



普通高等教育“十五”国家级规划教材

数据通信 与计算机网络

(第2版)

高传善 毛迪林 曹 袖



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

数据通信与计算机网络

(第2版)

高传善 毛迪林 曹 袖

高等教育出版社

内 容 提 要

《数据通信与计算机网络》自 2000 年出版以来已被许多学校采用为教材,并获 2002 年全国普通高等学校优秀教材一等奖。

本教材的编写虽然重点仍在数据通信与计算机网络的基础理论和技术,但简缩或删除了相对陈旧的内容,增加了对通信和网络新技术的介绍,如:PPP、虚拟局域网(VLAN)、万兆以太网、光纤网络、高速交换技术、无线网络、组播、IPv6、XML、病毒与防范、多媒体网络技术和服务质量(QoS)等。编排的结构也作了较大的调整,新增加了无线网络、多媒体网络以及服务质量控制三章。其他内容上的增删、修改和调整几乎到处都有,大体来说修订部分超过了全书的 1/3。作为教材,在每章后面仍附有练习题,且都比原第一版有所增加,以使读者有更大的选择余地,帮助读者既复习该章的重要内容,又学会运用所学的知识去解决实际的问题。书后附录中列出的主要参考书籍大都为 2000 年以后出版,并且是目前国内书市中可以买到的。

本书既可作为高等学校计算机网络与数据通信课程的教材,亦可供从事该领域设计或应用的人员学习参考。本书配有教学辅导书、电子教案、教学网站。有关内容可由高等教育出版社网站下载:<http://cs.hep.com.cn> 或 <http://www.hep-st.com.cn:8080>。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信与计算机网络/高传善,毛迪林,曹袖.

2 版. —北京:高等教育出版社,2004.12(2005 重印)

ISBN 7-04-015629-6

I. 数… II. ①高…②毛…③曹… III. ①数据通信—高等学校—教材②计算机网络—高等学校—教材
IV. ①TN919②TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113770 号

策划编辑 刘建元 责任编辑 付欣 市场策划 陈振
封面设计 于文燕 责任印制 宋克学

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 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京印刷集团有限责任公司印刷二厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 40.5
字 数 870 000

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>

版 次 1999 年 6 月第 1 版
2004 年 12 月第 2 版
印 次 2005 年 12 月第 6 次印刷
定 价 39.50 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 15629-00



谨以此书献给复旦大学建校100周年

DEDICATED TO THE 100TH ANNIVERSARY OF THE FOUNDING OF FUDAN UNIVERSITY

前 言

面向 21 世纪课程教材《数据通信与计算机网络》自出版以来已被许多学校选作教材,还被采纳为同等学历申请硕士学位计算机科学与技术学科综合水平全国统一考试第一本指定参考书,并获 2002 年全国普通高等学校优秀教材一等奖。但是,通信技术与计算机技术是当代飞速发展并获得广泛应用的学科,数据通信和计算机网络更是日新月异。这几年中计算机网络又有了持续飞速的发展,并且涌现了许多新的进展和成果。为了能尽可能向教学内容现代化的方向努力,并理论联系实际,使得读者可以获得更好的学以致用效果,我们及时对原书进行了全面修订,使第二版能尽快与读者见面。

本教材的编写仍是立足于培养 21 世纪人才的需要,遵循优化结构、精选内容、突出重点和提高质量的指导思想,着重讲清基本概念和原理,希望读者在掌握这些知识和方法的基础上,能获得举一反三的效果。本书在原有教材《数据通信与计算机网络》的基础上进行修订,虽然重点仍在数据通信与计算机网络的基础理论和技术,但简缩或删除相对陈旧的内容,增加对最近涌现出来的通信和网络新技术的介绍,编排的结构也作了较大的调整。修订的主要内容有:

1. 简缩或删除相对陈旧或国内当前很少使用的内容,如:交换多兆位数字服务、面向字符的同步规程、面向字节计数的同步规程、令牌总线局域网、DQDB、100VG-AnyLAN 和光纤分布式数字接口(FDDI)等。

2. 增加或强化对最近涌现出来的通信和网络新技术的介绍,包括一些目前广泛使用或有广泛发展与应用前景的内容,如:PPP、虚拟局域网(VLAN)、万兆以太网、光纤网络、高速交换技术、无线网络、组播、IPv6、XML、病毒与防范、多媒体网络技术和服务质量(QoS)等。

3. 结构上大的调整包括新增加了三章,即本书第六章无线网络、第十一章多媒体网络以及第十二章服务质量控制。另外,原书第五章网络层以及第六章网络互联的主要内容归并入本书第七章网络层中,原书第八章运输层以及第九章 Internet/Intranet 原理和应用简介的主要内容归并入本书第九章高层应用中。

其他内容上的增删、修改和调整几乎到处都有,大体来说修订部分超过了全书的 1/3。作为教材,在每章后面仍附有练习题,且都比原第一版有所增加,以使读者有更大的选择余地。书后附录中列出的主要参考书籍大都为 2000 年以后出版的,并且是目前国内书市中可以买到的。由于我们还打算修订配套的《数据通信与计算机网络习题解答与实验指南》,所以不在本书中给出实验指南。

