

中国计算机学会教育专业委员会 推荐  
全国高等学校计算机教育研究会 出版  
高等学校规划教材

# 计算机网络实用教程

李军怀 张璟 等编著

计算机学科教学计划



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校规划教材

# 计算机网络实用教程

李军怀 张璟 张翔 吕林涛 编著

电子工业出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书根据 CC2002 和 CCC2004 中有关计算机网络课程的教学重点, 结合计算机网络的最新发展及应用状况编写而成。全书共分 11 章, 全面系统地介绍了计算机网络的基本原理、体系结构和数据通信的基本知识。以 TCP/IP 模型为主线, 介绍了物理层、数据链路层、局域网、广域网、网络互连、运输层、网络计算与应用、网络安全与网络管理、网络系统设计与配置以及网络发展新技术等内容。为了适合教学需要, 各章末均附有习题, 书末附有实验内容和名词索引, 并配有电子课件。

本书贯彻了理论与实际相结合的原则, 强调基本原理, 力求概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂, 具有系统性和实用性。

本书可供计算机及相关专业本科生作为教材使用, 也可供从事计算机网络工作的工程技术人员学习参考。

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

计算机网络实用教程/李军怀, 张璟, 张翔等编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.7  
高等学校规划教材  
ISBN 978-7-121-04608-7

I. 计… II. ①李…②张…③张… 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 (2007) 第 090631 号

策划编辑: 童占梅

责任编辑: 张 濮

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 21.25 字数: 540 千字

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

## 前 言

计算机网络是计算机科学的重要分支,也是 CC2002 规定的计算机学科的 14 个主领域之一。本书根据 CC2002 和 CCC2004 中有关计算机网络课程的教学重点,结合计算机网络最新的发展及应用状况编写而成。

全书共分 11 章,参考学时数为 40~60。第 1 章主要介绍计算机网络的形成与发展过程、计算机网络的定义与分类、计算机网络的组成、网络协议与体系结构、网络标准与标准化组织、计算机网络的功能与应用以及一些典型网络;第 2 章首先讨论物理层的基本概念,然后介绍有关数据通信的基本知识、各种传输介质的主要特点,以及数据编码、数据传输和多路复用技术,最后简单介绍了常用的物理层标准;第 3 章介绍数据链路层控制的目的及功能、帧的装配和识别、差错控制、数据链路层协议、HDLC 协议、PPP 协议等技术。第 4 章首先介绍局域网的基本特点和技术,接着讨论了局域网的参考模型,随后介绍了几种局域网标准,包括以太网和令牌环网,最后介绍了高速以太网、无线局域网和局域网互连技术;第 5 章介绍广域网的基本概念、数据通信技术,以及 X.25、帧中继、ATM 等广域网技术;第 6 章首先介绍网络层及网络互连的基本概念和一些互连设备,然后重点讨论了网络互连的核心内容 IP 协议、路由原理及协议、IP 多播技术、Internet 组管理协议 IGMP 和 IPv6 协议的主要内容;第 7 章主要介绍运输层的功能以及在 TCP/IP 协议簇中运输层所采用的协议 UDP 和 TCP;第 8 章首先介绍网络计算的概念和几种应用模式,然后重点介绍了 DNS, FTP, TELNET, E-mail, WWW, DHCP 等应用及网络操作系统、企业 Intranet 的工作原理;第 9 章主要介绍网络安全的概念、加密与认证技术、防火墙和网络管理技术;第 10 章介绍计算机网络系统的规划与设计原则、局域网和广域网的构建技术、网络综合布线系统及机房建设等内容,最后给出一个网络系统设计及实施的例子;第 11 章主要介绍几种新型网络计算模式、宽带网络技术、智能光网络技术和未来计算机网络的相关技术。

本书注重系统性、实用性、先进性,注意跟踪计算机网络发展的最新进展;坚持理论与实际相结合,基本原理阐述与实验技能介绍相结合;强调基本原理,概念准确、论述严谨、内容新颖。本书既考虑所介绍技术的成熟性,又考虑其具有一定的先进性,所以在内容安排上,加入了广域网技术、网络操作系统、基于客户-服务器模式的网络计算技术、网络计算新技术等内容,力求反映网络的最新发展成果。本书配有电子课件等教辅资源,读者可以登录电子工业出版社华信教育资源网([www.huaxin.edu.cn](http://www.huaxin.edu.cn))下载。

