

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

# 现代交换 技术 (第3版)

张中荃 主编

Modern Exchange  
Technology (3rd Edition)

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

  
精品系列

013061920

张中荃 主编

# 现代交换技术 (第3版)

21st Century University Planned Textbooks of Information and Com

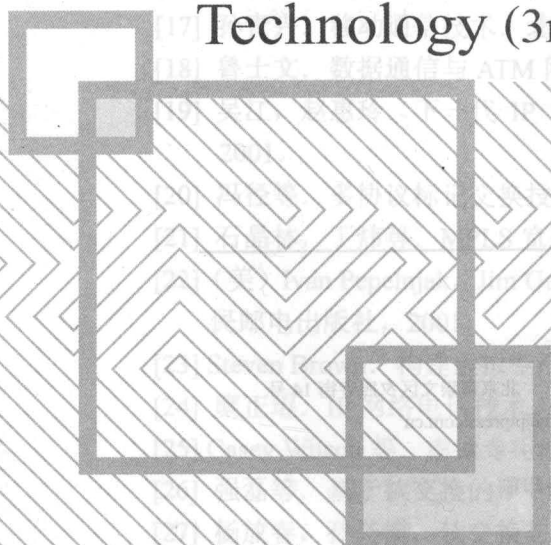
- [1] 薛群生, 著. 第一类群等情一疑文辞. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [2] 俞佩兰, 杨建家, 纪红, 现代交换原理. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [3] 朱世敏, 程控数字交换原理与应用. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [4] 金彦华, 韩春光, 程控数字交换技术. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [5] Dirk Knight, 宽带信令. 王立言等译. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [6] 林德荣, 交换工要. 暨容内民. 北京: 人民邮电出版社, 1998.
- [7] 原中, ATM通信网. 北京: 人民邮电出版社, 1998.

个体系了行世木好端文开原伙, 察察究研究木对的疑交研研到交之ATM, 疑交||  
 要简并, 照用本基治端交||A 研治种木对的研交研研到交之ATM, 疑交||  
 疑交字端研研交字端, 疑研木好端文研研. 章9||  
 , 木好端交 2.1PM, 木好端文 ATM, 疑系交交||  
 [1] 疑系交 2.1PM, 木好端文 ATM, 疑系交交||  
 [12] 疑系交 2.1PM, 木好端文 ATM, 疑系交交||  
 疑系交 2.1PM, 木好端文 ATM, 疑系交交||  
 [14] 叶敏, 程控数字交换. 北京: 人民邮电出版社, 1997.

TN915.05  
94-3



## Modern Exchange Technology (3rd Edition)



TN915.05  
94-3



人民邮电出版社  
北京



013061320

### 图书在版编目(CIP)数据

现代交换技术 / 张中荃主编. -- 3版. -- 北京 :  
 人民邮电出版社, 2013. 8  
 21世纪高等院校信息与通信工程规划教材  
 ISBN 978-7-115-32108-4

I. ①现… II. ①张… 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148771号

### 内 容 提 要

本书以程控交换、ATM 交换、MPLS 交换到软交换的技术发展为线索,对现代交换技术进行了系统介绍。重点介绍程控交换技术和 MPLS 交换技术,简述移动交换的技术特点和 ATM 交换的基本机理,并简要介绍软交换技术、IMS 技术和光交换技术。全书内容分为 10 章,包括交换技术概述、数字交换和数字交换网络、程控交换机的硬件系统、程控交换机的软件系统、移动交换系统、ATM 交换技术、MPLS 交换技术、MPLS 技术的工程应用、软交换技术,以及交换新技术。

本书注重基本概念、基本原理和实用性,力求做到内容新颖、知识全面,由浅入深、通俗易懂。

本书可作为通信工程专业的本科教材和从事相关专业的技术人员培训教材,也可供相关专业的硕士研究生学习参考。

- 
- ◆ 主 编 张中荃  
 责任编辑 滑 玉  
 责任印制 彭志环 杨林杰
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
 邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
 网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
 北京中新伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
 印张: 20.25  
 字数: 479 千字
- 2013 年 8 月第 3 版  
 2013 年 8 月北京第 1 次印刷
- 

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号



人民邮电

## 第 3 版前言

数字程控交换机是公用电话网、移动电话网、综合业务数字网中的关键设备，在电信网中起着非常重要的作用。同时，随着人们对信息需求的日益扩大，以 ATM、IP 技术为基础的新的宽带网络正在迅速建设和发展。利用 ATM 与 IP 融合的技术构造 Internet 的骨干传送网，可以克服阻碍网络扩展的局限因素，并可大幅度地提高性能。因此，掌握程控交换机的基本原理，理解宽带交换技术及其相关概念，对从事通信工程的技术人员来说是十分必要的。

由于技术发展很快，需要讲述的内容很多，但限于篇幅，不可能将所有内容都进行详细叙述，因此，本书以程控交换、ATM 交换、MPLS 交换到软交换的技术发展为线索，重点介绍程控交换技术和 MPLS 交换技术，简述移动交换的技术特点、ATM 交换的基本机理和软交换技术。本书是在《现代交换技术》（第 2 版）教材多年教学应用的基础上，通过删除部分内容，合并部分章节，将新技术成果融入各相关章节中，并结合作者多年教学的心得和体会修订而成的。主要修订思路如下：修改完善各相关章节内容；删除了第 6 章中 ATM 网络信令一节，将其核心内容在分层技术中介绍；把软交换技术作为单独一章进行编写，以便适应软交换技术应用日益增强的需要；同时增加了 IMS 技术及其应用介绍。

