



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

现代通信系统原理

(第2版)

张会生 主编

张会生 陈树新 编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教育)

现代通信系统原理

(第2版)

张会生 主编

张会生 陈树新 编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),旨在全面介绍现代通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法,内容包括模拟通信和数字通信,侧重数字通信。全书共9章:绪论、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、模拟信号的数字传输、同步系统、差错控制编码、现代通信系统介绍。每章后均设有思考题和习题。书后有4个附录:常用三角函数公式,误差函数,傅里叶变换,部分习题答案。全书内容丰富,讲述由浅入深,简明透彻,概念清楚,重点突出,既便于教师组织教学,又适于学生自学。

本书可作为通信、电子、信息、自动化、信号检测、计算机应用等专业高职高专教材;也可作为以应用型为培养目标的三本院校以及成人高校电子信息类相关专业的本科生教材;还可供有关专业工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信系统原理/张会生主编;张会生,陈树新编.

2版. —北京:高等教育出版社,2009.6

ISBN 978-7-04-026659-7

I. 现… II. ①张…②张…③陈… III. 通信系统—高等学校—教材 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第065221号

策划编辑	孙杰	责任编辑	王莉莉	封面设计	张志奇	责任绘图	尹文军
版式设计	余杨	责任校对	刘莉	责任印制	尤静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 潮河印业有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.5
字 数 480 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004年7月第1版
2009年6月第2版
印 次 2009年6月第1次印刷
定 价 25.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26659-00

第2版前言

本书第1版作为普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育),自2004年7月出版以来,得到了专家的认可和广大读者的欢迎,近百所学校选用该书作为教材,短短四年已印刷8次;以该教材为核心构建的“现代通信系统原理”课程,2005年2月被评为国家级精品课程;本次修订的第2版,被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。

为适应通信技术的发展和教学需要,本次出版在保持教材原有基本结构和风格不变的前提下,着重从“增加可读性”、“体现先进性”等方面进行了修改,旨在使读者既易于理解和接受,又能获取通信技术新知识。主要修改内容如下:

1. 简化了公式推导过程(3.2.3节),对部分重点、难点做了更形象、更明确的阐述(3.1.5节、4.3.3节)。

2. 在第5章数字信号的频带传输一章,重新编写了MSK最小频移键控(5.6.3节),增编了OFDM正交频分复用(5.6.5节),删去了SFSK正弦频移键控(原5.6.4节)和TFM平滑调频(原5.6.5节)。

3. 在第6章模拟信号的数字传输一章,调整了章节结构,增加了压缩编码技术(6.8节)。

4. 在第7章同步系统一章,增加了关于性能分析方面的习题。

5. 在第8章差错控制编码一章,增加了新型信道编码技术简介(8.6节)。

6. 在第9章现代通信系统介绍一章,删去微波通信系统介绍(原9.1节),增加了无线局域网(9.1节)。

为了便于教学,与本书配套,编者还制作了电子教学课件,各校任课教师可从出版社免费索取。

承蒙空军工程大学电信学院吴家安教授认真审阅本书,并提出宝贵意见,在此表示深切感谢。

本书得以顺利出版,得到了西北工业大学和西北工业大学明德学院的大力支持和资助,以及高等教育出版社的有力指导和帮助,在此表示诚挚感谢。

借此机会,对长期支持本书出版的专家、同行和广大读者表示衷心的感谢,真诚期望对于书中的缺点和错误不断给予指正。

编者

2009年4月

第1版前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书全面介绍现代通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法。全书内容共9章：绪论(通信的基本概念)、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、模拟信号的数字传输、同步系统、差错控制编码、现代通信系统介绍。

作为高职高专教育电子信息类通信技术专业的一门核心技术基础课程教材，在本书的编写中考虑了以下的原则与特点：

符合高等技术教育特点。以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为教学重点，适当考虑培养学生具有一定的可持续发展能力。

加强针对性和实用性。既介绍模拟通信，又介绍数字通信，但以数字通信为主；既讲述通信系统的基本知识和基本原理，又介绍新技术、新发展；注重通信技术在实际系统中的应用，注意吸收新技术和新的通信系统。

讲述由浅入深，简明透彻，概念清楚，重点突出。着重基本概念、基本原理阐述，减少不必要的数学推导和计算。

全书内容丰富，编排连贯，系统性强。教材的宏观体系是，先基础知识，后系统介绍；先模拟通信系统，后数字通信系统。每章后均设有思考题和习题，书后有4个附录：常用三角函数公式，误差函数，傅里叶变换，部分习题答案。既便于教师组织教学，又利于学生自学。

