

全国高等院校“十五”计算机规划教材
Text-Book for 21th Century on Network Technology

新世纪网络技术系列教材 (4)

吴礼发 谢希仁 编著

Network Principle and Technology

网络原理与技术教程

以网络中若干关键技术为主线

详细讲解计算机网络的基本原理

各章附有丰富的习题供上机练习



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

全国高等院校“十五”计算机规划教材
Text-Book for 21th Century on Network Technology

新世纪网络技术系列教材 (4)

吴礼发 谢希仁 编著

Network Principle and Technology

网络原理与技术教程

以网络中若干关键技术为主线

详细讲解计算机网络的基本原理

各章附有丰富的习题供上机练习



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书是“新世纪网络技术系列教材”之一，该系列教材由网络技术主干课程教材组成，分别是《网络原理与技术教程》、《网络工程设计教程》、《网络程序设计教程》、《网络管理技术教程》、《网络安全技术教程》、《网络分布式计算》和《网络协议工程》。本系列教材可供本科、高职高专网络专业、计算机专业和相关专业 IT 专业根据网络课程的设置情况选用。

本书主要介绍计算机网络的基本原理。全书共 12 章，分别介绍计算机网络的发展过程、计算机网络的体系结构、数据传输技术、差错控制技术、多点接入技术、路由选择技术、网络互连技术、拥塞控制与流量控制技术、用户接入技术、网络管理技术、网络安全和网络应用。为方便读者的学习，本书各章均附有习题。

本书的特点是从计算机网络涉及到的若干关键技术的角度来介绍计算机网络的原理，使读者对计算机网络的基本原理有更深入的理解。

本书可作为网络工程专业、计算机专业以及其他专业的计算机网络课程的高年级本科生和研究生的教材，同时也可以作为网络研究和开发人员的指导书。

- 系 列 书：新世纪网络技术系列教材（4）
书 名：网络原理与技术教程
总 策 划：北京希望电子出版社
文 本 著 者：吴礼发 谢希仁 编著
责 任 编 辑：马宏华 柴东
出 版、发 行 者：北京希望电子出版社
地 址：北京市海淀区知春路甲 63 号卫星大厦三层 100080
网 址：www.bhp.com.cn E-mail: lwm@hope.com.cn
010-62520290,62521724,62528991,62630301,62524940,62521921,82610344（发行）
010-82675588-202（门市） 010-82675588-501,82675588-201（编辑部）
经 销：各地新华书店、软件连锁店
排 版：希望图书输出中心 杜海燕
文 本 印 刷 者：北京纪元彩艺印刷厂印刷
开 本 / 规 格：787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 483 千字
版 次 / 印 次：2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷
本 版 号：ISBN 7-900101-50-0
印 数：0001-5000
定 价：27.00 元

说明：凡我社产品如有残缺，可执相关凭证与本社调换。



Microsoft
CERTIFIED
Technical Education
Center

北京希望电子出版社与微软公司
联手打造权威认证体系

获取微软认证专家系列国际认证资格证书必读教材

2000
系列指定教材

微软认证高级技术培训中心
(CTEC)



