



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

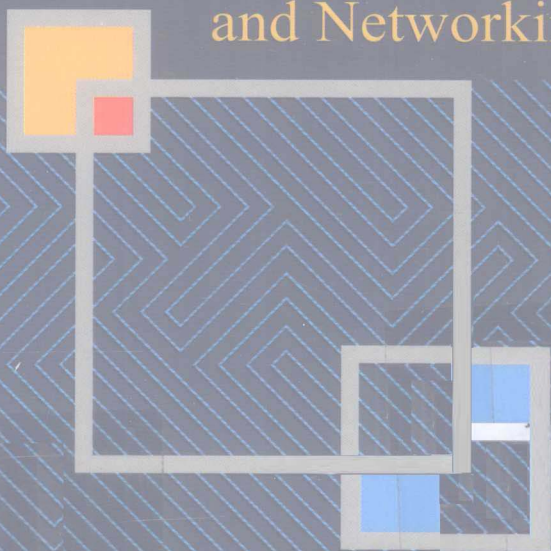
沈金龙 杨庚 主编

计算机通信 与网络

国家精品课程配套教材

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Computer Communications
and Networking



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



名师名校



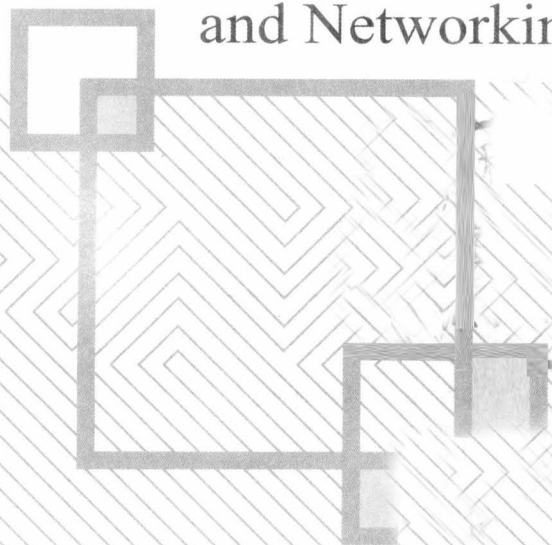
工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

沈金龙 杨庚 主编

计算机通信 与网络

国家精品课程配套教材
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Computer Communications
and Networking



人民邮电出版社
北京



名师名校

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信与网络 / 沈金龙, 杨庚主编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-24866-4

I. ①计… II. ①沈… ②杨… III. ①计算机通信网—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第087213号

内 容 提 要

本书介绍了计算机通信与网络的基本原理和技术。全书共分10章,从识网、组网、用网与护网几个方面,较全面系统地阐述了计算机通信与网络的一系列关键技术,包括计算机网络体系结构与设备、数据传输与通信接口、数据链路控制、公用数据交换网、局域网与城域网、因特网和宽带IP网、计算机通信服务与网络应用、网络接入技术,以及网络管理和网络安全技术。

本书内容丰富、新颖,既着重于基本原理的阐述与技术分析,又介绍了计算机通信与网络技术的新进展,突出基本概念,图文并茂,简明扼要。本书可作为大专院校“计算机通信与网络”课程的本科教材,也可作为研究生和各级专业技术人员、管理干部的参考用书。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

计算机通信与网络

-
- ◆ 主 编 沈金龙 杨 庚
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 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 电子邮件 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: 23.75 2011年9月第1版
字数: 582千字 2011年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-24866-4

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

在 21 世纪的第一个 10 年中,计算机通信与网络技术对人类活动和经济建设已起到至关重要的作用和影响,特别是因特网(Internet)在各行各业的广泛应用,又进一步促进了计算机通信与网络技术的持续发展。当前,计算机通信与网络技术基本上确立了以分组交换为主的发展走向,在建立一个完整、统一、先进的国家公用信息基础设施(NII),乃至全球信息基础设施(GII)方面,形成人与自然、人与社会乃至物与物间的信息交互,具有催化和倍增功效。

本书是国家精品课程“计算机通信与网络”的配套教材,列入工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目,由南京邮电大学沈金龙教授和杨庚教授主编。编写思路参照了教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会于 2009 年公布的《高等学校计算机科学与技术专业核心课程教学实施方案》,并结合自身 20 多年教学实践中的经验与感受,面对本科教学,立足基本技术,放眼发展方向,拓宽知识范围。特别重视以全网、全程的视角,从识网、组网、用网与护网等几个方面,全面、系统地阐述了计算机通信与网络的一系列关键技术。

全书共分 10 章,第 1 章从“识网”(认识网络)出发,综述了计算机通信与网络的基本概念、进展历程与发展走向;第 2 章从网络工程的“组网”角度,侧重介绍了网络结构(拓扑结构与体系结构)与设备,以及制定标准的机构;第 3 章阐述了数据通信技术基础——数据传输与通信接口;第 4 章“数据链路控制”和第 5 章“公用数据交换网”都是以数据交换技术为主线,并介绍了移动通信网、移动信令协议的相关知识;第 6 章从网络应用的观点介绍了局域网与城域网,作为组网的基础;第 7 章“因特网和宽带 IP 网”主要阐述网间互连的特征与复杂性,重点介绍因特网的编址技术、路由器寻径技术、路由协议、IP 组播、移动 IP 代理技术,以及下一代网络;第 8 章“计算机通信服务和网络应用”、第 9 章“网络接入技术”两章内容体现出网络平台的目标价值是“用网”(应用网络);第 10 章“网络管理和网络安全技术”从“护网”(维护网络)方面引入网络管理与信息安全。各章均附有小结、复习题。

