

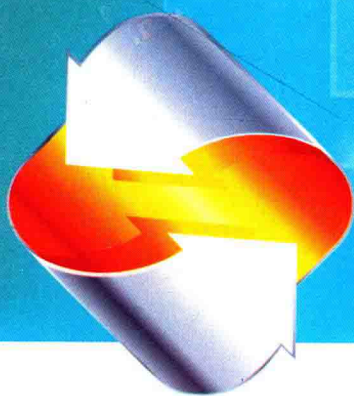


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

01001011011100110110011

100100011010001101010010101

100100011010001101010010101



现代通信原理与技术

(第四版)

张辉 曹丽娜 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

现代通信原理与技术

(第四版)

张辉 曹丽娜 主编



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十二五”国家级规划教材,是在第三版的基础上修订而成的。本书系统、深入地阐述了现代通信系统的基本概念、基本原理和基本分析方法。在重点论述传统通信技术基本理论的基础上,力求充分反映国内外通信技术的最新发展。

全书共 13 章,内容包括绪论、随机过程、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、模拟信号的数字传输、数字频带传输系统、数字信号的最佳接收、现代数字调制解调技术、复用和数字复接技术、同步原理、差错控制编码、典型通信系统介绍等。

本书内容丰富,概念清晰,理论分析严谨,逻辑性强,由浅入深,注重理论联系实际。另外,每章还列举了一定数量的例题,并附有大量的思考题和习题。

本书可作为通信与信息系统专业本科生和研究生的教科书,也可作为通信工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理与技术/张辉,曹丽娜主编. —4 版. —西安:西安电子科技大学出版社,2018.2
ISBN 978 - 7 - 5606 - 4842 - 2

I. ① 现… II. ① 张… ② 曹… III. ① 模拟通信 ② 数字通信
IV. ① TN914.1 ② TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 025350 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2018 年 2 月第 4 版 2018 年 2 月第 19 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 26.5

字 数 633 千字

印 数 112 001~117 000 册

定 价 54.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4842 - 2/TN

XDUP 5144004 - 19

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

在当今飞速发展的信息时代,随着数字通信技术和计算机技术的快速发展以及通信网与计算机网络的相互融合,信息科学技术已成为 21 世纪国际社会的新的强大推动力。信息作为一种资源,只有通过广泛的传播与交流,才能产生利用价值,促进社会成员之间的合作,推动社会生产力的发展,创造出巨大的经济效益。而信息的传播与交流,是依靠各种通信方式和技术来实现的。学习和掌握现代通信理论和技术是信息社会每一位成员,尤其是未来的通信工作者的迫切需求。

本书作为现代通信的导论,将讨论信息的处理、传输及通信系统的基本原理,侧重信息传输原理。本书是作者多年教学和科研实践的总结,它以现代通信技术和现代通信系统为背景,全面、系统地论述了通信的基本理论,包括信道模型、模拟调制解调技术、信源编码、数字信号基本特征、数字调制解调技术、自适应均衡技术、部分响应技术、同步技术、扩频技术、最佳接收理论等。本书在内容安排上,既全面论述了数字通信的基本理论,又深入分析了现代数字通信新技术,并介绍了现代广泛采用的通信系统及其发展趋势。

本书内容丰富,概念清晰,理论分析严谨,逻辑性强,由浅入深,注重理论联系实际。为了帮助读者掌握基本理论和分析方法,每章都列举了一定数量的例题,并附有大量的思考题和习题。

全书共 13 章,第 1、2、3 章是基础部分,第 4 章是模拟通信的内容,第 6 章是模拟信号数字传输,第 5、7、8、9、10、11、12、13 章是数字通信的内容。

第 1 章为绪论,介绍通信系统的概念、组成和主要性能指标,概述了通信现状和未来发展趋势。

第 2 章为随机过程,主要介绍随机信号分析所必需的一些基础理论,包括随机信号的统计描述和分析、高斯过程、窄带高斯过程、正弦波加窄带高斯噪声等。

第 3 章为信道与噪声,概述了调制信道和编码信道,分析了恒参信道、随参信道特性及对信号传输的影响,介绍了几种分集技术,最后介绍了香农信道容量的概念。

第 4 章为模拟调制系统,介绍了线性调制和非线性调制原理,给出了一般模型,分析了线性调制系统和非线性调制系统抗噪声性能,最后对常用的线性调制系统和非线性调制系统性能进行了综合比较。

