



普通高等院校信息通信类系列教材

通信原理

TONGXIN YUANLI
(第2版)

马海武 毛 力 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等院校信息通信类系列教材

通信原理

(第2版)

马海武 毛 力 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书全面讲述了现代通信系统和通信技术的基本原理及分析方法,是作者通过长期教学实践为通信及信息类专业编写的专业课教材。

本书主要内容包括:通信系统的基本概念、随机信号分析的基本知识、信道的基本特性、模拟调制、数字调制、最佳接收、数字基带传输、信源编码及多路复用、同步技术、差错控制编码等。各章后均附有习题。

本书可作为高等院校通信与电子信息类以及相关专业本科或研究生的教材,高职、高专用做教材时可适当节选,也可作为广大工程技术人员学习通信基础理论及应用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/马海武,毛力编著.--2版.--北京:北京邮电大学出版社,2012.1

ISBN 978-7-5635-2833-2

I. ①通… II. ①马…②毛… III. ①通信原理—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 233662 号

书 名:通信原理(第2版)

著作责任者:马海武 毛 力

责任编辑:刘 颖

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京联兴华印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:22.5

字 数:531千字

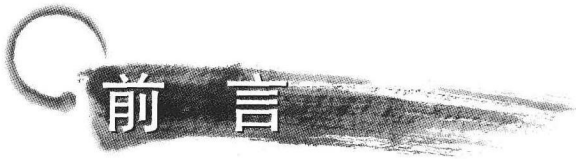
印 数:1—3 000册

版 次:2004年1月第1版 2012年1月第2版 2012年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-2833-2

定 价:39.50元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •



前言

《通信原理》第1版自2003年根据高等学校信息类系列教材编审委员会审定的编写大纲编写并由北京邮电大学出版社出版以来,受到各高校广大师生的关心与支持,不少高等院校选用该书作为教材。8年来,我们收到许多宝贵的教学心得,相互交流了教学情况和学习体会。结合教育教学形势的发展和编者的教学与科研工作的经验,我们对第1版内容进行了认真的修订。

现代通信技术发展迅速,门类诸多,要对通信系统及每部分设备作深入研究,首先要掌握最基本的通信理论,理解通信系统的基本原理,弄懂其内在的机理,从而理解、应用、设计各种类型的通信系统、通信设备和通信网络。因此,使读者获得足够的通信技术基础理论知识是本教材的宗旨。

本书共10章,通信工程及电子信息专业本科教学参考学时数为90学时。重点讲述了通信系统的基本原理和典型应用。前3章是通信的基础知识,其中第2章对随机信号分析的主要内容作了概括的介绍;第4章是模拟通信的基本原理,主要介绍模拟调制系统;第5~7章是数字通信的基本原理,主要内容有基带传输系统、数字调制系统以及最佳接收理论;第8章为信源编码,主要介绍模拟信号的数字化和编码方法;第9章讨论同步技术;第10章是信道编码,介绍差错控制编码的基本方法。各章后都附有大量的习题。通过对本教材中各部分内容的学习,使读者对通信的基本理论有一个整体的概念。基于在编写方式上的见解和特点,相信本书对通信及信息类学生和专业人员学习通信基础理论课程有一定帮助。本书也渗透着编著者多年的教学心得,希望能为通信专业的教学和通信事业的发展起到一些作用。

本教材的内容,对本科生、研究生可以根据不同的教学要求灵活选用。另外,可根据自身的教学条件,结合实验和通信仿真技术,通过多媒体教学使学生对这些理论有更加深刻的理解和认识。

