

JUNDUTYUANXIAOZHUIZIDONGHUAZHUANYETONGBIANXILIEJIAOCAI

军队院校指挥自动化专业统编系列教材

通信系统原理

中国人民解放军总参谋部通信部
军训部



解放军出版社

军队院校指挥自动化专业统编系列教材

通信系统原理

中国人民解放军总参谋部通信部
军训部

解放军出版社

京新登字 117 号

书 名：通信系统原理

编著者：中国人民解放军总参谋部通信部
军训部

出版者：解放军出版社

[北京地安门西大街 40 号/邮政编码 100035]

印刷者：中国人民解放军后勤指挥学院印刷厂

发行者：解放军出版社发行部

开 本：787×1092 毫米 1/16

印 张：24.25

字 数：595 千字

版 次：2000 年 12 月第 1 版

印 次：2000 年 12 月(北京)第 1 次印刷

统一书号：75065·103

(如有印装差错,请与本社调换)

内 容 提 要

本书讲述了模拟与数字通信系统的原理及性能,介绍了通信系统基本分析方法,内容通俗易懂、深入浅出。本书可供工程技术人员使用。

军队院校指挥自动化专业统编系列教材
编 审 委 员 会

(以姓氏笔划为序)

主 任：杨千里

副 主 任：王永刚 张天林 邵军力 顾苏力

常务副主任：邵军力(兼)

委 员：卜淮原 王毓政 刘作良 刘晓明

许锦洲 李长生 吴乐华 赵世祥

姜岱源 戴 浩

办公室主任：杨海平

《通信系统原理》编写组成员

主 编：宋祖顺

参加编写：沈越泓 宋晓勤

出版说明

全军指挥自动化专业系列教材是由总参通信部指挥自动化局、训练局和总参军训部院校教育局(原院校三局)组织编写的。全套教材分大专和本科两个层次,主要供全军指挥自动化专业大专和本科教学使用,也可作为相关专业的大专、本科和研究生教学的参考书。

世界正进入信息时代,以信息技术为核心的新技术革命的飞速发展,极其深刻地影响着军事领域的变革。近几年来发生在海湾和波黑地区的局部战争表明 21 世纪战争的主要形式将是信息战。为适应这一军事发展的潮流,世界各主要国家都把军队指挥自动化系统建设及其建设人才的培养作为军队发展战略的重点。

我军从指挥自动化建设起步开始就十分重视指挥自动化建设人才的培养。我军指挥自动化专业设置由来已久,已培养了一大批从事我军指挥自动化系统建设的专门人才,为我军指挥自动化建设作出了重要贡献。为适应我军新时期军事战略方针对指挥自动化建设人才的要求,指挥自动化专业迫切需要进一步演化教学改革,提高教学质量。在专业教改讨论中,大家一致认为,指挥自动化专业急需一套体现指挥自动化专业特点的教材。为此,在上级机关的领导和支持下,编委会综合了各院校多年专业教学的经验,并广泛吸收了各方面对指挥自动化专业人才培养的意见,讨论和拟制了指挥自动化专业知识结构和课程体系。在此基础上,由有关院校推荐长期从事指挥自动化专业教学、科研工作的教师担任教材的主编。参加编写和审核的全体同志,都充分认识到编写这套教材的重要意义,克服时间紧、难度大等困难,使这套教材按预定目标完稿,并陆续出版。

编写这套教材的难点在于:指挥自动化专业是一个知识覆盖面广、

知识点新、综合性强的专业;各类院校的指挥自动化专业都各有自己的特点;指挥自动化的理论和技术正在不断发展之中。鉴于此,这套教材的编写宗旨是力求反映指挥自动化专业的知识结构,重在打好公共理论基础,注重培养掌握知识和运用知识的能力。为实现上述宗旨,教师使用教材中,还需联系各院校特点,在内容上酌情取舍和补充。

在这套教材编写中,得到总参通信部和总参军训部领导和机关、各参编单位领导及解放军出版社的关怀和支持,在此深表感谢。对各位参编和参审同志的工作精神和作出的贡献表示敬意。

全军指挥自动化教材编委会

1999.4

前 言

当今社会已进入信息时代,人类社会对通信质量的要求越来越高。通信系统已经历了从模拟到数字,从固定到移动的发展系统过程,并正朝着个人通信这一更高发展阶段努力。因而,系统地学习和掌握有关通信的基础理论,是从事通信及相关专业研究人员的共同要求。

