



普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 电子信息科学与工程类专业 规划教材

现代交换技术 实用教程

◎ 谭明新 编著



- 全面介绍交换方式
- 深入剖析交换技术



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

现代交换技术实用教程

谭明新 编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书按照交换技术的演进过程,分10章介绍各种交换技术。第1章为绪论,第2章结合固定电话通信系统和移动通信系统,分别分析其中的电路交换技术;第3章以固定电话通信为主,介绍C&C08型交换机;第4章介绍分组交换技术;第5章介绍7号信令系统;第6章详细介绍异步传输模式(ATM),包括分层模型、交换技术、信令技术的完整解析;第7~10章分别介绍多层交换、IP和ATM的融合与MPLS交换、下一代网络与软交换及光交换技术等内容。本书提供配套电子课件。

本书可作为高等学校通信、电信、电子、计算机等专业本科生和研究生的教材或参考书,也可作为通信工程技术人员的培训教材,以及通信研发人员或通信工程师的参考书。

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,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代交换技术实用教程/谭明新编著. —北京:电子工业出版社,2012.7
普通高等教育“十二五”规划教材·电子信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-17354-7

I. ①现… II. ①谭… III. ①通信交换—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第125204号

策划编辑:索蓉霞

责任编辑:索蓉霞

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20 字数:512千字

印 次:2012年7月第1次印刷

定 价:38.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

交换设备在通信网中起着信息立交桥的作用。电话机的发明引出了电路交换技术,随着元器件的进步和计算机的出现,电路交换系统从人工接续发展到程控交换。数据设备和数据分组传输技术的使用产生了分组交换机、ATM 和 Internet。光传输技术的不断进步,使得交互宽带多媒体通信成为可能,从而引发了全光交换技术的研究和实验高潮。信息综合和三网融合的应用需求、保护已有网络资源和保留传统的通信习惯,以及能够快速创建新的网络应用,使得软交换技术得到应用和发展。总之,交换技术是支撑信息社会发展的重要技术,它还将随着应用和技术的进步而不断发展。

本书以交换技术的发展过程为主线,依次介绍电路交换、分组交换、异步传输模式(ATM)、IP 和 ATM 的融合与 MPLS 交换、下一代网络与软交换和 IMS 技术光交换技术等内容。本书的撰写结合了作者多年交换产品研发的经验及教学的心得和体会。

本书主要有以下特点:

(1) 结合无线移动通信和有线通信分析交换技术。

(2) 对如今的应用不起主导作用的技术和标准,只是简单地提及或进行简要介绍,如 X.25。重点对当前正在应用的技术或将来可能成为主流的新交换技术进行重点介绍。例如,鉴于 ATM 交换技术及其基本原理在语音、数据、视频通信中的应用,书中进行了细致的介绍,特别是改进型的 Banyan 网可消除内部阻塞、外部冲突。

(3) 尽可能结合实例。比如介绍 7 号信令系统时,分别给出了 7 号信令在固定电话通信、智能网通信、ATM 通信中工作的例子。另外,还结合 3G 标准,对 MAP 的各个接口做了较细致的介绍。

(4) 对反复出现的概念和技术进行解剖,比如对 ATM 层 CRC 的检错纠错技术进行的完整分析。

全书共 10 章。

第 1 章绪论,介绍各类交换技术的特点、基本原理和交换技术发展概况。

第 2 章在详细介绍固定电话通信和移动通信系统中语音信号数字化的基础上,分别从软、硬件的角度结合固定电话通信系统和移动通信系统分析了电路交换技术。

第 3 章以固定电话通信系统为主,介绍 C&C08 交换机。

第 4 章介绍分组交换,重点介绍 X.25 的替代技术——PPP 协议和帧中继技术。

第 5 章介绍 7 号信令系统,信令最初是为实现语音通信系统而设计的,它主要应用在电路交换系统中,本身采用的却是分组交换。

第 6 章介绍异步传输模式(ATM),包括其分层模型、交换技术、信令技术的完整解析。这一章难度较大,本科生可选择性地只学习前 4 节的部分内容。

第 7 章介绍多层交换,多层交换技术能大大提高网络的处理速率。

第 8 章介绍 IP 和 ATM 的融合与 MPLS 交换。IP 和 ATM 的融合技术有许多,其中主要介绍 MPLS 交换。

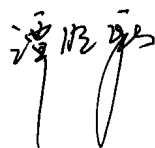
第 9 章介绍下一代网络与软交换和 IMS 技术。

第 10 章介绍光交换。

本教材建议授课学时为 48~54。本书各章节内容之间既有继承性，又有一定的独立性，授课教师可针对不同基础及需求的学习对象，选择适当的内容安排教学。为方便教学，本书配套电子课件，任课教师可以登录**华信教育资源网**（www.hxedu.com.cn）**免费注册下载**。