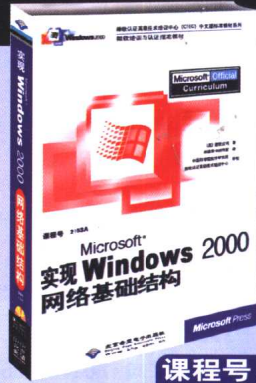
1

课程号: 2151A
CX-3877
定价: 47.00 元



2

课程号: 2152A
CX-3878
定价: 67.00 元



3

课程号: 2153A
CX-3879
定价: 71.00 元



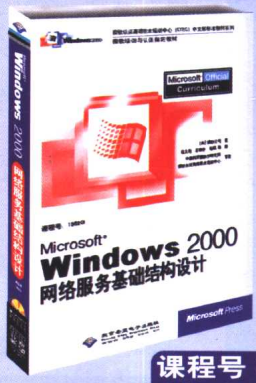
4

课程号: 2154A
CX-3880
定价: 63.00 元



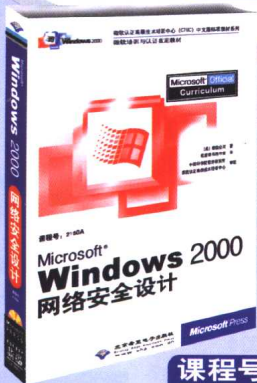
5

课程号: 1561B
CX-3881
定价: 35.00 元



6

课程号 1562B
CX-3882
定价: 61.00 元



7

课程号 2150A
CX-3883
定价: 63.00 元



8

课程号 2071A
CX-3884
定价: 43.00 元



9

课程号 2072A
CX-3885
定价: 63.00 元



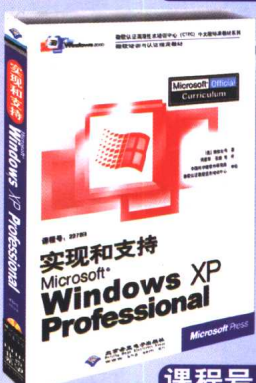
10

课程号 2073A
CX-3886
定价: 67.00 元



11

课程号: 2126A
CX-3887
定价: 53.00 元

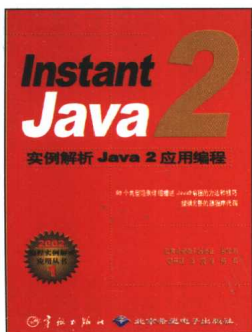


12

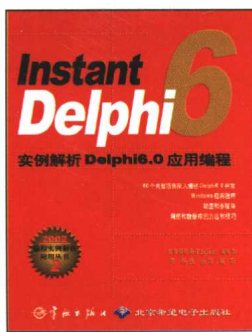
课程号: 2272B
CX-3888
定价: 51.00 元

好书可开启心灵窗户 工作事半功倍 卓越的品质与信誉是希望的座右铭

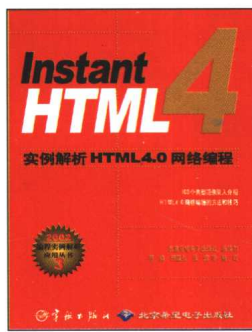
专业编程
快速成长之路



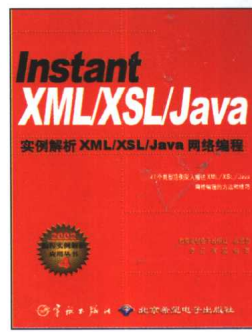
CX-3567
定价:40.00元
ISBN:7801440838



CX-3568
定价:40.00元
ISBN:7801440838



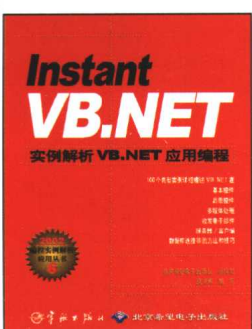
CX-3571
定价:40.00元
ISBN:7801440838



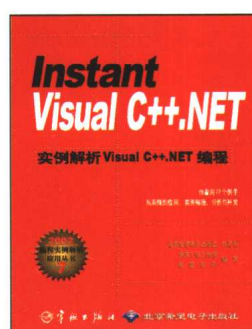
CX-3572
定价:40.00元
ISBN:7801440838



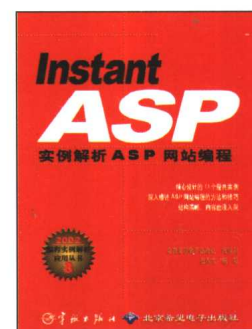
CX-3569
定价:40.00元
ISBN:7801440838



CX-3581
定价:40.00元
ISBN:7801440838



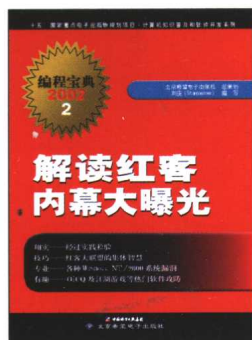
CX-3583
定价:40.00元
ISBN:7801440838



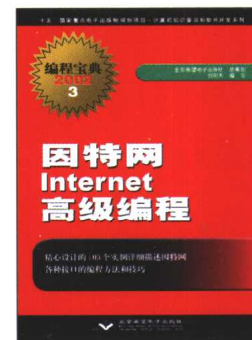
CX-3591
定价:40.00元
ISBN:7801440838



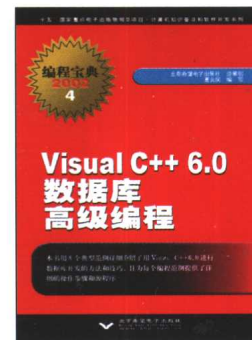
CX-83576
定价: 58.00元
ISBN:7980007700



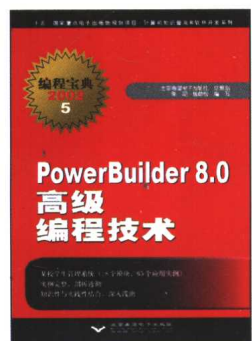
CX-83598
定价: 30.00元
ISBN:7900088040



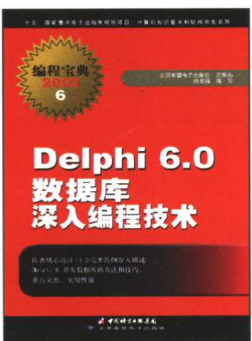
CX-83597
定价: 55.00元
ISBN:7900088024



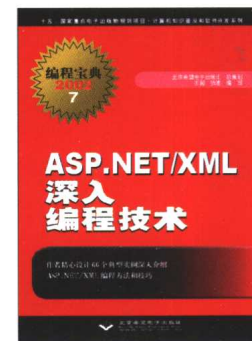
CX-83599
定价: 35.00元
ISBN:7900088075



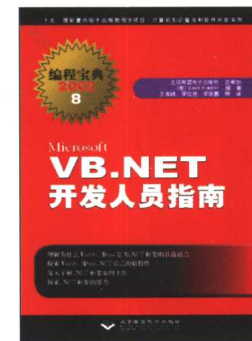
CX-83620
定价: 43.00元
ISBN:7900088067



CX-83611
定价: 35.00元
ISBN:7900088083



CX-83613
定价: 35.00元
ISBN:7900088059



CX-83618
定价: 33.00元
ISBN:7900088172

北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

社址: 北京海淀知春路甲63号卫星大厦三层
通信地址: 北京中关村083信箱(100080)
电话: (010) 82675588(总机) 传真: (010) 62520573