参加本书编写工作的有国家精品课程组的倪晓军、胡素君、成卫青、李鹏、叶晓国、章韵,在编写过程中得到南京邮电大学教务处的大力支持,南京大学陈俊良教授为全书进行了认真细致的审阅,张美玲老师为本书原稿的整理、校对和编排做了大量的工作,对此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺漏和不妥之处,恳请专家和广大读者指正。

编 者
2011 年 2 月

目 录

第1章 引论	1	2.4.1 概述	34
1.1 计算机通信与网络的发展进程	1	2.4.2 网间互连设备	35
1.1.1 面向终端的计算机联机系统	1	2.4.3 Cisco 1841 集成多业务 路由器	36
1.1.2 计算机系统互连成网	3	2.5 计算机通信与网络标准化机构	38
1.1.3 计算机网络体系结构的 标准化	4	本章小结	42
1.1.4 因特网的由来	5	复习题	42
1.2 现代电信网	6	第3章 数据传输与通信接口	44
1.2.1 通信系统模型	6	3.1 传输介质及其特性	44
1.2.2 现代电信网的架构	6	3.1.1 线传输介质	44
1.3 计算机通信与网络技术	11	3.1.2 软传输介质	49
1.3.1 计算机、通信与网络的含义	11	3.2 数字传输与模拟传输	53
1.3.2 计算机网络的组成	12	3.2.1 数据通信基础	53
1.3.3 计算机通信与网络的分类	12	3.2.2 数字数据的模拟信号调制	55
1.4 计算机通信与网络的发展动态	13	3.2.3 数字数据的数字信号编码	56
1.4.1 下一代网络	14	3.2.4 模拟数据的数字信号编码	57
1.4.2 物联网和泛在网	15	3.2.5 模拟数据的模拟信号调制	58
本章小结	15	3.3 数据传输质量参数	58
复习题	16	3.3.1 传输损耗	58
第2章 网络结构与设备	17	3.3.2 信道容量	60
2.1 网络拓扑结构	17	3.3.3 误码率和误组率	61
2.1.1 概述	17	3.4 多路复用技术	62
2.1.2 网络拓扑结构与特征	18	3.4.1 时分复用	62
2.2 计算机网络体系结构	22	3.4.2 频分复用	64
2.2.1 通信协议与分层体系结构	22	3.4.3 码分多址	64
2.2.2 ISO/OSI 参考模型	23	3.4.4 波分复用	64
2.2.3 结构化分层功能	24	3.5 传输系统	65
2.2.4 OSI 参考模型功能简述	25	3.5.1 数字传输系统	65
2.2.5 OSI-RM 分层结构的重要 概念	28	3.5.2 模拟传输系统	68
2.3 因特网 TCP/IP 协议栈	32	3.6 数据通信接口	69
2.3.1 TCP/IP 分层体系结构	32	3.6.1 RS-232-E 接口规范	70
2.3.2 TCP/IP 模型的工作机理	34	3.6.2 RJ-45 接口规范	73
2.4 网络设备	34	3.6.3 USB 接口规范	74
		本章小结	75

复习题.....	75		
第 4 章 数据链路控制	77	第 6 章 局域网与城域网	145
4.1 数据链路控制的基本概念.....	77	6.1 局域网/城域网参考模型与标准.....	145
4.1.1 物理链路的基本结构.....	77	6.1.1 局域网/城域网参考模型.....	145
4.1.2 数据链路控制的功能.....	78	6.1.2 IEEE 802 局域网/城域网	
4.2 数据链路控制技术.....	79	标准.....	148
4.2.1 确认重发技术.....	79	6.1.3 以太网系列规范.....	149
4.2.2 滑动窗口控制机制.....	84	6.2 介质访问控制方法.....	150
4.2.3 连续 ARQ 协议.....	86	6.2.1 访问控制技术.....	150
4.2.4 选择重传 ARQ 协议.....	88	6.2.2 争用技术基础.....	151
4.3 差错控制技术.....	89	6.2.3 CSMA/CD.....	154
4.3.1 奇偶校验码.....	89	6.3 以太网技术.....	155
4.3.2 海明码.....	90	6.3.1 以太网卡.....	155
4.3.3 循环冗余码.....	91	6.3.2 以太网/802.3 标准的帧格式.....	156
4.3.4 纠/检错能力分析.....	93	6.3.3 以太网的信道利用率.....	156
4.4 数据链路控制协议.....	94	6.4 交换式以太网.....	158
4.4.1 高级数据链路控制协议.....	95	6.4.1 局域网的扩展.....	158
4.4.2 点到点协议.....	100	6.4.2 交换式以太网.....	159
本章小结.....	103	6.4.3 虚拟局域网.....	162
复习题.....	103	6.4.4 高速以太网.....	165
第 5 章 公用数据交换网	105	6.5 电信级城域以太网.....	171
5.1 交换技术基础.....	105	6.5.1 电信级城域以太网的概念.....	171
5.1.1 交换节点的基本组成.....	105	6.5.2 电信级城域以太网的 EAN	
5.1.2 交换方式.....	107	应用.....	173
5.2 数据交换原理.....	107	6.5.3 电信级以太网提供	
5.2.1 电路交换原理.....	107	EPON OLT 的可靠汇聚.....	174
5.2.2 报文交换原理.....	109	6.6 无线局域网.....	175
5.2.3 分组交换原理.....	110	6.6.1 无线局域网标准.....	175
5.3 公用数据交换网.....	114	6.6.2 IEEE 802.11 无线局域网的	
5.3.1 X.25 分组交换网.....	114	拓扑结构.....	178
5.3.2 帧中继.....	118	6.6.3 802.11 MAC 帧格式.....	179
5.3.3 异步传送模式 (ATM).....	124	6.6.4 MAC 层功能结构.....	184
5.4 移动网.....	129	本章小结.....	189
5.4.1 GSM 网络结构.....	129	复习题.....	190
5.4.2 GPRS.....	135	第 7 章 因特网和宽带 IP 网	191
5.4.3 移动信令协议.....	138	7.1 网络互连和因特网.....	191
本章小结.....	142	7.1.1 网络互连.....	191
复习题.....	143	7.1.2 因特网体系结构分析.....	192
		7.2 IP 数据报与编址.....	194