全书共分 10 章。前 5 章主要介绍程控交换技术和移动交换技术。首先从人们较为熟悉的电话通信入手，引入交换的基本概念和电话交换信令方式，并对各类交换技术进行了比较；然后介绍数字交换网络、用户电路、用户集线器、中继器、信号部件、控制系统等硬件组成，重点讨论 T 型时分接线器、S 型接线器、多级时分交换网络、信号音产生等工作原理和用户电路 BORSCHT 功能；接下来介绍呼叫处理的基本原理、程序的执行管理、系统的诊断与维护等软件组成，重点分析讨论用户摘挂机的识别原理、脉冲识别原理及计数、位间隔识别原理、双音频收号原理、时间表的工作原理以及设计；最后简要介绍移动交换中的控制原理、位置登记、越区切换、漫游、网络安全等关键技术和接口信令。后 5 章主要介绍宽带交换技术。从介绍 ATM 交换技术、IP 与 ATM 融合的技术模型入手，重点介绍多协议标记交换（MPLS）技术，包括 MPLS 的网络体系结构、工作原理、标记分发协议（LDP）和标记交换路径（LSP）、MPLS 技术的工程应用（流量工程、QoS 机制、虚拟专用网）等相关内容；然后介绍软交换技术，包括软交换的基本概念、网络结构、相关协议和应用，最后简要介绍 IMS 技术和光交换技术。

本书观点独到、语句精练、论述清楚、内容丰富、紧跟潮流，以期成为 21 世纪的科学技

术发展和人才培养贡献绵薄之力。

本书主要有以下几个特点。

(1) 内容安排独具匠心。以交换技术发展为线索, 将交换技术的过去、现在和将来有机地编排在一起, 使学生通过本书的学习对当代各种交换技术有一个全面的认识与了解。

(2) 知识层次深浅得当。在本书的编写过程中, 力求做到内容新颖、概念准确、知识全面、由浅入深, 注重基本概念和基本原理。

(3) 注重实用技术, 提倡创新能力。以典型集成电路为例, 介绍专用集成电路的应用方法, 促进学生对基本原理的理解和创新能力的培养。

(4) 文笔通俗流畅, 可读性好。作者力求以通俗易懂的语言将枯燥的理论知识娓娓道来, 以提高学生的阅读兴趣和阅读效率。

本书由张中荃主编, 参加编写的还有谢国益、王凯、王宏伟、田八林、韩悦、何益新、王程锦, 全书由张中荃教授统稿和修改。由于编者水平所限, 书中难免存在错误和不当之处, 敬请读者斧正。

编者

2013年4月

# 目 录

<b>第 1 章 交换技术概述</b> .....1	
1.1 交换的基本概念.....1	
1.1.1 交换的引入.....1	
1.1.2 交换节点的基本功能.....2	
1.2 交换技术分类.....3	
1.2.1 模拟交换与数字交换.....3	
1.2.2 布控交换与程控交换.....5	
1.2.3 电路交换与分组交换.....5	
1.2.4 窄带交换与宽带交换.....11	
1.3 交换技术的发展.....11	
1.3.1 电话交换技术的发展.....11	
1.3.2 分组交换技术的发展.....14	
1.3.3 ATM 交换技术的发展.....15	
1.3.4 IP 交换技术的发展.....18	
1.4 电话交换信令方式.....21	
1.4.1 信令的概述.....21	
1.4.2 信令的类型.....22	
1.4.3 用户线信令.....24	
1.4.4 局间信令.....25	
复习思考题.....29	
<b>第 2 章 数字交换和数字交换网络</b> .....30	
2.1 数字交换原理.....30	
2.1.1 数字交换.....30	
2.1.2 时隙交换原理.....30	
2.1.3 数字交换网络.....32	
2.2 T 型时分接线器.....32	
2.2.1 T 接线器的基本组成.....32	
2.2.2 T 接线器的工作原理.....33	
2.2.3 T 接线器的电路组成.....36	
2.2.4 T 接线器的实际电路与应用.....42	
2.3 S 型时分接线器.....44	
2.3.1 S 型时分接线器的基本组成.....44	
2.3.2 S 型时分接线器的工作原理.....44	
2.4 三级时分交换网络.....46	
2.4.1 T-S-T 型时分交换网络.....46	
2.4.2 S-T-S 型时分交换网络.....51	
2.5 阻塞的概念与计算.....52	
2.5.1 阻塞的概念.....52	
2.5.2 阻塞概率的计算.....52	

复习思考题.....53	
<b>第 3 章 程控交换机的硬件系统</b> .....55	
3.1 程控交换机的总体结构.....55	
3.2 话路系统.....56	
3.2.1 用户级话路.....56	
3.2.2 中继器.....63	
3.2.3 信号部件.....65	
3.3 控制系统.....68	
3.3.1 处理机控制方式.....68	
3.3.2 处理机的备用方式.....71	
3.3.3 控制系统可用性.....73	
复习思考题.....73	
<b>第 4 章 程控交换机的软件系统</b> .....75	
4.1 程控交换机的软件组成.....75	
4.1.1 在线程序.....75	
4.1.2 支援程序.....77	
4.1.3 数据.....78	
4.2 呼叫处理的基本原理.....80	
4.2.1 呼叫处理过程及状态迁移.....80	
4.2.2 输入处理.....83	
4.2.3 分析处理.....91	
4.2.4 任务执行和输出处理.....95	
4.3 程序的执行管理.....99	
4.3.1 软件管理技术.....100	
4.3.2 程序的级别划分.....101	
4.3.3 程序的启动控制.....102	
4.3.4 周期级的调度管理.....104	
4.3.5 基本级程序的执行管理.....107	
4.4 系统的诊断与维护.....110	
4.4.1 故障处理的一般过程.....110	
4.4.2 故障检测与诊断.....111	
4.4.3 故障排除.....111	
复习思考题.....111	
<b>第 5 章 移动交换系统简介</b> .....113	
5.1 移动交换系统概述.....113	
5.1.1 移动通信系统组成.....113	
5.1.2 移动交换控制的特征.....115	
5.2 移动交换控制原理.....116	
5.2.1 移动呼叫处理.....116	

