

铁路职业教育铁道部规划教材

数字通信系统

SHUZITONGXINXITONG

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

孙运来/主编 卜爱琴/主审

中专

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(中 专)

数字通信系统

孙运来 主 编

卜爱琴 主 审

中国铁道出版社

2011年·北 京

内 容 简 介

本书系统的介绍了 30/32PCM 基本原理和基本概念,介绍了基带、频带传输的基本概念,重点介绍了 SDH 复接技术和密集波分复用技术。考虑到现场实际需要,还对相关 SDH 设备进行了介绍。

本书主要作为中专学校铁道通信专业教材,还可作为成人教育以及现场工程技术人员的培训教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信系统/孙运来主编. —北京:中国铁道出版社,2011. 1

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-12375-8

I. ①数… II. ①孙… III. ①数字通信系统—专业学校—教材
IV. ①TN914. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 000949 号

书 名:数字通信系统

作 者:孙运来 主编

责任编辑:朱敏洁 电话:010-51873134 电子信箱:zhuminjie_0@163.com 教材网址:www.tdjiaocai.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:张玉华

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:8.5 字数:210 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-12375-8

定 价:18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

前 言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育铁道部规划教材。本书是根据铁路中专教育铁道通信专业教学计划“数字通信系统”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育铁道通信专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育铁道通信专业教材编审组审定。

本书根据铁道通信专业要求,围绕中专培养技术应用性人才为目标,“以必需够用为度,突出工程应用,注重提高质量”的原则,依据教学大纲提出的教学要求,编写教学内容,并在每章前面提出了教学目标,在每一章内容后配有复习思考题。

本书系统的介绍了 30/32PCM 基本原理和基本概念,介绍了基带、频带传输的基本概念,重点介绍了 SDH 复接技术和密集波分复用技术。考虑到现场实际需要,还对相关 SDH 设备进行了介绍。

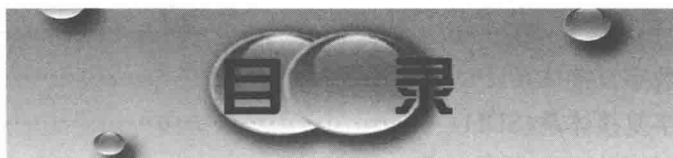
本书由洛阳铁路信息工程学校孙运来担任主编,天津铁道职业技术学院卜爱琴担任主审。编写分工为:第一至三章由洛阳铁路信息工程学校孙运来编写;第四章、第五章第一至八节、第六章由洛阳铁路信息工程学校李力厚编写;第五章第九节由天津铁道职业技术学院卢德俊编写。本书中所涉及的大部分图形由洛阳铁路信息工程学校袁博绘制。

参加本书审稿工作的有:柳州铁道职业技术学院黄欣萍、蓝茜英,湖南交通工程职业技术学院段智文,武汉铁路职业技术学院郑毛祥,南京铁道职业技术学院赵丽花、沈瑞琴,洛阳铁路信息工程学校肖振伟,天津铁道职业技术学院邵汝峰。审稿的同志认真阅读原稿,相互讨论交流,结合教学实际提出许多宝贵意见,特别是担任主审的卜爱琴对本书提出了许多宝贵的意见和建议,给我们提供很多帮助,在此表示最诚挚的谢意!

由于编者水平有限,本教材中有疏漏和不妥之处,敬请广大读者及时提出改进意见,以便今后进一步完善本书内容。

编 者

2010 年 11 月



第一章 数字通信系统概述	1
第一节 数字通信系统的构成	1
第二节 数字通信系统的主要性能指标	3
第三节 数字通信的特点	6
复习思考题	8
第二章 模拟信号的数字传输	9
第一节 概 述	9
第二节 脉冲编码调制(PCM)	10
第三节 自适应差值脉冲编码调制 (ADPCM)	20
第四节 多路复用通信	21
第五节 定时系统	25
第六节 PCM 基群同步	29
复习思考题	33
第三章 数字信号的基带传输	36
第一节 基带传输系统的组成	36
第二节 数字基带信号	37
第三节 数字信号基带传输基本理论	41
第四节 再生中继传输	43
第五节 PCM 中继传输系统的测量	45
复习思考题	47
第四章 数字信号的频带传输	48
第一节 概 述	48
第二节 振幅键控调制(ASK)	49
第三节 频移键控调制(FSK)	51
第四节 相移键控调制(PSK)	52
第五节 常用改进型数字调制技术	55
复习思考题	59

