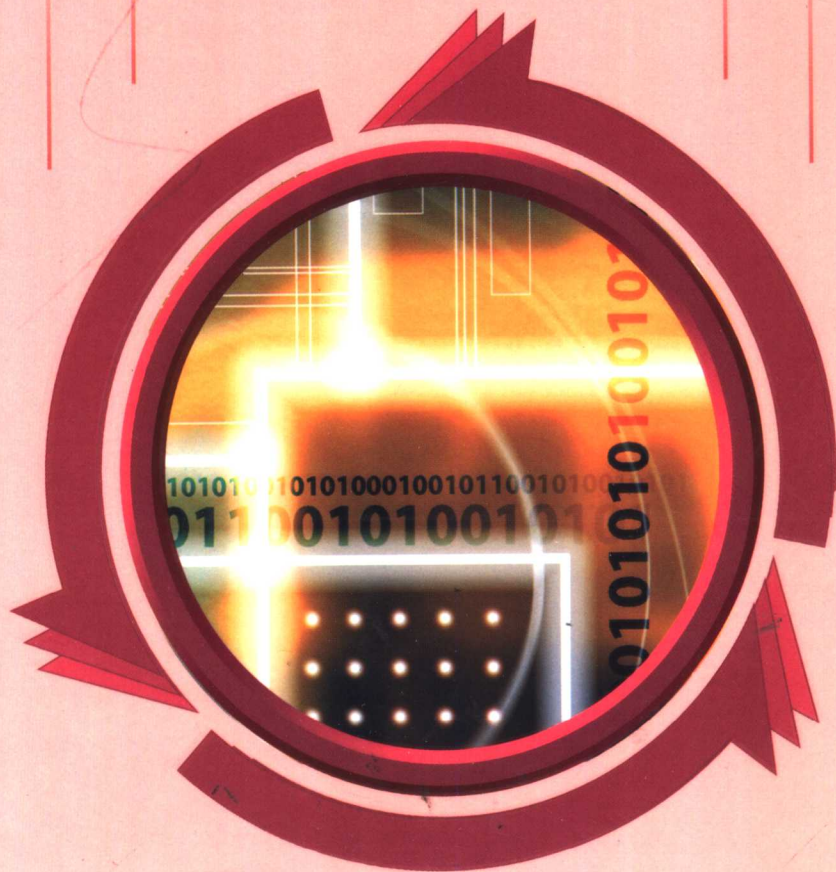


现代通信高技术丛书

现代交换原理与应用

景晓军 主编
周贤伟 姜 美 编著



国防工业出版社

Industry Press

现代通信高技术丛书

TN915
34

现代交换 原理与应用

Xiandai Jiaohuan Yuanli
Yu Yingyong



景晓军 主编

周贤伟 姜 美 编著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

内 容 简 介

本书全面客观地介绍了各类交换系统的基本概念和工作原理,紧紧围绕交换的核心,阐述并分析了一些与交换相关的内容,包括其演变、进展以及在网络中的角色等。

全书共分7章:第1章绪论,介绍交换原理和各种交换技术;第2章介绍电路交换技术;第3章介绍信令系统;第4章介绍分组交换与帧中继技术;第5章介绍ATM交换技术;第6章介绍路由器及IP交换技术;第7章介绍交换新技术。

本书可作为普通高等院校通信、电子、信息等专业的本科、研究生教材或教学参考书,也可作为电信技术人员和研究人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代交换原理与应用 / 景晓军主编;周贤伟,姜美编
著. —北京:国防工业出版社,2005.7

(现代通信高技术丛书 / 周贤伟,邓忠礼,郑雪峰主编)

ISBN 7-118-03899-7

I. 现... II. ①景...②周...③姜... III. 通信交换 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 051447 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15¼ 342 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764



景晓军

北京人，博士后。分别于1995年、1999年毕业于国防科技大学，获通信与信息系统专业硕士、博士学位，2002年出站于北京邮电大学信息与通信工程博士后流动站。在国内外学术刊物和会议上发表学术论文40多篇，其中5篇进入SCI检索，11篇进入EI检索，2篇进入ISTP检索。出版著作2部。负责在研项目5项。中国电子学会高级会员。主要研究方向为信息融合、图像处理、信息安全。

E-mail: jing_xiao_jun@263.net

《现代通信高技术丛书》编委会

名誉主任 周炯槃(院士)