第 5 章为数字基带传输系统,概述了数字基带信号、数字基带传输系统、无码间干扰传输条件,分析了数字基带传输系统抗噪声性能,介绍了眼图、时域均衡和部分响应技术。

第 6 章为模拟信号的数字传输,阐述了低通型信号、带通型信号抽样定理和均匀量化、

非均匀量化基本原理。以基本的脉冲振幅调制(PAM)、脉冲编码调制(PCM)和简单增量调制(ΔM)为重点讨论了工作原理,分析了系统抗噪声性能。最后介绍了自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)。

第7章为数字频带传输系统,概述了数字调制解调的基本原理。以二进制调制系统为主,论述了二进制数字调制解调原理和方法,分析了系统抗噪声性能,介绍了多进制数字调制解调原理。

第8章为数字信号的最佳接收,讨论了数字信号接收的统计模型和最佳接收准则。重点论述匹配滤波器最佳接收和相关器最佳接收原理,阐述了确知信号和随相信号最佳接收机结构和性能。最后介绍了最佳基带传输系统原理。

第9章为现代数字调制解调技术,论述了最小移频键控(MSK)、高斯最小移频键控(GMSK)、 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK调制、OFDM调制,最后介绍了数字化接收技术。

第10章为复用和数字复接技术,讨论了频分复用、时分复用、码分复用原理,介绍了正码速调整数字复接原理和同步数字系列(SDH)帧结构及复用原理。

第11章为同步原理,讨论了载波同步、位同步、群同步的原理和技术。

第12章介绍了差错控制编码的基本原理、常用的差错控制方法和常用的简单编码;讨论了线性分组码编码原理、监督矩阵、生成矩阵、伴随式与错误图样;重点论述了循环码编码原理、循环码的生成多项式、生成矩阵、编码和译码方法;讨论了卷积码的结构特性和编码原理,重点论述了卷积码的Viterbi译码方法;介绍了BCH码和Reed-Solomon码。

第13章介绍了GSM蜂窝移动通信系统、码分多址(CDMA)蜂窝移动系统、卫星通信系统等几种典型的通信系统。

本书由张辉主持编写,并编写其中第3、7、8、9、10、12、13章,曹丽娜编写第1、2、4、5、6、11章,任光亮参与了第3章的部分编写工作。全书由张辉修改定稿。倪浩、景滨、李乐亭、李永峰、张爱兵等对本书的初稿进行了阅读,对其中的习题进行了校对和解答,并提出了参考意见。本书在编写过程中还得到了作者单位的支持和其他同事的帮助,同时也得到了西安电子科技大学出版社的大力支持,特别是参与本书编辑的马乐惠等为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

鉴于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 信道与噪声	36
1.1 通信系统的组成	1	3.1 信道定义与数学模型	36
1.1.1 通信系统的一般模型	1	3.1.1 信道定义	36
1.1.2 模拟通信模型和数字通信模型	2	3.1.2 信道的数学模型	37
1.2 通信系统分类与通信方式	5	3.2 恒参信道及其传输特性	40
1.2.1 通信系统的分类	5	3.2.1 有线电信道	40
1.2.2 通信方式	7	3.2.2 微波中继信道	41
1.3 信息及其度量	9	3.2.3 卫星中继信道	42
1.4 主要性能指标	11	3.2.4 恒参信道特性	43
思考题	12	3.3 随参信道及其传输特性	45
习题	12	3.3.1 陆地移动信道	45
第 2 章 随机过程	14	3.3.2 短波电离层反射信道	47
2.1 随机过程的基本概念和统计特性	14	3.3.3 随参信道特性	49
2.1.1 随机过程	14	3.4 分集接收技术	51
2.1.2 随机过程的统计特性	15	3.4.1 分集方式	52
2.1.3 随机过程的数字特征	16	3.4.2 合并方式	53
2.2 平稳随机过程	17	3.5 加性噪声	55
2.2.1 定义	17	3.5.1 噪声的分类	55
2.2.2 各态历经性	18	3.5.2 起伏噪声及特性	55
2.2.3 平稳随机过程自相关函数的 性质	19	3.6 信道容量的概念	57
2.2.4 平稳随机过程的功率谱密度	19	思考题	60
2.3 高斯随机过程	22	习题	60
2.3.1 重要性质	22	第 4 章 模拟调制系统	63
2.3.2 高斯随机变量	22	4.1 幅度调制(线性调制)的原理	63
2.3.3 高斯白噪声	24	4.1.1 调幅(AM)	64
2.4 随机过程通过线性系统	24	4.1.2 抑制载波双边带调制 (DSB-SC)	65
2.5 窄带随机过程	27	4.1.3 单边带调制(SSB)	66
2.5.1 同相和正交分量的统计特性	28	4.1.4 残留边带调制(VSB)	68
2.5.2 包络和相位的统计特性	30	4.1.5 相干解调与包络检波	69
2.6 正弦波加窄带高斯噪声	31	4.2 线性调制系统的抗噪声性能	71
思考题	33	4.2.1 分析模型	71
习题	33	4.2.2 线性调制相干解调的 抗噪声性能	72

