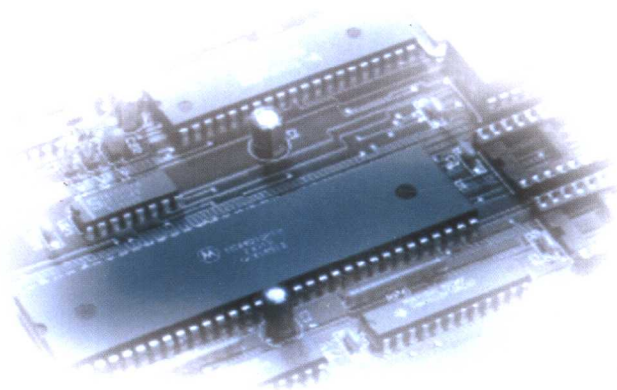


高职高专电子技术系列教材

现代通信技术

XIANDAI TONGGXIN JISHU

副主编 段吉海
主编 庄宜松



重庆大学出版社

现代通信技术

主 编 庄宜松
副主编 段吉海

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了现代通信技术的基本原理和技术要点,同时也介绍了现代通信系统的基本组成、新技术和发展趋势。

全书共分8章,第1章介绍通信技术的基本概念和系统指标;第2章介绍模拟通信技术,主要目的是保持知识的连贯性;第3章介绍模拟信号的数字传输,建立数字通信和模拟通信的有机联系;第4章介绍复用与数字复接技术,包括在模拟通信中常用的频分复用和最新的SDH复接的基本原理;第5章介绍数字信号的基带传输,主要包括数字基带信号的传输办法、码间串扰的概念和克服的方法;第6章介绍数字信号的频带传输,主要是二进制数字调制的原理和方法,以及对现代数字调制技术的了解;第7章是差错控制编码,主要介绍差错控制的基本理论以及几种常见的差错控制编码;第8章是现代通信系统,主要介绍几种正在使用中的现代通信系统,如卫星通信、移动通信和光纤通信等的系统构成和技术特点。

本书可作为高职高专通信、电子类专业或同等学历相近专业的教科书,也可供相应专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术/庄宜松主编. —重庆:重庆大学出版社,2004.5

(高职高专电子技术系列教材)

ISBN 7-5624-3075-6

I. 现... II. 庄... III. 通信技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第014408号

现代通信技术

主 编 庄宜松

副主编 段吉海

责任编辑 曾令维 何建云 版式设计 曾令维

责任校对 蓝安梅 责任印制 张立全

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鹤盛

社址 重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编 400030

电话 (023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:268千

2004年5月第1版 2004年5月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-3075-6/TN·80

定价:16.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

本书是重庆大学出版社高职高专系列教材之一。为适应高职高专教育的需要,针对高职高专学生的实际情况,依据“够用为度、重在实用”的原则,在总结了许多工作在高职高专教育第一线的教师的经验和现代通信技术发展成果的基础上编写成本书。

根据职业技术教育的特点,本书在编写过程中放弃了以前对教材的“系统性、完整性”的强调,而把重点放在“实用性”方面,强调理论和实际的结合。同时加强了课程之间的融合,打破原有的课程界限,将以前分别在《通信原理》、《通信系统》、《数字通信原理》、《光纤通信》、《移动通信》、《卫星通信》等课程的内容有机地结合在一起。使学生在有限的学时内掌握现代通信技术的基本原理和系统构成,了解现代通信技术的新成果和发展的新趋势。

本书共分八章,主要以数字通信技术为主,对数字基带信号的传输、数字信号的频带传输、差错控制编码等数字通信原理做了简明实用的分析,同时兼顾到知识的连贯性,也编入了模拟通信技术、模拟信号的数字传输、复用与复接等数字与模拟结合的技术内容,并简要介绍了几种现代通信系统的实际组成与应用。删除了传统的《通信原理》课程中的大量繁冗的数学运算,以简单明了的语言,将现代通信技术的基本原理和系统构成基本阐述清楚。