本书虽然是作为教材编写的,但内容覆盖面较广,要在一个学期的教学中面面俱到地讲深学透是不容易的,使用本书作为教材的教师可以按照需要进行挑选和删节。配套提供的

一套 35 讲(每讲 2 学时,共 70 学时)PPT 形式的电子教案,是为包括复习和考试一学期 80 学时的教学准备的,其中内容的详略和取舍只是一种可能的选择,仅供参考。正由于内容覆盖面广,并包括了许多新的技术和进展,本书也可供从事数据通信和计算机网络方面研究或应用的科研与工程技术人员自学或作为参考书阅读使用。

本书由高传善主编,毛迪林和曹袖参加编写。高传善拟定了编写内容和大纲,执笔编写了第一、第二、第三和第十章,并统阅了全书;毛迪林执笔编写了第四、第五、第十一和第十二章;曹袖执笔编写了第六至第九章的内容。限于时间与水平,书中难免有不妥处,敬请批评指正。

编 者

2004 年 8 月

第一版前言

随着人类步入信息社会以及全球“信息高速公路”建设的蓬勃发展,在社会信息化和信息社会化的进程中,数据通信和计算机网络扮演了越来越重要的角色。为了适应社会对人才的需求,在国外计算机科学与技术的 IEEE 93 教程和我国面向 21 世纪计算机类专业教学内容和课程体系改革中,都已将“数据通信与计算机网络”列为专业核心课程。本书正是为了适应这个要求而编写的。

本书的编写指导思想是立足于培养 21 世纪人才,遵循优化结构、精选内容、突出重点和提高质量的原则。本书共有十章,以数据通信子网为主要内容,着重阐明基本概念和原理,使读者在掌握这些知识和方法的基础上能获得举一反三的效果。除去第一章为概述外,第二章至第七章都是有关通信子网的内容。本书在卫星通信、光通信、网络互联和高速网络技术等方面力图反映数据通信和计算机网络中的新技术与新进展。第八章讲述运输层与高层协议,对于运输层,除介绍因特网中广泛使用的 TCP 外,还专辟一节介绍对多媒体通信有用的实时运输协议。第九章集中讲述了 Internet/Intranet 的原理和应用,包括 WWW 技术与 Java 语言。最后一章是网络应用中已引起普遍关注的网络管理和网络安全问题。这样的安排是为了尽可能向教学内容现代化方向努力,做到理论联系实际,使得读者可以获得更好的学以致用效果。

作为教材,在每章后面都附有足够的练习题,在附录中还列出了六项实验参考指南,供使用本书作为教材的教师和学生选择,以增强实际应用能力。本书内容覆盖面较广,难以在一个学期的教学中面面俱到讲深学透,使用本书作为教材的教师可以按照需要进行挑选和删节。本书也可供从事数据通信和计算机网络方面研究或应用的科研与工程技术人员自学或参阅。

本书由高传善主编,钱松荣和毛迪林参加编写。高传善拟定了编写内容和大纲,编写了第一章、第二章和第三章,并统阅了全书;毛迪林编写了第四章、第五章和第六章以及附录实验指南;钱松荣编写了第七章至第九章;高永谦和周曦分别提供了第二章和实验指南中部分内容的初稿。华东理工大学杨明福教授逐字逐句审阅了全书并提出了宝贵意见,教育部高等学校计算机教学指导委员会、上海市教委、教育部和高等教育出版社的许多专家与领导在本书列为上海“九五”重点教材、“九五”国家级重点教材以及高等教育“面向 21 世纪课程教材”的过程中都给予了大量的指导和帮助,张作义及夏玲明在书稿的录入过程中做了许多工作,编者谨在此一并表示诚挚的谢意。限于时间与水平,书中难免有不妥处,敬请批评指正。

编者

目 录

第一章 概述	(1)	2.3.3 脉码调制	(58)
1.1 什么是计算机网络	(1)	2.3.4 多路复用	(60)
1.1.1 计算机网络的演变	(1)	2.3.5 数字信号的编码方法	(63)
1.1.2 计算机网络的定义	(8)	2.4 物理层接口标准举例	(65)
1.1.3 计算机网络的发展方向	(9)	2.4.1 EIA-RS-232C	(65)
1.1.4 计算机网络的功能	(11)	2.4.2 RS-422、RS-423 和 RS-449	(68)
1.2 计算机网络的体系结构	(13)	2.4.3 CCITT X·21	(69)
1.2.1 层次模型	(14)	练习题	(71)
1.2.2 开放系统互联基本参考模型	(16)	第三章 数据链路层	(73)
1.2.3 Internet 络参考模型	(21)	3.1 数据链路层的功能	(73)
1.2.4 网络通信标准化组织	(23)	3.1.1 帧同步	(73)
1.3 Internet 的发展及其应用	(27)	3.1.2 差错控制	(74)
1.3.1 Internet 的发展过程	(27)	3.1.3 流量控制	(75)
1.3.2 Internet 的主要功能	(30)	3.1.4 链路管理	(75)
1.3.3 Internet 的工作原理	(33)	3.2 差错检测与校正	(75)
1.4 计算机网络的分类	(35)	3.2.1 传输差错的特性	(76)
1.4.1 按拓扑构形分类	(35)	3.2.2 常用的简单差错控制编码	(77)
1.4.2 按地理范围分类	(36)	3.2.3 海明码	(80)
1.4.3 其他分类	(37)	3.2.4 循环冗余码	(83)
练习题	(37)	3.3 数据链路层协议	(87)
第二章 物理层与数据通信基础	(40)	3.3.1 停等协议	(87)
2.1 数据通信的基础知识	(40)	3.3.2 顺序接收的管道协议	(92)
2.1.1 通信系统模型	(40)	3.3.3 选择重传协议	(94)
2.1.2 带宽与傅里叶分析	(42)	3.4 协议描述与验证	(95)
2.1.3 信道的最大数据速率	(43)	3.4.1 有限状态机模型	(95)
2.2 物理传输媒体	(44)	3.4.2 Petri 网	(98)
2.2.1 双绞线	(45)	3.4.3 其他协议描述语言	(100)
2.2.2 同轴电缆	(47)	3.5 数据链路层协议举例	(101)
2.2.3 光纤	(48)	3.5.1 数据链路层协议的分类	(101)
2.2.4 无线传输媒体	(49)	3.5.2 HDLC 和 PPP	(107)
2.2.5 卫星通信	(52)	3.5.3 帧中继	(110)
2.3 传输技术	(54)	练习题	(114)
2.3.1 模拟传输与数字传输	(54)	第四章 局域网	(117)
2.3.2 数字调制技术	(55)	4.1 局域网概述	(117)

