

数字通信技术

唐彦儒
金毓良 编著
史娟芬

Shuzi Tongxin Jishu

全国电子信息类
职业教育实训系列教材

DL

东南大学出版社

全国电子信息类职业教育实训系列教材

数字通信技术

唐彦儒 金毓良 史娟芬 编著

东南大学出版社

内 容 简 介

本书以数字通信技术为主线,主要介绍了数字通信概述、数字终端技术、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、数字图像通信和通信网与综合业务数字网等内容。建议学时为 60 学时,讲授内容以前四章为主,后两章可根据教学的实际需要选讲。

本书在注重介绍数字通信技术相关基础知识的同时,注重突出结构的合理性和内容的实用性,减少了不必要的数学推导,语言简练、层次清晰、结构完整,并反映出相关领域现代通信技术的发展状况。

本书可作为职业技术学院电子信息类相关专业教材,也可作为电子类工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信技术 / 唐彦儒等编著. —南京:东南大学出版社, 2003. 7

ISBN 7-81089-252-5

I. 数… II. 唐… III. 数字通信-通信技术-高等学校-教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040065 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 丹阳市兴华印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.5 字数:265 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:18.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795801)

出版说明

全国电子信息类职业教育实训教材建设研讨会于2002年12月12日在辽宁本溪电子工业学校召开,历时4天。

与会代表通过了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会组建意见”,成立了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”,确定出版首批“电子信息类职业教育实训系列教材”。

目前的职业教育教材还带有不少理论教育的影子,教育观念和培养模式相对滞后,片面强调知识灌输,教学活动与生产和生活实际联系不紧密,特别是对知识应用、创新精神和实践能力的培养重视不够,即使有职业教育教学改革愿望的学校,苦于没有合适的教材,也无法实现教学体制改革。为了更好地深化职业教育改革,满足广大职业技术教育院校教材建设的需求,编委会将首先从职业教育实训教材建设着手,利用3年的时间,出版一批高质量的职业教育实训教材。

与会代表认真地讨论了首批预选编写的教材,提出了教材的编写要求:立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育。采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。虽然第一批教材是个尝试,不一定能按要求编写出真正意义上的实训教材,但我们要求编写人员为此努力。要有创新思想,因为职业教育本来就是在探索中,教材建设也是任重而道远的事,需要老师们不断地探索,把自己最新的思想和教学实践体现在教材中。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院	南京信息职业技术学院
福建省电子工业学校	长沙电子工业学校
扬州电子信息学校	山西省电子工业学校
河南信息工程学校	北京市电子工业学校
大连电子工业学校	锦州铁路运输学校
黑龙江省电子工业学校	新疆机械电子职业技术学院
本溪财贸学校	山西省邮电学校
宜昌市职业技术学院	山西省工程职业技术学院
四川省电子工业学校	哈尔滨机电工程学校
本溪市电子工业学校	

全国电子信息类职业教育实训教材编委会

2003年3月

前 言

人类社会已进入信息化时代,作为信息化时代的主要标志,数字通信方式无论在理论上还是在技术上都有了突飞猛进的发展。随着大容量数字通信系统、压缩编码技术、数/模兼容技术及用户环路数字化技术的不断发展和完善,它必然对人类社会和人们的日常生活产生深远的影响,成为当今乃至未来信息社会发展的主流。

数字通信方式作为通信的主要手段,人们越来越强烈地期望了解和掌握这一技术。然而,目前的数字通信类书籍大多偏重于抽象的技术理论,不适合注重实践能力培养的职业院校的教学需要。因此,应全国电子信息类职业教育实训教材编委会的要求,组织部分职业院校具有多年教学和实践经验的教师,根据职业院校的教学要求和学生特点编写了本书。

全书以数字通信技术为主线,主要介绍了数字通信概述、数字终端技术、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、数字图像通信和通信网与综合业务数字网等内容。本书在注重介绍数字通信技术相关基础知识的同时,注重突出结构的合理性和内容的实用性,减少了不必要的数学推导,语言简练、层次清晰、结构完整,并反映出相关领域现代通信技术的发展状况。

本书适用于职业技术学院电子信息类相关专业学生使用,建议学时为 60 学时,讲授内容以前四章为主,后两章可根据教学的实际需要选讲。

本书由黑龙江省电子工业学校唐彦儒、大连电子学校金毓良和河南信息工程学校史娟芬编著。其中,史娟芬编写第 2 章、金毓良编写 3、4 章、唐彦儒编写 1、5、6 章。全书由唐彦儒统稿。