7.2.1 IP 数据报	194	8.3.4 引导程序协议与动态主机 配置协议	285
7.2.2 IP 编址技术	199	8.3.5 电子邮件系统与 SMTP	286
7.3 数据报传送与差错处理	210	8.3.6 万维网与 HTTP	293
7.3.1 无连接的数据报传送	210	8.4 实时通信技术及其应用	298
7.3.2 差错与控制报文处理	213	8.4.1 网络电话系统的组成	298
7.3.3 IP 地址与物理地址的映射	215	8.4.2 网络电视系统的组成	304
7.4 因特网的路由选择协议	218	8.5 套接字	309
7.4.1 自治系统与路由选择协议 分类	218	8.5.1 套接字的概念	309
7.4.2 内部网关协议——RIP	220	8.5.2 套接字编程	310
7.4.3 内部网关协议——OSPF	223	本章小结	311
7.4.4 外部网关协议——BGP	229	复习题	312
7.5 IP 组播	233	第 9 章 网络接入技术	315
7.5.1 IP 组播基本概念	233	9.1 接入网的基本概念	315
7.5.2 IP 组播地址和 IP 协议对 组播的处理	234	9.2 V5.x 接口	319
7.5.3 IP 组管理协议	236	9.2.1 V5.x 接口特征	319
7.5.4 组播转发和路由选择	237	9.2.2 V5.x 协议结构	320
7.6 移动 IP	239	9.3 基于线缆的接入技术	322
7.6.1 移动 IP 的概念	239	9.4 基于光缆的接入技术	326
7.6.2 移动 IP 的通信过程	240	9.5 光纤同轴混合 (HFC) 接入	328
7.7 宽带 IP 网	242	9.6 无线接入	332
7.7.1 基于 IPv6 的下一代因特网	242	9.7 SDH 和 WDM 承载 IP	334
7.7.2 基于软交换的下一代网络	248	9.7.1 SDH 承载 IP	334
7.7.3 IMS	254	9.7.2 WDM 承载 IP	335
本章小结	557	9.8 电话拨号接入	336
复习题	258	本章小结	338
第 8 章 计算机通信服务与网络应用	261	复习题	339
8.1 计算机通信服务	261	第 10 章 网络管理和网络安全技术	340
8.1.1 传输层的概念	261	10.1 网络管理的基本概念	340
8.1.2 用户数据报协议	265	10.1.1 网络管理的发展及逻辑 结构	340
8.1.3 传输控制协议	267	10.1.2 网络管理标准化	342
8.2 应用层协议与网络应用模式	275	10.2 网络管理的主要功能	342
8.2.1 应用层协议	275	10.3 网络管理协议	345
8.2.2 网络应用模式	275	10.3.1 公共管理信息协议 (CMIP)	345
8.3 网络基本服务	278	10.3.2 简单网络管理协议 (SNMP)	347
8.3.1 域名系统	278	10.4 网络安全	352
8.3.2 远程登录	282		
8.3.3 文件传输协议	283		

10.4.1 网络安全的目标.....	353	认证协议.....	361
10.4.2 安全服务与安全机制.....	354	10.6.4 数字签名.....	362
10.5 数据加密技术.....	357	10.6.5 报文摘要.....	363
10.5.1 对称密钥密码技术.....	357	10.7 访问控制.....	364
10.5.2 非对称密钥密码技术.....	359	10.7.1 访问控制基本原理.....	364
10.6 用户身份认证.....	360	10.7.2 防火墙技术.....	364
10.6.1 基于共享密钥的用户 认证协议.....	360	10.8 虚拟专用网.....	365
10.6.2 基于公开密钥算法的用户 认证协议.....	361	10.9 高层安全.....	367
10.6.3 基于密钥分发中心的用户 认证协议.....	361	本章小结.....	369
		复习题.....	369
		参考文献.....	371

计算机通信 (Computer Communication) 是计算机技术和通信技术相融合的一种现代通信方式^{[5][26]}。计算机网络,特别是因特网,在信息社会中成为必不可少的一种信息基础设施,为计算机通信架构了一个网络平台,其目标是全程、全网实现“迅速、高效、可靠、安全”的通信。如今上网成了人们工作与生活的的重要组成部分,随着网络技术融合和多网组合,如何构造虚拟综合网作为下一代网络 (NGN) 的发展趋向,正在受到关注。