本书由庄宜松编写第1章和第8章,段吉海编写第6章和第7章,田永毅编写第4章和第5章,谢忠福编写第2章和第3章。庄宜松担任主编,负责全书的统稿工作,段吉海担任副主编。

本书能够顺利出版,得到了各参编教师所在院校领导的大力支持,离不开重庆大学出版社理工一编室的编辑同志们的辛勤劳动,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2004 年 1 月

目 录

第 1 章 通信技术概论	1
1.1 通信的基本概念	1
1.1.1 通信的定义	1
1.1.2 通信的发展	1
1.2 通信系统的分类与构成	2
1.2.1 通信系统的分类	2
1.2.2 通信系统的构成	3
1.3 信道与噪声	5
1.3.1 信道的定义与分类	5
1.3.2 信道中的噪声	6
1.3.3 信道容量的概念	7
1.4 通信系统的主要性能指标	8
1.4.1 模拟通信系统的技术指标	8
1.4.2 数字通信系统的技术指标	8
本章小结	9
习题 1	10
第 2 章 模拟通信技术	11
2.1 模拟通信系统概述	11
2.1.1 模拟通信系统的构成	11
2.1.2 调制的意义与分类	12
2.2 模拟基带信号传输	13
2.3 线性调制	14
2.3.1 双边带调制(DSB)	15
2.3.2 振幅调制(AM)	16
2.3.3 单边带调制(SSB)	18
2.3.4 残留边带调制(VSB)	19
2.3.5 线性调制通信系统的抗噪声性能	20
2.4 非线性调制(角调制)	22
2.4.1 角调制的概念和分类	22
2.4.2 FM 波的产生和解调	23

2.4.3 调频系统的抗噪声性能分析	25
2.4.4 加重技术	26
2.5 各种模拟通信系统的性能比较	27
本章小结	29
习题 2	29
第 3 章 模拟信号的数字传输	31
3.1 概述	31
3.2 脉冲编码调制(PCM)	32
3.2.1 抽样定理	32
3.2.2 脉冲幅度调制(PAM)	34
3.2.3 量化	34
3.2.4 编码	37
3.2.5 PCM 解码	41
3.2.6 PCM 系统的抗噪声性能	42
3.2.7 PCM 集成编、译码器	43
3.3 增量调制(ΔM)	44
3.3.1 简单增量调制(ΔM 或 DM)	45
3.3.2 改进型增量调制系统	46
3.4 自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	48
3.4.1 差分脉冲编码调制(DPCM)	49
3.4.2 自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	50
3.5 PCM 和 ΔM 系统性能比较	51
本章小结	52
习题 3	52
第 4 章 复用与数字复接技术	54
4.1 频分复用(FDM)	55
4.1.1 频分复用原理	55
4.1.2 模拟电话多路复用系统	55
4.2 时分复用(TDM)	57
4.2.1 时分复用原理	57
4.2.2 30/32 路 PCM 基群帧结构	58
4.3 数字复接技术	60
4.3.1 数字复接原理	60
4.3.2 码速调整	62
4.3.3 二次群帧结构	63
4.4 SDH 复接原理	64
4.4.1 SDH 的特点	64

