口技术、数据通信基本概念和基础理论、传输介质、数据链路层协议、多路复用技术、共享信道的访问协议、局域网技术、路由算法及有关协议、网络层协议、域名系统、远程登录、文件传输、电子邮件、网络管理、动态主机配置等网络应用和相关协议。

全书力求概念准确、重点突出,大部分内容以因特网为背景,反映了当前计算机网络发展的主流。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络原理/王能主编. —北京:电子工业出版社,2002.6

高等学校计算机专业规划教材

ISBN 7-5053-7745-0

I. 计… II. 王… 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(2002)第 044255 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:416 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:24.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

《高等学校计算机专业规划教材》

编委会名单

主任委员	陈火旺			
副主任委员	施伯乐	钱德沛	文宏武	
委员	张吉锋	侯文永	钱乐秋	黄国兴
	孙志挥	王晓东	许满武	王宇颖
	吴朝晖	朱庆生	宁 洪	黄迪明

出版说明

为了适应我国 21 世纪计算机各类人才的需要,根据计算机学科技术发展的总趋势,结合我国高等学校教育工作的现状,立足培养的学生能跟上国际计算机学科技术发展水平,原“全国高校计算机专业教学指导委员会”、“中国计算机学会教育委员会”的大部分专家、教授于 2001 年 4 月在上海召开研讨会,参照 IEEE 和 ACM 计算机教程 2001 大纲组织编写与其配套的 22 种教材,现推荐给国内的院校,作为教学之用。

为了使这套教材体现现代计算机教学的特点,编出特色,来自上海交通大学、复旦大学、国防科技大学、哈尔滨工业大学、华东师范大学、东南大学、华东理工大学、上海大学、福州大学、重庆大学、东华大学等十几所大学的专家、教授成立了以陈火旺院士为主任委员的编写委员会,并多次集中开会,深入讨论了结合我国高等学校计算机本科教育的实际而推出的“93 教程”的教学情况,以及由全国高校计算机专业教学指导委员会、中国计算机学会教育委员会提出的《2000 计算机学科教学计划》征求意见稿,在研究、学习、借鉴 2000 年 6 月 ACM 和 IEEE/CS 联合专题组发表的“Computing curricula 2001”报告的基础上,结合当前计算机技术飞速发展的现实——对计算机学科的教学内容不断提出更新的要求,特别是为了全面推进素质教育,以及培养学生的创新精神和实践能力,提出了新的编写思路,使这套教材的知识能反映当前计算机学科技术发展的前沿和趋势。

ACM 和 IEEE 2001 教程的思想是将计算机学科领域的知识分解为几个主要的核心科目(算法与数据结构、计算机体系结构、人工智能与机器人学、数据学与信息检索、人机通信、数值计算、操作系统、程序设计语言、图形学、可视化、多媒体、网络计算、软件工程)并作为学科的公共要求;对计算机学科的教学要突出理论、抽象和设计三个环节,并强调教学一定要与社会需求相结合。另外,还提出了贯穿于计算机学科中常出现的基本概念,并将这些概念在教材中予以清晰的介绍,灵活的应用,以更好地帮助学生,使之成为一个优秀的计算机工作者。

为了保证这套教材的审编和出版质量,以陈火旺院士为主任委员的教材编委会的专家教授们在 2001 年 4 月召开了全体编委、作者讨论会,制订了编写要求和编审程序。编委们对所有教材的编写提纲进行了讨论,对教材的质量做了专门的要求,并设立专门的负责人选。参加这套教材的编审者都是来自全国重点高校的在计算机领域从事教学和科研的专家和学者,他们具有丰富的教学经验,严谨的治学态度,较高的学术水平。

这套教材的出版得到电子工业出版社的积极支持。他们把这套教材列为重点图书出版,并制定了专门的编审出版规定和出版流程,组织了专门的编辑力量和协调机构。

我们希望这套教材的出版,对我国的计算机教育事业的发展做出应有的贡献。

编委会

2002 年 1 月

前 言

计算机网络是 20 世纪对人类社会影响最深远的科学技术成就之一。计算机网络已广泛应用于军事、教育、政府、科研甚至每个人的日常生活。为了适应计算机网络技术的发展和应用的需要,培养计算机网络人才,各个高等院校普遍开设了计算机网络课程。全国《高等学校计算机专业系列教材》编委会为了满足计算机网络教学对教材的需求,组织华东师范大学计算机科学技术系多年从事计算机科学与技术教学的教授在深入讨论“ACM 和 IEEE/CS 联合发表的 Computing Curricula 2001”课程课置及新世纪教改的特点,组织编写了本教材。