总 编 宋俊德

主 编 周贤伟 邓忠礼 郑雪峰

副主编 曾广平 景晓军 雷雪梅 王丽娜 杨裕亮 马伍新

王祖珮 班晓娟 刘蕴络 王昭顺 王建萍 黄旗明

李新宇 杨 军 覃伯平 薛 楠

编 委 (按姓名笔画排序)

马伍新 王 丹 王 华 王 培 王 强 王庆梅

王丽娜 王建萍 王祖珮 王昭顺 王淑伟 韦 炜

尹立芳 邓忠礼 申吉红 付娅丽 白浩瀚 冯 震

冯晓莹 吕 越 朱 刚 闫 波 安 然 刘 宁

刘 宾 刘 潇 刘志强 刘晓娟 刘蕴络 关靖远

孙 硕 孙亚军 孙辰宇 孙晓辉 李 杰 李宏明

李新宇 苏力萍 肖超恩 吴齐跃 宋俊德 张海波

张臻贤 陈建军 林 亮 杨 军 杨文星 杨裕亮

周 蓉 周贤伟 郑如鹏 郑雪峰 孟 潭 赵鹏(男)

赵鹏(女) 赵会敏 胡周杰 施德军 姜 美 姚恒艳

班晓娟 崔 旭 黄旗明 韩 旭 韩丽楠 覃伯平

景晓军 曾广平 雷雪梅 薛 楠 霍秀丽 戴昕昱

丛书策划 王祖珮

序

当今世界已经进入了信息时代,信息成为一种重要的战略资源,信息科学成为最为活跃的学科领域之一,信息技术改变着人们的生活和工作方式,信息产业已经成为国民经济的主导产业,作为信息传输基础的通信技术则成为信息产业中发展最为迅速,进步最快的行业。目前,个人通信系统和超高速通信网络迅猛发展,推动了信息科学的进一步发展,并成为 21 世纪国际社会和全球经济的强大动力。

随着通信技术日新月异,学习通信专业知识不但需要扎实的专业基础,而且需要学习和了解更多的现代通信技术和理论,特别是数字通信、卫星通信以及传感器网络的现代通信技术方面的知识。从有线通信到无线通信,从固定设备间的通信到移动通信,从无线通信到无线因特网,到传感器网络技术。未来的通信将为人们提供全方位以及无缝的移动性接入,最终实现任何人在任何地方、任何时间进行任何方式的通信,使得通信技术适应社会的发展需要呈现经久不衰的势头。

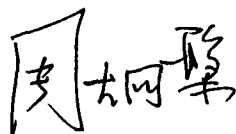
网络技术的飞速发展,通信技术在经济发展中的重要地位日趋重要,世界各国特别重视通信技术的理论研究和通信技术专业人才的培养,国外有关通信领域的文献资料和专著较多。就国内来讲,通信专业人才大量急需,为适应社会经济发展的需要,各高校和科研单位都在培养社会所需的通信专业人才。

为了增进通信及安全技术领域的学术交流,为了满足通信及信息安全专业领域的读者的需要,提供一套能系统、全面地介绍和讲解通信技术原理及新技术的系列丛书,北京科技大学等组织编写了这套《现代通信高技术丛书》。这套丛书内容涵盖了通信技术的主要专业领域,既可作为高等院校通信类、信息类、电子类、计算机类专业高年级本科生或研究生的教材,又可作为有关通信技术和科研人员的技术参考书。

我觉得这套丛书的特点是内容全面、技术新颖、理论联系实际,针对目前

我国通信技术发展情况与目前已有的相关出版物之间已有一定距离这一情况,本丛书立足于现在,通过对基本的技术进行分析,由浅入深,努力反映通信技术领域的新成果、新技术和进展,是国内目前较为全面、技术领先、适用面广的一套丛书。在我国大量培养通信专业人才的今天,这套丛书的出版是非常及时和十分有益的。

我代表编委会对丛书的作者和广大读者表示感谢!欢迎广大读者提出宝贵意见,以使丛书进一步修改完善。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '周大网' (Zhou Dawang) in a stylized, cursive script.