4.4.2 SDH 的帧结构	66
4.4.3 SDH 复接原理	67
本章小结	68
习题 4	69
第 5 章 数字基带传输系统	70
5.1 数字基带传输概述	70
5.2 数字基带信号及其频谱特性	71
5.2.1 数字基带信号	71
5.2.2 数字基带信号的频谱	72
5.3 数字基带传输常用码型与码型变换	73
5.3.1 数字基带传输常用码型	74
5.3.2 码型变换的基本方法	76
5.4 码间串扰产生的原因及消除方法	77
5.4.1 码间串扰产生的原因	77
5.4.2 消除码间串扰的方法	78
5.4.3 眼图	79
本章小结	80
习题 5	81
第 6 章 数字信号的频带传输	82
6.1 二进制数字调制与解调原理	82
6.1.1 二进制振幅键控调制(2ASK)	83
6.1.2 二进制频移键控调制(2FSK)	85
6.1.3 二进制相移键控调制(2PSK)及二进制差分相移 键控(2DPSK)	87
6.2 多进制数字调制系统	90
6.2.1 多进制数字振幅键控(MASK)	90
6.2.2 多进制数字频率键控(MFSK)	91
6.2.3 多进制数字相移键控(MPSK)	92
6.3 数字调制系统的性能比较	96
6.3.1 二进制数字调制系统的性能比较	96
6.3.2 多进制数字调制系统的性能比较	97
6.4 现代数字调制技术	97
6.4.1 正交振幅调制(QAM)	97
6.4.2 最小频移键控(MSK)	99
6.4.3 高斯最小频移键控(GMSK)	100
6.4.4 扩频调制	101
本章小结	104

习题 6	104
第 7 章 差错控制编码	106
7.1 概述	106
7.1.1 差错控制编码的概念	106
7.1.2 差错控制方式	106
7.1.3 纠错码的分类	108
7.1.4 纠错编码的基本原理	108
7.2 几种常用的简单编码	110
7.2.1 奇偶校验码	110
7.2.2 行列监督码	110
7.2.3 恒比码	110
7.2.4 正反码	112
7.3 线性分组码	112
7.3.1 基本概念	112
7.3.2 汉明码	112
7.3.3 循环码	113
7.4 卷积码	115
本章小结	116
习题 7	116
第 8 章 现代通信系统	117
8.1 数字微波通信系统	117
8.1.1 微波通信概论	117
8.1.2 数字微波通信系统的组成	118
8.1.3 数字微波通信网的构成形式	118
8.1.4 数字微波通信系统主要设备工作原理	119
8.2 卫星通信系统	123
8.2.1 卫星通信概论	123
8.2.2 卫星通信系统的构成	125
8.2.3 卫星通信多址连接方式	125
8.2.4 VSAT 卫星通信系统	128
8.2.5 INTELSAT 卫星通信系统	129
8.2.6 INMARSAT 卫星通信系统	130
8.3 移动通信系统	132
8.3.1 移动通信概论	132
8.3.2 GSM 数字蜂窝移动通信系统	136
8.3.3 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	139
8.3.4 数字无绳电话系统	140

8.3.5 第三代移动通信系统(3G)	142
8.4 光纤通信系统	143
8.4.1 光纤通信概论	143
8.4.2 数字光纤通信系统的组成	145
8.4.3 波分复用(WDM)技术	149
8.5 计算机通信与网络	150
8.5.1 计算机通信概论	150
8.5.2 计算机网络的组成与分类	151
本章小结	151
习题8	152
附录	154
通信专业常用英文缩略词	154
参考文献	159

第 1 章

通信技术概论

【本章提要】本章主要介绍通信技术的基本概论。通过对本章内容的学习,掌握通信的基本概念,如通信的定义、通信系统的分类与构成,理解通信系统的主要性能指标和对通信质量造成影响的主要因素如信道、噪声等。同时了解通信的发展历史。

1.1 通信的基本概念

1.1.1 通信的定义

通信(communication)的一般定义是指人类利用自身所掌握的各种技术手段,克服空间的限制,完成不同的地点之间的信息传递与交换。信息交流是人类的生产和社会生活的客观需要,人们利用各种不同的方法以完成信息的交流,如古代的烽火台、消息树和近代的信号灯,现代的电报、电话、传真等。伴随着人类社会生产力的发展,电和无线电被相继发明,利用电信号完成信息传递的方法被不断完善。以至于现代“电信(telecommunication)”几乎就成了“通信”的代名词,所以本书所述“通信”如无特殊说明均指“电信”。也就是说,本课程所讨论的“通信”可以重新定义为:利用电子等技术手段,借助于电信号(含光信号)实现的两个或两个以上不同地点之间的信息传递与交换。

