



21世纪高等学校信息类规划教材

计算机网络

(第四版)

编著◎谢希仁



大连理工大学出版社

计算机组成原理与系统结构(第2版)系列教材

计算机网络

第2版

李国杰 主编



清华大学出版社

◎1991 第二届全国优秀教材 ◎2002 全国普通高等学校优秀教材

21 世纪高等学校信息类规划教材

计 算 机 网 络

(第四版)

编著◎谢希仁

大连理工大学出版社

© 谢希仁 2004

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络 / 谢希仁编著 . —4 版 . —大连 : 大连理工大学出版社,
2004.2(2004.7 重印)

21 世纪高等学校信息类规划教材

ISBN 7-5611-2474-0

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(2004)第 006804 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市凌水河 邮政编码:116024

电话:0411-84706842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84707961

E-mail: dulp@dulp.cn URL: http://www.dulp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:23.75 字数:578 千字

附件:光盘一张 印数:292 001 ~ 302 000

1989 年 11 月第 1 版

2004 年 2 月第 4 版

2004 年 7 月第 36 次印刷

责任编辑:吕志军

责任校对:达 理

封面设计:孙宝福

定 价:26.80 元(附赠一张光盘)

第四版前言

自从 1989 年本教材第一版问世后,计算机网络技术已经发生了很大的变化。尽管现在是第四个版本了,但编者感到,要使教材与网络技术的发展相适应仍然是相当困难的。

虽然本教材中的新概念和协议都是他人提出的,但对教材的编者来说,还需要精心选择内容。在非常有限的篇幅中,首先是应当把基本原理讲清楚。和上一个版本相比较,这一版最大的变化就是更加突出了 TCP/IP 协议族和因特网的应用,同时删除了一些离 TCP/IP 主线较远的、较为陈旧的次要内容。

新版教材在重点问题上的阐述更加清楚了,例如,停止等待协议、路由器的结构和路由选择机制、子网掩码和 CIDR、TCP 的拥塞控制等。新增加的内容有:计算机网络的主要性能指标、链路层组帧的概念、虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT、系统调用和应用编程接口 API、传输实时数据的协议 RTP 和 RTCP 等。为了不使教材的篇幅过于膨胀,有的内容虽然也较新,如 MPLS 等,在这一版中也被删除了。由于 IP 技术的应用范围逐渐扩大,有关 ATM 技术的篇幅则适当地压缩了一些。

新版共有三个附录。附录 A 是最重要的一些英文缩写词,附录 B 是重要的参考文献与网址,附录 C 是部分习题解答或提示(而不是详细解题步骤)。

对于最基本的内容,在目录中的相应章节后面加上一个星号“*”。

随书赠送的 CD-ROM 是作者在多年教学中收集整理的**常见问题回答**。关于**计算机网络最基本概念的演示文件**是考虑到许多读者的要求而加入的。不少读者来信表示希望能够得到全课程的教学课件,但由于时间关系,目前还来不及制作出这样的课件。对此,编者深表歉意。希望这里给出的两个简单的演示文件可以帮助读者解决一些最基本的概念,也希望可以给打算制作课件的读者一些启发。

陈鸣、胡谷雨教授和杨心强、高素青、张兴元、齐望东、吴礼发、胥光辉副教授、张涛博士,以及在北京工作的赵刚副研究员,还有许多素不相识的教师和读者等,都对本书的修改提出了很多宝贵的意见。吴自珠副教授一直对本教材的出版给予全力支持。对这些,编者均表示诚挚的谢意。由于编者水平所限,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。

