

高等学校通信教材

# SDH 技 术

孙学康 毛京丽 编

人民邮电出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

SDH 技术/孙学康,毛京丽编. —北京:人民邮电出版社,2002.5

高等学校通信教材

ISBN 7-115-10247-3

I .S... II .①孙...②毛... III .同步通信网—高等学校—教材 IV .TN915.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 020282 号

## 内 容 提 要

本书共八章,主要内容分为两部分:第一部分为第一、二章,详细地介绍 SDH 的概念以及 SDH 的复用、映射和定位等基本原理。第二部分为第三章至第八章,主要侧重实际应用技术,介绍 SDH 设备(包括终端设备、分插复用设备、数字交叉连接设备、中继设备)、SDH 传输网的结构及其自愈功能、SDH 传输系统性能分析、SDH 网络同步和管理等实际问题,另外讨论了 SDH 在微波通信、因特网以及接入网中的应用。

本书为高等学校通信专业的教学用书,也可供从事通信工作的工程技术人员参考。

高等学校通信教材

## SDH 技 术

- 
- ◆ 编 孙学康 毛京丽  
责任编辑 须春美
  
  - ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67180876  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京朝阳隆昌印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 14.75  
字数: 354 千字 2002 年 5 月第 1 版  
印数: 1-8 000 册 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 7-115-10247-3/TN · 1873

定价: 20.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

## 编者的话

本书主要作为通信专业本科生教材,在编写过程中,注意到应使其具有便于自学的特点,因而也可供从事通信方面工作的工程技术人员参考。

本书涉及到传输领域中的主要内容如下:

第一章主要介绍 SDH 的概念、特点、帧结构及段开销等。

第二章主要介绍 SDH 的复用结构以及映射、定位和复用的相关内容。

第三章主要介绍 SDH 设备(包括终端设备、分插复用设备、数字交叉连接设备、中继设备)。

第四章主要介绍 SDH 传输系统的基本结构,并对 SDH 光传输系统性能进行了详细的分析。

第五章主要论述 SDH 传输网的结构及其自愈功能。

第六章首先介绍网同步的基本概念,然后详细分析了 SDH 的网同步所涉及的一些问题。

第七章介绍 TMN 基础,并具体论述了有关 SDH 管理网(SMN)的一些问题。

第八章主要针对 SDH 在微波通信、因特网以及接入网中的应用进行了全面的分析和论述。

由于此教材涉及到了数字通信的基本理论,为此,在本书的开始扼要地编写了一段数字通信的基础知识,作为学习本书的预备知识。

本书的第一、二、六、七章以及预备知识由毛京丽编写;第三、四、五、八章由孙学康编写。全书由李文海教授审稿。

感谢为本书的编写做过贡献的李文海教授、张政教授、张金菊教授,还要感谢为本书编写和出版给予帮助的北京邮电大学网络教育学院的各位同事。

本书在编写过程中主要参考了韦乐平编著的《光同步数字传送网》、曾甫泉等编著的《光同步数字传输网技术》等书,在此表示深深的感谢。

由于时间紧迫、学识有限,书中难免有不足之处,请不吝指正。

编者  
2002年3月

# 目 录

<b>预备知识——数字通信基本原理</b> .....	1
<b>一、数字通信的基本概念</b> .....	1
1. 数字通信系统的概念 .....	1
2. 数字通信的特点 .....	3
3. 数字通信系统的主要性能指标 .....	4
<b>二、脉冲编码调制(PCM)</b> .....	6
1. 脉冲编码调制通信系统的构成 .....	6
2. 抽样 .....	7
3. 量化 .....	9
4. 编码与解码 .....	13
<b>三、时分多路复用及 PCM30/32 路系统</b> .....	14
1. 时分多路复用通信 .....	15
2. PCM30/32 路系统 .....	17
<b>四、数字复接技术——准同步数字体系(PDH)</b> .....	20
1. 数字复接的基本概念 .....	20
2. 异步复接 .....	24
3. PCM 高次群 .....	26
<b>五、数字传输技术</b> .....	27
1. 数字信号的基带传输 .....	27
2. 数字信号的频带传输 .....	29
<b>小结</b> .....	29
<b>复习题</b> .....	31
<b>第一章 概述</b> .....	32
<b>第一节 PDH 的弱点</b> .....	32
<b>第二节 SDH 的概念</b> .....	34
一、SDH 的概念 .....	34
二、SDH 网的基本网络单元简介 .....	34
<b>第三节 SDH 的特点</b> .....	36
一、SDH 的特点 .....	36
二、SDH 的缺点 .....	37
<b>第四节 SDH 的速率与帧结构</b> .....	37
一、网络节点接口 .....	37
二、同步数字体系的速率 .....	38