在本书的编写过程中,得到了黑龙江省电子工业学校王丽高级讲师及全国电子信息类职业教育实训教材编委会的大力支持和帮助,编者在此深表谢意。

由于时间仓促和作者水平有限,书中难免存在错误和不足,敬请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

1 数字通信概述	(1)
1.1 通信系统的构成	(1)
1.1.1 信息与信号	(1)
1.1.2 模拟信号与数字信号	(1)
1.1.3 通信系统的构成及分类	(2)
1.2 数字通信系统的主要性能指标	(5)
1.2.1 比特与码元	(5)
1.2.2 有效性指标	(6)
1.2.3 可靠性指标	(6)
1.3 数字通信的特点及其发展	(7)
1.3.1 数字通信的特点	(7)
1.3.2 数字通信的发展概况及趋势	(8)
本章小结	(10)
习 题	(10)
2 数字终端技术	(11)
2.1 模拟信号的数字化	(11)
2.1.1 脉冲编码调制基本原理	(11)
2.1.2 取样	(11)
2.1.3 量化	(13)
2.1.4 编码与解码	(15)
2.1.5 单片集成 PCM 编解码器	(19)
2.2 多路复用技术	(21)
2.2.1 频分多路复用	(21)
2.2.2 时分多路复用	(23)
2.2.3 30/32 路 PCM 基群帧结构	(24)
2.3 定时与同步	(24)
2.3.1 定时系统	(25)
2.3.2 同步系统	(28)
2.4 数字复接技术	(29)
2.4.1 PCM 数字复接等级	(29)
2.4.2 数字复接方法与分类	(30)
2.5 30/32 路 PCM 终端机组成及测试	(32)
2.5.1 30/32 路 PCM 基群终端机组成	(32)
2.5.2 30/32 路 PCM 基群设备主要指标测试	(33)
2.5.3 30/32 路 PCM 基群设备的简单维护	(36)
本章小结	(38)
习 题	(39)

3 数字信号的基带传输	(40)
3.1 数字基带信号	(40)
3.1.1 数字基带信号的波形与频谱	(40)
3.1.2 数字基带信号常用线路码型	(44)
3.2 基带传输系统	(47)
3.2.1 数字基带信号传输的基本准则	(48)
3.2.2 眼图	(49)
3.2.3 误码的检测	(51)
3.2.4 基带传输的再生中继系统	(62)
3.2.5 再生中继器	(63)
3.3 同步传输与异步传输	(66)
3.3.1 同步传输	(67)
3.3.2 异步传输	(67)
本章小结	(70)
习 题	(70)
4 数字信号的频带传输	(72)
4.1 数字调制与解调	(73)
4.1.1 二进制数字调制与解调	(73)
4.1.2 多进制数字调制	(80)
4.1.3 调制解调器	(84)
4.2 数字信号的频带传输系统	(87)
4.2.1 系统构成	(87)
4.2.2 光纤数字传输系统	(89)
4.2.3 数字微波传输系统	(92)
4.2.4 数字卫星传输系统	(96)
本章小结	(102)
习 题	(102)
5 数字图像通信	(103)
5.1 图像通信概述	(103)
5.1.1 图像通信及其系统模型	(103)
5.1.2 图像通信的特点与分类	(105)
5.1.3 图像质量评价	(107)
5.1.4 图像通信技术的发展概况	(109)
5.2 数字图像压缩编码技术	(110)
5.2.1 图像压缩编码的基本概念与图像信号数字化的基本原理	(111)
5.2.2 数字图像压缩编码	(114)
5.3 数字图像传输技术	(124)
5.3.1 数字图像传输的接入技术	(124)
5.3.2 数字图像传输系统的质量	(128)
5.4 图像压缩编码的主要国际标准	(130)
5.4.1 静止图像压缩编码技术标准	(131)
5.4.2 H 系列标准	(133)

5.4.3 MPEG 系列标准	(136)
本章小结	(142)
习 题	(142)
6 通信网与综合业务数字网	(143)
6.1 通信网	(143)
6.1.1 通信网的概念与基本结构	(143)
6.1.2 通信网的构成要素	(144)
6.1.3 通信网的发展	(144)
6.2 综合业务数字网	(145)
6.2.1 综合业务数字网的基本定义与特点	(145)
6.2.2 综合业务数字网的形式与结构	(146)
6.2.3 用户/网络接口	(148)
6.2.4 综合业务数字网的编号计划与过渡策略	(151)
本章小结	(152)
习 题	(153)
附录 A 国际性通信组织及相关组织简介	(154)
附录 B 信息高速公路简介	(156)
参考文献	(159)