本书参考学时为64学时。本书内容可根据课程设置的具体情况、专业特点和教学要求的侧重点不同进行自由取舍，灵活讲授。如已学过“高频电子线路”，模拟调制系统一章可以少讲或不讲；目录中打*的章节属加深、拓宽内容，可以不讲。

本书既适用于高职高专层次的各类高校通信、电子、计算机应用等专业作为教材选用，也可作为高等技术教育独立本科院校、成人高等学校有关专业参考教材，还可供IT类专业工程技术人员参考。

本书由张会生主编，陈树新参编。张会生编写了第1、2、3、4、5章及附录，陈树新编写第6、7、8、9章。研究生秦勇等对本书初稿进行了阅读，并提出参考意见。

空军工程大学电讯学院吴家安教授担任本书的主审，对本书进行了仔细审阅，并提出了许多宝贵意见和修改建议，在此表示诚挚的感谢。

编写过程中得到了西北工业大学的大力支持和资助，在此表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在错误和不足，恳请读者批评指正。

编 者

2004年2月

目 录

第1章 绪论 1

1.1 通信的定义	1
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 通信系统的一般模型	2
1.2.2 模拟通信系统	2
1.2.3 数字通信系统	3
1.2.4 数字通信的主要特点	4
1.3 通信系统的分类及通信方式	6
1.3.1 通信的分类	6
1.3.2 通信方式	7
1.4 通信系统的主要性能指标	9
1.4.1 一般通信系统的性能指标	9
1.4.2 信息及其度量	10
1.4.3 有效性指标的具体表述	13
1.4.4 可靠性指标的具体表述	14
思考题	15
习题	15

第2章 信道与噪声 17

2.1 信道的基本概念	17
2.1.1 信道的定义	17
2.1.2 信道的分类	18
2.1.3 信道的数学模型	19
2.2 恒参信道及其对所传信号的影响	21
2.2.1 信号不失真传输的条件	21
2.2.2 幅度-频率畸变	22
2.2.3 相位-频率畸变	22

2.2.4 减小畸变的措施	23
2.3 随参信道及其对所传信号的影响	23
2.3.1 随参信道传输媒质的特点	24
2.3.2 随参信道对信号传输的影响	24
2.3.3 随参信道特性的改善	26
2.4 信道的加性噪声	28
2.5 通信中的常见噪声	29
2.5.1 白噪声	29
2.5.2 高斯噪声	30
2.5.3 高斯型白噪声	32
2.5.4 窄带高斯噪声	32
2.5.5 正弦信号加窄带高斯噪声	34
2.6 信道容量的概念	35
思考题	36
习题	37

第3章 模拟调制系统 38

3.1 幅度调制的原理	38
3.1.1 幅度调制的一般模型	38
3.1.2 常规双边带调幅(AM)	39
3.1.3 抑制载波的双边带调幅(DSB-SC)	42
3.1.4 单边带调制(SSB)	43
3.1.5 残留边带调制(VSB)	45
3.2 线性调制系统的抗噪声性能	47
3.2.1 通信系统抗噪声性能分析	

模型	47	4.5.2 眼图形成原理及模型	93
3.2.2 线性调制相干解调的抗 噪声性能	49	* 4.6 时域均衡原理	95
3.2.3 常规调幅包络检波的抗噪声 性能	52	4.6.1 均衡的概念	95
3.3 角度调制(非线性调制)的 原理及抗噪声性能	54	4.6.2 时域均衡的基本原理	95
3.3.1 角度调制的基本概念	54	4.6.3 有限长横向滤波器	96
3.3.2 窄带调频与宽带调频	55	* 4.7 部分响应系统	98
3.3.3 调频信号的产生与解调	60	4.7.1 部分响应系统的基本 原理	98
3.3.4 调频系统的抗噪声性能	63	4.7.2 一种实用的部分响应 系统	100
3.4 各种模拟调制系统的比较	67	4.7.3 一般形式的部分响应 系统	101
3.5 频分复用(FDM)	68	思考题	103
思考题	70	习题	104
习题	70		
第4章 数字基带传输系统	73	第5章 数字信号的频带传输	107
4.1 数字基带信号的码型	73	5.1 二进制数字幅度调制	107
4.1.1 数字基带信号的码型设计 原则	73	5.1.1 一般原理与实现方法	107
4.1.2 数字基带信号的常用码型	74	5.1.2 2ASK 信号的功率谱及 带宽	109
4.1.3 数字基带信号功率谱	78	5.1.3 2ASK 系统的抗噪声 性能	110
4.2 基带传输系统的脉冲传输与 码间串扰	82	5.2 二进制数字频率调制	113
4.2.1 数字基带传输系统的工作 原理	82	5.2.1 调制原理与实现方法	113
4.2.2 基带传输系统的码间 串扰	83	5.2.2 2FSK 信号的解调	115
4.2.3 码间串扰的消除	84	5.2.3 2FSK 信号的功率谱及 带宽	117
4.3 无码间串扰的基带传输系统	85	5.2.4 2FSK 系统的抗噪声 性能	118
4.3.1 理想基带传输系统	85	5.3 二进制数字相位调制	123
4.3.2 无码间串扰的等效特性	87	5.3.1 二进制相移键控(2PSK)	123
4.3.3 实用的无码间串扰基带 传输特性	88	5.3.2 二进制差分相移键控 (2DPSK)	127
4.4 无码间串扰基带传输系统的 抗噪声性能	90	5.4 二进制数字调制系统的性能 比较	133
4.5 眼图	93	* 5.5 多进制数字调制	134
4.5.1 眼图的概念	93	5.5.1 多进制数字幅度调制 (MASK)	135

