



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数字通信技术

(通信技术专业)

主编 林理明



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数字通信技术

(通信技术专业)

主 编 林理明
责任主审 刘蕴陶
审 稿 李文海 毛京丽



A0977286

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材,根据 2001 年教育部颁布的中等职业学校重点建设专业(通信技术专业)教学指导方案编写。

本书共分为 10 章,主要包括了数字通信基本原理(1~5 章)和数字通信技术应用(6~10 章)两大部分。主要内容有:数字通信概述、数字终端技术、差错控制编码、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、GSM 数字移动通信系统、卫星通信系统、光纤通信系统、数据通信及相关实验。

本书供中等职业学校通信技术专业、电子信息类专业使用,也可作为相关专业的职业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信技术/林理明主编. —北京:高等教育出版社, 2002.8

中职教材

ISBN 7-04-010875-5

I. 数… II. 林… III. 数字通信-通信技术-专业学校-教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 043126 号

数字通信技术

林理明 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.5
字 数 240 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 12.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前言

本书根据教育部颁发的中等职业学校“数字通信技术教学基本要求”编写,内容覆盖了教学基本要求的全部课程目标,供全国中等职业学校通信技术专业、电子信息类专业使用。

本书根据中等职业教育的特点,以掌握数字通信的基本概念(知识点),提高通信技术的综合能力(能力点)这两条基本主线为出发点。精选内容,降低难度,增加广度,同时有选择地介绍数字通信的新技术、新器件。通过本书的学习,能使学生在规定的学时内,掌握数字通信的基本原理,对各种数字通信技术有一个总体的了解。在编写本教材的时候力图突出以下特点。

(1) 突出课程的基本内容。本教材的基本内容以 PCM 通信系统为主线,较为全面地介绍 PCM 通信系统的各个组成部分(信源编码、信道编码、差错控制、数字信号的传输)。使学生掌握本课程的基本概念、基本知识。并且通过实验,掌握数字通信的基本技能。

(2) 本书力图体现当前数字通信技术中的新知识、新器件、新工艺、新技术的应用,每种原理电路都有与之相对应的集成块介绍。例如:PCM、ADPCM 编译码器选用较新的集成电路;增加现代数字调制技术一节,介绍目前数字通信中常用的 QAM、MPSK、GMSK 等数字调制技术等;增加光纤通信、移动通信、计算机网络和数据通信协议等内容。

(3) 全书的内容以定性介绍为主,避免繁琐的理论分析。用较少的篇幅、简单的语言来阐明相关知识。读者会发现,你基本不看其它的参考书籍就能看懂书中的绝大部分内容。因此本书适于学生自学。

(4) 在每章的首页,拟出教学基本要求;每章结束,进行小结;相应的章节后边,安排实验,这样可方便学生掌握教学目标以及对所学内容的小结。比较重要的关键词和概念用黑体字划出,以提高学生学习知识和掌握基本技能的效率。

(5) 全书采用模块式结构,分成基础模块(数字通信基本原理)、选用模块(各类数字通信系统)以及实践教学模块(本教材安排的实验)。选用模块用“*”表示,各校可根据具体情况,灵活选用。

本书的总学时为 64 学时,课时分配建议如下表:

章号	课程内容	学时数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
1	数字通信概述	2	2		
2	数字终端技术	12	6	4	2
3	差错控制编码	6	6		
4	数字信号的基带传输	8	4	2	2
5	数字信号的频带传输	14	8	4	2

续表

章号	课程内容	学时数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
6	GSM 数字移动通信系统	8	6	2	
7	卫星通信	4	4		
8	光纤通信	6	6		
9	数据通信	4	4		
	总计	64	46	12	6

本书由广东省电子技术学校林理明主编。林金山老师编写了第6章、第9章以及实验部分,其余全部由林理明编写并负责全书的统稿工作。在送教育部审查以前,高等教育出版社聘请了华南理工大学电信学院朱桑权副教授审阅了全书,提出了许多宝贵意见,广东省电子技术学校的行政领导对本书的编写工作也非常支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有缺点和不妥之处,诚恳希望广大读者批评指正。