11/16/2019/07

1 数字通信概述

1.1 通信系统的构成

1.1.1 信息与信号

人类从远古至今,各种活动都无一例外地伴随着信息的交流。所谓信息(information),是指对受信者有一定意义的某一有待传递、交换、提取或存储的内容,是客观世界和主观世界共同作用的产物。这是一个比较抽象的概念,可以有多种表现形式,如语言、文字、数据和图像等。

信息的每一种表现形式其实质都是一种信号。所谓信号(signal),就是携带信息的载体。信息作为一种内容不能单独存在,它必须依靠某一种信号才能传递出去,就如同货物要依靠某种交通工具才能运输一样。另外,同一种信息也可以有不同的表现形式,即可以用不同的信号来表达,它可以是语言,也可以是文字或其他形式的信号。在各种形式的信号中,又以电(光)信号最为重要。其他形式的信号都可以转换成电信号进行传递。当今发达的信息社会就充分证明了这一点。

信息是依靠信号进行传递和交流的,这就是通信的主要目的和内容。因此,通信(commu-nication)就是信息的交流,它包括了信息的发送、传递和接收等3个环节,其实质就是传递携带某种信息的信号。

通信的含义非常广泛,这里主要是指电通信,简称电信,即以电信号为载体来进行信息的传输和交换。作为现代社会中最主要、最普通的通信方式,电信具有在任意距离上实现信号的快速、有效、准确、可靠传递的优点。在当今的自然科学中,“通信”和“电信”几乎就是同义词了。由于电信的特点,电信的受信者收到的是原信息的“复制品”,而不像邮政通信那样受信者收到的是“原物”,这就要求电信中的“复制品”要尽可能与“原物”相同,也就是要求电信传递的信息不失真或失真很小。

电信号可以分为模拟信号和数字信号两大类,两者均可以以电流或电磁波的方式传输。

1.1.2 模拟信号与数字信号

1) 模拟信号

大家都知道,任何电信号的波形都可以用幅度和时间两个参量来描述。如果代表信息的信号幅度(如电压或电流)的取值随时间连续变化,即在某一时间范围内可以取无限多个数值,那么就称该信号为模拟信号(analog signal),如图1.1所示。模拟信号的特征是在某一瞬间的幅度无法用有限个数值来表示。图1.1(a)和图1.1(b)分别为语音信号及其取样信号的电压波形。

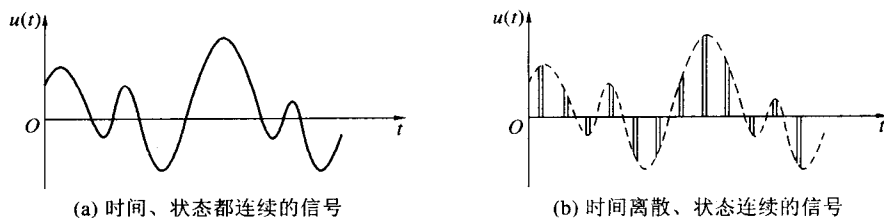


图 1.1 模拟信号波形

2) 数字信号

如果代表信息的信号幅度取值是离散变化的,即在某一瞬间具有有限个状态或称状态可数,则这样的信号就称之为数字信号(digital signal)。图 1.2 所示分别为二进制和四进制两种数字信号的波形。前者是二电平信号波形,只能取 0、1 这 2 个状态。后者是四电平信号波形,可取 3、1、-1、-3 这 4 个状态。常见的电报信号、数据信号均属于数字信号。

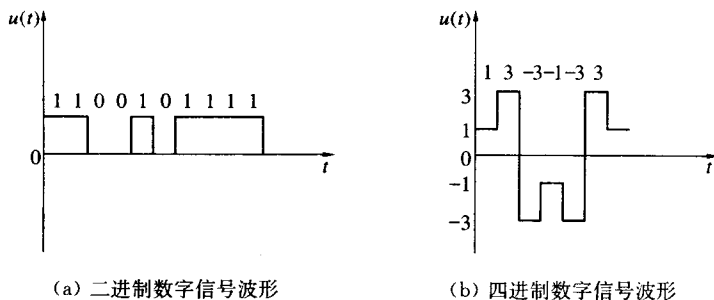


图 1.2 数字信号波形

可以通过信号幅度取值是否连续来判断一个信号是模拟信号还是数字信号。一个信息既可以用模拟信号来表示,也可以用数字信号来表示。两者在一定条件下可以相互转换。但由于两种信号形式不同,物理特性也不同,所以对传输通路的要求以及信号传输过程的处理方式也是不同的。