5.5.2	多进制数字频率调制 (MFSK)	138
5.5.3	多进制数字相位调制 (MPSK)	140
* 5.6	现代数字调制技术	145
5.6.1	正交幅度调制(QAM)	145
5.6.2	交错正交相移键控 (OQPSK)	147
5.6.3	最小频移键控(MSK)	149
5.6.4	高斯最小频移键控 (GMSK)	152
5.6.5	正交频分复用(OFDM)	153
思考题		156
习题		157

第6章 模拟信号的数字传输 160

6.1	引言	160
6.2	抽样定理	161
6.3	脉冲振幅调制(PAM)	163
6.3.1	自然抽样	163
6.3.2	平顶抽样	165
6.4	模拟信号的量化	166
6.4.1	均匀量化和量化信噪功 率比	167
6.4.2	非均匀量化	169
6.5	脉冲编码调制原理(PCM)	173
6.5.1	常用的二进制编码码型	173
6.5.2	13折线的码位安排	175
6.5.3	逐次比较型编码原理	176
6.5.4	译码原理	179
6.5.5	PCM信号的码元速率和 带宽	180
6.5.6	PCM系统的抗噪声性能	180
6.6	增量调制	182
6.6.1	简单增量调制	182
6.6.2	增量调制的过载特性与 编码的动态范围	184
6.6.3	增量调制的抗噪声性能	186

6.6.4	改进型增量调制	188
6.7	时分复用和多路数字电话 系统	195
6.7.1	PAM时分复用原理	195
6.7.2	时分复用的PCM系统 (TDM-PCM)	196
6.7.3	32路PCM的帧结构	197
6.7.4	PCM的高次群	199
6.8	压缩编码技术	200
6.8.1	压缩编码中的主要概念	200
6.8.2	压缩编码的基本原理和 方法	201
6.8.3	音频信号的压缩方法与 标准	202
思考题		204
习题		204

第7章 同步系统 206

7.1	引言	206
7.2	载波同步技术	207
7.2.1	直接法(自同步法)	207
7.2.2	插入导频法	209
7.2.3	载波同步系统的性能指标	212
7.3	位同步技术	214
7.3.1	插入导频法	214
7.3.2	自同步法	216
7.3.3	位同步系统的性能指标	217
7.4	群同步技术	219
7.4.1	起止同步法	219
7.4.2	连贯式插入法	219
7.4.3	间歇式插入法	222
7.4.4	群同步系统的性能指标	224
7.4.5	群同步的保护	226
思考题		228
习题		228

第8章 差错控制编码 230

8.1	引言	230
-----	----	-----

8.1.1 信源编码与信道编码的基本概念	230	9.2 VSAT 卫星通信系统	265
8.1.2 纠错编码的分类	231	9.2.1 系统的组成	266
8.1.3 差错控制方式	232	9.2.2 VSAT 的接入方式(多址方式)	266
8.1.4 纠错编码的基本原理	233	9.2.3 VSAT 主要类型和特点	268
8.2 常用简单分组码	235	9.3 海事卫星移动通信系统——Inmarsat	269
8.2.1 奇偶监督码	235	9.3.1 系统的组成	269
8.2.2 行列监督码	237	9.3.2 Inmarsat 航空卫星通信系统	270
8.2.3 恒比码	237	9.3.3 Inmarsat - P	271
8.3 线性分组码	238	9.4 GSM 数字蜂窝移动通信系统	274
8.3.1 基本概念	238	9.4.1 GSM 的特点	274
8.3.2 监督矩阵 H 和生成矩阵 G	240	9.4.2 GSM 系统体系结构	275
8.3.3 校正子 S	242	9.4.3 GSM 系统的无线接口	278
8.3.4 汉明码	243	9.4.4 GSM 的信道类型	279
8.4 循环码	244	9.4.5 GSM 系统研究新进展	281
8.4.1 循环码的特点	244	9.5 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	282
8.4.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	246	9.5.1 CDMA 系统原理及特点	282
8.4.3 循环码的编、译码方法	248	9.5.2 频率和信道规范	283
8.5 卷积码	250	9.5.3 CDMA 下行信道	284
* 8.6 新型信道编码技术简介	251	9.5.4 CDMA 上行信道	286
8.6.1 网格编码调制(TCM)	251	9.5.5 第三代移动通信系统(3G)	287
8.6.2 Turbo 码	253	思考题	290
思考题	255	附录 A 常用三角函数公式	291
习题	256	附录 B 误差函数	292
* 第 9 章 现代通信系统介绍	257	附录 C 傅里叶变换	295
9.1 无线局域网	257	附录 D 部分习题答案	297
9.1.1 扩频通信技术	257	参考书目	301
9.1.2 802.11 无线局域网	259		
9.1.3 蓝牙技术	261		