本书由西安理工大学张璟教授、李军怀副教授负责策划与编写。其中,第 1~4, 6, 11 章及第 9 章的 9.1, 9.2 节由李军怀、张璟老师编写;第 5, 10 章由张翔老师编写;第 3 章及第 9 章的 9.3, 9.4 节由吕林涛教授编写。同时,西安理工大学计算机科学与工程学院的宋昕、王志晓、张志强老师对本书部分章节的编写给予了很多帮助。在本书编写过程中,东北大学朱家铨教授对编写大纲和内容都提出了许多非常中肯的意见,并审阅了全部章节,北京航空

航天大学杨文龙教授对本书的编写给予了大力支持。在此对他们表示衷心的感谢。

本书编写过程中参考和引用了大量的参考文献（在书后列出），在此向被引用文献的所有作者表示衷心的感谢！

由于时间和水平有限，书中难免存在一些错误，恳请广大读者批评指正。

编著者

于西安理工大学计算机科学与工程学院

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机网络的形成与发展	1
1.1.1 计算机网络的发展过程	1
1.1.2 Internet 的发展	6
1.1.3 计算机网络在中国的发展	6
1.2 计算机网络的定义与分类	8
1.2.1 计算机网络的定义	8
1.2.2 计算机网络的类型	9
1.3 计算机网络的组成	11
1.4 网络协议与体系结构	12
1.4.1 网络协议	12
1.4.2 网络体系结构	13
1.4.3 层与服务、接口及协议之间的关系	13
1.4.4 OSI 参考模型	15
1.4.5 TCP/IP 参考模型	19
1.5 网络标准与标准化组织	21
1.6 计算机网络的功能与应用	22
1.6.1 计算机网络的功能	22
1.6.2 计算机网络的应用	23
1.7 典型网络举例	25
1.7.1 ARPANET	25
1.7.2 Internet	26
1.7.3 Internet2	26
习题 1	26
第 2 章 物理层	27
2.1 基本概念	27
2.2 数据通信的基本知识	28
2.2.1 数据通信系统的模型	28
2.2.2 通信方式	29
2.2.3 数据传输速率与信道容量	31
2.3 物理层下的数据传输介质	33
2.3.1 有线传输介质	33
2.3.2 无线传输介质	38
2.4 数据编码技术	42
2.4.1 基本调制技术	42
2.4.2 脉冲编码调制技术	45
2.4.3 数字信号的编码技术	46

2.5	信道复用技术	47
2.5.1	概述	47
2.5.2	频分多路复用	47
2.5.3	时分多路复用	48
2.5.4	波分多路复用	49
2.5.5	码分多路复用	49
2.6	物理层协议与接口标准	50
2.6.1	物理层特性	50
2.6.2	典型的物理层接口标准	51
	习题 2	55
<b>第 3 章</b>	<b>数据链路层</b>	<b>56</b>
3.1	数据链路层的基本概念	56
3.1.1	设计数据链路层的原因	56
3.1.2	数据链路层的模型及其功能	56
3.2	差错检测方法	58
3.2.1	差错的起因和检测	58
3.2.2	常用的简单差错检测编码	59
3.3	停止等待协议	62
3.3.1	差错控制与流量控制	62
3.3.2	理想化的数据传输	62
3.3.3	具有简单流量控制的数据链路层协议	63
3.3.4	实用的停等协议	63
3.4	滑动窗口协议	65
3.5	连续 ARQ 协议	66
3.6	选择重传 ARQ 协议	67
3.7	协议的效率分析	68
3.7.1	停等协议的效率	68
3.7.2	连续 ARQ 协议的效率	69
3.7.3	基于滑动窗口的协议的效率	70
3.8	面向比特的数据链路层控制规程 HDLC	71
3.8.1	HDLC 协议概述	71
3.8.2	HDLC 的帧结构	72
3.8.3	工作过程	73
3.9	Internet 的数据链路层协议	76
3.9.1	PPP 协议的帧格式	77
3.9.2	PPP 协议的链路控制	77
3.9.3	PPP 协议的应用	78
	习题 3	79
<b>第 4 章</b>	<b>局域网</b>	<b>80</b>
4.1	局域网概述	80