本书是在通信工程学院 1992 年内部教材《模拟与数字通信》一书的基础上修订改编而成。改编过程中,编者对大量公式做了完整的推导、力求更加严谨、科学。同时对公式表达的物理概念作了深刻准确的解释。如匹配滤波器为什么会使输出信噪比最大? 部分响应为什么传输速率最高而响应尾巴又很小? 相关编码为什么能消除半余弦滤波器的固定干扰? 简单增量调制为什么量化失真随信号频率的提高而增大? 等等书中都结合数学推导给予物理解释。编者认为这样做特别有助于初学者能更快理解和掌握这些概念。在讲解各类线性调制、窄带调频和各类数字相位调制时,大量采用了矢量图和星座图。如残留边带的矢量图在类似的教材中没有见过。这些矢量图、星座图对阐述各类调制原理、比较它的差别与联系起到了很形象的作用。书中对一些相似而又有差异的概念,如模拟通信中衡量可靠性的均方误差和信噪比的相似与差异;载波同步、位同步及群同步作用、实现方法、性能指标的区别和联系均做了对比与分析。并对它们相似与区别的原因作了分析。这样更有利于读者深化对概念的理解。另外改编增加了部分响应、时域均衡、多进制调制(多相制、QAM 等)和现代调制及最佳接收等内容,这些内容都是现代通信原理中较新的重要内容。全书习题参考了近年研究生入学试题进行了重新编写,并将习题解附于书后以便读者参考。

原书由宋祖顺、沈越泓同志编写。改编工作由宋祖顺、宋晓勤同志完成,其中,一到八章由宋祖顺同志改编,第三章、第五章的新增内容和第九章由宋晓勤同志编写,全书由宋祖顺同志统稿。后勤工程学院卜淮原教授、通信工程学院沈振元教授审阅了初稿并提出许多宝贵意见。在编写和改编过程中还得到通信工程学院教保处,二系及无线教研室领导和许多同志的关心和帮助。在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免存在错误和不足之处,恳请广大读者不吝指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 通信发展简史	(1)
1.2 通信系统的基本模型	(2)
1.3 通信系统的分类	(4)
1.4 通信系统的主要性能指标	(6)
习 题	(8)
第二章 频谱分析	(9)
2.1 信号与系统	(9)
2.2 周期信号的频谱分析	(12)
2.3 非周期信号的频谱分析	(19)
2.4 傅里叶变换的运算特性	(22)
2.5 几种常用信号的频谱函数	(25)
2.6 信号通过线性系统和不失真传输条件	(34)
2.7 帕塞瓦尔定理及能量谱密度和功率谱密度	(36)
2.8 信号的带宽	(40)
2.9 卷积与相关	(44)
小 结	(58)
附 录 常用信号的时间函数和频谱函数	(59)
习 题	(63)
第三章 统计信号分析基础	(67)
3.1 概率论简介	(67)
3.2 随机过程	(76)
3.3 几种常见的概率分布	(85)
3.4 匹配滤波器	(90)
3.5 小结	(97)
附录 $\text{erf}(x)$ 、 $\text{erfc}(x)$ 与 x 的数值表	(97)
习 题	(98)
第四章 模拟调制	(102)
4.1 幅度调制	(102)
4.2 频分复用(FDM)	(127)
4.3 非线性调制(角度调制)	(127)
4.4 小结	(147)
附录一 贝塞尔函数表	(148)

