

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

计算机网络 体系结构

华北电力大学

李丽芬 程晓荣 吴克河 编著



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century

计算机网络 体系结构

编 著 李丽芬 程晓荣 吴克河
主 审 张玉明



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书系统地介绍了计算机网络的基本知识和原理,充分体现了计算机网络发展中的新问题、新技术、新方法。全书以计算机网络体系结构为主线,从网络的不同层次讲解了其体系结构、协议,各层次的主要问题、解决方法、相关技术和原理,以及网络安全、网络管理等内容。各章均附有练习题。此外,在附录中给出了各章实验项目、实验目的、实验要求、实验内容、实验指导和相关实验实例。这些均是作者在长期的教学实践中的提炼和总结,供读者参考。

本书适用于计算机科学与技术专业、计算机网络工程专业、网络信息安全专业及理工科相关专业的教学,同时也适用于从事相关工作的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机网络体系结构/李丽芬,程晓荣,吴克河编著.
北京:中国电力出版社,2006.1

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 7 - 5083 4047 - 7

I. 计... II. ①李... ②程... ③吴... III. 计算机
网络—网络结构—高等学校—教材 IV. TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003906 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 462 千字
印数 0001—3000 册 定价 29.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本教材为中国电力出版社 21 世纪高等学校规划教材之一,在编写过程中,作者根据多年计算机网络教学经验,并对与计算机网络相关的国内外教材进行了较深入的研究,参考了大量最新资料,力求符合教学和广大科技人员的要求。

现有书籍中专门介绍网络体系结构的并不多见,而本教材以计算机网络体系结构为主线,重点突出了体系结构及各层协议的原理与技术,从网络的不同层次上讲解了网络的体系结构、协议,各层次的主要问题、解决方法和相关技术、原理,以及网络安全、网络管理等内容。书中各章配有练习题使读者能加深理解和巩固所学的知识。此外,在附录中给出了各章的实验项目,包括实验题目、实验目的、实验要求、实验内容、实验指导和相关实验实例。本书特色鲜明、结构合理,反映了计算机网络发展的新理论、新思想,可满足培养计算机网络科技人才及网络应用人才的教学需要。

全书共由十一章和附录组成。第一章主要介绍了计算机网络的基本概念、组成、分类及协议的标准化等内容;第二章介绍了计算机网络体系结构;第三章介绍了计算机网络的数据通信基础知识;第四章介绍了计算机网络的低三层;第五章介绍了计算机网络的运输层;第六章介绍了计算机网络的高三层;第七章介绍了计算机局域网及其体系结构;第八章介绍了计算机广域网及其体系结构;第九章介绍了互联网及其体系结构;第十章介绍了网络管理与安全的基本知识;第十一章介绍了计算机网络体系结构的发展;附录介绍了计算机网络体系结构课程的实验。

本教材按教学学时数 50~70 学时、实验 20~40 学时编写,先修课程为《计算机组成原理》、《数字逻辑》、《模拟电子》、《计算机操作系统》。可作为计算机科学与技术、计算机网络工程、网络信息安全等专业及理工科相关专业的本科教材,也可作为科技人员的参考资料。

在本教材的编写过程中,参考了一些相关资料,这些资料都已列入书后的参考文献中,谨对这些资料的作者深表谢意。

本书的出版得到了华北电力大学计算机学院领导和同仁的大力支持和帮助,华北电力大学的李莉老师参与了部分编写及书稿的编辑工作,张玉明教授认真仔细地审阅了初稿,修改了书中的不妥之处,并提出了许多宝贵建议,在此表示衷心感谢。同时也对在教材编写过程中给予过帮助和支持的老师、同学一并表示诚挚的谢意。

由于各高校对学生的培养目标、教学要求和办学特色有差别,因此希读者及时提出批评和改进意见,以便进一步的修改和完善。由于水平所限,难免有错误出现,书中如有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