编者

2001年11月28日于广州

目 录

第1章 数字通信概述	1	3.1 概述	32
1.1 通信系统的组成	1	3.1.1 差错类型	32
1.2 数字通信系统	2	3.1.2 差错控制方式	33
1.2.1 数字通信系统模型	2	3.1.3 纠错编码的基本原理	33
1.2.2 数字通信系统的主要性能指标	3	3.2 简单的纠、检错编码	35
1.2.3 数字通信的特点	4	3.2.1 奇偶校验码	35
1.3 通信技术的现状和发展趋势	5	3.2.2 行列校验码	35
1.3.1 电缆通信	5	3.2.3 恒比码	36
1.3.2 光纤通信	5	3.3 常用的纠错编码	37
1.3.3 卫星通信	5	3.3.1 线性分组码	37
1.3.4 移动通信	5	3.3.2 循环码	38
1.3.5 微波中继通信	6	3.3.3 卷积码	41
本章小结	6	3.3.4 码元交织	44
思考题与习题	6	本章小结	44
第2章 数字终端技术	7	思考题与习题	45
2.1 概述	7	第4章 数字信号的基带传输	47
2.2 脉冲编码调制(PCM)	8	4.1 基带传输系统的组成	47
2.2.1 取样	8	4.2 数字基带信号	48
2.2.2 量化	9	4.2.1 数字基带信号传输码型的要求	48
2.2.3 编码	12	4.2.2 简单传输码	48
2.2.4 解码	16	4.2.3 常用的基带传输码型	50
2.2.5 实用 PCM 编、解码器集成块	17	4.3 基带传输的基本原理	53
2.3 自适应差值脉码调制 ADPCM	19	4.3.1 数字信号的波形和频谱	53
2.3.1 差值脉码调制 DPCM 的原理	19	4.3.2 信道限带传输对信号波形的影响	54
2.3.2 自适应差值脉码调制(ADPCM)	20	4.3.3 数字信号传输的基本准则	55
2.3.3 增量调制(ΔM)	23	4.3.4 眼图	57
2.4 时分多路复用通信	23	4.4 再生中继传输	59
2.4.1 多路复用的基本概念	23	4.4.1 再生中继传输的作用	59
2.4.2 30/32 路时分复用 PCM 系统	25	4.4.2 再生中继系统	59
2.4.3 数字复接技术	27	4.4.3 再生中继器	60
本章小结	30	本章小结	63
思考题与习题	31	思考题与习题	63
第3章 差错控制编码	32	第5章 数字信号的频带传输	65

5.1 概述	65	6.4 GSM 手机的电路结构	94
5.1.1 频带传输系统组成	65	本章小结	96
5.1.2 数字调制的三种基本形式	65	思考题与习题	96
5.2 振幅键控调制(ASK)	66	第7章 卫星通信系统	97
5.2.1 振幅键控信号的产生	66	7.1 概述	97
5.2.2 振幅键控信号的解调	67	7.1.1 卫星通信系统的组成	97
5.3 移频键控调制(FSK)	68	7.1.2 卫星通信的工作频率和特点	99
5.3.1 FSK 信号的产生	68	7.1.3 卫星通信的多址连接方式	100
5.3.2 FSK 信号的解调	69	7.2 通信卫星的组成	102
5.4 移相键控调制(PSK)	71	7.2.1 控制系统	102
5.4.1 基本概念	71	7.2.2 天线系统	103
5.4.2 相对调相(DPSK)信号的产生与 解调	72	7.2.3 通信系统	103
5.5 常用改进型数字调制技术	74	7.2.4 遥测指令系统	103
5.5.1 正交振幅调制(QAM)	74	7.2.5 电源系统	104
5.5.2 多相移相键控调制(MPSK)	75	7.2.6 温控系统	104
5.5.3 最小移频键控调制 MSK 与 GMSK	78	7.3 卫星地面站的组成	104
5.5.4 调制解调器(MODEM)的应用	82	7.3.1 天线馈电系统	105
5.6 同步技术概念	84	7.3.2 地面站发射系统的组成	106
本章小结	84	7.3.3 地面站接收系统的组成	106
思考题与习题	85	7.4 卫星通信应用举例	107
第6章 GSM 数字移动通信系统	86	7.4.1 小天线地面站的 VSAT 系统	107
6.1 GSM 蜂窝移动通信系统的组成	86	7.4.2 低轨道卫星移动通信系统	107
6.1.1 GSM 系统的主要特征	86	本章小结	108
6.1.2 GSM 系统的组成	86	思考题与习题	109
6.1.3 双频 GSM 工作频段	88	第8章 光纤通信系统	110
6.2 GSM 数字移动通信的主要技术	89	8.1 概述	110
6.2.1 多址技术	89	8.1.1 光纤通信的特点和发展趋势	110
6.2.2 调制技术	89	8.1.2 光纤通信系统的组成	111
6.2.3 编码技术	89	8.2 光纤和光缆	112
6.2.4 交织技术	90	8.2.1 结构与分类	112
6.2.5 跳频技术	91	8.2.2 光纤的损耗	113
6.2.6 均衡技术	91	8.2.3 光纤的连接	114
6.3 GSM 数字移动通信系统的运行	91	8.3 光纤通信终端设备	116
6.3.1 GSM 系统的工作信道	91	8.3.1 光发射机	116
6.3.2 GSM 系统与 GSM 手机的工作 过程	93	8.3.2 光接收机	118
		8.3.3 波分复用技术(WDM)	120
		8.3.4 光中继器	120
		本章小结	122