4.1.1	概述 .....	80
4.1.2	基本技术 .....	80
4.2	局域网体系结构 .....	82
4.2.1	局域网模型 .....	82
4.2.2	逻辑链路控制子层 .....	83
4.2.3	介质访问控制子层 .....	85
4.2.4	IEEE 802 标准 .....	86
4.3	以太网与 CSMA/CD .....	87
4.3.1	CSMA/CD .....	87
4.3.2	MAC 帧 .....	90
4.3.3	以太网地址 .....	91
4.4	令牌环网 .....	92
4.4.1	令牌环的工作原理 .....	92
4.4.2	MAC 帧 .....	93
4.4.3	令牌环的管理 .....	94
4.5	高速以太网技术 .....	96
4.5.1	10Base2、10Base5 和 10Base-T .....	96
4.5.2	快速以太网 .....	97
4.5.3	千兆位以太网 .....	99
4.5.4	10 吉比特以太网 .....	100
4.6	无线局域网 .....	101
4.6.1	无线局域网的应用 .....	101
4.6.2	IEEE 802.11 局域网体系结构 .....	102
4.6.3	IEEE 802.11 介质访问控制协议 .....	103
4.6.4	IEEE 802.11 协议栈 .....	104
4.6.5	蓝牙技术 .....	104
4.7	局域网互连 .....	105
4.7.1	中继器 .....	105
4.7.2	集线器 .....	105
4.7.3	网桥 .....	106
4.7.4	交换机 .....	110
	习题 4 .....	111
<b>第 5 章</b>	<b>广域网</b> .....	<b>113</b>
5.1	广域网的基本概念 .....	113
5.2	数据通信技术 .....	113
5.2.1	电路方式 .....	114
5.2.2	分组方式 .....	114
5.2.3	帧方式 .....	115
5.2.4	信元方式 .....	115
5.3	X.25 分组交换网 .....	116



5.3.1	概述 .....	116
5.3.2	X.25 协议的分层结构 .....	117
5.3.3	分组格式与交换方式 .....	117
5.3.4	X.25 协议的发展 .....	119
5.4	帧中继 .....	119
5.4.1	概述 .....	119
5.4.2	帧中继协议的分层结构 .....	120
5.4.3	帧中继网络的组成 .....	122
5.4.4	帧中继的应用 .....	123
5.5	异步传输模式 (ATM) .....	124
5.5.1	ATM 基本概念 .....	124
5.5.2	ATM 参考模型 .....	125
5.5.3	IP over ATM .....	127
5.5.4	LANE .....	128
	习题 5 .....	128
<b>第 6 章</b>	<b>网络互连</b> .....	<b>129</b>
6.1	网络层服务与网络互连 .....	129
6.1.1	网络层服务模型 .....	129
6.1.2	网络互连的基本概念 .....	130
6.2	IP 协议 .....	133
6.2.1	IP 协议的原理 .....	133
6.2.2	IP 地址 .....	133
6.2.3	IP 分组 .....	136
6.2.4	IP 地址的动态分配 .....	139
6.3	ARP 和 RARP 协议 .....	144
6.3.1	ARP 协议 .....	144
6.3.2	RARP 协议 .....	145
6.3.3	IP 层处理分组的流程 .....	145
6.4	ICMP 协议 .....	146
6.5	路由原理 .....	148
6.5.1	理想路由选择算法的特性 .....	148
6.5.2	路由选择策略 .....	149
6.5.3	路由算法 .....	150
6.5.4	分层路由 .....	157
6.6	Internet 路由选择协议 .....	158
6.6.1	基本概念 .....	158
6.6.2	路由信息协议 .....	159
6.6.3	开放最短路径优先协议 (OSPF) .....	162
6.6.4	外部网关协议 (EGP) .....	166
6.6.5	边界网关协议 (BGP) .....	166