三、SDH 帧结构 .....	38
四、段开销字节 .....	39
小结 .....	44
复习题 .....	46
<b>第二章 同步复用与映射方法 .....</b>	<b>47</b>
<b>第一节 复用结构 .....</b>	<b>47</b>
一、SDH 的一般复用结构 .....	47
二、复用单元 .....	47
三、我国的 SDH 复用结构 .....	49
<b>第二节 映射 .....</b>	<b>51</b>
一、映射的概念 .....	51
二、通道开销(POH) .....	51
三、映射方式的分类 .....	54
四、映射过程 .....	55
<b>第三节 定位 .....</b>	<b>63</b>
一、定位的概念及指针的作用 .....	63
二、指针调整原理及指针调整过程 .....	64
<b>第四节 复用 .....</b>	<b>69</b>
一、复用的概念 .....	69
二、复用过程 .....	70
三、2.048Mbit/s 信号复用、定位、映射过程总结 .....	72
四、34.368Mbit/s 信号复用、定位、映射过程总结 .....	74
<b>第五节 复用映射单元的参数 .....</b>	<b>75</b>
小结 .....	76
复习题 .....	77
<b>第三章 SDH 设备 .....</b>	<b>78</b>
<b>第一节 SDH 逻辑功能块 .....</b>	<b>78</b>
一、基本功能块 .....	78
二、复合功能块 .....	86
三、辅助功能块 .....	86
<b>第二节 再生器 .....</b>	<b>89</b>
一、SDH 物理接口(1) .....	89
二、再生器终端(1) .....	90
三、再生器终端(2) .....	90
四、SDH 物理接口(2) .....	90
<b>第三节 复用设备 .....</b>	<b>91</b>
一、终端复用设备(TM) .....	91
二、分插复用器(ADM) .....	92
三、复用器类型 IV .....	93

四、复用设备的抖动和漂移性能 .....	94
第四节 数字交叉连接器 .....	96
一、问题的提出 .....	96
二、DXC 的基本功能 .....	96
三、DXC 的特点及与数字交换机的区别 .....	97
四、DXC 设备连接类型 .....	98
五、DXC 设备性能要求 .....	100
小结 .....	101
复习题 .....	102
<b>第四章 SDH 光传输系统及其性能分析</b> .....	<b>103</b>
第一节 SDH 光传输系统 .....	103
一、点到点链状线路系统 .....	103
二、环路系统 .....	103
第二节 SDH 线路性能分析 .....	106
一、衰减与色散对中继距离的影响 .....	106
二、10Gbit/s 及 10Gbit/s 以上的 SDH 光线路 .....	110
三、使用光放大器的 SDH 高速线路 .....	112
第三节 SDH 网络性能指标 .....	113
一、SDH 网络性能指标 .....	114
二、SDH 网络的误码性能 .....	115
三、SDH 网络抖动性能 .....	118
四、SDH 网络延时特性 .....	121
第四节 SDH 光接口、电接口技术标准 .....	122
一、SDH 光接口、电接口的界定 .....	122
二、SDH 光接口技术指标 .....	124
三、SDH 电接口技术指标 .....	131
小结 .....	134
复习题 .....	135
<b>第五章 SDH 传送网络结构和自愈网</b> .....	<b>136</b>
第一节 SDH 传送网 .....	136
一、传送网的基本概念 .....	136
二、分层与分割的概念 .....	137
三、SDH 网络拓扑结构 .....	142
第二节 自愈网 .....	147
一、自愈网的概念 .....	147
二、自动线路保护倒换 .....	147
三、环路保护 .....	150
四、DXC 保护 .....	158
五、混合保护 .....	158

六、各种自愈网的比较 .....	158
小结 .....	159
复习题 .....	160
<b>第六章 SDH 的网同步</b> .....	161
<b>第一节 网同步的基本概念</b> .....	161
一、网同步的概念 .....	161
二、网同步的必要性 .....	161
三、网同步的方式 .....	163
四、时钟类型和工作模式 .....	164
<b>第二节 SDH 的网同步</b> .....	165
一、SDH 的引入对网同步的影响 .....	165
二、SDH 网同步结构 .....	166
三、SDH 网同步的工作方式 .....	168
四、对 SDH 网同步的要求 .....	168
五、SDH 网元时钟的定时方法 .....	169
小结 .....	171
复习题 .....	172
<b>第七章 网络管理</b> .....	173
<b>第一节 电信管理网基础</b> .....	173
一、电信管理网的基本概念 .....	173
二、TMN 的管理层次、管理功能和管理业务 .....	174
三、电信管理网的体系结构 .....	177
<b>第二节 SDH 管理网</b> .....	181
一、SDH 管理网的基本概念 .....	181
二、SDH 管理子网(SMS) .....	183
三、SDH 管理网的分层结构 .....	184
四、SDH 管理功能 .....	185
五、ECC 协议栈 .....	187
小结 .....	189
复习题 .....	190
<b>第八章 SDH 的应用</b> .....	191
<b>第一节 SDH 在微波与卫星通信中的应用</b> .....	191
一、运用于微波通信中的 SDH 技术的应用特点及与光通信应用的区别 .....	191
二、主要应用技术 .....	192
三、SDH 微波通信设备 .....	197
四、SDH 微波通信系统 .....	201
五、SDH 微波系统的综合应用 .....	204
<b>第二节 SDH 在互联网中的应用</b> .....	205
一、Internet 网络 .....	206

---

二、实现宽带 IP 网络的主要技术 .....	206
三、IP over SDH 技术 .....	210
四、基于 SDH 的吉比特以太网(GEOS - Gbit Ethernet over SDH)技术 .....	213
第三节 SDH 在接入网中的应用 .....	217
一、在接入网中应用 SDH 的主要优势 .....	218
二、SDH 在接入网中的应用方案 .....	218
小结 .....	220
复习题 .....	220
附录 《SDH 技术》教学大纲 .....	222
参考文献 .....	226



# 预备知识——数字通信基本原理

为了帮助读者更好地学习和掌握 SDH,在此首先介绍其预备知识——数字通信原理。内容主要包括:数字通信的基本概念、脉冲编码调制(PCM)、时分多路复用及 PCM30/32 路系统及数字复接技术——准同步数字体系(PDH)。

## 一、数字通信的基本概念

### 1. 数字通信系统的基本概念

#### (1) 模拟信号和数字信号

信号波形的特征可用两个物理量(时间、幅度)来表示。

##### ① 模拟信号

图 0-1(a)所示的信号是模拟信号,由图可见模拟信号随波形模拟信息的变化而变化,其特点是幅度连续。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。