谢希仁

2003 年 12 月

于大连理工大学

目 录^①

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 分组交换的产生*	2
1.2.2 因特网时代*	8
1.2.3 关于因特网的标准化工作*	10
1.2.4 计算机网络在我国的发展	12
1.3 计算机网络的分类	13
1.3.1 计算机网络的不同定义	13
1.3.2 几种不同的分类方法	14
1.4 计算机网络的主要性能指标*	15
1.4.1 带宽	15
1.4.2 时延	17
1.4.3 时延带宽积和往返时延	18
1.5 计算机网络的体系结构*	19
1.5.1 计算机网络体系结构的形成	19
1.5.2 划分层次的必要性	21
1.5.3 具有五层协议的体系结构	23
1.5.4 实体、协议、服务和访问点	26
1.5.5 面向连接服务与无连接服务	27
1.5.6 OSI与TCP/IP体系结构的比较	28
1.6 应用层的客户-服务器方式*	29
习 题	31
第2章 物理层	33
2.1 物理层的基本概念*	33
2.2 数据通信的基础知识*	34
2.2.1 数据通信系统的模型	34
2.2.2 有关信道的几个基本概念	35
2.2.3 信道的最高码元传输速率	36
2.2.4 信道的极限信息传输速率	38

①(打上*号的表示最重要的内容)

2.3	物理层下面的传输媒体	39
2.3.1	导向传输媒体	39
2.3.2	非导向传输媒体	45
2.4	模拟传输与数字传输	47
2.4.1	模拟传输系统	48
2.4.2	调制解调器*	48
2.4.3	数字传输系统*	53
2.5	信道复用技术*	56
2.5.1	频分复用、时分复用和统计时分复用	56
2.5.2	波分复用	58
2.5.3	码分复用	59
2.6	同步光纤网 SONET 和同步数字系列 SDH*	61
2.7	物理层标准举例	63
2.7.1	EIA-232-E 接口标准*	63
2.7.2	RS-449 接口标准	66
2.8	宽带接入技术	66
2.8.1	xDSL 技术	67
2.8.2	光纤同轴混合网(HFC 网)	68
2.8.3	FTTx 技术	71
	习 题	71
第 3 章	点对点信道的数据链路层	73
3.1	数据链路层的基本概念*	73
3.1.1	数据链路层的简单模型	73
3.1.2	链路和数据链路	75
3.2	三个基本问题*	75
3.2.1	帧定界	75
3.2.2	透明传输	77
3.2.3	差错检测	78
3.3	停止等待协议*	79
3.3.1	停止等待协议的工作原理	80
3.3.2	停止等待协议的算法	81
3.3.3	停止等待协议的重传时间	83
3.4	发送窗口大于 1 的 ARQ 协议	85
3.4.1	连续 ARQ 协议的工作原理*	85
3.4.2	滑动窗口的概念*	86
3.4.3	连续 ARQ 协议的信道利用率*	89
3.4.4	选择重传 ARQ 协议	90
3.5	点对点协议 PPP*	90
3.5.1	PPP 协议的特点	90

3.5.2	PPP 协议的帧格式	93
3.5.3	PPP 协议的工作状态	94
3.6	HDLCL 协议	95
	习 题	96
第 4 章	局域网	98
4.1	局域网概述*	98
4.2	传统以太网	99
4.2.1	以太网的工作原理*	99
4.2.2	传统以太网的连接方法*	105
4.2.3	以太网的信道利用率	108
4.3	以太网的 MAC 层*	110
4.3.1	MAC 层的硬件地址	110
4.3.2	两种不同的 MAC 帧格式	113
4.4	扩展的局域网*	115
4.4.1	在物理层扩展局域网	115
4.4.2	在数据链路层扩展局域网	116
4.5	虚拟局域网	121
4.6	高速以太网*	122
4.6.1	100BASE-T 以太网	122
4.6.2	吉比特以太网	124
4.6.3	10 吉比特以太网	126
4.6.4	以太网接入	127
4.7	其他种类的高速局域网	128
4.7.1	100VG-AnyLAN 局域网	128
4.7.2	光纤分布式数据接口 FDDI	128
4.7.3	高性能并行接口 HIPPI	129
4.7.4	光纤通道	129
4.8	无线局域网	130
4.8.1	无线局域网的组成*	130
4.8.2	802.11 标准中的物理层	132
4.8.3	802.11 标准中的 MAC 层	133
	习 题	138
第 5 章	广域网	140
5.1	广域网的基本概念*	140
5.1.1	广域网的构成	140
5.1.2	数据报和虚电路	141
5.2	广域网中的分组转发机制*	143
5.2.1	在结点交换机中查找转发表	144
5.2.2	在路由表中使用默认路由	145