本教材着重介绍当前计算机网络技术的基础知识、基本概念和基本原理。

全书由九章组成,分别介绍计算机网络的功能、体系结构的概念、物理层接口技术、数据通信基本概念和基础理论、传输介质、数据链路协议、多路复用技术、共享信道的访问协议、局域网技术、网络层协议和网络互联、路由算法及有关协议、传输层协议、域名系统、远程登录、文件传输、电子邮件、网络管理、动态主机配置等应用和相关协议。

全书以 TCP/IP 参考模型辅以 OSI 参考模型为线索,大部分内容以因特网为背景,力求反映当前计算机网络发展的主流。

本教材第 2、3、6 章由刘锦高执笔,第 7、8 章由陆刚执笔,第 4、5 章由张卫执笔,第 1、9 章由王能执笔。全书由王能主编和定稿。

由于计算机网络技术发展非常迅速,编写者水平有限,书中难免会有错误和疏漏,欢迎读者批评指正。

编 者

2002 年 3 月

目 录

第 1 章 计算机网络概论	(1)
1.1 计算机网络的产生和发展	(1)
1.1.1 计算机网络的产生	(1)
1.1.2 分组交换网的出现	(3)
1.1.3 计算机网络体系结构的形成	(4)
1.1.4 计算机网络协议的标准化	(5)
1.1.5 因特网	(6)
1.2 计算机网络体系结构和网络协议	(7)
1.2.1 计算机网络协议及层次思想	(7)
1.2.2 网络体系结构	(7)
1.2.3 OSI 参考模型	(8)
1.2.4 TCP/IP 参考模型	(11)
1.3 计算机网络的分类	(14)
本章小结	(15)
习题一	(15)
第 2 章 物理层	(16)
2.1 物理层的基本概念	(16)
2.1.1 物理层的接口模型	(16)
2.1.2 物理层接口的特性	(16)
2.2 信道	(19)
2.2.1 信道的基本概念和技术参数	(19)
2.2.2 有限带宽无噪信道的最大符号速率	(21)
2.2.3 有噪信道的最大数据速率	(22)
2.3 传输介质	(22)
2.3.1 双绞线	(23)
2.3.2 同轴电缆	(25)
2.3.3 光缆	(26)
2.3.4 无线电频率通信	(28)
2.3.5 其他媒体	(31)
2.4 模拟传输与数字传输	(31)
2.4.1 模拟传输系统	(32)
2.4.2 调制解调器	(33)
2.4.3 数字传输系统	(35)
2.5 物理层标准举例	(39)
2.5.1 EIA-232 接口标准	(39)

2.5.2 RS-449 接口标准 (EIA RS-449,EIA RS-422A,EIA RS-423A)	.....	(42)
本章小结	.....	(44)
习题二	.....	(44)
第 3 章 数据链路层	.....	(46)
3.1 数据链路层的基本概念	.....	(46)
3.2 停等协议	.....	(47)
3.2.1 无数据链路层协议的数据传输	.....	(47)
3.2.2 具有简单流量控制的数据链路层协议	.....	(47)
3.2.3 实用的停等协议	.....	(48)
3.2.4 停等协议的算法	.....	(50)
3.2.5 停等协议的效率	.....	(51)
3.3 连续 ARQ 协议	.....	(52)
3.3.1 连续 ARQ 协议的工作原理	.....	(52)
3.3.2 连续 ARQ 协议的吞吐量	.....	(53)
3.4 选择重传 ARQ 协议	.....	(54)
3.4.1 选择重传 ARQ 协议的概念	.....	(54)
3.4.2 滑动窗口概念	.....	(54)
3.4.3 信道利用率和最佳帧长	.....	(55)
3.5 面向比特的高级数据链路控制规程 HDLC	.....	(56)
3.5.1 HDLC 的配置与模式	.....	(56)
3.5.2 HDLC 的帧结构	.....	(57)
3.5.3 HDLC 帧的类型与操作过程举例	.....	(59)
3.6 因特网中的数据链路协议	.....	(63)
3.6.1 概述	.....	(63)
3.6.2 点对点协议 PPP	.....	(63)
3.7 ATM 网中的数据链路层	.....	(64)
本章小结	.....	(66)
习题三	.....	(67)
第 4 章 媒体访问子层	.....	(68)
4.1 概述	.....	(68)
4.2 信道的复用	.....	(68)
4.2.1 频分复用	.....	(69)
4.2.2 时分复用	.....	(70)
4.3 ALOHA 随机访问技术	.....	(72)
4.3.1 ALOHA 方法	.....	(72)
4.3.2 时隙 ALOHA 方法	.....	(74)
4.4 CSMA 和 CSMA/CD 随机访问技术	.....	(75)
4.4.1 载波侦听多路访问	.....	(75)
4.4.2 带有碰撞检测的 CSMA	.....	(77)
本章小结	.....	(80)

