

邮 电 中 等 专 业 学 校 教 材

数字通信原理

袁松青 苏建泉 编
倪维桢 审

-43

人民邮电出版社

85

邮电中等专业学校教材

数字通信原理

袁松青 苏建泉 编
倪维桢 审



A0965126

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书为邮电中专电信类专业基础课教材。全书共六章。内容包括:数字通信的基本概念、信源编译码技术、时分多路复用技术、数字通信网技术以及差错控制技术。本书全面系统地阐述了数字通信的基本原理和技术、语音信号编译码技术、30/32路PCM基群时分多路复用、高次群复接和数字信号传输原理,并针对现代通信技术的发展,介绍了SDH和ATM基本概念和特点、PCM通路测试及中继测试,较简要地阐述了数字通信与模拟通信的转换、网同步方式、数字调制综合业务数字网等数字网技术,最后简单介绍了差错控制原理。本书充分考虑中专学生的特点,语言通俗易懂;文中尽量避免繁琐的数学公式,从物理概念和实际应用出发,力求论证简明,条理清楚。在每章之后附有习题与思考题,供复习之用。

本书也适于通信专业的工程技术人员参考。

邮电中等专业学校教材

数字通信原理

◆ 编 袁松青 苏建泉
审 倪维楨

◆ 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@pptph.com.cn
网址 <http://www.pptph.com.cn>
读者热线 010-67129212 010-67129211(传真)
北京汉魂图文设计有限公司制作
河北涿水华艺印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/32
印张:10.125
字数:230千字 1996年5月第1版
印数:33 001~35 000册 2001年9月河北第6次印刷

ISBN 7-115-05822-9/TN·947

定价:15.00元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

前 言

随着邮电通信事业飞速发展,新技术、新理论、新装备日新月异,我司原组织编写的中专教材有些内容显得陈旧,难于适应新形势下教学的需要,为此我们对教学大纲进行了修订,并对原教材出版计划做了调整,重点突出了新技术方面的教材。今后将陆续出版。

教材是提高教学质量的关键。编写教材时力求以马列主义、毛泽东思想为指导,运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律,内容力求结合实际,提高学生的实践动手能力。

对于书中的缺点和错误之处,希望教师和同学们在使用过程中及时指出,以便修改提高。

邮电部教育司

1994年1月

编者的话

数字通信是 60、70 年代发展起来的一种先进通信技术,它具有抗干扰能力强、保密性能好,便于采用大规模集成电路,特别是便于与计算机相结合使整个通信网向智能化方面发展等优点,促使整个通信网的结构从模拟网向数字网方向过渡。这些优点在 70、80 年代新的传输介质——光纤使用后更为明显。显然,从事通信工程的相关技术人员必须系统地掌握数字通信的基本理论知识。

目前,通信技术的发展日新月异,数字通信领域也是如此,无论是在语声信号的编、译码方面,还是复用、传输、交换等方面都有新的技术不断涌现,如 ADPCM 编码技术、光同步传输网(即 SDH)技术,ATM 统计复用交换技术等等。本书是为了适应通信技术的这种发展趋势要求而编写的,在传统的 PCM 通信原理的基础上,广泛地介绍了数字通信领域中出现的新技术、新概念。在编写过程中力求做到通俗易懂、概念清楚,论证简明扼要,避免繁琐的数学推导,全书有系统性、完整性、实用性的特点,适合于邮电中专通信类专业学生使用。

本书第一、二、四章由袁松青编写,第三章由袁松青、苏建泉合编,第五、六章由苏建泉编写。

编者

1995 年 7 月

目 录

第一章 数字通信概述	1
第一节 数字通信系统的构成	1
一、信息与信号	1
二、数字信号与模拟信号	2
三、数字通信系统的模型	3
第二节 数字通信系统的主要性能指标	6
一、码元和比特	6
二、传输容量	7
三、传输差错率	8
第三节 数字通信的特点及发展概况	8
一、数字通信的特点	8
二、数字通信的发展概况.....	11
三、数字通信的发展趋势.....	12
思考题与习题	16
第二章 信源编码	17
第一节 语声信号的数字化方式	17
一、PCM 通信系统	18
二、DPCM 和 DM 通信系统	25
第二节 抽样	28
一、抽样定理.....	28
二、抽样与保持.....	34
三、分路与重建.....	38