目 录

前言

第1章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的产生与发展	1
1.1.1 20世纪60年代:面向终端分布的计算机系统	1
1.1.2 20世纪70年代:分组交换网(PSN)出现	2
1.1.3 20世纪80年代:开放式标准化网络	6
1.1.4 20世纪90年代:现代网络技术和协同计算技术的发展	6
1.2 计算机网络的定义、组成及分类	7
1.2.1 计算机网络的定义	7
1.2.2 计算机网络的组成	7
1.2.3 计算机网络的分类	8
1.3 计算机网络体系结构的发展	10
1.4 计算机网络协议标准化	13
习题一	15
第2章 计算机网络体系结构	16
2.1 网络的层次体系结构	16
2.1.1 网络体系结构的设计原理	16
2.1.2 网络体系结构分层的原则	17
2.1.3 网络体系结构	18
2.2 ISO/OSI 参考模型	19
2.2.1 OSI 简介	19
2.2.2 各层功能简介	19
2.2.3 OSI 参考模型的主要特征	21
2.3 网络体系结构的基本特征	21
2.3.1 基本概念	21
2.3.2 两种服务	29
2.4 TCP/IP 协议簇	31
2.4.1 TCP/IP 协议簇简介	31

2.4.2 各层功能	31
2.4.3 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型的比较	33
习题二	34
第 3 章 数据通信基础	36
3.1 数据通信的基本概念及原理	36
3.1.1 模拟数据通信和数字数据通信	36
3.1.2 数据通信中的主要技术指标	39
3.1.3 数据传输方式	40
3.1.4 同步、异步传输基本概念	41
3.2 数据编码技术	43
3.2.1 数字数据的模拟信号编码	43
3.2.2 模拟数据的数字信号编码	44
3.2.3 数字数据的数字信号编码	44
3.3 多路复用技术	47
3.4 差错控制编码	53
3.4.1 奇偶校验码	53
3.4.2 循环冗余码(CRC)	56
3.4.3 海明码	56
3.5 传输媒体	57
3.5.1 双绞线	58
3.5.2 同轴电缆	59
3.5.3 光缆	59
3.5.4 无线传输介质	60
习题三	61
第 4 章 OSI 的低三层	62
4.1 物理层	62
4.1.1 物理层功能	62
4.1.2 物理层协议	63
4.2 数据链路层	65
4.2.1 数据链路层概述	65
4.2.2 数据链路层协议基本原理	67
4.2.3 HDLC 的基本工作原理	71
4.2.4 PPP 协议	73

4.3 网络层	75
4.3.1 网络层概述	75
4.3.2 网络层提供的服务	76
4.3.3 路由选择算法	78
4.3.4 拥塞控制	83
习题四	85
第5章 运输层	87
5.1 运输层概述	87
5.1.1 运输层地位与功能	87
5.1.2 运输协议分类	88
5.2 运输服务	90
5.2.1 运输服务类型	90
5.2.2 运输服务质量	90
5.2.3 传输服务原语	91
5.3 运输协议	93
5.3.1 运输协议的元素	93
5.3.2 编址	94
5.3.3 连接管理	96
5.3.4 多路复用	102
习题五	104
第6章 OSI的高三层	105
6.1 会话层	105
6.1.1 会话层功能与模型	105
6.1.2 会话服务	106
6.1.3 会话协议	110
6.2 表示层	113
6.2.1 表示层功能与模型	113
6.2.2 表示服务	115
6.2.3 抽象语法表示法 ASN.1 及基本编码规则	115
6.3 应用层	119
6.3.1 应用层功能和模型	119
6.3.2 CASE 和 SASE	120
6.3.3 X.400 MHS 功能模型和原理	123

习题六	126
第7章 局域网及其体系结构	127
7.1 局域网简介	127
7.1.1 局域网概述	127
7.1.2 局域网的拓扑结构	127
7.2 局域网的体系结构	129
7.2.1 局域网的体系结构:IEEE802 参考模型	129
7.2.2 局域网的逻辑链路控制 LLC	130
7.3 CSMA/CD 与 IEEE802.3 标准	132
7.3.1 CSMA/CD	132
7.3.2 IEEE 802.3, Ethernet	134
7.4 交换式以太网及快速以太网	139
7.4.1 交换式以太网	139
7.4.2 虚拟局域网(VLAN)	141
7.4.3 100Mb/s 快速以太网	141
7.4.4 1Gb/s 高速以太网技术	142
7.5 无线局域网	144
7.6 局域网扩展	147
7.6.1 中继器	147
7.6.2 网桥	148
习题七	149
第8章 广域网及其体系结构	151
8.1 广域网的构成及参考模型	151
8.1.1 广域网构成	151
8.1.2 广域网参考模型	152
8.2 广域网的路由	152
8.2.1 广域网的编址	152
8.2.2 广域网中的数据包转发	153
8.3 广域网技术	154
8.3.1 ISDN 技术	154
8.3.2 SONET/SDH 技术	157
8.3.3 帧中继 FR 技术	159
8.3.4 ATM 技术	161

