



高等学校
电子信息类 规划教材

计算机网络

(第2版)

谢希仁 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>

高等学校电子信息类规划教材

计 算 机 网 络

(第2版)

谢希仁 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为 1989 年出版的、获第二届全国优秀教材奖的《计算机网络》的第 2 版。在内容和结构方面都有了很大的修改,并列入普通高等教育“九五”国家级重点教材。

全书分为 12 章,比较全面系统地介绍了计算机网络的发展和体系结构、物理层、数据链路层、信道共享技术、局域网、广域网、网络互连、运输层、计算机网络的安全、应用层协议、ATM 技术和当前计算机网络的若干热门课题等内容。各章均附有练习题。此外,还有三个附录,即最基本的排队系统、英文缩写词以及参考文献和网址。

本书的特点是概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂。既重视基本原理和基本概念的阐述,又力图反映出计算机网络的一些最新发展,同时也重视必要的理论分析。本书以相当的篇幅讨论了当前使用得最多的 TCP/IP 体系的核心协议和一些网络新技术。本科生和研究生可在教材中分别选取有关章节。本书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,翻印必究。

JS474/34

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/谢希仁编著. - 2 版. - 北京:电子工业出版社,1999.4

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5053-5237-7

I. 计… II. 谢… 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(1999)第 01617 号

丛 书 名: 高等学校电子信息类规划教材

书 名: 计算机网络(第 2 版)

编 著 者: 谢希仁

责任编辑: 杜振民

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <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: 27.75 字数: 700 千字

版 次: 1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5237-7
G·426

定 价: 32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话: 68279077

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996~2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大,有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

原电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按原电子工业部的《1996-2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由计算机教学指导委员会编审、推荐出版。本教材为普通高等教育“九五”国家级重点教材，由南京通信工程学院谢希仁教授编著，陈鸣教授主审，邵军力教授为责任编委。

本教材的第一版(1989年大连理工大学出版社)曾获第二届全国优秀教材奖。1994年和1996年曾分别在电子工业出版社和大连理工大学出版社各再修订出版一次。

本教材的参考学时数为70~90学时。全书共分12章。与过去的版本相比，这次的改动较多。全书以TCP/IP协议族为线索，突出Internet上的应用，增加了对许多新技术的介绍。例如：56 kb/s调制解调器，高速局域网(包括100BASE-T, 100VG-AnyLAN, HIPPI和千兆以太网等)，无线局域网，帧中继技术，IPv6，国际数据加密算法IDEA, MD5报文摘要算法，Internet的安全体系，防火墙，万维网WWW(包括URL, HTTP, HTML, CGI等)，网络管理SNMP, ATM技术(包括各种AAL协议和ATM通信量管理等)，ATM与IP相结合(包括IPOA, LANE, MPOA和MPLS等)，IP电话，居民接入网RAN(包括xDSL, HFC以及FTTx等)，等等，均在书中占有一定的篇幅。为了不使全书篇幅过大，对一些比较陈旧的内容进行了适当的压缩。

编写教材最难处理的就是内容的取舍。网络技术的飞速发展使得新的网络技术和标准不断问世。在非常有限的篇幅中，应当将哪些最为重要的内容交给学生呢？经验证明，最重要的就是要在教材中把基本原理讲清楚。理论联系实际是十分必要的，但显然不应将教材写成为工程实践中的使用手册。新的但很不成熟的内容也不宜写入教材。教科书不应写成为标准文档的缩写。

每章的最后都附有若干练习题。附录A是为未学过排队论的读者参考的。附录B是英文缩写词。附录C是参考文献和一些有参考价值的网点，以使读者能够更快地从Internet上找到所需的资料。为了使本教材能够适用于不同要求的读者，对于最重要的内容，在目录中的相应章节前面加上一个星号“*”。

陈鸣、胡谷雨教授和张兴元、高素青副教授以及齐望东博士、徐哲博士对本书的初稿提出了很多宝贵的意见。已毕业并工作多年的研究生赵刚也从北京通过电子邮件提出了许多很好的建议。赵小凡高工、刘南杰教授以及林波、黄振荧副教授曾对本书的前一个版本提出了许多建设性意见。吴自珠副教授一直对本教材的出版给予全力支持。谢冲提供了最新的一些文献的光盘和多本美国原版新书。对这些，作者均表示诚挚的谢意。由于作者水平所限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