5.2.2 移动交换的基本技术	118	8.1.1 流量工程概述	216
5.3 移动交换接口信令	121	8.1.2 MPLS 流量工程	218
5.3.1 无线接口信令	122	8.2 MPLS 的 QoS 实现	227
5.3.2 基站接入信令	124	8.2.1 QoS 概念及实现过程	228
5.3.3 网络接口信令	126	8.2.2 MPLS 的 QoS 实现方案	231
复习思考题	128	8.3 MPLS 在虚拟专用网络上的应用	237
<b>第 6 章 ATM 交换技术</b>	129	8.3.1 虚拟专用网的概念和结构	238
6.1 概述	129	8.3.2 利用 MPLS 技术实现 VPN	243
6.1.1 ATM 的基本概念	129	复习思考题	246
6.1.2 ATM 交换系统的基本构成及要求	133	<b>第 9 章 软交换技术</b>	247
6.2 ATM 交换网络的实现技术	135	9.1 软交换概述	247
6.2.1 空分交换结构	135	9.1.1 软交换的基本概念	247
6.2.2 时分交换结构	138	9.1.2 软交换基本功能	248
6.2.3 总线交换结构	139	9.1.3 软交换的好处	249
6.2.4 令牌环交换结构	141	9.2 软交换的网络结构	249
6.2.5 ATM 多级交换网络	141	9.2.1 基本功能架构	249
6.3 ATM 交换的分层技术	147	9.2.2 各功能层描述	250
6.3.1 ATM 交换的协议参考模型	147	9.2.3 网络结构实例	252
6.3.2 物理层	148	9.3 软交换的相关协议	254
6.3.3 ATM 层	152	9.3.1 软交换接口及其协议	254
6.3.4 ATM 适配层	154	9.3.2 H.323 协议	256
复习思考题	165	9.3.3 SIP 协议	259
<b>第 7 章 MPLS 交换技术</b>	166	9.3.4 MGCP 协议	265
7.1 IP 与 ATM 的融合	166	9.3.5 H.248/Megaco 协议	269
7.1.1 融合的技术模型	167	9.4 软交换的应用	272
7.1.2 IP 交换	168	9.4.1 语音 IP 化承载	272
7.1.3 标记交换	172	9.4.2 综合业务接入	274
7.2 MPLS 总体介绍	174	复习思考题	279
7.2.1 MPLS 技术发展动力	175	<b>第 10 章 交换新技术</b>	280
7.2.2 MPLS 网络体系结构	177	10.1 IMS 技术	280
7.2.3 MPLS 工作原理	184	10.1.1 IMS 的概念与背景	280
7.2.4 实现 MPLS 的关键技术	186	10.1.2 IMS 的标准化进程	283
7.3 标记分发协议	192	10.1.3 IMS 的网络架构	286
7.3.1 标记分发协议及其消息	192	10.1.4 IMS 的相关接口协议	293
7.3.2 LDP 操作	193	10.2 光交换技术	295
7.3.3 LDP 协议规范	201	10.2.1 光交换的概念	296
7.4 标记交换路径	208	10.2.2 光交换元件	296
7.4.1 标记交换路径概述	208	10.2.3 光交换网络	299
7.4.2 LSP 路由选择	210	10.2.4 新的光交换技术	305
7.4.3 LSP 隧道	211	复习思考题	306
7.4.4 LSP 的快速重选路由	213	<b>附录 英文缩写对照表</b>	307
复习思考题	215	<b>参考文献</b>	317
<b>第 8 章 MPLS 技术的工程应用</b>	216		
8.1 MPLS 在流量工程中的应用	216		

图 1-1 图例, 交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术

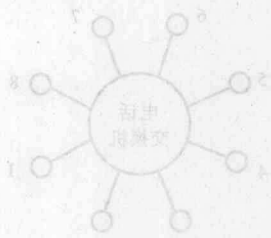


图 1-1 图例: 交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术

## 第 1 章

## 章

## 交换技术概述

交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术

交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术, 交换技术交换技术交换技术

通信网是由用户终端设备、传输设备和交换设备组成的。它由交换设备完成接续, 使网内任一用户可与其他用户通信。数字程控交换机是数字电话网、移动电话网及综合业务数字网中的关键设备, 在通信网中起着非常重要的作用。为了更好地掌握交换技术的相关知识, 本章从交换的基本概念入手, 介绍交换节点的基本功能、交换技术的分类和发展, 并通过对不同交换方式的比较, 使读者能准确理解交换的概念。在本章的最后介绍交换信令方式。

### 1.1 交换的基本概念

#### 1.1.1 交换的引入

通信的目的是实现信息的传递。自从 1876 年 Bell A.G. 发明电话以来, 一个电信系统至少应由终端和传输介质组成, 如图 1-1 所示。终端将含有信息的信息(如语音、文本、数据、图像等)转换成可被传输介质接收的电信号, 并将来自传输介质的电信号还原成原始信息。传输介质则是把电信号从一个地点传送到另一地点。这种仅涉及两个终端的通信称为点对点通信。

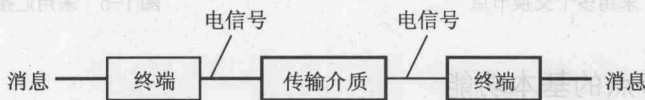


图 1-1 点对点通信系统

当存在多个终端时, 人们希望其中任意两个终端之间都可以进行点对点通信。在用户数量很少时, 可以采用个个相连的方法(称为全互连方式), 再加上相应的开关控制即可实现, 如图 1-2 所示。此时, 若用户数为  $N$ , 互连线对数为  $N(N-1)/2$ , 如  $N=8$ , 则互连线需要 28 对。这种连接方式存在下列缺点: 互连线对数随终端数的平方增加; 终端间距离较远时, 需要大量的长途线路; 为保证每个终端与其他终端相接, 每个终端都需要有  $N-1$  个线路接口; 当增加第  $N+1$  个终端时, 必须增设  $N$  对线路。因此, 这种全互连方式是很不经济的, 且操作复杂, 当  $N$  较大时, 这种互连方式无法实用化。于是, 引入了交换设备(也称交换机或交换节点),



