



高等学校电子与通信工程类专业“十二五”规划教材

现代交换原理 与技术

主 编 吴潜蛟

副主编 明 洋 吴向东 王 静



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信工程类专业“十二五”规划教材

现代交换原理与技术

主 编 吴潜蛟

副主编 明 洋 吴向东 王 静



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书详细介绍了目前在通信网中应用的各类交换技术的基本概念和工作原理。全书共 9 章, 主要内容包括交换机理论基础、信令系统、数字程控交换原理与技术、分组交换原理与技术、ATM 原理与技术、IP 交换技术、移动交换技术和下一代交换技术等。

本书选材合理、内容翔实、层次清晰、编写方法新颖, 可作为高等学校电子与通信工程类专业的本科生教材, 也可作为通信领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代交换原理与技术/吴潜蛟主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2013. 7
高等学校电子与通信工程类专业“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 5606 - 3061 - 8

I. ①现… II. ①吴… 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(2013)第 145653 号

策 划 刘玉芳

责任编辑 王 瑛 刘玉芳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 19

字 数 449 千字

印 数 1~3000 册

定 价 32.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3061 - 8/TN

XDUP 3353001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

现代通信网络由交换节点、传输信道和终端设备三部分组成,交换是通信网络的核心技术。

源于电话通信的交换技术,随着微电子学、光电子学、通信技术、计算机技术和控制技术的发展,变化日新月异。从计算机通信发展起来的分组交换方式随着网络通信的发展而迅速崛起。以分组交换为基础的计算机业界和以电路交换为基础的电信业界在发展自身技术的同时,通过竞争和合作,相互提高,成为推动交换技术发展的强大动力。在此基础上的互相融合,出现了快速电路交换、快速分组交换(中继)、ATM、IP等改进的交换技术。因特网的迅速崛起,用户的业务从语音通信走向多媒体通信,网络的宽带化、智能化,用户终端的个性化促进了交换技术的迅速融合和发展。

从本质上说,交换设备是大规模集成电路和计算机在通信领域的应用,是通信、电子、计算机等学科的综合,交换技术的内容有多学科综合的特点。由于各自学科发展的不同,内容上表达有异。交换新技术层出不穷,课程内容工程实践性强,方案的实施不是唯一的。要培养学生很好地掌握“交换原理”这门涵盖众多内容课程的知识,编写一本能体现交换理论基础、设计思路和实现方法,能体现通信工程培养思路的,具有特色的现代交换原理与技术的教材,适应知识的更新和技术发展的变化,就显得尤为重要和迫切。

作者按照教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会颁布的《通信工程本科指导性专业规范》中课程体系和培养目标的要求,遵循“宽口径、厚基础、强能力、求创新”的教育理念,强调拓宽专业口径,培养既具有扎实的数理基础,又熟练掌握通信技术的综合人才的要求,编写了本书。本书的内容注重于基本概念、基本原理和基本分析方法的阐述,取材突出系统性和完整性,层次分明,重点突出。

本书在写法上力求条理清楚、深入浅出、循序渐进,注重必要的教学分析,强调理论和工程实践的结合。

本书分为9章:第1章主要介绍通信网络的基本概念和组成,基本的交换模式和我国的通信网结构,这是本课程的学习基础;第2章主要介绍与交换理论相关的基本理论知识,为通信网络的规划、设计、建设和维护等实践活动提供一个基础支持;第3章主要介绍通信网中的信令技术及No.7信令的基本原理;第4章详细介绍以语音通信为主体的数字程控交换机的硬件组成,各部分的功能、工作原理以及软件的结构、特点、功能等相关技术;第5章介绍分组交换的基本原理和技术;第6章主要介绍ATM原理与技术;第7章主要介绍IP交换技术的基本原理和实现方法;第8章介绍移动交换技术的特点和实现方法;第9章主要介绍当今交换技术的发展状况。

本书适当增加部分交换技术的发展历史背景，以期从发展历程中寻找思路、理论 and 解决方法，启迪学生，使其对本课程有一个整体的把握，并延伸到现代发展的前沿和热点，利于学生在今后的工作中进一步提高学习、分析和研究开发的能力，同时增加学生的学习兴趣。

本书由吴潜蛟担任主编并负责统稿，明洋、吴向东和王静担任副主编。第1章和第4章由吴潜蛟教授编写，第2章和第9章由明洋副教授编写，第3章由吴向东博士和吴潜蛟教授共同编写，第5章和第6章由吴向东博士编写，第7章和第8章由王静副教授编写。韩娟、张琳、周俊等研究生参与了资料收集、插图绘制和校对等工作。本书在编写过程中得到了作者单位的支持和其他同事的帮助。2008年7月16~20日在武汉华中科技大学举办的“全国高校信息通信引导型课程暨教学实验平台建设经验交流会”期间，北京邮电大学卞佳丽教授、重庆邮电大学张毅教授对本书的内容提出了建设性意见。作者编写本书时还参考了其他作者的书籍和文献，在此一并表示诚挚的感谢。