1.1.3 通信系统的构成及分类

1) 通信系统的构成

任何通信系统都要完成异地间的信息传递或交换,而且在这一过程中又不可避免地会受到各种系统内、外客观因素的影响,这是所有通信系统的共性。因此,对传输电信号的通信系统而言,应由信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源等 6 个部分构成,如图 1.3 所示。

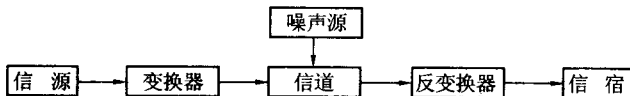


图 1.3 通信系统模型

(1) 信源

信源是信息的来源,是通信系统的传输对象。在人与人通信的情况下,信源是发出信息的人;在机器与机器之间通信时,信源可以看成是发出信息的机器,如计算机、传真机等。

(2) 变换器

变换器的功能是将信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号。例如电话通信系统中的送话器,它把语音变换成电信号。当然,为了更有效、更可靠地传递信息,还可能更需要更复杂或功能更完善的变换和处理设备。

(3) 信道

信道是信号的传输通道,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,与之对应的信道也不同,但都会对所传输的信号产生不同程度的衰减。因此,通信系统设计者要首先考虑到信道的特性对通信系统的影响。

(4) 反变换器

反变换器的功能与变换器相反,因为适合在信道中传输的信号一般不能被信息接收者直接接收,所以要利用反变换器把这种信号变换成信息接收者可以接收的信息。

(5) 信宿

信宿是信息传送的终点,即信息的接收者。它可以与信源相对应,构成人—人通信或机—机通信,也可以与信源不一致,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,但在通信系统中又是客观存在的。模型中的噪声源是以集中形式表示的。实际上,这种干扰噪声既可能在信源信息初始产生的环境中就混入了,也可能从构成变换器的电子设备中掺入,又可能来自传输信道及接收端的各种电子设备,还可能是以上3种情况共同作用而产生。这里只是把上述若干种情况下的干扰噪声集中地由一个噪声源来表示罢了。因此,通信系统设计者还必须考虑到各种噪声对通信系统的影响。

2) 通信系统的分类

通信的目的是传递信息。从不同的角度,按照不同的方法,可将通信系统分成许多类型。这里主要介绍常见的3种分类方法。

(1) 按照业务内容的不同,通信可分为电报、电话、传真、数据通信、无线寻呼等。其中电话又含市内电话、长途电话,固定电话、移动电话等。数据通信又可分为人—机或机—机之间的通信。从广义上讲,广播、电视、雷达、遥控、遥测等均属通信范畴。

(2) 按照传输信道的不同,通信可分为有线通信和无线通信。所谓有线通信是指电磁波沿线缆传输的通信方式。常见的线缆有双绞线、同轴电缆、光缆、波导等。其特点是传输媒介看得见、摸得着。无线通信是指电磁波在空间传输的通信方式。常见的有长波、中波、短波、超短波和微波等通信方式。此外,移动、卫星、散射、无线寻呼等通信方式亦均属无线通信。

有线与无线两种通信方式相比较,前者具有可靠性高、成本低、适用于近距离固定通信等特点;后者则具有灵活、不受地域限制、通信范围广等优点,但也存在易受干扰、保密性差等方面的不足。

(3) 按信道中所传输信号的不同,通信系统可以分为模拟通信和数字通信两大类。利用模拟信号作为载体来传递信息的通信系统称为模拟通信系统,传输模拟信号的信道称为模拟信道。虽然目前在电话通信中大量采用模拟通信,但因其存在抗干扰能力差、噪声积累、灵活性差、不易加密、不便于与计算机连接等诸多缺点,将逐步为数字通信所取代。

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,这样的通信系统称为数字通信系统。数字通信系统的形式多种多样,但从系统的主要功能和部件来看,所有的数字通信系统均可概括为如图1.4所示的模型。