作者的电子邮件地址：xiexr@public1.ptt.js.cn

谢希仁

1999年1月于南京通信工程学院

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 计算机网络在信息时代中的作用	(1)
1.2 计算机网络的发展过程	(2)
1.2.1 通信与计算机的结合——计算机网络的产生	(2)
* 1.2.2 分组交换网的出现	(3)
* 1.2.3 计算机网络体系结构的形成	(8)
* 1.2.4 Internet 时代	(9)
* 1.3 协议与体系结构	(12)
1.3.1 分层次的网络体系结构	(12)
1.3.2 计算机网络的原理体系结构	(13)
1.3.3 TCP/IP 的体系结构	(17)
1.3.4 OSI 的体系结构	(18)
1.4 计算机网络的分类	(19)
1.5 关于计算机网络的若干术语	(21)
1.6 计算机网络在我国的发展	(21)
练习题	(23)
第 2 章 物理层	(24)
2.1 物理层的基本概念	(24)
* 2.2 信道的极限容量	(24)
2.2.1 有关信道的几个基本概念	(24)
2.2.2 信道上的最高码元传输速率	(25)
2.2.3 信道的极限信息传输速率	(26)
2.3 传输媒体	(27)
2.3.1 双绞线	(27)
2.3.2 同轴电缆	(28)
2.3.3 光缆	(30)
2.4 无线传输	(32)
2.4.1 无线传输所使用的频段	(32)
2.4.2 地面微波接力通信	(33)
2.4.3 卫星通信	(34)
* 2.5 模拟传输与数字传输	(36)
2.5.1 模拟传输系统	(36)
2.5.2 调制解调器	(37)
2.5.3 数字传输系统	(40)
2.6 物理层标准举例	(42)

2.6.1	EIA-232-E 接口标准	(42)
2.6.2	RS-449 接口标准	(44)
	练习题	(46)
第 3 章	数据链路层	(47)
* 3.1	数据链路层的基本概念	(47)
* 3.2	停止等待协议	(48)
3.2.1	不需要数据链路层协议的数据传输	(48)
3.2.2	具有最简单流量控制的数据链路层协议	(49)
3.2.3	实用的停止等待协议	(50)
3.2.4	停止等待协议的算法	(51)
3.2.5	停止等待协议的定量分析	(53)
* 3.3	连续 ARQ 协议	(54)
3.3.1	连续 ARQ 协议的工作原理	(54)
3.3.2	连续 ARQ 协议的吞吐量	(55)
3.3.3	滑动窗口的概念	(56)
3.3.4	信道利用率与最佳帧长	(58)
3.4	选择重传 ARQ 协议	(60)
* 3.5	面向比特的链路控制规程 HDLC	(60)
3.5.1	HDLC 的产生背景	(60)
3.5.2	两种配置和三种方式	(61)
3.5.3	HDLC 的帧结构	(62)
3.6	Internet 中的数据链路层	(68)
3.6.1	串行线路网际协议 SLIP	(69)
* 3.6.2	点对点协议 PPP	(70)
3.7	协议的形式描述与验证	(71)
3.7.1	有限自动机模型	(71)
3.7.2	Petri 网模型	(73)
3.7.3	协议的验证	(75)
	练习题	(77)
第 4 章	信道共享技术	(80)
* 4.1	信道共享技术概述	(80)
4.2	受控多点接入:轮询	(82)
4.2.1	轮叫轮询的性能分析	(82)
4.2.2	传递轮询的性能分析	(85)
* 4.3	随机接入技术:ALOHA	(86)
4.3.1	纯 ALOHA	(86)
4.3.2	时隙 ALOHA(S-ALOHA)	(90)
4.3.3	轮询与随机接入的比较	(92)
* 4.4	随机接入技术:CSMA 和 CSMA/CD	(93)