4.1.1 什么是局域网	(117)	5.2.3 ATM 适配层	(214)
4.1.2 局域网拓扑	(118)	5.2.4 ATM 的物理层	(216)
4.1.3 结构化布线系统	(123)	5.2.5 局域网仿真	(217)
4.2 局域网体系结构	(129)	5.3 光纤网络	(219)
4.2.1 局域网参考模型	(129)	5.3.1 光链路	(219)
4.2.2 逻辑链路控制子层 LLC	(133)	5.3.2 波分复用系统	(222)
4.2.3 媒体访问控制子层 MAC	(135)	5.3.3 光网络	(224)
4.2.4 网卡	(137)	5.4 交换机	(227)
4.2.5 LAN 地址	(139)	5.4.1 转发表查询	(228)
4.3 令牌环访问控制和 IEEE 802.5 标准	(141)	5.4.2 缓冲区的设计	(229)
4.3.1 令牌环概述	(141)	5.4.2 CROSSBAR 交换	(231)
4.3.2 令牌环媒体访问控制协议	(143)	5.4.3 共享媒体交换	(235)
4.3.3 IEEE 802.5 标准	(150)	5.4.4 自路由交换	(236)
4.4 CSMA/CD 和 IEEE 802.3 标准	(151)	练习题	(240)
4.4.1 ALOHA	(151)	第六章 无线网络	(242)
4.4.2 CSMA	(154)	6.1 无线网络概述	(242)
4.4.3 CSMA/CD	(155)	6.1.1 无线网络应用	(242)
4.4.4 二进制指数退避算法	(157)	6.1.2 无线网络发展	(243)
4.4.5 以太网帧格式	(158)	6.1.3 无线信道接入方法和多址 技术	(246)
4.4.6 IEEE 802.3 标准	(160)	6.1.4 无线网络拓扑	(248)
4.5 局域网性能	(162)	6.2 无线蜂窝系统	(250)
4.5.1 局域网性能分析概述	(162)	6.2.1 蜂窝概念	(250)
4.5.2 局域网性能分析	(163)	6.2.2 蜂窝拓扑结构	(250)
4.5.3 以太网和令牌传递的比较	(167)	6.2.3 CDMA 系统	(252)
4.6 局域网互联	(168)	6.3 移动数据网络	(259)
4.6.1 网桥	(168)	6.3.1 移动数据网络分类	(260)
4.6.2 局域网交换机	(179)	6.3.2 CDPD	(261)
4.6.3 虚拟局域网	(180)	6.3.3 GPRS	(266)
练习题	(183)	6.3.4 3G 技术	(273)
第五章 高速网络技术	(188)	6.3.5 移动应用协议	(275)
5.1 高速以太网	(188)	6.4 无线局域网(WLAN)	(282)
5.1.1 100BaseT	(188)	6.4.1 WLAN 概述	(282)
5.1.2 全双工以太网	(198)	6.4.2 WLAN 的应用和优势	(283)
5.1.3 千兆以太网	(202)	6.4.3 WLAN 的基本技术	(284)
5.1.4 10 Gb/s 以太网	(207)	6.4.4 WLAN 标准:IEEE 802.11	(285)
5.2 ATM	(210)	6.4.5 WLAN 展望	(289)
5.2.1 ATM 概述	(210)	6.5 其他无线网络技术	(290)
5.2.2 信元	(211)	6.5.1 无线 ATM	(290)