习题四	(81)
第5章 局域网	(82)
5.1 局域网概述	(82)
5.2 局域网的体系结构	(83)
5.2.1 IEEE 802 参考模型	(83)
5.2.2 逻辑链路控制 (LLC) 子层	(85)
5.2.3 媒体访问 (MAC) 子层	(87)
5.3 IEEE 802 标准的三种局域网	(88)
5.3.1 IEEE 802.3 局域网	(89)
5.3.2 IEEE 802.3 局域网的 MAC 子层	(93)
5.3.3 IEEE 802.4 令牌总线局域网	(94)
5.3.4 IEEE 802.5 令牌环局域网	(98)
5.3.5 三种局域网的比较	(101)
5.4 局域网的延伸	(102)
5.4.1 网桥的基本原理	(102)
5.4.2 透明网桥	(104)
5.4.3 源路由网桥	(106)
5.4.4 远程网桥	(107)
5.4.5 交换以太网和交换机	(108)
5.5 高速局域网	(111)
5.5.1 快速以太网 (Fast Ethernet)	(111)
5.5.2 千兆位以太网 (Gigabit Ethernet)	(114)
5.5.3 万兆位以太网 (10Gigabit Ethernet)	(116)
5.6 无线局域网	(116)
5.6.1 无线局域网标准	(117)
5.6.2 IEEE 802.11 无线局域网	(117)
5.6.3 ETSI BRAN 的 HiperLAN2 无线局域网	(122)
5.6.4 蓝牙技术	(122)
5.7 其他局域网技术	(124)
5.7.1 混合光纤/同轴网 (HFC)	(124)
5.7.2 HomePNA	(126)
5.7.3 高性能并行接口 (HIPPI)	(127)
5.7.4 光纤通道	(128)
本章小结	(129)
习题五	(130)
第6章 网络层	(132)
6.1 网络层提供的服务	(132)
6.1.1 数据报服务	(132)
6.1.2 虚电路服务	(132)
6.2 路由选择	(134)

6.2.1	理想的路由选择算法	(134)
6.2.2	最短路径选择算法	(135)
6.2.3	距离矢量路由选择	(137)
6.2.4	链路状态路由选择	(139)
6.2.5	组播路由算法	(141)
6.2.6	移动主机 IP 路由	(144)
6.3	拥塞控制	(147)
6.3.1	拥塞控制的意义	(147)
6.3.2	拥塞控制方法	(148)
6.4	X.25 分组网络	(151)
6.5	帧中继	(153)
6.5.1	帧中继概述	(153)
6.5.2	帧中继的体系结构	(154)
6.5.3	帧中继网的组成及呼叫控制	(154)
6.5.4	帧中继的帧格式	(155)
6.5.5	帧中继的阻塞管理	(156)
6.6	宽带 ISDN 和 ATM	(157)
6.6.1	B-ISDN 和 ATM 概念	(157)
6.6.2	B-ISDN 参考模型	(158)
	本章小结	(164)
	习题六	(165)
第 7 章	网络互联和因特网	(167)
7.1	网络互联的概念	(167)
7.2	因特网的网际协议 IP	(168)
7.2.1	IP 地址	(168)
7.2.2	IP 数据报的格式	(172)
7.2.3	因特网控制报文协议 (ICMP)	(174)
7.3	因特网的路由协议	(177)
7.3.1	内部网关协议 (IGP)	(177)
7.3.2	外部网关协议 (BGP)	(182)
7.4	因特网组管理协议 (IGMP)	(183)
7.4.1	D 类地址	(183)
7.4.2	IGMP	(184)
7.4.3	组播路由选择算法	(185)
7.4.4	组播路由协议	(186)
7.5	无类型域间路由选择 (CIDR)	(186)
7.6	下一代网际协议——IPv6	(187)
7.6.1	IPv6 概述	(187)
7.6.2	IPv6 基本头部格式	(188)
7.6.3	IPv6 的地址空间	(190)