4.4.1	CSMA 的几种类型	(93)
4.4.2	CSMA/CD 的工作原理	(95)
	练习题	(100)
第 5 章	局域网	(102)
5.1	局域网概述	(102)
* 5.2	局域网的体系结构	(103)
5.2.1	IEEE 802 参考模型	(103)
5.2.2	逻辑链路控制 LLC 子层	(105)
5.2.3	媒体接入控制 MAC 子层	(108)
* 5.3	IEEE 802.3 标准:CSMA/CD	(109)
5.3.1	802.3 局域网概述	(109)
5.3.2	802.3 局域网的 MAC 子层	(114)
5.3.3	交换式以太网	(116)
5.4	IEEE 802.5 标准:令牌环	(118)
5.4.1	令牌环的组成	(118)
5.4.2	802.5 局域网的 MAC 子层	(119)
5.4.3	令牌环的平均时延	(121)
5.5	IEEE 802.4 标准:令牌总线局域网	(122)
5.5.1	令牌总线局域网的组成	(122)
5.5.2	令牌总线局域网的 MAC 子层	(123)
5.5.3	三种局域网的比较	(123)
* 5.6	局域网的扩展	(125)
5.6.1	网桥的基本原理	(125)
5.6.2	两种常用的网桥	(127)
5.7	高速局域网	(131)
* 5.7.1	100BASE-T 技术	(131)
5.7.2	100VG-AnyLAN 技术	(132)
5.7.3	光纤分布式数据接口 FDDI	(133)
5.7.4	其他种类的高速局域网	(135)
5.7.5	高性能并行接口 HIPPI	(136)
5.7.6	光纤通道	(137)
* 5.7.7	千兆比以太网	(138)
5.8	无线局域网	(139)
* 5.8.1	无线局域网的组成	(139)
5.8.2	无线局域网的协议 802.11	(141)
* 5.9	局域网的网络操作系统	(145)
5.9.1	网络操作系统概述	(145)
5.9.2	Novell 网络操作系统 NetWare	(145)
	练习题	(148)

第 6 章 广域网	(150)
* 6.1 广域网的基本概念	(150)
6.1.1 广域网的构成	(150)
6.1.2 广域网所提供的服务	(151)
* 6.2 广域网中的路由选择机制	(153)
6.2.1 结点交换机中的路由表	(153)
6.2.2 用图表示广域网	(155)
* 6.3 路由选择的一般原理	(156)
6.3.1 理想的路由算法	(156)
6.3.2 非自适应路由选择	(158)
6.3.3 自适应路由选择	(160)
* 6.4 拥塞控制	(164)
6.4.1 拥塞控制的意义	(164)
6.4.2 拥塞控制的一般原理	(167)
6.5 X.25 建议书	(167)
* 6.5.1 X.25 简介	(167)
6.5.2 X.25 网络与字符方式终端的连接	(169)
6.6 帧中继 FR	(170)
* 6.6.1 帧中继概述	(170)
6.6.2 帧中继的体系结构	(172)
6.6.3 帧中继的呼叫控制	(175)
6.6.4 帧中继的帧格式	(177)
6.6.5 帧中继的拥塞控制	(180)
6.6.6 帧中继的应用	(183)
练习题	(184)
第 7 章 网络互连	(187)
* 7.1 互连网的概念	(187)
* 7.2 Internet 的网际协议 IP	(188)
7.2.1 IP 地址及其转换	(189)
7.2.2 IP 数据报的格式	(196)
7.2.3 Internet 控制报文协议 ICMP	(199)
7.2.4 IP 层处理数据报的流程	(201)
* 7.3 Internet 的路由选择协议	(203)
7.3.1 两类路由选择协议	(203)
7.3.2 内部网关协议 IGP	(205)
7.3.3 外部网关协议	(212)
7.4 Internet 组管理协议 IGMP	(214)
7.5 无类型域间路由选择 CIDR	(216)
7.6 下一代的网际协议 IPv6(IPng)	(218)
* 7.6.1 IPv6 概述	(218)