本章概要地回顾计算机通信与网络的发展进程,解释现代电信网的组成、分类及其框架结构,从“识网”(认识网络)的角度阐明计算机通信与网络的含义、组成和分类,并展望计算机通信与网络的发展趋向。

1.1 计算机通信与网络的发展进程

自 1945 年第一台数字计算机 ENIAC 问世,到如今的 60 多年的时间里,计算机由仅包含硬件发展到包含硬件、软件和固件 3 类子系统的计算机系统。计算机系统的性能—价格比,平均每 10 年提高两个数量级。计算机种类也一再分化,发展成微型计算机、小型计算机、通用计算机(包括巨型、大型和中型计算机),以及各种专用机(如各种控制计算机、模拟—数字混合计算机)等,极大地支撑了各类计算机应用。

计算机应用离不开通信网络环境的支持;计算机系统应用的广泛普及,又促进了计算机网络新技术的不断更新。本节通过回顾计算机通信与网络的发展进程,来认识计算机通信,计算机网络以及因特网。^{[1][2][3]}

1.1.1 面向终端的计算机联机系统

在 ENIAC 问世之后的 10 年里,计算机与远程通信并没有太多关系,用户必须到计算中心机房使用计算机。1954 年,具有收发功能的终端设备 (Terminal) 问世,人们可利用终端设备通过线路与远程的计算机链接,形成了面向终端的远程联机集中处理计算机系统,简称为面向终端的计算机联机系统,如图 1-1 所示。也有人称为第一代计算机网络。从计算机技术的观点来看,这是一个支持多用户终端的远程信息集中处理系统,主机与终端间呈主—从关系。即远程信息均以大型计算机为中心集中处理的网络计算模式。

1. 主机

主机通常配置中央处理单元、存储单元、外围设备（如磁带机、硬磁盘以及打印机）等，集中安装在恒温恒湿、接地良好的主机房内，此外，主机必须配有相应的操作系统、通信控制程序，业务处理程序等。主机具有很强的信息处理功能，包括数值计算、事务处理，且可向用户终端提供数据存储和资源（包括软件、硬件及数据）共享。

主机系统一般可分为联机系统和脱机系统。联机系统按信息处理方式又可分为以下 3 种。

- (1) 实时处理联机系统；
- (2) 成批处理联机系统；
- (3) 分时处理联机系统。

2. 通信处理机

由图 1-1 可见，通信处理机处于主机与用户终端之间，主要用于完成全部通信控制任务。目的是减轻主机通信处理的负荷，以利于提高主机系统的处理效率。通信处理机又称前端处理机（FEP, Front-End Processor），简称为前端机。在配有成百上千台终端的巨型主机中，常选用小型计算机为通信处理机。

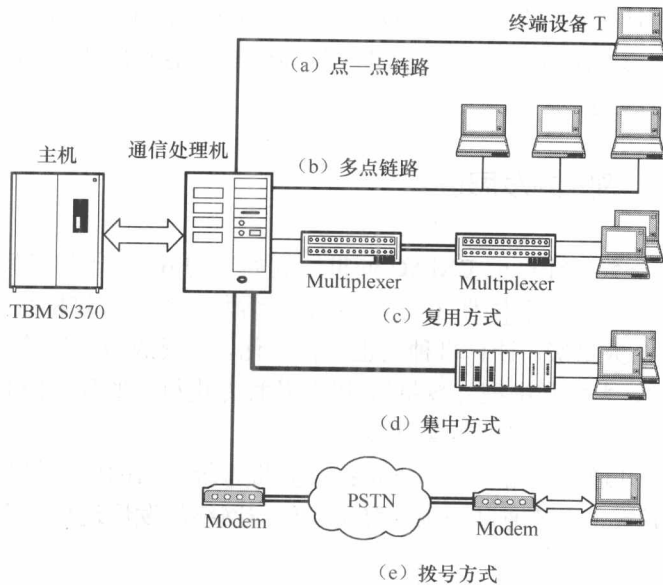


图 1-1 面向终端的计算机联机系统

3. 链接方式

用户终端可通过通信设施与通信处理机链接到主机系统，链接方式可归纳为以下 4 种。

(1) 点对点链路方式。每个用户终端独立地占用通信处理机的一个端口（Port），参见图 1-1（a）。当用户终端与端口的距离很远时，直达链路的投资费用昂贵。具有较大通信量的用户终端，往往选择向电信部门租用专线（leased line）。

(2) 多点链路方式。对于某些定时的数据采集或数据文件收发之类的应用,一般用户终端不经常使用链路,因此链路利用率很低,多采用如图 1-1 (b) 所示的多点链路方式,即一条链路连接多个用户终端,共享通信处理机的一个端口。在这种点对多点的通信方式中,为使通信处理机便于区分用户终端,通信过程中有必要另外加上用户的识别标志。这种技术措施显然增加了识别处理的开销,但以此为代价可提高链路的利用率和端口的可用性。值得注意的是,这种基带方式每次仍然只允许一个用户终端和通信处理机进行交互通信。

(3) 复用器/集中器方式。使用复用器或集中器可将多个用户终端通过共享同一链路接入通信处理机,如图 1-1 (c) 和图 1-1 (d) 所示。

复用器 (Multiplex) 是一种实现数据复用和分路功能的设备。当采用同步时分复用技术 (STDM, Synchronous Time Division Multiplex) 时,复用器输出链路的传输总容量至少与输入各链路容量的总和相等,在通信处理机侧,复用器所恢复的信道数通常等于另一个复用器所接入的用户终端数。在图 1-1 (c) 中,复用器只接入 2 个用户终端,通信处理机侧信道端口一般也配接 2 个。