二 贝塞尔函数曲线.....	(148)
习 题.....	(149)
第五章 数字基带传输系统.....	(151)
5.1 数字基带传输系统的方框原理	(151)
5.2 数字基带信号	(153)
5.3 基带波形的形成	(160)
5.4 码间串扰	(162)
5.5 数字基带系统的理想传输特性	(163)
5.6 无码间串扰时,噪声对传输性能的影响.....	(168)
5.7 眼图	(170)
5.8 部分响应技术	(172)
5.9 时域均衡	(178)
5.10 小结.....	(183)
习 题.....	(183)
第六章 数字调制.....	(186)
6.1 引言	(186)
6.2 振幅键控(ASK)	(187)
6.3 频率键控(FSK)	(196)
6.4 相位键控(PSK)	(204)
6.5 ASK、FSK、PSK 性能比较	(213)
6.6 多进制数字调制	(214)
6.7 其它形式的数字调制	(224)
6.8 数字信号的最佳接收	(228)
6.9 小结	(240)
习 题.....	(240)
第七章 模拟信号数字化.....	(243)
7.1 抽样定理	(243)
7.2 脉冲编码调制(PCM)系统	(248)
7.3 增量调制(ΔM)系统	(270)
7.4 小结	(278)
习 题.....	(278)
第八章 同步技术.....	(280)
8.1 概述	(280)
8.2 载波同步	(281)
8.3 载波同步系统的性能	(292)
8.4 位同步	(296)
8.5 位同步系统的性能	(303)
8.6 群同步	(306)
8.7 群同步系统的性能	(311)

8.8	群同步的保护	(314)
8.9	小结	(316)
	习 题	(317)
第九章	信道编码	(318)
9.1	概述	(318)
9.2	差错控制编码的基本概念	(320)
9.3	线性分组码	(325)
9.4	汉明码	(329)
9.5	循环码	(330)
9.6	卷积码	(335)
9.7	m 序列	(339)
9.8	小结	(343)
	习 题	(343)
习题解答		(345)
第一章		(345)
第二章		(345)
第三章		(348)
第四章		(355)
第五章		(358)
第六章		(361)
第七章		(365)
第八章		(367)
第九章		(369)

第一章 绪 论

通信是一门古老而又年青的学科,说它古老,是因为自从人类组成社会以来就有通信,说它年青,是因为它至今仍在蓬勃发展,而且展现着迷人的前景。

从一般意义来说,互通情报、交换消息就称为通信。通信学科就是研究如何有效、可靠地把消息从一地传递到另一地的科学。

1.1 通信发展简史

早在原始社会,人们就用手势、记号、语言来表达思想,传递消息,公元前 14 世纪,我国殷墟出土的甲骨文,已有边防军传送情报到殷京(现河南安阳)的记载。到了商代军队中已有通信兵,所谓“来僇告之”,僇即相当于现代的通信兵,他们是以旗、鼓、角作为通信的工具。到西周创造使用了“阴符”、“阴书”的保密通信,并建立了烽火台、邮驿,用以组织“接力”通信。然而这些通信方式还都是简单的和原始的。随着社会生产力的发展和战争的需要,人们对传递消息的要求越来越高,电的发现和利用为传递消息提供了许多新的方式,而且使消息几乎在任意通信距离上迅速、准确、方便、可靠地传送,利用电实现的通信,称为电通信,当今在自然科学中,“通信”一词,几乎变成了电通信的同义词。

电通信起源于 18 世纪末,据说开始用于军事目的是 19 世纪初,当时,欧洲正处于拿破仑战争时期,1809 年春天,奥地利军队跨过莱茵河,进犯巴伐利亚,在入侵者到达迪林根之前,国王马克西米利安就逃跑了,使他大为惊异,显然也使他得救的是以拿破仑为首的法国援军出人意料地赶到,由于法国使用了克劳德·沙布的电报,拿破仑很快就知道了奥地利入侵的消息。结果奥地利在这年的 4 月 16 日占领慕尼黑,6 天以后,就被拿破仑夺回,4 月 22 日马克西米利安又能够重返国都。快速通信的作用使国王印象很深,于是国王下令安装自己的电报系统,并通过他的总理蒙哥拉斯要求巴伐尼亚科学院进行研制。左默林设想了一个电报方案,并于 1809 年 8 月 18 日在 2000 英尺的线路上成功地进行了表演。但是拿破仑战争的结束,使得改善通信的兴趣大为减小,所以电报仍停滞在实验室研究阶段。1830 年后随着铁路发展,火车以每小时 50 英里的速度行驶,迫切需要有能与火车速度相适应的通信系统保证火车运行的调度与管理,1837 年惠斯顿和库克在伦敦和伯明翰铁路的尤斯顿和坎登镇之间安装了沿铁路线的电报表演系统,后来经过若干改进,过了 30 年建立了世界范围的电报系统。此后,通信以更快的速度发展,其中重要的发展有:

1876 年贝尔发明了电话。

1895 年马可尼和波波夫同时分别实现了无线电通信。

1929 年贝尔实验室第一次进行了电视试验。

1946 年美国制造了第一台电子计算机,到 50 年代末开始了计算机通信。

1957 年苏联发射第一颗人造地球卫星,人类开始了空间通信。

1962 年美国发射第一颗通信卫星,卫星通信步入实用阶段。

1966 年美籍华人高锟提出了光纤通信的设想,十多年后实现了光纤通信。

1970 年第一部商用数字时分程控电话交换机在法国投入使用。

1978 年美国贝尔实验室研制成功模拟蜂窝制移动电话系统。

1985 年英国电信公司开设了综合业务数字网。

1986 年欧洲推出泛欧数字移动通信网(GSM)1991 年 GSM 在欧洲开始商用。

1989 年美国奎克姆(Qualcomm)公司开始码分多址(CDMA)数字蜂窝移动通信实验,1993 年生产出第一批双模式移动台,此后 CDMA 席卷世界。

1991 年美国国防部“易通话”(Speakeasy)计划提出软件无线电概念,1994 年 10 月完成第一阶段计划,并进行演示。

1991 年美国戈尔提出“信息高速公路法案”,很快得到世界各国响应,全球掀起信息高速公路热潮。

1994 年,国际最大的计算机互联网络 internet 网商业化,实现了世界范围的网络资源共享。

1996 年国际电信联盟(ITU)提出名为 IMT-2000(国际移动通信 2000 年)的灵活的无线接入标准。1998 年 6 月 ITU 收到包括中国提出的方案在内的共 15 种方案。第三代移动通信系统处于起步研究阶段。

随着世界通信技术的发展,我国通信事业特别是在改革开放以来得到蓬勃发展。通信网平台加专门应用信息系统构成的中国高速信息网正在建设之中。以光纤为骨干辅以微波、卫星信道的“八纵八横”高速传输系统将覆盖全国。金桥、金关、金卡、金税、金企、金农、金智、金策等“八金工程”是九五期间重点建设的八大信息工程。随着通信事业的发展和市场需求,信息产业和信息服务已成为国民经济的重要部门,光纤、微波、卫星、移动、交换和终端等设备的生产与研制已成为信息产业的支柱。与此同时,以电信部门为主的各种信息服务也在不断完善和发展。迄今通信不仅能迅速、准确、方便、可靠地传递消息,而且通信的内容和形式不断丰富。新的通信系统已超出了人与人之间通信的范围,特别是数字通信的发展,使人通过计算机可与各种机器进行通信,未来家庭的一个综合数字终端系统,不仅可以打电话,而且可以在电视中与对方“见面”;可以选看全国以至全世界你所喜欢的电视节目,可以与各种数据库、图像库、音乐库、影片库等进行通信,获得你所需的节目;查阅、复印各种文献资料;可以在家里订票;在荧光屏前购物;可以在家里参加各种会议和讨论;可以在家里工作和接受教育;生了病,可以接受著名医生的远距离诊断治疗;可以直接指挥机器人讲话,指挥它做各种家务,同你下棋,为你唱歌跳舞等等。可以说通信必将渗透到人类生产、生活的各个领域,它对国民经济发展,人民物质文化生活的提高甚至包括学习、工作、生活方式的改善等方面将发挥越来越大的作用。有幸和有志在通信领域中工作的人们,让我们为通信的现在和未来而努力奋斗吧!

1.2 通信系统的基本模型

前面已经说过,通信是把消息从一地传送到另一地。譬如说从甲地传送到乙地,那么甲地称为发信端,乙地称为接收端。以最简单的通信方式——面对面交谈为例,讲话是表达消息的一种方式,发话人是消息的来源,称为信源,语音通过空气传到对方,这传递消息的媒质称为信

道,听话者听到后获得消息,是消息的归宿,这样就完成了消息的传递,也就构成了通信系统,这个过程我们可以用图 1.1 表示:

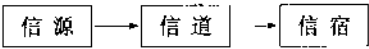


图 1.1 通信系统简图

对电通信而言,诸如语言、报文、图像等一类原始消息首先要变换成电量,因此在发信端要加入输入变换器,为使变换器产生的电量能适合信道传送的要求,在发信端还必须有发送设备。在接收端要完成相反的过程,因此接收设备和输出变换器是必不可少的,由于发送、接收设备和信道不可避免地要引入噪声,通常我们把所有可能产生的噪声归结存在于信道中,图 1.2 便是通信系统的基本模型。

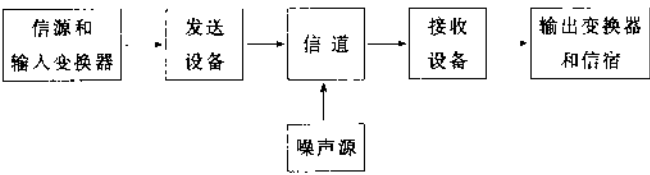


图 1.2 通信系统基本模型

实际通信系统形式虽然很多,但总包括这五个部分,下面我们对每个方框详细说明如下:

信源和输入变换器——信源是消息的来源,通常消息是非电的,因此必需把来自信源的消息转变成随时间变化的电量,这个电量称为信息信号或基带信号。这个过程是由输入变换器完成,如语音激励的送话器,电视摄像机,光电输入机等就属这类输入变换器。

发送设备——发送设备是把输入信号联接到信道上,虽然有时发信机的输入信号直接加到信道上可行的,但为了加工信号,使信号满足信道传送的各项要求,发送设备常常是必要的,由发送设备完成的信号加工工作主要包括放大、滤波和调制。在这些加工中最重要的是调制。通过调制,使被传送信号的特性与信道的要求相匹配。

信道——信道是信号的通道。信源与信宿在物理上往往是分开的,信道提供了信源与信宿之间在电气上的联系。信道具有许多不同的形式,例如自由空间上的短波无线电信道,双导线电缆或光纤、卫星或微波接力等等,都是常见的实际信道。

噪声源——噪声源与上述不同,它不是人们有意加入的设备,它是通信系统中各种设备以及信道中固有的,而且是人们不希望存在的。在通信系统中,某些点的噪声与信号相比可以忽略(如发信机中)所以不考虑噪声的影响,然而在有些点,噪声与信号功率相当,甚至噪声超过信号,这样噪声将严重地降低通信系统的性能,通信系统设计的主要任务就是同噪声作斗争。通信系统中的噪声从来源分为:系统中各部件自身产生的内部噪声和外部噪声源对系统的作用而引起的外部噪声。由于信道对传输信号有衰减,在信道输出端信号常常是最小的,同时外部噪声往往是从信道引入,加之内部噪声,在这里噪声的影响最为严重,因此把噪声抽象为从信道加入,对分析通信系统性能是合适的。而且这样处理噪声对分析问题带来了方便。

接收设备——接收设备是从来自信道的各种微弱传输信号和噪声中选择所需要的信息信号。接收机主要是通过解调过程来完成这个功能,而解调是发信设备调制过程的逆过程,由于

存在噪声和有用信号的畸变,接收机不一定能完全地再现信息信号。接收设备研究的重要课题就是采用什么样的调制方式才能有效地克服和减小噪声和其它信号的影响。接收设备除了完成解调任务之外,还将为信号提供放大和滤波。

输出变换器和信宿——信宿是信息的归宿,也就是信息的接收者。比如传送的是语音信息,接收者是用耳朵听,人耳接收的是语音的振动,因此还需要把接收设备复制的电信号变换成接收者能接受的消息,如语音振动。这种设备就是输出变换器,输出变换器有许多种,如耳机、扬声器、电视屏幕、潜孔机、磁带记录仪、打印机等等。都是典型的输出变换器。

1.3 通信系统的分类

前面已经说过,随着通信的发展,通信的内容和形式不断丰富。因此通信的种类层出不穷。通信的种类很难列举齐全。按照不同的分类法,通信就有不同的种类,常见的分类法有:

——按收发两地有没有一条具体的线路相联接来区分,则通信分为有线通信和无线通信。常见的架空明线、电缆、波导管和光缆均属有线通信,而中、长、短波通信,微波接力通信、卫星通信、散射通信等均属无线通信。