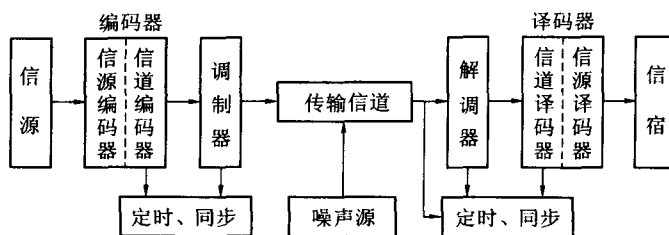


图 1.4 数字通信系统的模型

3) 数字通信系统的组成

由图 1.4 可见,一个数字通信系统应包括 8 个主要组成部分:信源、编码器、调制器、信道、解调器、译码器、信宿、定时与同步系统。下面对各部分的组成和功能作一简要介绍。

(1) 信源与信宿

信源是产生和发出信息的人或机器,发出的信息可以是模拟的,也可以是数字的。而信宿是接收这些信息的人或机器,接收的信息可以是模拟的,也可以是数字的。

(2) 编码器与译码器

编码器一般包括信源编码器和信道编码器两部分。信源编码器的主要任务是将信源送出的模拟信号数字化或将信源送出的数字信号进行适当变换以提高传送的有效性,减少原始信息的冗余度。若信源送出的是模拟信号,则信源编码器首先应对其进行模/数转换(A/D 转换)编码,如脉冲编码调制(PCM)编码或增量调制(DM)编码等;若信源送出的是数字信号,应根据实际信源的统计特性进行数据压缩编码。对信源编码本书主要介绍对语音信号的 PCM 编码。信道编码一般包括线路编码(又称码型变换)和差错控制编码两部分,主要解决数字通信的可靠性问题,故又称为抗干扰编码,它是将信源编码后的数字信号人为地按一定规律加入多余的数码,使信号能够适应具有低通特性的信道,以达到接收端可以发现和纠正误码的目的。信道编码技术主要应用于移动通信、卫星通信等无线通信系统中。

译码器主要包括信道译码器和信源译码器两部分,是编码器的逆变换,是为恢复原始信息而设置的。

在数字通信中,为了保密,通常在信道编码器之前或之后加一个加密器,对数字信号进行加密,而在收端的相应位置加一个解密器,对接收到的数字信号进行解密。

由编码器输出的信号为数字基带信号,若将其直接送入信道传输则称为数字基带传输。这是本书第 3 章所要介绍的内容。

(3) 调制器与解调器

由编码器输出的数字基带信号一般不适于在具有带通特性的信道中传输。此时,需要将其通过调制器调制后变成频带信号送往信道进行传输。调制器的主要功能在于提高信号在信道上的传输效率,或达到信号复用的目的,或是为了提高信号抗干扰性能。无线信道就是具有这种特征的信道。解调是调制的逆过程。

(4) 信道与噪声

由于构成信道的物理媒介不同,信道种类也多种多样。但无论哪种信道,在其中传输的信号都会受到噪声和干扰的影响。噪声和干扰信号主要有起伏噪声、脉冲噪声和电台干扰等。不同的噪声对通信系统的影响是不同的。

(5) 定时与同步系统

任何一个实际的数字通信系统要正常工作,都必须有一个稳定的定时与同步系统。定时系统产生一系列定时脉冲信号,使系统有序地工作;同步系统确保收、发端机之间具有一定(相对不变)的时间关系。定时系统应产生一个高稳定度的主时钟及相应的时序信号。同步系统包括载波同步、位同步、帧(群)同步和网同步。如果同步系统有误差或失去同步,则数字通信系统中就会出现大量误码,甚至使整个通信中断。

需要指出的是,任何一个信息既可用模拟方式传输,也可用数字方式传输。例如电话信号,过去是用模拟方式传输,现在则用数字化手段将模拟信号变成数字信号后再传输,这就是数字电话。而数字信号经适当变换后,也可在模拟信道中传输。

1.2 数字通信系统的主要性能指标

衡量、比较和评价一个通信系统的优劣,必然要涉及系统的各种性能指标。不同的系统,其性能指标也不同。对于数字通信系统,衡量其优劣的性能指标很多,但归纳起来主要有以下几点:

- ① 有效性:指系统信息的传输速度。
- ② 可靠性:指系统信息的传输质量。
- ③ 适应性:指系统使用时的环境条件。
- ④ 经济性:指系统的成本。
- ⑤ 标准性:指系统的接口、各种结构及协议是否符合国家标准和国际标准。
- ⑥ 保密性:指系统是否便于加密。
- ⑦ 维修性:指系统是否维修方便。
- ⑧ 工艺性:指系统的各种工艺要求。