7.6.2	IPv6 基本首部格式	(218)
7.6.3	IPv6 的地址空间	(220)
7.6.4	IPv6 的扩展首部	(223)
7.7	ICMPv6	(225)
	练习题	(226)
第 8 章	运输层	(229)
* 8.1	运输协议概述	(229)
* 8.2	TCP/IP 体系中的运输层	(230)
8.2.1	运输层中的两个协议	(230)
8.2.2	端口的概念	(231)
* 8.3	用户数据报协议 UDP	(233)
* 8.4	传输控制协议 TCP	(233)
8.4.1	TCP 的编号与确认	(234)
8.4.2	TCP 的流量控制	(235)
8.4.3	TCP 的重发机制	(237)
8.4.4	TCP 报文段的格式	(238)
8.4.5	TCP 的运输连接管理	(240)
8.4.6	TCP 的有限状态机	(242)
8.5	关于计算机网络的性能	(245)
8.5.1	网络的带宽时延积	(245)
8.5.2	网络性能测量	(245)
8.5.3	改善网络性能的系统设计	(246)
8.5.4	千兆比特网络的协议	(246)
	练习题	(248)
第 9 章	计算机网络的安全	(251)
* 9.1	网络安全问题概述	(251)
9.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	(251)
9.1.2	计算机网络安全的内容	(253)
9.1.3	一般的数据加密模型	(253)
9.2	常规密钥密码体制	(254)
* 9.2.1	替代密码与置换密码	(254)
* 9.2.2	分组密码算法之一:数据加密标准 DES	(255)
9.2.3	分组密码算法之二:国际数据加密算法 IDEA	(258)
* 9.3	公开密钥密码体制	(259)
9.3.1	公开密钥密码体制的特点	(259)
9.3.2	RSA 公开密钥密码体制	(261)
9.3.3	数字签名	(263)
9.4	报文的鉴别	(263)
* 9.4.1	报文鉴别的意义	(263)

9.4.2	报文鉴别码	(264)
9.4.3	单向散列函数	(264)
9.4.4	MD5 报文摘要算法	(266)
* 9.5	密钥分配	(267)
* 9.6	链路加密与端到端加密	(269)
9.6.1	链路加密	(269)
9.6.2	端到端加密	(270)
9.6.3	在端到端加密下的若干措施	(271)
9.7	Internet 的安全体系结构	(272)
9.7.1	安全关联与鉴别	(272)
9.7.2	鉴别首部	(272)
9.7.3	封装安全净负荷首部	(273)
* 9.8	防火墙	(275)
	练习题	(277)
第 10 章	应用层协议	(279)
* 10.1	应用层概述	(279)
* 10.2	域名系统 DNS	(281)
10.2.1	域名系统概述	(281)
10.2.2	Internet 的域名结构	(281)
10.2.3	用域名服务器进行域名转换	(284)
10.3	文件传送协议 (FTP, TFTP, NFS)	(286)
10.3.1	概述	(286)
* 10.3.2	FTP 的主要工作原理	(286)
10.3.3	简单文件传送协议 TFTP	(289)
10.3.4	网络文件系统 NFS	(289)
10.4	远程登录 TELNET	(291)
10.5	电子邮件	(293)
* 10.5.1	概述	(293)
* 10.5.2	简单邮件传送协议 SMTP	(295)
* 10.5.3	电子邮件的信息格式	(296)
* 10.5.4	邮件转发、电子邮件网关及邮局协议	(297)
* 10.5.5	通用 Internet 邮件扩充 MIME	(300)
10.5.6	电子邮件的加密	(302)
10.6	万维网 WWW	(305)
* 10.6.1	概述	(305)
* 10.6.2	统一资源定位符 URL	(306)
* 10.6.3	超文本传送协议 HTTP	(309)
* 10.6.4	超文本置标语言 HTML	(314)
* 10.6.5	万维网页面中的超链	(317)
10.6.6	动态万维网文档与 CGI 技术	(321)