本书在出版过程中得到了西安电子科技大学出版社刘玉芳、王瑛等很多人的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，不妥之处敬请同行专家批评指正。

编 者

2013年3月于西安

第 1 章 绪论	1	2.5 本章小结	47
1.1 交换概念的引入	1	习题 2	48
1.2 交换方式	3		
1.2.1 电路交换	3	第 3 章 信令系统	49
1.2.2 报文交换	4	3.1 信令概述	49
1.2.3 分组交换	4	3.1.1 信令的基本概念	49
1.3 交换技术的发展演变过程	6	3.1.2 信令的分类	50
1.4 以交换为核心的通信网	8	3.1.3 信令的传送方式	53
1.4.1 通信网的分类	9	3.1.4 信令的控制方式	54
1.4.2 通信网的分层体系结构	9	3.2 中国 No. 1 信令	55
1.4.3 通信网的拓扑结构	10	3.2.1 线路信令	55
1.4.4 电话通信网的结构	12	3.2.2 记发器信令	58
1.4.5 编号制度	15	3.3 No. 7 信令	62
1.5 本章小结	18	3.3.1 No. 7 信令系统概述	63
习题 1	18	3.3.2 CCS7 信令网	64
		3.3.3 CCS7 信令单元格式	69
第 2 章 交换机理论基础	20	3.3.4 消息传递部分	73
2.1 概率论与随机过程	20	3.3.5 信令连接控制部分	75
2.1.1 概率论基础	20	3.3.6 事务处理能力应用部分	80
2.1.2 随机过程的应用	26	3.3.7 移动应用部分	82
2.2 通信业务量	31	3.3.8 电话用户部分	82
2.2.1 话务量	31	3.3.9 ISDN 用户部分	90
2.2.2 数据业务量	33	3.4 本章小结	95
2.2.3 交换系统的服务质量和话务 负荷能力	34	习题 3	95
2.3 明显损失制交换系统的基本理论	35		
2.3.1 呼损指标分配	35	第 4 章 数字程控交换原理与技术	97
2.3.2 利用度	35	4.1 交换机的基本功能与基本组成	97
2.3.3 服务设备占用概率分布	36	4.1.1 交换机的基本功能	97
2.3.4 呼损率与设备利用率	39	4.1.2 交换机的基本组成	98
2.4 等待制交换系统的基本理论	43	4.2 数字程控交换机的控制方式	98
2.4.1 等待制电路交换	43	4.2.1 集中控制	98
2.4.2 等待制分组交换	45	4.2.2 分散控制	99
		4.2.3 处理机的冗余配置	103

4.2.4 多处理机之间的通信方式	104	6.3.2 ATM交换机的组成	192
4.3 数字程控交换机的工作原理	105	6.4 ATM交换结构	194
4.3.1 语音信号的数字化和时分 多路通信	105	6.5 ATM网络的路由选择	198
4.3.2 数字交换的基本过程	108	6.6 交换的呼叫和连接控制	201
4.4 数字程控交换机的硬件结构	109	6.6.1 ATM请求式连接	201
4.4.1 模拟用户线接口电路	109	6.6.2 ATM寻址	202
4.4.2 中继器	112	6.6.3 地址登记	203
4.4.3 信令设备	114	6.6.4 连接控制消息	204
4.4.4 交换网络	115	6.6.5 连接的建立和清除	205
4.5 数字程控交换机的软件系统	124	6.7 ISDN和B-ISDN	206
4.5.1 数字程控交换机软件的特点	125	6.7.1 ISDN的基本概念	206
4.5.2 交换机软件中的程序设计 语言种类	127	6.7.2 B-ISDN结构	209
4.5.3 局数据和用户数据的基本内容	130	6.8 ATM技术的发展与应用	210
4.5.4 操作系统	131	6.9 本章小结	212
4.5.5 呼叫处理程序	138	习题6	212
4.6 本章小结	151		
习题4	152		
第5章 分组交换原理与技术	154	第7章 IP交换技术	214
5.1 分组交换技术的基本原理	154	7.1 IP协议	214
5.1.1 分组交换方式	156	7.1.1 IP地址	214
5.1.2 统计时分复用	158	7.1.2 域名服务	216
5.1.3 路由选择	160	7.1.3 IP数据报分组格式	217
5.1.4 流量控制与拥塞控制	161	7.2 路由器的工作原理	218
5.2 通信网的层次结构	162	7.2.1 路由器的基本概念	218
5.2.1 通信网的层次模型	162	7.2.2 路由协议	221
5.2.2 OSI协议参考模型	163	7.2.3 路由器的工作过程	226
5.3 X.25通信协议与帧中继	167	7.3 IP交换技术	229
5.3.1 X.25通信协议的建议	167	7.3.1 IP交换的基本概念	229
5.3.2 帧中继协议的建议	175	7.3.2 IP交换协议	230
5.4 本章小结	181	7.3.3 IP交换机的组成与工作原理	232
习题5	181	7.4 标记交换技术	235
		7.4.1 标记交换部件	235
		7.4.2 ATM中的标记交换	239
		7.4.3 服务质量(QoS)	239
		7.4.4 标记交换移植策略	240
		7.5 本章小结	240
		习题7	240
第6章 ATM原理与技术	183	第8章 移动交换技术	241
6.1 异步转移模式(ATM)基础	183	8.1 移动通信系统的基本结构	241
6.1.1 ATM信元结构	186	8.1.1 移动通信系统的网络结构	241
6.1.2 ATM协议参考模型	188	8.1.2 移动通信系统的网络接口	243
6.2 ATM交换的基本原理	190	8.1.3 编号计划	243
6.3 ATM交换机的模块结构和组成	191	8.2 移动交换的信令系统	245
6.3.1 ATM交换机的模块结构	191		

