

中等专业学校
电子信息类

DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE

XILIEJIAOCAI

规划教材

中专电子技术

数字通信技术与应用

伍湘彬 陈 键 曾晓宏

616
B



电子科技大学出版社

UESTC PUBLISHING HOUSE

中等专业学校
电子信息类 规划教材

数字通信技术与应用

伍湘彬 陈 键 曾晓宏

电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是在全国中专电子技术专业指导委员会的组织、指导下编写的。

本书以数字信号传输系统为主线,对涉及这一领域的主要技术和原理作了广泛的介绍。其内容主要包括:数字通信的基本概念、信源编码与解码技术、信道编码与解码技术、数字信号传输技术、同步原理、数字复接技术。

本书力求适合中等专业学校的教学特点,理论联系实际,突出物理概念,避免繁琐的公式推导;在内容安排上适当降低深度,并结合科技发展拓宽度;每章后面附有小结和习题。

本书可作为中等专业学校电子信息类、通信类的教学用书,也可供大专院校、高等职业学校、中等职业学校相关专业的学生,以及从事数字通信工作的工程技术人员参考。

声 明

本书无四川省版权防盗标识,不得销售;版权所有,违者必究,举报有奖,举报电话:(028)6636481 6241146 3201496

图书在版编目(CIP)数据

数字通信技术与应用/伍湘彬,陈键,曾晓宏编著.成都:电子科技大学出版社,2000.1
ISBN 7-81065-414-4

I.数... II.①伍...②陈...③曾... III.数字通信-专业学校-教材 IV.TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 22597 号

中等专业学校 规划教材
电子信息类

数字通信技术与应用

伍湘彬 陈 键 曾晓宏

出 版:电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号,邮编 610054)

责任编辑:舒 标 王 洪 林 兵

发 行:新华书店

印 刷:四川导向印务有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张 11.875 字数 289 千字

版 次:2000 年 1 月第一版

印 次:2000 年 1 月第一次

书 号:ISBN 7-81065-414-4/TP·278

印 数:1—3000 册

定 价:14.00 元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社、各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996~2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办协商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需，尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本书是在全国中专电子技术专业指导委员会的组织、指导下编写的,可供中等专业学校电子类、通信类专业使用。

本书以数字传输系统为主线,对涉及这一领域的主要技术和原理作了广泛的介绍,为读者今后学习诸如移动通信设备原理、程控交换机原理、激光影音设备原理、多媒体技术等课程奠定必要的理论基础。

全书共分六章。第一章绪论,主要介绍了数字通信系统的基本组成及主要性能指标;第二章信源编码与解码技术,主要介绍了 PCM 编码与解码原理,还介绍了差值脉码调制、增量调制和子带调制技术;第三章信道编码与解码技术,在介绍了纠错编码基本原理的基础上,主要介绍了线性分组码、循环码、卷积码的编码与解码原理,还简要介绍了纠正突发错误的几种有效方法;第四章数字信号传输技术,主要介绍了数字信号的基带传输与频带传输技术,简要介绍了数字信号的再生中继技术;第五章同步原理,主要介绍了载波同步、位同步和帧同步的基本原理,简要介绍了 PCM 一次群的帧结构;第六章数字复接技术,主要介绍了数字信号的复接原理和码速调整原理,简要介绍了相位抖动的处理方法和 PCM 二次群、高次群的帧结构。本书各章后面均附有内容小结和复习思考题。

本书的第一章和第四章由广东省电子技术学校伍湘彬老师编写,第二章和第三章由陈键老师编写,第五章和第六章由重庆电子职业技术学院曾晓宏老师编写。本书由伍湘彬高级讲师担任主编和统稿,广东省电子技术学校余任之高级讲师担任主审。

本书在编写过程中得到了广东省电子技术学校熊耀辉校长、易兴俊科长的热情鼓励和大力帮助。余任之老师详细审阅了本书的全稿,提出了许多有益的宝贵意见,对提高本书的质量做了不少工作。在此谨向上述各位老师表示诚挚的感谢。