5.3 拥塞控制*	147
5.3.1 拥塞控制的意义	147
5.3.2 拥塞控制的一般原理	149
5.4 X.25网	150
5.5 帧中继 FR	152
5.5.1 帧中继的工作原理*	152
5.5.2 帧中继的拥塞控制	154
5.6 异步传递方式 ATM	155
5.6.1 ATM的基本概念*	155
5.6.2 ATM的协议参考模型	157
5.6.3 ATM的信元结构	161
5.6.4 ATM的逻辑连接机制	162
5.6.5 AAL层举例:AAL5	165
习 题	166
第6章 网络互连	169
6.1 路由器在网际互连中的作用*	169
6.1.1 路由器的构成	169
6.1.2 互连网与因特网	172
6.2 因特网的网际协议 IP*	173
6.2.1 分类的 IP 地址	174
6.2.2 IP 地址与硬件地址	178
6.2.3 地址解析协议 ARP 和逆地址解析协议 RARP	180
6.2.4 IP 数据报的格式	182
6.2.5 IP 层转发分组的流程	185
6.3 划分子网和构造超网*	187
6.3.1 划分子网	187
6.3.2 使用子网掩码的分组转发过程	190
6.3.3 无分类编址 CIDR	192
6.4 因特网控制报文协议 ICMP*	196
6.5 因特网的路由选择协议*	198
6.5.1 有关路由选择协议的几个基本概念	199
6.5.2 内部网关协议 RIP	201
6.5.3 内部网关协议 OSPF	204
6.5.4 外部网关协议 BGP	210
6.6 因特网中的多播	213
6.6.1 IP 多播的基本概念	213
6.6.2 因特网组管理协议 IGMP	216
6.6.3 多播路由选择	216
6.7 虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT	218

6.7.1 虚拟专用网 VPN	218
6.7.2 网络地址转换 NAT	220
6.8 下一代的网际协议 IPv6 (IPng)	220
6.8.1 解决 IP 地址耗尽的措施*	220
6.8.2 IPv6 的基本首部	221
6.8.3 IPv6 的编址	223
6.8.4 从 IPv4 向 IPv6 过渡	224
6.8.5 ICMPv6	226
习题	226
第 7 章 运输层	229
7.1 运输层协议概述*	229
7.2 TCP/IP 体系中的运输层*	231
7.2.1 运输层中的两个协议	231
7.2.2 端口的概念	232
7.3 用户数据报协议 UDP*	234
7.3.1 UDP 概述	234
7.3.2 UDP 用户数据报的首部格式	236
7.4 传输控制协议 TCP	237
7.4.1 TCP 概述*	237
7.4.2 TCP 报文段的首部*	237
7.4.3 TCP 的数据编号与确认*	240
7.4.4 TCP 的流量控制与拥塞控制*	242
7.4.5 TCP 的重传机制*	247
7.4.6 TCP 的运输连接管理*	249
7.4.7 TCP 的有限状态机	251
习题	253
第 8 章 应用层	256
8.1 域名系统 DNS*	256
8.1.1 域名系统概述	256
8.1.2 因特网的域名结构	257
8.1.3 用域名服务器进行域名解析	259
8.2 文件传送协议	262
8.2.1 概述	262
8.2.2 FTP 的基本工作原理*	262
8.2.3 简单文件传送协议 TFTP	264
8.3 远程终端协议 TELNET	264
8.4 电子邮件*	265
8.4.1 概述	265
8.4.2 简单邮件传送协议 SMTP	268