其中最主要的是有效性和可靠性,这是衡量任何通信系统优劣的最基础的性能指标,它基本体现了对数字通信准确、快速和不间断的要求。

1.2.1 比特与码元

1) 比特

比特(bit,可简写为 b)是信息量的单位,而信息量又是信息多少的一种量度。对于大量出现的随机二进制数码,当“1”码和“0”码出现的机会相等,且前后相互独立、互不影响,这时一个二进制数码(1个“0”或1个“1”)所含的信息量就是1 bit。例如,用二进制数码“1”和“0”分别表示及格和不及格,即只用1位二进制数码表示2种可能出现的状态,当得知考试的结果后,就称获得了1 bit的信息。如果考试成绩分甲、乙、丙、丁这4个等级,若用二进制数码表示,则必须用2位二进制数码11、10、01、00来表示这4个状态。当得知准确成绩后,就获得了2 bit的信息,因为信息是用2位二进制数码表示的。第一种情况是从及格和不及格这2个不确定的状态中得到一种确定状态,第二种情况是从甲、乙、丙、丁这4个不确定的状态中得到一种确定的状态,显然后者要比前者的信息量大,即不确定的状态数越多,所含有的信息量就越大。一般地,从 $M(=2^k)$ 个预先不确定的、等机会出现的可能状态中,得到一种准确结果后,称为得到 $k(=\log_2 M)$ bit的信息。

需要指出,在讨论通信系统的信息传递时,1位二进制数码所携带的信息量仍为1 bit。同时,在实际应用中有时也用 bit 来表示脉冲的个数和时间单位。如在30/32路PCM基群设备中,一个宽度为488 ns(纳秒)的时钟脉冲,也称为1 bit,而1 bit也代表488 ns的时间。那么2

个时钟脉冲就称 2 bit,代表 976 ns。

2) 码元

携带信息的数字单元称为码元。在数字信道中传递的数字信号的一个波形符号就是一个码元。它可能是二进制的,一个码元对应 1 bit 的信息量;也可能是多进制的,例如,在数字调相的 8PSK 中,一个八进制码元所携带的信息量为 3 bit。

1.2.2 有效性指标

在数字通信系统中,有效性指标主要以信息传输速率和符号传输速率来描述。传输速率越高,表示系统的有效性越好。

(1) 信息传输速率

信息传输速率又称比特速率是指数字通信系统在单位时间内传送的比特数,以 f_b 表示,单位为 bit/s、b/s(比特/秒)或 Kbit/s、Kb/s(千比特/秒),或 Mbit/s、Mb/s(兆比特/秒)。

(2) 符号传输速率

符号传输速率又称码元速率,是指数字通信系统在单位时间内传输的码元数,以 f_B 表示,单位为 Baud 或 Bd(波特)。

如果一个数字通信系统传送的是 M 进制码元,则该系统的码元速率 f_B 与比特速率 f_b 之间的关系为

$$f_b = f_B \log_2 M \quad (1.1)$$

显然,对二进制码元存在 $f_b = f_B$ 。

1.2.3 可靠性指标

数字通信系统中的可靠性指标主要以传输差错率来描述。差错率通常用误码率或误比特率来表示。差错率越大,表示系统可靠性越差。

(1) 误码率

误码率是指在传输的码元总数中发生差错的码元数所占的比例,以 P_e 表示:

$$P_e = \frac{\text{发生误码的个数}}{\text{传输总码数}} \quad (1.2)$$

式中,“发生误码的个数”和“传输总码数”均为同一系统同一时间所发生。显然, P_e 为平均误码率。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。国际电信联盟电信标准部(ITU-T)建议,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} ,所占的比例少于 10%。

(2) 误比特率

误比特率又称比特差错率,是指在传输中发生差错的比特数占传输总比特数的比例,以 P_{eb} 表示:

$$P_{eb} = \frac{\text{发生差错的比特数}}{\text{传输的总比特数}} \quad (1.3)$$

式中,“发生差错的比特数”和“传输的总比特数”均为同一系统同一时间所发生,因此, P_{eb} 也为平均误比特率。

另外,针对同一系统在同一时间内,对于二进制数字信号, $P_e = P_{eb}$;而对于多进制数字信号, $P_e \geq P_{eb}$ 。

1.3 数字通信的特点及其发展

1.3.1 数字通信的特点

近年来,数字通信无论在理论上还是在技术上都有了突飞猛进的发展。这除了计算机技术和大规模集成电路(LSI)高速发展的推动外,还由于数字通信本身所具有的一系列的模拟通信所无法比拟的特点。