2005年3月20日

前 言

现在,人类已跨入“信息时代”,IP 数据业务以及传统的数据业务量的总和已经超过了话音业务。网络应用和业务重心的变化,必然会影响到骨干网络的结构、模式和交换技术。现有的通信网,无论是广域网还是局域网,绝大多数都是交换式通信网,即网络以交换机为核心组建。

交换设备是通信网的重要组成部分,随着通信网现代化进程的加快,新技术、新设备和新的标准不断涌现。由于交换机具有强大的寻址能力、信息处理能力和出色的稳定性,同时解决了网络智能化问题,因此大大地增加了网络的灵活性和经济性,提高了网络的性能。交换系统也从单一的链路接续变为集信息交换、信息处理和信息数据库为一体的大型复杂设备。

自 20 世纪 80 年代以来,各类交换设备层出不穷,如:程控数字电路交换设备;存储转发的报文交换和分组交换设备;适应宽带业务需求的帧中继和异步转移模式(ATM)的交换设备;等等。因此,非常迫切地要求编写反映交换新技术的书,这也是编写这本书的初衷。

在现有的交换技术书中:传统电信的科技书只介绍广域网上使用的交换方式,电路交换色彩太浓;而计算机书则侧重介绍交换协议,对交换机内部的结构讲述不足。这 2 种情况均不能使读者对交换方式有一个全面的了解,因而也就不能在实践中很好地利用这些原理。本书是从通信网的概念出发,介绍交换设备在现代通信网中的位置及外部工作环境。根据各种速率、各种业务的特点及多媒体业务的需求,论述不同特点的交换系统的适用范围及其发展过程。本书围绕交换的核心——交换网络、转发表、路由表、控制信令展开论述,详细讲述了通信网中现有的各种交换技术和未来可能成为标准的多协议标记交换技术(MPLS)。

用户端到端的通信,可能经过多个交换机,交换机之间的工作需要协调,否则交换机将无法正常工作。信令系统就在交换机之间扮演了这样的角色。由于信令系统在交换系统中起着非常重要的作用,因此我们将其单列一章介绍,使读者能更深刻地理解交换过程。

全书共分 7 章:第 1 章绪论,介绍交换原理和各种交换技术;第 2 章介绍电路交换技术;第 3 章介绍信令系统;第 4 章介绍分组交换与帧中继技术;第 5 章介绍 ATM 交换技术;第 6 章介绍路由器及 IP 交换技术;第 7 章介绍交换新技术。本书在编写过程中得到其他许多同志的帮助,也参考了许多相关论文和资料,在此一并表示感谢。

由于编著者水平有限,书中难免有许多不足之处,敬请同行专家与各位读者批评指正。

编著者

2004 年 9 月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 交换与通信网	1
1.1.1 交换机的出现	1
1.1.2 通信网的概念	2
1.1.3 OSI 模型	3
1.1.4 网络工作方式	6
1.1.5 信息传送方式	7
1.2 交换原理	9
1.2.1 交换机的物理结构	9
1.2.2 基本交换单元	10
1.2.3 交换节点的功能结构	12
1.3 交换技术分类	14
1.3.1 业务特点	14
1.3.2 电路交换	15
1.3.3 报文交换	17
1.3.4 分组交换	18
1.3.5 帧中继	19
1.3.6 ATM 交换	20
1.3.7 计算机网络使用的交换技术	22
小结	24
习题	24
参考文献	24
第 2 章 电路交换技术	25
2.1 电路交换技术的发展与分类	25
2.1.1 电路交换技术产生的背景	25
2.1.2 电路交换技术的分类	26
2.1.3 电路交换的基本功能	27
2.2 电路交换机的硬件结构	29
2.2.1 话路子系统	30
2.2.2 控制子系统	37
2.2.3 处理机间通信	40
2.3 数字交换网络的结构	42

2.3.1 基本交换单元	42
2.3.2 交换网络	46
2.4 电路交换机的控制软件	48
2.4.1 程控交换软件	48
2.4.2 呼叫处理程序	51
2.4.3 程序的执行管理	57
2.4.4 故障处理	59
2.4.5 呼叫处理过程	61
2.5 电路交换机的指标体系	62
2.5.1 性能指标	62
2.5.2 服务质量指标	63
2.5.3 可靠性指标	64
2.5.4 运行维护性指标	64
小结	65
习题	65
参考文献	66
第3章 信令系统	67
3.1 信令系统概述	67
3.1.1 信令的概念	67
3.1.2 信令的功能	67
3.1.3 信令的分类	68
3.1.4 信令方式	69
3.2 7号信令系统	71
3.2.1 概述	71
3.2.2 功能结构	73
3.2.3 信令单元格式	76
小结	78
习题	79
参考文献	79
第4章 分组交换与帧中继技术	80
4.1 引言	80
4.2 分组交换技术	80
4.2.1 资源分配	80
4.2.2 分组的形成	82
4.2.3 交换虚电路的建立和释放	87
4.2.4 虚电路和逻辑信道的概念	89
4.2.5 路由选择	90
4.2.6 流量控制	92
4.3、X.25 协议	93