——按消息的形式分,如传送的消息是语音则称为电话,传送的消息为文字、符号则为电报、传送的是固定图像为传真,传送的是活动图像为电视。

——按信号性质分,传送模拟信号的通信为模拟通信,传送数字信号的为数字通信。

前两种分类法,是我们人家都很熟悉的,为搞清第三种分类法,我们有必要把模拟信号与数字信号加以介绍。

凡信号的某一参量可以取无限多个值,并且直接与消息对应的信号称为模拟信号。

语音激励话筒而产生的信号,如图 1.3 所示。

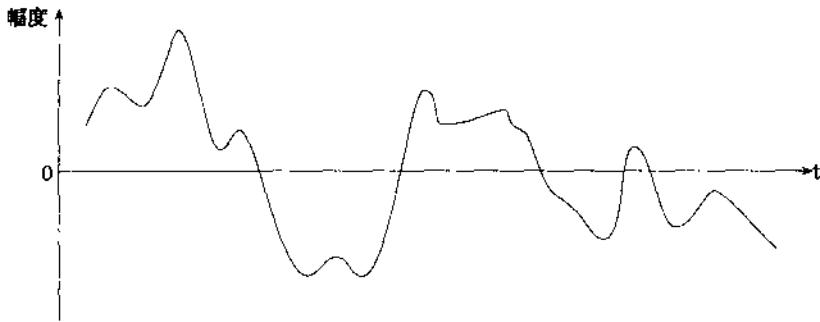


图 1.3 语音信号

语音信号不但在时间上连续,而且它的幅度有无穷多个取值,并且其值的大小与语音强弱一一对应,显然它是模拟信号。

凡信号的某一参量只能取有限个值,并且常常不直接或者不准确地与消息对应的信号称为数字信号。

莫尔斯电报信号如图 1.4 所示。该信号的幅度只能取 0V 和 1V 两个值,它是靠取值变化的排列表示消息,因此它只能间接地与消息发生联系。因此它是数字信号。

图 1.5(a)是电视摄像机输出的亮度信号,它在时间上虽然与莫尔斯电报信号相似,是离散的,但亮度信号的幅度可以取无穷多种数值,其值大小与被摄物体亮度一一对应,因此它是模拟信号。图 1.5(b)是二相调相信号,从时间上看它虽然是连续变化的信号,但因为这种信号的相位只有两个取值(例如不是零相就是 π 相),因此它是数字信号。由此可见模拟信号与数字信号区别的关键是表示信息的信号参量的取值数量。取值为无限,必然能与消息一一对应,则为模拟信号;取值有限,只能间接地或不准确地与消息对应,则为数字信号。

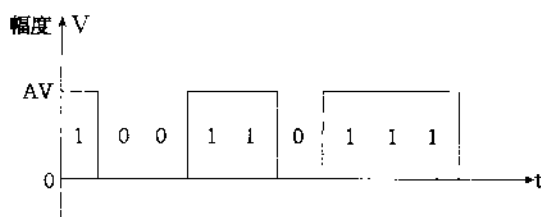


图 1.4 莫尔斯电报信号

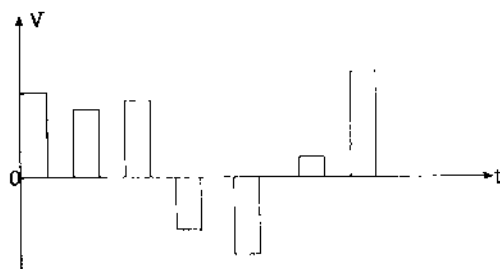
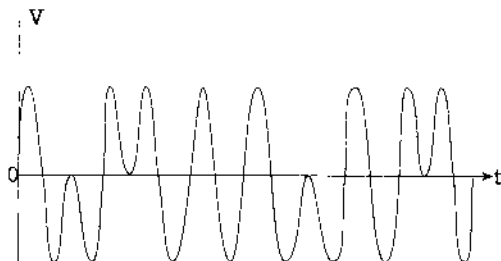


图 1.5(a) 亮度信号



(b) 二相调相信号

以上我们说明了模拟信号及数字信号,我们把传送模拟信号的通信系统则称为模拟通信系统,传送数字信号则称为数字通信系统。

应当指出,并非模拟信号一定要在模拟通信系统中传输,如有必要模拟信号也可在数字通信系统中传输,不过此时应先把模拟信号变换成数字信号即模/数变换,经数字通信系统传输后,在接收端再进行相反的变换,即数/模变换,以还原为原模拟信号。数字电话系统就是以数字方式传输语音模拟信号的例子。同样数字信号也并非一定要在数字通信系统中传输,只要对模拟通信系统或数字通信设备加以适当的改造,数字信号也可在大量现有的模拟通信系统中传输。