10.6.7	活动万维网文档与 Java 语言	(327)
10.6.8	万维网上的信息检索系统	(331)
10.7	网络管理	(335)
* 10.7.1	网络管理的基本概念	(335)
* 10.7.2	简单网络管理协议 SNMP 概述	(337)
* 10.7.3	管理信息库 MIB	(338)
* 10.7.4	SNMP 的 5 种协议数据单元	(340)
10.7.5	管理信息结构 SMI	(343)
10.7.6	SNMPv2 和 SNMPv3	(349)
10.7.7	CMIP 与 TMN 简介	(350)
10.8	引导程序协议 BOOTP 与动态主机配置协议 DHCP	(352)
10.8.1	协议配置	(352)
10.8.2	引导程序协议 BOOTP	(353)
10.8.3	动态主机配置协议 DHCP	(353)
	练习题	(354)
第 11 章	ATM 技术	(357)
* 11.1	综合业务数字网 ISDN	(357)
11.1.1	窄带综合业务数字网 N-ISDN	(357)
11.1.2	宽带综合业务数字网 B-ISDN	(359)
11.1.3	同步光纤网 SONET 和同步数字系列 SDH	(360)
* 11.2	ATM 的基本概念	(362)
11.2.1	ATM 概述	(362)
11.2.2	ATM 的协议参考模型	(364)
11.2.3	ATM 的逻辑连接机制	(367)
11.2.4	虚通路标识符 VCI 和虚通道标识符 VPI 的转换	(369)
11.2.5	ATM 信元的结构	(371)
11.3	ATM 适配层的进一步讨论	(372)
11.3.1	AAL 层的几个子层	(372)
11.3.2	AAL1 协议	(374)
11.3.3	AAL2 协议	(375)
11.3.4	AAL3/4 协议	(375)
11.3.5	AAL5 协议	(377)
11.4	ATM 通信量管理	(378)
* 11.4.1	ATM 通信量的特点	(378)
11.4.2	ATM 通信量管理中的一些重要参数	(380)
11.4.3	ATM 服务的 5 个种类	(382)
11.4.4	用 UPC 的功能进行通信量管理	(383)
11.4.5	ABR 的通信量管理	(386)
* 11.5	ATM 与 IP 相结合	(387)
11.5.1	覆盖模型与综合模型	(387)

11.5.2 传统 IPOA	(388)
11.5.3 局域网仿真 LANE	(390)
11.5.4 MPOA	(391)
11.5.5 第三层交换	(393)
11.6 关于 ATM 前途的争论	(395)
练习题	(395)
第 12 章 当前计算机网络的若干热门课题	(397)
* 12.1 关于“三网融合”	(397)
* 12.2 IP 电话	(398)
12.2.1 IP 电话的网络配置	(398)
12.2.2 IP 电话的话音质量	(399)
12.3 居民接入网 RAN	(402)
12.3.1 xDSL 技术	(403)
12.3.2 光纤同轴混合网(HFC 网)	(405)
12.3.3 FTTx 技术	(408)
练习题	(408)
附录 A 最基本的排队系统	(409)
附录 B 英文缩写词	(417)
附录 C 参考文献和一些有参考价值的网点	(424)

第 1 章 概 述

1.1 计算机网络在信息时代中的作用

我们很快就要进入 21 世纪了。21 世纪的特征就是数字化、网络化和信息化。21 世纪将是一个以网络为核心的信息时代。

当前世界经济正在从工业经济向知识经济(knowledge-based economy)转变。知识经济是相对于农业经济、工业经济而出现的一种正在形成中的崭新的经济形态。知识经济就是指以知识为基础的经济,并且经济的发展在很大程度上取决于对知识的发掘和积累。知识经济的诞生不仅对人们的工作、学习、交往等各个方面起着非常大的作用,而且也影响了整个社会的发展。知识经济已成为推动生产力发展的巨大动力。

知识经济中的两个重要特点就是信息化和全球化。要实现信息化和全球化,就必须依靠完善的网络。因此网络现在已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础。实际上,网络已经改变了社会生活的很多方面,对经济的发展已经产生了不可逆转的影响。

这里所说的网络应当是指“**三网**”,即电信网络(主要的业务是电话,但也有其他业务,如传真、数据等)、有线电视网络(即单向电视节目的传送网络)和计算机网络。虽然这三种网络在信息化过程中都起到重要的作用,但其中发展最快的并起到核心作用的是计算机网络。

进入 20 世纪 90 年代以后,以 Internet 为代表的计算机网络得到了飞速的发展,已从最初的教育科研网络逐步发展成为商业网络,并已成为仅次于全球电话网的世界第二大网络。不少人认为现在已经是 Internet 的时代,这是因为 Internet 正在改变着我们工作和生活的各个方面,它已经给很多国家(尤其是 Internet 的发源地美国)带来了巨大的好处,并加速了全球信息革命的进程。可以毫不夸大地说,Internet 是自印刷术以来人类通信方面最大的变革。