8.3.5 DWDM 技术	166
8.3.6 卫星通信技术	167
8.4 接入网技术	168
8.4.1 铜线接入网技术	169
8.4.2 光纤接入技术	173
8.4.3 无线接入网技术	175
8.4.4 V5. X	180
习题八	182
第9章 互联网及其体系结构	183
9.1 网络互联的概念	183
9.2 路由器	184
9.2.1 路由器的工作原理	184
9.2.2 路由器的功能	184
9.3 互联网协议 IP	184
9.3.1 IP 地址	184
9.3.2 IP 数据报	187
9.3.3 数据报转发	189
9.3.4 IP 封装、分段和重组	190
9.4 差错报告机制(ICMP)	193
9.5 Internet 路由协议	196
9.5.1 分层次的路由选择协议	196
9.5.2 内部网关协议 RIP	196
9.5.3 内部网关协议 OSPF	198
9.5.4 外部网关协议 BGP	206
9.6 下一代网络互联协议 IPv6	209
9.7 TCP 与 UDP	210
9.7.1 端口	210
9.7.2 UDP	211
9.7.3 TCP	212
9.8 Internet 服务与应用	218
9.8.1 DNS	218
9.8.2 E-mail(SMTP)	219
9.8.3 FTP	221

9.8.4 WWW	225
习题九	229
第 10 章 网络管理与安全	231
10.1 网络管理的概念与功能	231
10.1.1 网络管理的基本概念	231
10.1.2 SNMP 协议的内容	235
10.1.3 RMON 概念	239
10.2 网络安全概念	239
10.2.1 OSI 安全体系结构和 Internet 安全策略	239
10.2.2 数据加密模型	242
10.2.3 常规密钥密码体制	243
10.2.4 公开密钥密码体制	246
10.2.5 鉴别与数字签名	248
10.2.6 防火墙	250
10.3 网络安全技术的应用	255
习题十	257
第 11 章 计算机网络体系结构的发展	258
11.1 主动网络及其体系结构	258
11.1.1 AN 新概念	258
11.1.2 AN 体系结构	259
11.1.3 分组处理过程	260
11.1.4 硬件体系结构	261
11.2 IP over 光网络	262
11.2.1 IP over SDH	262
11.2.2 IP over WDM 网络体系结构	265
11.3 多协议标记交换技术(MPLS)	268
11.3.1 MPLS 出现的背景	268
11.3.2 MPLS 的基本原理	269
11.3.3 MPLS 与传统 IP 转发的比较	269
11.3.4 MPLS 数据单元和标记格式	270
11.3.5 MPLS 的路由技术	271
11.3.6 MPLS 的 VPN 技术	273
11.3.7 GMPLS	276

11.4 智能光网络	278
11.4.1 智能光网络的标准和体系结构	279
11.4.2 智能光网络的标准	281
11.4.3 智能光网络的优势	282
11.4.4 智能光网络提供的服务	283
11.5 蓝牙技术	283
11.5.1 “蓝牙”(Bluetooth)的由来	283
11.5.2 蓝牙技术	284
11.5.3 蓝牙技术的应用领域	285
11.5.4 蓝牙技术的现状与前景	286
11.6 Ad Hoc 网络	287
11.6.1 Ad Hoc 网络的起源和定义	287
11.6.2 Ad Hoc 网络的特点	288
11.6.3 Ad Hoc 网络的应用	289
11.6.4 Ad Hoc 网络的结构	290
11.6.5 无线 Ad Hoc 网络的关键技术	291
11.6.6 Ad Hoc 路由协议	292
习题十一	294
附录	295
实验一 RJ-45 插头制作及连线	295
实验二 Cisco IOS 路由配置	295
实验三 虚拟局域网(VLAN)划分	300
实验四 路由器上广域网协议配置	303
实验五 路由器配置——拨号网络	306
实验六 运输层实验	307
参考文献	310