6.7	IP 多播与 IGMP	167
6.7.1	IP 多播的基本概念	167
6.7.2	IP 多播地址和多播组	167
6.7.3	Internet 组管理协议 (IGMP)	168
6.7.4	多播路由协议	169
6.7.5	多播骨干网	169
6.8	IPv6	170
6.8.1	IPv6 的基本格式	171
6.8.2	IPv4 向 IPv6 的转换	171
	习题 6	172
<b>第 7 章</b>	<b>运输层</b>	<b>175</b>
7.1	运输层概述	175
7.2	TCP/IP 模型中的运输层	175
7.2.1	TCP 和 UDP	175
7.2.2	运输层端口	176
7.3	用户数据报协议 (UDP)	177
7.3.1	UDP 概述	177
7.3.2	UDP 报文的格式	178
7.4	传输控制协议 (TCP)	179
7.4.1	TCP 提供的服务	180
7.4.2	TCP 报文段的格式	180
7.4.3	TCP 连接管理	181
7.5	TCP 流量控制与拥塞控制	184
7.5.1	TCP 的流量控制	184
7.5.2	TCP 的拥塞控制	185
7.5.3	重发机制	187
	习题 7	188
<b>第 8 章</b>	<b>网络计算与应用</b>	<b>190</b>
8.1	概述	190
8.2	网络计算模式	190
8.2.1	基本概念	190
8.2.2	网络计算模式的发展	191
8.2.3	Internet 应用体系结构	194
8.3	DNS	194
8.3.1	DNS 服务	195
8.3.2	域名系统的结构	195
8.3.3	域名解析	196
8.3.4	DNS 记录与报文	198
8.4	文件传送协议 (FTP)	199
8.4.1	FTP 的工作原理	199

8.4.2	FTP 的应用 .....	200
8.5	远程登录 (TELNET) .....	201
8.5.1	概述 .....	201
8.5.2	TELNET 协议 .....	201
8.5.3	TELNET 的通信过程 .....	202
8.5.4	TELNET 的使用 .....	202
8.6	电子邮件 (E-mail) .....	203
8.6.1	概述 .....	203
8.6.2	电子邮箱和地址 .....	203
8.6.3	电子邮件的格式 .....	203
8.6.4	电子邮件传输协议 .....	204
8.7	万维网及应用 .....	205
8.7.1	万维网 (WWW) .....	205
8.7.2	HTML .....	206
8.7.3	URL 与信息定位 .....	207
8.7.4	Web 浏览器 .....	208
8.7.5	XML .....	208
8.7.6	Web 与数据库接口技术 .....	209
8.8	动态主机配置协议 (DHCP) .....	211
8.8.1	DHCP 的基本概念 .....	211
8.8.2	DHCP 的运作方式 .....	211
8.8.3	DHCP 的使用场合 .....	212
8.9	网络操作系统 .....	212
8.9.1	概述 .....	212
8.9.2	UNIX/Linux 网络操作系统 .....	215
8.9.3	Windows 网络操作系统 .....	222
8.9.4	NetWare 网络操作系统 .....	225
8.9.5	网络服务应用示例 .....	228
8.10	基于 Web 的企业级应用 .....	228
8.10.1	Intranet 的概念 .....	229
8.10.2	Intranet 的结构 .....	229
8.10.3	基于 Intranet 的信息系统结构 .....	230
8.10.4	Intranet 的功能 .....	230
8.10.5	Intranet 的发展趋势 .....	231
	习题 8 .....	231
<b>第 9 章 网络安全与网络管理</b> .....		<b>233</b>
9.1	网络安全概述 .....	233
9.1.1	网络安全的需求 .....	233
9.1.2	网络安全的目标 .....	234
9.2	加密与认证技术 .....	235