鉴于编者水平所限,加上统稿时间紧迫,书中难免存在不妥之处,诚请读者批评指正。

编 者

1999 年 10 月

目 录

第一章 绪 论	1
§1.1 通 信 概 述	1
一、通信系统	1
二、模拟通信与数字通信	2
§1.2 数字通信系统的基本组成	3
一、信息源与信息宿	3
二、信源编码与解码	4
三、信道编码与解码	4
四、调制与解调	4
五、信道和干扰	5
六、同步	5
§1.3 数字通信系统的主要性能指标	5
一、传输速率	5
二、频带利用率	6
三、差错概率	6
§1.4 数字通信的特点与发展概况	7
一、数字通信的特点	7
二、数字通信的发展概况	9
§1.5 本课程的宗旨与特点	10
本章小结	10
思考题与习题	12
第二章 信源编码和解码技术	13
§2.1 概 述	13
§2.2 取样与保持	14
一、取样的概念	14
二、取样定理	15
三、带通信号的取样	19
四、样值信号的保持	20
§2.3 幅 度 量 化	20
一、量化的基本概念	20
二、均匀量化	22
三、非均匀量化	24
四、自适应量化概念	29

§2.4 PCM 编码与解码.....	29
一、PCM 编码原理.....	29
二、PCM 解码原理.....	33
三、实用 PCM 编解码器介绍.....	37
§2.5 预测编码.....	40
一、增量调制 (ΔM).....	41
二、差值脉冲编码调制.....	46
三、子带编码.....	47
本章小结.....	49
思考题与习题.....	51
第三章 信道编码与解码技术	53
§3.1 概 述.....	53
一、信道编码的基本概念.....	53
二、差错控制的基本方式.....	54
§3.2 抗干扰编码的基本原理.....	56
一、抗干扰编码的缘由.....	56
二、码距与抗干扰能力.....	57
三、纠检错编码的分类.....	59
四、简单的检错编码.....	59
§3.3 线性分组码.....	61
一、分组码及其基本概念.....	61
二、汉明码.....	62
三、循环码.....	64
§3.4 卷 积 码.....	69
一、卷积码的特点.....	69
二、卷积码编码原理.....	70
三、卷积码的解码与纠错原理.....	71
§3.5 突发错码的检错与纠错.....	73
一、行列监督码.....	73
二、码元交织.....	74
本章小结.....	76
思考题与习题.....	78
第四章 数字信号传输技术	79
§4.1 概 述.....	79
§4.2 数字信号的基带传输.....	79
一、基带信号的基本要求.....	79
二、基带信号的传输码型.....	80

三、基带传输系统的基本组成.....	84
四、基带传输的基本理论.....	85
五、均衡原理.....	91
六、部分响应原理.....	93
七、眼图.....	98
§4.3 数字信号的频带传输.....	100
一、幅移键控 (ASK).....	101
二、频移键控 (FSK).....	103
三、相移键控 (PSK).....	106
四、数字调制的若干实用技术.....	112
§4.4 数字信号的再生中继.....	123
一、再生中继问题的提出.....	123
二、再生中继器的基本原理.....	124
三、再生中继传输性能的分析.....	126
本章小结.....	131
思考题与习题.....	136
第五章 同步原理.....	138
§5.1 概 述.....	138
一、同步的基本概念.....	138
二、锁相环的基本原理.....	138
§5.2 载波同步.....	141
一、插入导频法.....	141
二、直接提取法.....	143
三、载波同步性能及其比较.....	146
§5.3 位 步.....	146
一、外同步法.....	146
二、自同步法.....	148
三、相位误差对传输系统误码率的影响.....	151
§5.4 帧 步.....	152
一、对帧同步系统的要求.....	152
二、帧同步码的插入方法.....	152
三、帧同步的保护措施.....	155
四、PCM 一次群的帧同步电路举例.....	157
本章小结.....	163
思考题与习题.....	163
第六章 数字复接原理.....	164
§6.1 概 述.....	164