1.1.2 通信的发展

远古时代,人类的生产力不发达,需要远距离传递的消息往往以书信的形式,通过人力或畜力(马匹等)的长途传递完成,这种实物或文字信息的传递需要的时间较长。而对于较为紧急的事情如外敌入侵等则依靠“烽火台”传递消息,其信息量又十分有限。存在着信息传递的传递时间与信息量的矛盾,人们为了在尽量短的时间内传递尽量多的信息,不断地尝试所能找到的各种最新技术手段。随着电的发明,人们开始尝试利用电来传递信息。1835年莫尔斯电码出现,1837年发明的莫尔斯电磁式电报机标志着电信时代的正式开始。之后,利用电进行通信的研究取得了长足的进步,在信息传递的数量、传播的速度和范围等方面均获得了迅速的发展,于1866年利用海底电缆实现了跨大西洋的越洋电报通信。1876年贝尔发明了电话,利

用电信号实现了语音信号的有线传递,使信息的传递变得既迅速又准确。随着无线电的发明,1896年马可尼发明了无线电报,并于1901年实现了横跨大西洋的无线电报通信。电子管的发明,使微弱的电信号可以被放大,从而使电报、电话的传播距离变得更远。

进入20世纪以来,随着晶体管、集成电路的出现与普及,无线通信迅速发展。特别是在20世纪的后半叶,伴随着人造地球卫星的发射,大规模集成电路、电子计算机和光导纤维等现代科技成果的问世,通信技术在以下几个不同的方向上都取得了巨大的成功。①微波中继通信使长距离、大容量的通信成为现实;②移动通信和卫星通信的出现,使人们随时随地通信的愿望得以实现;③光导纤维的出现更是将通信容量提高到了以前想象不到的地步;④电子计算机的出现,则将通信技术推上了更高的层次,借助现代电信网和计算机的合作,人们将世界变成了地球村;⑤微电子技术的发展,使通信终端的体积越来越小,成本越来越低,范围越来越广。

随着现代电子技术的发展,通信技术正在向着数字化、网络化、智能化和宽带化的方向发展。信息的内容与格式也向着多样化、多媒体化转变。使用方法更加个性化。随着科学技术的进步,人们对通信的要求会越来越高,各种新技术不断地应用于通信领域,各种新的通信业务将不断地被开发出来。人们的生活将越来越离不开通信。

1.2 通信系统的分类与构成

1.2.1 通信系统的分类

(1) 按信号特征分类

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以将通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。

凡信号的某一参量(如振幅、频率、相位等)可以取无限多个数值,且直接与消息相对应的,称为模拟信号。凡信号的某一参量只能取有限个数值,且常常不直接与消息相对应的,称为数字信号。从信号的特征上来看,模拟信号常常又被称为连续信号,数字信号常常又被称为离散信号。但并非所有时间上离散的信号就一定是数字信号,而时间连续的信号也不一定就是模拟信号,如时间上离散的PAM信号实际上是一种模拟信号,而时间上连续的FSK、PSK(将在第6章中说明)信号却是数字信号。

(2) 按传输媒质分类

通信系统按照使用的传输媒质的形态可以分成有线通信系统和无线通信系统两大类。典型的有线通信系统如电话、有线电视、海底光缆等,需要依靠如架空明线、同轴电缆、光导纤维或波导管等有形的传输媒质完成通信任务。而典型的无线通信系统如广播、微波通信、卫星通信等均是依靠电磁波在空间的传播来完成通信。

(3) 按传输方式分类

根据信号在传输的过程中是否进行了调制,可将通信系统分成基带传输和频带传输两种。一般由消息直接转换得到的信号称为基带信号,传输基带信号的通信系统称为基带传输系统。经过调制后的信号称为已调信号或频带信号,如果通信系统中传输的信号是频带信号,则称该