本书编写过程中，宋文俊、陈威、卫延伟、唐琪和刘程等在绘图和文字编辑方面付出了艰辛的劳动，在此表示感谢。

由于水平有限，加之时间仓促，书中难免疏漏和不足，敬请广大读者批评指正。联系方式 tmingxin@qq.com。



于武汉

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.1 概述	30
1.1 通信网与交换机	1	2.2.2 话路子系统	30
1.1.1 交换机的含义	1	2.2.3 控制子系统	34
1.1.2 通信网	1	2.3 数字交换网络	37
1.1.3 面向连接通信网和无连接通信网	2	2.3.1 分路与复用	37
1.2 网络模型	3	2.3.2 基本交换单元	38
1.2.1 分层模型	3	2.3.3 交换网络	40
1.2.2 分层结构中的术语	4	2.4 固话电路交换机的软件系统	44
1.3 交换原理、复用技术与传输技术	7	2.4.1 交换软件组成	44
1.3.1 交换原理	7	2.4.2 呼叫处理程序	45
1.3.2 复用技术	8	2.4.3 程序的执行管理	48
1.3.3 网络中的信息传输技术	11	2.4.4 故障处理	50
1.4 交换技术	12	2.4.5 呼叫处理实例	52
1.4.1 电路交换	12	2.5 移动通信系统中电路交换	
1.4.2 分组交换	13	交换机简介	53
1.4.3 帧中继	14	2.5.1 移动电话交换机的结构	
1.4.4 ATM 交换	14	和特点	53
1.4.5 OSI 模型各层的交换技术	15	2.5.2 移动电话程序控制原理	55
1.5 宽带交换技术的发展	15	2.6 电路交换机的技术指标	56
1.5.1 ATM 与 IP	16	2.6.1 性能指标	56
1.5.2 光交换技术	16	2.6.2 服务质量指标	57
1.5.3 软交换和 IMS 技术	16	2.6.3 可靠性指标	58
思考题	17	2.6.4 运行维护指标	58
第 2 章 电路交换	18	思考题	58
2.1 语音信号的数字化	18	第 3 章 C&C08 数字程控交换机硬件	60
2.1.1 固话通信系统语音信号的数字化	19	3.1 硬件系统概述	60
2.1.2 差值脉冲编码	22	3.1.1 硬件总体结构	61
2.1.3 数字复接	23	3.1.2 管理和通信模块、交换模块	
2.1.4 移动通信系统语音信号的数字化	24	主控单元的硬件构成	62
2.2 固话电路交换机的硬件结构	30	3.1.3 各类交换模块及其接口单元	66
		3.2 模块控制与通信单元	66
		3.2.1 模块处理器	67
		3.2.2 信号处理电路	69
		3.2.3 数字音信号电路	72

3.2.4	模块间通信	73	5.1.2	信令的分类	124
3.2.5	告警和终端驱动	74	5.1.3	信令的传输方式和控制方式	125
3.3	交换网络	76	5.2	7号信令系统概述	126
3.3.1	中心交换网络	76	5.2.1	7号信令主要应用和特点	126
3.3.2	模块内交换网络	77	5.2.2	7号信令网的组成和工作方式	126
3.4	模拟用户单元	80	5.2.3	7号信令系统的网络结构	128
3.5	中继电路	83	5.2.4	信令区的划分和STP的设置	129
3.5.1	数字中继电路	83	5.2.5	编号计划	130
3.5.2	模拟中继电路单元	85	5.2.6	路由选择	131
3.6	排队机及智能业务单元	90	5.3	7号信令系统的功能结构	132
3.7	ISDN接口单元	93	5.3.1	四级结构	132
	思考题	100	5.3.2	层次结构	132
第4章	分组交换	101	5.4	信令单元(SU)的类型和格式	135
4.1	分组交换原理	101	5.4.1	SU的格式	135
4.1.1	基本概念	101	5.4.2	SU的功能	136
4.1.2	统计时分复用	102	5.4.3	MSU的格式	137
4.1.3	逻辑信道	103	5.4.4	同抢与地址信令的发码方式	138
4.1.4	虚电路和数据报	103	5.5	TUP和MAP	139
4.2	点对点协议(Point to Point Protocol, PPP)	105	5.5.1	TUP消息的格式	139
4.2.1	使用点对点信道的数据链路层	106	5.5.2	移动应用部分MAP	142
4.2.2	PPP的特性与帧结构	107	5.6	7号信令系统的通信实例	147
4.3	分组交换机	111	5.6.1	信令传输网络的结构	147
4.3.1	分组交换机的功能结构	111	5.6.2	固定电话连接建立的信令过程	148
4.3.2	分组交换机的度量指标	113	5.6.3	7号信令实现智能化业务的过程	150
4.4	帧中继技术	113	5.6.4	7号信令在ATM网的呼叫控制过程	151
4.4.1	帧中继的基本原理	113		思考题	152
4.4.2	帧中继的协议结构和核心功能	115	第6章	异步传输模式(ATM)	154
4.4.3	帧中继的协议	115	6.1	ATM概述	154
4.4.4	帧中继的交换过程	118	6.1.1	ATM基础	154
4.4.5	帧中继的带宽控制和拥塞控制	120	6.1.2	虚信道、虚通道、虚电路	155
4.5	移动通信中的分组交换	121	6.2	B-ISDN协议参考模型	156
	思考题	122	6.2.1	协议参考模型	156
第5章	7号信令系统	123	6.2.2	分层模型	156
5.1	信令系统概述	123			
5.1.1	信令的基本概念	123			