8.2.1 无线接口信令.....	245	9.1.3 软交换的参考模型.....	263
8.2.2 基站接入信令.....	248	9.1.4 软交换网关.....	264
8.2.3 网络接口信令.....	251	9.1.5 软交换协议.....	272
8.3 移动交换的工作原理.....	252	9.1.6 基于软交换的 NGN 组网及 发展.....	276
8.3.1 移动呼叫处理的一般过程.....	252	9.2 光交换.....	279
8.3.2 位置登记.....	255	9.2.1 光交换概述.....	279
8.3.3 MS 的呼叫处理	256	9.2.2 光交换原理.....	282
8.3.4 漫游与切换.....	258	9.2.3 通用多协议标记交换(GMPLS)	286
8.4 本章小结.....	259	9.3 本章小结.....	293
习题 8	260	习题 9	293
第 9 章 下一代交换技术	261	参考文献	295
9.1 软交换技术.....	261		
9.1.1 软交换的基本要素.....	261		
9.1.2 软交换的功能.....	262		



第 1 章 绪 论

1.1 交换概念的引入

在“通信原理”课程学习中,我们知道,通过信源发送设备、通信信道、信宿接收设备,即可实现双方的点到点的对等通信。因此,对于点到点的通信,只要在通信双方之间建立一个连接即可实现。而对于点到多点或多点到多点的通信(也就是具有多个通信终端),最直接的方法就是让所有通信方两两相连,如图 1-1(a)所示,这样的连接方式称为全互连方式。全互连方式存在以下缺点:

- (1) 当存在 N 个终端时,需要 $N(N-1)/2$ 条连线;
- (2) 当终端相距很远时,需要很长的直接连接线路;
- (3) 每个终端都有 $N-1$ 条连线与其他终端相接,因而每个终端都需要 $N-1$ 个线路接口。

显然,全互连方式不适合终端用户数量多且分布范围较广的情况,最好的连接方法是在用户分布密集的中心处安装一个设备,把每个用户终端设备(比如电话机)分别用专用的线路(电话线)连接到这个设备上,如图 1-1(b)所示。当任意两个用户之间要进行通信时,该设备将这两个用户的通信线路接通。当两个用户通信完毕时,再把相应的开关接点断开,两个用户间的连线也就随之切断。这样,对 N 个用户只需要 N 对连线,即 N 条线路(一般一条线路由一对连线组成)就可以满足要求,线路的投资费用大大降低。这种能够完

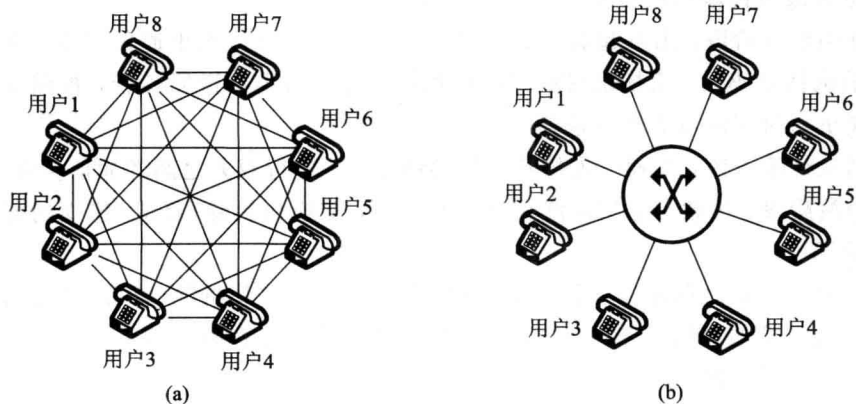


图 1-1 通信终端连接方式示意图

(a) 通信用户的全互连; (b) 通信用户通过交换设备连接



成任意两个用户之间通信信道(线路)连接与断开作用的设备称为交换设备或交换机。交换就是指各通信终端之间(比如计算机之间、电话机之间、计算机与电话机之间等)为交换信息所采用的一种利用交换设备进行连接的工作方式。