系统为频带传输系统。

(4) 按工作波段分类

按照通信系统工作的不同频段可以将其划分为长波通信、中波通信、短波通信和光通信等。

(5) 按通信终端可否移动分类

按通信终端是否具备移动的条件划分,可将通信系统划分为固定通信系统和移动通信系统。

(6) 按多址连接方式分类

按不同的多址连接方式可将通信系统分成频分多址通信、时分多址通信和码分多址通信。

(7) 按通信业务类型分类

通信系统按通信业务类型划分,可分为话务通信和非话务通信。电话作为话务通信的代表一直在通信领域中占据着重要的地位。而随着科技的发展和人类生产、生活的需求的提高,以及计算机和因特网的普及,各种数据通信、图像通信等非话务业务量大幅度地增长。

(8) 按信道的复用方式分类

通信系统的多路信号传输主要有三种信道复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。传统的模拟通信系统主要使用频分复用方式,随着数字通信系统的普及,时分复用方式和码分复用方式的应用也渐渐地越来越广泛。

1.2.2 通信系统的构成

通信系统是用于完成信息传输的全部设备和传输媒介的总称。其基本模型如图 1.1 所示。由信源、发送设备、接收设备、信宿和信道组成。

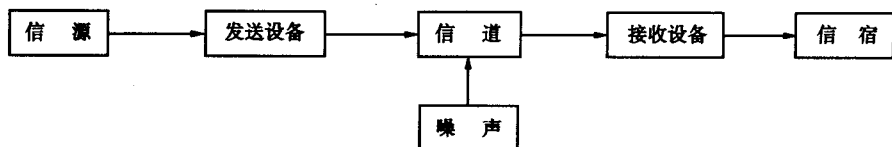


图 1.1 通信系统基本模型

信源又称为信息源或发终端,是信息的产生地,是各种消息转换成电信号的转换器,信源输出的信号称为基带信号。根据消息的内容不同,信源可以分成音频信源、视频信源和数据信源等。而根据转换后输出的基带信号的类型,又可将信源分为模拟信源和数字信源。

发送设备是用于将信号发送出去的设备和电路的总和的概念,包含很多具体的电路和设备。主要作用是将信源产生的基带信号转换成适合于信道传输的频带信号。发送设备的典型组成包括在模拟通信系统中的调制、放大、滤波和发射等功能模块,以及在数字通信系统中特有的编码、加密等功能模块。

信道是信号传输的通道,其对信号的传输性能直接影响系统的通信质量。从形态上划分,信道主要分成有线信道和无线信道两种。

接收设备也是若干设备和电路的总称,其作用与发送设备的作用正好相反。接收设备主要完成从接收到的信号中正确恢复原始基带信号的工作,如解调、译码等。

信宿又称为受信者或收终端,是信息传输的终点。其作用是将电信号转换成原来的消息。

图中的噪声不是人为制造的设备。在通信的过程中,通信设备要受到来自系统内外各方

面的噪声干扰,通信的各个环节以及每一台设备都有可能产生噪声。为了方便地分析问题,将各种噪声源汇总归一等效为由信道引入。

针对模拟通信系统和数字通信系统各自的特点,下面分别进行讨论。

(1) 模拟通信系统

模拟通信系统信道中传输的是模拟信号。其系统模型如图 1.2 所示。

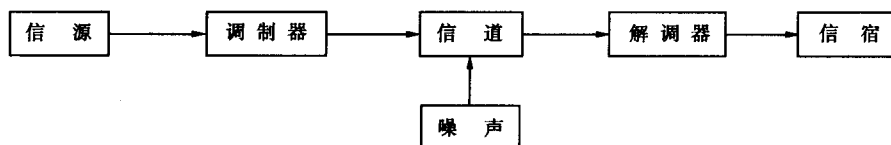


图 1.2 模拟通信系统模型

从图中可以看出,模拟通信系统的模型与图 1.1 所示的通信系统基本模型非常相似,其工作过程主要完成两类变换:一类是原始消息和电信号的相互转换,把原始消息转换成电信号的过程由信源完成,把电信号恢复成为原始消息信号的过程由信宿完成;另一类是基带信号和频带信号的相互转换,把信源发出的基带信号转换成适合信道传输的频带信号的过程由调制器完成,把接收到的频带信号转换成基带信号的过程由解调器完成。除此以外,通信系统完成通信任务尚需要完成滤波、放大、发射、接收和控制等过程。只是相对于前述的两类变化来说,这些过程不起决定性的作用。所以我们将把讨论的重点放在两类信号的转换过程上。