集中器 (Concentrator) 则是一台程序控制的设备,一般可由小型计算机或功能相当的高档处理机 (如工业控制机) 组成。通常将多个用户终端用低速链路接入集中器,并经高速同步数据链路接到通信处理机的一个端口,如图 1-1 (d) 所示。集中器采用了异步时分复用 (ATDM, Asynchronous Time Division Multiplex) 技术,也称统计时分复用或动态时分复用器技术。此时通信处理机需附加一软件,分别能对收、发的数据进行识别与集中处理。

(4) 拨号方式。这种方式是利用已有的公用电话交换网 (PSTN, Public Switched Telephone Network) 以接续服务方式为用户终端提供数据链路,可节省传输介质的投资,并能有效提高网内交换设备和链路的利用率。由于 PSTN 是为模拟系统中语音传输 (带宽为 0.3~3.4kHz,常取为 4kHz) 和接续而设计的,因而在电话网上传输数字数据信号必然会受到一定的约束。图 1-1 (e) 中 Modem 表示数字调制解调器,其功能是完成信号变换。将用户终端或通信处理机的数字数据信号变换成适宜于话路带宽的信道上传输的模拟信号,称为调制过程;将模拟信号变换为数字数据信号的过程,称为解调过程。

用户终端利用这种方式在数据通信前,每次先要按电话通信规定拨通对方端口,由 PSTN 完成电路的接续,然后调制解调器将电路切换到数据传输状态;同样,每当数据传输完毕,需拆线 (或释放) 已接续的交换链路。所支持的数据速率,一般为 1 200~9 600bit/s,当前应用先进的调制技术,数据速率不超过 64kbit/s。

由上可知,面向终端的远程联机集中处理计算机系统已经涉及多种通信技术、数据传输设备等。当前,大型企业 (如银行)、科研机构仍然在使用这种模式,但是计算机系统的发展重点将是高速并行处理、人工智能、模式识别、知识工程等技术。

这一阶段的面向终端的远程联机集中处理计算机系统有两个基本特点:

- (1) 以计算机 (称主机, Host) 为中心,集中处理信息,而终端设备没有处理能力,常称为主一从系统;
- (2) 远地的多个终端,通过数据通信设备 (如 FEP) 与主机通信,可共享主机资源。

1.1.2 计算机系统互连成网

在 20 世纪 60 年代中期到 70 年代末,随着计算机技术和通信技术的发展,需要将多台面

向终端的计算机联机系统互相连接起来，组成多处理机为中心的网络。

1969年，美国国防部的高级研究计划局（ARPA, Advanced Research Projects Agency）首先实现了以资源共享为目的的异种计算机互连的网络，命名为 ARPANET，如图 1-2 所示。ARPA 网将通信控制处理机（CCP）称为接口报文处理机（IMP, Interface Message Professor）。随后几年，物理节点增加到 50 多个，主机已超过 100 台，区域范围由美国本土通过卫星、海底电缆扩展到欧洲、夏威夷。ARPA 网已成为世界公认的第一个实用计算机网，开辟了计算机技术与通信技术相结合的新方式，人们将其称为第二代计算机网络，其主要特点为：

- (1) 采用层次化网络体系结构；
- (2) 从逻辑上分为通信子网和资源子网；
- (3) 分组交换方式，采用接口报文处理机（IMP）；
- (4) 分布式控制；
- (5) 资源共享。

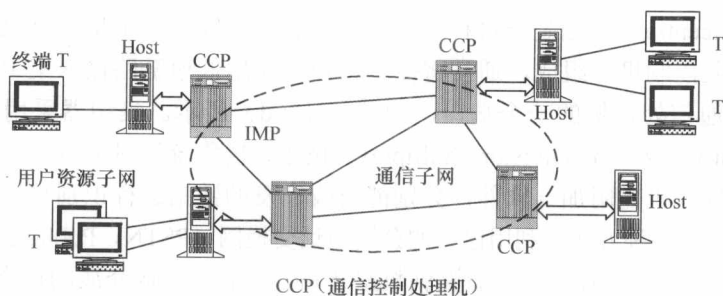


图 1-2 ARPANET 初始架构

ARPA 网的重要贡献是奠定了计算机网络技术的基础，它也是构筑当今 Internet 的先驱者。

1.1.3 计算机网络体系结构的标准化

在 ARPANET 的成功驱动下，各大计算机公司为了促进网络产品的开发，纷纷制定了各自的网络技术标准，例如，IBM 公司在 1974 年首先提出了计算机网络体系标准化的概念，宣布了系统网络体系结构（SNA, System Network Architecture）。随后 DEC 公司推出了数字网络体系结构（DNA, Digital Network Architecture）、Burroughs（宝来）公司提出了宝来网络体系结构（BNA, Burroughs Network Architecture）等。但这些网络技术规范只适用于本公司同构型设备，网络通信市场各自为政的状况使用户在组网时无所适从；投资得不到保护，也不利于多厂商间的公平竞争。