7.6.4	IPv6 的扩展头部	(192)
7.6.5	ICMPv6	(193)
	本章小结	(193)
	习题七	(194)
第 8 章	传输层	(195)
8.1	传输协议概述	(195)
8.2	TCP/IP 体系中的传输层	(196)
8.2.1	传输层中的两个协议	(196)
8.2.2	端口的概念	(196)
8.3	用户数据报协议 (UDP)	(197)
8.4	传输控制协议 (TCP)	(198)
8.4.1	TCP 的编号与确认	(199)
8.4.2	TCP 的流量控制	(200)
8.4.3	TCP 的重发机制	(201)
8.4.4	TCP 的报文格式	(202)
8.4.5	TCP 的传输连接管理	(204)
8.4.6	TCP 的连接管理有限状态机	(205)
8.4.7	无线 TCP 和 UDP	(206)
	本章小结	(207)
	习题八	(207)
第 9 章	应用层	(209)
9.1	应用层概述	(209)
9.2	域名系统 DNS	(210)
9.2.1	域名系统概述	(211)
9.2.2	因特网的域名结构	(211)
9.2.3	域名解析	(213)
9.3	文件传输和网络文件访问	(214)
9.3.1	文件传输协议 (FTP)	(214)
9.3.2	简单文件传输协议 (TFTP)	(215)
9.3.3	网络文件系统 (NFS)	(216)
9.4	远程登录 TELNET	(219)
9.4.1	Telnet 的工作原理	(219)
9.4.2	网络虚拟终端 (NVT)	(220)
9.4.3	Telnet 选项协商	(222)
9.5	电子邮件	(224)
9.5.1	电子邮件系统原理	(224)
9.5.2	电子邮件的格式	(225)
9.5.3	简单邮件传送协议 (SMTP)	(227)
9.5.4	邮局协议	(228)
9.5.5	多用途因特网邮件扩展 (MIME)	(228)

9.5.6 电子邮件的加密.....	(229)
9.6 万维网	(229)
9.6.1 概述.....	(230)
9.6.2 统一资源定位器 (URL)	(230)
9.6.3 超文本传输协议 (HTTP)	(231)
9.6.4 超文本标记语言 (HTML)	(231)
9.7 网络管理	(231)
9.7.1 网络管理的基本概念.....	(232)
9.7.2 管理信息库 (MIB)	(232)
9.7.3 管理信息结构 (SMI)	(233)
9.7.4 简单网络管理协议 (SNMP) 概述	(234)
9.8 引导协议 (BOOTP) 与动态主机配置协议 (DHCP)	(235)
9.8.1 引导协议 (BOOTP)	(236)
9.8.2 动态主机配置协议 (DHCP)	(238)
本章小结.....	(241)
习题九.....	(241)
附录 A 缩略语	(243)
主要参考文献	(247)

第 1 章 计算机网络概论

计算机网络是当代两大技术——计算机技术与通信技术结合的产物，计算机网络技术是当前发展和应用最活跃的技术之一，它对人类社会和信息产业的发展有着巨大的影响。本章将简要介绍计算机网络的产生与发展历史，对计算机网络体系结构与参考模型、计算机网络协议等基础概念进行解释，并对计算机网络分类进行简要的说明。