1993 年 9 月 15 日,美国政府发布一个在全世界引起很大反响的文件,其标题是“**国家信息基础结构(NII)行动计划**”。NII 即 National Information Infrastructure 的缩写,也可译为国家信息基础设施。这个文件提出,高速信息网是国家信息基础结构的一个重要组成部分。为了更加生动而形象地说明这个“NII 行动计划”,人们常用“信息高速公路”这个名词作为“国家信息基础结构”的通俗名称。

1994 年 9 月美国又提出建立全球信息基础结构 GII 的倡议。建议将各国的 NII 互连起来,组成世界范围的信息基础结构。当前的 Internet 就是这种全球性的信息基础结构的雏形。

现在全世界所有的工业发达国家和很多的发展中国家都纷纷研究和制订本国建设信息基础结构的计划。这就使得计算机网络的发展进入了一个新的历史阶段,并变成了几乎人人都知道而且都十分关心的热门学科。

目前“**三网合一**”的呼声很高。所谓“三网合一”是指只用一种网络就可实现前面提到的三种网络的功能。但“三网合一”还有不少技术上的困难,短期内难于全部解决。因此本书还是主要讨论计算机网络,着重讨论在计算机之间是怎样通过网络来交换信息。但考虑到今后可能的发展,在本书的最后也介绍与“三网合一”有关的一些概念。

1.2 计算机网络的发展过程

1.2.1 通信与计算机的结合——计算机网络的产生

计算机网络涉及到通信与计算机两个领域。计算机与通信日益紧密的结合,已对人类社会的进步做出了极大的贡献。

计算机与通信的相互结合主要有两个方面。一方面,通信网络为计算机之间的数据传递和交换提供了必要的手段;另一方面,数字计算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。当然,这两个方面的进展都离不开人们在半导体技术(主要是超大规模集成电路 VLSI 技术)上取得的辉煌成就。

大家知道,在科学研究中,如果我们对它们过去的发展历史知道得越多,我们就有可能向前走得更远。因此,有必要简单地回顾一下计算机网络的发展历史。

在 1946 年世界上第一台数字电子计算机刚问世后的几年里,计算机和通信并没有什么关系。1954 年,人们开始使用一种叫做**收发器**(transceiver)的终端,将穿孔卡片上的数据从电话线路上发送到远地的计算机。后来,用户可在远地的电传打字机上键入自己的程序,而计算机算出的结果又可从计算机传送到远地的电传打字机打印出来。计算机与通信的结合就这样开始了。

由于当初计算机是为成批处理信息而设计的,所以当计算机在和远程终端相连时,必须在计算机上增加一个接口才行。显然,这个接口应当对计算机原来的硬件和软件的影响尽可能地小些。这样,就出现了所谓的“**线路控制器**”(line controller)。在通信线路的两端还必须各加上一个调制解调器。这是因为电话线路本来是为传送模拟的话音信号而设计的,它不适合于传送计算机的数字信号。调制解调器的主要作用就是:把计算机或终端使用的数字信号与电话线路上传送的模拟信号进行模数或数模转换。

由于在通信线路上是串行传输而在计算机内采用的是并行传输,因此线路控制器的主要功能是进行串行和并行传输的转换以及简单的差错控制。计算机主要仍用于成批处理。随着远程终端数量的增多,为了避免一台计算机使用多个线路控制器,在 20 世纪 60 年代初期,出现了**多重线路控制器**(multiline controller)。它可和许多个远程终端相连接(图 1-1)。这种最简单的联机系统也称为**面向终端的计算机通信网**,是最原始的计算机网络。这里,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,而计算机的主要任务也还是进行成批处理。故图 1-1 所示的系统常称为**联机系统**,以区别于早先使用的脱机系统。