1) 主要优点

(1) 抗干扰能力强,无噪声积累

模拟通信只能通过各种滤波器滤除干扰,但对与信号处于同一频带内的干扰几乎无能为力,并且,随着传输距离的增加,叠加在信号上的干扰噪声也随信号被同时逐级放大,而产生噪声积累,使传输质量严重恶化,如图 1.5(a)所示。

在数字通信中,只要数字信号幅度所受干扰在允许的范围,都可以通过中继再生将噪声干扰消除,恢复出与原发送信号一致的信号,做到无噪声积累(如图 1.5(b)所示),从而实现长距离、高质量通信。

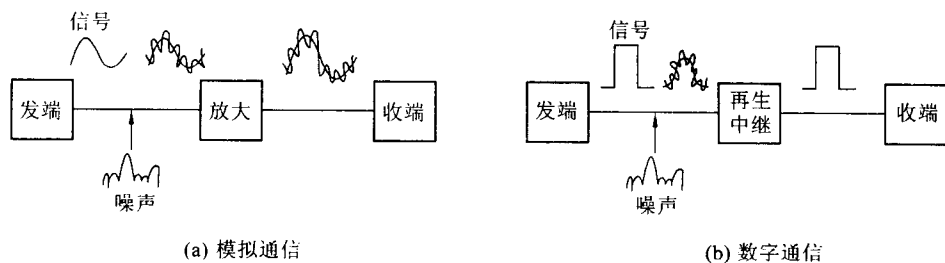


图 1.5 数字通信与模拟通信抗干扰性能比较

(2) 便于加密

通信的安全性和保密性在现实的信息社会中尤为重要。数字通信的加密只需通过简单的逻辑运算即可实现,这也是模拟通信所无法比拟的。

(3) 便于与计算机连接

由于计算机所产生、处理和接收的数字信号与数字通信中的数字信号完全一致,因此,数字通信设备可以很方便地直接与计算机连接,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。

(4) 通信设备便于集成化、小型化、智能化

数字通信设备大多由数字电路构成,而数字电路比模拟电路更易于集成化。数字信号处理技术、数字信号处理器(DSP)和各种中央处理芯片(CPU)的迅速发展为数字通信设备的智能化创造了良好条件。大规模集成电路和超大规模集成电路的出现为数字通信设备小型化的实现奠定了坚实的基础。

(5) 差错便于控制

数字信号在传输过程中出现的差错(误码)可通过纠错编码技术来控制。

(6) 便于实现综合业务数字网

综合业务数字网包括对各种通信业务的综合和数字传输、数字交换的综合等双重内容。它的一个基本要求就是网中信号传输的一致性,而数字通信很容易做到这一点。各种通信业务(电报、电话、图像和数据等)的信号都可以变换成统一的数字信号在网内传输、交换、综合、处理和分离,为现代通信提供了极大的便利,因此它也是现代通信的发展方向。

2) 主要缺点

(1) 占用频带宽

数字通信的最大缺点就是占用的信道频带宽。以电话为例,一路模拟通信电话仅占 4 kHz 带宽,而一路数字通信电话要占 64 kHz 的带宽。但随着新的宽带信道(如光缆、数字微波和卫星通信等)和频带压缩编码技术(如自适应差值脉冲编码调制(ADPCM))的使用,这一缺点已逐步得到解决。