第五章 数字复接技术	60
第一节 数字信号复接	60
第二节 准同步数字复接体系(PDH)	63
第三节 同步数字复接体系(SDH)	65
第四节 SDH 的同步复用与映射过程	73
第五节 SDH 网络单元功能	79
第六节 SDH 传送网拓扑结构	81
第七节 SDH 自愈网	83
第八节 SDH 网络单元应用举例	87
第九节 SDH 设备及维护	89
复习思考题	106
第六章 光纤数字传输系统	108
第一节 概 述	108
第二节 光纤通信终端设备	110
第三节 无源光器件	114
第四节 波分复用系统	117
第五节 DWDM 系统器件与设备	124
第六节 SDH 波分复用系统应用举例	127
复习思考题	128
《数字通信系统》期末试题样卷	129
参考文献	130

第一章

数字通信系统概述

【教学基本要求】

掌握:模拟信号与数字信号的区别;速率的单位及计算方法;数字通信系统的主要性能指标。

理解:数字通信系统的组成及各部分的作用,建立完整的数字通信系统概念。

了解:信息与信号,数字通信优缺点。

第一节 数字通信系统的构成

一、信息与信号

通信是指信息的传递和交换。

人类社会已步入了信息时代,信息高效、快速的传递变得越来越重要。既然信息对于人类社会是如此普遍和重要,因此首先弄清楚它的含义就变得很有必要。

什么叫信息?在通信中,信息是指对收信者来说还不知道的,待传送、存储或提取的内容。

信号是信息的载体,是运载信息的工具。人们要想传递和交换信息,必须借助于信号,首先用信号来表示。例如我们说出来的语言、写出来的文字、画出来的图像、编出来的电码等,都是不同形式的信号。同一信息可用不同形式的信号来表示,从这一意义上讲,可以认为通信的任务是传递和交换信号。

二、模拟信号和数字信号

通信的分类方法很多,按电磁波的传输信道分,可分为有线通信和无线通信。电磁波沿通信线路传输的方式称为有线通信;电磁波沿自由空间传输的方式称为无线通信。按传送信号的形式可分为模拟通信和数字通信。传输是模拟信号的通信称为模拟通信;传输是数字信号的通信称为数字通信。

我们研究的现代通信主要是指电通信(包括光通信),即以电信号作为其传递与交换的对象。电通信的突出优点是:能使信号在任意距离上实现快速、有效而又准确可靠地传递,因而成为现代社会的主要通信方式。

任何电信号的波形都可以用幅度和时间两个参量来描述。根据信号幅度的取值方式不同,可把信号分为两类:模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号的主要特点是连续性,连续性包含两个方面:一是时间上连续,就是在时间上任何时刻点都包含要传输的信息,这意味着在任何时刻信号的变化和丢失都是信息的传输错误

和丢失。二是参量连续,信号的幅度可取范围内的任何值,不同值表示的信息内容不同。例如电话的话音信号,传真、电视的图像信号,话筒模仿语音在空气中的振动产生的信号都是模拟信号。图 1-1 是话音信号的电压波形,它模拟了语声声强的大小,其幅值是连续变化的。

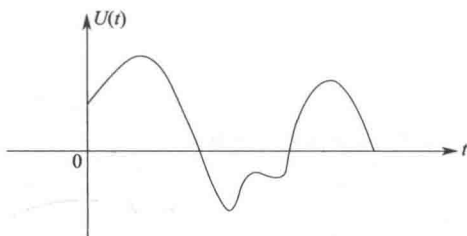


图 1-1 模拟信号的波形

2. 数字信号

数字信号的主要特点是离散性,离散性也包含两个方面:一是时间离散,在一定时间内的某些时刻点的信号包含要传输的信息,而在其他时刻点的信号不包含要传输的信息。二是参量的离散性,参量的取值是有限个值。

图 1-2 是数字信号的波形,图 1-2(a)是二进制码,每一个码元(由一个脉冲构成)只能取两个状态(0,1)之一;图 1-2(b)是四进制码,其每个码元只能取多个状态(3,1,-1,-3)中的一个。上述两个信号的共同特征是,幅值被限定在有限个数值之内,它不是连续的,而是离散的。这种幅值为离散的信号被称为数字信号。由于通常传输码型的码元占空比只为 50%,即码元宽度为信号周期的一半,而另一半则在幅值上没有意义,所以数字信号一般在时间上、幅度上都是离散的。属于数字信号的信源有:电报信号和数据信号等。