思考题与习题	122	9.2.2 数据交换方式	133
第 9 章 数据通信	123	9.2.3 数据通信网	134
9.1 计算机网络概述	123	本章小结	136
9.1.1 计算机网络的概念	123	思考题与习题	136
9.1.2 计算机网络的组成	123	第 10 章 实验模块	137
9.1.3 计算机网络的分类	123	10.1 脉冲编码调制(PCM)实验	137
9.1.4 网络的结构	124	10.2 增量调制(ΔM)实验	141
9.1.5 计算机网络体系结构	127	10.3 HDB ₃ 码型变换实验	145
9.1.6 IPv6	130	10.4 移频键控(2FSK)系统的实验	148
9.2 数据通信	131	10.5 差分相位键控(2DPSK)系统 的实验	152
9.2.1 信道技术	131		

第1章 数字通信概述

教学基本要求

理解:数字通信系统的组成及各组成部分的作用,建立完整的数字通信系统概念。

了解:通信系统模型及分类,数字通信的优缺点及性能指标。常用的几种通信方式的现状和发展趋势。

在人类活动中,信息的交流和传递称为通信。现代通信主要是指电通信,用电信号来传递声音、图像、数据等。随着科学技术的进步,特别是计算机技术应用到通信方面,电通信得到迅猛的发展。在世界上通信行业并列于能源、交通、钢铁、农业成为第五大行业,伴随着建设信息高速公路的热潮,包括通信在内的信息技术服务行业,越来越受到人们的重视,成为现代信息社会的一个重要标志。

1.1 通信系统的组成

传递信号所需的全部技术设备称为通信系统,通信系统模型如图 1.1 所示。

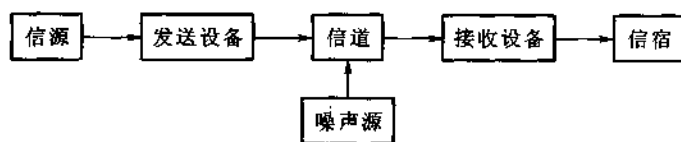


图 1.1 通信系统模型

可以看出,通信系统由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿五部分组成。

信源是要传输的原始电信号。这个信号称为基带信号。

发送设备将信源产生的信号变换为适于信道传输的信号。变换方式多种多样,正弦调制是常见的变换方式。经正弦调制后的信号称为频带信号。

信道是信号传输媒介的总称,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;一种是无线信道,如可以传输电磁信号的自由空间。

接收设备的任务是把接收到的信号进行反变换,从存在干扰的信号中正确无误地恢复出原基带信号。

信宿是信息传送的终点,与信源相对应。

通信系统的分类方法很多。按传递消息的媒质不同,可以将通信系统分成两大类:一类是用导线作为传输媒质来传递消息,这类通信系统称为有线通信;另一类是通过电磁波在自由空间传播,如中、长、短波通信,微波通信,这类通信系统称为无线通信。

按传输信号的特征不同,又可以将通信系统分成两大类:一类是模拟通信系统,在这种系统中传输的信号是模拟信号,信号的状态是连续变化的;另一类是数字通信系统,在这种系统中传输的信号是数字信号,信号的状态是离散的。本书主要讨论的是数字通信系统。