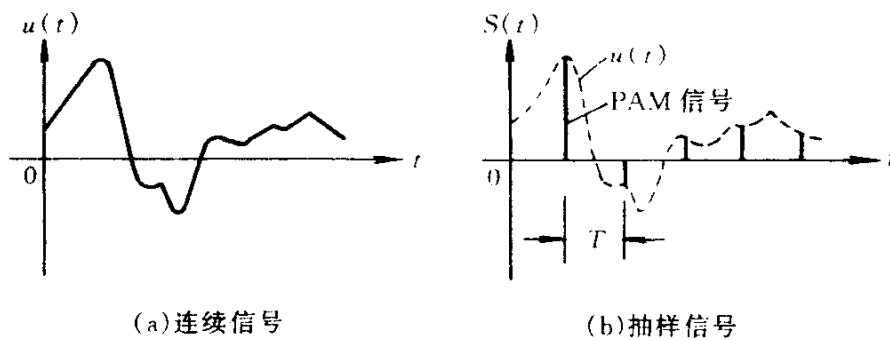


图 0-1 模拟信号

从图 0-1(a)波形中又可看出此信号波形在时间上也是连续的,我们将时间上连续的信号称为连续信号。图 0-1(b)是图 0-1(a)的抽样信号,即对图 0-1(a)的信号波形每隔  $T$  时间抽样一次,因此其波形在时间上是离散的,但幅度取值仍是连续的,所以图 0-1(b)仍然是模拟信号,由于此波形在时间上是离散的,故它又是离散信号。

电话、传真以及电视信号都是模拟信号。

##### ② 数字信号

图 0-2 所示的是数字信号的波形,其特点是:幅值被限制在有限个数值之内,它不是连续的,而是离散的。

图 0-2(a)是二进制码,每一个码元只取两个幅值(0,  $A$ );图 0-2(b)是四电平码,每个码元只取四个幅值(3, 1, -1, -3)中的一个。这种幅度离散的信号称为数字信号。

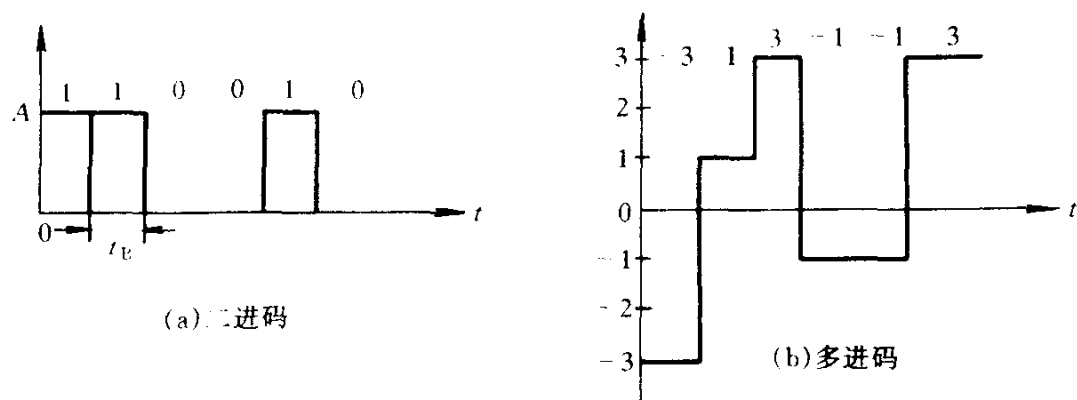


图 0-2 数字信号

电报信号、数据信号等属于数字信号。

从以上分析可知：数字信号与模拟信号的区别是根据幅度取值上是否离散而定的。虽然模拟信号与数字信号有明显区别，但二者之间，在一定条件下是可以互相转换的。

(2) 数字通信的概念

通信的目的是传递或交换信息。根据在信道上传输的信号形式的不同，可分为两类通信方式：模拟通信和数字通信。

模拟通信是以模拟信号的形式传递消息，采用频分复用实现多路通信。

数字通信是以数字信号的形式传递消息，采用时分复用实现多路通信。

就此介绍一下占空比的概念。参见图 0-3，设“1”码脉冲的宽度为  $\tau$ ，二进制码元允许的时间为  $t_B$ （即二进制码元的间隔），占空比  $a = \tau/t_B$ ，可见，图 0-3(a)中  $a = 1$ ，图 0-3(b)中  $a = 1/2$ 。