本书由马海武主编,并编写了第1、3、5、6、10章,毛力整理编写了第2、4、7、8、9章。马海武统稿全书。

在编写过程中,得到了许多人士的大力协助和支持,在此表示诚挚的谢意。尤其感谢北京邮电大学出版社所给予的各方面的帮助。同时对本书所列参考文献的作者表示感谢。

限于编者的水平,书中不妥和错误之处在所难免,敬请广大读者及同行批评指正。

作者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 通信系统的组成	2
1.3 通信系统的分类	5
1.4 通信方式	8
1.5 信息论的基本概念	9
1.6 通信系统的性能度量	13
1.7 通信发展史简介	15
习题	16
第 2 章 随机信号分析基础	17
2.1 概述	17
2.2 概率、随机变量及其分布	17
2.2.1 概率论的基本概念	17
2.2.2 随机变量及其分布	19
2.3 随机过程的概念和统计特性	20
2.3.1 随机过程的概念	20
2.3.2 随机过程的概率分布	21
2.3.3 随机过程的数字特征	22
2.4 平稳随机过程	24
2.4.1 平稳随机过程的基本概念及统计特性	24
2.4.2 平稳随机过程相关函数的性质	26
2.4.3 平稳随机过程的相关函数与功率谱密度	27
2.5 高斯随机过程	29
2.5.1 高斯随机过程的概念	29
2.5.2 高斯过程的重要性质	29
2.5.3 高斯过程的一维统计特性	31
2.6 窄带随机过程	33



2.6.1 定义	33
2.6.2 窄带随机过程 $\xi(t)$ 的表示方法	33
2.6.3 均值为零、方差为 σ^2 的平稳高斯窄带随机过程的统计特性	34
2.7 白噪声过程	37
2.7.1 理想白噪声	37
2.7.2 带限白噪声	37
2.7.3 带通白噪声	39
2.8 正弦波加窄带高斯过程	40
2.8.1 正弦波加窄带高斯过程的表示	40
2.8.2 正弦波加窄带高斯过程的统计特性	41
2.9 平稳随机过程通过系统	43
2.9.1 平稳随机过程通过线性系统	44
2.9.2 平稳随机过程通过乘法器	45
习题	47
第3章 信道	50
3.1 概述	50
3.2 信道的定义和分类	50
3.3 信道的数学模型	51
3.4 恒参信道举例	53
3.5 恒参信道特性及其对信号传输的影响	54
3.6 随参信道举例	56
3.7 随参信道特性及其对信号传输的影响	57
3.8 分集接收	59
3.9 信道的加性噪声	60
3.10 信道容量	62
习题	64
第4章 模拟调制系统	65
4.1 概述	65
4.1.1 调制的作用	65
4.1.2 调制的分类	66
4.2 线性调制	67
4.2.1 振幅调制	67
4.2.2 双边带调制	72
4.2.3 单边带调制	73
4.2.4 残留边带调制	81
4.3 线性调制系统性能分析	85



4.3.1 相干解调系统性能分析	86
4.3.2 非相干解调系统性能分析	91
4.4 非线性调制	94
4.4.1 角度调制的基本概念	95
4.4.2 调频信号的调制	103
4.4.3 调频信号的解调	105
4.5 调频系统的性能分析	108
4.5.1 分析模型	108
4.5.2 非相干解调系统性能分析	109
4.6 调频信号解调的门限效应	113
4.7 加重技术	115
4.8 频分复用技术	116
习题	118
第5章 数字信号的基带传输	122
5.1 概述	122
5.2 数字基带信号的码型	122
5.2.1 码型设计原则	123
5.2.2 二元气码设计原则	123
5.2.3 三元码设计原则	126
5.2.4 多元码设计原则	128
5.3 数字基带信号的频谱特性	129
5.4 无码间干扰的传输特性	133
5.4.1 无码间干扰的传输条件	134
5.4.2 无码间干扰的传输波形	137
5.5 部分响应系统	139
5.6 基带传输系统的抗噪声性能	144
5.7 眼图	149
5.8 均衡	151
5.9 扰码和解扰	156
习题	165
第6章 数字信号的载波传输	168
6.1 概述	168
6.2 二进制幅移键控	168
6.2.1 二进制幅移键控的原理	168
6.2.2 二进制幅移键控系统的性能	172
6.3 二进制频移键控	175