试读结果 需要全本请在线购买: www.ctbook.com

新世纪网络技术系列教材
编委会

主 编：谢希仁（教授 博士生导师）

副主编：王元元（教授 博士生导师）

编 委：（以姓氏笔划排序）

王元元（教授 博士生导师）

齐望东（博士 副教授）

吴礼发（博士 副教授）

陈 鸣（博士 教授 博士生导师）

胡谷雨（博士 教授 博士生导师）

谢希仁（教授 博士生导师）

前 言

有关计算机网络的教材已经有很多了，它们基本上都是以网络体系结构中的网络层次为主线，然后逐层进行介绍。将计算机网络用层次模型来描述的目的是为了将问题进行简化。从本质上讲，计算机网络的原理体现在解决网络中的若干关键问题的关键技术上。这些关键技术可能用在多个网络层次上的不同协议中，如各个层次中基本上都有差错控制，而网络的拥塞控制则涉及到多个网络层次。因此，深入理解这些关键技术对于学习计算机网络的基本原理是至关重要的。如果完全按层次顺序来说明，则在很多情况下不能很好地说明这些问题。基于这样的想法，本书试图以网络中若干关键技术为主线来介绍计算机网络的基本原理。

全书共分 12 章。第 1 章主要介绍计算机网络的发展过程。第 2 章主要介绍计算机网络的体系结构。由于本书是以计算机网络中涉及到的若干关键技术而不是以网络层次为主线，因此第 2 章用较多的篇幅来介绍几种重要的网络体系结构的基本内容，这些内容是学习后续章节的基础。从第 3 章开始，分别介绍了计算机网络中的若干关键技术：数据传输技术、差错控制技术、多点接入技术、路由选择技术、网络互连技术、流量控制与拥塞控制技术、用户接入技术、网络管理技术、网络安全和网络应用。在介绍这些关键技术时，除了着重介绍它们的原理外，还讨论了这些关键技术与网络层次的关系。

本教材可作为网络工程专业、计算机专业以及其它专业的计算机网络课程的本科生和研究生的教材，参考学时为 50 至 60 学时。本书也可作为网络研究和开发人员的自学教材和参考书。

编者在撰写本书时，胡谷雨教授、齐望东副教授、端义峰、谢均等同志也对本书的编写提出了许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编 者

2002 年 4 月于南京

目 录

第 1 章 概述	1	3-3 模拟传输与数字传输	57
1-1 计算机网络的发展	1	3-3-1 模拟传输系统	58
1-1-1 通信与计算机的结合——计算机网络的产生	1	3-3-2 调制解调器	58
1-1-2 分组交换网的出现	3	3-3-3 数字传输系统	64
1-1-3 快速分组交换的出现	8	3-4 信道复用技术	66
1-1-4 因特网时代	8	3-4-1 频分复用、时分复用和统计时分复用	66
1-1-5 三网合一	11	3-4-2 波分复用	68
1-2 计算机网络的分类	12	3-4-3 码分复用	70
1-2-1 计算机网络的不同定义	12	3-5 同步光纤网 SONET 和同步数字系列 SDH	71
1-2-2 计算机网络的几种不同分类方法	13	思考题	73
思考题	15	第 4 章 差错控制技术	74
第 2 章 计算机网络的体系结构	16	4-1 概述	74
2-1 体系结构的形成	16	4-1-1 应用对差错控制机制的要求	74
2-2 网络协议	17	4-1-2 差错类型	75
2-3 OSI/RM	20	4-1-3 差错评估	76
2-3-1 层次的划分	20	4-2 差错检测技术	77
2-3-2 实体、服务、协议和服务访问点	27	4-2-1 奇偶检验 (Parity Check)	78
2-4 TCP/IP 体系结构	28	4-2-2 循环冗余检验 (Cyclic Redundancy Checking)	79
2-5 局域网体系结构	30	4-2-3 UUCP 检验和	81
2-5-1 IEEE 802 参考模型	31	4-2-4 算术检验和 (Arithmetic Checksum)	82
2-5-2 逻辑链路控制 LLC 子层	33	4-2-5 前向纠错 (FEC) 技术	82
2-5-3 媒体接入控制 MAC 子层	35	4-2-6 其他差错检测技术	84
2-6 ATM	36	4-2-7 关于被检验的数据的讨论	84
2-6-1 ATM 概述	36	4-3 差错控制技术	86
2-6-2 ATM 的协议参考模型	37	4-3-1 确认	86
思考题	41	4-3-2 计时器	87
第 3 章 数据传输技术	42	4-3-3 重传	89
3-1 基本概念	42	4-3-4 序号	91
3-1-1 有关电路的几个概念	42	4-3-5 HSTP 协议中的差错控制机制	92
3-1-2 有关带宽的几个概念	42	4-4 HDLC 协议中的差错控制方法	96
3-1-3 数据通信系统的模型	43	4-4-1 面向比特的链路控制规程 HDLC 的产生背景	96
3-1-4 有关信道的几个基本概念	45		
3-2 传输媒体	49		
3-2-1 导向传输媒体	49		
3-2-2 非导向传输媒体	55		