尽管低级的电报通信可视为数字通信,它出现最早,但自从电话发明以后,模拟通信获得了极大的发展,长期以来模拟通信占据了通信的统治地位。但是在本世纪六十年代以后,数字通信日益兴旺起来,随着电子计算机和各种数据处理机的广泛应用及电子计算机网络的逐步形成,数据传输量急剧增加,对数字通信提出了更高更迫切的要求,比起模拟通信,数字通信有如下优点:

第一,数字传输的抗噪声(或抗干扰)的能力强,尤其在中继时,数字信号还可以再生而消除噪声的积累。

第二,传输中的差错可以设法控制,不但可以发现而且还能改正。因而大大提高了传输质量。

第三,便于同计算机联接,采用现代计算机技术对数字信息进行处理,以便实现通信现代化、自动化。

第四,数字信息易于加密且保密性强。

第五,由于数字集成电路,特别是大、中规模集成电路技术日益成熟,数字通信设备越来越易于制造,成本低、体积小、可靠性高。

第六,与模拟通信相比数字通信可以传输种类更多的消息,使通信系统变得通用、灵活。

但是数字通信也有它的不足之处,这就是目前它比模拟通信占据更宽的频带。比如一路模拟电话通常只占据4千赫带宽,但一路数字电话可能要占据几十千赫带宽,不过随着语音压缩编码技术的发展,带宽将逐步减小。本书的重点放在数字通信,但考虑到目前还大量存在的模拟通信系统,因此对模拟通信的内容还应当适当兼顾。

1.4 通信系统的主要性能指标

人们对通信系统的要求是多方面的,评价通信系统的优劣将涉及到信息传输的有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性甚至还包括设备的造型是否美观大方,维修是否方便等等,但是在名目繁多的要求中起着主导决定作用的是有效性和可靠性。有效性是通信系统传输信息速度的表征,而可靠性是通信系统传输信息质量上的要求。人们总是希望通信系统传输的信息既快又准确,即既有效又可靠。然而有效性与可靠性两者却是矛盾的,这对矛盾只能依据实际要求取得相对的统一。例如在满足一定可靠性的指标下,尽量提高传输速度,或者在维持一定有效性的前提下,使消息传输的质量尽量提高。在模拟通信系统与数字通信系统中的有效性与可靠性有着不同的含义,现分别介绍如下:

一、模拟通信系统的有效性和可靠性

模拟通信系统的有效性是取决于消息所含的信息量和对连续消息的处理,前者主要是对消息进行加工,比如语言精炼,使之包含更多的信息等,后者常用有效传输频带来衡量。例如对连续语音处理,若进行单边带调制它比双边带调制节约一倍的有效传输带宽,因此单边带制有效性较高。

模拟通信的可靠性是用均方误差 ϵ 来衡量:

$$\epsilon = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [x'(t) - x(t)]^2 dt \quad (\text{时间平均}) \quad (1.1)$$

$$\text{或} \quad \epsilon = E\{[x'(t) - x(t)]^2\} \quad (\text{统计平均}) \quad (1.2)$$

式中 $x(t)$ 为原信号, $x'(t)$ 为复制信号, E 为数学期望,显然 $x'(t) = x(t)$ 时,均方程差为零。

模拟通信中的误差是由两方面原因造成,第一是由于信号在传输过程中叠加上噪声所产生的,我们称之为加性干扰产生的误差。第二是由于信道传输特性的不理想产生的误差,一般称为乘性干扰产生的误差,乘性干扰是随信号的消失而消失,由它而产生的误差我们常常用更具体的性能指标来表述,如用于通话的通信系统常采用保真度,可懂度、清晰度等指标来衡量。乘性干扰一般来说可以通过正确设计电路工作状态和选择良好的元器件或降低信号电平而大大减少。至于加性干扰,在通信系统中常常难以避免,而且加性干扰大小不随信号大小而变。对它的影响,我们常常用信噪比 S 来衡量。