所有用户线都接至交换机上, 由交换机控制任意用户间的接续, 如图 1-3 所示。

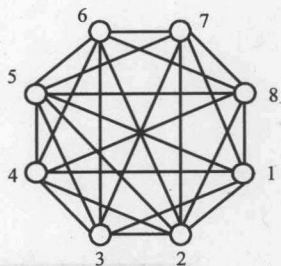


图 1-2 用户个个相连

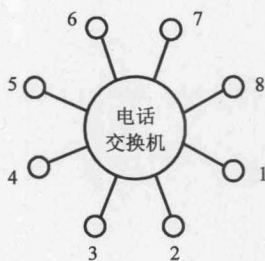


图 1-3 交换节点的引入

由此可见, 实现通信必须要有 3 个要素, 即终端、传输和交换。

电话交换是电信交换中最基本的一种交换业务。它是指任何一个主叫用户的信息, 可以通过通信网中的交换节点发送给所需的任何一个或多个被叫用户。

当电话用户分布的区域较广时, 就需设置多个交换节点, 交换节点之间用中继线相连, 如图 1-4 所示。

当交换的范围更大时, 多个交换节点之间也不能做到个个相连, 而要引入汇接交换节点, 如图 1-5 所示。可以推想, 长途电话网中的长途交换节点一般要分为几级, 形成逐级汇接的交换网。

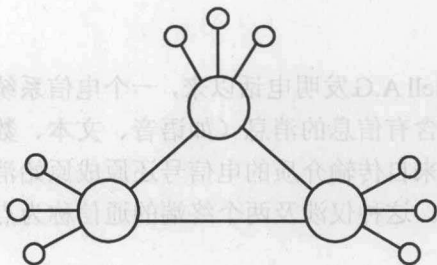


图 1-4 采用多个交换节点

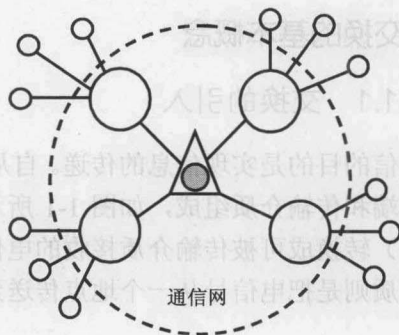


图 1-5 采用汇接交换节点

### 1.1.2 交换节点的基本功能

交换节点可控制以下的接续类型。

① 本局接续：本局用户线之间的接续。

② 出局接续：在用户线与出中继线之间的接续。

③ 入局接续：在入中继线与用户之间的接续。

④ 转接接续：在入中继线与出中继线之间的接续。

为完成上述的交换接续, 交换节点必须具备如下最基本的功能。

① 能正确接收和分析从用户线或中继线发来的呼叫信号。

② 能正确接收和分析从用户线或中继线发来的地址信号。

- ③ 能按目的地址正确地进行选路以及在中继线上转发信号。
- ④ 能控制连接的建立。
- ⑤ 能按照所收到的释放信号拆除连接。

## 1.2 交换技术分类

众所周知,通信所传输的消息有多种形式,如符号、文字、数据、语音、图形、图像等。根据不同的通信形式,交换技术有着多种不同的分类方法。按照传输信号方式分类,可以分为模拟交换和数字交换;按照接续控制方式分类,可以分为布控交换和程控交换;按照传输信道的占用方式分类,可以分为电路交换和分组交换;按照传输带宽分配方式分类,可以分为窄带交换和宽带交换。下面就按照不同的分类方式,介绍各种交换技术的基本概念。

### 1.2.1 模拟交换与数字交换

通信所传输的消息虽然有多种形式,但大致可归纳成两种类型:连续消息和离散消息。连续消息指消息的状态是随时间连续变化的,如强弱连续变化的语音等。离散消息指消息的状态是可数的或离散的,如符号、文字、数据等。通常,将连续消息和离散消息分别称为模拟消息和数字消息。

#### 1. 模拟信号和数字信号

对应于两种不同类型的消息,可以有两种信号形式。对应于模拟消息的是模拟信号,对应于数字消息的是数字信号,如图 1-6 所示。

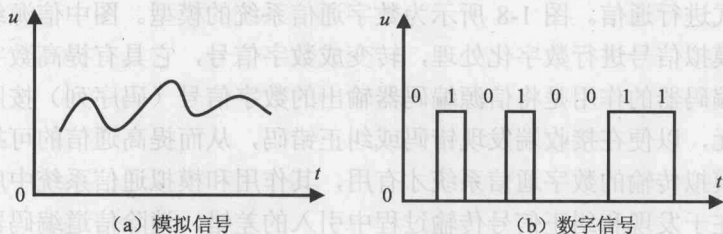


图 1-6 模拟信号和数字信号

#### (1) 模拟信号

模拟信号是指代表消息的信号及其参数(幅度、频率或相位)随着消息连续变化的信号,如图 1-6 (a) 所示。这里,“模拟”两字的含义是指用电参量(如电压、电流)的变化来模拟信息源发送的消息,如电话信号就是语音声波的电模拟,它是利用送话器的声/电变换功能,把语音声波压力的强弱变化转变成语音电流的大小变化。

#### (2) 数字信号

数字信号是指信号幅度并不随时间作连续的变化,而是取有限个离散值的信号。通常用两个离散值(“0”和“1”)来表示二进制数字信号,如图 1-6 (b) 所示。电报通信用 5 位和计算机通信用 7 位“0”和“1”的组合来表示传送的数据和控制字符就是这种形式的信号。