4.3.1 分层结构	93
4.3.2 物理层	93
4.3.3 数据链路层	93
4.3.4 分组层	96
4.4 分组交换机	99
4.4.1 分组交换机在分组网中的作用	99
4.4.2 分组交换机的功能结构	100
4.4.3 分组交换机的指标体系	101
4.5 帧中继技术	102
4.5.1 帧中继的协议结构与帧格式	102
4.5.2 帧中继的交换原理	105
4.5.3 帧中继的特点	107
4.5.4 帧中继交换机	108
小结	110
习题	110
参考文献	111
第 5 章 ATM 交换技术	112
5.1 引言	112
5.2 ATM 基础知识	114
5.2.1 ATM 传送模式	114
5.2.2 ATM 信元结构	115
5.2.3 ATM 分层参考模型	118
5.2.4 ATM 信元传送处理原则	120
5.2.5 基于 ATM 交换的 B-ISDN 拓扑结构	122
5.3 物理层	123
5.3.1 物理介质子层	124
5.3.2 传输会聚子层	125
5.4 ATM 层协议	126
5.4.1 ATM 信元和信头结构	126
5.4.2 ATM 信元中各域的意义	126
5.4.3 ATM 信元的信头结构在 ATM 网络中的作用	128
5.5 ATM 适配层(AAL)协议	129
5.5.1 AAL 的结构、功能、业务类别及协议模型	129
5.5.2 AAL1	131
5.5.3 AAL2	132
5.5.4 AAL3/4	135
5.5.5 AAL5	137
5.6 ATM 交换技术	138
5.6.1 ATM 交换的基本原理	138

5.6.2	ATM 交换机的模块结构	139
5.6.3	信元交换机构	141
5.6.4	ATM 交换网络	146
5.6.5	ATM 交换网络的选路控制方式	150
5.6.6	信元交换节点的转发	151
5.7	ATM 信令	153
5.7.1	信令协议的体系结构	153
5.7.2	信令消息	154
5.7.3	ATM 网络的呼叫控制过程	156
5.8	ATM 网络的业务量管理	157
5.8.1	网络资源管理	157
5.8.2	连接接纳控制	158
5.8.3	使用参数控制	159
5.8.4	整形	160
5.8.5	信元丢失和优先级控制	160
5.8.6	流量控制与拥塞控制	161
小结		162
习题		163
参考文献		163
第 6 章	路由器及 IP 交换技术	164
6.1	TCP/IP 基本原理	164
6.1.1	TCP/IP 分层模型	164
6.1.2	TCP/IP 模型各层的功能	166
6.1.3	IP 编址方式	167
6.1.4	地址解析协议	171
6.1.5	互联网控制报文协议(ICMP)	172
6.1.6	TCP 协议	173
6.1.7	用户数据报协议(UDP).....	175
6.1.8	IP 的未来(IPv6)	175
6.2	传统路由器的原理	176
6.2.1	路由器完成的功能和硬件结构	176
6.2.2	路由器的工作原理	180
6.2.3	路由选择表的生成和维护	184
6.2.4	路由及路由协议介绍	185
6.3	IP 与 ATM 的结合	190
6.3.1	IP 与 ATM 结合的模式	191
6.3.2	IP 与 ATM 结合的驱动方式	193
6.3.3	基于 ATM 的局域网互连——局域网仿真	193
6.3.4	经典的 IP over ATM	194