对于图 1-1(b)中任意两个终端用户而言,他们之间的每一次通信都要借助交换设备。电话通信过程示意图如图 1-2 所示。一次成功的通信包括呼叫建立、消息传输和释放三个阶段。

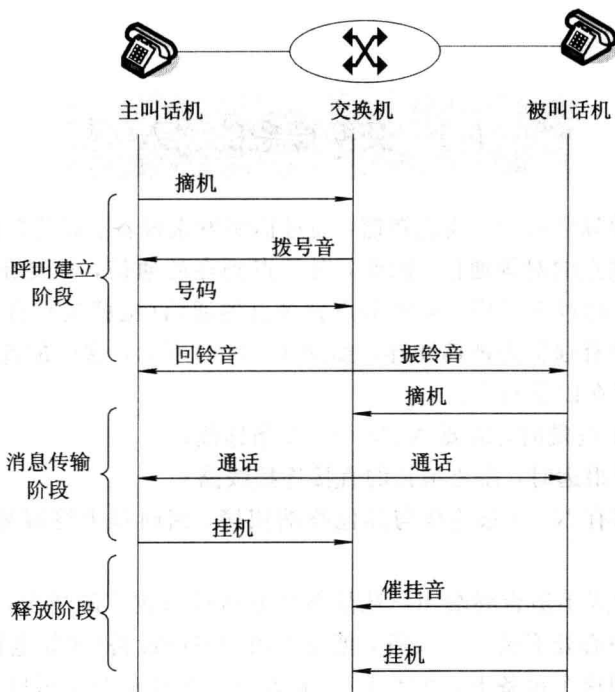


图 1-2 电话通信过程示意图

在呼叫建立和释放阶段,用户线和中继线上传输的信号称为信令,起联络控制作用;在消息传输阶段所传输的信号称为消息。

(1) 呼叫建立阶段:由发起通话的主叫用户终端向交换机发出通信请求,并提供被叫用户终端的电话号码后,交换机对被叫用户振铃,对主叫用户送回铃音,被叫用户终端摘机后,交换机在对应的双方建立通信链路。

(2) 消息传输阶段:在通信连接建立好的链路上,进行双方之间的通信传输。

(3) 释放阶段:任意一方发出终止通信的请求,交换机拆除(释放)建立的通信链路供其他呼叫使用。

这种在双方通信之前建立通信链路(逻辑连接),通信完毕拆除(释放)通信链路的通信方式称为面向连接的通信。与之对应,双方通信之前无需建立通信链路连接(逻辑连接)的通信则称为面向无连接的通信。

引入交换设备后,交换设备就和连接在其上的用户终端设备以及它们之间的传输线路构成了最简单的通信网,并可由多个交换设备构成实用的大型通信网,如图 1-3 所示。处于通信网中的任何一台交换设备都可以称为一个交换节点。

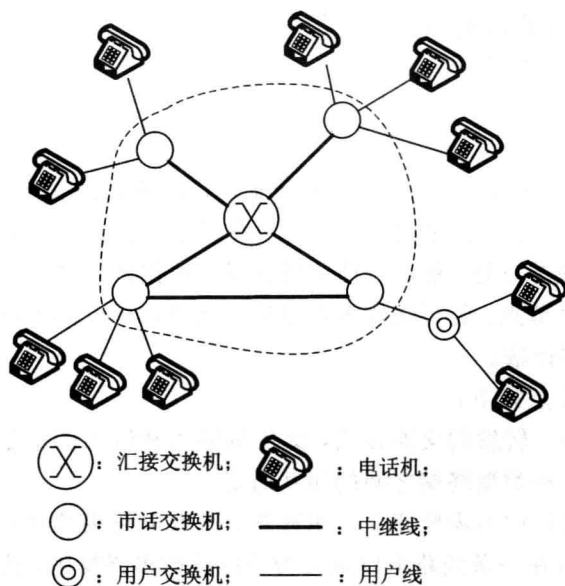


图 1-3 由多个交换设备构成的通信网

图 1-3 中：直接与电话机或终端连接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汇接交换机；用户终端与交换机之间的连接线路称为用户线；交换机之间的连接线路称为中继线。