4-4-2 两种配置和 3 种方式.....	97	7-2-4 IP 数据报的格式.....	161
4-4-3 HDLC 的帧结构.....	98	7-2-5 IP 层处理数据报的流程.....	165
4-5 TCP 协议中的差错控制机制.....	102	7-3 划分子网和构造超网.....	167
4-6 差错控制与层次的关系.....	104	7-3-1 子网的划分.....	167
思考题.....	108	7-3-2 在使用子网时分组的转发.....	171
第 5 章 多点接入技术	110	7-3-3 无分类编址 CIDR (构造超网).....	173
5-1 概述.....	110	7-4 因特网控制报文协议 ICMP.....	177
5-2 受控多点接入: 轮询.....	111	7-5 因特网的路由选择协议.....	180
5-2-1 轮叫轮询的工作原理.....	111	7-5-1 分层次的路由选择协议.....	180
5-2-2 传递轮询的工作原理.....	113	7-5-2 内部网关协议 RIP.....	181
5-3 随机接入技术: ALOHA.....	113	7-5-3 内部网关协议 OSPF.....	184
5-3-1 纯 ALOHA.....	114	7-5-4 外部网关协议 BGP.....	188
5-3-2 时隙 ALOHA (S-ALOHA).....	116	7-6 IP 多播和因特网组管理协议 IGMP.....	191
5-3-3 轮询与随机接入的比较.....	117	7-6-1 IP 多播的基本概念.....	191
5-4 随机接入技术: CSMA 和 CSMA/CD.....	118	7-6-2 因特网组管理协议 IGMP.....	194
5-4-1 CSMA 的几种类型.....	118	7-7 下一代的网际协议 IPv6 (IPng).....	196
5-4-2 CSMA/CD 的工作原理.....	120	7-7-1 IPv6 的基本首部格式.....	196
5-5 使用多点接入技术的以太网.....	122	7-7-2 IPv6 的扩展首部.....	198
5-5-1 以太网的工作原理.....	123	7-7-3 IPv6 的地址空间.....	200
5-5-2 传统以太网的连接方法.....	125	7-7-4 从 IPv4 向 IPv6 过渡.....	202
5-5-3 高速以太网.....	130	思考题.....	205
思考题.....	134	第 8 章 流量控制与拥塞控制技术	208
第 6 章 路由选择技术	135	8-1 概述.....	208
6-1 广域网中的分组转发机制.....	135	8-2 流量控制技术.....	209
6-1-1 在结点交换机中查找转发表.....	135	8-2-1 不需要进行流量控制的数据	
6-1-2 路由表的简化.....	137	传输.....	209
6-2 路由选择的一般原理.....	138	8-2-2 具有最简单流量控制的数据	
6-2-1 理想的路由算法.....	139	链路层协议.....	209
6-2-2 非自适应路由选择.....	140	8-2-3 X-on/X-off 协议.....	210
6-2-3 自适应路由选择.....	143	8-2-4 停止等待协议.....	210
思考题.....	146	8-2-5 滑动窗口协议.....	213
第 7 章 网络互连技术	147	8-3 拥塞控制.....	219
7-1 路由器在网际互连中的作用.....	147	8-3-1 拥塞控制的意义.....	219
7-1-1 路由器的构成.....	147	8-3-2 拥塞控制的一般原理.....	222
7-1-2 互联网与因特网.....	150	8-3-3 帧中继中的拥塞控制.....	226
7-2 因特网的网际协议 IP.....	152	8-3-4 TCP 拥塞控制.....	230
7-2-1 分类 IP 地址.....	152	8-3-5 ATM 网中的拥塞控制.....	232
7-2-2 IP 地址与硬件地址.....	157	思考题.....	234
7-2-3 地址解析协议 ARP 和逆地址		第 9 章 用户接入技术	236
解析协议 RARP.....	159	9-1 拨号接入技术.....	236

