

/// 高等 学 校 通 信 教 材

Principles of Digital Communications

数字通信原理

李文海 毛京丽 石方文 编著

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

高等学校通信教材

数字通信原理

李文海 毛京丽 石方文 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理/李文海等编著.北京:人民邮电出版社.2001.6

高等学校通信教材

ISBN 7-115-09200-1

I. 数... II. 李... III. 数字通信—高等教育:教育—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 027736 号

内 容 提 要

本书较全面地讨论了与数字通信技术相关的模拟信号数字化及相应的数字信号传输的基本原理和概念。基本内容包括:由抽样、量化、编码等过程实现的 PCM 方式的基本原理,以及进一步压缩编码速率的 DPCM 及 ADPCM 的概念。为适应多媒体技术、现代移动通信技术及 IP 网络电话技术的发展及需要,本书还介绍了图像信号数字化以及低速率的语声编码技术,如子带编码及线性预测编码(LPC)等。

在数字信号传输方面论述了数字信号传输的基本理论,多路复用传输以及 PDH、SDH 等相关的数字信号传输技术原理。

本书是高等院校教学用书,也可作为通信工程技术人员的技术参考书。

高等学校通信教材

数字通信原理

-
- ◆ 编 著 李文海 毛京丽 石方文
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 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
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:357千字 2001年6月第1版
印数:9 001-12 000册 2001年7月北京第2次印刷

ISBN 7-115-09200-1/TN·1702

定价:22.00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

本书在内容取材和编写上具有以下几个特点。

(1) 在第二章语声信号数字化编码中,除较深入地讨论了目前广泛应用的脉冲编码技术外,还讨论了子带编码及参量编码等低比特率语声编码的概念及应用技术,以适应当前 GSM 移动通信系统及 IP 电话系统语声编码的需求。

(2) 为适应当前多媒体通信技术的发展,本书的第四章简要地论述了图像信号数字化的基本概念及数字图像编码的方法和相关国际标准。

(3) 为适应高速、大容量数字传输技术的发展,本书第五章着重论述了同步数字体系(SDH)的基本概念及相关问题。

本书共分六章。第一章、第二章由李文海编写,第三章、第四章由石方文编写,第五章、第六章由毛京丽编写。

本书在编写过程中除参阅了相关建议和标准文件之外,还参阅了刘颖等编写的《数字通信原理与技术》、糜正琨编写的《IP 网络电话技术》和曾甫泉等编写的《光同步传输网技术》等相关书籍。在此对以上作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者
2001 年 5 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 通信及通信系统构成	1
第二节 信息、信号及分类	2
第三节 模拟通信和数字通信	3
一、模拟通信	3
二、数字通信	3
三、数字信号的时分复用传输	4
第四节 数字通信特点及性能指标	5
一、数字通信的特点	5
二、数字通信系统的主要性能指标	7
小结	8
练习题	9
第二章 语声信号数字化编码	10
第一节 语声信号编码的基本概念及分类	10
一、语声信号编码的概念	10
二、语声信号编码的分类	11
第二节 脉冲编码调制——PCM	11
一、概述	11
二、抽样	12
三、量化	18
四、编码与解码	29
五、单片集成 PCM 编解码器	41
第三节 差值脉冲编码调制——DPCM	44
一、DPCM 原理及实现	44
二、自适应差值脉冲编码调制——ADPCM	46
三、32kbit/s ADPCM 系统	47
四、单片集成 ADPCM 编解码器	48
第四节 子带编码——SBC	51
一、子带编码的基本概念及工作原理	51
二、子带编码的比特分配及编码速率	52
三、子带的划分	53
四、16、24、32kbit/s 电话语声子带编码	53
第五节 参量编码	55