第三节	量化	40
一、	均匀量化	41
二、	非均匀量化	46
第四节	编码和解码	58
一、	码字码型	58
二、	A 律 13 折线量化编码方案的码位安排	60
三、	线性码和非线性码的转换	65
四、	编码器	68
五、	解码器	78
第五节	单片 PCM 编译码器	85
一、	开关电容话路滤波器原理	86
二、	集成解码网络	89
三、	A 律压扩特性编译码电路原理	93
四、	典型的单路单片编译码器介绍	101
第六节	自适应脉冲编码调制和数字电路倍增	106
一、	最佳量化与自适应量化	107
二、	差值脉码调制 DPCM 的原理	110
三、	自适应差分脉码调制 ADPCM	115
四、	数字电路倍增(DCM)的概念	116
思考题与习题		117
第三章	时分复用与数字复接	120
第一节	30/32 路 PCM 基群帧结构	121
一、	时分多路复用	121
二、	帧结构的基本概念	123
三、	30/32 路 PCM 基群帧结构	123
四、	数码率的计算	127
第二节	30/32 路 PCM 基群终端机构成及其	

话路特性指标·····	127
一、30/32 路 PCM 基群端机构成·····	128
二、PCM 话路特性指标及其测试·····	133
第三节 30/32 路 PCM 基群端机中的定时	
与同步系统·····	142
一、定时系统·····	142
二、同步系统·····	153
第四节 数字复接的基本原理·····	159
一、PCM 复接系列·····	160
二、复接原理·····	161
三、数字复接的方法·····	162
四、复接方式·····	163
五、码速调整方式·····	164
第五节 二次群复接·····	165
一、二次群同步复接·····	166
二、二次群准同步复接·····	170
第六节 高次群帧结构·····	180
第七节 PCM 零次群·····	182
一、数据时分复用与集中器·····	183
二、数据时分复用方式·····	183
三、同步数据时分复用帧结构·····	184
第八节 同步数字体系(SDH)·····	189
一、概述·····	189
二、SDH 帧结构·····	192
三、同步复接原理·····	195
第九节 数字交叉连接·····	201
一、DXC 的基本原理·····	201

二、DXC 的应用	203
三、DXC 的功能	205
第十节 异步转移模式	206
一、ATM 的信元构成	207
二、ATM 的复用方式	208
思考题与习题	209
第四章 数字再生中继传输	212
第一节 基带传输码型和码型变换	213
一、对线路传输码型的要求	213
二、各种传输码型分析	215
三、AMI 和 HDB ₃ 码型变换电路	230
第二节 数字信号无码间干扰传输原则	234
一、带限传输对数字信号波形的影响	234
二、数字信号无码间干扰传输准则	237
三、数字信号基带传输系统模型	239
第三节 PCM 信号的再生中继传输	240
一、PCM 信号基带传输信道	240
二、再生中继器的功能	243
三、有理函数均衡	244
第四节 再生中继器电路实例	254
一、组成方框图	254
二、均衡放大电路	256
三、自动均衡放大	257
四、时钟提取	258
五、判决再生	261
六、集成化再生中继器	263
第五节 再生中继传输系统的质量指标及其测试	265