因此，终端设备、传输信道和交换节点是构成通信网系统的三个基本要素。

1.2 交换方式

现代通信网中的交换方式主要采用电路交换、报文交换和分组交换。在此基础上的互相融合，出现了快速电路交换、快速分组交换(中继)、ATM、IP 等改进的交换技术。

1.2.1 电路交换

电路交换(Circuit Switching, CS)也叫线路交换，是指在信息(数据)的发送端和接收端之间直接建立一条临时通路，供通信双方专用，其他用户不能再占用，直到双方通信完毕才能拆除。

电路交换分为以下三个阶段：

(1) 电路建立阶段。该阶段的任务是在需要进行通信的双方之间，各节点(电话局)通过线路交换设备，建立一条仅供通信双方使用的临时专用物理通路。

(2) 电路传输阶段。通信双方的具体通信过程(数据交换)在这个阶段进行。

(3) 电路拆除阶段。通信完毕后，必须拆除这个临时通道，以释放线路资源供其他通信方使用。

电路交换有如下主要特点：

(1) 通信前建立连接，通信后拆除连接，通信期间，不管是否有信息传送，连接始终保持且对通信信息不作处理，也无差错控制措施。



- (2) 固定分配带宽, 资源利用率低, 灵活性差。
- (3) 传输延时小, 实时性好。

1.2.2 报文交换

报文交换(Message Switching, MS)的原理是, 信源将待传输的信息组成一个数据包——报文, 该报文上写有信宿的地址, 数据包在通过传输网络时, 每个接收到该数据包的节点都先将它存在该节点处, 然后按信宿的地址, 根据网络的具体情况, 寻找合适的通路将报文转发到下一个节点。经过这样多次存储—转发(store and forward switching), 直至信宿, 完成一次数据传输。

报文交换的主要优点如下:

- (1) 报文采用存储—转发的交换方式, 交换机输入和输出的信息速率、编码格式等可以不同, 很容易实现各种类型终端之间的相互通信。
- (2) 在报文交换过程中不需要建立专用通路, 没有电路接续过程(保持连通状态), 来自不同用户的报文可以在一条线路上以报文为单位进行多路复用, 线路可以以其最高的传输能力工作, 极大地提高了线路的利用率。

报文交换的主要缺点如下:

- (1) 信息传输时延大, 而且时延的变化(抖动)也大, 不利于实时通信。
- (2) 交换节点需要存储用户发送的报文, 因为有的报文可能很长, 所以要求交换机要有高速处理能力和大的存储容量, 一般要求配备大容量的磁盘和磁带存储器, 因而会导致交换机的设备比较庞大, 费用较高。
- (3) 由于报文交换在本质上是一种主从结构方式, 所有的信息都流入、流出交换机, 若交换机发生故障, 整个网络都会瘫痪。因此许多系统都需要备份交换机, 一个发生故障, 另一个接替工作。同时, 该系统的中心布局形式, 造成所有信息流都要流经中心交换机, 交换机本身就成了潜在的瓶颈, 会导致响应时间长、吞吐量下降。

1.2.3 分组交换

分组交换(Packet Switching, PS)的概念是 1964 年 8 月由巴兰(Baran)在美国兰德(Rand)公司的研究报告中提出的。1966 年 6 月, 英国国家物理实验室(NPL)的戴维斯(Davies)首次使用“分组”或“包”(Packet)的概念。1969 年 12 月, 美国国防部的分组交换网 ARPANET 投入运行。这种源于数据通信业务的交换方式随着计算机技术和计算机网络的飞速发展, 在通信领域中占据了越来越重要的地位, 它不仅能完成数据通信, 还可以用来实现话音和视频通信。

分组交换是利用存储—转发的交换方式, 先将待传输的信息划分为一定长度的分组, 并以分组为基本单位进行传输和交换的。在每个分组中包含有分组的地址信息、组的序号和控制信息等分组头, 一般为 3 字节~10 字节。

分组交换类似于报文交换, 但分组交换要限制一个数据包的大小, 即要把一个大数据包分成若干个小数据包(俗称打包), 每个小数据包的长度是固定的, 典型值是一千比特位到几千比特位, 然后再按报文交换的方式进行数据交换。为区分这两种交换方式, 把小数据包(即分组交换中的数据传输单位)称为分组。



数据分组在网络中有两种传输方式：数据报 (Datagram) 方式和虚电路 (Virtual Circuit) 方式。

(1) 数据报方式类似报文交换，是一种无连接型的服务。每个分组在网络中的传输路径与时间完全由网络的具体情况随机确定。因此，它会出现信宿收到的分组顺序与信源发送不一样的情况，先发的可能后到，而后发的却有可能先到。这就要求信宿有对分组重新排序的能力，具有这种功能的设备叫分组拆装 (Packet Assembly and Disassembly, PAD) 设备，通信双方各有一个。数据报要求每个数据分组都包含终点地址信息，以便分组交换机为各个数据分组独立寻找路径。