9.2.1	数据加密的模型 .....	235
9.2.2	对称密钥加密体制 .....	235
9.2.3	公开密钥加密体制 .....	237
9.2.4	密钥分配技术 .....	239
9.2.5	数字签名技术 .....	240
9.2.6	电子邮件加密 .....	241
9.2.7	电子商务中的加密协议 .....	242
9.3	防火墙技术 .....	244
9.3.1	防火墙的体系结构 .....	244
9.3.2	防火墙的应用 .....	247
9.4	网络管理 .....	249
9.4.1	概述 .....	249
9.4.2	ISO 功能域 .....	250
9.4.3	简单网络管理协议 (SNMP) .....	250
9.4.4	网络管理平台 .....	252
	习题 9 .....	255
<b>第 10 章</b>	<b>网络系统设计与配置 .....</b>	<b>256</b>
10.1	网络系统设计概述 .....	256
10.1.1	网络系统层次 .....	256
10.1.2	设计内容 .....	257
10.1.3	设计原则 .....	257
10.1.4	实施原则 .....	259
10.2	局域网设计 .....	259
10.2.1	概述 .....	259
10.2.2	小型共享式网络 .....	261
10.2.3	小型交换式网络 .....	261
10.2.4	中型网络设计 .....	262
10.2.5	网络性能优化 .....	265
10.2.6	网络工作组划分 .....	267
10.2.7	大型路由交换网络 .....	269
10.2.8	局域网集成典型方案 .....	270
10.3	广域网接入设计 .....	271
10.3.1	广域网接入方式 .....	271
10.3.2	广域网集成典型方案 .....	272
10.4	网络安全措施设计 .....	273
10.4.1	计算机网络安全防护项目 .....	273
10.4.2	网络管理安全方案 .....	275
10.5	综合布线系统 .....	276
10.5.1	概述 .....	276
10.5.2	布线系统 .....	276

10.5.3	机房建设 .....	278
10.5.4	接线标准 .....	280
10.5.5	布线标识管理 .....	281
10.5.6	布线测试 .....	282
10.6	网络工程设计及施工实例 .....	282
10.6.1	项目简介及需求分析 .....	282
10.6.2	网络系统总体设计方案 .....	283
10.6.3	网络系统详细设计 .....	284
10.7	工程实施 .....	288
	习题 10 .....	288
<b>第 11 章</b>	<b>网络发展新技术 .....</b>	<b>289</b>
11.1	普适计算 .....	289
11.1.1	普适计算的定义 .....	289
11.1.2	普适计算的特性 .....	290
11.1.3	普适计算的主要研究内容 .....	290
11.1.4	普适计算的应用 .....	290
11.2	网格计算 .....	291
11.2.1	网格计算的定义 .....	291
11.2.2	体系结构及关键问题 .....	292
11.2.3	网格系统及其应用 .....	295
11.3	P2P 计算 .....	295
11.3.1	P2P 的概念与特征 .....	296
11.3.2	基本的 P2P 拓扑结构 .....	296
11.3.3	P2P 系统 .....	297
11.3.4	P2P 的应用 .....	298
11.4	宽带网络技术 .....	299
11.4.1	宽带网络的基本概念 .....	299
11.4.2	宽带网络的体系结构 .....	299
11.4.3	宽带网络的应用 .....	301
11.5	智能光网络技术 .....	301
11.5.1	智能光网络的概念 .....	302
11.5.2	智能光网络的结构 .....	302
11.5.3	智能光网络的发展 .....	303
11.6	未来网络 .....	304
11.6.1	当今计算机网络的研究热点 .....	304
11.6.2	下一代网络 (NGN) .....	305
	习题 11 .....	308
<b>附录 A</b>	<b>计算机网络实验 .....</b>	<b>309</b>
<b>附录 B</b>	<b>外文缩写对照表 .....</b>	<b>319</b>
<b>附录 C</b>	<b>中外文术语对照表 .....</b>	<b>322</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>326</b>

# 第1章 概述

随着科学技术的发展和人类社会的进步,计算机技术与通信技术的紧密结合产生了计算机网络这一新的事物。计算机网络涉及通信与计算机两个领域的重要技术,它的诞生使计算机体系结构发生了巨大变化。计算机网络在当今社会经济中起着非常重要的作用,为人类社会的进步做出了巨大贡献。现在,计算机网络已经渗透到了社会生活的各个领域,成为人们工作、学习、生活中不可缺少的重要组成部分。

本章主要介绍计算机网络的形成与发展过程、计算机网络的定义与分类、计算机网络的组成、网络协议与体系结构、网络标准与标准化组织、计算机网络的功能与应用,以及一些典型的网络。