一、数字传输系统主要质量指标	265
二、误码率的指标与测量	270
思考题与习题	274
第五章 数字网技术	276
第一节 数字调制	276
一、幅度键控(ASK)	277
二、移频键控(FSK)	277
三、移相键控(PSK)	278
第二节 FDM 与 TDM 复用转换原理	280
一、音频话路转换方式	281
二、宽带群编码方式	281
三、复用转换(TMUX)方式	283
第三节 数字通信网的网同步原理	286
一、准同步方式	287
二、全网范围的脉冲塞入同步方式	288
三、主时钟同步方式	288
四、主从同步方式	288
五、相互同步方式	290
第四节 综合业务数字网(ISDN)	292
一、ISDN 的概念	293
二、用户/网络接口及接入参考配置	295
思考题与习题	299
第六章 差错控制编码	300
第一节 差错控制	300
一、概述	300
二、常用的差错控制方法	301
第二节 常用的差错控制编码	302

一、奇偶校验码	302
二、二维奇偶校验码	303
三、定比码	305
四、正反码	305
五、线性分组码	306
第三节 CRC 校验原理	307
一、概述	307
二、CRC-4 的实现方法	308
三、CRC-4 对误码的监测	310
四、CRC 对伪帧定位的监测	311
五、CRC 监测的优点及局限性	312
思考题与习题	313
参考文献	314

第一章 数字通信概述

通信的主要任务是传递信息。根据传递信息的信号种类不同,通信分为模拟通信和数字通信。本章将对数字通信的基本概念、数字通信系统的构成与特点、数字通信系统的主要性能指标及数字通信的发展作概括介绍。

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。人类社会的生存和发展离不开信息的交流,尤其是随着社会生产力的发展和科技的进步,现在人类社会已步入了信息社会,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,信息是指对受信者来说还不知道的、待传送、交换、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: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。

通信的含义很广泛,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对象的信号。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。

二、数字信号与模拟信号

任何电信号的波形都可以用幅度和时间两个参量来描述。根据信号的波形,可分为数字信号和模拟信号两大类。图 1-1-1 是数字信号的波形,图(a)是二进制码,每一个码元(由一个脉冲

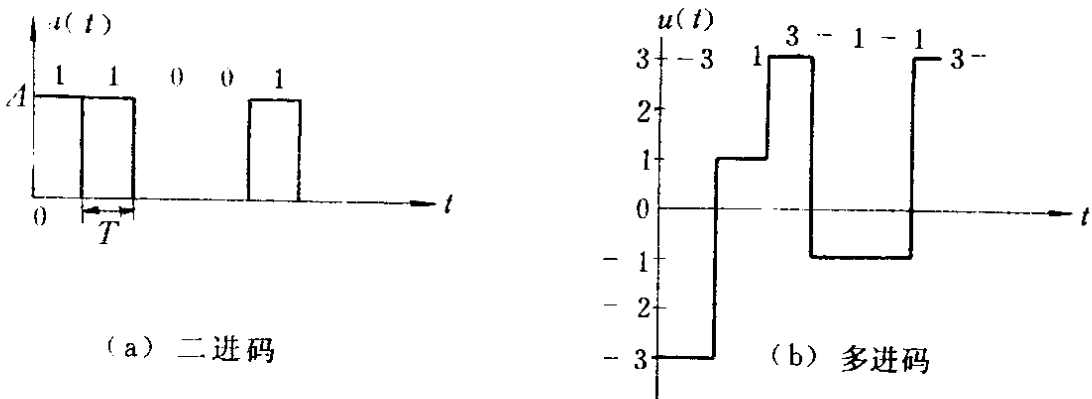


图 1-1-1 数字信号的波形

构成)只能取二个状态(0,1)之一;图(b)是多电平码,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 T 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。

和数字信号相反,如果信号的幅值是连续的而不是离散的,则称为模拟信号。例如电话的话音信号和传真、电视的图像信号都是模拟信号。图 1-1-2(a)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,因此它是模拟信号。图 1-1-2(b)所示的是图(a)的抽样信号,即图(a)所示的模拟信号通过一个抽样开关后的输出信号。该开关每隔 T_s 时间合上一次,合上时间为 τ 。在开关合上时原模拟信号输出,打开时无信号输出,这个过程称为抽样。经过抽样后的信号在时间上是离散的,但幅度取值仍然连续,所以图(b)所示的仍是模拟信号。抽样后的信号称样值信号,又叫脉冲幅度调制(PAM)信号。