一、语声形成机理及语声信号分析	55
二、线性预测编码(LPC)的基本概念	57
三、线性预测合成分析编码	58
第六节 GSM 及 IP 电话系统语声编码技术的应用及标准	59
一、G.728 声码器	60
二、G.729 声码器	61
三、G.723.1 声码器	62
小结	63
练习题	64
第三章 时分多路复用及 PCM30/32 路系统	66
第一节 时分多路复用通信	66
一、时分多路复用的概念	66
二、PCM 时分多路通信系统的构成	67
三、时分多路复用系统中的位同步	68
四、时分多路复用系统中的帧同步	68
第二节 PCM30/32 路系统	72
一、PCM30/32 路系统帧结构	72
二、PCM30/32 路定时系统	74
三、PCM30/32 路帧同步系统	78
四、PCM30/32 路系统的构成	85
小结	86
练习题	87
第四章 图像信号数字化	88
第一节 图像信号及质量评价	88
一、景像、图像和数字图像	88
二、常用术语	90
三、图像质量评价概述	92
四、图像质量的主观评价	93
第二节 图像信号的数字化	95
一、概述	95
二、采样	97
三、量化	99
第三节 数字图像编码及几种常见的编码方法	101
一、图像压缩编码的必要性和可能性	101
二、图像压缩编码的分类和图像压缩编码的原理框图	103
三、数字图像编码的常用方法	105
第四节 数字图像压缩编码的主要国际标准	116
一、H.261 建议	116
二、H.263 建议	117

三、静止图像压缩编码技术标准 JPEG	118
四、MPEG-1 标准	118
五、MPEG-2 标准	119
六、MPEG-4(Video):用于多媒体信息中的视频描述标准	120
小结	121
练习题	122
第五章 准同步数字体系(PDH)和同步数字体系(SDH)	123
第一节 数字复接的基本概念	123
一、准同步数字体系(PDH)	123
二、PCM 复用和数字复接	124
三、数字复接的实现	125
四、数字复接的同步	126
五、数字复接的方法及系统构成	127
第二节 同步复接与异步复接	128
一、同步复接	128
二、异步复接	129
第三节 PCM 零次群和 PCM 高次群	136
一、PCM 零次群	136
二、PCM 子群	137
三、PCM 高次群	138
第四节 SDH 的基本概念	142
一、PDH 的弱点	142
二、SDH 的概念及特点	143
第五节 SDH 的速率与帧结构	146
一、网络节点接口	146
二、同步数字体系的速率	146
三、SDH 帧结构	147
四、段开销(SOH)字节	148
第六节 同步复用与映射方法	152
一、复用结构	152
二、映射	155
三、定位	161
四、复用	165
第七节 SDH 传送网	169
一、传送网的基本概念	169
二、SDH 传送网的物理拓扑	169
三、SDH 的自愈网	173
四、SDH 网络结构	179
五、SDH 的网同步	180

小结	183
练习题	185
第六章 数字信号的传输	186
第一节 数字信号基带传输的基本理论	186
一、数字信号波形与功率谱	186
二、基带传输系统的构成	187
三、数字信号传输的基本准则(无码间干扰的条件)	189
第二节 基带传输的线路码型	193
一、对基带传输码型的要求	193
二、常见的传输码型	194
三、传输码型的误码增殖	197
四、传输码型特性的分析比较	198
第三节 基带数字信号的再生中继传输	199
一、基带传输信道特性	199
二、再生中继系统	201
三、再生中继器	202
四、大规模集成电路再生中继器(CD22301)	208
第四节 再生中继传输性能的分析	210
一、信道噪声及干扰	211
二、误码率及误码率的累积	212
三、误码信噪比	215
四、相位抖动	215
第五节 数字信号的频带传输	216
一、数字调制的概念	217
二、数字信号的频带传输系统	217
小结	221
练习题	222
附录 《数字通信原理》教学大纲	224
参考文献	228

第一章 概 述

第一节 通信及通信系统构成

人类在生产和社会活动中总是伴随着信息的传递和交换,这种信息的传递和交换的过程称为通信。信息可以有多种表现形式,如语言、文字、数据、图像等。近代通信系统也是种类繁多、形式各异,但总的来说,无论是哪种通信系统,都是要完成从一地到另一地的信息传递或交换。在这样一个总的目的下可以把通信系统概括为一个统一的模型。这一模型包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源六个部分。模型框图如图 1.1 所示。其中噪声源为传输过程中引入的。

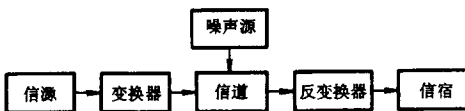


图 1.1 通信系统模型

模型中各部分功能如下:

(1) 信源

信源是指发出信息的信息源,或简单地说是信息的发出者。在人与人之间通信的情况下,信源是发出信息的人;在机器与机器之间通信的情况下,信源可以看作是发出信息的机器,如计算机或其它机器等。

(2) 变换器

变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号。如所熟知的电话通信系统的变换器是送话器,它的功能是把语声变换成电信号。当然,为了更有效、更可靠地传递信息,可能还需要更复杂或者功能更完善的变换和处理装置。

(3) 信道

信道是信号传输媒介的总称。不同的信源形式所对应的变换处理方式不同,与之对应的信道形式也是不同的。从大的类别来分,传输信道的类型有两种。一种是有线信道,如双绞线、电缆、同轴电缆、光纤等,一种是无无线信道,如可以传输电磁信号的自由空间。

(4) 反变换器

反变换器具有与变换器相反的逆变换功能。因为变换器的功能是把不同形式的信息变换和处理成适合于在信道上传输的信号。一般情况下这种信号是不能被信息接收者所直接接收的,所以,要利用反变换器把从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信息。

(5) 信宿

信宿是指信息传送的终点,也就是信息接收者。它可以是与信源相对应的,构成人——人

通信或机——机通信,也可以是和信源不一致的,构成人——机通信或机——人通信。

(6) 噪声源

噪声源并不是一个人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。在模型中的噪声源是以集中形式表示的,实际上这种干扰噪声可能在信源信息初始产生的周围环境中就混入了,也可能从构成变换器的电子设备中引入。另外,传输信道中以及接收端的各种设备中都可能引入干扰噪声。在模型中我们把发送、传输和接收端各部分的干扰噪声集中地由一个噪声源来表示。

第二节 信息、信号及分类

前面讨论通信系统模型时曾指出,通信的目的就是传递或交换信息。但什么是信息呢?近几年来信息这一词显得特别时髦,如信息社会、信息时代、信息科学、信息技术等比比皆是。但从信息论的观点又很难为信息一词下一个很确切而又一目了然的定义。

与通信结合较紧密的一个定义是美国的一位数学家,信息论的主要奠基人仙农(C. E. Shannon)提出的。他把信息定义为“用来消除不定性的东西”。通信的过程就是传递“用来消除不定性的东西”。如果排除干扰和传输差错的因素,通信的结果就可使信息接收者知道了某一确定的内容,就是消除了不定性。也就是说,一个通信过程的实现就可使接收者收到一定的信息。

信息是由信源发出的,它具有某种信源对应的特征形式及属性。在实际通信中最常见的信源信息形式有语声、文字、数据和图像等。信源的信息形式不同就要求有不同的通信系统与之对应,从而形成了多种多样的通信系统。比如,对于输出信息形式为语声的信源,构成的就是电话通信系统;如果信息形式是图像,则构成图像通信系统,等等,还有其它很多种对应于不同信息形式的通信系统。

语声、图像和文字等都是表示信息的一种形式。对于通信系统特别是电信系统,信源发出的信息要经过适当的变换和处理,使之变成适合在信道上传输的信号才可以传输。所以说,信号是用来携带信息的载体。信号应具有某种可以感知的物理参量——如电压、电流及光波强度和频率等。信号是以数学的方法描述和表达实际通信系统中信息的形式,通常称为语声信号、图像信号、数据信号等。

根据信号物理参量基本特征的不同,信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

模拟信号:模拟信号的特点是信号强度(如电压或电流)的取值随时间连续变化。模拟信号的一般表示如图 1.2 所示。由于模拟信号的强度是随时间连续变化的,所以模拟信号也称为连续信号。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。举例来说,在 1V - 2V 的取值范围内,可以取 1.1V、1.11V、1.111V 等无限多个数值。所以说,模拟信号可以有无限多个量的强度取值。



图 1.2 模拟信号示例

数字信号:与模拟信号相反,数字信号强度参量的取值是离散变化的,其示例如图 1.3 所示。数字信号又叫离散信号,离散的含义是其强度的取值是有限个数值。图 1.3(a)所示是二