第1章 计算机网络概述

1.1 计算机网络的产生与发展

计算机网络是计算机技术与通信技术结合的产物,它已成为计算机应用中一个必不可少的方面,对整个社会的进步做出了巨大的贡献。计算机网络出现的历史不长,但发展很快,它的发展经历了几个阶段:20世纪60年代产生,20世纪70年代兴起,20世纪70年代中期到20世纪80年代迅速发展并开始网络互联,20世纪90年代广泛地互联网应用等。

1.1.1 20世纪60年代:面向终端分布的计算机系统

任何一种新技术的出现都必须具备两个条件:强烈的社会需求与先期技术的成熟。计算机网络技术的形成与发展也证实了这条规律。1946年世界上第一台数字电子计算机ENIAC在美国诞生时,计算机技术与通信技术并没有直接的联系。20世纪50年代初,由于美国军方的需要,美国半自动地面防空系统SAGE进行了计算机技术与通信技术相结合的尝试。它将远程雷达与其他测量设施测到的信息通过长达241万千米的通信线路与一台IBM计算机连接,进行集中的防空信息处理与控制。要实现这样的目的,首先要完成数据通信技术的基础研究。在这项研究的基础上,人们完全可以将地理位置分散的多个终端通过通信线路连到一台中心计算机上。用户可以在自己的办公室内的终端键入程序,通过通信线路传送到中心计算机,分时访问使用其资源和进行信息处理,处理结果再通过通信线路回送到用户终端显示或打印。人们把这种以单机为中心的联机系统称作面向终端的远程联机系统。20世纪60年代初,美国航空公司建成的由一台计算机与分布在全美国的2000多个终端组成的航空订票系统SABRE-1就是这种计算机通信网络。

面向终端的远程联机系统是计算机与通信技术结合的前驱,它把多台远程终端设备通过公用电话网连接到一台中央计算机,解决远程信息收集、计算和处理。根据信息处理方式的不同,它们还可分为实时处理联机系统、成批处理联机系统和分时处理联机系统。面向终端的远程联机系统虽还称不上计算机网络,但它提供了计算机通信的许多基本技术,而这种系统本身也成为以后发展起来的计算机网络的组成部分。因此,这种终端联机系统也称为面向终端分布的计算机通信网。也有人称它为第一代的计算机网络。图1-1是这类计算机网络的示意图。在主机边设置前置通信处理机FEP(Front End Processor),由FEP专门负责与远程终端的通信,减轻主机的负担,让主机专门负责数据处理、计算任务。在远程终端比较集中的地方加一个终端集中器TC(Terminator Concentrator),其一端用多条低速通信线路与各终端相连,在另一端通过一条高速线路与主机相连。这

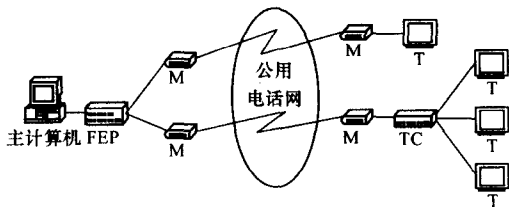


图 1-1 面向终端分布的计算机系统

M—调制解调器；T—终端

样,可以减少通信线路的数量和降低成本费用。

1.1.2 20 世纪 70 年代:分组交换网 (PSN) 出现

随着计算机应用的发展,出现了多台计算机互联的需求。这种需求主要来自军事、科学研究、地区与国家经济信息分析决策、大型企业经营管理。他们希望将分布在不同地点的计算机通过通信线路互联成为计算机—计算机网络。网络用户可以通过计算机使用本地计算机的软件、硬件与数据资源,也可以使用联网的其他地方计算机软件、硬件与数据资源,以达到计算机资源共享的目的。这一阶段研究的典型代表是美国国防部高级研究计划局 ARPA (Advanced Research Projects Agency) 的 ARPANET (通常称为 ARPA 网)。