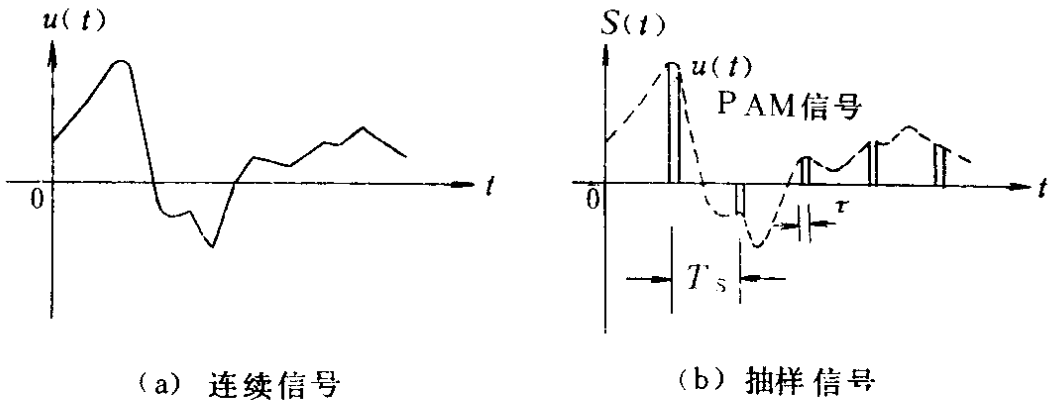


图 1-1-2 模拟信号的波形

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而定。一个信息,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,因用途不同而异。综合各种数字通信系统,可得图 1-1-3 所示的模型

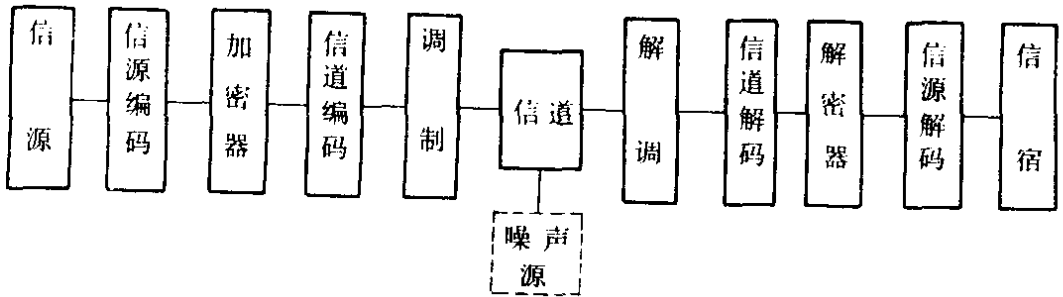


图 1-1-3 数字通信系统模型

图中,信源是把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。

信源编码的任务是把模拟信号变换成数字信号(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:一是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;二是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),以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。

有时为了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。

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,其它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一次调制,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 1-1-3 所示的全部方框。比如,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、解调器可去掉;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

通信系统的有效性和可靠性是通信技术发展过程中的一对矛盾。数字通信系统衡量这对矛盾的主要性能指标是传输容量和传输差错率。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,携带信息的数字单元称作码元。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。

比特是信息量的度量单位。信息量既然是指对受信者来说尚不知道的消息,那么某消息所包含的信息量同该消息的不确定性(即该消息发生的概率)是有关的。消息的不确定性越大,则其信息量越大。例如某一消息早已众所周知,则此消息已无意义,信息量应该为零;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

$$\text{信息量 } I = \log_2 \frac{1}{P}$$

其单位为比特(Binary digit,简写为bit)。那么1bit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