6.3	AAL 协议	162	7.3	第三层交换	215
6.3.1	AAL 的功能、业务类别及 相应协议	162	7.3.1	三层交换的实现过程	215
6.3.2	AAL1	164	7.3.2	三层交换机种类	215
6.3.3	AAL2	166	7.3.3	三层交换机与路由器 的比较	216
6.3.4	AAL3/4	169	7.4	第四层交换	216
6.3.5	AAL5	173	7.4.1	基本原理	216
6.4	ATM 交换技术	176	7.4.2	主要特点与应用	218
6.4.1	ATM 交换机的基本组成与 缓冲策略	176	7.5	应用层交换	219
6.4.2	ATM 交换单元	177	7.5.1	应用层交换的概念	219
6.4.3	ATM 交换网络	179	7.5.2	P2P 文件交换	219
6.4.4	ATM 交换网络的路由选择 控制方法	183	思考题		221
6.4.5	交换节点信元转发	184	第 8 章	IP 和 ATM 的融合与 MPLS 交换	222
6.5	B-ISDN/ATM 信令	185	8.1	概述	222
6.5.1	B-ISDN/ATM 信令概述	185	8.1.1	背景	222
6.5.2	UNI 信令 (Q.2931)	187	8.1.2	IP 与 ATM 结合技术的分类	222
6.5.3	公用 NNI 信令 (B-ISUP)	190	8.2	重叠技术	223
6.5.4	ATM 信令适配层 SAAL	194	8.2.1	CIPOA	223
6.6	ATM 层的检错与纠错技术	202	8.2.2	LANE	224
6.6.1	循环码 (CRC) 与缩短 循环码	202	8.2.3	MPOA	225
6.6.2	ATM 信头纠错的实现	203	8.3	集成技术	228
6.7	ATM 通信量管理	205	8.3.1	IP 交换	228
6.7.1	服务质量	205	8.3.2	标签交换	230
6.7.2	通信量控制	206	8.3.3	CSR	233
6.7.3	拥塞控制	206	8.4	多协议标签交换	234
思考题		207	8.4.1	MPLS 的一些基本概念	235
第 7 章	多层交换	208	8.4.2	网络体系结构	237
7.1	局域网简介	208	8.4.3	MPLS 网络的工作原理	238
7.1.1	局域网概述	208	8.4.4	MPLS 标签的分配方法	238
7.1.2	Ethernet 的网络体系结构	209	8.4.5	LSP 的建立	239
7.1.3	共享介质局域网	211	8.4.6	标签分发协议	242
7.1.4	交换式局域网	212	思考题		244
7.2	第二层交换	213	第 9 章	下一代网络与软交换 和 IMS 技术	245
7.2.1	第二层交换的原理	213	9.1	下一代网络	245
7.2.2	第二层交换的工作过程 与特点	214	9.1.1	业务控制与交换分离	245
			9.1.2	业务、呼叫控制与承载 分离	249

9.1.3	NGN 分层模型	251
9.2	软交换技术	252
9.2.1	背景	252
9.2.2	基于软交换技术的网络体系结构	254
9.2.3	软交换方案举例	257
9.3	软交换网络的用户接入方式	258
9.3.1	传统用户的接入方式	258
9.3.2	宽带多媒体用户的接入方式	260
9.4	软交换网络的呼叫控制方式	260
9.4.1	软交换设备的主要功能	260
9.4.2	软交换设备的分类及组织形式	263
9.5	软交换网络的业务提供	263
9.5.1	软交换网络的业务分类	263
9.5.2	应用服务器	264
9.6	软交换网络的接口标准	265
9.7	IMS 网络概述	266
9.7.1	什么是 IMS	266
9.7.2	IMS 体系结构和特点	267
9.7.3	IMS 对 PS 和 CS 的影响以及其发展	270
9.8	IMS 相关标准	272
9.8.1	IMS 标准进展	272
9.8.2	RCS 标准及业务	273
9.8.3	基于 IMS 架构的 IPTV 标准	275
9.8.4	TISpan IMS	277
9.8.5	FMC 的统一平台架构	278

9.8.6	IMS 与软交换的关系	280
	思考题	281

第 10 章	光交换	282
10.1	光交换概况	282
10.2	光交换器件	283
10.2.1	光开关	283
10.2.2	可调谐滤光器	284
10.2.3	光调制器	284
10.2.4	光存储器	285
10.3	光交换网络	285
10.3.1	空分光交换网络	285
10.3.2	时分光交换网络	286
10.3.3	波分光交换网络	287
10.3.4	自由空间光交换网络	288
10.3.5	混合型光交换网络	289
10.3.6	ATM 光交换	290
10.4	光交换系统	291
10.4.1	光交叉交换设备	291
10.4.2	光分组交换	293
10.4.3	光突发交换系统	294
10.5	基于标签的光突发交换 LOBS	297
	思考题	298

附录 A	英文缩写与全称对照表	299
------	------------	-----

参考文献	311
------	-----

第1章 绪 论

1.1 通信网与交换机

1.1.1 交换机的含义

通信的目的是实现信息的交换。在通信系统中，信息以电信号或光信号的形式传输。一个通信系统至少应由终端和传输媒介组成，点对点通信的模型如图 1.1 所示。终端将信息如语音、视频、计算机数据等转换成适合媒介传输的信号形式，同时将来自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输至另一个地点。这样一种仅涉及两个终端的通信方式称为点对点通信。注意，图 1.1 中没有任何处理设备，仅有两个终端和传输媒介。