(2) 需要严格的同步系统

在数字通信中,要准确地在收端恢复信号,必须收、发两端保持严格同步,因而也造成了数字通信系统及其设备比较复杂、庞大。

1.3.2 数字通信的发展概况及趋势

1) 数字通信的发展概况

(1) 通信发展简史

利用电手段进行实用通信,其历史可追溯到 19 世纪 40 年代。从表 1.1 所列的通信发展史重大事件中,可清楚地看到通信的发展过程。

表 1.1 通信发展史重大事件表

年 份	事 件
1834	高斯与韦伯制造出电磁式电报机
1837	库克与惠斯登制成电报机
1842	实现莫尔斯电报通信
1860	瑞斯制造第一个电话系统
1864	麦克斯韦发表电磁场理论
1866	跨接拉、欧、美的海底电报电缆安装成功
1887	赫兹所做电磁辐射实验成功
1894	洛奇表演 150 码距离无线电通信
1901	马可尼实现横贯大西洋的无线电通信
1906	非雷斯特发明真空三极管
1920	匹兹堡 KBKA 电台开始实用广播
1929	兹沃列金表演电视系统
1936	英国广播公司开始进行商用电视广播
1948	出现了晶体管;山农提出了信息论
1950~1960	微波通信线路研制成功
1960	第一个通信卫星(回波一号)发射,同时激光器研制成功
1962	开始了实用卫星通信的时代
1969	从月球发回第一个语音信息及电视图像
1961~1970	出现了有线电视、激光通信、雷达、计算机网络和数字技术,光电处理和射电天文学迅速发展
1971~1980	大规模集成电路、商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信、微处理机等迅猛发展

年 份	事 件
1981~1990	超大规模集成电路、移动通信、光纤通信广泛应用,综合业务数字网崛起
1991 以后	卫星通信、移动通信、光纤通信进一步飞速发展,高清晰彩色数字电视技术不断成熟,全球定位系统(GPS)得到广泛应用

(2) 数字通信的发展概况

数字通信作为一种新型的通信方式,早在 20 世纪 30 年代就已经提出。1937 年英国人里费提出的脉冲编码调制(PCM)方式,揭开了近代数字传输技术的序幕。但由于受当时电子技术条件限制,直到 20 世纪 50 年代前后晶体管和集成电路的发明,这一方案才得以实现。1962 年,美国经历 20 余年研制的第一台 PCM-24 路数字通信设备才开始用于市话局间中继线。由于短距离小容量 PCM 传输方式的实用价值被确认,从此数字通信进入了新的历史时期。

20 世纪 60~70 年代,为了降低每一话路的通信成本和解决电视等宽带信号的传输问题,各国相继研究了大容量远距离的数字通信系统。北美及太平洋各国以 24 路为一次群(基群)、西欧各国以 30/32 路为一次群向大容量的高次群(二次群至五次群)迅速发展,并相继进入了实用化阶段。其中以同轴电缆为传输媒介的五次群(400 Mb/s, 5 760 路)于 1977 投入使用。与此同时,相继出现的光纤通信、卫星通信和微波通信又为远距离大容量的数字通信系统提供了宽阔的新信道。特别是数字光纤通信具有宽频带、低衰减和不受电磁干扰等优点,将成为现代数字通信网的主要传输手段。

我国从 20 世纪 70 年代开始也加速了对 PCM 通信的研究。1976 年,邮电部第九研究所研制成功了我国第一套 30/32 路 PCM 基群设备,使我国通信的数字化迈出了重要的第一步。20 世纪 80 年代中期,我国的数字通信发展非常迅速,分别建成了二次群(8 Mb/s)、三次群(34 Mb/s)和四次群(140 Mb/s)的数字光纤系统并投入使用,并于 1987 年开始逐步由市话中继转向长途干线。同时,大容量的数字微波通信系统也已投入使用。20 世纪 90 年代,我国的五次群数字光纤系统实验成功,以光缆、微波为主要传输手段的长途数字干线网和以程控交换机为主的电话网正在逐步形成。

2) 数字通信的发展趋势

数字通信涉及众多技术领域,其主要发展趋势可概括如下:

(1) 数字通信基本理论和相关技术的研究

这些理论和技术主要有数字信号处理理论及技术、编码理论及技术、调制理论及技术、数字通信网理论及技术、微电子技术等。

(2) 发展大容量数字通信系统

21 世纪是信息化时代,随着人类信息交换量的大幅度增加,迫切需要发展大容量的数字通信系统。在国外,传输速率为 560 Mb/s(7 680 路电话)的五次群 PCM 系统已投入使用,1 600~8 000 Mb/s 速率的超大容量数字通信系统也已研制成功;在国内,140 Mb/s 速率的四次群 PCM 系统已投入使用,五次群 PCM 系统也已实验成功。

(3) 压缩编码技术的研究

由于通信所需频带宽度与传输速率成正比,为了降低频带占用宽度,就需要设法降低系统传输速率,故压缩编码技术就成了人们感兴趣的研究课题。目前,进一步实现压缩传输速率的主要方法有两类:一类是以自适应差值脉冲编码调制(ADPCM)和子带编码(SBC)为代表的波