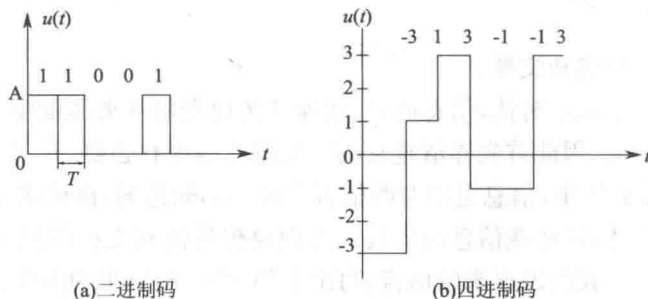


图 1-2 数字信号的波形

由上面的介绍可知,判断数字信号与模拟信号,是根据信号幅度取值是否离散。信息,既可用模拟信号来表示,也可以用数字信号来表示,模拟信号和数字信号在一定条件下可互相转化。

三、数字通信系统的模型

电通信种类很多,根据在信道(传输信号的媒介)上传输信号的波形类型,可分为两类通信方式;模拟通信和数字通信。通信的任务是由一整套技术设备和传输媒介所构成的总体——通信系统来完成的。实际数字通信系统的构成,因用途不同而不同。综合各种数字通信系统,可得图 1-3 所示的模型。



图 1-3 数字通信系统模型

图 1-3 中,信源的作用是把信息转换成原始电信号。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。

信源编码的任务是把模拟信号转换成数字信号(一般是变为二进制数字信号),完成模拟/数字变换(简称模/数变换,或 A/D 变换)的任务。对于信源已经是数字信号的情况,如数据信号等,则可省去信源编码环节。

加密器的功能是对数字信号进行加密,对数字信号进行一些逻辑运算即可起到加密的作用。

信道编码通常由纠错编码和线路编码(又称码型变换)两部分组成。信道编码的功能有两个:

1. 由于信道噪声的干扰,可能会使传输的数字信号产生差错,为了使接收端能自动检出错码或纠正错码,必须进行纠错编码。
2. 为了信源编码后的数字信号适合于在信道上传输,必须进行码型变换。

纠错编码和码型变换的具体做法是在信源编码后的信息码元中,再按一定的规律,附加一些多余的码元(称为冗余),使码元之间形成较强的规律性。这样就使得信道上传送的码流具备有时钟分量等,接收端易于同步接收发送端送来的数字码流,并且根据信道编码形成的规律性自动进行检错甚至纠错。

有时为适应信道传输的频带要求,将编码后的数字信号频谱变换到高频范围内,这一变换称为调制。在数字通信中,未经调制的信号称为基带信号。调制后的信号称为频带信号。

信道是指传输信号的媒介。根据传输媒介的不同信道可分为有线信道(电缆、光缆等)与无线信道(包括微波、卫星通信等)。其中除有线信道的电缆可以直接传输数字基带信号外,其他各种传输媒介都工作在较高的频段上。因此在这些信道上传输数字信号时,数字基带信号都必须经过调制,将数字基带信号的频带搬移到适合于信道传输的频带上。将数字基带信号直接送到信道上的传输方式称为基带传输;将数字基带信号经过调制后送到信道的传输方式称为频带传输。

信号在传输系统中传输时,不可避免地会受到系统外部干扰和系统内部的噪声(如电阻热噪声、晶体管器件的散弹噪声等)干扰。通常把所有的干扰(包括内部噪声)折合到信道上,统一用一个等效噪声源来表示。

接收端的解调、信道解码、解密器、信源解码等的功能与发送端的调制、信道编码、加密器、信源编码等的功能,是一一对应的反变换,这里不再赘述。

需要提到的是:具体的数字通信系统并非一定要包括图 1-3 所示的全部方框。如,若信源是数字信息时,则信源编码和信源解码环节可去掉,这时的通信系统称为数据通信系统;对于基带传输系统,调制、解调可去掉;当通信不需要保密时,加、解密器可去掉等等。

第二节 数字通信系统的主要性能指标

数字通信系统的性能指标涉及其有效性、可靠性、适应性、经济性、标准性、可维护性等。尽管不同的通信业务对系统性能的要求不尽相同,但从研究信息传输的角度来说,数字通信系统的主要指标是有效性和可靠性。

所谓有效性是指在给定信道内能够传输信息内容的多少,或者说是传输的“速度”问题;而可靠性则是指在给定信道内接收信息的准确程度,也就是传输的“质量”问题。

数字通信系统的有效性和可靠性既相互矛盾,又相互统一。一般情况下,要提高系统的有

效性,就得降低其可靠性,反之亦然。在实际中常常依据实际系统的要求采取相对统一的办法,即在满足一定可靠性指标下,尽量提高消息的传输“速度”,即有效性;或者在维持一定有效性的条件下,尽可能提高系统的可靠性。