当存在多个终端，且希望它们中的任何两个都可以实现点对点通信时，最直接的方法是把所有终端两两相连，这样的连接方式称为全互连式。全互连式连接存在下列弊端：

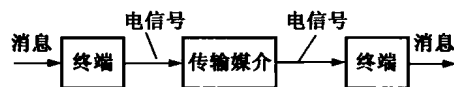


图 1.1 点对点通信模型

- (1) 当存在 N 个终端时，需用 $N \times (N-1)/2$ 线对，即线对总量与终端数的平方成正比；
- (2) 终端间相距很远时，相互间需要大量的线路；
- (3) 每个终端都有 $N-1$ 对线与其他终端相接，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，需增设 N 对线路，当 N 较大时，实用性非常差；
- (5) 每个用户的线对过多，维护工作量较大。

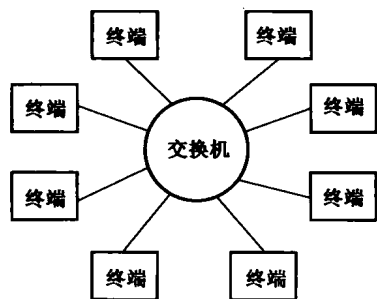


图 1.2 用户与交换机的关系示意图

如果在用户分布密集的中心安装一个交换机（switch），每个用户的终端设备经各自的专用线路（即用户线）连接到交换机上，如图 1.2 所示的用户与交换机的关系，就可以克服全互连式连接存在的上述问题。

图 1.2 中，当任意两个用户间需要交换信息时，交换机将这两个用户的通信线路连通。用户通信结束后，两个用户间的连线断开。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。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，总的投资费用仍是下降的。

1.1.2 通信网

当用户数量很多且分布的区域较广时，一台交换机的容量不可能容纳所有用户。为使通信网容纳全部用户，就需要安装多台交换机组成图 1.3 所示的通信网。网中直接连接电话机或终端的交换局称为端局，相应的交换机称为端局交换机；而仅与各交换机连接的交换机称为汇接交换机。当通信距离很远，通信网覆盖多个省市乃至全国范围时，汇接交换机称为长途

交换机。完成国际长途通信的汇接局叫国际汇接局。交换机之间的线路称为中继线。显然，长途交换设备仅涉及交换机之间的通信，而端局交换设备既涉及交换设备之间的通信，又涉及交换设备与终端的通信。

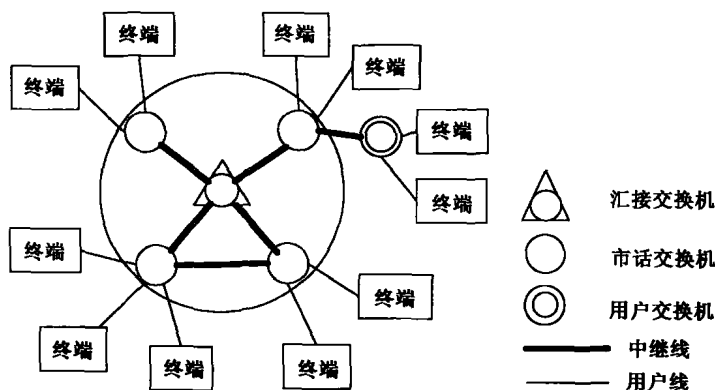


图 1.3 多台交换机组成的通信网

图 1.1、图 1.2 和图 1.3 中的“终端”设备即电话，因位于网络的终端而得名。计算机网的终端指计算机。由于计算机网的终端设备计算机可以不依赖其他设备独立运行，因此也称主机 (host)。

图 1.3 中的用户交换机 (Private Branch Exchange, PBX) 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 所连接的用户线数目少，因此当集团中的主要电话业务为内部通信时，采用 PBX 要比将所有话机都连到市话交换机上更经济。PBX 都具有自动交换能力，又称为 PABX (Private Automatic Branch Exchange)，实现中采用的是虚拟专用网技术。

由此可见，交换机在通信网中起着非常重要的作用。

1.1.3 面向连接通信网和无连接通信网

信息在通信网中由发端至终端逐节点传输时，网络有两种工作方式：面向连接 (Connection Oriented, CO) 和无连接 (Connectionless, CL)。

1. 面向连接通信网络

面向连接指在两个端点间建立一条数据通信信道。该信道提供一条在网络上顺序发送数据分组的预定义路径，发送方与接收方保持联系以协调会话和数据分组接收或失败的信号。面向连接网络建立的连接有两种：实连接和虚连接。用户通信时，如果建立的连接由一条接一条的专用电路资源级联而成，无论用户信息是否传输，这条专用连接始终存在，且每一段占用恒定的电路资源，那么这个连接就叫实连接 (详见第 2 章)；如果电路的分配是随机的，用户传输信息时才占用电路资源，无信息传输就不占用电路资源，对用户的识别改用标志，那么这样一段又一段串接起来的标志连接叫虚连接 (详见第 4 章)。显然，实连接的电路资源利用率低；虚连接的电路资源利用率高。