1976 年，国际电报电话咨询委员会（CCITT），现改名为国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T），正式公布了基于分组交换技术的公用数据网的建议——X.25 规程，其后它又经过多次修改和补充，成为公用数据网分组交换技术发展过程中的一个里程碑。随后各国电信部门纷纷兴建公用数据网（PDN, Public Data Network），为用户提供各类计算机系统的接入。我国在分组交换实验网运行的基础上，于 1993 年建成了 X.25 分组交换公用数据网（PSPDN），称为 ChinaPAC，支持用户接入的数据速率一般不超过 64kbit/s。

20世纪70年代末,随着微型计算机技术的不断发展,各种形式的局域计算机网纷纷推出。这种典型的网络计算是共享服务器模式,即以服务器为中心的网络计算模式。国际电子电气工程师协会(IEEE)随之推出了IEEE 802系列建议。各种局域网经历市场大浪淘沙,占有份额最多的局域网(LAN),首推总线式结构的以太网(Ethernet)。局域计算机网极大地促进了计算机技术与通信技术有机结合,使网络应用进入了一个新阶段。

在网络技术不断发展的基础上,要求制定统一技术标准的呼声日趋高涨。1977年国际标准化组织(ISO)设立了TC97(计算机与信息处理标准化委员会)下属的SC16(开放系统互联分技术委员会),吸取了SNA、DNA以及APPA网等网络体系结构的成功经验,参照了X.25开放互连结构特性,从用户系统信息处理的角度,提出了开放系统互连的参考模型(OSI-RM),即ISO 7498,并于1984年8月批准为国际标准。与此同时,ITU-T从通信系统的角度,进一步研究了如何实现通信网络设备的兼容性要求,规定了ITU-T应用OSI-RM、各层提供的服务以及开放系统中对等实体间通信所必须遵循的规程X.200系列建议。遵循网络体系结构标准建成的网络,也称为第三代计算机网络。标准化进一步推动了信息产业的发展,新一代的网络技术、网络互连、网络管理、系统集成也相应得到了发展。

1.1.4 因特网的由来

20世纪70年代中期,ARPANET已经有了几十个计算机网络,但不同计算机网络之间仍然不能互通。为此,ARPA又设立了新的研究项目,支持学术界和工业界进行有关的研究。研究的主要内容就是想用一种新的方法将不同的计算机局域网互连,形成“互联网”(民间习惯上简称)。研究人员称为“internetwork”,简称“Internet”(中文正式译名为因特网),这个名词就一直沿用到现在。^[4]

在研究实现计算机网络互连的过程中,计算机软件起了主要的作用。1974年,提出了连接分组网络的一系列协议,制定Internet标准(草案),草案文本命名RFC xxxx,其中RFC(Request For Comments)意为“请求注释”。TCP/IP协议栈有一个非常重要的特点,就是开放性,即TCP/IP的规范和Internet的技术都是公开的。目的就是使任何制造商生产的计算机都能相互通信,使Internet成为一个开放的系统。

ARPA在1982年采用TCP/IP协议栈,并在1983年将ARPANET分成两部分:一部分军用,称为MILNET;另一部分仍称ARPANET,供民用。1986年,美国国家科学基金组织(NSF, The National Science Foundation,)将分布在美国各地的5个为科研教育服务的超级计算机中心互连,并支持地区网络,形成NSFnet。1988年,NSFnet替代ARPANET成为Internet的主干网。NSFnet主干网利用了ARPANET中已证明是有效的TCP/IP技术,准许各大学、政府或私人科研机构的网络加入。1989年,ARPANET解散,Internet从军用正式转向民用。

Internet的发展引起了商家的极大兴趣。1992年,美国IBM、MCI和MERIT 3家公司联合组建了一个高级网络服务公司(ANS),建立了一个新的网络,叫做ANSnet,成为Internet的另一个主干网。它与NSFnet不同,NSFnet是由国家出资建立的,而ANSnet则是ANS公司所有,从而使Internet开始走向商业化。1995年4月30日,NSFnet正式宣布停止运作。而此时Internet的主干网已经覆盖了全球91个国家,主机已超过400万台。

我国 Internet 的研究与应用起步于在 20 世纪 80 年代中期,后随经济发展的需要得到了高速的发展。目前,我国有经重组形成的 3 大中国公用计算机互联网运营商(中国电信、中国移动、中国联通)以及中国教育和科研计算机网(CERNET)等。据中国网络信息中心(CNNIC)统计,截至 2010 年 6 月,我国网民数量已达到 4.2 亿,大幅超越美国,居世界首位。

因特网(Internet)异军突起,采用的 TCP/IP 技术不仅领衔稳坐支持数据业务的首选协议之席,而且实用化的 VoIP 和 IPTV 技术加速了其向多种业务扩展的步伐^[1]。尽管 IP 网并不是完美的技术,但它无处不在已既成事实。

1.2 现代电信网

1.2.1 通信系统模型

通信技术的发展已有一百多年历史,早在 19 世纪 30 年代,莫尔斯实现了有线电报通信,以此为标志,奠定了数据通信的基础。进而在 19 世纪 70 年代开始形成了有线电话通信。于 19 世纪末利用电磁波辐射原理发明了无线电报,从此开辟了无线通信发展的道路。

不论有线还是无线通信方式,其通信系统模型的基本组成均如图 1-3 所示。发信源在发送端通过发信设备发送的信息,经信道传送到接收端的接收设备,转交到受信者,实现端到端的通信。在传输的过程中,每个环节都可能受内在的或外部的干扰而影响通信质量。