8.4.3	电子邮件的信息格式	269
8.4.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	270
8.4.5	通用因特网邮件扩充 MIME	271
8.5	万维网 WWW	274
8.5.1	概述*	274
8.5.2	统一资源定位符 URL*	276
8.5.3	超文本传送协议 HTTP*	278
8.5.4	超文本标记语言 HTML*	282
8.5.5	万维网页面中的超链*	286
8.5.6	动态万维网文档与活动万维网文档	289
8.5.7	万维网上的信息检索系统	290
8.6	引导程序协议 BOOTP 与动态主机配置协议 DHCP*	292
8.6.1	引导程序协议 BOOTP	292
8.6.2	动态主机配置协议 DHCP	293
8.7	简单网络管理协议 SNMP	294
8.7.1	网络管理的基本概念*	294
8.7.2	简单网络管理协议 SNMP 概述	296
8.7.3	管理信息库 MIB	297
8.7.4	SNMPv1 的五种协议数据单元	298
8.7.5	SNMPv2 和 SNMPv3	299
8.8	应用进程跨越网络的通信	300
8.8.1	系统调用和应用编程接口*	300
8.8.2	服务器的两种工作方式	302
8.8.3	进程通过系统调用接口进行通信的过程	303
	习 题	305
第 9 章	计算机网络的安全	308
9.1	网络安全问题概述*	308
9.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	308
9.1.2	计算机网络安全的内容	309
9.1.3	一般的数据加密模型	310
9.2	常规密钥密码体制*	311
9.2.1	替代密码与置换密码	311
9.2.2	数据加密标准 DES	313
9.3	公开密钥密码体制*	316
9.3.1	公开密钥密码体制的特点	316
9.3.2	RSA 公开密钥密码体制	317
9.3.3	数字签名	319
9.4	报文鉴别*	320
9.5	密钥分配	321

9.6 电子邮件的加密	323
9.6.1 PGP	323
9.6.2 PEM	324
9.7 链路加密与端到端加密*	324
9.7.1 链路加密	324
9.7.2 端到端加密	325
9.8 因特网商务中的加密	325
9.8.1 安全插口层 SSL	325
9.8.2 安全电子交易 SET	327
9.9 因特网的网络层安全协议族 IPsec	328
9.10 防火墙*	329
习 题	330
第 10 章 因特网上的实时通信量	332
10.1 实时通信量的特点*	332
10.2 因特网的多媒体体系结构	334
10.2.1 实时运输协议 RTP	334
10.2.2 实时运输控制协议 RTCP	336
10.2.3 实时流式协议 RTSP	337
10.3 IP 电话	338
10.3.1 IP 电话概述*	338
10.3.2 H.323	340
10.3.3 会话发起协议 SIP	341
10.3.4 IP 电话的通话质量	342
10.4 改进“尽最大努力交付”的服务	343
10.4.1 使因特网提供服务质量	344
10.4.2 调度和管制机制	345
10.4.3 综合服务 IntServ 与资源预留协议 RSVP	348
10.4.4 区分服务 DiffServ	349
习 题	351
附录 A 重要英文缩写词	353
附录 B 参考文献和网址	359
附录 C 部分习题的解答	361

第 1 章 概 述

1.1 计算机网络在信息时代中的作用

我们已经进入了 21 世纪。21 世纪的一些重要特征就是数字化、网络化和信息化，它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。网络对社会生活的很多方面以及对社会经济的发展均产生了不可逆转的影响。

这里所说的网络是指“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）、有线电视网络和计算机网络。虽然这三种网络在信息化过程中都起到了十分重要的作用，但其中发展最快的并起核心作用的是计算机网络，而这正是本书所要讨论的内容。

进入 20 世纪 90 年代以后，以因特网（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因特网的时代，这是因为因特网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（尤其是因特网的发源地美国）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，因特网是自印刷术以来人类通信方面最大的变革。现在人们的生活、工作、学习和交往都已离不开因特网。

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，建议将各国的 NII 互连起来组成世界范围的信息基础结构。当前的因特网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。