2. 无连接通信网络

无连接通信中，每个数据分组是网络上的独立传输单元，称做数据报。发送方和接收方之间没有初始协商，发送方仅仅向网络上发送数据分组，每个分组含有源地址和目的地址。

面向连接网络和无连接网络的主要区别如下：

(1) 面向连接网络用户的通信总要经过连接建立、信息传输、连接释放三个阶段，无连接网络不需为用户的通信过程建立和拆除连接；

(2) 面向连接网络的每一个节点为每一个呼叫选择路由，节点中需要有维持连接的状态表；无连接网络的每一个节点为每一个传输的数据分组选择路由，节点中不需要维持连接的状态表。

1.2 网络模型

1.2.1 分层模型

为了使所有网络都能互相连通，国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）提出了开放系统互连参考模型（Open Systems Interconnection Reference Model, OSI/RM），简称为 OSI，其标准编号为 ISO—7498。ISO 一贯的风格是大而全，OSI 自然也不例外。OSI 分为 7 层，包括物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层、表示层、会话层，其系统庞大复杂、事无巨细，企图解决所有能想到的问题，但实际上其中大部分功能极少使用。

当 ISO 在全世界推行其 OSI，试图让全世界的计算机网络都遵守这一标准时，因特网已经覆盖了世界上很多地区。因特网的体系结构采用 TCP/IP 体系结构，它与 OSI 截然不同。TCP/IP 体系结构注重实用、非常简单，它是一个 4 层结构，包括网络接口层、网际层、应用层、传输层，其中网际层相当于网络层，网络接口层相当于数据链路层和物理层。TCP/IP 体系结构在与 OSI 的竞争中胜出了，这是简单的 4 层体系结构战胜复杂结构的典范。

现在常用的网络体系结构是 5 层（即物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层）体系结构或 4 层 TCP/IP 体系结构。OSI 体系结构、5 层体系结构与 TCP/IP 体系结构的对比如图 1.4 所示。

图 1.4(b)所示为实用的 5 层体系结构。各层自下向上编号，最下面的物理层称为第 1 层，数据链路层称为第 2 层，直至第 5 层的应用层。每一层的最主要内容是协议（如第一层的机械特性和电气特性协议、数据链路层的帧结构协议等）。因为这些层堆叠在一起好像一个堆放货物的堆栈，所以也称为协议栈（protocol stack）。下面简单介绍各层的功能。

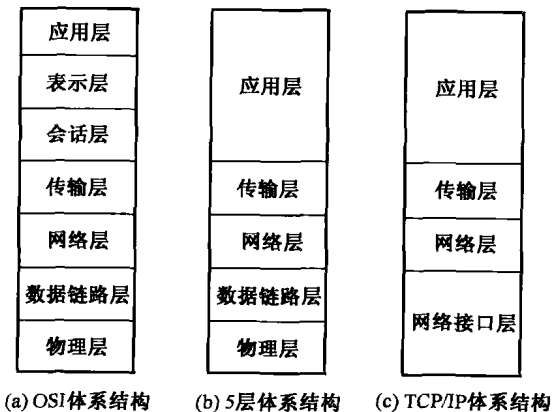


图 1.4 几种网络系统结构对比

1. 物理层

计算机世界采用二进制数表示，只用 0 与 1 这两个二进制数就能表达所有内容，无论是文本、程序，还是音乐、电影，因此计算机网络能传输大量的 0 与 1 代码即可。但如何传输却是个复杂的问题，早期使用同轴电缆，现在普遍使用双绞线与光纤。这些传输媒体中传输的是电信号和光信号，电信号和光信号如何表示 0 与 1 呢？另外，计算机和网络设备如何与传输媒体连接？这些都是物理层要解决的问题。概括地说，物理层的任务就是传输码流。

2. 数据链路层

数据链路层简称为链路层。当两个节点（节点可能是计算机，也可能是网络设备）使用一根导线相连时，两者间的通信非常简单。可在无线情况下，若两个节点同时发送数据，数据会因为冲突而遭破坏；或在有线方式下，采用广播式的通信方式，也会有冲突发生。这些问题由数据链路层负责解决。概括地说，数据链路层的任务是负责相邻节点间的通信。

3. 网络层

当数据从一台计算机发往另一台计算机时，转发数据的网络设备如何知道数据是发往哪台计算机的？如果去往目的计算机存在着不同的路径，传输数据时应该选择哪条路径？选择的依据是什么？这些都是网络层要解决的问题。概括地说，网络层的任务是在网络中选择一条合适的路由传输数据。

4. 传输层

一台计算机中能够同时运行多个程序，这种运行着的程序称为进程，如一个浏览器、一个 QQ 聊天窗口。想象一位用户打开了十多个浏览器窗口，同时还在 QQ 聊天，BT 也在下载最新的电影，如此多的进程都使用同一网卡收发数据，数据是如何由网卡正确分配到不同进程的？浏览器、QQ、BT 都工作正常，没有出现数据混乱现象。另外，网络不是万无一失的，传输过程中数据出错或丢失怎么办？这些都是传输层要解决的问题。概括地说，传输层的任务是负责不同计算机中两个进程间的通信。