1.2 数字通信系统

1.2.1 数字通信系统模型

数字通信系统模型如图 1.2 所示。图中信源把原始消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、摄像机输出的视频模拟信号等。下面分别介绍数字通信系统模型中各个方框应完成的任务和所起的作用。

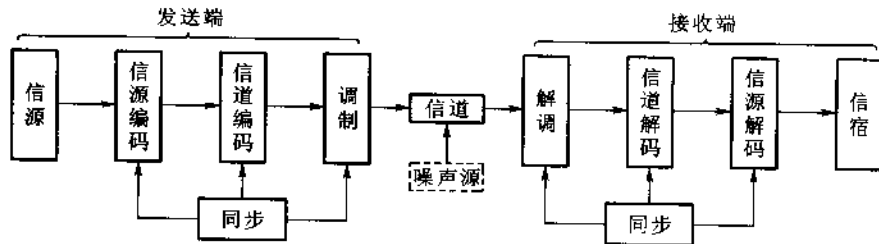


图 1.2 数字通信系统模型

1. 信源编码

信源编码的主要任务有两个:一是将信源送出的模拟信号数字化,即对连续信息进行模拟/数字(A/D)转换,用一定的数字脉冲组合来表示信号的一定幅度。通常将这种过程称为脉冲编码调制(PCM),简称为编码。二是提高信号传输的有效性。也就是说,在保证一定传输质量的情况下,用尽可能少的数字脉冲来表示信源产生的信息,故信源编码也称作频带压缩编码或数据压缩编码。需要说明的是,压缩编码的方式并不是每个数字通信系统均需进行的,视情况需要而采用。

2. 信道编码

信道编码主要解决数字通信的可靠性问题,故又称作抗干扰编码或纠错编码。数字信号在信道中传输,不可避免地会受到噪声干扰,并有可能导致接收信号的错误判断,产生错码。信道编码就是为了减少这种错误判断出现的概率而引入的编码。具体来说就是将信源编码输出的数字信号,人为地按一定规律加入一些多余数字代码,形成新的数字信号,接收端按约定好的规律进行检错和纠错,以达到在接收端可以发现和纠正错误的目的。

3. 数字调制

编码器输出的信号是数字基带信号(即编码脉冲序列),若将基带信号直接送至信道中去传输,称这种传输方式为基带传输。基带传输必须使用有线信道,且传输距离有限。为了进行远距离传输,需要借助高频振荡信号(称为载波)来运载。将数字基带信号调制到高频信号上的过程称为数字调制,利用调制技术来传输数字信号的方式称为频带传输。它的主要功能是提高信号

在信道上的传输效率,达到信号远距离传输的目的。根据用数字信号控制高频信号的参数不同,数字调制可分为数字调幅(又称振幅键控 ASK)、数字调频(移频键控 FSK)和数字调相(移相键控 PSK)。

4. 同步

同步系统是数字通信系统的重要组成部分。所谓同步,是指通信系统的收、发双方具有统一的时间标准,使它们的工作“步调一致。”同步通常包括有载波同步、位(码元)同步和群(帧)同步等。同步对于数字通信是至关重要的。如果同步存在误差或失去同步,则通信过程中就会出现大量的误码,导致整个通信系统失效。可见同步问题是数字通信中一个重要的实际问题。

接收端的解调、信道解码、信源解码的功能与发送端相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。

实际的数字通信系统方框图与图 1.2 可能不同。例如:如果信源是数字信息,则无需信源编码,直接构成数据通信系统;如果通信距离不远,且容量不大,信道一般采用电缆,即采用基带传输方式,这样就不需要调制和解调部分;如果对抗干扰性能要求不高,数字通信系统同样可以不需要信道编码和信道解码部分。

本书将围绕图 1.2 数字通信系统模型中的各个方框介绍数字通信原理,第二章介绍信源编码(数字终端技术),第 3 章介绍信道编码(差错控制编码),第四章介绍数字信号的基带传输,第五章介绍数字信号的调制与解调技术(数字信号的频带传输)。通过这些内容的学习,能达到基本掌握数字通信基本原理的目的。