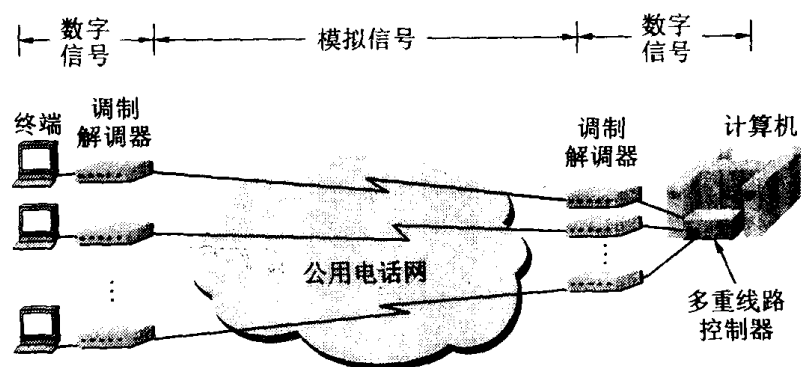


图 1-1 计算机通过多重线路控制器与远程终端相连

当人们认识到计算机还可用作数据处理时,计算机的用户数量就迅速增长。但是,每当需要增加一个新的远程终端时,上述的这种线路控制器就要进行许多硬件和软件的改动,以便和新加入的终端的字符集和传输速率等特性相适应。然而,这种线路控制器对主机却造成了相当大的额外开销。人们终于认识到应当设计出另一种不同硬件结构的设备来完成数据通信的任务。这就导致了具有较多智能的通信处理机的出现。通信处理机也称为**前端处理机 FEP** (Front End Processor),有时也可简称为前端机。前端处理机分工完成全部的通信任务,而让主机(即原来的计算机)专门进行数据的处理。这样就大大地提高了主机进行数据处理的效率。图 1-2 表示用一个前端处理机与多个远程终端相连的情况。由于可采用较便宜的小型计算机充当大型计算机的前端处理机,因此这种面向终端的计算机通信网就获得了很大的发展。一直到现在,大型计算机组成的网络仍使用前端处理机,而对于目前接入局域网的个人计算机,其使用的接口网卡在原理上就相当于这种前端处理机。

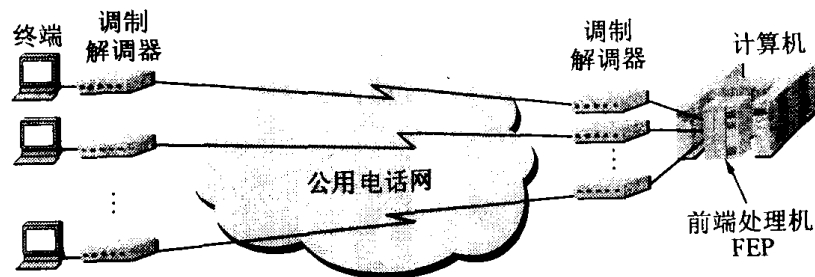


图 1-2 用前端处理机完成通信任务

为了节省通信费用,可在远程终端较密集处加一个**集中器 (concentrator)**。集中器的一端用多条低速线路与各终端相连,其另一端则用一条较高速率的线路与计算机相连(图 1-3)。由于集中器不是简单的多路复用器而是一个智能复用器,它可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。这样,所用高速线路的容量就可以小于各低速线路容量的总和,从而明显地降低了通信线路的费用。由于集中器距终端较近,因此在集中器与各终端之间往往可以省去调制解调器。