## 1.1 计算机网络的形成与发展

网络就是计算机,这已成为计算机领域人人皆知的名言。计算机网络在改变着人们的生活和工作方式,人们足不出户便可以了解全球发生的重大事件,用快捷、方便的方法与世界各地的朋友进行联络。网络的出现,使世界变得越来越小,生活节奏越来越快,并且扩大了计算机的应用范围,为信息化社会的发展奠定了技术基础。

计算机网络涉及通信与计算机两个领域,它的发展过程是计算机与通信(Computer and Communication, C&C)融合的过程。两者的融合主要表现在以下两个方面。

- ① 通信网络为计算机之间的数据传递和交换提供了必要手段。
- ② 数字计算机技术的发展渗透到通信技术中,又提高了通信网络的各种性能。

### 1.1.1 计算机网络的发展过程

计算机网络技术始于20世纪50年代,从单机与终端之间的远程通信,发展到今天世界上成千上万台计算机互连;从4.8 Kbps 争用型无线电频道传输系统,发展到无屏蔽双绞线上100 Mbps 的网络系统。计算机网络发展过程的规律是由简单到复杂,由低速到高速,从单机到多机,由终端与计算机之间的通信到计算机与计算机之间的直接通信。计算机网络的发展经历了以下4个阶段。

第一阶段:以单个计算机为中心的远程联机系统,构成面向终端的计算机网络;计算机技术与通信技术相结合,形成计算机网络的雏形。

第二阶段:多台主计算机通过通信线路互连的计算机网络;在计算机通信网络的基础上,完成了网络体系结构与协议的研究,形成了计算机网络。

第三阶段:具有统一的网络体系结构、遵循国际通信标准化协议的计算机网络;在解决计算机连网与网络互连标准化问题的背景下,提出了开放系统互连参考模型与协议,促进了符合国际标准的计算机网络技术的发展。

第四阶段:Internet 发展和普及阶段。计算机网络向互连、高速、智能化方向发展,并获得广泛的应用。

## 1. 面向终端的远程联机系统

1946年，世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国问世。在这之后的 10 年中，计算机技术与通信技术并没有直接的联系。当时，电子计算机的数量很少，而且价格十分昂贵。1954 年，一种叫做收发器（transceiver）的终端制作出来。人们使用这种终端首次实现了将穿孔卡片上的数据通过电话线路发送到远地的计算机。此后，电传打字机作为远程终端实现了和计算机相连。用户可以在远地的电传打字机上输入自己的程序，而计算机算出的结果又可以从计算机传送到电传打字机打印出来。计算机与通信的结合就这样开始了。

面向终端的远程联机系统是计算机与通信结合的前驱。把多台远程终端设备通过公用电话网连接到一台中央计算机，构成所谓的面向终端分布的计算机系统。根据信息处理方式的不同，联机系统还可分为实时处理联机系统、成批处理联机系统和分时处理联机系统。面向终端的远程联机系统虽然还称不上计算机网络，但它提供了计算机通信的许多基本技术，而这种系统本身也成为以后发展起来的计算机网络的组成部分。因此，这种终端联机系统也称为面向终端分布的计算机通信网。

面向终端的远程联机系统是最简单的计算机网络，它的出现和发展时期是 1955 年至 1970 年，经过大约 15 年的发展，在 20 世纪 60 年代末成熟起来。面向终端的远程联机系统大致经过了 4 个发展过程，如图 1-1 至图 1-4 所示。