在介绍这两个指标之前,先引入码元和比特的定义。

一、码元和比特

码元,即携带信息的数字单元。它一般是指在数字信道中传送数字信号的一个波形符号,它可能是二进制的,也可能是多进制的。

比特,即信息量的度量单位。信息量既然是指对收信者来说不知道的消息,那么某消息所包含信息量同该消息的不确定性(即发生该消息的概率)是有关的。消息的不确定性越大,则其信息量越大。例如某一消息已众所周知,则此消息已无任何意义,信息量为零;但某一消息是大家意想不到的,则该消息信息量应该很大。所以信息量实际上是同该消息所发生的概率 P 成反比的,通常以下式来度量信息量,即:信息量

$$I = \log_2 \frac{1}{P}$$

其单位为比特(bit)。那么 1 比特信息量究竟为多少呢?

一位二进制数,不是 0 就是 1,如果 0 和 1 以相等概率出现的话,那么该二进制数为 0 或 1 的概率各为 $1/2$,在这种情况下,一位二进制数所携带的信息量即为 $\log_2 \frac{1}{P} = 1 \text{ bit}$ 。

一位八进制数,有 0、1、2、3、4、5、6、7 八种状态,如果每一种状态相等概率出现的话,那么该八进制数各状态的概率各为 $1/8$,在这种情况下,一位八进制数所携带的信息量即为 $\log_2 \frac{1}{P} = 3 \text{ bit}$ 。

同样的,如果是十六进制,则其信息量为 4 bit。

在数字通信中,通常以二进制数字来传递信息的,由于人们讲话语音的随机性,在语音所编成二进制码流中,0 和 1 概率相等,所以一个二进制数也就称 1 bit。比特的英文名称是 binary digit (bit),也是二进制数字的意思。所以 1 bit 也代表一位二进制数字。例如 1001010111,有十位二进制数字,就是 10 bit,当然这种提法不够严格。

二、数字通信系统的主要性能指标

数字通信系统的有效性和可靠性通常用传输容量和传输差错率来衡量。

(一) 传输容量

传输容量通常用传输速率表示,传输速率就是在单位时间内通过信道的平均信息量。传输速率如下两种表示方法。

1. 比特速率

比特速率又称传信率,指系统每秒钟传送的比特数。单位是 bit/s、kbit/s、Mbit/s、Gbit/s。用符号 f_b 表示。

比特速率各单位之间的关系见表 1-1。

表 1-1 比特速率各单位之间的关系

单位名称	Gbit/s	Mbit/s	kbit/s	bit/s
数值关系	1	10^3	10^6	10^9

2. 码元速率

码元速率又称传码率,指系统每秒钟传送的码元数。单位是 Baud,用符号 f_B 表示。

码元速率仅仅表示每秒钟传送码元的个数,并没有限定码元是何种进制码元,故给定速率时必须说明这个码元的进制。

对 M 进制码元,其码元速率和比特速率关系式

$$f_b = f_B \cdot \log_2^M \quad (1-1)$$

3. 频带利用率

电报通信常用传码率,数字通信常用传信率(又称数码率)来反映信道传输效率。在比较不同数字通信系统的效率时,光看它们的传输速率是不够的,或者说,即使两个系统的信息传输速率相同,它们的效率可能不同,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有效性指标应当是单位频带内的传输速率。频带利用率可以表示为

$$\eta = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{频带宽度}} \quad (\text{bit/s} \cdot \text{Hz}) \quad (1-2)$$

单位“bit/s · Hz”。例如,通过 2 MHz 信道的数码率为 2 Mbit/s,则其单位频带的传信率为 1 bit/s · Hz。

【例 1】 一个二进制数字通信系统一分钟内传送了 18 000 bit 的信息量,其比特速率为多少,若改为八进制的通信系统,一分钟内传送了 18 000 bit 的信息量,其码元速率又为多少?