一、多路通信的基本概念.....	164
二、数字复接系列.....	166
三、数字复接的码元排列方式.....	167
§6.2 数字复接原理	168
一、同步复接原理.....	168
二、异步复接原理.....	169
§6.3 码速调整原理	170
一、码速调整的提出.....	170
二、正码速调整原理.....	171
三、正/零/负码速调整原理	173
§6.4 复接相位抖动的处理.....	174
一、相位抖动的产生原因.....	174
二、相位抖动的处理方法.....	175
§6.5 PCM 高次群帧结构.....	176
一、PCM 二次群帧结构	176
二、PCM 高次群帧结构	176
本章小结	178
思考题与习题	179
参考文献	180

第一章 绪 论

§1.1 通 信 概 述

随着科学技术的发展和人们社会活动的日益频繁，整个社会正向着信息化的方向发展。信息化的社会离不开通信。因此，通信便成为当今社会的支柱之一。

那么，什么是通信？通信是指将消息从一个地方传输到另一个地方的过程。简单地说，消息传输就是通信。

消息是指人们需要得到的各种事物的状态，如温度、压力、语言、音乐、文字、图象、数据或指令等。消息所包含的内容称为信息。它是指人们原来不知而待知的内容。如果某人获得了他以前不知道的东西，就说他获得了信息。可见，通信的目的在于传输含有信息的消息，否则就失去了通信的意义。从消息与信息含义可见，它们不完全是一回事。因为，有的消息包含有较多的信息，而有的消息则根本不包含信息。但在实际中，人们习惯于将它们看成为一个同义词，并不严格地区分它们的含义。在这种情况下，“通信”、“消息传输”和“信息传输”的概念是等价的。因此，在本书以后的叙述中，也是按照这样的理解来使用这些术语，不过一般不使用“消息传输”这一术语。

借助于“电”进行通信的方式称为“电通信”，简称为“电信”。这种通信方式具有迅速、准确、可靠，且不受时间、地点、距离的限制等优点，因而从它一出现开始便受到人们的关注和青睐，并得到迅速的发展和广泛的应用。如今，“通信”一词几乎是“电通信”的同义词。因此，除非特别说明，本书所讲的“通信”都是指“电通信”。

一、通信系统

完成通信功能的所有设备的总和称为通信系统。其一般的组成框图如图 1-1-1 所示。由图可见，一般通信系统是由信息源、发送变换器、信道、接收变换器和信息宿等五个部分组成的。

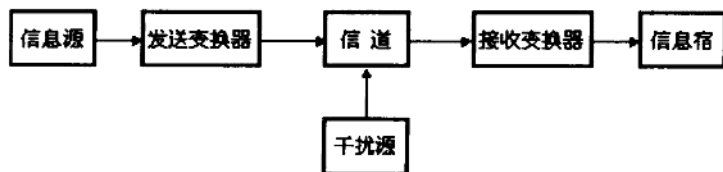


图 1-1-1 一般通信系统的组成框图

在通信系统中,信息的传输是通过电信号实现的。但大多数的信息,如语言、音乐、文字、图象、数据等,都是非电量。因此,通信中首先必须解决的问题就是将非电量的信息变换为电量,即电信号,简称为信号。将信息变换成为信号的工作是由信息源完成的。变换出来的信号通常称为信息信号,以便与系统中的其它信号区别开来。

发送变换器的作用是将信息信号变换为适合于信道传输的信道信号。变换是多种多样的。在需要频谱搬迁的场合,调制是最常见的变换方式。信道是一种传输媒介,是传输信号的通道。媒介可以有线的,也可以是无线的。接收变换器的作用是完成与发送变换器相反的变换过程,即恢复出被传输的信息信号。信息宿是信息的归宿,其作用是将信息信号还原为相应的信息。

信号在传输过程中,难免会受到系统内外的干扰和噪声的影响。为了便于研究,通常将所有这些干扰和噪声都看成是由一个作用于信道上的等效干扰源所产生。干扰贯穿于整个通信系统的始终。因此,如何减少干扰和噪声对信号传输的影响,这是通信技术中的关键问题之一。