6.5.2 HiperLAN	(294)	8.1 运输服务和服务质量	(385)
6.5.3 蓝牙 (Bluetooth)	(301)	8.1.1 运输服务	(385)
6.5.4 HomeRF	(306)	8.1.2 服务质量	(386)
练习题	(310)	8.2 运输协议机制	(388)
第七章 网络层	(312)	8.2.1 寻址	(389)
7.1 通信子网和网络层服务	(312)	8.2.2 A 型网络服务上的运输协议 ...	(390)
7.1.1 通信子网的内部操作	(312)	8.2.3 B 型网络服务上的运输协议 ...	(394)
7.1.2 网络层提供的服务	(315)	8.2.4 C 型网络服务上的运输协议 ...	(395)
7.2 路由选择	(318)	8.3 TCP 协议	(400)
7.2.1 路由的特征和要素	(318)	8.3.1 TCP 服务	(400)
7.2.2 最佳路由算法	(321)	8.3.2 TCP 协议	(402)
7.2.3 静态路由方式	(323)	8.3.3 TCP 连接管理	(405)
7.2.4 动态路由方式	(324)	8.3.4 TCP 流量控制	(408)
7.2.5 层次路由、策略路由和自治 系统	(331)	8.3.5 TCP 拥塞控制	(409)
7.3 路由协议	(333)	8.3.6 TCP 计时器	(411)
7.3.1 路由信息协议 RIP	(333)	8.3.7 UDP 协议	(411)
7.3.2 开放最短路由由优先 协议 OSPF	(338)	8.4 Socket 编程	(412)
7.3.3 边界网关协议 BGP	(344)	8.4.1 Socket 接口概念	(412)
7.4 IP 协议	(349)	8.4.2 Socket 编程模型	(416)
7.4.1 IP 地址	(350)	8.4.3 Unix Socket 编程	(417)
7.4.2 IP 子网和 IP 转发	(354)	8.4.4 WinSock 编程	(425)
7.4.3 IP 协议格式	(355)	练习题	(432)
7.4.4 其他网络层协议	(358)	第九章 高层应用	(434)
7.4.5 移动 IP	(360)	9.1 域名服务 DNS	(434)
7.5 IP 组播	(362)	9.1.1 主机名和域名	(434)
7.5.1 组播组和组播地址	(363)	9.1.2 域名注册和管理	(436)
7.5.2 组管理协议:IGMP	(364)	9.1.3 域名解析服务	(438)
7.5.3 组播路由协议	(366)	9.1.4 Internet 域名和 URL	(441)
7.5.4 组播应用和发展	(368)	9.2 万维网 WWW	(442)
7.6 下一代 IP:IPv6	(368)	9.2.1 WWW 服务模型	(443)
7.6.1 IPv6 特性	(369)	9.2.2 超文本传输协议(HTTP)	(444)
7.6.2 IPv6 协议基本头部	(370)	9.2.3 超文本标记语言(HTML)	(449)
7.6.3 IPv6 地址	(372)	9.2.4 表单(Form)和公共网关 接口(CGI)	(460)
7.6.4 IPv6 协议扩展头部	(373)	9.2.5 XML	(463)
7.6.5 从 IPv4 向 IPv6 过渡	(378)	9.3 其他主要的应用协议	(468)
练习题	(381)	9.3.1 电子邮件 E-mail	(468)
第八章 运输层	(385)	9.3.2 文件传输协议 FTP	(472)
		9.3.3 远程登录 Telnet	(475)

9.4 远程过程调用 RPC	(476)	11.2.4 视频编码	(554)
9.4.1 RPC 基本操作	(476)	11.3 RTP 协议	(557)
9.4.2 RPC 实例	(477)	11.3.1 RTP 概述	(557)
9.5 对象化程序设计语言 Java	(479)	11.3.2 RTP 分组头部格式	(559)
9.5.1 Java 特性	(479)	11.3.3 RTCP	(560)
9.5.2 Java 程序设计	(481)	11.4 会话控制	(563)
9.5.3 小程序(Applet)设计和实现 ..	(483)	11.4.1 SIP	(563)
9.5.4 一个简单的客户机/服务器 程序	(484)	11.4.2 H.323	(568)
练习题	(485)	11.5 流媒体技术	(573)
第十章 网络管理与信息安全	(488)	11.5.1 流媒体概述	(574)
10.1 网络管理基础	(488)	11.5.2 RTSP 协议	(577)
10.1.1 网络管理的功能	(489)	练习题	(584)
10.1.2 简单网络管理协议 SNMP	(492)	第十二章 服务质量控制 QoS	(585)
10.1.3 其他网络管理有关的标准	(497)	12.1 QoS 概述	(585)
10.1.4 网络管理的其他问题	(498)	12.1.1 实时和非实时应用	(585)
10.2 网络信息安全概述	(500)	12.1.2 QoS 的定义	(588)
10.2.1 网络安全隐患与对策	(500)	12.1.3 QoS 模型和 QoS 机制	(590)
10.2.2 病毒与防范	(504)	12.2 调度策略和队列管理	(592)
10.3 数据加密算法	(507)	12.2.1 调度策略概述	(592)
10.3.1 数据加密的一般原理	(508)	12.2.2 FIFO	(595)
10.3.2 对称密钥算法	(514)	12.2.3 优先级队列	(595)
10.3.3 公开密钥算法	(520)	12.2.4 轮转调度	(596)
10.4 常用网络安全技术举例	(522)	12.2.5 公平队列	(597)
10.4.1 身份鉴别	(522)	12.2.6 主动队列管理	(601)
10.4.2 数字签名	(526)	12.3 拥塞控制	(605)
10.4.3 数字证书	(529)	12.3.1 拥塞控制概述	(605)
10.4.4 防火墙	(532)	12.3.2 开环控制	(608)
10.4.5 Web 的安全性技术——SSL ..	(537)	12.3.3 闭环控制	(613)
练习题	(539)	12.4 集成服务	(615)
第十一章 多媒体网络	(541)	12.4.1 体系结构	(615)
11.1 多媒体网络概述	(541)	12.4.2 服务类型	(618)
11.1.1 网络多媒体应用	(541)	12.4.3 RSVP	(620)
11.1.2 网络多媒体的特性	(543)	12.5 区分服务	(626)
11.2 多媒体压缩	(544)	12.5.1 区分服务概述	(626)
11.2.1 数字化	(545)	12.5.2 负载调节	(629)
11.2.2 数据压缩	(548)	12.5.3 PHB	(630)
11.2.3 音频编码	(550)	练习题	(633)