1.1 计算机网络的产生和发展

可以说，计算机是 20 世纪人类最值得骄傲的发明创造之一，它对人类社会有着深远的影响。30 多年来，由计算机构成的计算机网络的出现和发展，尤其是近年来因特网的发展和普及应用，正在改变人们的工作方式与生活方式，正在进一步引起世界范围产业结构的变化，促进全球信息产业的发展，并在经济、文化、科研、军事、政治、教育、和社会生活等各个领域内发挥着越来越重要的作用。随着人类社会迈入信息时代，计算机网络成了人类社会的一个不可缺少的重要基础设施。

1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生时，计算机技术与通信技术尚没有直接的联系。但随着计算机技术的发展和计算机应用领域的扩展，计算机技术与通信技术逐渐相互结合，出现了计算机网络。计算机网络的概念出现后，一方面，计算机网络的发展持续地受到计算机技术和通信技术发展的推动；另一方面，人们不断地对计算机网络提出各种新的应用需求，使得计算机网络不断地向前发展。同时计算机网络的发展又反过来促进了计算机技术和通信技术的发展，尤其是数据通信技术的发展。

1.1.1 计算机网络的产生

20 世纪 50 年代计算机的数量较少，价格十分昂贵。一般都建立一个计算中心，将计算机安装在计算中心进行使用与维护。当时的计算机系统没有管理程序与操作系统，人们要使用计算机，要带着程序和数据亲自到计算中心，并采用手工方式上机，这种方式对于远程用户显然极不方便。60 年代初期，由于计算机软件技术的发展，出现了批处理方法。用户只需要用作业控制语言编写上机操作说明，将操作说明、程序与数据一起输入到计算机，计算机将自动完成所要求的计算任务。当时计算机的应用正在向各个领域扩展，工业、商业与军事部门已经开始使用计算机，使用计算机的部门和人群越来越多，人们迫切需要分散在不同地方的数据交给计算机进行处理，从而促使了批处理系统利用通信技术为用户提供脱机（offline）的数据输入输出，产生了具有脱机通信功能的批处理系统。这种具有脱机通信功能的批处理系统可以让远程用户不必亲自到计算机中心上机。但是这种脱机方式，在远程用户的数据输入到计算机以及计算机的输出返回到远程用户的过程中，需要有计算中心的操作人员参与，其工作效率比较低。

针对脱机通信方式的缺点，人们在远程用户处安放远程的输入输出设备（远程终端），

在计算机中增设与通信线路进行接口的线路控制器，远程终端通过通信线路经由线路控制器直接与计算机相连接。这样，远程用户可以用远程终端直接使用计算机，边输入数据，边接收计算机处理结果。这种系统称为远程联机（online）系统。

随着计算机的应用扩大到科学计算以外的领域，例如，自动控制与自动监测，除了以上用于科学计算与信息处理的通用输入输出设备之外，人们又研制了大量能与计算机接口的监测、控制设备。这种能通过通信线路与计算机连接的各种设备，通常统称为终端设备。随着应用的不断扩大，联机系统中一台计算机连接的终端设备的数量和类型不断增加。这样，联机系统主机承担的通信管理任务越来越繁重，分散了主机对信息处理的能力；每个终端单独使用一条通信线路，线路的利用率也低。

为了克服这些缺点，人们在主机之外设置了一个前置处理机（Front End Processor），专门处理终端与主机间的通信任务，去除了主机管理通信线路的负担，提高了系统的信息处理能力。在终端比较集中的远程地区设置线路集中器。多个终端的通信线路汇集到线路集中器，线路集中器使用一条高速通信线路连接到主机，从而提高了通信线路的利用率。专用通信线路的租用价格较高，为了降低使用费用，还出现了利用价廉的拨号电话线路运用调制解调器在终端与计算机之间传送数据信息。通常将这种通用的联机系统称为面向终端的计算机通信网。通常认为它们是第一代计算机网络。它的一个显著特征是以单个主机为中心。如图 1-1 所示。