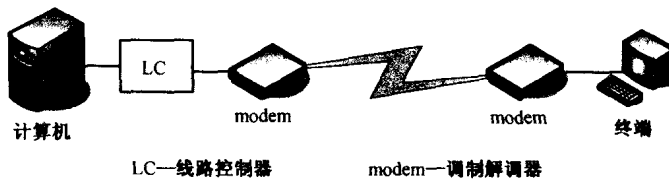


图 1-1 最简单的远程联机系统

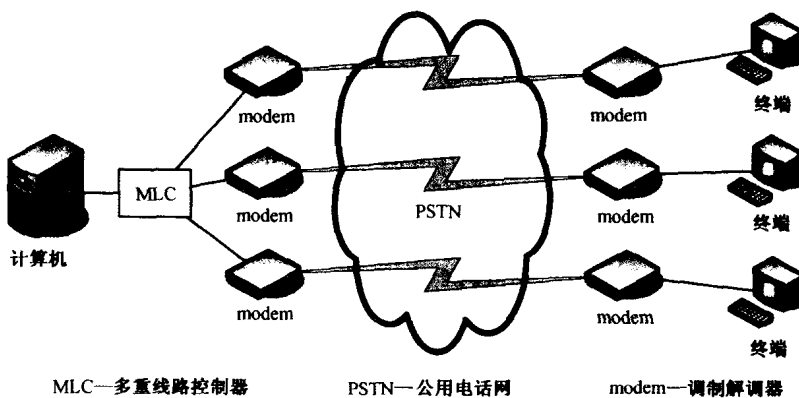


图 1-2 采用多重线路控制器的远程联机系统

在最简单的远程联机系统（见图 1-1）中，每个终端占有一条通信线路。在采用多重线路控制器的远程联机系统（见图 1-2）中，在主机边通过多重线路控制器和各终端相连。在采用 FEP 的远程联机系统（见图 1-3）中，在主机边设置前端处理机（FEP），由 FEP 专门负责与远程终端的通信，以便减轻主机的负担，让主机专门负责数据处理和计算任务。在采用集中器和

FEP 的远程联机系统（见图 1-4）中，在远程终端比较集中的地方加一终端集中器，它的一端用多条低速通信线路与各终端相连，在另一端通过一条高速线路与主机相连。这样，可以减少通信线路的数量和降低成本费用。

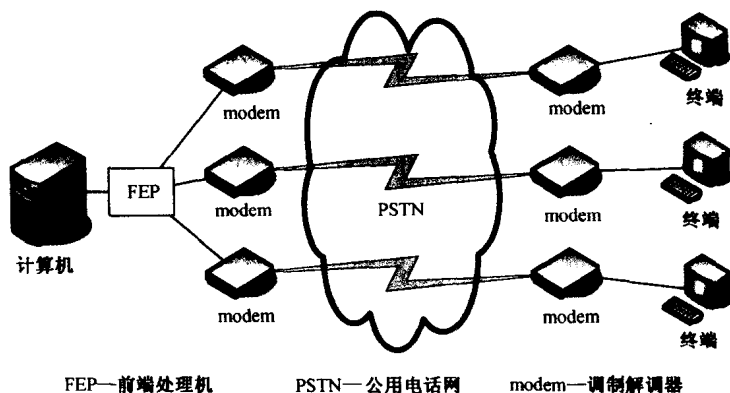


图 1-3 采用 FEP 的远程联机系统

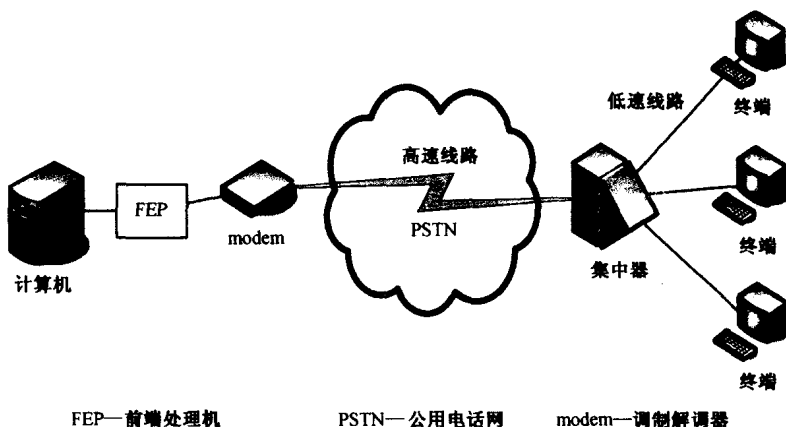


图 1-4 采用集中器和 FEP 的远程联机系统

在这个时期，具有代表性的面向终端的远程联机系统有以下几个。

① SAGE（半自动地面防空系统）是美国的一个专用系统，于 1951 年设计，1958 年投入运行。整个 SAGE 系统分为 17 个防区，每个防区指挥中心配置 2 台 IBM 公司的 AN/FSQ-7 计算机，每台计算机有 58 000 只电子管，耗电 1 500 kW。由小型计算机构成 FEP，通过通信线路连接防区内各雷达观测站、机场、防空导弹和高炮阵地，形成终端联机系统。这个系统最先使用了具有人机交互功能的显示器，研制了小型计算机形式的 FEP，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。SAGE 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。