6.3.1 二进制频移键控的原理	175
6.3.2 二进制频移键控系统的性能	181
6.4 二进制相移键控	184
6.4.1 二进制相移键控	184
6.4.2 二进制差分相移键控	186
6.4.3 二进制相移键控系统的性能	189
6.5 二进制数字调制系统的性能比较	191
6.6 多进制数字调制系统	192
6.6.1 多进制数字振幅调制	192
6.6.2 多进制数字频率调制	195
6.6.3 多进制数字相位调制	197
6.6.4 多进制正交幅度调制	204
6.6.5 多进制数字调制系统的性能比较	206
6.7 其他数字调制方式	207
6.7.1 最小频移键控	207
6.7.2 高斯最小移频键控	208
6.7.3 时频调制	209
习题	211
第7章 数字信号的最佳接收	215
7.1 概述	215
7.2 最小差错概率准则的最佳接收	215
7.2.1 数字信号接收的统计模型	215
7.2.2 最小差错概率最佳接收机	217
7.2.3 随相信号的最佳接收	220
7.3 最大输出信噪比准则的最佳接收	223
7.3.1 匹配滤波器	223
7.3.2 二进制信号的匹配滤波器接收机	227
7.4 二进制最佳接收的接收性能	228
7.4.1 二进制最佳接收的接收性能	229
7.4.2 二进制确知信号的最佳波形	231
习题	233
第8章 模拟信号的数字传输	235
8.1 概述	235
8.2 抽样定理	236
8.3 幅度量化理论	244
8.3.1 量化及其量化特性	244

8.3.2 均匀量化的量化噪声功率和量化信噪比	247
8.3.3 非均匀量化	251
8.3.4 A 律 13 折线压缩律	255
8.4 脉冲编码调制(PCM)	256
8.5 其他信源编码的基本原理	263
8.5.1 差分脉冲编码调制(DPCM)	263
8.5.2 简单增量调制(DM)	265
8.6 PCM 数字电话通信系统	267
8.6.1 时分复用	267
8.6.2 数字复接系统简介	268
8.6.3 30/32 路 PCM 一次群系统	269
习题	271
第 9 章 同步原理	274
9.1 概述	274
9.2 载波同步	276
9.2.1 直接法	276
9.2.2 插入导频法	281
9.2.3 载波同步系统性能分析	285
9.3 位同步	285
9.3.1 位同步的作用与分类	285
9.3.2 插入导频法	286
9.3.3 直接法	288
9.3.4 位同步系统性能分析	290
9.4 帧同步	292
9.4.1 帧同步的方法	292
9.4.2 帧同步的性能	299
9.4.3 帧同步的保护	301
9.5 网同步	303
9.5.1 全网同步	304
9.5.2 独立时钟同步	304
习题	305
第 10 章 差错控制编码	307
10.1 概述	307
10.2 差错控制编码的基本概念	307
10.2.1 差错控制方式	307
10.2.2 差错控制编码的分类	308



10.2.3 检错和纠错的基本原理	309
10.2.4 常用的简单检错码	312
10.3 线性分组码	314
10.3.1 基本概念	314
10.3.2 监督矩阵和生成矩阵	315
10.3.3 伴随式	317
10.3.4 汉明码	318
10.4 循环码	320
10.4.1 循环码的特点	320
10.4.2 生成多项式与生成矩阵	321
10.4.3 监督多项式与监督矩阵	324
10.4.4 系统循环码的编译码方法	325
10.5 BCH 码	327
10.6 卷积码	328
10.6.1 卷积码的编码	328
10.6.2 卷积码的描述	329
10.6.3 卷积码的译码	334
10.7 网格编码调制	337
习题	339
附录 A 常用三角公式	342
附录 B 希尔伯特变换	343
附录 C Q 函数和误差函数	346
参考文献	348

第 1 章

绪 论

1.1 概 述

通信始终伴随着人类社会的文明进程,是推动人类社会文明、进步与发展的动力。人们在生产实践和社会活动中总是需要进行消息的传递,这种消息传递的整个过程称为通信。反过来说,通信的任务就是克服人们在距离上的障碍,迅速准确地传递消息。消息是物质或精神状态的一种反映,在不同的时期,它通过动作、语言、文字、图像等不同的方式表述。

通信的发展按照人类交流方式的不同可分为三个阶段。第一阶段中人们通过语言、手势、金鼓、旌旗、烽火台等方法传递消息。第二阶段是随着文字、印刷术、邮政的出现而开始的。第三阶段是在人们认识和开始使用电能的同时,利用电信号进行消息的传递。到今天电信号把人们带进了信息时代。

电信就是借助“电”来传递消息的通信方式。这种通信方式具有迅速、准确、可靠的特点,几乎不受时间、地点、距离的限制,因此,近百年来获得了飞速的发展和广泛的应用。今天人们认为“通信”和“电信”几乎是同义词,而我们所要研究的通信就是指电信。