4.2.3 AM 信号包络检波的 抗噪声性能	74	6.5 增量调制(ΔM)	168
4.3 非线性调制(角度调制)原理	77	6.5.1 简单增量调制	168
4.3.1 角度调制的基本概念	77	6.5.2 增量调制的过载特性与 动态编码范围	170
4.3.2 窄带调频与宽带调频	78	6.5.3 增量调制系统的抗噪声性能	171
4.3.3 调频信号的产生与解调	82	6.5.4 PCM 与 ΔM 系统的比较	173
4.4 调频系统的抗噪声性能	86	思考题	174
4.5 各种模拟调制系统的性能比较	89	习题	175
思考题	90	第 7 章 数字频带传输系统	178
习题	91	7.1 二进制数字调制与解调原理	178
第 5 章 数字基带传输系统	94	7.1.1 二进制振幅键控(2ASK)	178
5.1 数字基带传输概述	94	7.1.2 二进制移频键控(2FSK)	180
5.2 数字基带信号及其频谱特性	96	7.1.3 二进制移相键控(2PSK)	182
5.2.1 数字基带信号	96	7.1.4 二进制差分相位键控(2DPSK)	184
5.2.2 基带信号的频谱特性	97	7.1.5 二进制数字调制信号的 功率谱密度	186
5.3 基带传输的常用码型	103	7.2 二进制数字调制系统的抗噪声 性能	188
5.4 基带脉冲传输与码间串扰	106	7.2.1 二进制振幅键控系统的 抗噪声性能	189
5.5 无码间串扰的基带传输特性	107	7.2.2 二进制移频键控系统的 抗噪声性能	195
5.6 无码间串扰基带系统的抗噪声 性能	111	7.2.3 二进制移相键控和 二进制差分相位键控 系统的抗噪声性能	199
5.7 眼图	115	7.3 二进制数字调制系统的性能比较	204
5.8 均衡技术	117	7.4 多进制数字调制系统	206
5.8.1 时域均衡原理	117	7.4.1 多进制数字振幅调制系统	207
5.8.2 均衡效果的衡量	120	7.4.2 多进制数字频率调制系统	208
5.8.3 均衡器的实现与调整	122	7.4.3 多进制数字相位调制系统	210
5.9 部分响应系统	124	思考题	215
5.9.1 第 I 类部分响应波形	125	习题	215
5.9.2 部分响应的一般形式	128	第 8 章 数字信号的最佳接收	219
思考题	130	8.1 匹配滤波器	219
习题	130	8.2 最小差错概率接收准则	223
第 6 章 模拟信号的数字传输	136	8.2.1 数字信号接收的统计模型	223
6.1 抽样定理	136	8.2.2 最佳接收准则	226
6.1.1 低通抽样定理	137	8.3 确知信号的最佳接收机	228
6.1.2 带通抽样定理	139	8.3.1 二进制确知信号最佳接收机 结构	228
6.2 脉冲幅度调制(PAM)	142	8.3.2 二进制确知信号最佳接收机 误码性能	230
6.3 脉冲编码调制(PCM)	145	8.4 随相信号的最佳接收机	234
6.3.1 量化	145		
6.3.2 编码和译码	155		
6.3.3 PCM 系统的抗噪声性能	163		
6.4 自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM)	164		
6.4.1 DPCM	165		
6.4.2 ADPCM	166		