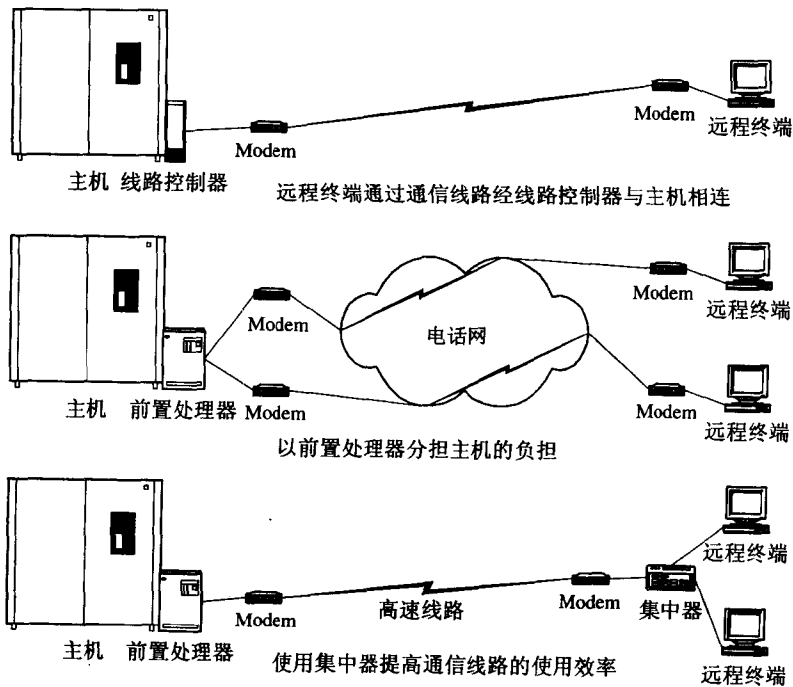


图 1-1 以主机为中心的第一代计算机网络

在 20 世纪 60 年代，面向终端的计算机通信网得到了很大发展。那时，专用的网络中，最著名的有美国半自动地面防空系统 SAGE 和美国飞机订票系统 SABRE。SAGE 是第一个采用了人机交互的显示器，研制了用小型计算机做成的前置处理机，制定了 1600b/s（比特/秒）数据线路技术规范，并研究了高可靠性的路由选择方法。商用网络中，美国通用电气公司的

信息服务网（GE Information Services Network）是世界上最大的商用数据处理分时网络之一。其地理覆盖从美国延伸到加拿大、欧洲、澳大利亚和日本。SAGE 以及分时计算机系统的研究对数据通信技术的发展起到了重要的推动作用，同时也为网络技术发展奠定了基础。

1.1.2 分组交换网的出现

早在电话出现不久，人们就认识到，在所有用户之间架设直通的线路实现用户间的互连对通信线路资源是极大的浪费；当用户数变大时，在技术上也是不可行的。必须利用交换机用交换的方式实现用户之间的互连。这类交换机发展至今在技术上虽已多次更新换代，经历了人工接续交换机、机电式的步进制交换机、纵横制交换机以及现代的计算机程序控制交换机，但它们在原理上都是电路交换（circuit switching），也称为线路交换。这种电路交换方式，在用户通话之前先要通过拨号建立一条从源端到目的端的物理通路，只有在此物理通路建立之后，双方才能通话。在通话的全部时间内，用户始终独占源端到目的端的这条物理通路。

然而，这种交换方式不适合传送计算机或终端的数据。与电话通信的连续语音信号不同，计算机的数据是突发式或间歇式的，实际传送数据的时间往往不到整个接通时间的 10%，通信线路在绝大部分时间里是空闲的，宝贵的线路资源白白地浪费掉了，而用户还要按接通的时间支付线路的费用。另外，电路交换中，与数据传送所需要的时间相比，物理通路的建立时间过长，为此要寻找一种新的适合计算机通信的交换技术。