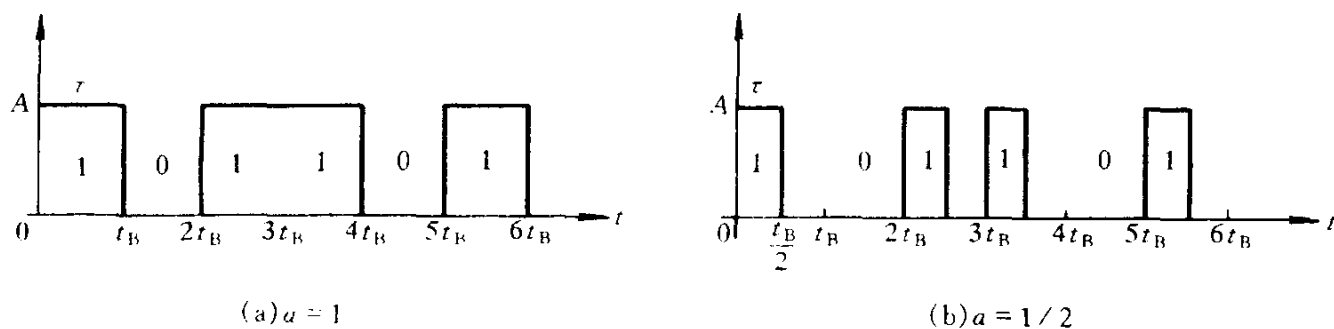


图 0-3 占空比的概念

(3) 数字通信系统的构成

数字通信系统的构成模型如图 0-4 所示。

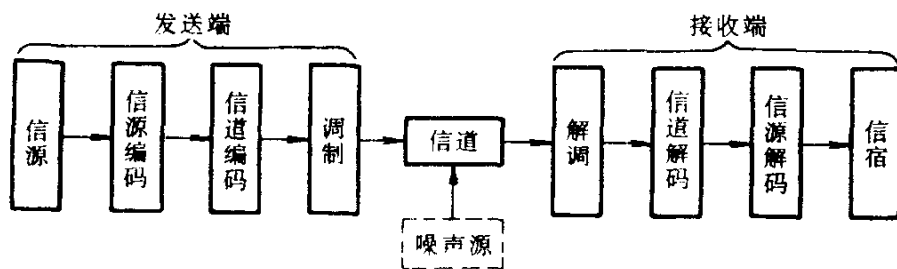


图 0-4 数字通信系统构成模型

图中信源是把原始信息变换成原始电信号。常见的信源有产生模拟信号的电话机、话筒、摄像机和输出数字信号的电子计算机、各种数字终端设备等。

信源编码的功能是把模拟信号变换成数字信号,即完成模数变换的任务。如果信源产生的已经是数字信号,可省去信源编码部分。

传输过程中由于信道中存在噪声干扰,使得传输的数字信号产生差错——误码。为了在接收端能自动进行检错或纠正差错,在信源编码后的信息码元中,按一定的规律,附加一些监督码元,形成新的数字信号。接收端可按数字信号的规律性来检查接收信号是否有差错或纠正错码。这种自动检错或纠错功能是由信道编码来完成的。

信道是指传输信号的通道。根据传输媒介可分为有线信道(明线、电缆、光缆信道)与无线信道(短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继信道)。其中除明线或电缆可以直接传输基带数字信号外,其他各种信道媒介都工作在较高的频段上,因此需将基带数字信号经过调制,将其频带搬移到适合于信道传输的频带上。将基带数字信号直接送到信道传输的方式称为基带传输;将基带数字信号经过调制后再送到信道传输的方式称为频带传输。调制器的作用是对数字信号进行频率搬移。

接收端的解调、信道解码、信源解码等几个方框的功能与发送端几个对应的方框正好相反,是一一对应的反变换关系,这里不再赘述。信源解码后的电信号,由受信者接收,通常称之为信宿。信宿可以是人,也可以是各种终端设备。

对于具体的数字通信系统,其方框图并非都与图 0-4 方框图完全一样,例如:

- ① 若信源是数字信息时,则信源编码或信源解码可去掉,这样就构成数据通信系统。
- ② 若通信距离不太远,且通信容量不太大时,信道一般采用市话电缆,即采用基带传输方式,这样就不需要调制和解调部分。
- ③ 传送话音信息时,即使有少量误码,也不影响通信质量,一般不加信道编、解码。
- ④ 在对保密性能要求比较高的通信系统中,可在信源编码与信道编码之间加入加密器;同时在接收端加入解密器。

## 2. 数字通信的特点

数字通信具有以下几个主要特点。

### (1) 抗干扰能力强,无噪声积累

在模拟通信中,为了提高信噪比,需要及时对传输信号进行放大(增音),但与此同时,串扰进来的噪声也被放大,如图 0-5(a)所示。由于模拟信号的幅值是连续的,难以把传输信号与干扰噪声分开。随着传输距离的增加,噪声累积越来越大,将使传输质量严重恶化。

对于数字通信,由于数字信号的幅值为有限的离散值(通常取两个幅值),在传输过程中受到噪声干扰,当信噪比还没有恶化到一定程度时,即在适当的距离,采用再生的方法,再生成已消除噪声干扰的原发送信号,如图 0-5(b)所示。由于无噪声积累,可实现长距离、高质量的传输。

### (2) 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越显得重要。数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。以话音信号为例,经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密和解密处理。如图 0-6 所示。