进制数字信号,所谓二进制就是只有两种取值的可能性,通常用0、1表示。当然,也可以有多进制数字信号,如四进制、八进制等。图1.3(b)所示的就是四进制数字信号。四进制数字信号是只有四种可能取值的离散信号,如图所示,四种取值是0、1、2、3。

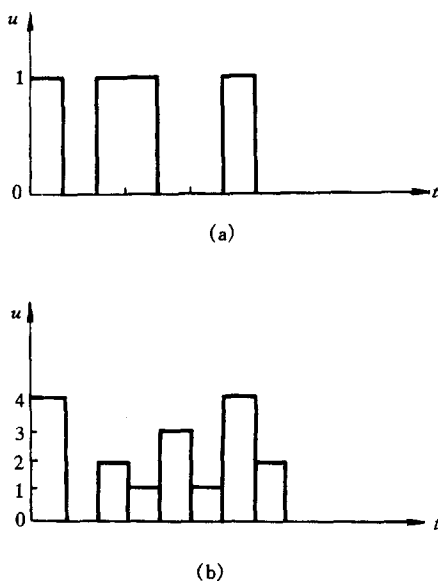


图 1.3 数字信号示例

模拟信号与数字信号形式不同,物理特性也不相同,所以对传输通路的要求以及对信号传输过程的处理方式也是不同的。

第三节 模拟通信和数字通信

按其在传输信道中所传输信号的类别的不同,通信系统可分为模拟通信和数字通信两大类。

一、模拟通信

信源所发出的信息经变换器变换和处理后,送往信道上传输的是模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的一般构成模型如图1.4所示。图中的调制器和解调器是变换器和反变换器的一部分,其主要作用是延长传输距离或是实现多路复用。我们所熟知的早期电话通信系统,如图1.5所示,就是模拟通信系统的实例。

二、数字通信

与模拟通信相对应,信源所发出的信息经变换和处理后,送往信道上传输的是数字信号的通信系统称为数字通信系统。语音信号的数字通信系统构成如图1.6所示。在发送端声/电变换设备将语音变换为模拟电信号,模/数变换设备将模拟电信号变换成数字信号,数字信号通常是采用二进制信号形式送至信道传输。在接收端,数字信号再经数/模变换和电/声变换

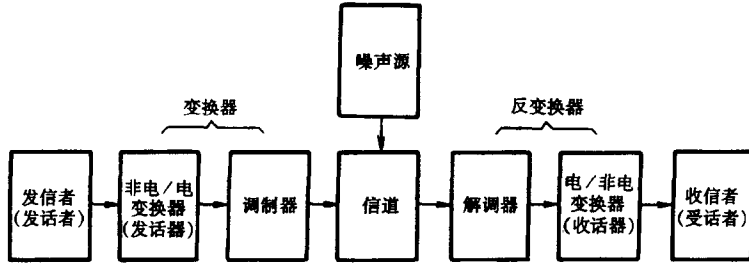


图 1.4 模拟通信系统模型



图 1.5 模拟通信系统实例

还原成声音,送给接收者。

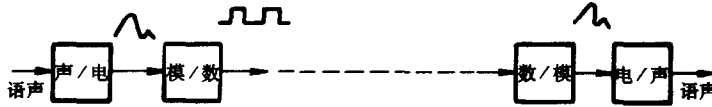


图 1.6 语音数字通信系统示意图

三、数字信号的时分复用传输

前述讨论中,依据信号幅度取值的连续特性和离散特性将信号分为模拟信号和数字信号。另外,根据信号的时间域特性又可将信号分为时间连续信号和时间离散信号两类。图 1.7 所示的是时间连续信号,图 1.7(a)是模拟信号的时间连续信号;图 1.7(b)是数字信号的时间连续信号。图 1.8 是时间离散信号示例,图 1.8(a)是模拟信号的时间离散信号,图 1.8(b)是数字信号的时间离散信号。