1969 年美国国防部高级研究计划局提出将多个大学、公司和研究所的多台计算机互联的课题。1969 年 ARPANET 只有 4 个节点,1973 年发展到 40 个节点,1983 年已经达到 100 多个节点。ARPANET 通过有线、无线与卫星通信线路,使网络覆盖了从美国本土到欧洲与夏威夷的广阔地域。ARPANET 是计算机网络技术发展的一个重要的里程碑,为计算机网络的发展奠定了基础。ARPANET 中提出的一些概念和术语至今仍被引用。ARPANET 开创了第二代计算机网络,它的影响之深远,还在于由它发展成为了今天在世界范围广泛应用的国际互联网络 Internet,它的 TCP/IP 协议簇已成为事实上的国际标准。

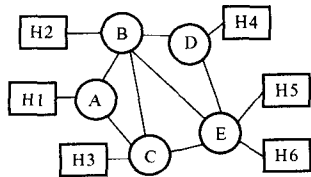


图 1-2 交换网结构示意图

ARPANET 是由通信子网 (Communication Subnet) 和资源子网 (Resource Subnet) 组成的两级结构的计算机网络,如图 1-2 所示。A~E 为交换节点,又称接口报文处理机 IMP (Interface Message Processor),由它们和它们之间互联的通信线路一起构成了通信子网,负责主机 H1~H6 之间的通信任务,实现信息传输与交换。由通信子网互联的主机 H1~H6 组成资源子网,负责信息处理、运行用户应用程序、向网络

用户提供可共享的软硬件资源。

ARPANET 采用崭新的分组交换原理。

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。交换即转接,是在交换通信网中实现数据传输必不可少的技术。常用的交换技术有三种:电路交换 (线路交换)、分组交换 (包交换) 和报文交换,下面介绍几种交换技术及其特点。

1. 电路交换

电路交换是一种直接的交换方式,它为一对需要进行通信的装置 (站) 之间提供一条临时的专用通道,即提供一条专用的传输通道,既可以是物理通道又可以是逻辑通道 (使用时分或频分复用技术)。这条通道是由节点内部电路对节点间传输路径经过适当选择、连接而完成的,是由多个节点和多条节点间传输路径组成的链路。

目前公用电话网广泛使用的交换方式是电路交换,经由电路交换的通信包括三个阶段:

(1) 电路建立。通过源站点请求完成交换网中对应的所需逐个节点的接续 (连接) 过程,以建立起一条由源站到目的站的传输通道。例如,图 1-2 中, H1 与 H4 要完成通信,其过程为 H1 向节点 A 申请,通常,从 H1 到 A 的链路是专用线,节点 A 在 A-B, A-C 两条传输路径中选择一条作为通路,如选择 A-B,并在节点 A 内部建立 H1-A 路径与

A—B路径间的连接,依次类推,之后节点B内部建立A—B和B—D路径之间的连接,最后节点D内部建立B—D路径和D—H4路径之间的连接,最终完成H1—H4之间的传输通道为H1—A—B—D—H4。

(2) 数据传输。电路建立后,信号可以从H1经建立的电路传送到H4,通常为全双工传输。在整个数据传输过程中,所建立的电路必须始终保持连接状态。

(3) 电路拆除。在完成数据或信号的传输后,由源站或目的站提出终止通信请求,各节点相应拆除该电路的对应连接,释放由原电路占用的节点和信道资源。

电路交换具有下列特点:

(1) 呼叫建立时间长且存在呼损。在电路建立阶段,在两站间建立一条专用通路需要花费一段时间,这段时间称为呼叫建立时间。在电路建立过程中由于交换网繁忙等原因而使建立失败,对于交换网则要拆除已建立的部分电路,用户需要挂断重拨,这称为呼损。

(2) 电路连通后提供给用户的是“透明通路”,即交换网对用户信息的编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不加以限制,但对通信双方而言,必须做到双方的收发速度、编码方法、信息格式、传输控制等一致才能完成通信。