基带信号由于下限频率较低、相对带宽较大,不太适合在信道中传输,一般均把它变换成为较适合于信道传输的频带信号。频带信号又称为已调信号,通常具有以下三个特点:①携带有基带信号的信息;②相对于基带信号具有较高的频率成分;③相对于基带信号具有较小的相对带宽,便于在信道中传输。

模拟通信系统按照调制方式的不同又可分为连续波调制系统和脉冲波调制系统,前者包括振幅调制系统、频率调制系统,后者包括脉冲幅度调制、脉冲相位调制和脉冲宽度调制等系统。

模拟通信系统具有占用频带宽度较窄、频带利用率较高和设备简单、成本较低的优点。同时也具有抗干扰能力差,不易保密,以及不易集成化和不便于与计算机连接等缺点。使得模拟通信系统的使用量越来越少。

(2) 数字通信系统

信道中传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。数字通信系统的一般模型如图 1.3 所示。

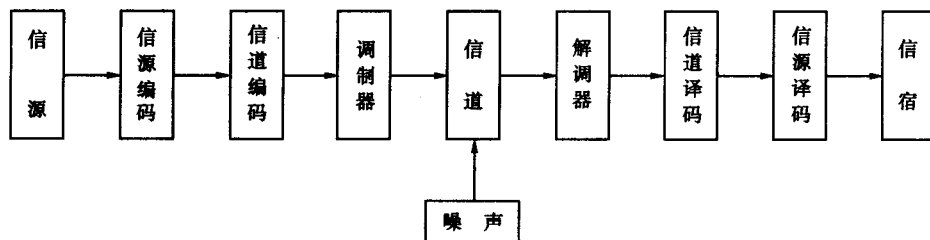


图 1.3 数字通信系统模型

从图中可以看出,数字通信系统与模拟通信系统相比就是在调制器之前增加了两个编码器,相应地在解调器之后增加了两个译码器。其余部分与模拟通信系统基本一致。

信源编码的主要任务是完成信号的模/数转换和数据压缩,如果信源送来的是模拟信号,那么信源编码还需包含一个将模拟信号转换成数字信号的数/模转换器。信源编码可以提高通信系统的有效性。接收端的信源译码的作用与信源编码刚好相反。

信道编码又称为抗干扰编码或纠错编码,它将信源编码器输出的数字基带信号按照一定的规律人为地加入多余码元,以便在接收端的信道译码器中发现或纠正码元在传输过程的错误,这样可以降低码元传输的错误概率,提高通信系统的可靠性。

调制器对经过前述两种编码得到的数字基带信号进行调制,调制的方法可以和模拟通信的调制方法一致,但考虑到数字信号的特点,数字调制往往采用键控方式调制,如振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK)。解调也相应地可以采用与模拟调制一致的方法,但更多地采用与三种键控调制相对应的专用解调器。

数字通信系统还有一个未在模型中表现出来的同步问题。数字通信系统收发两端必须同步,即建立一种收发两端相对一致的时间关系,如此方能确定每一码元的起止时刻,并确定接收码组和发送码组之间的正确对应关系。同步的种类主要有:位同步、码元同步、帧同步和载波同步等。

数字通信和模拟通信相比,具有以下优点:

- ①抗噪声性能好。
- ②接力通信时可采用再生中继的办法消除噪声积累,实现高质量、远距离通信。
- ③由于采用了信道编码技术,通信误码率大为降低,也提高了通信的可靠性。
- ④便于加密,保密性好。
- ⑤便于与计算机等数字终端设备连接,可以方便地实现数字信号的处理、存储和交换。
- ⑥便于集成化,使数字通信设备的成本迅速降低。