第一章 概述

当今世界经济正从工业经济向知识经济转变。知识经济时代不同于农业经济与工业经济时代的特点之一是信息、传统的物质和能源一起构成了当今社会的三大资源。人类社会正在进入信息爆炸的时代,经历着一场信息革命。在工业经济时代资源的流通起了很大的作用,遍布全球的铁路网、航运网和高速公路网就是物质的流通网络,而输电网、石油和天然气管道则可看成是能源的流通网络,它们都是工业社会的基础设施。在信息社会中信息的存储与处理离不开计算机,信息的流通则离不开通信与计算机网络。但是,信息与其他两类资源的显著不同是,信息不像物质及能源在流通使用中都会损耗,信息在流通使用中非但不会损耗,反而会通过交流增值。从这个意义上看,信息的流通就尤为重要,通信与计算机网络正是信息社会的基础设施。数据通信和计算机网络正是计算机技术和通信技术独立发展而又密切结合的产物。概略地说,计算机网络是通过各种通信手段相互联接起来的计算机组成的复合系统。数据通信正是为了适应计算机之间信息传输的需要而产生的一种新的通信方式。数据通信是计算机网络中各计算机间信息传输的基础。计算机网络的建立,除了必需具备数据通信功能外,还涉及到网络中计算机间的资源共享、协同工作等信息处理的功能。

本章共分为四节。在 1.1 节中通过计算机网络的演变与发展说明什么是计算机网络,包括其主要功能。1.2 节中介绍计算机网络的体系结构,详细介绍开放系统互联参考模型和 Internet 参考模型并进行比较,还介绍国际上最主要的从事数据通信和计算机网络的标准化组织。1.3 节简述当前使用最为广泛的 Internet 的发展过程、主要功能和工作原理。最后一节论述计算机网络的分类。

1.1 什么是计算机网络

本节将回顾计算机网络演变所经历的几个阶段,通过对计算机网络演变过程的介绍可以加深对什么是计算机网络本身的了解。接着给出了一个并不十分严格但有助于读者掌握什么是计算机网络的定义。还会简要介绍计算机网络的发展方向以及计算机网络的主要功能。在本节中将引入一些在计算机网络中常见的名词和术语,这对读者将来的进一步学习是十分有用的。

1.1.1 计算机网络的演变

1946 年,世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生时,计算机和通信之间并没

有什么关系。早期的计算机系统是高度集中的,所有的设备都安装在单独的大房间中。开始时,一台计算机只能供一个用户使用。后来发展了批处理和分时系统,一台计算机虽然可同时为多个用户服务,但若不和数据通信相结合,分时系统所连接的多个终端都必须紧挨着主计算机,用户都必须到计算中心的终端室去使用,显然仍是不方便的。20 世纪 50 年代中期,计算机技术开始和通信技术相结合,从此计算机网络经历了一个从简单到复杂的演变过程,大体上可分为四个阶段:面向终端的计算机网络、计算机-计算机网络、开放式标准化的计算机网络以及目前所处的网络计算的新阶段。

第一阶段的计算机网络大体上从 20 世纪 50 年代中期至 60 年代中期,实际上是以单个计算机为中心的远程联机系统。20 世纪 50 年代中期,美国半自动地面环境(Semi-Automatic Ground Environment, SAGE)防空系统开始进行计算机技术和通信技术相结合的尝试,将远距离的雷达和其他测量控制设备的信息通过通信线路汇集到一台 IBM 计算机里进行集中的处理和控制在控制。接着,许多系统都将地理上分散的多个终端通过通信线路连接到一台中心计算机上。用户可以在自己办公室内的终端上键入程序,通过通信线路送入中心计算机,分时访问和使用其资源来进行处理,处理结果再通过通信线路送回到用户的终端上显示或打印出来。这样就出现了第一代的计算机网络。这样的系统中除了一台中心计算机,其余的终端都不具备自主处理的功能。在系统中主要存在的是终端和中心计算机间的通信。虽然历史上也曾称它为计算机网络,但现在为了更明确地与后来出现的多台计算机互联的计算机网络相区分,也称为面向终端的计算机网络。20 世纪 60 年代初期美国航空公司投入使用的由一台中心计算机和全美范围内 2 000 多个终端组成的飞机票预订系统(Semi-Automatic Business Research Environment, SABRE)就是这种远程联机系统的一个代表。这类以单个计算机为中心的支持远程终端的远程联机系统,由于其高度可管理性和数据的一致性,目前仍在使用。