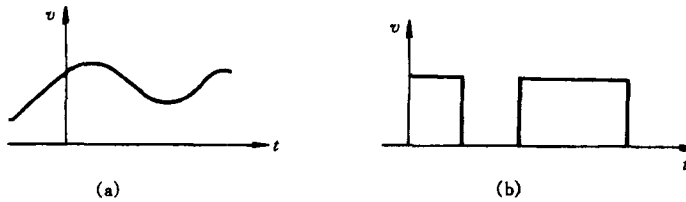


图 1.7 时间连续信号示例

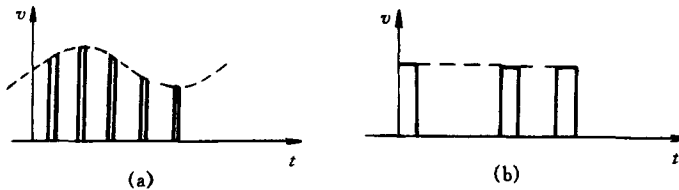


图 1.8 时间离散信号示例

多路信号互不干扰地沿同一条信道传输称为多路复用。多路复用是提高传输信道利用率的主要方法。多路复用的方法主要有频分多路复用和时分多路复用。频分多路复用的方法主要用于模拟通信,时分多路复用的方法主要用于数字通信。

时分多路复用利用了信号的时间离散性,也就是使各路信号在不同的时间占用信道进行传输,在接收端由不同的时间取出对应的信号。具体来说,把时间分成均匀的时间间隔,将各路信号的传输时间分配在不同的时间间隔内,达到各路互相分开的目的,如图 1.9 所示。

时分复用的电路结构示意图如图 1.10 所示。图中 SA_1 和 SA_2 为电子转换开关,它们在同步系统的控制下以同起点、同速度顺序同步旋转,以保证收、发两端同步工作。在发端,开关 SA_1 的旋转接点接于某路信源时,就相当于取出某路信源信号的离散时间的幅度数值。旋转接点按顺序旋转,就相当于按顺序取出各路信源信号在离散时间的幅度数值并合成,然后经模/数变换电路变为数字信号,再与同步信号合成即可送给信道传输。在接收端,首先分出同步信号,再进行数/模变换后即可由旋转开关 SA_2 分别送给相应的信息接收者。

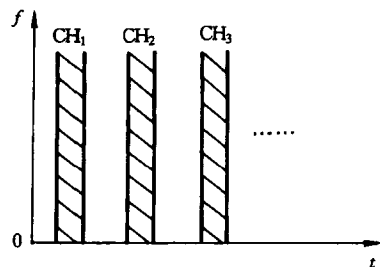


图 1.9 时分复用示意图

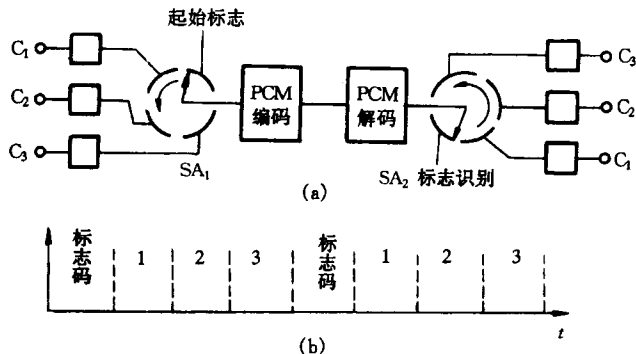


图 1.10 时分多路复用电路结构示意图

第四节 数字通信特点及性能指标

一、数字通信的特点

1. 抗干扰能力强,无噪声积累

在模拟通信中,为保证接收信号有一定的幅度,需要及时将传输信号放大,但与此同时叠加于信号上的噪声也被放大,如图 1.11(a)所示。由于模拟信号的幅度值是连续的,就很难把与信号处于同一频带内的噪声分开。随着传输距离的增加,噪声积累越来越大,将使传输质量严重恶化。