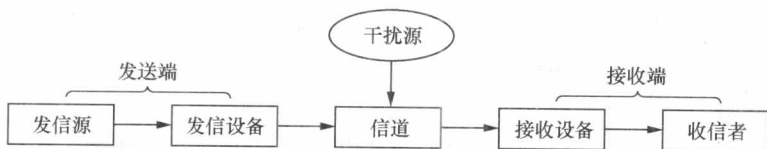


图 1-3 通信系统模型的基本组成

通信系统的基本任务是确保发信源的信息(包括话音、数据、图像)能迅速、准确、安全、可靠地传递到受信者。应当指出,图 1-3 所示仅表示了单方向通信的简单示例,例如,传统的广播和电视。在实际的通信系统中,如话音通信、数据通信都是双向的。

1.2.2 现代电信网的架构

1. 现代电信网的组成

现代电信网是一个复杂的通信系统^[5]。在上述通信系统模型的基础上,现代电信网的组成包含了 3 个部分:终端子系统、交换子系统和传输子系统,如图 1-4 所示。其主要功能是面向公众提供全程、全网的数据传送、交换和处理服务。

由图 1-4 可见,从网络的角度来分,传输系统可分为两大类:中继传输系统(中继线)和用户传输系统(用户线)。从传输信息特征来分,传输系统有模拟传输系统和数字传输系统两种。在传输系统中使用的传输介质,通常可分为线传输介质(有线线路)和软传输介质(无线信道)两类。前者包括双绞线、同轴电缆及光缆;后者主要包括无线电波、地面微波、卫星微波等。交换系统包括各类交换设备,电信网的交换方式有电路交换、报文交

换、分组交换以及综合交换等。终端系统是由各类终端设备所构成，图 1-4 中仅画出了固定电话、移动电话、电视机、电脑（计算机）等，终端的类型、功能与选择电信网提供的业务有关。

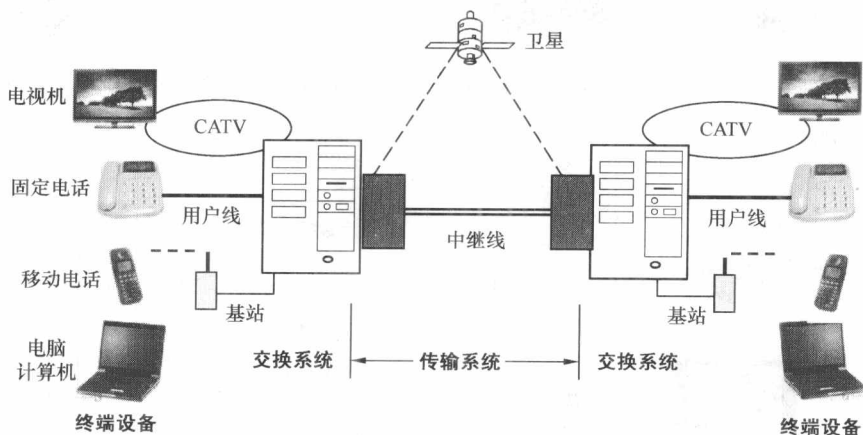


图 1-4 电信网的基本组成

2. 电信网的分类

电信网可以按不同的方法进行分类^[7]。

(1) 按服务的性质来分，电信网分为公用网和专用网。公用网是由中国电信（China Telecom）、中国移动（China Mobile Communications）和中国联通（China Unicom）建立和管理的开放式网络，专用网则是由特定部门（如电力、民航、银行、石油、军事等）专设的网络。

(2) 按信号传输方式来分，电信网可分为模拟网和数字网两大类。数字网是今后发展的主流，它可细分为综合数字网（IDN）、综合业务数字网（ISDN）、数字数据网（DDN）等。

(3) 按信号在网中的处理方式来分，电信网可分为交换网和广播网。

(4) 按网络结构等级功能来分，电信网可分主干网（Backbone Net）、区域网、本地网（Local Net）。

(5) 按电信业务类型来分，电信网可分为电话网、电报网、数据网等。随着通信技术与计算机技术的结合，高新技术支持的电信业务层出不穷。除了传统的电话（Telephone）、用户电传（Telex）、智能用户电报（Teletex）、用户传真（FAX）外，又有诸如可视图文（Videotex）、可视电话（Video-phone）、电子数据互换（EDI）和电子化服务（E-Service）等。

随着 IP 网的普及应用，网络电话（IP phone）、网络电视（IP TV）、电子邮件（E-mail）、语音邮件（Voice-mail）、移动短信业务（SMS）、计算机电话（电信）集成（CTI, Computer Telephone Integration）等新型业务涌现出来。

3. 现代电信网框架结构

现代电信网处在不断变革之中，网络类型以及所提供的业务种类正在不断增加和更新。图 1-5 列出了庞大又复杂的现代电信网络框架结构^{[23][26]}。



图 1-5 现代电信网络框架结构

在图 1-5 中左侧列出电信网的业务对象，包括常用的电话（固定电话和移动电话）、PC 微机以及电视等终端设备。

(1) 固定电话网。

① 公用电话交换网（PSTN, Public Switched Telephone Network）：PSTN 是传统上用于全球话音通信的一种电路交换网络，四通八达、遍及全球，在技术上已经实现了完全的数字化。除了提供话音通信外，通过增值业务，还可提供点到点的计算机通信、传真（Fax）、语音信箱（Voice Box）、计算机电话集成（CTI）等。