### (3) 采用时分复用实现多路通信

时分复用是利用各路信号在信道上占有不同的时间间隙,同一条信道上传输,并且互不

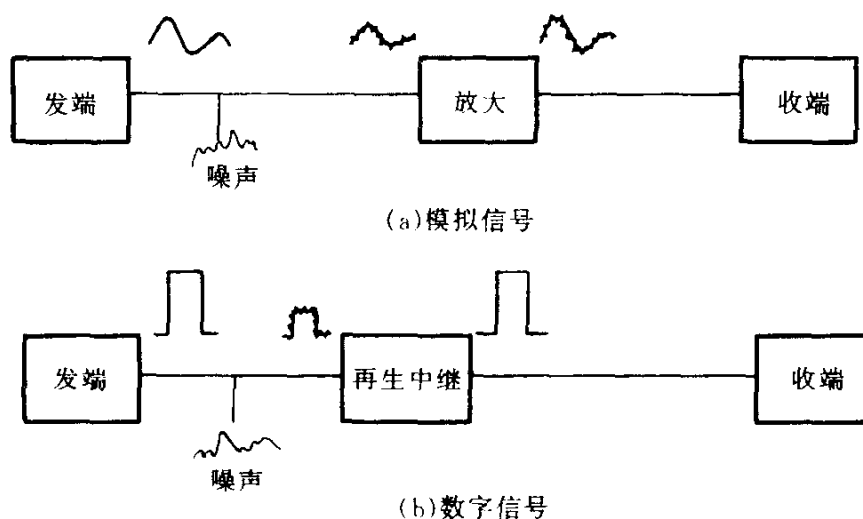


图 0-5 两类通信方式抗干扰性能比较

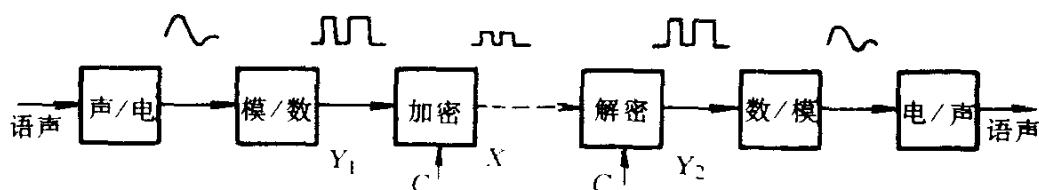


图 0-6 加密数字电话方框图

干扰。

#### (4) 设备便于集成化、微型化

数字通信采用时分多路复用,不需要昂贵的、体积较大的滤波器。由于设备中大部分电路都是数字电路,可以用大规模和超大规模集成电路实现,这样功耗也较低。

#### (5) 占用信道频带宽

一路数字电话的频带为 64kHz,而一路模拟电话所占频带仅为 4kHz,前者是后者的 16 倍。然而随着微波、卫星、光缆信道的大量利用(其信道频带非常宽),以及频带压缩编码器的实现和大量使用,数字通信占用频带宽的矛盾正逐步减小。

### 3. 数字通信系统的主要性能指标

衡量数字通信系统性能好坏的指标是有效性和可靠性两项。

#### (1) 有效性指标

有效性指标具体包括以下三项内容。

##### ① 信息传输速率( $R$ )

信息传输速率简称传信率,也叫数码率(常用  $f_B$  表示)。它的定义是:每秒所传输的信息量。

信息量是消息多少的一种度量,消息的不确定性程度越大,则其信息量越大。信息量的度量单位为“比特”(bit)。在满足一定条件下,一个二进制码元(一个“1”或一个“0”)所含的信息量是一个“比特”(条件为:随机的、各个码元独立的二进制序列,且“0”和“1”等概出现),所以信息传输速率的定义也可以说成是:一秒所传输的二进制码元数,其单位为 bit/s。

根据推导可以得出数码率的公式为(推导过程见后):

$$f_B = f_s \cdot n \cdot l \quad (0-1)$$

其中  $f_s$  为抽样频率,  $n$  是复用的路数,  $l$  是编码的码位数(详见后述)。

传信率(或数码率)的物理意义有两条:一是它反映了数字信号的传输速率;二是数码率的数值等于数字信号(二进制时)的主要能量的频带范围。

② 符号速率( $N$ )

符号速率也叫码元速率,它的定义是:1秒所传输的码元数目(这里的码元可以是多进制的,也可以是二进制的),其单位为“波特”(Bd)。

一般将二进制码元称为代码,符号(或码元)与代码的关系为:一个符号要用  $\log_2 M$  个代码来表示( $M$  为进制数或电平数)。表 0-1 列出了四进制符号与二进制码元(代码)的关系。

表 0-1 四进制符号与二进制码元的对应关系

四进制	二进制
0(即 -3)	0 0
1(即 -1)	0 1
2(即 1)	1 1
3(即 3)	1 0

综上所述,很容易得出信息传输速率  $R$  与符号速率  $N$  的关系为:

$$R = N \log_2 M \quad (0-2)$$

可见,二进制码元传输时,信息传输速率与符号速率相等。

③ 频带利用率  $\eta$

在比较不同的数字通信系统的效率时,单看它们的传输速率是不够的,或者说即使两个系统的传输速率相同,它们的效率也可能不同,还要看传输这种信息所占的信道频带的宽度。通信系统所占用的频带愈宽,传输信息的能力应该愈大。所以真正用来衡量数字通信系统传输效率的指标(有效性)应当是单位频带内的传输速率,即

$$\eta = \frac{\text{符号速率 (Bd/Hz)}}{\text{频带宽度}} \quad (0-3)$$

或

$$\eta = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{频带宽度}} (\text{bit/s} \cdot \text{Hz}) \quad (0-4)$$

(2) 可靠性指标

反映数字通信系统可靠性的主要指标是误码率。

数字信号在传输的过程中,当噪声干扰太大时将会导致错误地判决码元,即“1”码误成“0”码或“0”码误成“1”码,误码率是用来衡量误码多少的。

误码率的定义为:在传输过程中发生误码的码元个数与传输的总码元之比。即

$$P_e = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\text{发生误码个数}(n)}{\text{传输总码元数}(N)} \quad (0-5)$$

这个指标是多次统计结果的平均量,所以这里指的是平均误码率。

误码率的大小由通路的系统特性和信道质量决定,如果通路的系统特性和信道特性都是高质量的,则系统的误码率较低。原 CCITT 建议国际综合业务数字网(ISDN)连接的误码性能指标要求是:按秒计算误码率大于  $10^{-3}$  所占时间比例少于 0.2%;按分计算误码率大于  $10^{-6}$