下面我们将从计算机网络的发展开始讨论。

1.2 计算机网络的发展过程

1.2.1 分组交换的产生

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。

现代计算机网络实际上是 20 世纪 60 年代美苏冷战时期的产物。在 60 年代初，美国国防部领导的远景研究规划局 ARPA (Advanced Research Project Agency)^① 提出要研制一种崭新的、能够适应现代战争的、生存性 (survivability) 很强的网络，其目的是对付来自前苏联的核进攻威胁。我们知道，传统的电路交换 (circuit switching) 的电信网虽然已经四通八达，但在战争期间，一旦正在通信的电路中有一个交换机或有一条链路被炸毁，则整个通信电路就要中断。如要立即改用其他迂回电路通信，还必须重新拨号建立连接。这将要延误一些时间（例如十几秒钟），但这也可能造成不可挽回的重大损失。

根据当时美国军方提出的需求，这种新型的网络必须满足以下的一些基本要求：

(1) 和传统的电信网不同，这种新型的网络不是为了打电话，而是用于计算机之间的数据传送。

(2) 新型的网络能够连接不同类型的计算机，即不局限于单一类型的计算机。

(3) 所有的网络结点都同等重要。因为网络必须经受得起敌人的核打击，所以在网络中不能有某些特别重要的结点^②，否则敌人将首先瞄准和摧毁这些重要的结点。将所有的结点设计成同等重要的，就可以大大提高网络的生存性。

(4) 计算机在进行通信时，必须有冗余的路由。当网络中的某一个结点或链路被破坏时，冗余的路由能够使正在进行的通信自动地找到合适的路由，使通信维持畅通。

(5) 网络的结构应当尽可能地简单，但能够非常可靠地传送数据。

根据以上的这些要求，一批专家终于设计出了使用分组交换 (packet switching) 的新型计算机网络。为了掌握分组交换的概念，我们先简单地回顾一下电路交换的特点。

在电话问世后不久，人们就发现，要让所有的电话机都两两相连接是不现实的。图 1-1(a) 表示两部电话机只需要用一对电线就能够互相连接起来。但若有 5 部电话机要两两相连，则需要 10 对电线，见图 1-1(b) 所示。显然，若 N 部电话机要两两相连，就需要 $N(N-1)/2$ 对电线。当电话机的数量很大时，这种连接方法需要的电线数量就太大了（与电话机的数

^① 也有人将 ARPA 译为“高级研究计划署”。本书采用的译名取自清华大学编写的《英汉技术词典》，国防工业出版社，1978 年。ARPA 后来称为 DARPA，而 D 代表国防部 (Defense)。

^② 请读者注意：“结点”的英文名词是 node。虽然 node 有时也可译为“节点”，但这是指像天线上的驻波的节点，即像竹竿的“节”。在网络中的 node 的标准译名是“结点”而不是“节点” [MINGCI94]。这里的带方括弧的字符串表示可参考的文献，在本书的附录 B 中可查到。

量的平方成正比)。于是人们认识到,要使得每一部电话机能够很方便地和另一部电话机进行通信,就应当使用电话交换机将这些电话机连接起来,如图 1-1(c)所示。每一部电话机都连接到交换机上,而交换机使用交换的方法,让电话用户彼此之间可以很方便地通信。一百多年来,电话交换机虽然经过多次更新换代,但交换的方式一直都是电路交换^①。