数据报方式的好处在于对网络故障的适应能力强，对短报文的传输效率高；不足之处是时延相对较长。另外，由于数据报方式缺乏端到端的数据完整性和安全性，因此支持它的工业产品较少。

(2) 虚电路方式类似于电路交换。在发送分组前，需要在通信双方建立一条逻辑连接。建立连接时，主叫用户发送“呼叫请求”，该分组包括被叫的用户地址以及为该呼叫的输出通道上分配的虚电路标识，网络中各个节点都依据被叫地址选择出通路，分配其虚电路标识，完成各个节点的输入和输出的虚电路标识之间的对应关系，一旦被叫用户同意建立虚电路，可发送“呼叫连接”，主叫用户收到该分组后，表明主叫和被叫用户之间的虚电路已经建立，可以传输数据。

数据传输阶段，各个分组用虚电路标识取代主叫和被叫的用户地址，各个分组可以按顺序沿同一路径从信源畅通无阻地到达信宿，直到数据传输完毕。双方可任意释放请求呼叫，通信网络释放其占用的资源。

因此，虚电路有类似电路交换的呼叫建立、信息通信和释放呼叫三个阶段，是一种面向连接的通信方式，但虚电路的“虚”是指逻辑连接。

在虚电路连接中，网络可以将线路的传输能力和交换机的处理能力进行动态分配，终端可以在任何时候发送数据，在暂时无数据发送时依然保持这种连接，但它并没有独占网络资源，网络可以将线路的传输能力和交换机的处理能力用做其他服务。

虚电路方式实时性较好，适合于交互式通信；数据报适合于单向传输短信息。但虚电路如果发生意外中断，则需要重新呼叫建立新的连接。

数据采用固定的短分组，不但可以减小各交换节点的存储缓冲区大小，同时也减少了数据传输时延。另外，分组交换意味着按分组纠错，接收端如果发现错误，只需让发送端重发出错的分组，而不需将所有数据重发，从而提高了通信效率。

目前，广域网大都采用分组交换方式，同时，提供数据报和虚电路两种服务由用户选择。

分组交换主要有以下特点：

(1) 将需要传送的信息分成若干个分组，每个分组加上控制信息后分发出去，采用存储—转发方式，有差错控制措施。

(2) 基于统计时分复用方式，共享信道，资源利用率高。

(3) 时延适中。

传统分组交换使用的最典型的协议就是 X.25 协议。分组交换技术是最适于数据通信的交换技术。



可见,分组交换是电路交换和报文交换相结合的一种交换方式,它综合了电路交换和报文交换的优点,并使其缺点最少。

1.3 交换技术的发展演变过程

从前面的论述我们可以发现,信息交换方式以及相应的信道使用方式不同,会造成通信传输性能的差异,这主要和传输消息长度、连接方式等因素有关。

图 1-4 所示的是在线路利用率一致(线路利用率 ρ 为 50%)的情况下,报文交换(MS)、电路交换(CS)、分组交换(PS)的传输能力 P 、时延 T 、平均消息长度 L 之间的关系。

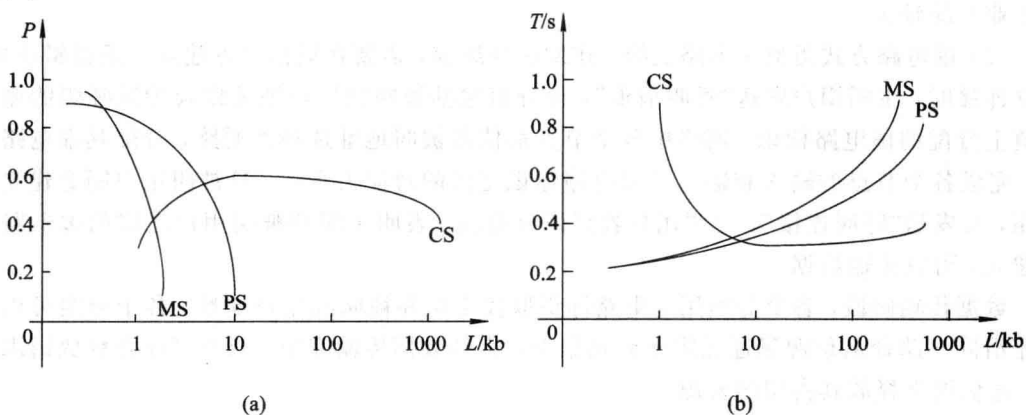


图 1-4 传输能力、时延和消息长度之间的关系

(a) 传输能力与消息长度之间的关系; (2) 时延与消息长度之间的关系

从图 1-4 中可知,对于分组交换和报文交换而言,随着消息长度的增加,传输能力成指数下降,时延成指数增加,而电路交换的传输能力和时延变化影响不大,对突发性的通信无法满足要求。