9-1-1 SLIP 与 PPP.....	237	11-5 虚拟专用网.....	279
9-2 居民接入网 RAN.....	239	11-6 入侵检测.....	280
9-2-1 xDSL 技术.....	240	11-6-1 IDS 的体系结构.....	281
9-2-2 光纤同轴混合网 (HFC 网).....	242	11-6-2 入侵检测系统的组成.....	282
9-2-3 FTTx 技术.....	245	11-6-3 入侵检测的常用技术.....	283
思考题.....	245	11-6-4 两类主要入侵检测方法: 异常 检测与特征检测.....	283
第 10 章 网络管理技术	246	11-6-5 网络扫描器.....	284
10-1 网络管理的基本概念.....	246	11-6-6 关于入侵检测的进一步讨论....	285
10-1-1 网络管理的功能.....	246	思考题.....	285
10-1-2 网络管理的 5 个功能域.....	247	第 12 章 网络应用	287
10-2 简单网络管理协议 SNMP.....	249	12-1 域名系统 DNS.....	287
10-2-1 概述.....	249	12-1-1 域名系统概述.....	287
10-2-2 管理信息库.....	250	12-1-2 因特网的域名结构.....	288
10-2-3 SNMP 的 5 种协议数据单元.....	251	12-1-3 用域名服务器进行域名转换....	290
10-2-4 SNMPv2 和 SNMPv3.....	255	12-2 文件传送协议.....	292
10-2-5 RMON.....	256	12-2-1 概述.....	292
10-3 CMIP 与 TMN 简介.....	257	12-2-2 FTP 的主要工作原理.....	293
10-3-1 公共管理信息协议 CMIP.....	257	12-2-3 简单文件传送协议 TFTP 和 网络文件系统 NFS.....	295
10-3-2 电信管理网 TMN.....	258	12-3 远程登录 TELNET.....	296
10-4 系统管理.....	259	12-4 电子邮件.....	297
10-4-1 系统管理功能.....	259	12-4-1 概述.....	297
10-4-2 系统管理标准.....	260	12-4-2 简单邮件传送协议 SMTP.....	300
10-4-3 系统管理实现.....	263	12-4-3 电子邮件的信息格式.....	302
10-5 基于主动网络的网络管理.....	264	12-4-4 邮件读取协议 POP3 和 IMAP..	302
思考题.....	265	12-4-5 通用因特网邮件扩充 MIME....	303
第 11 章 网络安全	267	12-5 万维网 WWW.....	306
11-1 网络安全问题.....	267	12-5-1 概述.....	306
11-1-1 计算机网络面临的安全性威胁.....	267	12-5-2 统一资源定位符 URL.....	308
11-1-2 网络的安全问题及其原因.....	268	12-5-3 超文本传送协议 HTTP.....	310
11-1-3 计算机网络安全的内容.....	269	12-5-4 超文本标记语言 HTML.....	315
11-2 数据加密.....	270	12-5-5 万维网中的链接.....	318
11-2-1 一般的数据加密模型.....	270	12-6 动态主机配置协议 DHCP.....	322
11-2-2 常规密钥密码体制.....	271	思考题.....	322
11-2-3 公开密钥密码体制.....	272	参考文献	324
11-3 报文鉴别.....	275		
11-4 防火墙.....	276		

本章主要讨论计算机网络的发展过程，并简要介绍了计算机网络的分类。

1-1 计算机网络的发展

1-1-1 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，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）。它可与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。如图 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。