需要指出的是,模拟信号和数字信号虽然是两种不同的信号形式,但它们在传输过程中是可以相互转换的。

## 2. 模拟通信和数字通信

### (1) 模拟通信

以模拟信号为传输对象的传输方式称为模拟传输,而以模拟信号来传送消息的通信方式称为模拟通信。图 1-7 所示为简单的模拟通信系统模型,信息源输出的是模拟信号。调制解调器分别起着发信机和收信机的作用,它们实质上是一种信号变换器,对信号进行各种变换,使其适合于传输媒质的特性;经过调制器调制的信号仍然是一种连续信号,称之为已调信号;解调器则对已调信号进行反变换,使其恢复成调制前的信号形式。在某些场合,未经调制的模拟信号也可以直接在信道上传输,通常称这种原始信号为基带信号,所以模拟通信系统又有基带模拟通信系统和调制模拟通信系统之分。在模拟通信中,传输信号的频谱比较窄,信道利用率较高;但也存在明显的缺点,诸如抗干扰能力弱、保密性差、设备不易大规模集成以及不适应计算机通信飞速发展的需要等。



图 1-7 模拟通信系统模型

### (2) 数字通信

以数字信号为传输对象的传输方式称为数字传输,以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信。如果信息源输出的是模拟信号,可以通过取样、量化、编码等数字化处理后,以数字信号的形式进行通信。图 1-8 所示为数字通信系统的模型。图中信源编码器的作用是把信息源输出的模拟信号进行数字化处理,转变成数字信号,它具有提高数字信号传输有效性的作用。信道编码器的作用是将信源编码器输出的数字信号(码序列)按照一定的规则人为地加入多余码元,以便在接收端发现错码或纠正错码,从而提高通信的可靠性。调制器和解调器仅对采用模拟传输的数字通信系统才有用,其作用和模拟通信系统中所述的类似。信道译码器的作用在于发现和纠正信号传输过程中引入的差错,消除信道编码器所加入的多余码元。信源译码器是把数字信号还原为模拟信号。



图 1-8 数字通信系统模型

数字通信与模拟通信相比,具有抗干扰性强、保密性好、设备易于集成化,以及便于使用计算机技术进行处理等优点;其主要缺点是所用的信道频带比模拟通信所用的信道频带宽得多,降低了信道的利用率。但随着信道性能的改善,这一问题会逐渐得到解决。

### 3. 模拟交换和数字交换

要完成两个不同用户间的通信，交换起着关键性的作用。

#### (1) 模拟交换

以模拟信号为交换对象的交换称为模拟交换，传输和交换的信号是模拟信号的交换机称为模拟交换机。在模拟交换机中，交换网络的交换功能是通过交叉接点矩阵提供的，通过控制交叉接点的闭合来完成输入线和输出线的连接。

#### (2) 数字交换

以数字信号为交换对象的交换称为数字交换，传输和交换的信号是数字信号的交换机称为数字交换机。在数字交换机中，话路部分交换的是经过脉冲编码调制（Pulse Code Modulation, PCM）的数字化信号，交换网络采用的是数字交换网络（Digital Switch Network, DSN）。

## 1.2.2 布控交换与程控交换

布控就是布线逻辑控制（Wired Logic Control, WLC），布控交换是利用逻辑电路进行控制的一种交换方式。步进制、机动制、纵横制等机电制交换机都是布控交换机。

程控就是存储程序控制（Stored Program Control, SPC），程控交换是利用计算机软件进行控制（即存储程序控制）的一种交换方式。程控交换包括模拟程控交换和数字程控交换。模拟程控交换是指其控制部分采用存储程序控制（SPC）方式的模拟交换。数字程控交换是指采用存储程序控制（SPC）方式的数字交换。

## 1.2.3 电路交换与分组交换

### 1.2.3.1 电路交换

#### 1. 传统的电路交换

电路交换（Circuit Switching, CS）是指固定分配带宽（传送通路），连接建立后，即使无信息传送也占用电路的一种交换方式。电路交换是最早出现的一种交换方式，如最早的人工电话的电话交换机采用的就是电路交换方式。电路交换是一种实时交换，当任一用户呼叫另一用户时，应立即在这两个用户间建立电路连接；如果没有空闲的电路，呼叫就不能建立而遭受损失，故应配备足够的连接电路，使呼叫损失率（简称呼损率）不超过规定值。电路交换的基本过程包括呼叫建立阶段、信息传送（通话）阶段和连接释放阶段，如图 1-9 所示。

传统电路交换的特点是：采用固定分配带宽，电路利用率低；要预先建立连接，有一定的连接建立时延，通路建立后可实时传送信息，传输时延一般可以不计；无差错控制措施，对于数据交换的可靠性没有分组交

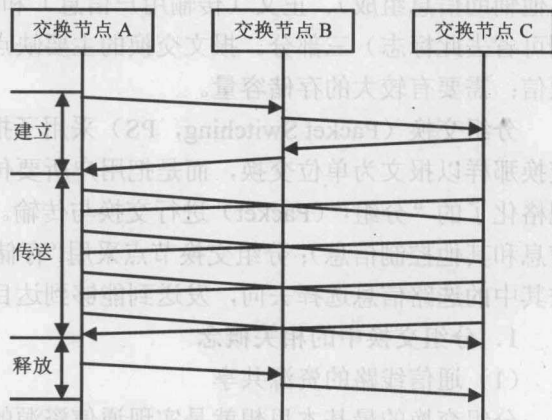


图 1-9 电路交换的基本过程

换高;用基于呼叫损失制的方法来处理业务流量,过负荷时呼损率增加,但不影响已建立的呼叫。因此,电路交换适合于电话交换、文件传送、高速传真,不适合突发(Burst)业务和对差错敏感的数据业务。