在数字通信中,由于数字信号的幅度值为有限个数的离散值(通常取两个幅值),在传输过程中受到噪声干扰虽然也要叠加噪声,但当信噪比还没有恶化到一定程度时,即在适当的距

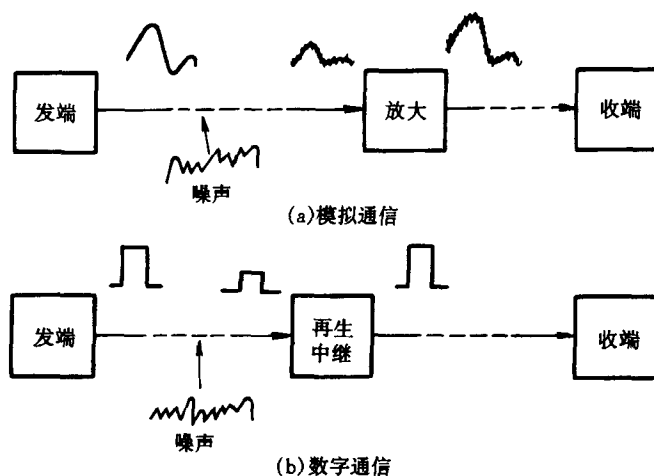


图 1.11 两类通信方式抗干扰性能比较

离,采用再生的方法即可消除噪声干扰,将信号再生成原发送的信号,如图 1.11(b)所示。因此,数字通信方式可做到无噪声积累,故可实现长距离、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受到重视,数字通信的加密处理比模拟通信更容易实现。以语声数字通信为例,经过数字变换后的信号就可以用简单的数字逻辑运算进行加密处理,如图 1.12 所示,图中 C 为加密密码。如传输过程不产生差错,则解密输出的 Y_2 应与发送端送入加密电路的 Y_1 完全相同。

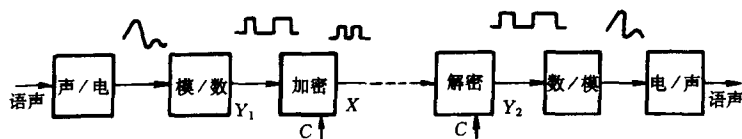


图 1.12 数字通信加密方法示意

3. 利于采用时分复用实现多路通信

数字信号本身可以很容易用离散时间信号表示,在两个离散时间之间可以插入多路离散时间信号以实现时分多路复用。

4. 设备便于集成化、小型化

由于数字通信系统中大部分电路都是由数字电路来实现的,微电子技术的发展可使数字通信便于用大规模和超大规模集成电路来实现。

5. 占用频带宽

一路数字电话频带一般为 64kHz,而一路模拟电话所占频带仅为 4kHz,前者是后者的 16 倍。然而随着信道带宽很宽的数字微波、卫星和光纤通信等系统的利用,以及数字频带压缩技术的发展,数字通信占用频带宽的问题正逐步缩小。

二、数字通信系统的主要性能指标

各种通信系统有各自的技术性能指标,并互不相同。但衡量任何通信系统的优劣都是以有效性和可靠性为基础的,数字通信系统也不例外,它也有表示有效性和可靠性的指标。

1. 有效性指标

(1) 信息传输速率

信道的传输速率是以每秒钟所传输的信息量来衡量的。信息量是消息多少的一种度量。消息的不确定性程度愈大,则其信息量愈大。

信息论中已定义信源发出信息量的度量单位是“比特”,对于随机二进制序列,当“1”码和“0”码出现的概率相等,并前后相应独立,这时的一个二进制码元(一个“1”或者一个“0”)所含的信息量就是一个“比特”。所以,信息传输速率的单位是比特/秒,或写成 bit/s。

(2) 符号传输速率

符号传输速率也叫码元速率。它是指单位时间内所传输码元的数目,其单位为“波特”(Bd)。这里的码元可以是多进制的,也可以是二进制的。符号传输速率和信息传输速率是可以换算的。1 波特 = 1 码元/秒,对信息传输速率,则必须将码元折合为相应的二进制码元数来计算。如图 1.3(b)所示的四进制码元是以 4 种不同的电平来区分符号状态的,每一个码元可以代表两个二进制码元,如表 1.1 所示。

表 1.1 四进制码元与二进制码元的对应关系

四进制	二进制
0	00
1	01
2	10
3	11

按表 1.1 的关系,多进制的进制数与等效对应的二进制码元数的关系为:

$$M = 2^n \quad (1.1)$$

式中, M 是进制数; n 是二进制码元数。因此,信息传输速率与符号传输速率的关系是

$$R_b = N_B \cdot \log_2 M \quad (1.2)$$

式中, R_b 为信息传输速率(bit/s);