② SABRE-1 是美国的另一个专用实时系统。它是一个联机飞机票预订系统，由美国航空公司与 IBM 公司在 20 世纪 50 年代初期开始联合研制，60 年代投入使用。它由一台中央计算机通过 MLC 与全美范围内 2 000 多个终端相连，这些终端采用多点线路与中央计算机相连。

③ 美国通用电器公司的信息服务网络（GE Information Services）是 20 世纪 60 年代出现的面向终端分布的最大的分时商用数据处理网络，于 1968 年投入运行。该系统的地理范围从



美国本土外延到加拿大、欧洲、日本和澳大利亚。网络配置为分层结构：各终端设备连接到分布于世界上 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。

④ Tymshare 公司的 TYMNET 是美国另一个很复杂的商用分时计算机系统，于 1970 年开始提供服务。该系统有 80 个通信处理机分布在美国各地，共可访问 26 个大型计算机。任何一个结点集中器可连接 200~300 个终端，但同时访问一个结点集中器的终端不能超过 31 个。TYMNET 扩展到加拿大和欧洲。

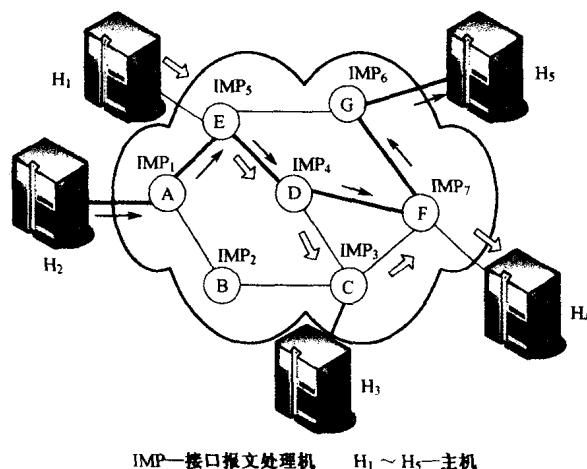
这一时期计算机通信网络的特点是：计算机是网络的中心和控制者，终端围绕中心计算机分布在各处，呈分层星型结构，各终端通过通信线路共享主机的硬件和软件资源，计算机的主要任务还是进行批处理。

## 2. 多台主计算机通过通信线路互连的计算机网络

到了 20 世纪 70 年代，代表性的计算机网络是美国国防部高级研究计划局 (Defense Advanced Research Project Agency, DARPA) 的 ARPANET (或称为 ARPA 网)。它采用了新的“存储转发-分组交换”原理，标志着计算机网络的兴起，也标志着人类进入了计算机网络技术的新时代。1969 年，ARPANET 只有 4 个结点，1973 年发展到 40 个结点，1983 年已经达到 100 多个结点。ARPANET 通过有线、无线与卫星通信线路，覆盖了从美国本土到欧洲与夏威夷的广阔地域。ARPANET 是计算机网络技术发展的重要里程碑，它对发展计算机网络技术的主要贡献表现在以下 4 个方面：

- ① 完成了对计算机网络的定义、分类与子课题研究内容的描述；
- ② 提出了资源子网、通信子网两级网络结构的概念；
- ③ 研究了报文分组交换的数据交换方法；
- ④ 采用了层次结构的网络体系结构模型与协议体系。

ARPANET 的试验成功使得计算机网络的概念发生了根本的变化，它所采用的一系列技术为计算机网络的发展奠定了基础，它所提出的一些概念和术语至今仍被采用。因此，ARPANET 有“分组交换网之父”的殊荣。此后，许多大学、研究中心、企业集团和主要工业国家纷纷研制和建立专用的计算机网和公用交换数据网。图 1-5 所示为 ARPANET 的示意图。



IMP—接口报文处理机 H<sub>1</sub> ~ H<sub>5</sub>—主机

图 1-5 美国的 ARPANET 示意图