当然,数字通信系统也有一些缺点,如系统和设备较复杂、占用频带较宽等。其中最突出的就是占用频带过宽问题。然而,随着卫星通信、光纤通信等宽带通信技术的日益发展与成熟,频带宽度已不是制约通信发展的瓶颈,数字通信正在迅速地发展,它将逐步取代模拟通信系统而成为现代通信系统的主流。

1.3 信道与噪声

任何一个通信系统都不可能离开信道而独立存在,信道的特性将直接影响通信的质量。而噪声以各种形式存在于各种通信系统中,虽然我们不喜欢它的存在,但它却是一个不可避免的客观现实。为了提高通信系统的有效性和可靠性,我们必须掌握信道和噪声的特性。

1.3.1 信道的定义与分类

一般来说,信号的通道就称为信道。通常我们将仅指传输媒质的信道称为狭义信道。在通信理论的研究中,信道的范围还可以扩大,除了传输媒质之外,还包括与信息传输有关的转换设备,如馈线与天线、调制器和解调器、发送与接收放大器等,均包含在信道以内,称之为广

义信道。

狭义信道按照传输媒质的特性可分为有线信道和无线信道两类。有线信道包括架空明线、电缆、波导管和光纤等可以看得见的、有形的传输媒质。无线信道包括中长波地表传播、短波电离层反射、微波视距传播(含微波接力和卫星通信)等不属于有线信道的信道。一般来说,有线信道的传输特性稳定可靠,无线信道则具有方便、灵活、可移动等特点。狭义信道是广义信道十分重要的组成部分,其特性在很大程度上决定了通信系统通信效果的好坏。

广义信道是从信号传输的观点出发,针对所研究的问题来划分信道。可以将广义信道划分为调制信道和编码信道,其划分如图 1.4 所示。

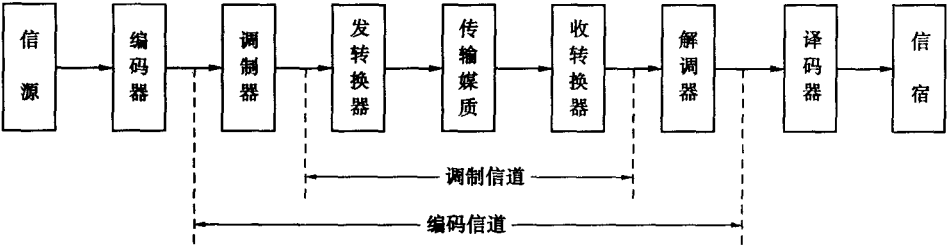


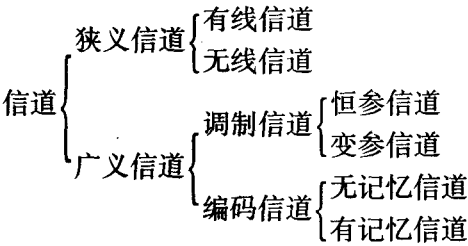
图 1.4 调制信道与编码信道的划分

调制信道的输入和输出均是已调信号,既可以是数字已调信号,也可以是模拟已调信号。由于已调信号的瞬时值是连续变化的,所以常将传输这种信号的调制信道称为连续信道。编码信道是从研究编码和解码的角度定义的,无论是信源编码或是信道编码,传输的都是离散的数字信号,所以编码信道又称为离散信道。

根据信道特性参数的变化速率,可将调制信道分为恒参信道和随参信道。恒参信道的参数随时间的变化缓慢或不随时间变化。随参信道(或称变参信道)的参数随时间随机变化。一般情况下可以认为:有线信道基本上是恒参信道,无线信道基本上是随参信道。

编码信道中传输的是数字信息,根据传输信息的码元差错与前后码元差错是否相关,可将编码信道划分为无记忆信道和有记忆信道。如果当前码元的错误与前后码元的错误无关,则称该信道为无记忆信道;如果当前的码元错误与前后码元的错误相互关联,则称该信道为有记忆信道。