图 1-1-1 所示的是对于各种通信系统都适用的一个抽象模型,它概括地反映了各种通信系统的共性。

通信系统有多种多样。若按信道所传输的信号类型划分,通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统两类。前者用于传输模拟信号,后者用于传输数字信号。若按传输方向的功能划分,通信系统可分为单工通信系统、双工通信系统和半双工通信系统。单工通信系统是指只能一个方向传输信号的系统,如图 1-1-1 所示的通信系统即为单工通信系统,此时系统的一方固定为发送端(如图中左方),另一方为接收端(如图中右方)。像无线寻呼系统就是一种单工通信系统,其中寻呼台是发送端,而寻呼机(BP 机)是接收端。双工通信系统是指通信的双方可同时发送和同时接收的系统,对于这样的系统,图 1-1-1 中除了干扰源外,其余各框图电路都是双功能的,如图中的信息源此时还兼有信息宿的功能。如果将两个手持移动电话(大哥大)之间的通信看成为一个通信系统的话,则这种系统就是一种双工通信系统。半双工通信系统是指通信的双方均可发可收,但当一方为发送时另一方只能为接收的系统。

二、模拟通信与数字通信

模拟通信与数字通信是两种不同的通信方式。其定义与模拟通信系统和数字通信系统的定义相仿,都是根据所传输的信号来划分。本书主要是讲述数字通信方面的有关问题。

模拟通信与数字通信除了具有通信的共性外,还有许多本质上的区别,主要体现在以下几点。

1. 衡量传输质量的准则不同

在模拟通信中,所传输的是模拟信号,它要求接收端能高保真地重现原发送的信号波形。就是说,对于模拟通信,衡量其传输质量的准则是输出信噪比。在数字通信中,任一瞬间所传输的只是有限个离散取值中的一个,它只要求接收端能从众多的干扰中正确判决(检测)出所发送的是哪一个离散值即可,而不关心波形是否失真。因此,衡量数字通信

传输质量的准则是差错概率。

2. 信号的处理方式不同

在数字通信中, 由于最终要对接收到的每个信号进行判决, 因而在发送端和接收端之间要建立时间轴的“同步”。在模拟通信中, 一般来说无需“同步”。另外, 数字通信要对信息进行编码和解码处理, 而模拟通信没有这方面的问题。再者, 它们的调制方式也往往不同, 数字通信多采用调相方式, 而模拟通信则多采用调幅或调频方式。

3. 系统的性能参数不同

在数字通信中, 系统的性能参数主要有传输速率、差错概率和频带利用率等。在模拟通信中, 系统的性能参数主要有输出信噪比、输入信噪比和频带展宽等。

实际中, 除了上述几点外, 还有其它一些不同之处, 这里就不一一列举了。

§1.2 数字通信系统的基本组成

数字通信系统是一种传输数字信号的系统。或者说, 它是利用数字信号来传输信息的通信系统, 其基本组成框图如图 1-2-1 所示。

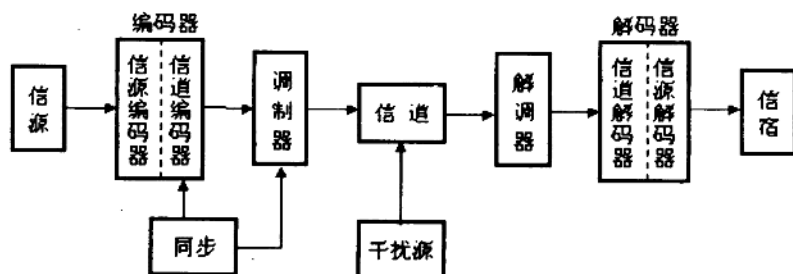


图 1-2-1 数字通信系统的基本组成框图

由图可见, 一个基本的数字通信系统是由八个部分组成: 信息源、编码器、调制器、信道、解调器、解码器、信息宿和同步系统。下面分别说明各部分的基本功能。

一、信息源与信息宿

信息源简称为信源, 是产生和发出信息信号的人或机器, 如电传机、计算机、电话机、影碟机、电视摄像机等。如前所述, 如果信息原来是非电量的, 则信息源还必须将其变换成便于通信系统传输的电信号。根据不同的通信对象和任务, 信息源产生的信号类型也不同。总的来说, 可分为模拟信号和数字信号两类。模拟信号如电话机、影碟机、摄像机输出的音频、视频信号; 数字信号如电传机、计算机输出的数据信号。