在电信系统中,消息的传递是通过电信号来实现的。

现代通信系统是信息时代的生命线。现代通信网已经是一个全球性的综合性的为多种信息服务的网络。通信学科的发展,一方面表现在新的电子器件和新的技术不断出现;另一方面反映在通信理论的深入发展和不断完善。比如说,20 世纪 30 年代开始形成的调制理论为有线载波通信和无线电通信的基本理论奠定了基础,给实现频分制和时分制多路复用系统指明了方向。在电信的初期发展阶段,人们就发现了噪声的存在和它对通信的影响,但直到 20 世纪 40 年代,通过概率统计方法的分析提出了统计信号检测和估计理论,以及在此基础上发展起来的最佳接收理论,为噪声中提取信号找到了有效的途径。另外,后来形成的信息论,明确了通信中的一对主要矛盾,即通信的有效性和可靠性的问题,并为最好地解决这对矛盾提出了原则性的定理。在此基础上逐步发展起来的信源编码、纠错编码、扩频技术等理论,为提高通信质量、选择新的信号形式和创立新的通信体制奠定了基础。

由此可见,通信这门学科是逐步由低级到高级、由简单到复杂发展起来的。现代通信技术是研究传递各类信息的科学。从广义来说,通信应包括电报、电话、广播、电视、传真、数据和计算机通信等。将雷达、导航、遥测、射频天文学、生物工程学等与通信综合在一起构成了一门完整的信息科学,通信则是其中的一个主要组成部分。

1.2 通信系统的组成

消息的传递必然有发送者和接收者,发送者和接收者可以是人也可以是各种机器。换句话说,通信可以在人与人之间,也可以在人与机器或机器与机器之间进行。如今大量的通信最终都是通过各种机器,并在机器间进行的。广播、电视、计算机等之间的通信都属于机器间的通信。

电信系统在传递消息时,首先要将消息变成电的信号,对方接收到信号后再按相同的逆规则将电信号再生为消息。在发送端利用发送设备中的各种元器件,将非电信息变换成初级电信号,或称为原始电信号,然后送到信道中去传输。信道是传输电信号的通道。信道可以是有线的也可以是无线的,可以是模拟的也可以是数字的。在接收端利用接收设备中的各种部件,将从信道中得到的电信号变换成非电信息,这是一个通信的整个过程。从这个过程中可以将通信系统概括为如图 1.2.1 所示的模型。

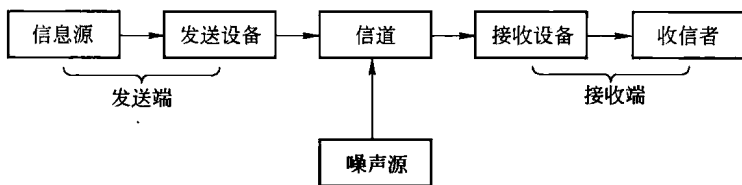


图 1.2.1 通信系统的一般模型

通信系统由信息源、收信者、发送设备、接收设备和传输媒介几部分组成。

1. 信息源

信息源简称信源。不同的信息源输出信号的性质是不一样的,一般将其分为模拟信源和离散信源。

模拟信源输出的信号在时间和幅度上都是连续的,如语音、图像以及模拟传感器输出的信号等。离散信源的输出是离散的或可数的,如符号、文字以及脉冲序列等。离散信源又称为数字信源。

原始的消息经变换后成为电信号或本身就是电信号。模拟信号可以通过抽样和量化编码变为离散信号。换句话说,一切消息理论上都可以变换成离散的信号,这也是数字通信技术得到迅猛发展的一个主要原因。

信息源的另一个重要特点是不同的信源有不同的信息速率。比如,电报信道的信息速率一般为 150 bit/s;阅读的信息速率一般为 400 bit/s 左右;彩色电视为 90 Mbit/s 等。不同速率的信息源对整个传输系统的要求也各不相同。

2. 收信者

收信者是在接收的一方将经过各种变换和传输的信息还原成所需要的消息形式。一般情况下收信者需要的消息应和发信者发出的消息类型一样。对于收信者和发信者来说,不管中间经过什么样的变换和传输,都不应该将二者所传递的消息改变。收到和发出的消息的相同程度越高越好。