1.2.2 数字通信系统的主要性能指标

衡量数字通信系统的指标有许多,如果仅从信息传输的角度来讨论数字通信的质量指标,则常用的指标主要有信息传输速率、频带利用率、误码率。

1. 信息传输速率

信道的传输效率通常是以每秒所传输的信息量多少来衡量。信息传输速率是指每秒传送的信息量。信息量的度量单位是“比特”(b),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”,所以信息传输速率的单位是比特/秒(b/s)。例如有一数字通信系统,它每秒传输 600 个二进制码元,它的信息传输速率是 600 b/s。

2. 频带利用率

在比较不同数字通信系统的效率时,单看它们的信息传输速率是不够的,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:

$$\eta = \frac{\text{信息传输速率}}{\text{频带宽度}} (\text{b/s}^{-1} \cdot \text{Hz}) \quad (1.1)$$

3. 误码率

在数字通信系统中(尤其是在信道中)存在噪声干扰,接收到的数字码元可能会发生错误使通信的可靠性受到影响。对于数字通信系统的可靠性指标主要用误码率 P_e 来衡量,误码率的定义是接收端收到的错误码元数在发送端发出的总码元数中所占的比例。

$$\text{误码率 } P_e = \frac{\text{接收端的错误码元}}{\text{发送端总的码元}} \quad (1.2)$$

1.2.3 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,为了提高信噪比,需要及时对传输信号进行放大,但与此同时,串扰进来的噪声也被放大,如图 1.3(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。

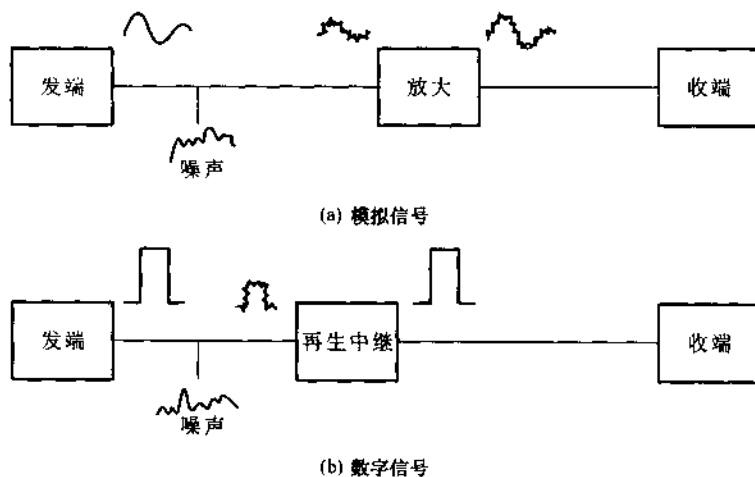


图 1.3 两类通信方式抗干扰性能比较

数字通信中,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,可以再生成已消除噪声干扰的原发送信号,如图 1.3(b) 所示。由于无噪声积累,可实现长距离、高质量的传输。

2. 保密性能好

由于数字信号是将模拟信号变成“0”和“1”码,再经不同组合后才进行传输的,因而无法直接识别,具有固有的保密性。同时数字通信可以很容易地将复杂密码进行编码和解码,所以数字通信可以实现模拟通信无法达到的高质量保密性。

3. 便于组成现代化数字通信网,便于实现多媒体通信

由于各种信息(声音、图像、数据等)都可变换成统一的二进制数字信号,通过多路复用组合在一起,经同一信道传输而不互相干扰,故数字通信可以将各种业务和不同的终端用户组合在一个系统,形成综合业务数字网(ISDN——Integrated Services Digital Network)。综合业务数字网(ISDN)能实现双重任务:一是各种通信业务的综合,二是数字传输与数字交换的综合。由于直接与计算机联网,所以大大提高了通信效率。

4. 占用信道频带宽

在模拟通信系统中,一路电话所占带宽为 4 kHz,当数字电话用 PCM 方式传输时,数码率为 64 kb/s,频带为 64 kHz,后者是前者的 16 倍。显然,它将使频带资源的利用率降低。对此,人们

正在寻求新的解决办法:一方面开辟新的宽带信道,如毫米波段、光纤等;一方面采用压缩编码和高效率调制方式,占用较宽频带的矛盾将逐步缩小。

1.3 通信技术的现状和发展趋势

1.3.1 电缆通信

电缆通信是最早发展起来的一种通信方式。在光纤通信和移动通信发展之前,电话、电报、传真等用户终端与交换机的连接全靠用户线。电缆曾是长途通信和国际通信的主要手段,太平洋、大西洋均有大容量的越洋电缆。采用脉冲编码调制时分多路复用,在同轴电缆中的基带传输技术,使得数字电话容量可达 6 400 路。但由于光纤通信的发展,电缆通信有被光纤通信取代的趋势。