(3) 一旦电路建立后,数据以固定的速率传输,除通过传输链路的传播延迟以外,没有别的延迟,在每个节点的延迟是可以忽略的,适用于大批量连续的实时数据传输。

(4) 线路(信道)利用率低。电路建立、进行数据传输,直至通信链路拆除为止,信道是专用的,再加上通信建立时间、拆除时间和呼损,其利用率就较低。

电路交换的关键是,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。电路交换方式的优点是传输可靠,不会丢失、失序,没有延迟。但是电路交换方式有时可能是非常浪费的,因为一旦连接建立好后,即便两个站点间没有数据要传输,网络资源也无法供其他用户使用。例如终端和计算机间通信等交互式应用,大多数时间信道处于空闲状态。同时,如果连接生命期非常短,连接建立和释放带来的开销可能会得不偿失。因此,电路交换一般适用于系统间要求高质量的大量的数据传输。

传统的电路交换技术不适合计算机数据的传输,因为计算机的数据是突发式和间歇性的出现在传输线路上,在整个占线期间,真正传送数据的时间往往不到10%甚至只有1%。另外,呼叫过程相对传送数据时间来说也太长,因此就要寻找一种新的方式。

2. 报文交换

在报文交换网中,网络节点通常为一台专用计算机,带有足够的外存,以便在报文进入时,进行缓冲存储。节点接收一个报文之后,报文暂存放在节点的存储设备之中,等输出线路空闲时,再根据报文中所附的目的地址转发到下一个合适的节点,如此往复,直到报文到达目标数据终端。所以报文交换也称为存储转发(store and forward)。

在报文交换中,每一个报文由传输的数据和报头组成,报头中有源地址和目标地址。节点根据报头中的目标地址为报文进行路径选择,并且对收发的报文进行相应的处理,如差错检查和纠错、调节输入/输出速度进行数据速率转换、流量控制,甚至可以进行编码方式的转换等,所以报文交换是在两个节点间的一段链路上逐段传输,不需要在两个主机间建立多个节点组成的电路通道。

报文交换具有下列特征：

(1) 源站和目标站在通信时不需要建立一条专用的通路，因此与电路交换相比，报文交换没有建立线路和拆除线路所需的等待和时延。

(2) 线路利用率高，节点间可根据线路情况选择不同的速度传输，能高效地传输数据。

(3) 要求节点具备足够的报文数据存放能力，一般节点由微机或小型机担当。

(4) 数据传输的可靠性高，每个节点在存储转发中，都进行差错控制，即检错、纠错。

(5) 由于采用了对完整报文的存储/转发，节点存储/转发的时延较大，不适用于交互式通信，如电话通信。由于每个节点都要把报文完整地接收、存储、检错、纠错、转发，产生了节点延迟，并且报文交换对报文长度没有限制，报文可以很长，这样就有可能使报文长时间占用某两节点之间的链路，不利于实时交互通信。分组交换即所谓的包交换正是针对报文交换的缺点而提出的一种改进方式。