8.4.1 二进制随相信号最佳接收机 结构	234	10.1.2 模拟电话多路复用系统	286
8.4.2 二进制随相信号最佳接收机 误码性能	238	10.1.3 调频立体声广播(FM Stereo Broadcasting)	287
8.5 最佳接收机性能比较	240	10.2 时分复用(TDM)	288
8.6 最佳基带传输系统	241	10.2.1 时分复用原理	288
8.6.1 最佳基带传输系统的组成	242	10.2.2 PCM 基群帧结构	290
8.6.2 最佳基带传输系统的误码 性能	243	10.2.3 PCM 高次群	291
思考题	245	10.3 码分复用(CDM)	293
习题	246	10.3.1 码分复用原理	293
第 9 章 现代数字调制解调技术	252	10.3.2 m 序列	294
9.1 正交振幅调制(QAM)	252	10.4 数字复接技术	299
9.1.1 MQAM 调制原理	252	10.4.1 数字复接原理	300
9.1.2 MQAM 解调原理	255	10.4.2 正码速调整复接器	300
9.1.3 MQAM 抗噪声性能	255	10.5 SDH 复用原理	302
9.2 最小移频键控(MSK)	256	10.5.1 SDH 的特点	302
9.2.1 MSK 的基本原理	256	10.5.2 STM-N 帧结构	303
9.2.2 MSK 调制解调原理	259	10.5.3 SDH 复用原理	304
9.2.3 MSK 的性能	260	思考题	305
9.3 高斯最小移频键控(GMSK)	261	习题	306
9.3.1 GMSK 的基本原理	261	第 11 章 同步原理	308
9.3.2 GMSK 的调制与解调	264	11.1 概述	308
9.3.3 GMSK 系统的性能	265	11.2 载波同步	309
9.4 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 调制	266	11.2.1 直接法	309
9.4.1 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 的调制原理	267	11.2.2 插入导频法	313
9.4.2 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 的解调	268	11.2.3 载波同步系统的性能及相位 误差对解调性能的影响	315
9.4.3 $\frac{\pi}{4}$ DQPSK 系统的性能	269	11.3 位同步	317
9.5 OFDM 调制	270	11.3.1 插入导频法	317
9.5.1 OFDM 基本原理	271	11.3.2 直接法	318
9.5.2 OFDM 信号调制与解调	272	11.3.3 位同步系统的性能及其相位 误差对性能的影响	325
9.5.3 OFDM 系统性能	273	11.4 群同步	328
9.6 数字化接收技术	274	11.4.1 起止式同步法	328
9.6.1 信号的数字检测原理	275	11.4.2 连贯式插入法	329
9.6.2 数字检测技术的应用	278	11.4.3 间隔式插入法	331
思考题	280	11.4.4 群同步系统的性能	332
习题	281	11.4.5 群同步的保护	333
第 10 章 复用和数字复接技术	285	思考题	334
10.1 频分复用(FDM)	285	习题	335
10.1.1 频分复用原理	285	第 12 章 差错控制编码	337
		12.1 概述	337
		12.2 差错控制编码的基本原理	340
		12.2.1 纠错编码的基本原理	340

12.2.2 纠错编码的基本概念	342	第 13 章 典型通信系统介绍	381
12.3 常用的简单编码	344	13.1 GSM 数字蜂窝移动通信系统	381
12.4 线性分组码	347	13.1.1 GSM 系统的主要性能和特点	382
12.4.1 线性分组码原理	347	13.1.2 GSM 系统的结构及功能	383
12.4.2 监督矩阵与生成矩阵	350	13.1.3 GSM 的信道类型	385
12.4.3 伴随式与错误图样	352	13.1.4 GSM 的帧结构	388
12.4.4 汉明码	353	13.1.5 GSM 系统研究新进展	391
12.5 循环码	353	13.2 码分多址(CDMA)蜂窝移动通信系统	392
12.5.1 循环码的基本原理	353	13.2.1 CDMA 系统原理及特点	392
12.5.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	355	13.2.2 CDMA 系统的关键技术	394
12.5.3 循环码的编码和译码方法	356	13.2.3 CDMA 系统的无线链路	398
12.5.4 BCH 码	359	13.2.4 第三代移动通信系统(3G)	402
12.5.5 Reed-Solomon 码	361	13.3 卫星通信系统	404
12.6 卷积码	363	13.3.1 INTELSAT 卫星通信系统	406
12.6.1 生成矩阵 G (卷积码的解析分析)	363	13.3.2 INMARSAT 卫星通信网	408
12.6.2 卷积码的结构特点	366	13.3.3 VSAT 卫星通信网	411
12.6.3 卷积码的 Viterbi 译码	369	思考题	413
习题	377	参考文献	415

第1章 绪 论

随着数字通信技术和计算机技术的快速发展以及通信网与计算机网络的相互融合,信息科学技术已成为21世纪国际社会和世界经济发展的新的强大推动力。信息是一种资源,只有通过广泛的传播与交流,才能产生利用价值,而信息的传播与交流,是依靠各种通信方式与技术来实现的。学习和掌握现代通信原理与技术是信息社会每一位成员,尤其是未来的通信工作者的迫切需求。

本书讨论信息传输原理。为了使读者在学习各章内容之前,对通信和通信系统有一个初步的了解与认识,本章将简要介绍通信系统的组成、通信方式、信息度量以及评价通信系统性能的指标。