信息宿简称为信宿，是通信系统的终端设备，是用来接收信号并还原为相应信息的人或机器。

需要注意，无论是将信息变换为信号，还是将信号变换为信息，这两种变换都必须是线性的，否则将不可能在终端还原出原来的信息。有关信源及信宿的内容已超出本书范围，本书将不再作详细介绍。

二、信源编码与解码

由图 1-2-1 可见，信源编码与信源解码分别是编码器与解码器中的一部分内容。信源编码器的作用是将信源输出的信号变换成适合于数字通信系统处理和传输的数字信号。就是说，如果信源输出的信号是模拟信号，则信源编码器首先应对其进行模 / 数 (A/D) 变换，使之成为时间上离散、幅度取值有限且按一定规律组合的数字脉冲串。通常将这样的过程称为脉冲编码调制 (PCM)，简称为编码。为了与下面将要介绍的信道编码区别开来，称这里的编码为信源编码。信源编码一般要经过三个过程，即取样、量化和编码。通常将编码后的每组数字脉冲称为代码或码字，而其中的每个数字脉冲称为码元。为了提高传输的有效性，减少原始信号中的冗余度，编码通常是对数据进行压缩的编码，即在保证一定传输质量的前提下，用尽可能少的数字脉冲来表示原来的信息。所以，就这一意义而言，信源编码有时也称作频带压缩编码或数据压缩编码。信源解码器的作用与信源编码器相反，其功能是还原出信息信号。有关信源编码与解码的技术问题在本书的第二章中介绍。

三、信道编码与解码

信道编码与解码在通信系统中是成对出现的。信道编码器处于系统的发送端，信道解码器处于接收端，它们的作用是解决数字通信的可靠性问题。数字信号在传输过程中，不可避免地会受到系统内外的各种干扰，使到达接收端的数字信号可能出现差错，产生错码（又称误码）。信道编码与解码就是为了减少这种差错，提高信息传输质量的一种“差错控制”技术。它是在信源编码器输出的数字信号中，按一定规律附加一些数字代码，从而形成新的数字信号；当这些信号到达接收端时，再按原先约定好的规律对接收信号进行检错或纠错。在信道编码器中附加上的这些数字代码又称为监督码元。信道编码与解码技术将在本书的第三章中介绍。

四、调制与解调

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，其传输距离有限。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。它的主要功能是提高信号在信道上的传输效率，或是达到信号复用的目的，或是减少传输引起的失真。根据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（又称幅移键控 ASK）、数字调频（频移键控 FSK）和数字调相

(相移键控 PSK) 等多种。解调是调制的逆过程, 它是从已调信号中恢复出原来数字信号的过程。

利用调制技术来传输数字信号的方式称为频带传输。基带传输与频带传输都属于数字信号传输技术的范畴, 有关这方面的内容将在第四章中讲述。

五、信道和干扰

信道是用于传输信号的通道。具体地说, 它是由有线或无线线路为信号传输提供的一条通道。抽象地说, 它是指允许信号通过的一段频带。信道既给信号传输提供通路, 又给信号传输造成限制与损害。由于实际中存在各种不理想的因素, 信道提供的频带总是有限的, 其特性也总是不完善的。因此, 信号通过信道时总会产生失真, 信号功率也会因信道的损耗而下降。

根据传输媒介的不同, 信道可分为有线信道和无线信道两种。有线信道包括明线、对称电缆、同轴电缆和光纤等。无线信道包括中长波的地波传播、短波的电离层反射、超短波或微波的视距传播(含微波中继和卫星中继)以及各种散射等。

信号在传输过程中还会受到各种干扰(或噪声)的损害。这种干扰来自系统的内部和外部, 如系统本身存在的各种热噪声; 系统外部的天电干扰、工业干扰、电台干扰等等。为了便于说明, 通常将通信过程中的各种噪声干扰用一个等效干扰源表示。

有关信道和干扰的问题已超出本书范围, 所以后面将不再详述。

六、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, 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 and 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, 甚至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。有关这方面的内容将在第五章中介绍。