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。

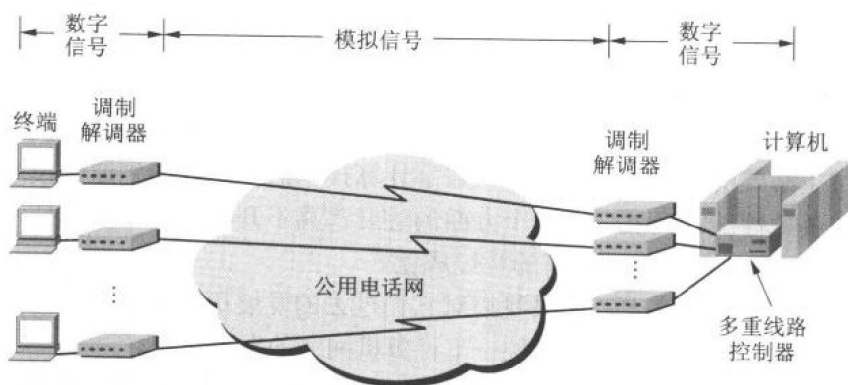


图 1-1 计算机通过多重线路控制器与远程终端相连

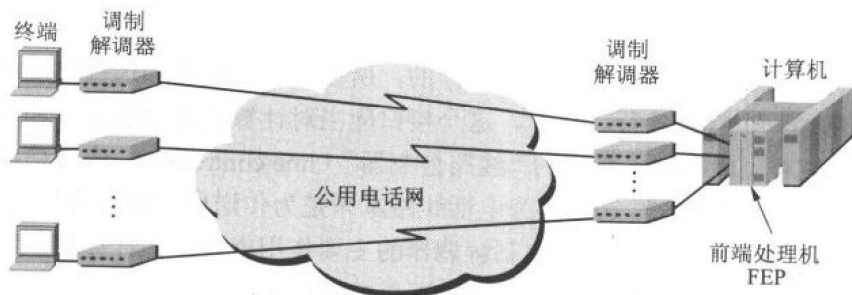


图 1-2 用前端处理机完成通信任务

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。

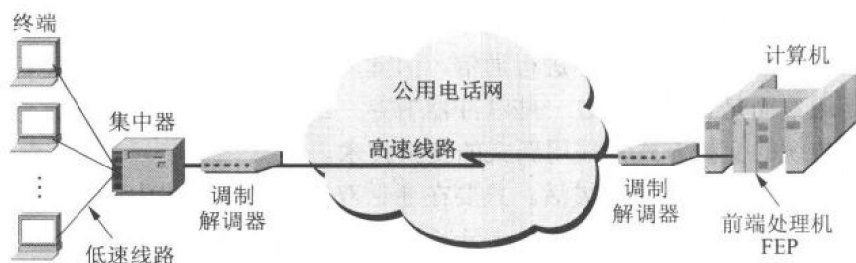
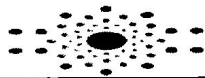


图 1-3 采用集中器以降低通信费用

1-1-2 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。

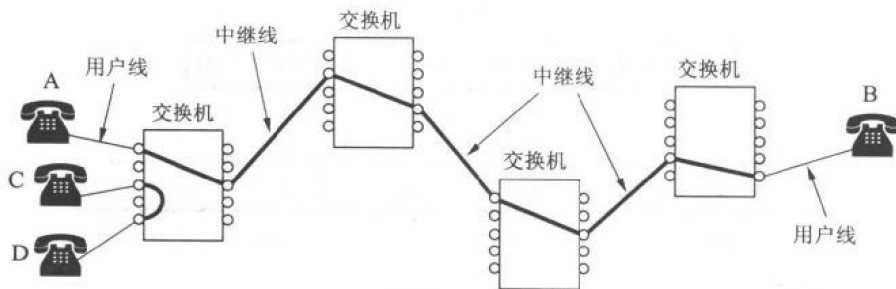
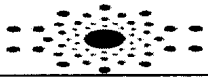


图 1-4 电路交换的示意图

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，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。

3. 分组交换的主要特点

下面简要地介绍一下分组交换的主要特点。图 1-5 画的是分组的概念。通常我们将欲发送的整块数据称为一个报文 (message)。在发送报文之前，先将较长的报文划分成为一个个更小的等长数据段，例如，每个数据段为 1024 bit^①。在每一个数据段前面，加上首部 (header) 后，就构成了一个分组。分组又称为“包”，而分组的首部也可称为“包头”。分组中的首部是非常重要的，因为正是分组的首部才包含了诸如目的地址和源地址等重要控制信息，而分组交换网只有从分组的首部才能获知应将此分组发往何处。

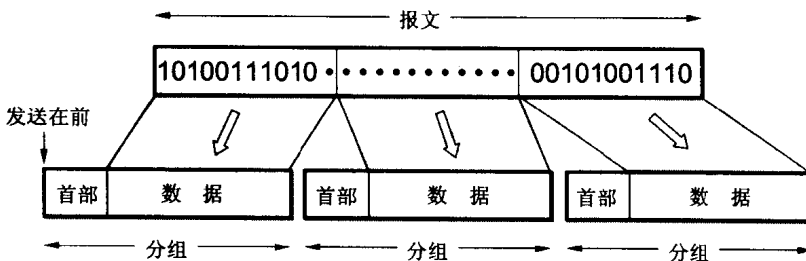


图 1-5 分组的概念

分组交换网由若干个结点交换机 (node switch) 和连接这些交换机的链路组成，图 1-6(a) 是其示意图。用圆圈表示的结点交换机是网络的核心部件。从概念上讲，一个结点交换机就是一个小型计算机。图 1-6(b) 和图 1-6(a) 的表示方法是一样的，但强调了结点交换机的结

^①注：在本书中，bit 和 b 都表示“比特”。比特是信息量的度量单位。



构。这里用一个方框表示结点交换机。我们应注意到，每一个结点交换机都有两组端口。一些小半圆表示的一组端口用来和计算机相连，其速率较低。而一些小方框表示的一组端口则用来和网络的高速链路相连，其速率较高。图中 $H_1 \sim H_6$ 都是一些可进行通信的计算机，即所谓的主机 (host)。在 ARPANET 建网初期，分组交换网中的结点交换机曾被称为接口报文处理机 IMP (Interface Message Processor)。但 IMP 这一名词现已不再使用。