3. 发送设备

发送设备是发送端的重要部分,它的功能是将信息源和传输媒介连接起来,将信源输出的信号变为适合于传输的信号形式。变换的方式很多,采用什么样的变换则要根据信号类型、传输媒介和质量要求等决定。有时可以将电信号直接送于媒介传送,有时则要进行频谱的搬移。在需要搬移时,调制则是最常用的一种变换方式。

如果通信系统是数字的,对于模拟信号则需要进行抽样、量化和编码。此时发送设备又可以分为信道编码和信源编码两部分。信源编码是把连续的模拟信号变为数字信号,信道编码则是把数字信号与传输媒介匹配起来,以提高传输的有效性或可靠性。

对于其他的一些特殊要求,发送设备应有为满足这些要求所需要的各种处理,最常见的如差错控制编码、多路复用等。

4. 接收设备

对接收设备的基本要求就是能够将收到的信号变换成与发送端信源发出的消息完全一样的或基本一样的原始消息。从这一点出发,接收设备显然应该是发送设备的反变换,不仅如此,它还要克服在传输过程中干扰所带来的影响。

5. 传输媒介

传输媒介是用来传递发送设备和接收设备之间信号的。传输媒介有很多种,概括起来可分为无线和有线两大类。每一类都有优点和缺点,一般根据通信的具体情况和要求以及信号的类型来决定采用哪一类。在传输的过程中,各种干扰(比如热噪声、衰减等)必然会随之进入系统,因此干扰也是选用媒介的重要因素之一。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统。信源发出的原始电信号的频谱一般是从零频附近开始,这种信号具有频率很低的频谱分量,一般不宜直接传输,这就需要把它变换成其频带适合在信道中传输的信号,并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的通常是调制器和解调器,经过调制以后的信号称为已调信号。

消息从发送端到接收端的传递过程中,除有连续消息与原始电信号和原始电信号与已调信号之间的两种变换,实际通信系统中还可能有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调两种变换起主要作用,其他过程不会使信号发生质的变化,只是对信号进行放大或改善信号特性,一般被认为是理想的不参与讨论。

模拟通信系统模型如图 1.2.2 所示,图中的调制器和解调器代表图 1.2.1 中的发送设备和接收设备。

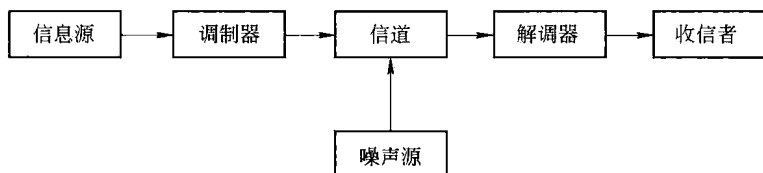


图 1.2.2 模拟通信系统模型

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统,其模型如图 1.2.3 所示。数字通信研究的技术问题主要有信源编码/译码、信道编码/译码、数字调制/解调、数字复接、同步以及加密等。

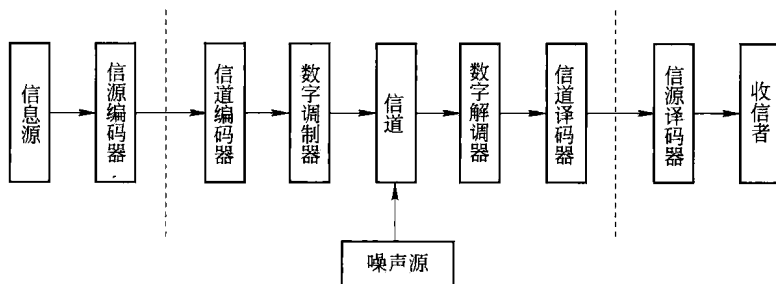


图 1.2.3 数字通信系统模型

信源编码的作用大致有两个,其一是当信息源给出的是模拟语音信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输;其二是设法减少码元数目和降低码元速率,也就是数据压缩。码元速率决定传输所占的带宽,而传输带宽反映了通信的有效性。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码是为了克服数字信号在信道传输时,由噪声、衰落以及人为干扰等引起的差错。信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入监督码元,接收端的信道译码器按相应的逆规则进行解码,从中发现错误或纠正错误,提高通信系统抗干扰能力。