所占时间比例少于 10%；按秒计算误码所占时间比例少于 8%（即无误码时间为 92%）。

显然提高信道信噪比（信号功率/噪声功率），可使误码率减小。另外缩短中继段距离，信噪比可提高，从而使误码率减小。

以上介绍了数字通信系统的有效性和可靠性指标，这两个指标是矛盾的，需要综合考虑它们的大小，以获得最好的传输效果。

## 二、脉冲编码调制(PCM)

由于数字通信是以数字信号的形式来传递消息的，而话音信号是幅度、时间取值均连续的模拟信号，所以数字通信所要解决的首要问题是模拟信号的数字化，即模/数变换(A/D变换)。

模/数变换的方法主要有脉冲编码调制(PCM)、差值脉冲编码调制(DPCM)、自适应差值脉冲编码调制(ADPCM)、增量调制(DM)等。在此仅介绍 PCM 的基本概念。

### 1. 脉冲编码调制通信系统的构成

脉冲编码调制是对模拟信号的瞬时抽样值量化、编码，以将模拟信号转化为数字信号。

若模/数变换的方法采用 PCM，由此构成的数字通信系统称为 PCM 通信系统。采用基带传输的 PCM 通信系统构成方框图如图 0-7 所示

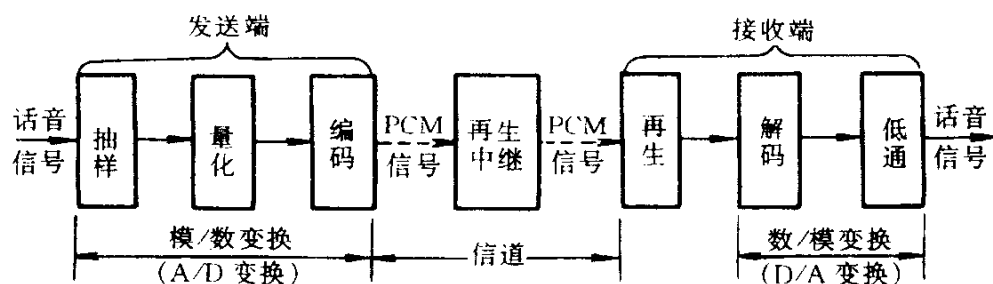


图 0-7 PCM 通信系统(基带传输)

由图中可以看出，PCM 通信系统由三个部分构成：

#### (1) 模/数变换

相当于信源编码部分的模/数变换(A/D变换)，具体包括抽样、量化、编码三步。

抽样——是把模拟信号在时间上离散化，变为脉冲幅度调制(PAM)信号。

量化——是把 PAM 信号在幅度上离散化，变为量化值(共有  $N$  个量化值)。

编码——是用二进制码来表示  $N$  个量化值，每个量化值编  $l$  位码，则有  $N = 2^l$ 。

#### (2) 信道部分

信道部分包括传输线路及再生中继器。由前面介绍的内容可知再生中继器可消除噪声干扰，所以数字通信系统中每隔一定的距离加一个再生中继器以延长通信距离。

#### (3) 数/模变换

接收端首先利用再生中继器消除数字信号中的噪声干扰，然后进行数/模变换。数/模变换包括解码和低通两部分。

解码——是编码的反过程，解码后还原为 PAM 信号(假设忽略量化误差——量化值与 PAM 信号样值之差)。

低通——收端低通的作用是恢复或重建原模拟信号。

下面分别详细介绍有关抽样、量化、编码与解码等知识。

## 2. 抽样

### (1) 抽样的概念

话音信号不仅在幅度取值上是连续的,而且在时间上也是连续的。要使话音信号数字化,首先要在时间上对话音信号进行离散化处理,这一处理过程是由抽样来完成的。所谓抽样就是每隔一定的时间间隔  $T$  抽取模拟信号的一个瞬时幅度值(样值)。抽样是由抽样门来完成的,在抽样脉冲  $S_T(t)$  的控制下,抽样门闭合或断开,如图 0-8 所示。