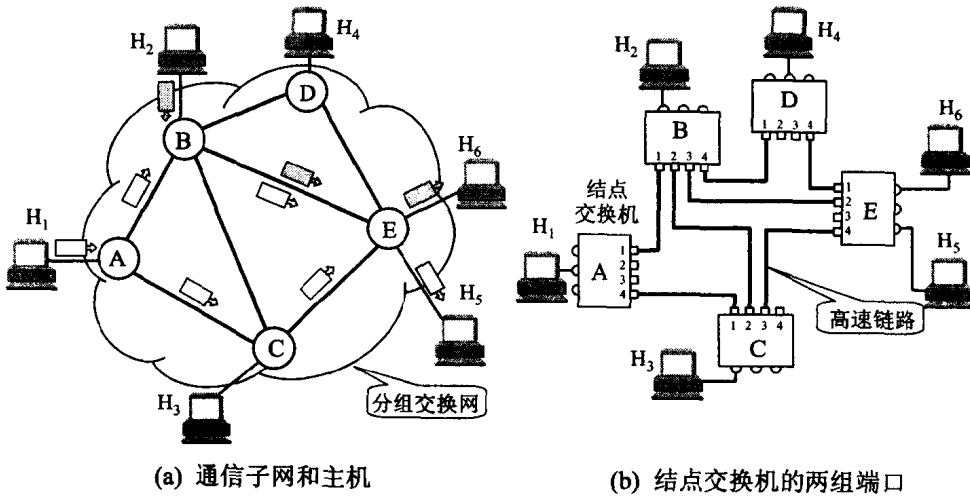


图 1-6 分组交换网的示意图

这里特别要强调的是，在结点交换机中的输入和输出端口之间是没有直接连线的。结点交换机处理分组的过程是：将收到的分组先放入缓冲区，再查找路由表（路由表中写到何目的地址应从何端口转发的信息），然后确定将该分组交给某个端口转发出去。

现在假定主机 H_1 向主机 H_5 发送数据。主机 H_1 先将分组一个个地发往与它直接相连的结点交换机 A。此时，除链路 H_1-A 外，网内其他通信链路并不被目前通信的双方所占用。需要注意的是，即使是链路 H_1-A ，也只是当分组正在此链路上传送时才被占用。在各分组传送之间的空闲时间，链路 H_1-A 仍可为其他主机发送的分组使用。

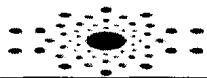
结点交换机 A 将主机 H_1 发来的分组放入缓冲区。假定从路由表中查出应将该分组送到结点交换机的端口 4。于是分组就经链路 A-C 到达结点交换机 C。当分组正在链路 A-C 传送时，该分组并不占用网络其他部分的资源。

结点交换机 C 继续按上述方式查找路由表，假定查出应从端口 3 进行转发。于是分组又经端口 3 向结点交换机 E 转发。当分组到达结点交换机 E 时，就将分组交给主机 H_5 。

假定在某一个分组的传送过程中，链路 A-C 的通信量太大并产生了拥塞，那么结点交换机 A 可以将分组转发端口改为端口 1。于是分组就沿另一个路由到达结点交换机 B。交换机 B 再通过其端口 3 将分组转发到结点交换机 E，最后将分组送到主机 H_5 。图 1-6 (a) 还画出了在网络中可同时有其他主机也在进行通信，如主机 H_2 经过结点交换机 B 和 E 与主机 H_6 通信。

这里要注意，结点交换机暂时存储的是一个短分组，而不是整个的长报文。短分组是暂存在交换机的内存中而不是存储在磁盘中。这就保证了较高的交换速率。

在图中只画了两对主机 (H_1 和 H_5 , H_2 和 H_6) 在进行通信。实际上，一个分组交换网



可以允许很多主机同时进行通信，而一个主机中的多个进程（即正在运行中的多道程序）也可以各自和不同主机中的不同进程进行通信。

在传送分组的过程中，由于采取了专门的措施，因而保证了数据的传送具有非常高的可靠性。这些将在今后各章讨论网络协议（protocol）时进行研究。

从以上所述可知，采用存储转发的分组交换，实质上是采用了在数据通信的过程中断续（或动态）分配传输带宽的策略。这对传送突发式的计算机数据非常合适，使得通信线路的利用率大大提高了。

为了提高分组交换网的可靠性，常采用网状拓扑结构，使得当发生网络拥塞或少数结点、链路出现故障时，可灵活地改变路由而不致引起通信的中断或全网的瘫痪。此外，通信网络的主干线路往往由一些高速链路构成，这样就能迅速地传送大量的计算机数据。

综上所述，分组交换网的主要优点可归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 分组交换的优点

优点	所采用的手段
高效	在分组传输的过程中动态分配传输带宽
灵活	每个结点均有智能，可根据情况决定路由和对数据做必要的处理
迅速	以分组作为传送单位，在每个结点存储转发；网络使用高速链路
可靠	完善的网络协议；分布式多路由的通信子网

当然，分组交换也带来一些新的问题。例如，分组在各结点存储转发时因要排队总会造成一定的时延。当网络通信量过大时，这种时延也可能会很大。此外，各分组必须携带的控制信息也造成了一定的额外开销。整个分组交换网还需要专门的管理和控制机制。