解: 对于二进制数字通信系统而言,码元速率和比特速率在数值上相等,因此

$$f_b = \frac{18\,000}{60} = 300 \quad (\text{bit/s})$$

若改为八进制的通信系统, $M=8$ 。

一分钟内传送了 18 000 bit 的信息量,其码元速率

$$f_b = f_B \cdot \log_2^M$$

$$f_B = 300 \div \log_2^8 = 100 \quad (\text{Band})$$

(二) 传输差错率

1. 误码率

误码率又称码元差错率,指在传输的码元总数中错误接收的码元数所占的比例(平均值),用符号 P_e 表示

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1-3)$$

2. 误比特率

误比特率又称比特差错率,指在传输的比特总数中错误接收的比特数所占的比例(平均值),用符号 P_{eb} 表示

$$P_{eb} = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1-4)$$

由于数字通信中一般采用二进制,在这种情况下,误码率同误比特率相等,所以以后传输差错率都用误码率来表示。

显然,从通信的有效性和可靠性出发,希望单位频带的数码率越大越好,误码率越小越好。

【例 2】 某数字传输中,在 250 μs 内传输 256 个二进制码元,计算信息比特率。若 1 s 内有 3 个码元产生误码,其误码率是多少? 假设信道频带宽度为 1 024 kHz,其频带利用率为多少?

解: (1) $250 \mu\text{s} = 0.25 \times 10^{-3} \text{ s}$

根据比特率的定义: $f_b = \frac{256}{0.25} \times 10^3 = 1\,024 \text{ (kbit/s)}$

(2) 根据误码率的定义, 对于二进制系统, 误码率等于误比特率。

所以: $P_e = P_{eb} = \frac{3}{1\,024} \times 10^{-3} \approx 3 \times 10^{-6}$

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

$$\eta = \frac{1\,024 \text{ kbit/s}}{1\,024 \text{ kHz}} = 1 \text{ (bit/s} \cdot \text{Hz)}$$

第三节 数字通信的特点

前面对数字通信系统模型及各部分的作用进行了简要介绍, 下面介绍一下数字通信的特点。

一、抗干扰能力强, 无噪声积累

信号在传输过程中必然会受到各种噪声的干扰。在模拟通信中, 为了实现远距离传输, 需要及时地把已经受到衰减的信号进行放大(增音)。但在信号放大的同时, 串扰进来的噪声也被放大, 如图 1-4(a)所示。由于模拟信号是用信号幅度载荷信息的, 而噪声又直接干扰信号幅度, 因此, 难以把信号与干扰噪声分开。随着传输距离增加, 噪声累加越来越大, 信噪比越来越小。所以模拟通信的通信距离越远, 通信质量越差。

在数字传输中, 信息不是包含在脉冲的波形的变化上, 而是包含在脉冲的有无之中。为了实现远距离传输, 可以通过再生中继的方法对已经失真的信号波形进行判决, 从而消除噪声积累, 如图 1-4(b)所示。由于无噪声积累, 所以数字通信抗干扰能力强, 易于实现高质量的远距离传输。这是数字通信的重要优点之一。

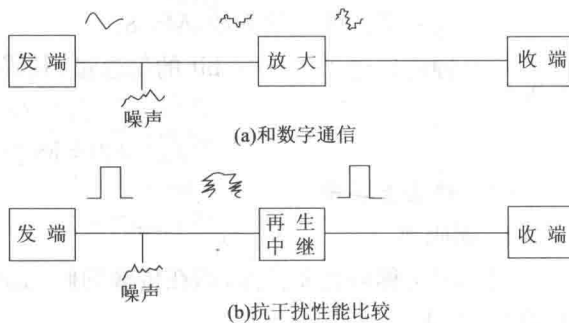


图 1-4 模拟通信

二、灵活性强, 能适应各种业务要求

在数字通信中, 各种消息(电报、电话、图像和数据等)都可以变换成统一的二进制数字信号进行传输。数字信号的传输可以与数字信号时分交换结合起来, 组成统一的综合业务数字网(ISDN)。综合业务数字网对来自不同信源的信号自动地交换、综合、传输、处理、存储和分离, 这会给实际应用带来极大的便利。

三、便于与计算机连接

由于数字通信中的二进制数字信号与数字电子计算机所采用的信号完全一致, 所以数字通信线路可以很方便地与计算机连接, 实现复杂的远距离大规模自动控制系统和自动数据处

理系统,实现以计算机为中心的自动交换通信网,通过计算机对整个数字通信网络进行高度智能化的监测。

四、便于加密处理

信息传输的安全性和保密性都显得越来越重要,数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。加密经过一些简单的逻辑运算即可实现,如图 1-5 所示。 X_1 为原数字信号,设为 0100110110101……,Y 为密码,设为 0110000101100 的周期性信号。将二者送入由模 2 加组成的加密电路,则输出的信号 $Z=X_1 \oplus Y=0010110011001……$ 。显然,Z 和 X_1 不同。到了接收端,将 Z 和 Y 再送入由模 2 加组成的解密电路,输出的信号 $X_2=Z \oplus Y=0100110110101……$, $X_1=X_2$,即还原为原数字信号。只要双方约定密码,且密码周期足够长,则第三者就破译的难度就更大,而且密码还可以随时变换。以上介绍的只是简单的加密原理,实际的加密方案要复杂得多,但由此可看出数字信号很容易加密。