§1.3 数字通信系统的主要性能指标

各种通信系统都有各自的性能指标。对于数字通信系统来说, 常用的性能指标主要有传输速率、频带利用率、差错概率等。

一、传输速率

传输速率是衡量数字通信系统传输能力(有效性)的一个主要指标。

1. 码元传输速率

码元传输速率又称传码率或波特率, 是指单位时间(通常为秒, 下同)内通信系统所

传输的码元数目（即脉冲个数），记为 R_B ，其单位为波特（Baud 或 B）。

2. 信息传输速率

信息传输速率又称数码率或比特率，是指单位时间内通信系统所传输的信息量，记为 R_b ，其单位为比特/秒（bit/s 或 b/s）。

根据信息量的定义，一个二进制码元代表一比特（bit）的信息量。因此，在二进制码元中，码元传输速率与信息传输速率在数值上是相等的，即 $R_B = R_b$ ，但它们的含义不同，前者是指单位时间内传输的码元数目，后者是指单位时间内传输的信息量。

如果所传输的码元是 M 进制（ $M \geq 2$ ），则每个码元含有的信息量 I 为

$$I = \log_2 M \quad (\text{bit}) \quad (1-3-1)$$

由上式不难看出，在数字通信系统中，若所传输的码元是 M 进制，则码元传输速率 R_B 与信息传输速率 R_b 在数值上存在如下关系，即

$$R_b = R_B \log_2 M \quad (1-3-2)$$

例如，在四进制（ $M=4$ ）中，已知码元传输速率 $R_B=600\text{B}$ ，则信息传输速率 $R_b=1200\text{bit/s}$ 。由此可见，采用多进制码传输，能提高信息传输速率。

关于信息量的其它有关问题是信息论的范畴，详细的叙述已超出本书范围，读者如有必要可参阅有关信息论方面的书籍。

二、频带利用率

在比较不同数字通信系统的有效性时，单看它们的传输速率是不够的，就是说，即使两个系统的传输速率相同，它们的有效性也可能不同，还要看系统在传输信息时所占用的信道频带的宽度。因此，在衡量数字通信系统的有效性时，通常还引入频带利用率这一指标。频带利用率是指单位时间、单位频带内传输信息量的多少，即单位频带内所能实现的最大数码率，记为 ρ ，其单位为比特/秒·赫（bit/s·Hz），即

$$\rho = \frac{R_b}{B} \quad (1-3-3)$$

式中， B 为信道带宽。

在频带宽度相同条件下，系统的信息传输速率越高，频带利用率就越高，系统的性能也就越好。频带利用率与信号的传输方式、调制方式有关，在二进制的基带传输方式中，系统的最高频带利用率 $\rho = 2\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ ；在多进制中， $\rho > 2\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ 。对于频带传输方式，不同的调制方式可能有不同的频带利用率，其值也是随数制的不同而不同，如二进制调幅时， $\rho = 0.5\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ ；对于多进制的调幅、调相来说，频带利用率目前可达 $\rho = 6\text{bit/s} \cdot \text{Hz}$ 。

三、差错概率

差错概率是衡量数字通信系统可靠性的一个主要指标。通信系统的可靠性主要取决于

两个方面，一是系统中各种设备工作的可靠性，常用平均故障时间来衡量；二是系统所传输的信息的可靠性（即可信任程度），常用差错概率来衡量。在通信理论中，一般只考虑后者。

1. 码元差错概率

码元差错概率简称误码率，是指通信过程中系统传错的码元数与所传输的码元总数之比（取统计平均值，下同），记为 P_B ，即

$$P_B = \frac{\text{传错码元数}}{\text{传输码元总数}} \quad (1-3-4)$$

2. 信息差错概率

信息差错概率又称比特差错概率，简称误信率，是指通信过程中系统传错信息的比特数与所传输信息的总比特数之比，记为 P_b ，即

$$P_b = \frac{\text{传错比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1-3-5)$$