3. 分组交换

在分组交换网中，数据是以分组 (Packet) 为单位进行交换传输的，如果源站有一个

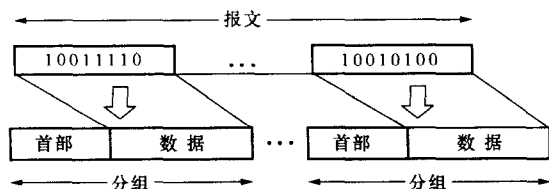


图 1-3 分组的概念

很长的消息要发送，该消息被分成若干个分组，见图 1-3，每个分组除了用户数据外还包含一些控制信息，以便能够正确地把该分组通过网络传送给目的节点。

分组的传送采用存储—转发的形式，即网络节点根据分组控制信息，把分组

送到下一节点，下一节点收到分组后，暂时保存下来并排队等待传输，然后该节点通过分组控制信息选择下一节点。

下面举例说明分组交换的过程。在图 1-4 中，假如 H1 站有一份比较长的报文要发送给 H4 站，则它首先将报文按规定长度划分成若干分组。每个分组加上地址及纠错等其他信息，然后将这些分组顺序发送到交换网的节点 A。交换网把进网的任一分组都当作单独的“小报文”来处理，而不管它属于哪个报文的分组。如 H1 站将报文分成 3 个分组 (P1, P2, P3)，按顺序连续地发送给节点 A，节点 A 每接收一个分组都先存储下来。分别对它们进行单独的路径选择和其他处理过程。例如它可能将分组 P1 发送给节点 D，P2 发送给节点 C，P3 发往节点 B，这种选择主要取决于节点 A 在处理每一个分组时各链路的负荷情况以及路径选择的原则和策略。由于每个分组都带有地址和分组序列，虽然它们不一定经过同一条路径，但最终都能到达同一目的节点 D。这些分组到达目的节点 D 的顺序也可能被打乱。目的节点 D 可以负责对分组进行排序和重装，目的站 H4 也可以完成这些排序和组装工作。

上述这种分组交换方式简称为数据报传输方式，作为基本传输单位的“小报文”称为数据报 (datagram)。

分组交换可分为两种传输方式，除了数据报传输方式外，还有一种虚电路传输方式。

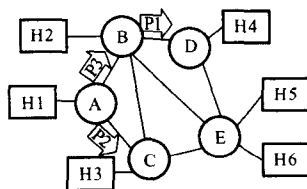


图 1-4 数据报传输

关于虚电路传输方式以及两种传输方式的比较将在第4章介绍。

分组交换具有三个显著的特点：①节点暂时存储的是一个分组，而不是整个数据报文；②分组是暂时存储在节点的内存中，而不是保存在节点的外存中，从而保证了较高的交换速率；③分组交换采用的是动态分配信道的策略，极大地提高了通信线路的利用率。

分组交换的优点是信道利用率有了很大的提高。在电路交换方式中，信道供某条连接专用，而在分组交换中，信道实际上供所有正在传输的站点共享使用。分组交换也存在一些缺点，例如：分组在各节点存储转发时因排队而造成一定的时延；由于每个分组中必须携带一些控制信息而产生一定的额外开销；分组交换网的管理和控制比较复杂。

4. 三种交换方式的比较

图1-5表示三种交换方式的主要区别。图中，A和D分别表示源点和终点，B和C是A和D之间的中间节点。

电路交换如图1-5(a)所示，首先呼叫请求经过各节点到达终点，以建立连接。若终点空闲，则回送一个呼叫接收信号，这一阶段就是电路建立阶段。在线路拆除（释放）之前，该通路由一对用户完全占用。电路交换效率不高，适合于连续传送大量的数据，且传送时间远大于连接建立时间的情况。

报文交换如图1-5(b)所示，信息传送前无需建立连接，报文从源点传送到目的地采用存储转发的方式，报文需要排队。因此报文交换不适合于交互式通信，不能满足实时通信的要求。

分组交换如图1-5(c)和图1-5(d)所示，分组交换方式和报文交换方式类似，但报文被分成分组传送，并规定了最大长度。分组交换技术是在数据网中最广泛使用的一种交换技术，适用于传送突发数据的情况。