注:模 2 加: $0 \oplus 0=0$ $1 \oplus 0=1$ $0 \oplus 1=1$ $1 \oplus 1=1$

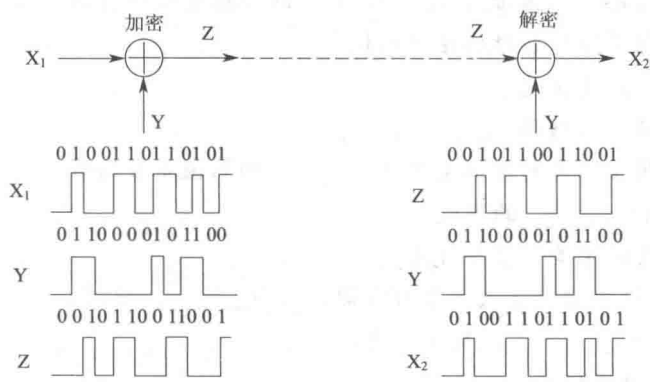


图 1-5 简单的加密过程

五、设备便于集成化小型化

数字通信通常采用时分多路复用,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,这样设备体积小,功耗也较低。

六、占用频带宽

这是数字通信的最大缺点。一路模拟电话约占 4 kHz 带宽,而一路数字电话大约需 64 kHz 带宽。随着编码技术的不断发展,虽然一路数字电话的带宽可降到 32 kHz,甚至 16 kHz,但仍然远大于模拟通信。当然,随着光纤等宽带传输信道的大量采用,数字通信和光纤传媒的优点得到了最好的结合,数字通信也就得到了广泛的应用。

本章小结

本章主要讨论了数字通信系统的三个方面:数字通信系统的组成;数字通信系统的性能指标;数字通信系统的优缺点。

1. 数字通信系统主要由信源编码和解码、信道编码和解码、数字调制和解调组成。信源

编码主要任务是模拟信号数字化(A/D 转换),以及压缩数字信息(压缩编码),压缩编码视需要而进行。信道编码又称抗干扰编码,它的目的是进行传输过程中的差错控制,减少误码。数字调制的目的和模拟信号的调制相似,主要是实现频分多路复用。

2. 数字通信的性能指标主要有 3 个:信息的传输速率、频带利用率和误码率。前面两个为有效性指标,后一个为可靠性指标。

3. 数字通信与模拟通信相比较,其最主要的特点是抗干扰能力强,无噪声积累。

复习思考题

一、填空题

1. 将数字基带信号直接送到信道传输的方式称为_____。
2. 将数字基带信号经过调制后送到信道的传输方式称为_____。
3. 一路数字电话所占的频带为 64 kHz,而一路模拟电话所占频带为_____。
4. 衡量数字通信系统可靠性的主要指标是_____。
5. 数字信号的幅度变化是_____。
6. 传输模拟信号的通信称_____。
7. 数字信号与模拟信号的区别是看其_____的取值是否离散。
8. 信道是指传输_____的通道。
9. 数字传输系统的主要质量指标是_____。
10. 通信按其传送的信号方式可分为模拟通信和_____通信。
11. 通信的目的是_____或交换信息。
12. 信息量的度量单位是_____。

二、简答题

1. 模拟信号与数字信号的主要区别是什么?
2. 试画出数字通信系统组成框图,并简述各部分作用?
3. 试画出数字通信基带传输的组成框图?
4. 信源编码与信道编码的任务各是什么?
5. 什么是通信的有效性,它有哪些指标体现?
6. 数字通信系统的主要性能指标有哪些?
7. 数字通信有哪些优、缺点?
8. 在 $125\ \mu\text{s}$ 内传输 256 个二进制码元,计算信息的传码率及比特率。若 1 s 内有 5 个码元产生误码,其误码率是多少?
9. 在八进制系统中,码元速率为 1 600 Baud,求该系统的传信率?
10. 假设信道频带宽度为 1 024 kHz,传输速率为 2 048 kbit/s,其频带利用率为多少?若信道频带宽度为 2 048 kHz,其频带利用率又为多少?