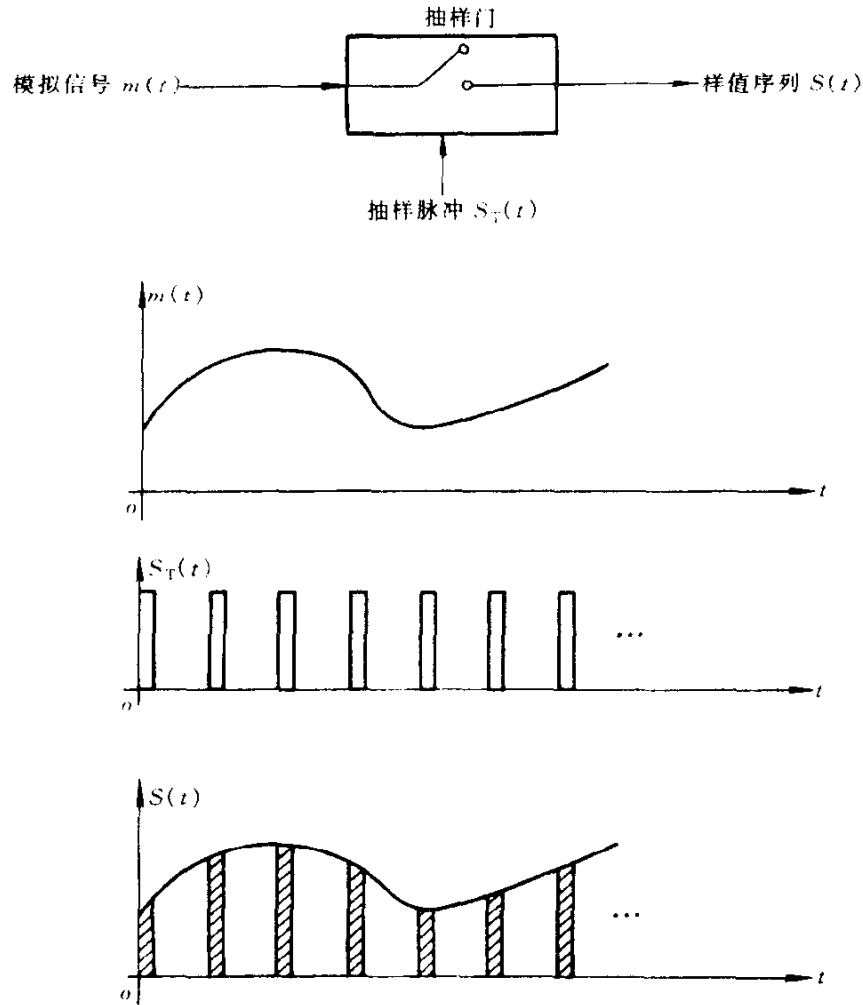


图 0-8 抽样过程

每当有抽样脉冲时,抽样门开关闭合,其输出取出一个模拟信号的样值;当抽样脉冲幅度为零时,抽样门开关断开,其输出为零(假设抽样门等效为一个理想开关)。抽样后所得出的一串在时间上离散的样值称为样值序列或样值信号,它是 PAM 信号,由于其幅度取值仍然是连续的,它仍是模拟信号。

图 0-8 所示的抽样为自然抽样,其抽样脉冲有一定的宽度,样值也就有一定的宽度,且样值的顶部随模拟信号的幅度变化。

为了了解在什么条件下,接收端能从解码后的样值序列中恢复出原始模拟信号,有必要分析样值序列的频谱。为了方便起见,要借助于理想抽样分析。采用理想的单位冲激脉冲序列作为抽样脉冲(即用冲激脉冲近似表示有一定宽度的抽样脉冲)时,称为理想抽样。

### (2) 理想抽样的频谱

设抽样脉冲  $S_T(t)$  是单位冲激脉冲序列,抽样值是抽样时刻  $nT$  的模拟话音信号  $m(t)$  的瞬时值  $m(nT)$ ,如图 0-9 所示。现分析理想抽样时的样值序列  $S(t)$  的频谱  $S(\omega)$  与原始模

拟话音信号  $m(t)$  的频谱  $M(\omega)$  之间的关系。

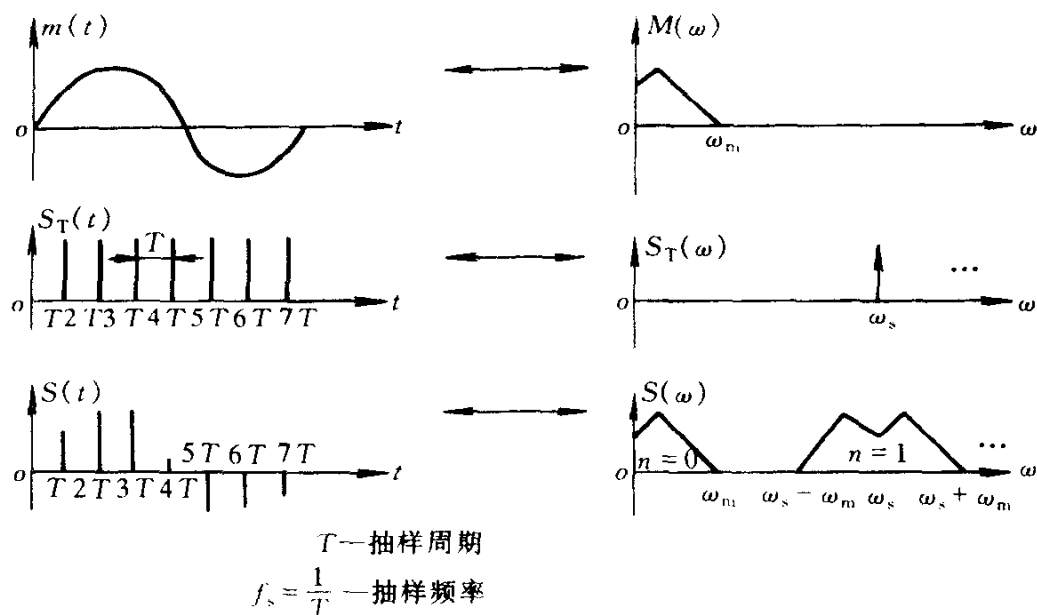


图 0-9 理想抽样信号及频谱

根据推导得出

$$S(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} M(\omega - n\omega_s) \quad (0-6)$$

上式表示,抽样后的样值序列频谱  $S(\omega)$  是由无限多个分布在  $\omega_s$  各次谐波左右的上下边带所组成,而其中位于  $n=0$  处的频谱就是抽样前的话音信号频谱  $M(\omega)$  的本身(只差一个系数  $\frac{1}{T}$ ),如图 0-9 所示。

由图可知,样值序列的频谱被扩大了(即频率成分增多了),但样值序列中含原始话音的信息。因此对话音信号进行抽样处理是可行的。抽样处理后不仅便于量化、编码,同时对话音信号进行了时域压缩,为时分复用创造条件。在接收端为了能恢复原始话音信号,必须要求位于  $\omega_s$  处的下边带频谱能与话音信号频谱分开。