应当指出，从本质上讲，这种断续分配传输带宽的存储转发原理并非完全新的概念。古代就有的邮政通信，就其本质来说也是属于存储转发方式。而在 20 世纪 40 年代，电报通信也采用了基于存储转发原理的报文交换（message switching）。在报文交换中心，一份份电报被接收下来，并穿成纸带。操作员以每份报文为单位，撕下纸带，根据报文的目的地地址，拿到相应的发报机转发出去。这种报文交换的时延较长，从几分钟到几小时不等。分组交换虽然也采用存储转发原理，但由于在交换结点上使用了电子计算机，且分组为定长，其长度不大，完全可放在交换结点计算机的内存中进行处理，这就使分组的转发非常迅速。例如 ARPANET 的经验表明，在正常的网络负荷下，横跨美国东西海岸的端到端平均时延小于 0.1 秒。这样，分组交换虽然采用了某些古老的交换原理，但实际上已变成了一种崭新的交换技术。

图 1-7 表示电路交换、报文交换和分组交换的主要区别。图中的 A 和 D 分别是源结点和目的结点，而 B 和 C 是在 A 和 B 之间的中间结点。

从图 1-7 不难看出，若要连续传送大量的数据，且其传送时间远大于呼叫建立时间，则采用在数据通信之前预先分配传输带宽的电路交换较为合适。报文交换和分组交换不需要预先分配传输带宽，在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率。分组交换比报文交换的时延小，但其结点交换机必须具有更强的处理能力。

我们还可以看出，当端到端的通路是由很多段的链路组成时，采用分组交换传送数据



比用电路交换还有另一个好处。这是因为采用电路交换时，只要整个通路中有一段链路不能使用，通信就不能进行。就像我们给一个很远的用户打电话一样，由于要经过很多次转接，只要整个通路中有一段线路不能使用，电话就打通。但分组交换可以将数据一段一段地像接力赛跑那样传过去。

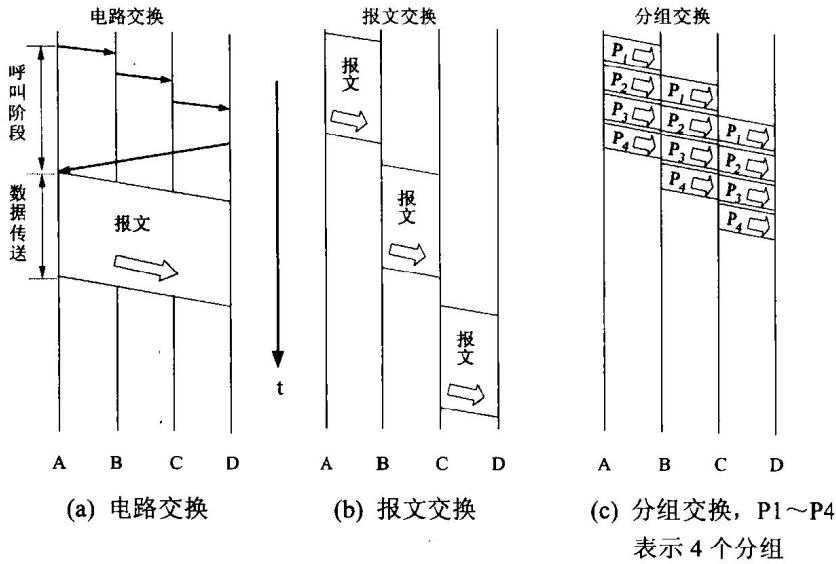


图 1-7 3 种交换的比较

ARPANET 的试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形网（图 1-8(a)），各终端通过通信线路共享主机的硬件和软件资源。但分组交换网则是以网络为中心（图 1-8(b)），主机和终端都处在网络的外围，构成了用户资源子网。用户通过分组交换网可共享用户资源子网的许多硬件和各种丰富的软件资源。在有些文献中，为了和用户资源子网对比，就将分组交换网称为通信子网。

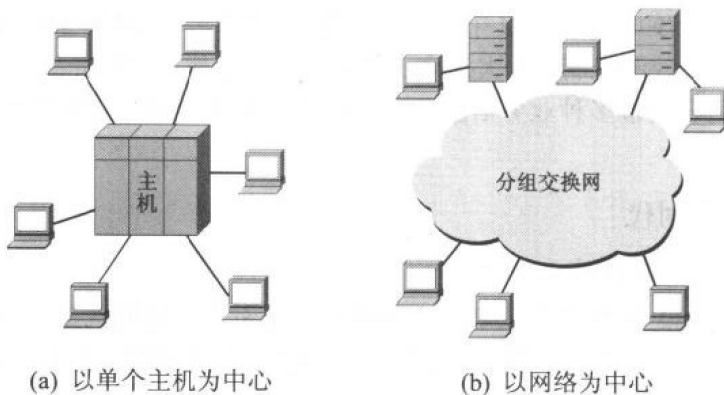


图 1-8 从以单个主机为中心

这种以通信子网为中心的计算机网络比最初的面向终端的计算机网络的功能扩大了很多，成为 20 世纪 70 年代计算机网络的主要形式。

必须指出，分组交换网之所以能得到迅速的发展，很重要的一个原因就是：分组交换