1.3.2 光纤通信

光纤通信具有容量大、成本低等优点,能抗电磁干扰,与同轴电缆相比可以大量节约有色金属和能源。因此,自 1977 年世界上第一个光纤通信系统投入运行以来,光纤通信发展极为迅速,大西洋、太平洋的海底光纤已经开通使用。使每芯光纤通话路数高达百万路,中继距离达到 100 km。

近几年来我国的光纤通信已得到了快速发展,已经不再敷设同轴电缆进行长途通信,新的工程将全部采用光纤通信新技术。

光纤通信的主要发展方向是单模长波光通信、大容量数字传输技术和相干光通信。

1.3.3 卫星通信

卫星通信的特点是通信距离远,覆盖面积广,不受地理条件限制,且可以大容量传输,建设周期短、可靠性高等等。自 1960 年第一颗卫星发射成功以来,卫星通信发展特别迅猛,使国际间重大的活动能及时得以实况转播,它使全世界人与人之间的“距离”缩短。

我国自 20 世纪 70 年代起,开始将卫星通信用于国际通信业务,从 1985 年起开始国内卫星通信。目前已有数颗同步通信卫星与近 200 个国家和地区开通了国际卫星通信业务。

卫星通信的发展趋势是采用数字调制和时分多址,向更高频段发展,采用多波束卫星和星上处理等新技术。地面系统的主要发展趋势是小型化。

1.3.4 移动通信

移动通信是现代通信中发展最为迅速的一种通信手段。近 10 年来,在微电子技术和计算机技术的推动下,移动通信从过去简单的无线对讲或广播方式发展成为一个把有线、无线融为一体,固定、移动相互连通的全国规模、全球范围的通信系统。

我国从 20 世纪 90 年代中期开始发展第一代 TACS 制式模拟移动通信系统,以每年大约 2000 万户的数量迅速增长。到 2000 年,第一代模拟制式的移动通信系统便完全被第二代 GSM 数字移动通信系统所取代,第三代 CDMA 制式的移动通信系统也已在我国的部分地区开通。加

上无线上网业务的发展,移动通信的前景十分看好,成为个人多媒体通信的一个重要工具。

移动通信的发展方向是数字化、微型化和标准化。目前世界上存在多种不同的技术体制,互不兼容,因此标准化成为当务之急。数字化的关键是调制、纠错编码和话音编码方式的确定。微型化的目标是研制重量非常轻的多媒体个人携带手机。

1.3.5 微波中继通信

微波中继通信始于20世纪60年代,它较一般电缆通信具有易架设,建设周期短等优点。它是目前通信的主要手段之一,主要用来传输长途电话和电视节目。

微波通信的发展方向是采用数字通信方式,为了增加容量,提高频谱利用率,现已出现3256QAM、1024QAM等超多电平调制的数字微波。在40 MHz的标准频道间隔内可传送1 920~7 680路PCM数字电话,赶上和超过模拟微波通信容量。尽管微波通信受到光纤通信的严重挑战,但目前仍是长途通信的一个重要传输手段。

本章小结

本章主要论述数字通信的三个方面的组成;数字通信系统的性能指标和优缺点;现代常用几种通信技术的现状和发展趋势。下面对这三个方面作一小结。

1. 数字通信系统主要由信源编码和解码、信道编码和解码、数字调制及解调、同步系统及信道五部分构成。信源编码的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类似,主要是达到频分多路复用的目的。同步指的是收发双方的同步工作,包括位同步、帧同步以及载波同步。数字通信的信道可以有有线信道或者是无线信道。

2. 数字通信系统的性能指标主要有3个:信息传输速率、频带利用率、误码率。前两个为有效性能指标,后一个为可靠性指标。数字通信与模拟通信方式相比较,其最主要的优点是抗干扰能力强,无噪声积累。

3. 现代常用的几种通信方式是电缆通信、微波中继通信、光纤通信、卫星通信及移动通信。

思考题与习题

1.1 试画出数字通信系统组成框图,并说明各部分的作用。

1.2 信息传输速率和频率有什么区别?