5. 应用层

计算机网络存在的目的是使用。应用层就是为了让用户能够使用网络，如浏览网页、QQ 聊天、收发电子邮件、下载电影、玩网络游戏等，这些提供实用功能的程序称为应用。如此众多的应用如何合理地设计，如何高效地为用户提供良好的服务就是应用层的任务。

1.2.2 分层结构中的术语

下面简单说明计算机网络中的重要概念。

1. 实体

计算机网络中有网卡、软件进程等参与者。实体（entity）指计算机网络中参与发送或接收数据的硬件或软件进程。网卡、浏览器窗口都是实体。不同的层有不同的实体，位于不同计算机中同一层的实体称为对等实体。例如，发送端网络层的实体与接收端网络层的实体为对等实体。

2. 服务

在计算机网络中，除物理层外，每层的实体需要下一层实体的帮助才能完成数据的传输。这种下层实体提供给上层实体使用的功能称为服务（service）。

服务通常通过函数调用来实现。例如，传输层实体提供了 C 语言的发送函数 `send()` 与接收函数 `recv()`，应用层实体需收发数据时直接调用这两个函数就可以了。至于这两个函数如何实现，那是传输层实体的事情，应用层实体不需要知道。实际上传输层为了实现这两个函数还需要调用网络层实体提供的服务，而网络层实体再调用数据链路层实体提供的服务，最后数据链路层实体再调用物理层实体提供的服务。这样经过层层调用才最终完成数据的收发。

3. 协议

在计算机网络中,位于不同计算机内的同层对等实体需要很多规则才能正常通信。协议(protocol)规定了两个对等实体通信时的数据格式,以及在收发数据时和其他事件发生时应进行的操作。既然协议是控制对等实体的,那么一个协议必然位于某一层内,不同的层有不同的协议。因特网有两个最重要的协议,位于传输层的 TCP 协议和位于网络层的 IP 协议,这两个协议构成了因特网的核心,因此因特网的体系结构称为 TCP/IP 体系结构。

特别应该注意的是,协议规定的是两个对等实体,也就是位于两台不同计算机的两个同层实体间的关系,至于同一计算机内相邻层实体间的关系则是提供服务与使用服务的关系。

有的协议非常简单,有的非常复杂。很多协议之所以复杂,是因为要对很多非正常情况进行处理,此时的工作量远远超过了处理正常情况的工作量。这种情况在计算机世界经常见到。例如,一个除法程序,处理正常情况只需要类似 $a=x/y$ 的一条指令,而为了处理除数不能为 0 这种非正常情况,需要判断、错误报告等多条指令。因此,在设计协议时要非常小心谨慎,尽可能考虑到各种非正常情况,协议才能持续不断地正常工作,否则遇到非正常情况就会出问题。这叫协议的健壮性。

协议是计算机网络中最重要概念,也是计算机网络中最主要的内容。

4. 协议数据单元

计算机网络中的每层实体都有自己处理数据的单位。这种某层实体处理数据的单位称为该层的协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)。物理层的 PDU 称为比特,数据链路层的 PDU 称为帧(frame),网络层的 PDU 称为数据报(datagram),传输层的 PDU 称为报文段(segment),应用层的 PDU 称为报文(message)。另外,无论哪一层的 PDU,都可以笼统地称为分组(packet)。

5. 封装与拆封

计算机网络中,应用层在数据中加上控制信息形成自己的 PDU,把 PDU 交给传输层实体。传输层实体在应用层 PDU 的外面加上自己的控制信息形成传输层的 PDU,再交给网络层。网络层、数据链路层的实体同样处理,直至物理层,数据才真正传输出去。

在上层实体交付的 PDU 外面加上控制信息形成本层 PDU 的过程称为封装(encapsulation)。计算机网络中每层实体都重复同样的工作:收到来自发送计算机中对等实体给本层的 PDU 后,首先查看其中的控制信息,再去掉控制信息得到上层 PDU,交付给上层实体,直至应用层。查看控制信息的目的有很多,如检查数据在传输过程中是否出错。

去掉本层 PDU 控制信息从而得到上层 PDU 的过程称为拆封(decapsulation)。因为控制信息通常置于上层 PDU 的前面,所以也形象地称为首部(header)。协议中最重要的内容就是规定首部的格式,以及查看首部后要进行的操作。PDU 中除首部以外的部分称为数据,本层数据显然就是来自上层的 PDU。封装与拆封的过程如图 1.5 所示。

关于封装与拆封的过程还有如下两点需要说明:

(1) 有些数据链路层协议除增加首部外,还在网络层 PDU 的后面增加尾部,如数据链路层帧结构中的帧校验序列(Frame Check Sequence, FCS)字段;