分组交换的性能介于电路交换和报文交换之间,在电路交换中,以 PCM 时隙作为交换的基本长度,按照 PCM 的标准,消息长度为 1 个字节,主要存在通信连接的建立时间过长和固定时隙分配造成信道利用率低的问题,但实时性强。对报文交换而言,消息长度过长是造成时延增加的主要原因。

从 20 世纪 80 年代开始,通信系统中出现了许多新的通信业务,如智能用户电报、可视图文、遥测、监视、电子邮件、可视电话、会议电话、图文电视、点播视频、高清晰电视等,这些业务大多是多媒体信息,存在传输、交换的不同特性,具体表现为以下两点:

(1) 不同业务的传输和交换要求有不同的速率,具有不同的突发性。

信道利用率反映数据传输的突发率。数据传输的突发率可以定义为

$$\text{数据传输的突发率} = \frac{\text{峰值速率}}{\text{平均速率}}$$

如果数据传输时的峰值速率远大于平均速率,则表明数据传输的突发率高。

信道利用率低,意味着实际速率的波动性大,数据传输的突发率高。不同的媒体传输交换所需要的峰值速率如表 1-1 所示。图 1-5 为各种媒体的信道利用率。



表 1-1 不同业务的速率

业务名称	速率
报警、监控系统	4 kb/s~16 kb/s
声音	768 kb/s
图像	2 Mb/s
彩色电视	34 Mb/s
高清晰电视(HDTV)	100 Mb/s
数字化电话编码	16 kb/s~64 kb/s
文件传输	8 Mb/s~32 Mb/s
超高清晰图像业务	512 Mb/s

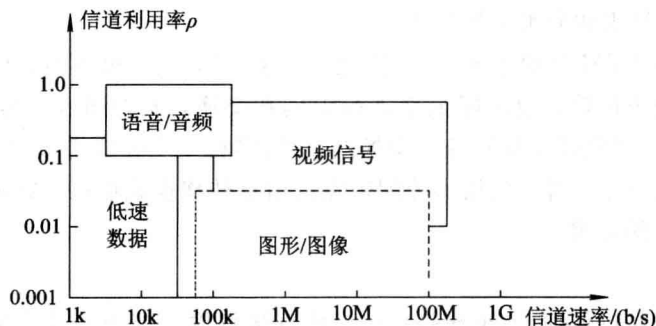


图 1-5 各种媒体的信道利用率

(2) 各种传输业务对误差和时延的要求不同。

对语音传输,有限的错误一般不会影响用户的通信过程,如果延时较大,通信会变得非常艰难;文本类的数据通信可以允许一些时延;图像或视频类的通信要求低时延和低误码率。

为了满足上述多样化业务的传输要求,在现代通信系统中对传输信道广泛采用多路复用技术,同时传输宽带化又促进了交换技术的发展,可实现同一网络支持不同业务的愿望。因此,交换技术的发展,也是围绕实现宽带化或依据峰值速率分配带宽来进行的。由于传输、复用和交换越来越密不可分,人们通常使用传送方式(Transfer Mode,也称为转移模式)来统一描述传输、复用和交换方式。依据通信传输方式中同步和异步的特点,转移模式可分为同步转移模式(Synchronous Transfer Mode, STM)和异步转移模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)。同步转移模式主要采用电路交换、快速电路交换技术等,异步转移模式主要采用 ATM 的快速分组交换技术。

1. 快速电路交换

快速电路交换(Fast Circuit Switch, FCS)的核心思路是有信息传输时快速建立通道,没有数据传输时释放通道。具体的过程如下:

呼叫建立时,用户请求一个带宽为基本速率的某个整数倍的连接,网络依据用户的申请寻找一个适合用户通信的通道,但并不建立连接和分配资源,而是将通信所需的带宽、所选路由编号写入交换机保存。



当用户发送信息时,网络迅速按照用户申请的分配通路完成信息的交换。

在快速电路交换方式中,网络必须有能力强快速检测出信源发送数据的请求,同时必须在较短的时间内完成建立端到端的链路连接,因此要求通信网络具有高速计算的能力。

2. 帧中继

帧中继(Frame Relay, FR)是在传统分组交换技术和光纤传输技术的基础上发展起来的快速分组技术(Fast PS, FPS)。光纤传输线路具有很好的传输质量,误码率低(光纤的误码率一般小于 10^{-8}),快速分组简化了分组交换中使用的 X.25 协议,取消了逐段控制、差错控制和流量控制,将其移到端系统中进行,采用端对端的检错、重发控制机制,从而缩短了交换节点处的处理时间。帧中继可以实现动态分配带宽,其灵活性大,吞吐量高,时延低,适合突发性和可变长度消息的传输。

3. ATM 交换

异步转移模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)是一种改进的快速分组交换方式,它采用了异步复用和分组交换技术。