为了保密通信,给被传输的数字序列加上密码,即扰乱,这个过程称为加密。在接收端利用相应的逆规则对收到的数字序列进行解密,恢复原来信息。

对于大多数通信系统来说,每一方不仅是收信者也是信源,也就是说,每一方都应具备发送和接收的功能。因此每一方也必须有发送设备和接收设备。

数字调制是把所传输的数字序列的频谱搬到适合在信道中传输的频带上。基本的数字调制方式有幅移键控(ASK)、频移键控(FSK)、绝对相移键控(PSK)、相对(差分)相移键控(DPSK)。在接收端可以采用相干解调或非相干解调还原数字序列。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关接收机或匹配滤波器来实现。

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的基本条件。同步就是使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。同步可分为载波同步、位同步、群同步和网同步等。数字复接则是依据时分复用的基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速数字信号,以扩大传输容量和提高传输效率。

图 1.2.3 是数字通信系统的一般模型,而在实际应用中,数字通信系统不一定包括图中



的所有环节,可以只有其中的某些部分。另外,模拟信号经过数字化后可以在数字通信系统中传输。当然,数字信号也可以在模拟通信系统中传输,如计算机数据可以通过模拟电话线路传输,但这时必须使用调制解调器(modem)将数字序列进行正弦调制,以适应模拟信道的传输特性。

模拟通信和数字通信的应用都很广泛,数字通信的发展却非常迅速,已成为现代通信技术的主流。与模拟通信相比,数字通信有以下一些特点:

(1) 抗干扰能力强。比如二进制数字信号的取值只有两个,这样接收时只需判别两种状态。信号在传输过程中因噪声造成的波形畸变不会影响两个状态的辨别,只要噪声的大小不足以影响判决的正确,就能正确接收。而模拟通信需要高保真地重现信号波形,如果模拟信号叠加上噪声,则很难消除。对于中继通信,各中继站对数字信号波形进行整形再生从而消除噪声积累。

(2) 差错可以控制。采用信道编码技术来降低误码率,提高传输的可靠性。

(3) 可以进行大规模集成,容易使通信设备微型化。

(4) 能与各种数字终端直接相连。用计算机技术对信号进行处理、加工、变换、存储。

(5) 容易实现保密通信。

(6) 传输和交换可以有机地结合起来,将各种不同的消息源都变换成同一类的数字信号,为实现综合业务通信网奠定了基础。

(7) 容易实现多路复用。

数字通信的上述优点使其得到了广泛应用。但这些优点是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。例如,一路4 kHz带宽的模拟信号,用接近同样质量的数字信号传输需要20~60 kHz的带宽,可见数字通信的频带利用率很低。另外,由于数字通信对同步要求很高,因而系统设备比较复杂。不过,随着宽带传输技术的采用,窄带调制技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点是可以克服的。尤其是微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信将逐步取代模拟通信而占主导地位。

以上所述是典型的点对点通信系统。在现代社会生活中,人们不可能只进行一点到一点的固定式通信,更多的则要求能够与所有在线的任何一方进行通信。这样就必须有一种设备去完成这种任何一方与任何另一方的选择通信功能,这个设备就是通信网络中的交换系统。显然,交换系统是通信网络中非常重要的部分。

1.3 通信系统的分类

通信系统从不同的角度可以有不同的分类方法,分类的方法是多种多样的。下面讨论几种常见的分类。

1. 根据消息的物理特征分类

按照消息的物理特征,通信系统可以分为电话、电报、数据、图像等。它们相互之间可以是兼容的,也可以是并存的。电话通信应用最为广泛,因此发展得也最为迅速,目前的通信网大部分都是建立在电话通信系统基础之上的。尤其是电话通信有着最多的用户,其他的通信系统常常需要通过电话通信系统发展用户。



2. 根据传输信号的特征分类

当消息转换成电信号以后,二者之间应该存在着——对应的关系,这是接收端能恢复出原始消息的最基本的条件。电信号可以是模拟信号也可以是数字信号,根据信道传输的电信号是模拟的还是数字的,可以把对应的通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