(2) 有些物理层协议直接将数据链路层 PDU 转换为电信号或光信号传输,不再增加首部,但也有一些物理层协议需要增加首部。

特别需要注意的是，某层的接收实体只查看本层 PDU 的首部，这个首部则是发送方的同层对等实体加上的。

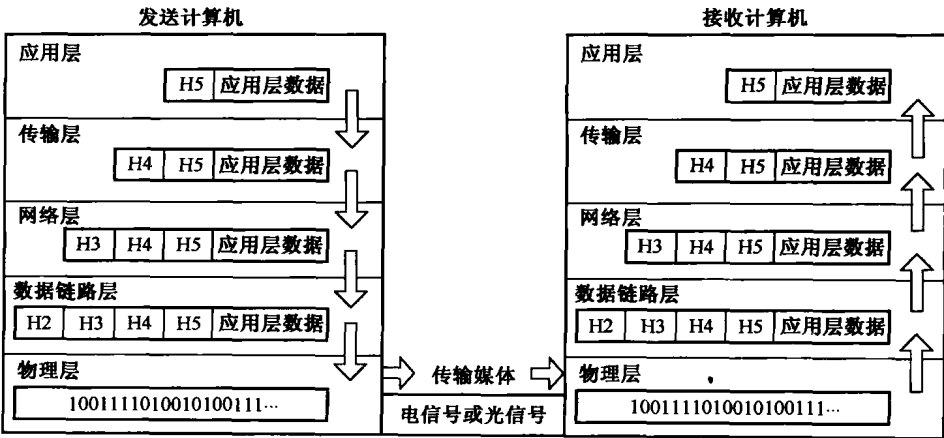


图 1.5 封装与拆封的过程

图 1.4 所示网络模型结构图中，各层的功能通过硬件或软件实现。“某设备工作在某层”确切的意思是指该设备会查看该层及其下面其他层 PDU 的首部。例如，路由器中的网络层实体会查看网络层 PDU 的首部并据此进行一些操作，这些操作由网络层协议规定。要想查看网络层 PDU 的首部，就要先查看数据链路层 PDU 的首部并将其去掉，才能得网络层 PDU。因此路由器内一定要有数据链路层实体。同理，也一定要有物理层实体。至于传输层与应用层，路由器并不查看其 PDU 的首部，自然也不需要其实体了。所以，路由器内只有物理层、数据链路层与网络层的实体，而传输层和应用层的实体并不存在，其分层结构如图 1.6 所示。

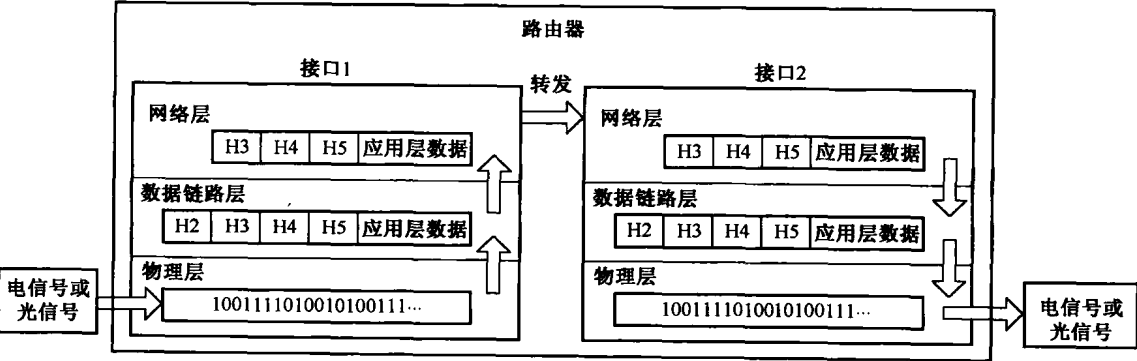


图 1.6 工作在网络层的路由器分层结构

从图中可以看出路由器工作的过程如下：电信号或光信号从接口 1 进入后，物理层实体把信号转换成 0 与 1 组成的二进制数字序列，得到数据链路层 PDU，数据链路层实体查看其首部并完成数据链路层协议规定的操作后，拆封得到网络层 PDU，网络层实体查看其首部并完成网络层协议规定的操作。网络层 PDU 被转发到接口 2，接口 2 的数据链路层实体把网络层 PDU 封装为数据链路层 PDU，物理层实体把 0 与 1 数字序列转换为电信号或光信号，通过传输媒体发送出去。封装与拆封体现了计算机网络分层结构的基本原理，是计算机网络的精髓所在；协议则是各层的核心内容。

1.3 交换原理、复用技术与传输技术

1.3.1 交换原理

1. 交换节点的功能结构

通信网由终端、交换机和传输系统组成。终端只是信息产生的源点或信息接收的目的点。传输系统负责信息的传输。网络中的复杂控制由交换机来完成，因此，交换机的性能决定了网络的性能。

在通信网中，交换机完成如下功能。

① 接入功能：完成用户业务的集中和接入，通常由各类用户接口和中继接口完成。
② 交换功能：指信息从通信设备的一个端口进入，从另一个端口输出。这一功能由交换网络完成。