1.3 设在125 μs 内传输256个二进制码元,计算信息传输速率为多少?若该信息在5 s内有6个码元产生误码,试问其误码率为多少?

1.4 假设信道频带宽度为1 024 kHz,传输速度为2 048 kb/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?

1.5 简述数字通信的主要优缺点,如何理解采用数字通信便于组成多媒体数字通信网?

1.6 举例说明现代通信的几种方式。

第2章 数字终端技术

教学基本要求

理解:模拟信号数字化的方法,脉冲编码调制(PCM)基本原理。理解取样定理,会计算取样频率和编码率。时分多路复用原理,30/32路PCM基群帧结构,建立数字信号帧的概念。

了解:差值脉码调制(DPCM),自适应差值脉码调制(ADPCM)、增量调制(ΔM)的基本原理。30/32路PCM数字通信系统的组成。

2.1 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,一为模拟信号与数字基带信号之间的变换,二为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变换成数字的基带信号。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。数字信号是一种时间离散、取值离散的信号。脉码调制的任务就是要将时间连续、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取样、量化和编码三个步骤来完成。当模拟信号经过取样、量化、编码三个过程后,输出就是一个数字化的PCM信号,把此信号直接送到信道传输。这种方式称为脉码调制通信。脉冲编码调制通信系统的方框图如图2.1所示。

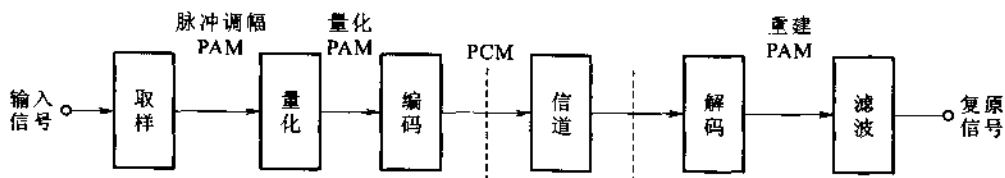


图 2.1 脉码调制通信系统方框图

图中解码器的任务与PCM调制器的任务相反,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“0”表示,极性为负时用“1”表示,采用8421码。

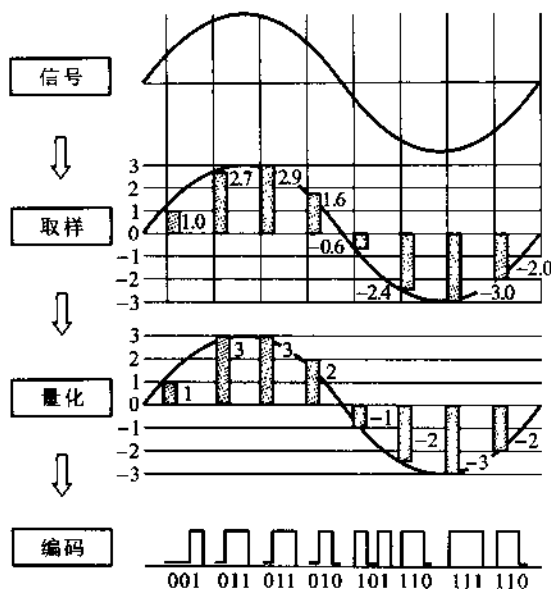


图 2.2 将模拟信号转换成数字信号的过程

随着数字通信的普及,信息量已使有限的信道资源不堪重负。人们除了启用新信道外,还就如何减少信息编码位数、提高编码效率做了不少的探索。通过分析发现,许多信号(例如语言信号)在大多数情况下相邻两个样值幅度变化并不很大。利用这一特点,有一种信源编码的方法,它只是对当前样值与上一个样值的差值进行编码,这种方法称为差值编码。因为“差值”的幅度远小于当前样值,编码时可以用较少的码位来表示,这就达到了降低信息编码位数、减少信道传输压力的目的,这种编码方法又称为压缩编码。

本章首先介绍 PCM 调制的基本原理,然后介绍一种常用的压缩编码——自适应差值脉码调制(ADPCM),最后介绍 30/32 路 PCM 基群帧结构。

2.2 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,包含三个过程:取样、量化、编码。下面分别以讨论。