6.3.5 基于 ATM 的多协议传输	197
6.4 标记交换技术	199
6.4.1 MPLS 概念介绍	199
6.4.2 网络体系结构	201
6.4.3 MPLS 路由器的工作原理	202
小结	203
习题	204
参考文献	204
第 7 章 交换新技术	205
7.1 节点功能的变化	205
7.1.1 业务控制和交换的分离	205
7.1.2 业务、呼叫控制和承载分离	208
7.1.3 通信网络的演变	210
7.2 软交换技术	211
7.2.1 软交换技术的引入	211
7.2.2 软交换技术应用	213
7.2.3 基于软交换技术的网络体系结构	214
7.2.4 软交换技术的标准化进展	215
7.3 光交换技术	217
7.3.1 光交换技术概述	217
7.3.2 光交换元件	218
7.3.3 光交换网络	220
7.3.4 多维交换系统	227
7.3.5 光交换的应用	229
小结	231
习题	231
参考文献	231

第 1 章 绪 论

交换设备是通信网中不可缺少的重要组成部分。随着科学技术的发展和生产技术的不断提高,交换技术也在不断更新,交换机的性能日趋完善,处理速度更快,更能适应当今信息社会的需要。交换技术的发展与通信网的发展是密不可分的,交换技术与终端业务、传输技术必须相适应。本章重点介绍交换的基本概念,交换机的功能,交换网络的实现,交换节点在通信网中的作用,多种交换方式及其特点等内容。

1.1 交换与通信网

1.1.1 交换机的出现

通信的目的是实现信息的传递。在通信系统中,信息是以电信号或光信号的形式传输的。一个通信系统至少应由终端和传输媒介组成,如图 1.1 所示。终端将含有信息的信息,如话音、图像、计算机数据等转换成传输媒介能接受的信号形式,同时将来自于传输媒介的信号还原成原始消息;传输媒介则把信号从一个地点传送至另一个地点。这样一种仅涉及 2 个终端的单向或交互通信的方式称为点对点通信。

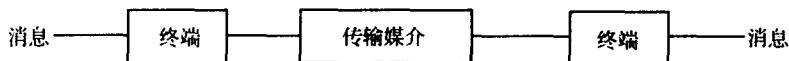


图 1.1 点对点通信系统

当存在多个终端,且希望它们中的任何 2 个都可以进行点对点通信时,最直接的方法是把所有终端两两相连,如图 1.2 所示。这样一种连接方式称为全互连式。全互连式存在下列缺点:

- (1) 当存在 N 个终端时需用线对数为 $N(N-1)/2$,即线对数随终端数的平方增加;
- (2) 当这些终端分别位于相距很远的两地时,两地间需要大量的长途线路;
- (3) 每个终端都有 $N-1$ 对线与其他终端线相连,因而每个终端需要 $N-1$ 个线路接口;
- (4) 增加第 $N+1$ 个终端时,必须增设 N 对线路,当 N 较大时,无法实用化;
- (5) 由于每个用户处的出线过多,因此维护工作量较大。

因此,在实际中,全互连式仅适合于终端数目较少,地理位置相对集中,且可靠性要求较高的场合。

这些问题将随用户数量增加而增加。为解决这些问题,可以设想,在用户分布密集的中心安装一个设备——交换机(Switch),每个用户的终端设备经各自的专用线路(用户线)连接到交换机上,如图 1.3 所示。

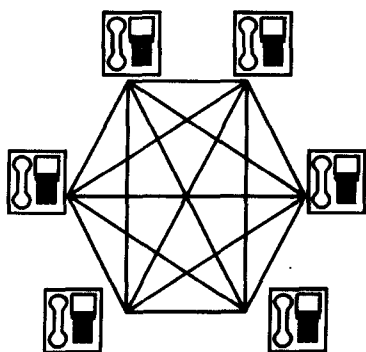


图 1.2 用户间互连

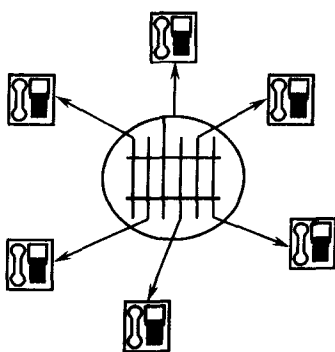


图 1.3 用户间通过交换机互连

图 1.3 中, 当任意 2 个用户之间需要交换信息时, 交换机将这 2 个用户的通信线路接通。用户通信完毕, 2 个用户间的连线就断开。有了交换设备, N 个用户只需要 N 对线就可以满足要求, 线路的投资费用大大降低, 用户线的维护也变得简单容易。尽管这样增加了交换设备的费用, 但它的利用率很高, 相比之下, 总的投资费用将下降。