③ 控制功能：负责呼叫控制及连接的建立、监视、释放等。

④ 其他控制与管理功能：包括路由信息的更新和维护、计费、话务统计维护管理等。

交换节点分为面向连接和无连接两种，其基本功能结构如图 1.7 所示。

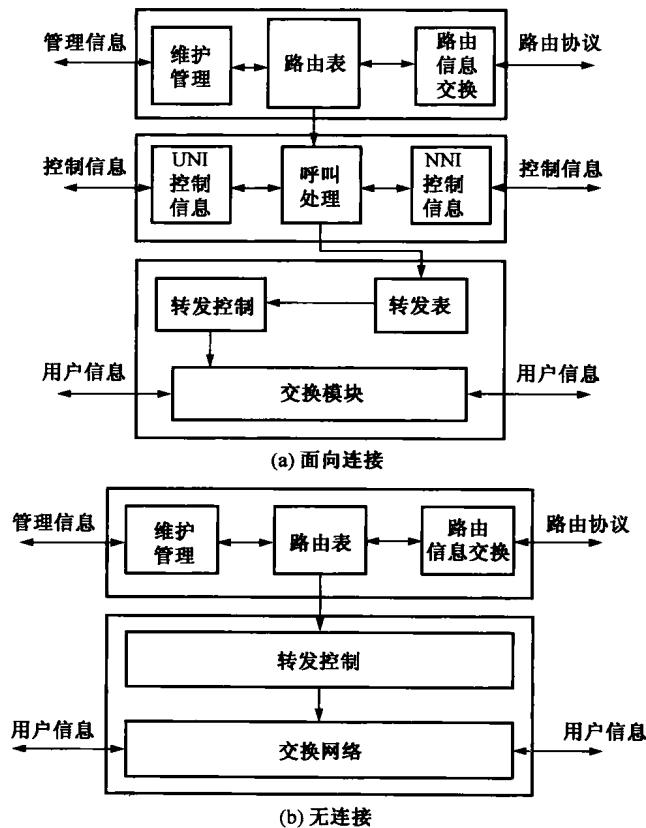


图 1.7 交换节点的基本功能结构

2. 交换机的物理结构

以固定电话（以下简称“固话”）电路交换机为例来说明交换机的物理结构，图 1.8 所示

为其基本组成。用户通过用户线连接到交换系统的用户接口，其他交换机通过中继线连接到交换机的中继接口。用户接口或中继接口将来自不同终端（如电话机、计算机等）或其他交换机的各种传输信号转换成统一的交换机内部工作信号，交换机内部工作信号包括信令信号和消息信号两种，信令信号传输给处理机，消息信号传输给交换网络。

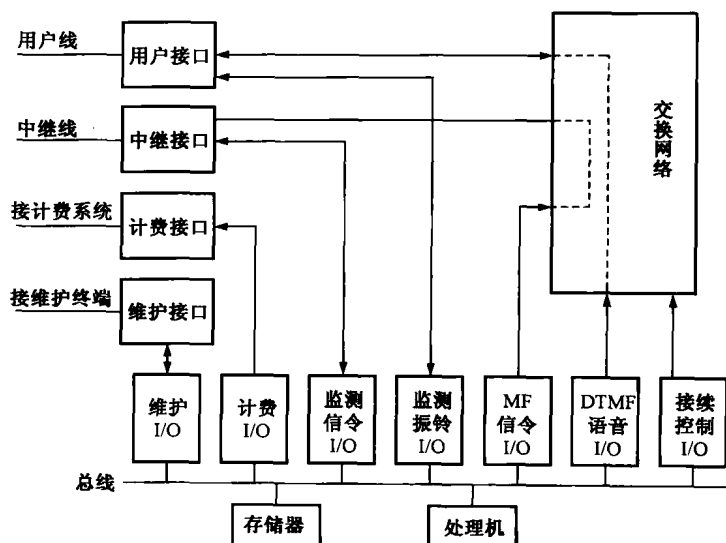


图 1.8 交换机的基本组成

除业务接口外，交换机还有维护接口，用来连接维护中心，对交换机进行集中的运行、管理和维护（Operation Administration and Maintenance, OAM）。

运行是指在具体安装一台交换机时，对交换机所做的配置和状态控制。操作员应能通过运行功能了解交换机的各类接口和参数，例如了解各接口线所对应的地址和电话号码，以及整个交换机安装了多少个终端和中继线接口等。

管理是对通信网中业务量进行控制和对路由表进行维护，同时也负责日常业务量的统计、通信时间的记录及计费等工作。通过计费接口，可以将交换机采集到的原始通信数据，如通信开始和结束时间，发、收双方电话号码等信息送到存储器或计费中心，计费中心按通信距离、通信时长、优惠时段和费率等计算通信费用，并形成通信账单。

维护包括对交换机进行故障的检测、故障的定位和修复。

交换网络实现各入/出线上信号的传输和交换。交换机内部的网络通道（如固话交换机的 TS16）可以传输交换机内部的管理信息或处理机之间的通信信息。

在控制系统控制下，交换机收发信令，完成交换接续、日常维护、业务量统计、测试、计费和设备的管理，以及系统输入、输出等所有的控制功能。

1.3.2 复用技术

复用是指在单一线路上同时传输多路信号的技术，根据传输信号的不同，通常有适于模拟信号传输的频分复用（Frequency Division Multiplexing, FDM）技术和适于数字信号传输的时分复用（Time Division Multiplexing, TDM）技术。光纤作为传输媒体时，用光信号作为传输信号，由于光纤的带宽很宽，多种不同波长的光信号可以同时通过光纤传输，即波分复用（Wavelength Division Multiplexing, WDM）技术。下面分别用具体事例来分析这三种复用技术。