## 2. 多速率电路交换

多速率电路交换(Multi-Rate Circuit Switching, MRCS)是基于传统电路交换的一种改进方式,它可以对不同的业务提供不同的带宽,包括基本速率(例如8kbit/s或64kbit/s)及其整数倍;在节点内部的交换网络及其控制上可以采用两种方法来实现多速率交换的要求,即采用多个不同速率的交换网络和采用一个统一的多速率交换网络。多速率电路交换具有以下缺点:基本速率较难确定;速率类型不能太多,否则很难实现,仍缺乏灵活性;固定带宽分配,不适应突发业务的要求;控制较复杂等。

## 3. 快速电路交换

快速电路交换(Fast Circuit Switching, FCS)是电路交换的又一种形式,是为了克服传统电路交换中固定分配带宽的缺点和提高灵活性而提出的。快速电路交换的基本思路是只在信息要传送时才分配带宽和有关资源,并快速建立通道,用户没有信息传输时则释放传输通道。其具体过程是:在呼叫建立时,用户请求一个带宽为基本速率的某个整数倍的连接,有关交换节点在相应路由上寻找一条适合的通道;此时并不建立连接和分配资源,而是将通信所需的带宽、所选的路由编号填入相关的交换机中,从而“记忆”所分配的带宽和去向,实际上只是建立了“虚电路”(Virtual Circuit, VC),或称为逻辑连接(Logical Connection, LC);当用户发送信息时,通过呼叫标识可以查到该呼叫所需带宽和去向,才激活虚电路,迅速建立物理连接。由于快速电路交换并不为各个呼叫保留其所需带宽,因此,当用户发送信息时并不一定能成功地激活虚电路,会引起信息丢失或排队时延。

### 1.2.3.2 分组交换

为了克服电路交换中各种不同类型和特性的用户终端之间不能互通、通信电路利用率低以及有呼损等方面的缺点,提出了报文交换的思想。报文交换的基本原理是“存储—转发”。在报文交换中,信息的格式是以报文为单位的,包括报头(发信站地址、终点收信站地址及其他辅助信息组成)、正文(传输用户信息)和报尾(报文的结束标志,若报文长度有规定,则可省去此标志)三部分。报文交换的主要缺点是时延大,且时延的变化也大,不利于实时通信;需要有较大的存储容量。

分组交换(Packet Switching, PS)采用了报文交换的“存储—转发”方式,但不像报文交换那样以报文为单位交换,而是把用户所要传送的信息(报文)分割为若干个较短的、被规格化了的“分组”(Packet)进行交换与传输。每个分组中有一个分组头(含有可供选路的信息和其他控制信息);分组交换节点采用“存储—转发”方式对所收到的各个分组分别处理,按其中的选路信息选择去向,发送到能够到达目的地的下一个交换节点。

#### 1. 分组交换中的相关概念

##### (1) 通信线路的资源共享

分组交换的最基本思想就是实现通信资源的共享。现有通信线路(模拟信道和数字信道)具有一定的传输能力,而数据终端对实际通信速率的要求随着应用的不同,差别是很大的,经济有效地使用通信线路的方法就是组合多个低速的数据终端共同使用一条高速的线路,也

就是多路复用。从如何分配传输资源的观点来考虑,多路复用方法可以分为两类:预分配(预分配复用或固定分配)资源法和动态分配(或统计时分复用)资源法。

## (2) 交织传输

在预分配复用方式下,每个用户传输的数据都在特定的子信道中流动,接收端很容易把它们区分开来。在统计时分复用方式下,各个用户数据在通信线路上互相交织传输,因此不能再用预先分配时间片的方法把它们区分开来。为了识别来自不同终端的用户数据,可将交织在一起的各种用户数据在发送到线路上之前,先给它们打上与终端(或子信道)有关的“标记”,通常是在用户数据之前加上终端号或子信道号,这样在接收端就可以通过识别用户数据的“标记”把它们清楚地分开。

用户数据交织传输的方式有3种:比特交织、字节或字符交织和分组(或信息块)交织。比特交织的优点是时延最小,但是每一个用户数据比特都要加“标记”,传输效率很低,一般不采用。分组(或信息块)交织的传输效率最高,因增加的“标记”信息与用户数据相比所占比例很小;但是它可能引起比较大的时延,且该时延随着通信线路的数据传输速率的提高而减小。字节交织的性能(时延和传输效率)介于比特交织与分组交织之间,计算机和数据终端常常以字节(或字符)为单位发送和接收数据,因而可以采用字节交织方式。通常,中高速线路适用于采用分组交织方式,低速线路适用于采用字节交织方式。

## (3) 分组的形成

从上述分析可知,把一条实在的线路分成许多逻辑上的子信道,将线路上传输的数据组附加上逻辑信道号,就可以让来自不同数据源的数据组在一条线路上交织传输,接收端很容易将它们按逻辑信道号区分开来,实现了线路资源的动态分配。为了提高复用的效率,将数据按一定长度分组,每一个分组中包含了一个分组头,其中包含所分配的逻辑信道号和其他控制信息,这种数据组就称为分组(Packet)。

## (4) 分组的交换

分组交换是将报文分成多个分组来独立传送,收到一个分组即可以发送,减少了存储的时间,因而分组交换的时延小于报文交换,如图1-10和图1-11所示。分组长度的确定是一