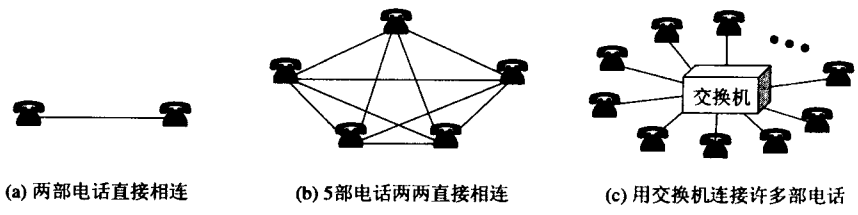


图 1-1 电话机的不同连接方法

当电话机的数量增多时,就要使用很多彼此连接起来的交换机来完成全网的交换任务。用这样的方法,就构成了覆盖全世界的电信网。

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。在使用电路交换打电话之前,必须先拨号建立连接。当拨号的信令通过许多交换机到达被叫用户所连接的交换机时,该交换机就向用户的电话机振铃。在被叫用户摘机且挂机信令传送到主叫用户所连接的交换机后,呼叫即完成。这时,从主叫端到被叫端就建立了一条连接(物理通路)。此后主叫和被叫双方才能互相通电话。通话完毕挂机后,挂机信令告诉这些交换机,使交换机释放刚才使用的这条物理通路。这种必须经过“建立连接→通信→释放连接”三个步骤的连网方式称为面向连接的(connection-oriented)。电路交换必定是面向连接的。

图 1-2 为电路交换的示意图。为简单起见,图中没有区分市话交换机和长途电话交换机。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是许多用户共享的,正在通话的用户只占用了其中的一个话路,而在通话的全部时间内,通话的两个用户始终占用端到端的固定传输带宽。图中电话机 A 和 B 之间的通路共经过了四个交换机,而电话机 C 和 D 是属于同一个交换机的地理覆盖范围内的用户,因此这两个电话机之间建立的连接就不需要再经过其他的交换机。

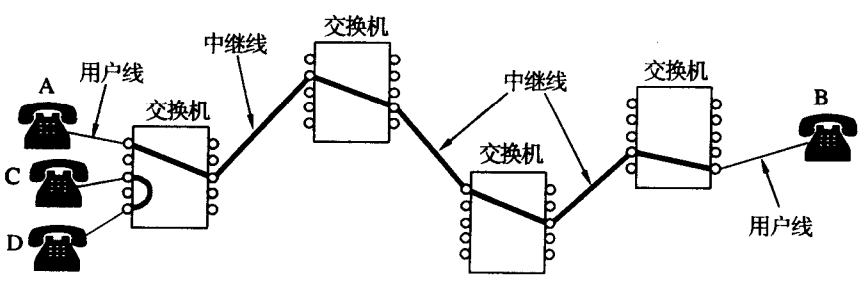


图 1-2 电路交换的示意图

^① 电路交换的特征是基于位置(position-based)。对于已数字化的网络,电路交换就是在某一位置的比特经交换后变更到另一个位置上。电路交换有多种形式。空分交换是交换比特流所经过的交换机的端口号,时分交换是交换比特所在的时隙,而波分交换则是交换承载比特的光的波长。

当使用电路交换来传送计算机数据时，其线路的传输效率往往很低。这是因为计算机数据是突发式地出现在传输线路上的，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，已被用户占用的通信线路实际上是空闲的。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返回时，宝贵的通信线路资源实际上并未被利用而是白白地被浪费了。

分组交换则采用**存储转发技术**^①。图1-3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^②。在每一个数据段前面，加上一些必要的控制信息组成的**首部** (header) 后，就构成了一个**分组** (packet)。分组又称为“包”，而分组的首部也可称为“**包头**”。分组是在计算机网络中传送的数据单元。在一个分组中，“首部”是非常重要的，正是由于分组的首部包含了诸如目的地址和源地址等重要控制信息，每一个分组才能在分组交换网中独立地选择路由。因此，分组交换的特征是**基于标记** (label-based)。上述的分组首部就是一种标记。使用分组交换时，在传送数据之前可以不必先建立一条连接。这样就减少了建立连接和释放连接所需的开销，使得数据的传输效率更高。这种不先建立连接而随时可发送数据的连网方式，称为**无连接** (connectionless) 方式。