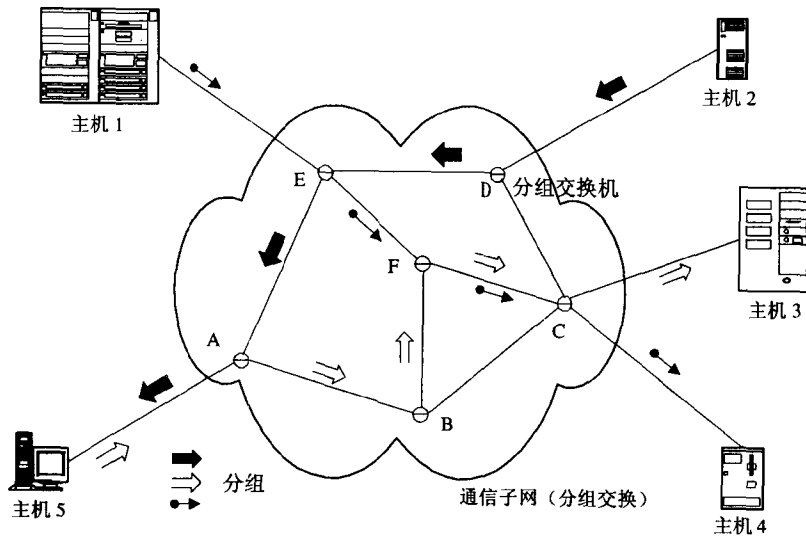


图 1-2 以通信子网为中心的第二代计算机网络

1962 年~1965 年，美国国防部高级研究计划局（Defense Advanced Research Project Agency, DARPA）和英国的国家物理实验室 NPL 都为探寻新型的计算机通信交换技术进行研究。1966 年 6 月，NPL 的戴维斯（Davies）首次提出“分组（Packet）”的概念。分组交换技术，从通信资源分配的观点来看，是随机动态分配传输带宽的策略。这对传送突发式的计算机数据是非常适合的，可以大大提高通信线路的利用率，节省通信费用，并且灵活、可靠。其基本思想是，主机（例如图 1-2 中的主机 5）要向主机 3 发送数据时，把数据分割

成一个一个小段，添加上目的地址、源地址等用于分组交换的控制信息构成一个个分组，然后将分组一个一个地发送到与主机 5 直接相连的分组交换机 A。分组交换机 A 将这些分组存储下来，再按路由算法为每一个分组确定下一步该发往哪一个分组交换机，并将分组发到该分组交换机。在每一个分组交换机上都进行这样的操作，直到该分组抵达与目标主机 3 直接相连的分组交换机 C，然后由该分组交换机将该分组发给目标主机 3，从而实现数据通信。分组交换机的功能就是存储分组、选择路由、转发分组。

1969 年 12 月，美国的分组交换网 ARPANET 投入运行。从此，计算机网络的发展进入了一个新纪元。这种以分组交换（Packet switching）为基础的计算机网络通常称为第二代计算机网络。

ARPANET 的实验成功使计算机网络的概念发生了根本的变化，早期的面向终端的计算机网络是以单个主机为中心的星型网。而分组交换网是以分组交换机构成的通信子网为中心的，主机和终端都处在外围，这些主机和终端构成了用户资源子网。如图 1-2 所示。

分组交换网在 ARPANET 实验成功后得到迅速发展，英国于 1973 年开始筹建实验分组交换网 EPSS，并在 1977 年实验成功。美国则建造了 TELENET，TYMNET 和 COMPAC 等网络。欧洲共同体由 9 个国家联合建造了 EURONET 公用分组交换网。法国建造了 TRANSPAC 网，加拿大建造了 DATAPAC 网等。

1.1.3 计算机网络体系结构的形成

计算机网络的另一个重要技术发展是计算机网络体系结构的形成。20 世纪 60 年代在计算机系统中提出了计算机体系结构的概念，它从计算机系统的整体角度抽象地定义计算机的构成及各构成之间的逻辑关系、指令系统和功能等结构。当时各大计算机公司都设计了自己的计算机体系结构，一个好的体系结构可使计算机有好的性能，并且同一体系结构的计算机能互相兼容，对计算机系列的设计和产品开发起了很大的作用。随着网络的发展与计算机网络的广泛应用，20 世纪 70 年代人们以类似于计算机体系结构概念的思路思考和研究计算机网络体系结构，一些大计算机公司纷纷开始研究与开发，并提出了各自的计算机网络体系结构，例如 IBM 公司的 SNA（System Network Architecture）、DEC 公司的 DNA（Digital Network Architecture）。这些体系结构都采用了层次结构的思想，它们对推动网络技术的发展起了很重要的作用。网络体系结构与网络协议的理论研究成果也为以后网络理论体系的形成奠定了基础。