在远程联机系统中,随着所连远程终端个数的增多,中心计算机要承担的和各终端间通信的任务也必然加重,使得以数据处理为主要任务的中心计算机增加了许多额外的开销,实际工作效率下降。由此出现了数据处理和通信的分工,即在中心计算机前面增设一个前端处理机(Front End Processor, FEP)来完成通信的工作,而让中心计算机专门进行数据处理,这样可显著地提高效率。前端处理机有时也称为通信处理机或输入/输出处理机。另一方面,若每台远程终端都用一条专用通信线路与中心计算机连接,则线路的利用率低,且随着终端个数的不断增多,线路费用将达到难以负担的程度。因而,后来通常在终端比较集中的地点设置终端控制器(Terminal Controller, TC)。它首先通过多条低速线路将附近各终端连接起来,再通过一条线路(通常为高速通信线路)与远程中心计算机的前端机相连。它可以利用一些终端的空闲时间来传送其他处于工作状态的终端的数据,提高了远程线路的利用率,降低了通信费用。典型的结构如图 1.1 所示。图中的 M 代表调制解调器(Modem),是利用模拟通信线路远程传输数字信号所必须附加的一种设备;T 代表终端(Terminal)。前端机和终端控制器也可以采用比较便宜的小型计算机或微型机来实现。这样的远程联机系统已

经具备了计算机和计算机间通信的雏形。

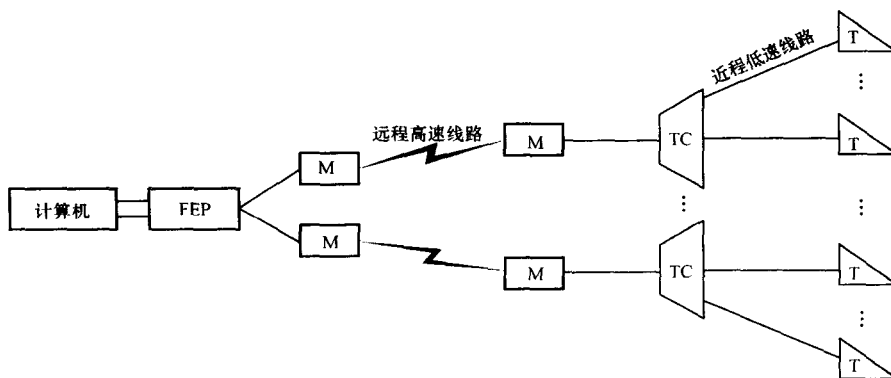


图 1.1 面向终端的计算机网络

第二阶段的计算机网络大体上从 20 世纪 60 年代末至 70 年代末,它是多台计算机通过通信线路互联起来而为用户提供服务,即是计算机-计算机网络。它和以单台计算机为中心的远程联机系统的显著区别在于这里的多台计算机都是具有自主处理能力的,它们之间不存在主从关系。这样的多台计算机互联的网络才是我们目前常称的计算机网络。这种系统中,终端和中心计算机间的通信已改变为计算机和计算机间的通信,用单台中心计算机为所有用户需求服务的模式被大量分散而又互联在一起的多台计算机共同完成的模式所替代。第二阶段计算机网络的典型代表是 ARPA 网(ARPANET)。20 世纪 60 年代后期美国国防部高级研究计划局 ARPA(目前称为 DARPA——Defense Advanced Research Projects Agency)提供经费给美国许多大学和公司,以促进多台计算机互联网络的研究,并最终导致 1969 年一个实验性的 4 结点网络开始运行并投入使用。ARPA 网后来扩展到连接数百台计算机,从欧洲到夏威夷,地理范围跨越了半个地球。目前我们有关计算机网络的许多知识都与 ARPA 网的研究结果有关。ARPA 网中提出的一些概念和术语至今仍被引用。ARPANET 也由此被公认为是第一个真正的计算机网络。

ARPA 网中互联的运行用户应用程序的计算机称为主机(Host)。但主机之间并不是通过直接的通信线路,而是通过称为接口报文处理机(Interface Message Processor,IMP)的装置转接后互联的,如图 1.2 所示。ARPANET 中的 IMP 就是我们目前常说的交换机(switch)或路由器(router)。当某台主机上的用户要访问网络上远地另一台主机时,主机首先将信息送至本地直接与其相连的 IMP,通过通信线路沿着适当的路径经若干 IMP 中途转接后,最终传送到远地的目标 IMP,并送入与其直接相联的目标主机。例如,图 1.2 中主机 H_2 上的某个用户要将信息送往主机 H_1 ,则首先将该信息送至 IMP_2 ,然后沿图中粗黑线指出的路径,中间经 IMP_4 和 IMP_3 转接,最终传送到目标 IMP_1 ,再送入主机 H_1 。转接是这样进行的, IMP_2 将主机 H_2 送来的信息接收并存储起来,在 IMP_2 和 IMP_4 之间的通信线路有空时,将其传送