1.1 通信系统的组成

通信就是从一地向另一地传递消息。通信的目的是传递消息中所包含的信息。人们可以用语言、文字、音乐、数据、图片或活动图像等不同形式的消息来表达信息。信息是消息的内涵,即消息中所包含的人们原来不知而待知的内容。因此,通信的根本目的在于传输含有信息的消息,否则,就失去了通信的意义。基于这种认识,“通信”也就是“信息传输”或“消息传输”。

实现通信的方式很多,如手势、语言、旌旗、消息树、烽火台、金鼓和驿马传令,以及现代社会的电报、电话、广播、电视、遥控、遥测、因特网、数据和计算机通信等,这些都是消息传递的方式和信息交流的手段。随着社会的进步和科学技术的发展,目前使用最广泛的通信方式是电通信。由于电通信迅速、准确、可靠且不受时间、地点、距离的限制,因而一百多年来得到了迅速的发展和广泛的应用。如今,在自然科学领域凡是涉及“通信”这一术语时,一般均指“电通信”。广义来讲,光通信也属于电通信,因为光也是一种电磁波。本书中讨论的通信均指电通信。

1.1.1 通信系统的一般模型

通信系统的作用就是将信息从信源传送到一个或多个目的地。实现信息传递所需的一切技术设备(包括信道)的总和称为通信系统。通信系统的一般模型如图1-1所示。

图中各部分的功能简述如下:

信息源(简称**信源**)是消息的发源地,其作用是把各种消息转换成**原始电信号**(称为**消息信号**或**基带信号**)。根据消息种类的不同,信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源送

出的是模拟信号,如麦克风(声音→音频信号)、摄像机(图像→视频信号);数字信源输出离散的数字信号,如电传机(键盘字符→数字信号)、计算机等各种数字终端。

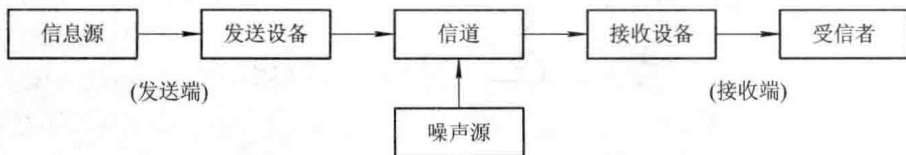


图 1-1 通信系统的一般模型

发送设备的功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。因此,发送设备涵盖的内容很多,可以是不同的变换器,如放大、滤波、编码、复用等。在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式。

信道是指传输信号的物理媒质。在无线信道中,信道可以是大气(自由空间);在有线信道中,信道可以是明线、电缆、光纤。有线和无线信道均有多种物理媒质。信道在给信号提供通路的同时,也会对信号产生各种干扰和噪声。信道的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。

噪声源不是人为加入的设备,而是信道中的噪声以及通信系统其他各处噪声的集中表示。噪声通常是随机的,其形式是多种多样的,它的存在干扰了正常信号的传输。关于信道与噪声的内容将在第 3 章中讨论。

接收设备的功能是放大和反变换(如滤波、译码、解调、分路等),其目的是从受到干扰和减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。

受信者(信宿)是传送消息的目的地,其功能与信源相反,即将复原的原始电信号还原成相应的消息,如扬声器等。

图 1-1 概括地描述了一个通信系统的组成,它反映了通信系统的共性,因此称之为通信系统的一般模型。根据研究的对象以及所关注的问题不同,图 1-1 模型中的各小方框的内容和作用将有所不同,因而相应有不同形式的更具体的通信模型。今后的讨论就是围绕着通信系统的模型展开的。

1.1.2 模拟通信模型和数字通信模型

图 1-1 中,信源发出的消息虽然有多种形式,但可分为两大类:一类称为连续消息;另一类称为离散消息。

连续消息是指消息的状态是连续变化或不可数的,如语音、活动图片等。离散消息则是指消息的状态是可数的或离散的,如符号、数据等。

消息的传递是通过它的物质载体——**电信号**来实现的,即把消息寄托在电信号的某一参量上(如连续波的幅度、频率或相位,脉冲波的幅度、宽度或位置)。按信号参量的取值方式不同可把信号分为两类,即模拟信号和数字信号。

凡信号参量的取值连续(不可数,无穷多)的,称为**模拟信号**。如电话机送出的语音信号、电视摄像机输出的图像信号等。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化,或者说在某一取值范围内可以取无穷多个值,如图 1-2(a)所示;但模拟信号不一定在时间上也连续,如图 1-2(b)所示的抽样信号。