第二章

模拟信号的数字传输

【教学基本要求】

掌握:模拟信号数字化传输的原理,时分多路复用原理。

理解:模拟信号数字化的方法,脉冲编码调制(PCM)基本原理。理解抽样定理,计算抽样频率和传输速率,时分多路复用原理,PCM30/32 路基群帧结构,建立数字信号帧的概念,定时系统和同步系统的关系。

了解:差值脉码调制(DPCM),自适应差值脉码调制(ADPCM)、增量调制(DM)的基本原理。PCM30/32 路数字通信系统的组成。

第一节 概 述

数字通信是以数字信号作为载体来传递信息的通信方式。它的任务是将各种信息转换成数字信号后在数字通信系统中传输。因此,在系统中必然包括两个重要的变换。一是模拟信号与数字基带信号之间的变换;二是数字基带信号与适合传输要求的信道信号之间的变换。

前一种变换多是由发或收的终端设备来完成的,它将连续信号或离散信号转换成数字基带信号。后一种变换则是由数字调制和解调器构成。本章讨论的数字终端技术,主要是前一种变换,即模拟信号数字化和压缩编码两个主要问题。

脉冲编码调制简称脉码调制或 PCM(Pulse Code Modulation),它是实现模拟信号数字化的最基本、最常用的一种方法。

脉码调制的任务就是要把时间连续、取值连续的模拟信号转换成为时间离散、取值离散的数字信号,并按一定规律组合编码,形成 PCM 信号序列。这一数字化过程一般可用抽样(取样)、量化和编码三个步骤来完成。当模拟信号经过抽样(取样)、量化和编码三个过程后,输出 PCM 信号,然后把此信号直接送到信道上传输。这种通信方式称为脉冲编码调制通信。脉冲编码调制通信系统的方框图如图 2-1 所示。



图 2-1 脉冲编码调制系统方框图

图 2-1 中抽样的任务把模拟信号按照一定的要求变成脉冲幅度调制信号(PAM);量化的任务是用有限个数的幅度取样值来取代原模拟信号无限个幅度取样值;编码的任务是将每个量化后的幅度取样值转化为数字信号序列;信道的任务是传送信号;解码器的任务与 PCM 编

码器的任务相反,将接收到的数字信号还原成模拟信号,滤波器滤除离散脉冲中的谐波分量。

将模拟信号转换成数字信号的三个过程如图 2-2 所示。图中模拟信号极性为正时用“1”表示,极性为负时用“0”表示,采用 8421 码。它是一个完整的模拟信号数字化的过程。理解了这个过程,对我们后面的学习很有帮助。

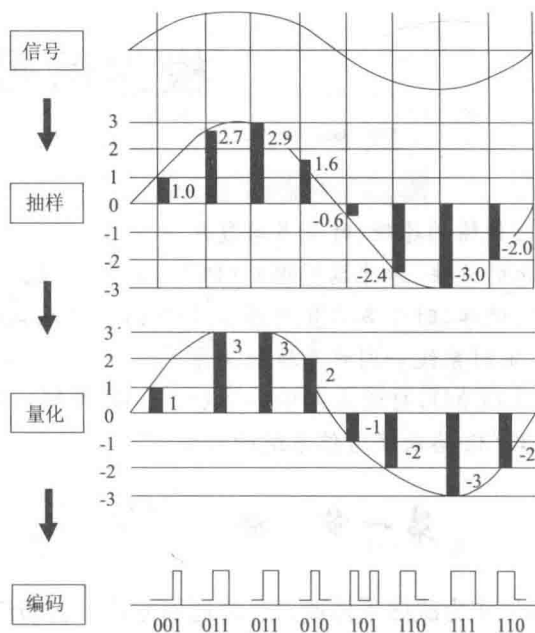


图 2-2 将模拟信号转化成数字信号的过程

第二节 脉冲编码调制(PCM)

脉冲编码调制就是将模拟信号进行数字化处理,从而变成数字信号的一种技术,它包含三个过程:抽样(取样)、量化、编码。下面分别加以讨论。

一、抽 样

话音信号不仅在幅度上是连续的,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。故抽样是实现脉冲编码调制(PCM),即模拟信号数字化的第一步。所谓抽样,是将时间域上连续的模拟信号变成时间域上离散的抽样信号过程,其实现如图 2-3 所示。图 2-3 中在信号的通路上加上一个开关,开关受到 $S(nt)$ 的控制,按 $S(nt)$ 的控制速率进行开关动作,当开关闭合时,信号通过;开关断开时,信号被阻挡,从而形成时间离散的抽样信号(脉冲幅度调制信号,即 PAM 信号)。