至 IMP_4 , IMP_4 也是将该信息接收并存储起来,直至 IMP_4 和 IMP_3 之间的通信线路空闲时,再将它转发到 IMP_3 ,……。这种方式类似于邮政信件的传送方式,称为存储转发 (Store and Forward)。就远程通信而言,目前通信线路仍然是个较昂贵的资源。采用存储转发方式的好处在于通信线路不为某对通信所独占,因而大大提高了通信线路的有效利用率,降低使用费用。比如说,上述图 1.2 的例子中,当从主机 H_2 送往 H_1 的信息仍在 IMP_2 和 IMP_4 间的通信线路上传输时, IMP_3 和 IMP_4 间的通信线路就可被由 H_3 经 IMP_3 、 IMP_4 和 IMP_5 送往 H_5 的另外的信息传输所使用。而一旦从主机 H_2 送往 H_1 的信息已为 IMP_4 接收并存储后, IMP_2 和 IMP_4 之间的通信线路又可为其他的(比如说 H_4 和 H_2 之间的)信息传输服务。

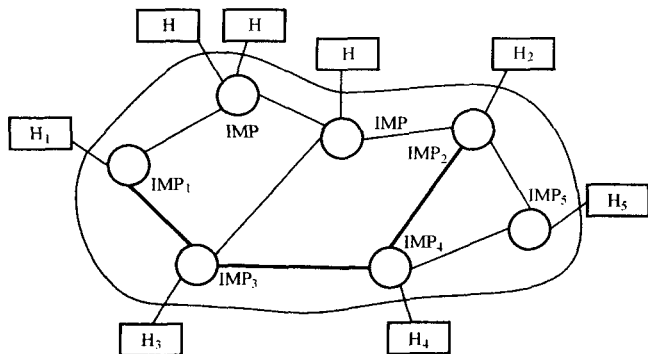


图 1.2 存储转发的计算机-计算机网络

图 1.2 中 IMP 和它们之间互联的通信线路一起负责完成主机之间的数据通信任务,构成了通信子网 (Communication Subnet)。通过通信子网互联的主机负责运行用户应用程序,向网络用户提供可供共享的软/硬件资源,它们组成了资源子网。ARPA 网采用的就是这种两级子网的结构。ARPA 网中存储转发的信息基本单位称做分组 (Packet)。以存储转发方式传输分组的通信子网则又被称做分组交换网 (Packet Switching Network)。IMP 是 ARPA 网中使用的术语,在其他网络或文献中也称为分组交换结点 (packet switch node)。IMP 或分组交换结点通常也是由小型计算机或微型机来实现的,为了和资源子网中的主机相区别,也被称做结点机,或简称结点。实际上,ARPA 网中的接口报文处理机 IMP 的功能就是目前常使用的设备交换机 (Switch) 或路由器 (Router) 的功能。

两台计算机通信时对传送信息内容的理解、信息表示形式以及各种情况下的应答信号都必须遵循一个共同的约定,称为协议 (Protocol)。在一个计算机网络中将协议按功能分成了若干层次。如何分层以及各层中具体采用的协议的总和,称为网络的体系结构 (Architecture)。体系结构是个抽象的概念,其具体实现是通过特定的硬件和软件来完成的。

比较图 1.1 和图 1.2 可见,作为第一阶段计算机网络的远程联机系统和第二阶段计算机-计算机网络的区别之一就是前者以被各终端共享的单台计算机为中心,而后者则以通信子网为中心。

以 ARPA 网以及英国国家物理实验室 NPL 的分组交换网为先驱,20 世纪 70 年代和 80 年代中第二代计算机网络得到了迅猛的发展。其中有些是主要研究试验性的网络,如 IBM 沃森研究中心、卡内基-梅隆大学和普林斯顿大学合作开发的 TSS 网以及加利福尼亚大学欧文分校研制的 DCS 网等;有些是个别用户为特定应用目的(如某些资源的共享)而自行研制和使用的网络,如加利福尼亚大学劳伦斯原子能研究所建立的 DCTOPUS 以及法国信息与自动化研究所负责发展的 CYCLADES 网等;有些是由用户联营为一定范围内应用而建立的网络,如国际气象监测网(World Weather Watch Network, WWWN)和欧洲情报网(European Information Network, EIN)等;有些是公用分组交换数据网,如美国的 TELENET 和英国的 PSS;有些是商用的提供增值通信服务的网络,如美国 Tymshare 公司的 TYMNET 和通用电气公司的 GE 信息服务网等。在这段时期内,各大计算机公司都陆续推出自己的网络体系结构以及实现这些网络体系结构的软硬件产品。用户购买计算机公司提供的网络产品,自己提供或租用通信线路,就可自己组建计算机网络。IBM 公司的 SNA(System Network Architecture)和原有 DEC 公司的 DNA(Digital Network Architecture)就是两个最著名的例子。凡是按 SNA 组建的网络都可称为 SNA 网,而凡是按 DNA 组建的网都可称为 DNA 网,或 DECnet。

当前世界上仍有不少第二代计算机网络正在运行和提供服务。但是,第二代计算机网络仍有不少弊病,适应不了信息社会日益发展的需要。其中最主要的缺点是,第二代计算机网络大都由研究单位、大学、应用部门或计算机公司各自研制的,因而没有统一的网络体系结构。为实现更大范围内的信息交换与共享,要把不同的第二代计算机网络互联起来十分困难。比如说,只要增购一些网络产品把一台 IBM 公司的计算机接入一个 SNA 网是不困难的,但要把一台 HP 公司生产的计算机接入 SNA 网就不是一件容易的事情。同样,要把一台 IBM 公司生产的计算机接入 DECnet 也不是容易的,要把多种不同的计算机和网络互联在一起就更难了。因而,计算机网络必然要向更新的阶段演变。