N_B 为符号传输速率(码元/秒或波特);

M 为码元(或符号)的进制数。

(3) 频带利用率

频带利用率是指单位频带内的传输速率。在比较不同通信系统的传输效率时,单看它们的传输速率是不够的,还应看在这样的传输速率下所占的频带宽度。通信系统占用的频带愈宽,传输信息的能力应该愈大。所以,用来衡量数字通信系统传输效率(有效性)的指标应当是单位频带内的传输速率。

$$\text{即} \quad \eta = \frac{\text{符号传输速率}}{\text{频带宽度}} (\text{Bd/Hz}) \quad (1.3)$$

$$\text{或} \quad \eta = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{频带宽度}} (\text{bit/s/Hz}) \quad (1.4)$$

2. 可靠性指标

衡量数字通信系统可靠性的主要指标是误码率和信号抖动。

(1) 误码率

在传输过程中发生误码的码元个数与传输的总码元数之比,通常以 P_e 来表示,

$$P_e = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\text{发生误码个数 } n}{\text{传输总码数 } N} \quad (1.5)$$

误码率 P_e 是多次统计结果的平均量,所以这里指的是平均误码率。

误码率的大小由传输系统特性、信道质量及系统噪声等因素决定,如果传输系统特性、信道质量都很好,并且噪声较小,则系统误码率就较低;反之,系统的误码率就较高。这里讲的误码是指在一个再生中继段传输过程中,前一个站的输出与下一个站判决再生输出相比而言的一个中继段的误码,即指的是一个站的误码。在一个传输链路中,经多次再生中继后的总误码率是以一定方式累积的,在传输的终点以累积的结果作为总的误码率。

ITU-T(原为 CCITT)建议国际综合业务数字网(ISDN)连接的误码性能指标是:按秒计算误码率大于 10^{-3} ,所占的时间比例少于 0.2%;按分计算误码率大于 10^{-6} ,所占的比例应少于 10%。

(2) 信号抖动

在数字通信系统中,信号抖动是指数字信号相对于标准位置的随机偏移,其示意图如图 1.13 所示。数字信号位置的随机偏移,即信号抖动的定量值的表示也是统计平均值,它同样与传输系统特性、信道质量及噪声等有关。同样,多中继段链路传输时,信号抖动也具有累积效应。

从可靠性角度而言,误码率和信号抖动都直接反映了通信质量。如对语声信号数字化传输,误码和抖动都会对数/模变换后的语声质量产生直接影响。

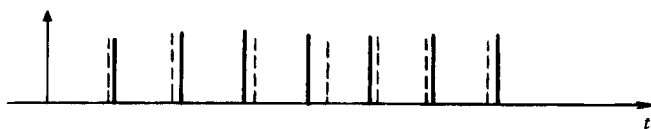


图 1.13 信号抖动示意图

小 结

(1) 通信系统由信源、变换器、信道、反变换器及信宿等部分构成。另外通信系统中还存有噪声,噪声源并不是人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。

(2) 数字信号与模拟信号的主要区别在于幅度的取值是离散的还是连续的。幅度取值为离散的称为数字信号,幅度取值为连续的称为模拟信号。

(3) 信源发出的信息经变换和处理后,送往信道上传输的信号是数字信号的通信系统就称为数字通信系统。

(4) 时分多路复用利用了信号的时间离散性,也就是使各路信号在不同的时间占用信道进行传输,在接收端在不同的时间取出对应的信号。

(5) 数字通信方式与模拟通信方式相比,其最主要的优点是抗干扰性强,无噪声积累。

(6) 衡量数字通信系统有效性指标主要是信息传输速率、符号传输速率和频带利用率。衡量数字通信系统可靠性的指标主要是误码率和信号抖动。

练 习 题

- (1) 模拟信号与数字信号各自的主要特点是什么?
- (2) 画出语声数字通信系统构成示意图并说明各构成部分的主要功能。
- (3) 画出时分多路复用的示意图并说明其工作原理。
- (4) 试述数字通信的主要特点。
- (5) 简单说明数字通信系统有效性指标,可靠性指标各是什么?