② 窄带综合业务数字网（N-ISDN, Narrow band-Integrated Services Digital Network）：N-ISDN 是以数字网为基础发展而成的综合业务通信网，能提供端到端的数字连接，可承载话音和非话音业务。用户能够通过多用途用户-网络接口接入网络。中国电信将其俗称为“一线通”，即在一对双绞线上同时传送话音和数据或图像。

(2) 移动通信网。移动通信的主要目的是实现任何时间、任何地点和任何通信对象之间的通信。移动通信网由无线和有线两部分组成。无线部分提供用户终端（手机）的接入，利用有限的频率资源在空中可靠地传送话音或数据；有线部分完成网络功能，包括交换、用户管理、漫游、鉴权等。二者构成公众陆地移动通信网（PLMN）。

陆地移动通信的具体实现形式，主要有模拟移动通信和数字移动通信两种。

① 第 1 代蜂窝模拟移动通信：频分多址（FDMA）。

② 第 2 代蜂窝数字移动通信：时分多址（TDMA），码分多址（CDMA）。

③ 第 3 代蜂窝数字移动通信：TD-SCDMA（中国移动），cdma2000（中国电信），WCDMA（中国联通）。

(3) 卫星通信网。卫星通信系统由卫星和地球站两部分组成。卫星在空中起中继站的作用，即把地球站发上来的电磁波经放大后再返送回另一地球站。地球站则是卫星系统与地面

公用网的接口，地面用户通过地球站出入卫星系统形成链路。由于卫星定点在赤道上空 36 000km，它绕地球一周的时间恰好与地球自转一周一致，从地面看上去如同静止不动一般，故称为同步通信卫星。3 颗相夹角 120° 的卫星就能覆盖整个赤道圆周，因此卫星通信易于实现越洋和洲际通信。最适合卫星通信的频率是 1~10GHz 频段。在国家主干网上，传输链路常以光缆为主、卫星为辅形成天地基网。

(4) 信号网^[14]。信号网又称信令网。信号网由信号点 (SP, Signal Point)、信号转接点 (STP, Signal Transfer Point) 以及连接它们的信号链路组成。在信号网中，目前主要采用公共信道信号系统 CCSS No.7。在逻辑上，7 号信号网独立于所服务的电话交换网。实质上，7 号信号网是一个专用的分组交换数据网。7 号信令方式主要作为固定电话网和移动通信网中的局间信号，在公共信号链路上传送消息信号单元 (MSU, Message Signal Unit)，可控制一群话路的接续。

(5) 接入网^[13]。接入网 (AN, Access Network) 是由 ITU-T 根据电信网的发展演变趋势而提出的。从整个电信网的角度讲，可以将全网划分为公用网和用户驻地网 (CPN) 两大块，其中 CPN 属用户所有，因而，通常意义的电信网指的是公用电信网部分。公用电信网又可以划分为长途网、中继网和接入网 3 部分。长途网和中继网合并称为核心网。相对于核心网，接入网介于本地交换机与用户之间，主要完成使用户接入到核心网的任务，接入网由业务节点接口 (SNI) 和用户网络接口 (UNI) 之间一系列传送设备组成。

(6) 智能网。智能网 (IN, Intelligent Network) 的思想起源于美国。20 世纪 80 年代初，AT&T 公司采用集中数据库方式提供 800 号 (被叫付费) 业务和电话记账卡业务，这是智能网的雏形。后来国际电联 ITU-T 在 1992 年正式命名了“智能网”一词。智能网是在现有交换与传输的基础网络结构上，为快速、方便、经济地提供电信新业务 (或称增值业务) 而设置的一种附加网络结构。智能网是以计算机和数据库为核心的，突出优点是可以做到快速、经济和方便地提供新业务。由于智能网技术有标准模型约束，系统的实现可以独立于将要生成的新业务，且有标准通信协议支持产品的互联，从而为快速提供新业务创造了基本条件。

(7) 数据通信网。随着计算机通信技术发展，先后推出了 PSPDN、DDN、FRN、ATM 网。

① X.25 分组交换公用数据网 (PSPDN, Packet Switched Public Data Network)。分组交换是为适应计算机通信而发展起来的一种先进技术。1976 年 CCITT (现改名为国际电信联盟电信标准化部门, ITU-T) 正式公布了基于分组交换技术的公用数据网的建议——X.25 接口规程，成为数据通信网技术发展过程中的一个里程碑。随后各国电信部门纷纷兴建公用数据网 (PDN)，为用户提供各类计算机系统的接入，可以满足不同速率、不同型号终端与终端、终端与计算机、计算机与计算机间以及局域网间的通信，实现数据库资源共享。

② 数字数据网 (DDN, Digital Data Network)。DDN 是利用数字信道传输数据信号的数据传输网。它的主要业务是向用户提供永久性和半永久性连接的数字数据传输信道，既可用于计算机之间的通信，也可用于传送数字化传真、数字语音、数字图像信号或其他数字化信号。永久性连接的数字数据传输信道是指用户间建立固定连接、传输速率不变的独占带宽电路。半永久性连接的数字数据传输信道对用户来说是非交换性的，但用户可提出申请，由网络管理人员对其提出的传输速率、传输数据的目的地和传输路由进行修改。网络运营商向广大用户提供了灵活方便的数字电路出租业务，供各行业构成自己的专用网。

③ 帧中继网 (FRN, Frame Relay Network)。帧中继技术是一种高速分组交换技术，采