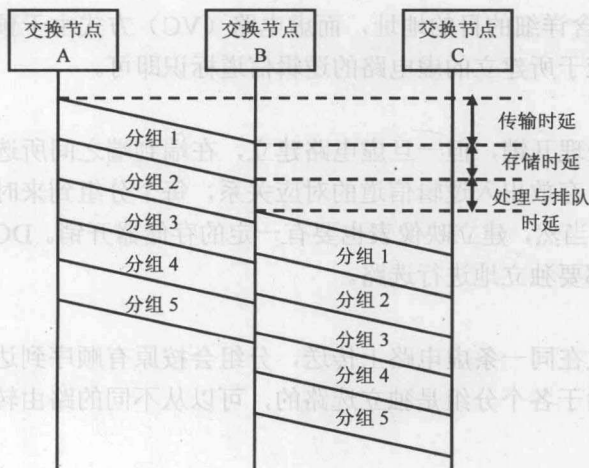


图 1-10 分组交换的时延

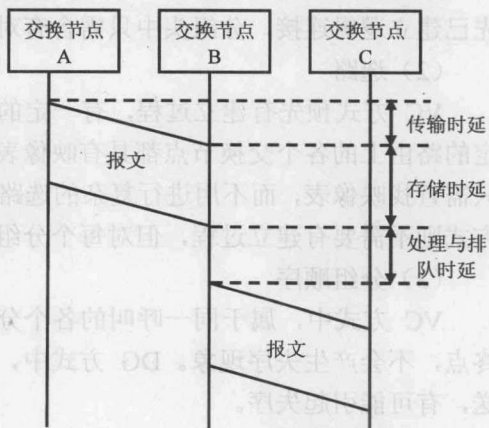


图 1-11 报文交换的时延

个重要的问题, 分组长度缩短会进一步减少时延而增加开销 (每个分组都有分组头), 分组长度加大会减少开销但会增加时延。通常, 分组长度的选择要兼顾到时延与开销这两个方面。

分组交换的主要优点是: 第一, 为用户提供了在不同速率、不同代码、不同同步方式、不同通信控制协议的终端之间能够相互通信的灵活的通信环境; 第二, 采用逐段链路的差错控制和流量控制, 出现差错可以重发, 提高了传送质量和可靠性; 第三, 利用线路动态分配, 使得在一条物理线路上可以同时提供多条信息通路。

分组交换的缺点是: 由于协议和控制复杂, 信息传送时延大, 通常只用于非实时的数据业务。

## 2. 虚电路和数据报

分组交换可提供虚电路 (Virtual Circuit, VC) 和数据报 (DataGram, DG) 两种服务方式。所谓虚电路方式, 就是在用户数据传送前先要通过发送呼叫请求分组建立端到端之间的虚电路; 一旦虚电路建立后, 属于同一呼叫的数据分组均沿着这一虚电路传送, 最后通过呼叫分组来拆除虚电路。

虚电路不同于电路交换中的物理连接, 而是逻辑连接。虚电路并不独占线路, 在一条物理线路上可以同时建立多个虚电路, 也就是建立多个逻辑连接, 以达到资源共享。但是从另一方面看, 虽然只是逻辑连接, 毕竟也需要建立连接, 因此不论是物理连接还是逻辑连接, 都是面向连接的方式。虚电路有两种: 交换虚电路 (Switching Virtual Circuit, SVC) 和永久虚电路 (Permanent Virtual Circuit, PVC)。前述通过用户发送呼叫请求分组来建立虚电路的方式称为 SVC。如果应用户预约, 由网络运营者为之建立固定的虚电路, 就不需要在呼叫时临时建立虚电路, 而可直接进入数据传送阶段, 称之为 PVC。

不需要预先建立逻辑连接, 而是按照每个分组头中的目的地址对各个分组独立进行选路的分组交换称为数据报方式。这种不需要建立连接的方式, 称为无连接方式。图 1-10 所示可理解为采用数据报方式的分组交换的时延, 如果是虚电路方式, 还应增加呼叫建立阶段和清除阶段。

下面是虚电路与数据报的比较。

### (1) 分组头

数据报 (DG) 方式的每个分组头要包含详细的地址, 而虚电路 (VC) 方式由于预先已建立逻辑连接, 分组头中只需含有对应于所建立的虚电路的逻辑信道标识即可。

### (2) 选路

VC 方式预先有建立过程, 有一定的处理开销, 但一旦虚电路建立, 在端到端之间所选定的路由上的各个交换节点都具有映像表, 存放出入逻辑信道的对应关系, 每个分组到来时只需查找映像表, 而不用进行复杂的选路。当然, 建立映像表也要有一定的存储器开销。DG 方式则不需要有建立过程, 但对每个分组都要独立地进行选路。

### (3) 分组顺序

VC 方式中, 属于同一呼叫的各个分组在同一条虚电路上传送, 分组会按原有顺序到达终点, 不会产生失序现象。DG 方式中, 由于各个分组是独立选路的, 可以从不同的路由传送, 有可能引起失序。

### (4) 故障敏感性

VC 方式对故障较为敏感, 当传输链路或交换节点发生故障时可能引起虚电路的中断,

需要重新建立。DG 方式中,各个分组可选择不同路由,对故障的防卫能力较强,从而可靠性较高。

VC 方式适用于较连续的数据流传送,其持续时间显著地大于呼叫建立时间,如文件传送、传真业务等。DG 方式则适用于面向事务的询问/响应型数据业务(突发业务)。

### 3. 路由选择

路由选择是指选择从源点到达终点的信息传送路径。分组能够通过多条路径从源点到达终点,这是分组交换网的重要特征之一,因此,选择什么路径最合适就成了交换机必须解决的问题。分组交换网不论是采用虚电路方式还是采用数据报方式,都需要确定网络的路由选择方案,所不同的是虚电路方式是为每一次呼叫寻找路由,在一次呼叫之内的所有分组都沿着由路由选择软件确定的路径通过网络;而数据报方式是为每一个分组寻找路由。路由选择方法通常有扩散式路由法、查表路由法和虚电路路由表法3种。