2.2.1 取样

脉冲编码就是将话音信号在时间上连续的波形变成离散的脉冲,对一个个脉冲按幅度的高低进行编码。怎样才能将一个连续的模拟信号变成在时间上是离散的脉冲信号呢?那就需要对连续信号进行取样。所谓取样就是在信号的通路上加一个开关,按一定的速率进行开关动作,当开关闭合时,信号通过;开关断开时,信号被阻挡,这样就使通过开关后的信号变成了离散的不同幅度的脉冲信号,如图 2.3 所示。我们将此信号称为脉冲幅度调制(PAM)信号。

将模拟信号变成离散的脉冲信号,对它是有要求的,即要求取样之后的 PAM 信号,能还原

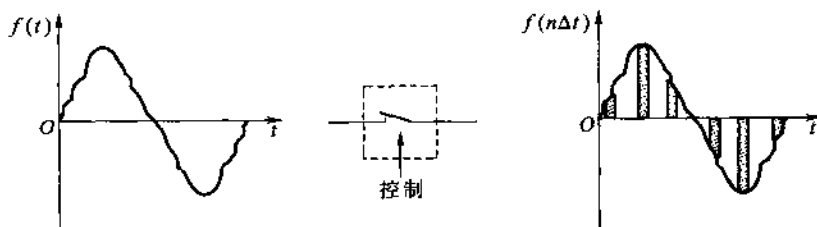


图 2.3 取样示意图

成原来的模拟信号,取样后的信号频谱中应包含原模拟信号的频谱,通过滤波器可将原频谱完整地取出来。从示意图可见,提取信号样值的时间间隔越短,就越能正确地重现信号,但是缩短时间间隔会导致数据量的增加;如果取样时间过长,可能造成频谱混叠,无法恢复原来的模拟信号。实际应用时,根据奈奎斯特取样定理来确定取样频率:

$$f_s \geq 2f_h \quad (2.1)$$

式中, f_h 为模拟信号的最高频率, f_s 为取样开关的频率,如果 $f_s = 2f_h$ 称为奈奎斯特速率。

例如在电话中传送数字化声音信号,声音信号的频带限制在 $300 \sim 3400\text{Hz}$, $f_h = 3400\text{Hz}$, 其取样频率 $f_s > 3400 \times 2$, 选定 $f_s = 8000\text{Hz}$, $T_s = \frac{1}{f_s} = 125\mu\text{s}$ 。用此取样频率可在接收端无失真地恢复出话音信号。

2.2.2 量化

时间连续的模拟信号经过取样后,变成了在时间上是离散的,而幅度的取值仍然是连续的脉冲幅度调制信号(PAM)。这种信号是时间离散的模拟信号,对这样的信号直接进行编码是有困难的,因为幅度的取值有无限多个,无法用有限位数的数值对其编码。因此,要求用有限个数的幅度取样值来取代原模拟信号无限个数的幅度取样值。把这种取代称为**量化**。

用有限个量化值表示无限个取样值,总是含有误差的。由于量化而导致量化值和样值的误差称为**量化误差**,用 $e(t)$ 表示,即

$$e(t) = \text{量化值} - \text{样值} \quad (2.2)$$

量化误差在重现信号时将会以噪声的形式表现出来,由此而产生的噪声称为**量化噪声**。在通信系统中,总是设法减少量化误差来降低噪声。

量化分为均匀量化和非均匀量化,把每个量化值用数字码(或码组)表示,这个过程称为编码。实际设备中,量化和编码是一起完成的。为了便于理解,我们仍分两步来作介绍。

1. 均匀量化

量化级差是相等均匀的量化称为**均匀量化**,均匀量化的实质是不管信号的大小,量化级差都相同。其量化特性曲线如图 2.4(a) 所示。该量化特性曲线共分 8 个量化级差,每个量化级差都相等为 8。量化输出取其量化级的中间值。量化误差与输入电压的关系曲线如图 2.4(b) 所示。

从图中可见,当输入信号幅度在 $-4\delta \sim +4\delta$ 之间,量化误差的绝对值都不会超过 $\frac{\delta}{2}$,这段范围称为量化的未过载区。当输入电压幅度 $u(t) > 4\delta$ 或 $u(t) < -4\delta$ 时,量化误差值线性增大,超过