ATM 中信元(ATM 分组单元)长度固定(53 字节),帧长度不变,信元位置可以按照需求插入逻辑信道中传输,通过标记来进行识别和交换,无需同步信号,传输速率可变。因此,ATM 实际上是电路交换和分组交换结合的产物。ATM 能有效利用资源,集电路交换和分组交换的优点于一体,其按需分配带宽的信息转移模式可以实现网络与业务的无关性来满足各类业务的需求。

4. 光交换

光交换是指不经过任何光/电转换,在光域直接将输入端光信号交换到不同的光输出端。在通信网普遍采用光纤进行传输时,未来的发展方向就是与光传输配合实现光交换。未来的通信网可以直接在光域实现信号的复用、传输、交换、路由选择、监控,网络信号不再承受光/电转换的障碍,从而实现全光网络。

从交换技术的发展进程我们可以发现,从最初完成节点的交换发展成交换技术和复用技术的结合,进一步结合用户业务的需求网络状况,把通信网络作为交换技术发展的一个环节,这就是交换技术的发展演变过程。

1.4 以交换为核心的通信网

从图 1-2 和图 1-3 可知,通信网由终端设备、传输信道、交换节点三部分组成。

终端设备是用户和网络之间的接口设备,包括信源、信宿与变换器,完成发送和接收消息,如电话机、传真机、计算机等。

传输信道是信息传输通道,包括终端设备与交换节点以及交换节点之间的传输线和相关的设备。根据传输媒介的不同,传输信道分为有线传输信道和无线传输信道。所传输的电信号既可以为模拟信号,也可以为数字信号。利用传输信道可以将电信号或光信号传送到远方。

交换节点是构成通信网的核心要素,能够完成任意两个用户之间的信息交换任务,如交换机、路由器等。



1.4.1 通信网的分类

现代通信网可以按不同的标准进行分类。

按照通信的业务类型的不同,通信网可分为电话通信网(如固定电话通信网、移动通信网等)、数据通信网(如 X.25、Internet、帧中继等)、广播电视网、公用电报网、传真通信网、多媒体通信网、综合业务数字网等。

按照通信的传输媒介的不同,通信网可分为电缆通信网、光缆通信网、微波通信网、卫星通信网等。

按照通信的传输处理信号的不同,通信网可分为模拟通信网、数字通信网等。

按照通信服务范围的不同,通信网可分为本地通信网、长途通信网、国际通信网或局域网(LAN)、城域网(MAN)、广域网(WAN)等。

按照通信的服务对象的不同,通信网可分为公用通信网、专用通信网等。

按照通信的活动方式的不同,通信网可分为固定通信网、移动通信网等。

按照交换方式的不同,通信网可分为电路交换网、报文交换网、分组交换网、宽带交换网等。

按照网络拓扑结构的不同,通信网可分为网状网、星型网、环型网、总线型网等。

按照信息传递方式的不同,通信网可分为同步转移模式(STM)的宽带网和异步转移模式(ATM)的宽带网等。

1.4.2 通信网的分层体系结构

通信网技术的发展及其所支持的通信业务的多样性和复杂性,使得通信网的体系结构日益复杂,所以在现代通信网络中引入了网络分层的概念来描述网络的体系结构。网络的分层结构使网络规范与具体实施无关,从而简化了网络的规划与设计,使各层的功能相对独立。如图 1-6 所示,根据通信网的功能,可将通信网分为应用层、业务层和传送层。支

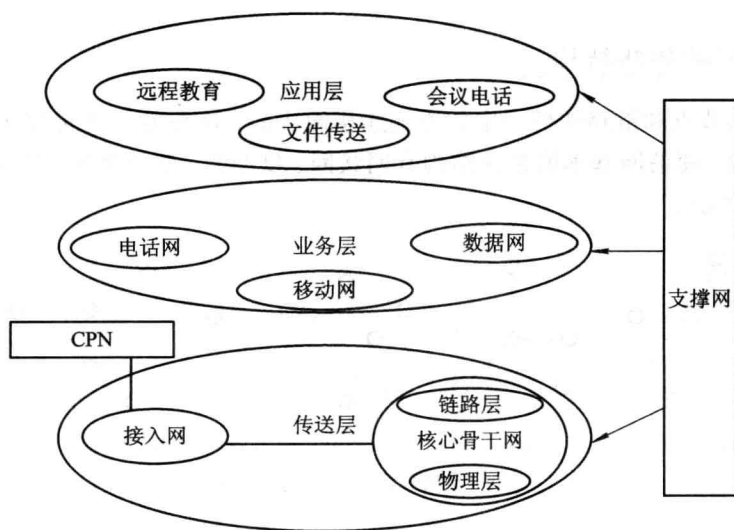


图 1-6 通信网的分层结构