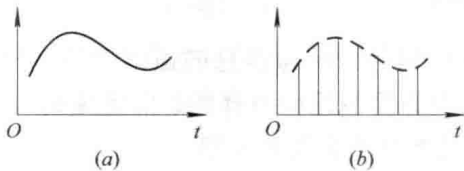


图 1-2 模拟信号波形
(a) 连续信号；(b) 抽样信号

凡信号参量只可能取有限个值的，称为**数字信号**。如电报信号、计算机输入输出信号等。数字信号有时也称离散信号，这个离散是指信号的某一参量是离散变化的，如图 1-3 (a)所示；但数字信号不一定在时间上也离散，如图 1-3 (b)所示的 2PSK 信号。

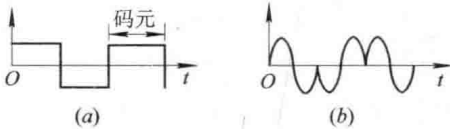


图 1-3 数字信号波形
(a) 二进制波形；(b) 2PSK 波形

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

1. 模拟通信系统模型

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统，如图 1-4 所示。我们知道，信源发出的原始电信号是基带信号，基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始，如语音信号为 300~3400 Hz，图像信号为 0~6 MHz。由于这种信号具有频率很低的频谱分量，一般不宜直接传输，这就需把基带信号变换成适合在信道中传输的信号，并在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换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**。已调信号有三个基本特征：一是携带有信息，二是适合在信道中传输，三是信号的频谱通常具有带通形式，因而已调信号又称**带通信号**或**频带信号**。

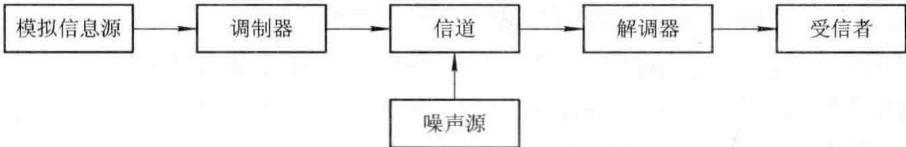


图 1-4 模拟通信系统模型

需要指出，消息从发送端到接收端的传递过程中，不仅仅只有连续消息与基带信号、基带信号与频带信号之间的两种变换，实际通信系统中可能还有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于以上两种变换对信号的变化起决定性作用，而其他过程对信号不会发生质的变化，因此，本书中关于模拟通信系统的研究重点是：调制与解调原理以及噪声对信号传输的影响(详见第 4 章)。

2. 数字通信系统的模型

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统,如图 1-5 所示。数字通信涉及的技术问题很多,其中主要有信源编码与译码、信道编码与译码、加密与解密、数字调制与解调、同步等。下面对这些技术作简要介绍。

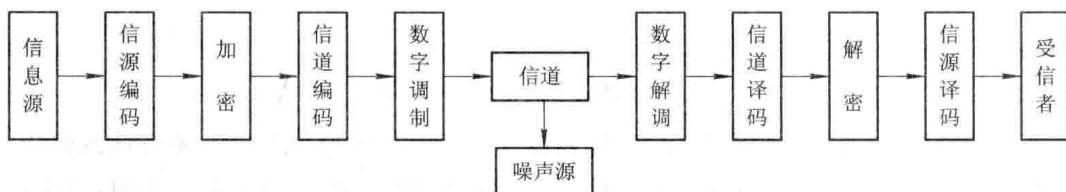


图 1-5 数字通信系统模型

1) 信源编码与译码

信源编码的作用之一是提高信息传输的有效性,即通过某种数据压缩技术来减少信息的冗余度(减少信息码元数目)和降低数字信号的码元速率。因为码元速率将决定传输带宽,而传输带宽反映了通信的有效性。作用之二是完成模/数(A/D)转换,即把来自模拟信源的模拟信号转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输(详见第 6 章)。信源译码是信源编码的逆过程。

2) 信道编码与译码

数字信号在信道传输时,由于噪声、衰落以及人为干扰等,将会引起差错。为了减小差错,信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分(监督元),组成所谓的“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按一定规则进行解码,从解码过程中发现错误或纠正错误,从而提高通信系统抗干扰能力,实现可靠通信。

3) 加密与解密

在需要实现保密通信的场合,为了保证所传信息的安全,人为将被传输的数字序列扰乱,即加上密码,这种处理过程叫加密。在接收端利用与发送端相同的密码复制品对收到的数字序列进行解密,恢复原来信息。