由图 2-3 可以看出,抽样信号与原模拟信号有所不同。对抽样的要求是抽样后在时间上离散的样值序列能代替原来时间连续的信号,并且能完全表示原信号的信息。也就是说,使接收端能从离散的样值脉冲中不失真地恢复出原模拟信号,实现重建的任务。这一节将从理论上说明,开关的开关频率(抽样频率)必须满足什么条件才能保证收信端正确地加以重建。也就是 $S(nt)$ 的频率是多少,才能完成信号的重建? 根据模拟信号的频率范围,抽样时开关的开关频率(抽样频率)到底为多少,这是我们下面讨论的抽样定理。

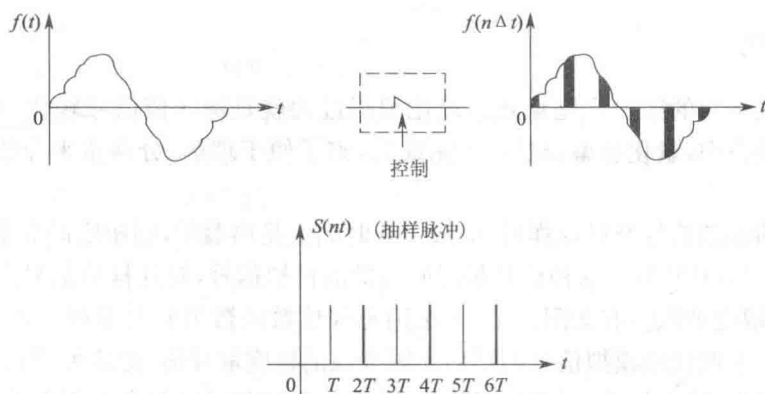


图 2-3 抽样示意图

(一) 低通型抽样定理

条件: 低频频率 f_L 很低(一般指 $f_L < B = f_m - f_L$), 最高频率为 f_m 的低通型模拟信号。

内容: 抽样频率 f_s 的要求是 $f_s \geq 2f_m$ 。

即抽样脉冲 $S(nt)$ 的重复频率 f_s , 必须不小于模拟信号最高频率的两倍。这就是低通型抽样定理, 它为时分多路复用提供了理论基础。

例如, 电话信号的频带为 300~3 400 Hz, 最低频率 $f_L = 300$ Hz, 最高频率 $f_H = 3 400$ Hz, 频带宽度 $B = f_m - f_L = 3 400 - 300 = 3 100$ Hz, $f_L < B$, 抽样频率必须采用低通型抽样定理, 实际选择抽样频率 $f_s = 8 000$ Hz $> 2f_m = 6 800$ Hz (此时保护频带为 1 200 Hz), 其重复周期 $T_s = 125 \mu\text{s}$, 即对电话信号每隔 125 μs 抽取一个样值。

根据上述原理和 ITU-T 建议, 我国规定 PCM30/32 路基群的抽样频率 f_s 为 8 000 Hz, 重复周期为 125 μs 。

(二) 带通型抽样定理

条件: 对于频带为 $f_L \sim f_m$ 的模拟信号, 其带宽为 $B = f_m - f_L$, 若 $f_L > B = f_m - f_L$, 对该信号的抽样频率要使用带通型抽样定理。其内容如下:

它的抽样频率为

$$\frac{2f_H}{(n+1)} \leq f_s \leq \frac{2f_L}{n} \quad (2-1)$$

式中 n 取 f_L/B 的整数部分, 通常 f_s 取 $\frac{2(f_L + f_H)}{2n+1}$ 。

例如, 对载波 312~552 kHz 的信号按带通型抽样定理进行抽样。

$f_L = 312 \text{ kHz} > \frac{f_H}{2} = \frac{552}{2} = 276 \text{ kHz}$, 属于带通信号, $\frac{f_L}{B} = \frac{312}{552-312} = \frac{312}{240} = 1.3$, 所以 n 取 1, 则

$$552 \text{ kHz} = \frac{2 \times 552}{1+1} \leq f_s \leq \frac{2 \times 312}{1} = 624 \text{ kHz}$$

通常取 $f_s = \frac{2(312+552)}{2 \times 1 + 1} = 576 \text{ kHz}$

应当指出, 抽样频率 f_s 不是越高越好, f_s 太高时, 会增加单话路的速率, 将会降低信道的利用率。所以只要能满足抽样定理, 并有一定的频宽的防卫带就行了。

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com