属于同一网络体系结构的计算机和网络设备能够很好地互连互通，但属于不同网络体系结构的计算机与网络设备很难进行互相通信。20 世纪 70 年代后期，人们看到了由各个公司制定的、封闭式的计算机网络体系结构互不兼容的问题，认识到计算机网络体系结构与网络协议需要走国际化的道路。国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）、国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）、美国电子电气工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）和因特网的标准化机构等进行了大量的研究和开发工作，逐步形成了开放式的、分层结构的计算机网络体系结构和网络协议。这种分层、开放的计算机网络体系结构，使计算机网络进入了第三代。当今的因特网就是分层、开放的计算机网络体系结构的一个突出的例子。

1.1.4 计算机网络协议的标准化

对于网络体系结构与协议的标准化，国际标准化组织（ISO）成立了计算机与信息处理标准化技术委员会 TC97，该委员会专门成立了一个分委员会 SC16，从事网络体系结构与网络协议国际化问题的研究。经过多年的努力，ISO 正式制定与颁布了“开放系统互连参考模型”（Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM），即 ISO/IEC 7498 国际标准。在 20 世纪 80 年代，ISO 与 CCITT 等组织分别为参考模型的各个层次制定了一系列的协议标准，组成了一个庞大的 OSI 基本协议集。尽管由于种种原因 OSI 的网络协议最终没有得到推广应用，人们对 OSI 的评价也褒贬不一，但 OSI 参考模型与协议的研究成果对推动网络体系结构理论发展的作用是非常重大的。

在网络协议标准化过程中，CCITT、ISO、IEEE 等这些知名的标准化组织积极参与，发挥了重要作用。

当电话开始在世界范围普及时，人们就开始认识到标准化的重要。1865 年，欧洲许多国家的代表聚会组成了今天的国际电信联盟（ITU）的前身。ITU 的工作是标准化国际电信，在那时就是电报。ITU 有三个主要部门：无线通信部门（ITU-R），电信标准化部门（ITU-T），开发部门（ITU-D）。ITU-R 在世界范围分配无线频率。ITU-T 主要处理电话和通信系统，1953 年~1993 年，ITU-T 称为 CCITT，1993 年 3 月 1 日，CCITT 重组更名。人们常常遇到 CCITT 的建议，例如，CCITT X.25，自 1993 年起，都打上 ITU-T 的标识。

国际标准化组织（ISO）是国际标准界最有影响的组织之一。它是 1946 年成立的一个自愿的、非条约的组织，它的成员是各成员国的国家标准化组织。ISO 为大量的领域制定标准，已经制定了 5000 多个标准，包括 OSI 参考模型。ISO 约有 200 个技术委员会，每个委员会专门处理不同的主题。TC97 处理计算机和信息处理。

众所周知的美国电子电气工程师协会（IEEE）是世界上最大的专业组织。每年出版大量的杂志，召开很多学术会议。IEEE 802 关于局域网的标准是 LAN 的重要标准，后来 ISO 以它为基础制定了 ISO 8802。

因特网有自己的标准化机构。在 ARPANET 组建时，美国国防部建立了一个非正式的委员会来监督它。1983 年，正式成立了因特网活动委员会（Internet Activities Board, IAB），现改称为因特网体系结构委员会（Internet Architecture Board, IAB）。此外，还有因特网研究任务组（Internet Research Task Force, IRTF）、因特网工程任务组（Internet Engineering Task Force, IETF）、因特网工程指导委员会（Internet Engineering Steering Group, IESG）和因特网号码分配机构（Internet Assigned Number Authority, IANA）等。这些因特网的机构从不同的角度从事因特网的标准化工作。IAB 以技术报告的形式发表有关因特网的标准，这种技术报告称为请求评论（Request For Comments, RFC）。RFC 是公开的文档，任何感兴趣的人都可以得到它。它们是学习研究因特网的重要资料。值得指出的是，并不是每个 RFC 都是因特网的标准，其中不少只是技术讨论，并未接受为标准。关于因特网标准制定过程和 RFC 文档的详细介绍，请参考 RFC2026。目前的 RFC 分属以下几类。

标准（Standard），这是正式的因特网标准。它们除有 RFC 编号外，还给予 STD 编号，目前有 60 多个。

草案标准（Draft Standard），这是一个协议成为“标准”之前的状态。它的完全实现在