4) 数字调制与解调

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。基本的数字调制方式有振幅键控 ASK、频移键控 FSK、绝对相移键控 PSK、相对(差分)相移键控 DPSK。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关器接收机或匹配滤波器。数字调制是本教材的重点内容之一,将分别在第 7 章和第 9 章中讨论。

5) 同步

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提条件。按照同步的功用不同,可分为载波同步、位同步、群同步和网同步,这些问题将集中在第 11 章中讨论。

需要说明的是,图 1-5 是数字通信系统的一般化模型,实际的数字通信系统不一定包括图 1-5 中的所有环节,如在某些有线信道中,数字基带信号无需调制就可以直接传送,称之为数字信号的基带传输,其模型中就不包括调制与解调环节,详见第 5 章。

应该指出的是,模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输,数字电话系统就是以数字方式传输模拟话音信号的例子。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传统的电话网来传输,但这时必须使用调制解调器(Modem),以适应模拟信道的传输特性。

3. 数字通信的主要特点

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是,数字通信的发展速度已明显超过模拟通信,成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求,其特点是:

(1) 抗干扰能力强,且噪声不积累。以二进制为例,数字信号的取值只有两个,这样接收端只需判别两种状态。信号在传输过程中受到噪声的干扰,必然会发生波形畸变,接收端对其进行抽样判决,以辨别是两个状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确,就能正确接收。而模拟通信系统中传输的是连续变化的模拟信号,它要求接收机能够高度保真地重现信号波形,如果模拟信号叠加上噪声后,即使噪声很小,也很难消除它。此外,在远距离传输,如微波中继通信时,各中继站可利用数字通信特有的判决再生接收方式,对数字信号波形进行整形再生而消除噪声积累。

(2) 差错可控。可以采用信道编码技术使误码率降低,提高传输的可靠性。

(3) 易于与各种数字终端接口,用现代计算技术对信号进行处理、加工、变换、存储,从而形成智能网。

(4) 易于集成化,从而使通信设备微型化。

(5) 易于加密处理,且保密强度高。

数字通信的缺点是,可能需要较大的带宽。另外,由于数字通信对同步要求高,因而系统设备比较复杂。不过,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)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已经弱化。因此,数字通信的应用会越来越广泛。

1.2 通信系统分类与通信方式

1.2.1 通信系统的分类

1. 按通信业务分类

按通信业务分,通信系统可分为话务通信系统和非话务通信系统。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务通信发展迅速,非话务通信主要有分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子信箱、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输。此外,还有遥测、遥控、遥信和遥调等控制通信业务。

2. 按调制方式分类

根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输系统和频带(调制)传输系统。基带传输是指将未经调制的信号直接传送，如音频市内电话。频带传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多，表 1-1 列出了一些常见的调制方式。

表 1-1 常见的调制方式

调制方式			用途
连续波调制	线性调制	常规双边带调制 AM	广播
		抑制载波双边带调制 DSB	立体声广播
		单边带调制 SSB	载波通信、无线电台、数传
		残留边带调制 VSB	电视广播、数传、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	幅度键控 ASK	数据传输
		频率键控 FSK	数据传输
		相位键控 PSK、DPSK、QPSK 等	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制 QAM、MSK 等	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM(PWM)	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 DM	军用、民用电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他语言编码方式 ADPCM、APC、LPC	中低速数字电话

3. 按信号特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。

4. 按传输媒质分类

按传输媒质分，通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用导线(如架空明线、同轴电缆、光导纤维、波导等)作为传输媒质完成通信的，如市内电话、有线电视、海底电缆通信等。无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的的，如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

5. 按工作波段分类

按通信设备的工作频率不同，通信系统可分为长波通信系统、中波通信系统、短波通信系统、远红外线通信系统等。表 1-2 列出了通信使用的频段、常用的传输媒质及主要用途。

表 1-2 通信波段与常用传输媒质

频率范围	波 长	符 号	传输媒质	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^4 \sim 10^8$ 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
30~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ 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	$10^2 \sim 10^3$ 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
3~30 MHz	$10 \sim 10^2$ 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
30~300 MHz	1~10 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	10~100 cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、 雷达
3~30 GHz	1~10 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
30~300 GHz	1~10 mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^7 \sim 10^8$ GHz	$3 \times 10^{-5} \sim$ 3×10^{-4} cm	紫外, 可见 光, 红外	光纤 激光空间传播	光通信

工作波长和频率的换算公式为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ (m/s)}}{f \text{ (Hz)}} \quad (1.2-1)$$