分组交换还可以使用面向连接方式 (如将在第 5 章讨论的几种广域网)。因此面向连接的网络不一定是电路交换的网络。

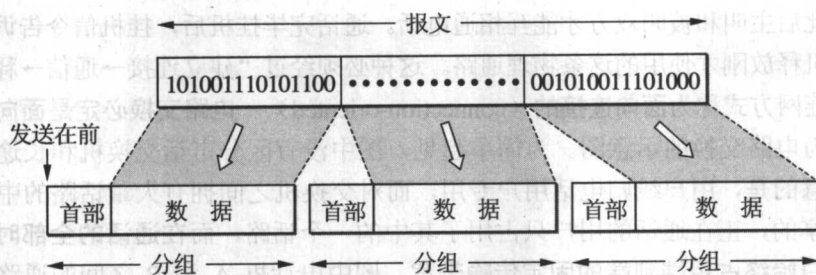


图 1-3 分组的概念

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 1-4(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 1-4(b)和图 1-4(a)的表示方法是一样的，但强调了结点交换机具有多个端口的概念。端口就是结点交换机和外部线路相连接的地方。图 1-4(b)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，所连接的链路速率较低。而一些小方框表示的一组端口则用高速链路和网络中其他的结点

① 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，美国国防部远景研究规划局 DARPA 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。

② 在本书中，bit 和 b 都表示“比特”。在计算机领域中，bit 常译为“位”。在许多情况下，“比特”和“位”是可以通用的。在使用“位”作为单位时，请特别注意是二进制的“位”还是十进制的“位”。

交换机的相连。图中 H_1 到 H_6 都是一些可进行通信的计算机，但在计算机网络中常称它们为主机 (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。在图 1-4 中的主机和结点交换机都是计算机，但它们的作用明显不同。主机是为用户进行信息处理的，并且可以通过网络和其他的主机交换信息。结点交换机则是进行分组交换的，是用来转发分组的。各结点交换机之间也要经常交换路由信息，但这是为了进行路由选择，即为转发分组找出一条最好的路径。

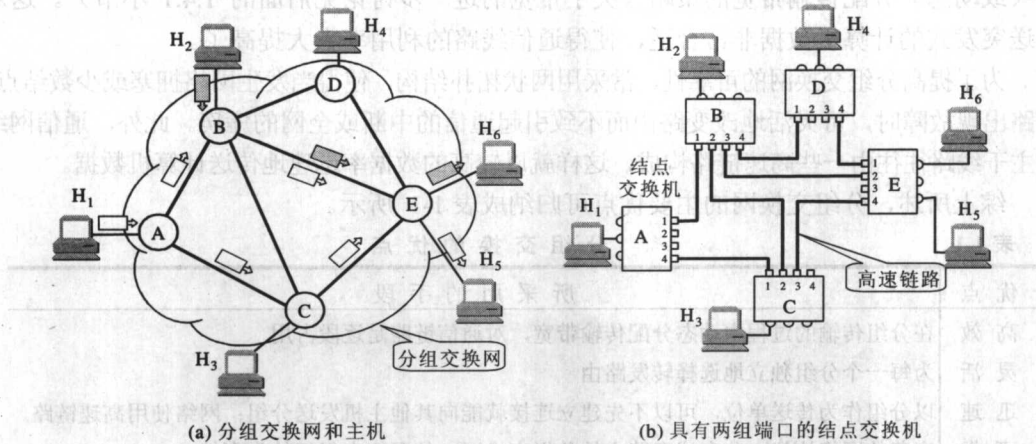


图 1-4 分组交换网的示意图

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存，再查找转发表，找出到某个目的地址应从哪个端口转发，然后由交换机构将该分组传递给适当的端口转发出去。

现在假定图 1-4(b)的主机 H_1 向主机 H_5 发送数据。主机 H_1 先将分组逐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 发来的分组放入缓存。假定从结点交换机 A 的转发表中查出应将该分组送到该结点交换机的端口 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转发表，假定查出应从其端口 3 进行转发。于是分组又经结点交换机 C 的端口 3 向结点交换机 E 转发。当分组到达结点交换机 E 时，交换机 E 就将分组直接交给主机 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，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 1-4(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存储器（即内存）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