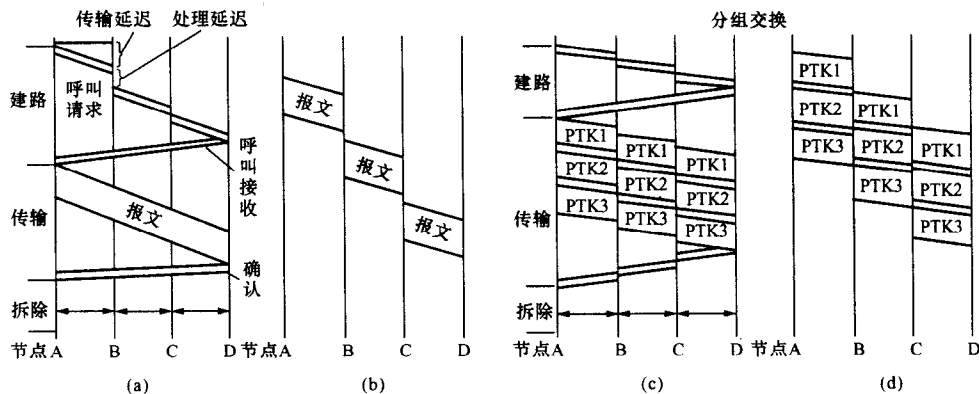


图1-5 三种交换方式的时序图

(a) 电路交换；(b) 报文交换；(c) 虚电路交换；(d) 数据报交换

ARPANET 网络研究成果对推动计算机网络发展的意义是深远的。在它的基础上，20 世纪七八十年代计算机网络发展十分迅速，出现了大量的计算机网络，仅美国国防部就资助建立了多个计算机网络。同时还出现了一些研究试验性网络、公共服务网络、校园网，

例如美国加利福尼亚大学劳伦斯原子能研究所的 OCTOPUS 网、法国信息与自动化研究所的 CYCLADES 网、国际气象监测网 WWWN、欧洲情报网 EIN 等。

与此同时,一些大的计算机公司纷纷开展了计算机网络研究与产品开发工作,提出了各种网络体系结构与网络协议,如 IBM 公司的 SNA (System Network Architecture)、DEC 公司的 DNA (Digital Network Architecture) 与 UNIVAC 公司的 DCA (Distributed Computer Architecture)。

计算机网络发展第二阶段所取得的成果对推动网络技术的成熟应用极其重要,它研究的网络体系结构与网络协议的理论成果为以后网络理论的发展奠定了基础。但是,20 世纪 70 年代后期人们已经看到了计算机网络发展中出现的危机,那就是网络体系结构与协议标准的不统一限制了计算机网络自身的发展和应用。网络体系结构与网络协议标准必须走国际化的道路。

1.1.3 20 世纪 80 年代:开放式标准化网络

计算机网络的发展,客观需要计算机网络体系结构要由封闭式走向开放式。计算机网络发展的第三阶段是加速体系结构与协议国际化的研究与应用。国际标准化组织 ISO (International Standards Organization) 及下属的计算机与信息处理标准化技术委员会 TC97,经过多年卓有成效的努力,于 1984 年正式颁布了一个称为“开放系统互联基本参考模型”OSI RM (Open System Interconnection Reference Model),即 ISO/IEC7498 国际标准。ISO/OSI RM 已被国际社会所公认,成为研究和制订新一代计算机网络标准的基础。20 世纪 80 年代,ISO 与 CCITT (国际电话电报咨询委员会)等组织为参考模型的各个层次制订了一系列的协议标准,组成了一个庞大的 OSI 基本协议集。我国也于 1989 年在《国家经济系统设计与应用标准化规范》中明确规定选定 OSI 标准作为我国网络建设标准。ISO/OSI RM 及标准协议的制定和完善正在推动计算机网络朝着健康的方向发展,自此,计算机网络开始了走向国际化网络的时代。国际化网络将具有统一的网络体系结构,遵循国际化的协议,目的是能支持各厂商生产的计算机系统互联。

1.1.4 20 世纪 90 年代:现代网络技术和协同计算技术的发展

这个阶段计算机网络发展的特点是:互联、高速、智能与更为广泛的应用。

Internet 是覆盖全球的信息基础设施之一,对于用户,它像是一个庞大的远程计算机网络。用户可以利用 Internet 实现全球范围的电子邮件、信息传输、信息查询、语音与图像通信服务功能。它对推动世界经济、社会、科学、文化的发展产生了不可估量的作用。

在互联网发展的同时,高速与智能网的发展也引起人们越来越多的注意。高速网络技术发展表现在宽带综合业务数据网 B-ISDN、帧中继、异步传输模式 ATM、高速局域网、交换局域网与虚拟网络上。随着网络规模的增大与网络服务功能的增多,各国正在开展智能网络 IN (Intelligent Network) 的研究。

随着计算机网络应用业务的增长,地理范围的扩大,联网站点数的增加,网络产品的层出不穷,促使网络互联迅速发展。通过网络互联把各种信息“孤岛”连接成“超级”网络实现其互操作和协同工作成为人们研究如何利用网络支持协同工作的一个方向。计算机支持的协同工作 CSCW 这一概念,最早是在 1984 年由美国 MIT 的 Irene Grief 和 DEC 的