今设原始话音信号的频带限制在  $0 \sim f_m$  ( $f_m$  为话音信号的最高频率),由图 0-10 可知,在接收端,只要用一个低通滤波器把原始话音信号(频带为  $0 \sim f_m$ )滤出,就可获得原始话音信号的重建(即滤出式(0-6)中  $n=0$  的成分)。但要获得话音信号的重建,从图 0-10(b)可知,必须使  $f_m$  与  $(f_s - f_m)$  之间有一定宽度的防卫带。否则,  $f_s$  的下边带将与原始话音信号的频带发生重叠而产生失真,如图 0-10(c)所示。这种失真所产生的噪声称为折叠噪声。

为了避免产生折叠噪声,对频带为  $0 \sim f_m$  Hz 的话音信号,其抽样频率  $f_s$  必须满足下列条件:

$$f_s - f_m \geq f_m$$

所以

$$f_s \geq 2f_m \text{ 或 } T \leq \frac{1}{2f_m} \quad (0-7)$$

即:“一个频带限制在  $f_m$  Hz 以下的连续信号  $m(t)$ ,可以惟一地用时间每隔  $T \leq \frac{1}{2f_m}$  秒的抽样值序列来确定。”这就是著名的抽样定理。

话音信号的最高频率限制在 3400Hz,这时满足抽样定理的最低的抽样频率应为



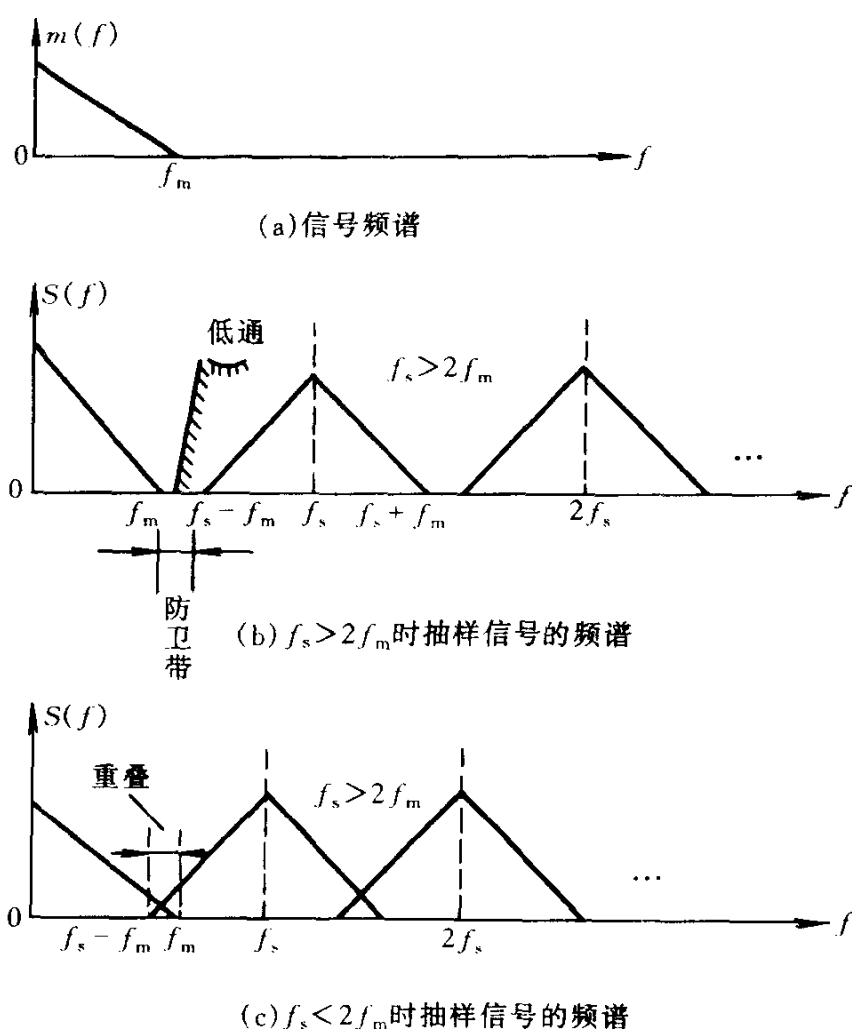


图 0-10 抽样频率  $f_s$  对频谱  $S(f)$  的影响

$f_{s \min} = 6800\text{Hz}$ , 为了留有一定的防卫带, 原 CCITT 规定话音信号的抽样频率为  $f_s = 8000\text{Hz}$ , 这样就留出了  $8000 - 6800 = 1200\text{Hz}$  作为滤波器的防卫带。

应当指出, 抽样频率  $f_s$  不是越高越好,  $f_s$  太高时, 将会降低信道的利用率(因为随  $f_s$  的升高,  $f_B$  也增大, 则数字信号带宽变宽, 导致信道利用率降低)。所以只要能满足  $f_s > 2f_m$ , 并有一定频宽的防卫带即可。

### 3. 量化

量化的意思是将时间域上幅度连续的样值序列变换为时间域上幅度离散的样值序列信号(即量化值)。

量化分为均匀量化和非均匀量化两种。

#### (1) 均匀量化

话音信号的概率密度分布曲线如图 0-11 所示。

图中  $U$  为过载电压。由图可见, 话音信号为小信号(指绝对值小的信号)时出现的机会多, 而大信号(指绝对值大的信号)时出现的机会少, 而且话音信号主要分布在  $-U \sim +U$  之间。我们将  $-U \sim +U$  这个区域称为量化区, 而将  $u < -U$  与  $u > +U$  范围称为过载区。

均匀量化是在量化区内(即从  $-U \sim +U$ )均匀等分  $N$  个小间隔。  $N$  称为量化级数, 每一小间隔称为量化间隔  $\Delta$ 。由此可得:

$$\Delta = \frac{2U}{N} \quad (0-8)$$