误信率的大小反映了在传输过程中由于对码元的错误判决而造成传错信息的程度，它与误码率从两个不同的层次反映了系统的可靠性。在二进制系统中，误码数目等于传错信息的比特数目，因而有 $P_B = P_b$ 。但在多进制中，一个误码不等于一个传错信息的比特，即 $P_B \neq P_b$ 。理论可以证明，在 M 进制情况下，平均误信率与误码率之间存在如下关系

$$P_b = \frac{M}{2(M-1)} P_B \approx \frac{1}{2} P_B \quad (1-3-6)$$

§1.4 数字通信的特点与发展概况

一、数字通信的特点

与模拟通信相比，数字通信具有许多显著优点，现介绍如下。

1. 抗干扰能力强，传输精度高

模拟信号的幅值是连续变化的，当传输过程中叠加上噪声干扰时，在接收端便无法恢复出原先的信号波形。而数字通信所传输的是数字信号，其取值仅为有限个离散值，通常是脉冲的有与无二种取值，所以只要干扰不是严重到使接收端无法判断，便不影响信号的传输。可见数字通信具有抵抗各种噪声干扰的能力。

此外，数字通信还可通过差错控制编码，进一步提高通信的可靠性。由于数字信号的抗干扰能力强，所以在类似的信道条件下，数字通信的传输精度要比模拟通信高得多。若要求两者具有相同的精度时，则数字通信对信道的要求可以低一些。

2. 可通过再生中继方式实现远距离、高质量的通信

如前所述, 模拟信号在传输过程中受到噪声干扰是无法消除的, 显然, 随着传输距离的增长, 其信噪比将会逐渐下降。这种传输方式即使是在适当的地方插入增音机进行放大(增音), 其结果也是使信号与干扰同时得到放大, 最终无法改善信噪比。如图 1-4-1 (a) 所示。可见, 模拟通信的传输质量会随着距离的增加而下降。而数字通信在传输过程中, 只要信噪比还没有恶化到不可收拾的程度, 即还来得及对传输脉冲的取值进行判决时, 便可利用再生中继技术使传输信号再生, 从而消除噪声干扰对传输质量的影响。如图 1-4-1 (b) 所示。由于数字通信无噪声干扰积累, 所以理论上其传输距离可以无限远。

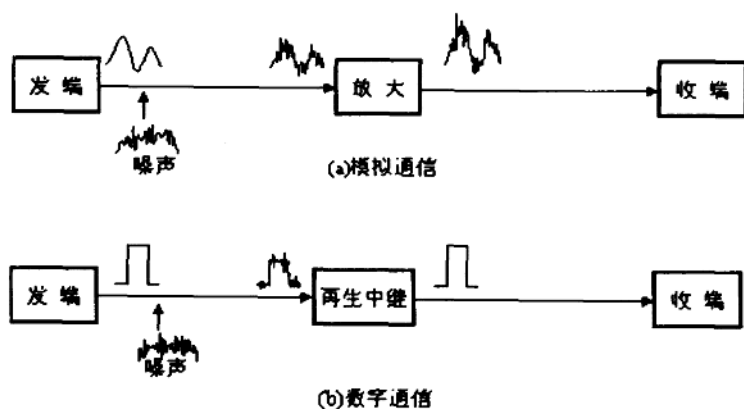


图 1-4-1 两种通信方式的质量比较

3. 保密性好

信息传输的安全性和保密性越来越显得重要。数字通信系统可通过简单的逻辑电路对数字信号实施规律复杂的密码加密处理, 从而提高通信的安全性和保密性。

4. 可以传输各种信息, 便于实现多媒体通信

包括声音、图像、数据、文本等在内的各种信息信号, 与在通信过程中用来监视、控制或其它业务用的信号, 都可以采用相同的信号格式和处理方法, 经多路复用组合在一起, 经同一信道传输而不互相干扰。所以, 数字通信可以将各种业务信息和不同的终端用户组合成一个系统, 形成统一的综合业务数字网 (ISDN)。综合业务数字网是当今通信界关注和研究的新动向。它能实现两重任务: 一是各种通信业务的综合, 一是数字传输与数字交换的综合。可见它是一个服务于语音和非语音数据通信业务的综合网, 能对来自各方面的信息进行交换、传输、处理、存储等, 从而实现多媒体通信。

5. 易于实现通信的自动化、智能化

数字通信传输的是数字信号, 其通信系统很容易与计算机联网, 因而可以将通信过程