至此我们已基本弄清楚了信道的定义和分类,现将它们的分类关系概括如下:



1.3.2 信道中的噪声

从广义上讲,通信系统中有用信号以外的有害信号均可称为噪声。习惯上把周期性的、有规律的有害信号称为干扰,把其他有害信号称为噪声。本书对干扰和噪声未加区分,统称为噪声。

噪声的种类很多,可以有很多种分类方法。按照其来源划分,可以分成人为噪声、自然噪声和内部噪声三种。其中人为噪声是指人类活动产生的各种噪声,包括工业噪声和无线电噪声,如各种电开关的接触噪声,其他电台的干扰等;自然噪声是指各种自然现象产生的各种噪声,如雷电干扰、太阳黑子和宇宙射线等;内部噪声是指通信系统内部的电子元器件产生的各种噪声,如电阻等导电体因为内部自由电子的热运动而产生的热噪声、真空器件与半导体器件中由于电子发射的不均匀引起的散弹噪声等均属于内部噪声。

根据噪声的性质,可将噪声划分为单频噪声、脉冲噪声和起伏噪声。单频噪声是指其频谱为单频或窄带频谱,主要来源是无线电干扰,其特点是持续的连续波干扰;脉冲噪声是时间上不规则的突发脉冲干扰,如工业上的电火花、雷电等,其特点是干扰脉冲持续时间短、幅度大、无周期及干扰脉冲之间有较大的间隔等;起伏噪声是一种连续波随机噪声,如热噪声、散弹噪声和宇宙噪声等,其特点是具有很宽的频带并且始终存在,是影响通信质量的主要因素。

通过上述的讨论我们了解了噪声的许多种类,但对通信系统的干扰最大、对通信质量的影响最大的噪声还是起伏噪声。起伏噪声是加性噪声。所谓加性噪声是指噪声和信道内传输的信号之间存在着一种相加的关系。其特点是噪声是独立存在的,与信道中是否有信号无关。加性噪声在实际应用中不可能被彻底清除,只能设法减小其影响。本书中讨论的噪声如未特别说明均是指的加性噪声。

在通信系统的理论分析中,常常根据噪声的统计特性进行划分。如白噪声指的是噪声的功率谱密度函数在整个频域内是常数,即服从均匀分布。因其功率谱分布类似于可见光谱内的白光,故称为白噪声。另外一种常见的噪声类型是高斯噪声,是指噪声的概率密度函数服从高斯分布(正态分布)。对于功率谱密度函数为常数,同时概率密度函数又服从高斯分布的噪声则称为高斯型白噪声或高斯白噪声。

1.3.3 信道容量的概念

以无限小的差错率和无限大的速率传输信息是人们对通信系统的希望。但是可靠性和有效性是一对矛盾,不可能使两者同时达到理想状态。如果信道传输信号的功率和信道的带宽受限,则信道传输信息的能力将受到影响。在实际的工程应用中往往采用现实的折中方案,即在满足可靠性的前提下尽可能地提高信息速率。当系统的差错率等于0时可靠性最好,此时的最大信息速率被称为信道容量,记为 C 。

连续信道的信道容量由香农公式决定:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \quad (\text{bit/s}) \quad (1.1)$$

式中, B 为信道带宽(Hz), S 为信道功率(W), n_0 为输入端加性高斯白噪声的单边功率谱密度(W/Hz), $N = n_0 B$ 为噪声功率(W)。

根据香农公式,我们可以得出以下结论:

①当信道的带宽 B 和信噪比 S/N 一定时,信道的极限传输能力(信道容量) C 即确定。当信道的实际传输速率小于 C 时,可以做到无差错传输。也就是说,信道的实际传输速率不能大于 C ,除非允许存在一定的差错率。

②当 $n_0 \rightarrow 0$ 时, $C \rightarrow \infty$ 。即无干扰信道的信道容量为无穷大。

③当信道容量 C 一定时,带宽 B 和信噪比 S/N 之间可以互换。也就是说可以通过调整带