式中, λ 为工作波长, f 为工作频率, c 为光速。

6. 按信号复用方式分类

传输多路信号有三种复用方式, 即频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围; 时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间; 码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。传统的模拟通信中都采用频分复用; 随着数字通信的发展, 时分复用通信系统的应用愈来愈广泛; 码分复用主要用于空间通信的扩频通信中。

1.2.2 通信方式

前述通信系统是单向通信系统, 但在多数场合下, 信源兼为信宿, 需要双向通信, 电话就是一个最好的例子, 这时通信双方都要有发送和接收设备, 并需要各自的传输媒质, 如果通信双方共用一个信道, 就必须用频率或时间分割的方法来共享信道。因此, 通信过程中涉及通信方式与信道共享问题。下面只对通信方式作简单介绍。

1. 按消息传递的方向与时间关系分

对于点与点之间的通信, 按消息传递的方向与时间关系, 通信方式可分为单工、半双工及全双工通信三种。

单工通信，是指消息只能单方向传输的工作方式，因此只占用一个信道，如图 1-6(a)所示。广播、遥测、遥控、无线寻呼等就是单工通信方式的例子。

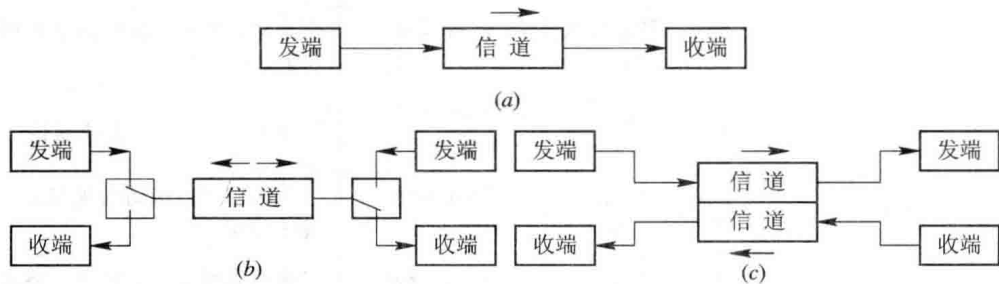


图 1-6 单工、半双工和全双工通信方式示意图

(a) 单工；(b) 半双工；(c) 全双工

半双工通信，是指通信双方都能收发消息，但不能同时进行收和发的工作方式，如图 1-6(b)所示。例如，使用同一载频的对讲机，收发报机以及问询、检索、科学计算等数据通信都是半双工通信方式。

全双工通信，是指通信双方可同时进行收发消息的工作方式。一般情况下全双工通信的信道必须是双向信道，如图 1-6(c)所示。普通电话、手机都是最常见的全双工通信方式，计算机之间的高速数据通信也是这种方式。

2. 按数字信号排列顺序分

在数字通信中，按数字信号代码排列的顺序可分为并行传输和串行传输。

并行传输是将代表信息的数字序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输，如图 1-7(a)所示。并行传输的优点是节省传输时间，但需要传输信道多，设备复杂，成本高，故较少采用，一般适用于计算机和其他高速数字系统，特别适用于设备之间的近距离通信。

串行传输是数字序列以串行方式一个接一个地在一条信道上传输，如图 1-7(b)所示。通常，一般的远距离数字通信都采用这种传输方式。

此外，还可以按通信的网络形式划分。由于通信网的基础是点与点之间的通信，所以本课程的重点放在点与点之间的通信上。

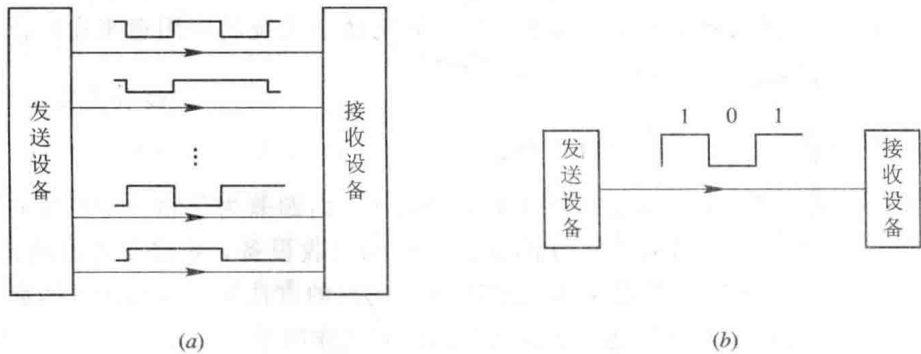


图 1-7 并行和串行通信方式示意图

(a) 并行传输；(b) 串行传输