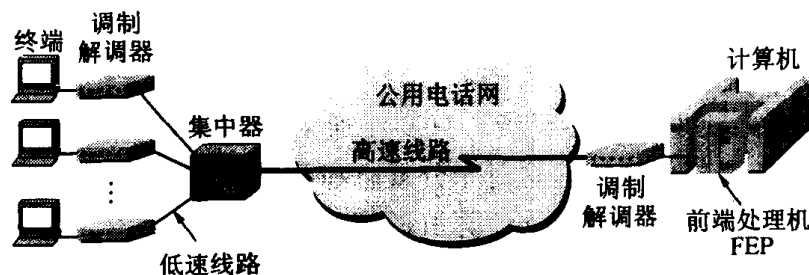


图 1-3 采用集中器以降低通信费用

1.2.2 分组交换网的出现

在研究计算机网络的发展时,必须着重介绍**分组交换 (packet switching)**。分组交换也称为包交换,它是现代计算机网络的技术基础。

1. 传统的电路交换技术不适合计算机数据的传输

在电话出现后不久,人们便认识到,在所有用户之间架设直达的线路对通信线路的资源是极大的浪费。必须依靠交换机实现用户之间的互连。一百多年来,电话交换机经过多次更新

换代,从人工接续、步进制、纵横制以至现代的程序控制交换机(即程控交换机),其本质始终未变,都是采用电路交换(circuit switching)。从通信资源的分配角度来看,“交换”就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。电路交换是在通话之前,通过用户的呼叫(即拨号),由网络预先给用户分配传输带宽(这里指的是广义的带宽,即将时分制的时隙宽度也称为带宽)。用户若呼叫成功,则从主叫端到被叫端就建立了一条物理通路。此后双方才能互相通话。通话完毕挂机后即自动释放这条物理通路。电路交换的关键点就是:在通话的全部时间内用户始终占用端到端的固定传输带宽。图 1-4 为电路交换的示意图。为简单起见,图中对市话和长途交换机没有区分。应当注意的是,用户线归电话用户专用,而对交换机之间拥有大量话路的中继线则通话的用户只占用了其中的一个话路。

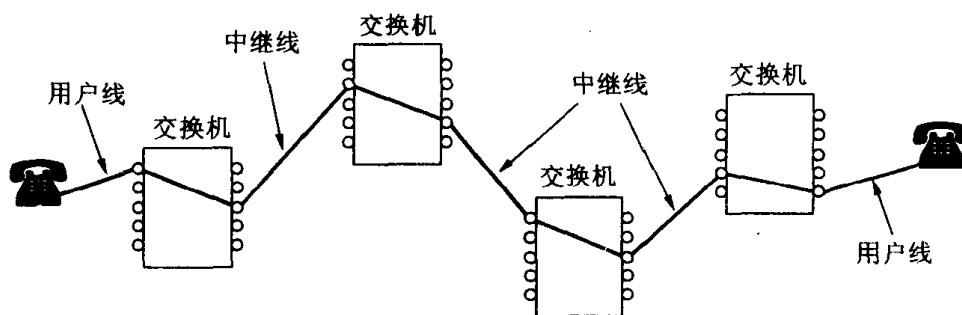


图 1-4 电路交换的示意图

当这种通信系统用来传送计算机或终端的数据时,由于计算机数据是突发式地出现在传输线路上,因此线路上真正用来传送数据的时间往往不到 10% 甚至 1%。在绝大部分时间里,通信线路实际上是空闲的(但对电信局来说,通信线路已被用户占用因而要收费)。例如,当用户阅读终端屏幕上的信息或用键盘输入和编辑一份文件时,或计算机正在进行处理而结果尚未得出时,宝贵的通信线路资源实际上并未被利用而是白白被浪费了。

另外,由于计算机和各种终端的传送速率很不一样,在采用电路交换时,不同类型、不同规格、不同速率的终端很难互相进行通信。因此应采用一些措施。例如,可使终端与计算机不直接连通,而是让数据经过一些缓冲器暂存一下,经适当变换后再进行发送或接收。这同样要求改变传统的交换方式,采用新式的交换技术。

电路交换的另一个缺点是不够灵活。只要在通话双方建立的通路中的任何一点出了故障,就必须重新拨号建立新的连接。这对十分紧急和重要的通信是很不利的。

由此可见,必须寻找出新的适合于计算机通信的交换技术。

2. 分组交换网的试验成功

存储转发的概念最初是在 1964 年 8 月由巴兰(Baran)在美国兰德(Rand)公司的“论分布式通信”的研究报告中提出的。在 1962 ~ 1965 年,美国国防部远景规划局 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)和英国的国家物理实验室 NPL 都在对新型的计算机通信网进行研究。1966 年 6 月,NPL 的戴维斯(Davies)首次提出“分组”(packet)这一名词[DAVI86]。1969 年 12 月,美国的分组交换网 ARPANET (当时仅 4 个结点)投入运行。从此,计算机网络的发展就进入了一个崭新的纪元。1973 年英国的 NPL 也开通了分组交换试验网。现在大家都公认 ARPANET 为分组交换网之父,并将分组交换网的出现作为现代电信时代的开始。除英美两国外,法国也在 1973 年开通其分组交换网 CYCLADES。