1.1.2 通信网的概念

最简单的通信网 (Communication Network) 仅由一台交换机组成, 如图 1.4 所示。每一台通信终端通过一条专门的用户环线 (或简称用户线) 与交换机中的相应接口连接。交换机能在任意选定的 2 条用户线之间建立和释放 1 条通信链路。

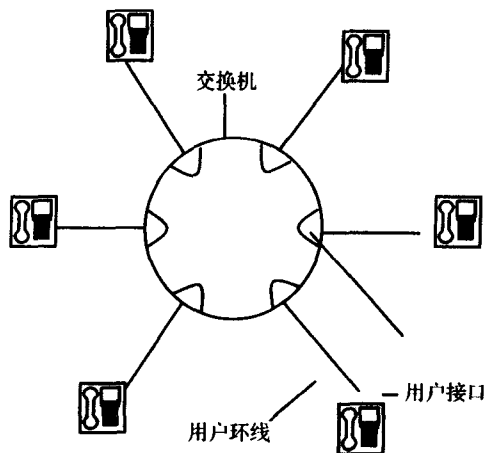


图 1.4 由一台交换机组成的通信网

当用户数量很多且分布的区域较广时, 1 台交换机不能覆盖所有用户, 这时就需要设置多台交换机组成如图 1.5 所示的通信网。网中直接连接电话机或终端的交换机称为本地交换机或市话交换机, 相应的交换局称为端局或市话局; 仅与各交换机连接的交换机称为长途交换机。交换机之间的线路称为中继线。显然, 长途交换机仅涉及交换机之间的通信, 而市内交换机既涉及到交换机之间的通信又涉及到交换机与终端的通信。

图 1.5 中的用户交换机 (PBX, Private Branch Exchange) 常用于一个集团的内部。PBX 与市话交换机之间的中继线数目通常远比 PBX 所连接的用户数目少, 因此当集团中的电

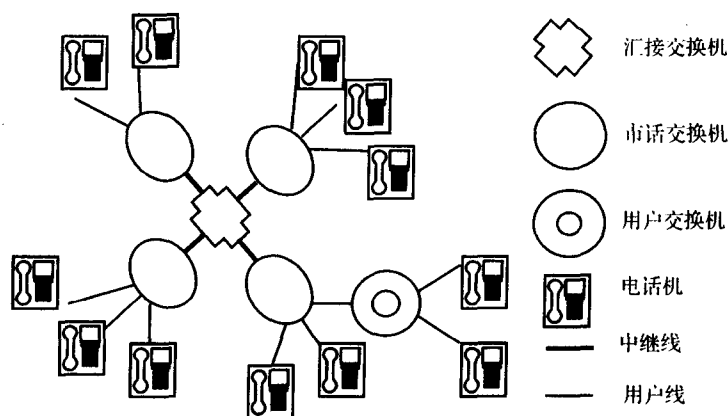


图 1.5 由多台交换机组成的通信网

话主要用于内部通信时,采用 PBX 要比将所有话机都连接到市话机上更经济。当 PBX 具有自动交换能力时,又称为 PABX(Private Automatic Branch Exchange)。公共电话网只负责接续到 PBX,进一步从 PBX 到电话机的接续常需要由话务员转接,或采用特殊的直接接入设备(DID)。

由此可见,交换机在通信网中起着非常重要的作用,它就像公路中的立交桥,可以使路上的车辆(信息)安全、快捷地通往任何一个道口(交换机输出端口)。

1.1.3 OSI 模型

随着科学技术的发展,通信的范围越来越大,这就需要更多的通信网络和通信设备间都能够互通互连。为了保证各网络与设备有良好的互通性,降低设计的复杂度,人们引入了分层参考模型。

为了使各种计算机在世界范围内互连成网,国际标准化组织(ISO, International Standards Organization)在 1978 年提出了一套非常重要的标准框架,即开放系统互连参考模型(OSI/RM, Open System Interconnection Reference Model),简称 OSI。这里,“开放”的意思是:只要遵循 OSI 标准,一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循同一标准的其他任何通信系统进行通信。