3. 根据调制方式分类

首先根据是否采用调制可将通信系统分为基带传输和调制传输。

基带传输是直接传输由消息变换而来的电信号,如电话音频信号、数字基带信号等。它不需要调制。

调制传输则是将由消息变换而来的电信号,再经过调制变换后进行传输。调制传输有以下优点:

(1) 将消息变换为有利传输的形式。例如将低频信号设法携带在高频信号上,以便在自由空间中传输。将话音的连续信号变换为脉冲编码调制信号,使其能够在数字信道中传输。

(2) 能够提高抗干扰能力。

(3) 可以方便地在指定的频带内传输。

调制传输的方式很多,常见的调制方式又分为连续波调制和脉冲调制。

连续波调制就是载波为连续的模拟信号,最常用的连续信号一般为正弦波。脉冲调制的载波为脉冲序列。

连续波调制又分为线性调制、非线性调制和数字调制。

线性调制有常规双边带调幅(AM),主要用于广播;抑制载波双边带调幅(DSB),主要用于立体声广播;单边带调幅(SSB),主要用于载波通信、无线电台等;残留边带调幅(VSB),主要用于电视广播和传真等。

非线性调制有频率调制(FM),主要用于微波中继、卫星通信、广播;相位调制(PM),主要用于中间调制方式。

数字调制有幅移键控(ASK),用于数据传输;频移键控(FSK),主要用于数据传输;相移键控(PSK、DPSK、QPSK等),主要用于数据传输、数字微波通信、空间通信;其他高效数字调制(QAM、MSK),主要用于数字微波通信、空间通信。

脉冲调制可分为脉冲模拟调制和脉冲数字调制。

脉冲模拟调制有脉冲幅度调制(PAM),主要用于中间调制方式和遥测系统中;脉宽调制(PDM或PWM),用于中间调制方式;脉位调制(PPM),用于遥测、光纤传输等。

脉冲数字调制有脉冲编码调制(PCM),主要用于市话通信、卫星通信、空间通信等;增量调制(DM、CVSD、DVSD),用于军用和民用电话;差分脉码调制(DPCM),主要用于电视电话、图像编码;其他语音编码方式ADPCM、APC、LPC等,主要用于低速、中速数字电话。

在实际的使用当中并非只是某种单一的方式,往往采用复合调制方式,用不同的调制方式进行多级调制。

4. 根据复用方式分类

在同一信道上传送多路信号时要采用复用的方式。复用的方式一般有四种,即频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)和空分复用(SDM)。前三种应用比较广泛,在后面的章节中将作详细的介绍。

模拟通信中都采用频分复用的方式,数字通信大多采用时分复用通信系统,码分复用主要用在扩频通信系统中。

5. 根据传输媒介分类

通信系统按照传输媒介的不同可分为有线和无线两类,其中有线包括光纤传输。在各个频段上都可以使用有线传输和无线传输。

有线传输一般有线对、同轴电缆、波导和光纤等媒介。无线传输有长波、中波、短波、米波、分米波、厘米波、毫米波和激光空间传播等。

表 1.3.1 列出了通信使用的频段、常用的传输媒质及主要用途。

表 1.3.1 通信波段与传输媒质

频率范围	波 长	符 号	传 输 媒 质	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频(VLF)	有线线对、长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30 kHz~300 kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频(LF)	有线线对、长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频(MF)	同轴电缆、短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3 MHz~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	高频(HF)	同轴电缆、短波无线电	移动无线电话、短波广播 定点军用通信、业余无线电
30 MHz~300 MHz	$10 \sim 1$ m	甚高频(VHF)	同轴电缆、米波无线电	电视、调频广播、空中管制、 车辆、通信、导航
300 MHz~3 GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频(UHF)	波导、分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、 点对点通信、移动通信
3 GHz~30 GHz	$10 \sim 1$ cm	超高频(SHF)	波导、厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、 雷达
30 GHz~300 GHz	$10 \sim 1$ mm	极高频(EHF)	波导、毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
10^5 GHz~ 10^7 GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	紫外、可见光、 红外	光纤、激光空间传播	光通信

通信中工作频率和工作波长可互换,公式为

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

式中, λ 为工作波长; f 为工作频率; c 为电波在自由空间中的传播速度,通常认为 $c = 3 \times 10^8$ m/s。

每一种媒介都有相应的通信系统。随着数字通信的快速发展,光纤传输的应用越来越广泛。