第三阶段的计算机网络大体上从 20 世纪 80 年代初至 90 年代初,是开放式标准化的计算机网络。换句话说,它具有统一的网络体系结构、遵循国际化的协议。标准化将使得不同的计算机能方便地互联在一起。标准化还将带来大规模生产、产品 VLSI 化和成本降低等一系列的好处。

20 世纪 70 年代后期人们认识到第二阶段计算机网络的不足后,已开始提出发展新一代计算机网络的问题。国际标准化组织(International Standards Organization, ISO)下属的计算机与信息处理标准化技术委员会(Technical Committee, TC)97 成立了一个专门研究此问题的分委员会(Sub-Committee)。经过若干年卓有成效的工作,ISO 制定并在 1984 年正式颁布了一个称为开放系统互联基本参考模型(Open System Interconnection Basic Reference Model, OSI/RM)的国际标准 ISO 7498。这里“开放系统”是相对于第二阶段计算机网络中如 SNA 和 DNA 等只能和同种计算机互联的每个厂商各自封闭的系统而言的,它是可以和任何其他系统(当然要遵循同样的国际标准)通信而相互开放的。该模型按层次结构划分为 7

个子层,有时也被称为 OSI 7 层模型。OSI 模型目前已被国际社会所普遍接受,并公认为计算机网络的体系结构的基础。

20 世纪 80 年代中,以 OSI 模型为参照,ISO 以及当时的国际电话电报咨询委员会 CCITT (法文 Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique 的缩写)等为各个层次开发了一系列的协议标准,组成了一个庞大的 OSI 基本标准集。CCITT 是联合国国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)下属的一个组织,目前已被撤销,改组更名为电信标准化部(Telecommunication Standardization Sector, ITU - TSS),或简称为 ITU - T。由 CCITT 制定的标准都称为建议(recommendation),虽然现在已没有 CCITT 了,但有些资料习惯上许多时候仍将其称为 CCITT 建议。在本书后面,凡是原 CCITT 时期制定并发布的建议,我们有时也仍称为 CCITT 建议。最著名的 CCITT 建议是与 ISO 7498 等价的 X. 200,还有在公用数据网中广泛采用的 X. 25、X. 3、X. 28、X. 29 和 X. 75 等 5 个建议。大多数国家都普遍存在这种遵循 CCITT X. 25、X. 3、X. 28、X. 29 和 X. 75 等建议组建的以分组交换方式工作的向公众提供服务的公用数据网,如加拿大的 DATAPAC、法国的 TRANSPAC、德国的 DATEX - P、日本的 DDX - P 以及我国已于 1989 年开通并正式对外提供服务的 CHINAPAC 等,其作用类似于公用电话网向用户提供话音通信服务一样,它向用户提供数据通信服务。遵循公开标准组建的网络通常都是开放的。遵守上述 CCITT X 系列建议组建的公用分组交换数据网是开放式标准化网络的一个典型例子。

许多国家都有自己的公用分组交换数据网,虽然这些网络内部的结构、采用的信道及设备不尽相同,但它们向外部用户提供的界面是相同的,互联的界面也是相同的,因而也易于互联与互通。它们向外部用户提供的界面都采用了国际标准——CCITT 制定的 X. 25 建议。这个建议规定了用分组方式工作和公用数据网连接的数据终端设备(Data Terminal Equipment, DTE)和数据电路端接设备(Data Circuit - terminating Equipment, DCE)之间的界面。这里,DTE 和 DCE 是 CCITT 使用的术语,在所述计算机接入公用数据网的场合下,计算机就是 DTE,而公用数据网中的分组交换结点就是 DCE。这里所说的界面是广义的,实际上覆盖了 OSI 7 层模型中的下 3 层,是接入公用数据网的 DTE 和公用数据网间在下 3 层界面的总和,也就是说下 3 层协议的总和。为了使普通的不能直接执行 X. 25 中规定协议的非智能终端也能接入采用 X. 25 界面的公用数据网,必须采用一个称为分组组装/拆卸器(Packet Assembly/Disassembly facility, PAD)的装置。CCITT 已经制定了三个与 PAD 有关的标准,即 X. 3 建议、X. 28 建议和 X. 29 建议。其中 X. 3 建议规定了 PAD 的功能以及控制它工作的一些参数;X. 28 建议规定了终端和 PAD 之间的标准协议;X. 29 建议则规定了 PAD 和用分组方式工作的 DTE 之间交换控制信息和用户数据的规程(Procedure)。这里,规程是通信界常用的术语,就是通信双方必须遵循的共同的约定,这种场合下可以看成是协议的同义语。只不过在 OSI 7 层模型中,从低层到高层都统称为协议;而某些低层的协议在通信界有时又称为规程。有了这 3 个标准,普通的非智能终端就能够通过 PAD 接入公用数据网与远程主机通信了,如图 1.3(a)中所示。一个 PAD 可以连接多个终端,具有终端控制器的功能,但与普