#### (1) 扩散式路由法

扩散式路由法是指分组从原始节点发往与它相邻的每个节点,接收该分组的节点检查它是否已经收到过该分组,如果已经收到过,则将它抛弃;如果未收到过,则该节点便把分组再发往其所有相邻的节点(除了该分组来源的那个节点之外)。这样,一个分组的许多拷贝便尝试着通过各种可能的路径到达终点,其中总是有一个分组以最小的时延首先到达终点,此后到达的该分组的拷贝将被终节点抛弃。

扩散式路由方法的路由选择与网络的拓扑结构无关,即使网络严重故障或损坏,只要有一条通路存在,分组也能到达终点,因此分组传输的可靠性很高。但是其缺点是分组的无效传输量很大,网络的额外开销也大,网络中业务量的增加还会导致排队时延的加大。

#### (2) 查表路由法

查表路由法是在每个节点中使用路由表,它指明从该节点到网络中的任何终点应当选择的路径。分组到达节点之后按照路由表规定的路径前进,分组从一个节点前进到另一个节点可以有多个路由,其中可以区分出主用路由和备用路由,或者是第1,2,3...路由。分组首先选择第1路由前进,如果网络故障或通路阻塞则自动(或人工)选择第2,3...路由。路由表是根据网络拓扑结构、链路容量、业务量等因素和某些准则(如最短距离原则、时延最小原则等)计算建立的。

查表路由法与网络结构参数有关,它又分为最短距离法和最小时延法。最短距离法是分组经过的中继线数越少越好,这样会使分组的时延减小;但是当许多分组都按照这一原则蜂拥到某些路径上的时候,将导致分组的队列变长而且时延加大。最短距离法主要依赖于网络的拓扑结构,因网络结构不经常变化,故这种路由表的修改也不很频繁,因而有时也称查表路由法为静态路由表法。最小时延法依据的是网络结构(相邻关系)、中继线速率和分组队列长度,因分组队列长度是一个经常变化的因素,当某条线路上的分组队列较长时,计算该线路上的时延也较大,按路由原则将导致一些分组绕道。这种随着网络的数据流或其他因素的变化而自动修改路由表的方法称为自适应路由法(或动态路由法)。

#### (3) 虚电路路由表法

虚电路方式是对一次呼叫确定路由,路由选择是在节点接收到呼叫请求分组之后执行的,在此之后到达的数据分组将沿着由呼叫请求分组建立的路径通过网络。也就是说,在网络中



存在一个端到端的虚电路路由表, 该表分散在各节点中, 指明了虚电路途径的各节点的端口号和逻辑信道号 (Logical Channel Number, LCN) 之间的链接关系, 同一条线两端的端口号可以不同, 但是与同一条虚电路相对应的 LCN 必须相同。有了这个虚电路路由表, 数据分组可以快速地找到输出方向, 虚电路方式的分组传输时延比较小。虚电路路由表的内容随着呼叫的建立而产生, 随着呼叫的清除而消失, 是随呼叫而动态变化的。

虚电路的重连接 (Reconnect) 是由以虚电路交换方式工作的网络提供的一种功能。在网络中, 当由于线路或设备故障而导致虚电路中断时, 与故障点相邻的节点能够检测到该故障, 并向源节点和终节点发送清除指示分组, 该分组中包含了清查工作的原因和诊断码。当源节点交换机接收到该清除指示分组之后, 就会发送新的呼叫请求分组, 而且将选择新的替换路由与终节点建立新的连接。所有未被证实的分组将沿新的虚电路重新发送, 保证用户数据不会丢失, 终端用户感觉不到网络中发生了故障, 只是出现暂时性的分组传输时延加大的现象。如果新的虚电路建立不起来, 那么网络的源节点和终节点交换机将向终端用户发送清除指示分组。

### 1.2.3.3 帧交换

通常的分组交换是基于 X.25 协议的。X.25 包含了 3 层: 第一层是物理层, 第二层是数据链路层, 第三层是分组层, 它们分别对应于开放系统互连 (Open System Interconnection, OSI) 参考模型的下三层, 每一层都包含了一组功能。而帧交换 (Frame Switching, FS) 则只有下面两层, 没有第三层, 简化了协议, 加快了处理速度。

帧交换是以一种帧方式 (Frame Mode) 来承载业务 (Bearer Service) 的, 在数据链路层以上以简化的方式来传送和交换数据单元。通常, 在第三层传送的数据单元称为分组, 在第二层传送的数据单元称为帧 (Frame)。所以, 帧方式是将用户信息流以帧为单位在网络内传送。

帧交换与传统的分组交换比较有两个主要特点: 一个是帧交换是在第二层 (链路层) 进行复用和传送, 而不是在分组层; 另一个是帧交换将用户面与控制面分离, 而通常的分组交换则未分离。用户面 (User Plane) 提供用户信息的传送, 控制面 (Control Plane) 则提供呼叫和连接的控制, 主要是信令 (Signaling) 功能。

### 1.2.3.4 快速分组交换

快速分组交换 (Fast Packet Switching, FPS) 可理解为尽量简化协议, 只具有核心的网络功能, 以提供高速、高吞吐量、低时延服务的交换方式。有时, FPS 是专指异步转移模式 (Asynchronous Transfer Mode, ATM) 交换, 但广义的 FPS 包括帧中继 (Frame Relay, FR) 与信元中继 (Cell Relay, CR) 两种交换方式, 信元中继为 ATM 所采用。实际上, ATM 是源自 FPS 和异步时分交换的。

帧中继是典型的帧方式。与帧交换比较, 帧中继进一步简化了协议, 非但不涉及第三层, 连第二层也只保留了链路层的核心功能, 如帧的定界、同步、透明性以及帧传输差错检测等。帧中继只进行差错检验, 错误帧被丢弃, 不再重发。帧中继采用 ITU-TQ.922 建议的链路层接入协议 LAPF 的一个子集, 对应于数据链路层的核心子层, 称为数据链路核心 (DL-Core) 协议。帧中继采用可变长度帧, 其数据传输采用数据链路连接标识符 (Data Link Connection