现在,OSI 模型已经成为通信界,尤其是网络界共同遵守的标准。许多重要的协议(如 TCP/IP)和网络(如 X.25、FR、ATM、Internet 等)均有相应的参考模型标准,这大大提高了导入新技术的方便性和对各种通信网(如电话网、X.25、局域网及 Internet 等)的适应性。为了能够在以后各章讨论问题清晰,本书将有关 OSI 内容放在第 1 章中介绍。

OSI 的参考模型具有 7 个层次,因此也将它称为分层模型,见图 1.6。

各层的主要功能如下。

1) 物理层

物理层与通信媒介直接相连,其功能是提供用于建立、保持和断开物理接口的条件,以保证比特流的透明传输。物理层协议主要规定了计算机或终端与通信设备之间的接口标准,它包含接口的物理、电气、功能与规程 4 个方面的特性。

物理层传送的基本单位是比特,又称位。

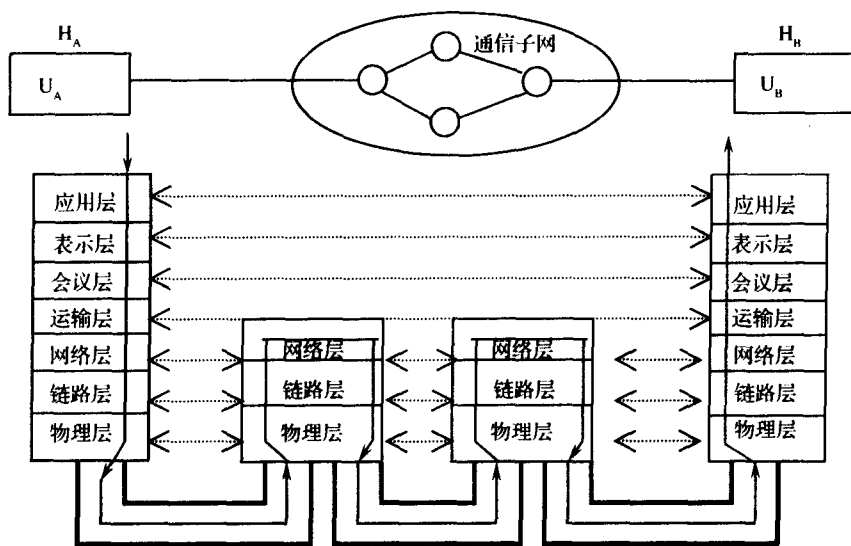


图 1.6 OSI 的分层模型

H_A—主机 A; U_A—用户 A; H_B—主机 B; U_B—用户 B。

2) 数据链路层

数据链路层是 OSI 的第 2 层,简称链路层。它主要负责数据链路的建立、维护和拆除,并在 2 个相邻节点的线路上,将网络层送下来的信息(分组)组成帧传送,每一帧包括一定数量的数据和一些必要的控制信息。为了保证数据帧的可靠传输,数据链路层应具有差错控制功能。在传送数据时,若接收节点检测到所接收的数据中有差错,就要求发端重发,直至该帧被正确接收。同时,数据链路层还应具有简单的流量控制功能,以防止接收缓存器容量不够而产生溢出。这样,链路层就把一条有可能出错的实际物理链路转变成让网络层向下看起来好像是一条不出错的链路,实现了在不可靠的物理链路上进行可靠的数据传输的功能。

数据链路层传输的基本单位是帧。常用的数据链路层协议是 ISO 推荐使用的高级数据链路控制(HDL, High-level Data Link Control)规程。它是面向比特的传输控制规程。

3) 网络层

网络层又叫通信子网层,主要用于控制子网的运行。网络层将从高层传送下来的数据打包,再进行必要的路由选择、差错控制、流量控制以及顺序检测等处理,使发端用户的传输层所传下来的数据能够准确无误地按照地址传送到目的用户的传输层。

网络层的主要任务是路由选择、数据包的分段和重组以及拥塞控制等。

值得指出的是:根据网络类型的不同,网络层可以不存在。例如对于由广播信道所构成的通信子网,由于不存在路由选择问题,故一般不需要网络层。对于一个通信子网来说,第 3 层即网络层是它的最高层。

网络层所传送的信息的基本单位称为分组或者包。

4) 传输层

传输层位于开放系统互连模型的第 4 层,它是衔接通信子网(由物理层、数据链路层及网络层构成)和资源子网(包括会话层、表示层及应用层)的桥梁,起到了承上启下的作