第1章

绪论

本章主要介绍通信的基本概念，如通信的定义，通信系统的组成、分类和工作方式，衡量通信系统的主要质量指标等，以使读者对通信的基本概念、术语以及本课程所要研究的主要对象有一个初步了解。这些基本概念是通信原理与技术的基础。

1.1 通信的定义

人类社会建立在信息交流的基础上，通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。从远古时代到现代文明社会，人类社会的各种活动与通信密切相关，特别是当今世界已进入信息时代，通信已渗透到社会各个领域，通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一，对人们日常生活和社会活动及发展起着日益重要的作用。

一般地说，通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。满足此定义的例子很多，如打电话，它是利用电话(系统)来传递消息；两个人之间的对话，是利用声音来传递消息；古代的“消息树”、“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等则是利用光的方式传递消息的。

通信的目的是传递消息，消息具有不同的形式，例如：语言、文字、数据、图像、符号，等等。随着社会的发展，消息的种类越来越多，人们对传递消息的要求也越来越高。通信中消息的传送是通过信号来进行的，如：红绿灯信号、狼烟、电压、电流信号等，信号是消息的载体。在各种各样的通信方式中，利用“电信号”来承载消息的通信方法称为电通信，这种通信具有迅速、准确、可靠等特点，而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。如今，在自然科学中，“通信”与“电通信”几乎是同义词了。本课程中所说的通信，均指电通信。据此，不妨对通信重新定义：利用电子等技术手段，借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地进行消息的有效传递称为通信。

通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术，它要将有用的信息无失真、高效率地进行传输，同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。当今的通信不仅要有效地传递信息，而且还要有存储、处理、采集及显示等功能，通信已成为信息科学技术的一个重

要组成部分。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般模型

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,通信系统的组成(通常也称为一般模型)如图1-1所示。



图 1-1 通信系统的一般模型

图1-1中,信源(信息源,也称发送端)的作用是把待传输的消息转换成原始电信号,如电话系统中电话机可看成是信源。信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式,如语音信号为300~3400 Hz,图像信号为0~6 MHz。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应地,信源也分为数字信源和模拟信源。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式;对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输的通道,可以有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。图中的噪声源,是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号来。

信宿(也称受信者或收终端)是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。

图1-1给出的是通信系统的一般模型,按照信道中所传信号的形式不同,可进一步具体化为模拟通信系统和数字通信系统。

1.2.2 模拟通信系统

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成可由一般通信系统模型略加改变而成,如图1-2所示。这里,一般通信系统模型中的发送设备和接收设备分别用调制器、解调器所代替。

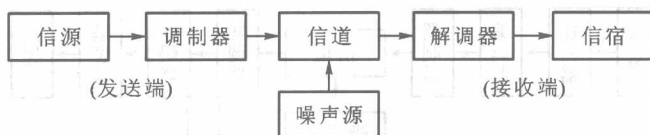


图 1-2 模拟通信系统模型

对于模拟通信系统，它主要包含两种重要变换。一是把连续消息变换成电信号（发送端信源完成）和把电信号恢复成最初的连续消息（接收端信宿完成）。由信源输出的电信号（基带信号）由于具有频率较低的频谱分量，一般不能直接作为传输信号而送到信道中去。因此，模拟通信系统里常有第二种变换，即将基带信号转换成适合信道传输的信号，这一变换由调制器完成；在接收端同样需经相反的变换，它由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性：一是携带有消息；二是适合在信道中传输；三是频谱具有带通形式，且中心频率远离零频，因而已调信号又常称为频带信号。

必须指出，从消息的发送到消息的恢复，事实上并非仅有以上两种变换，通常在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。对信号传输而言，由于上面两种变换对信号形式的变化起着决定性作用，它们是通信过程中的重要方面。而其他过程对信号变化来说，没有发生质的作用，只不过是信号进行了放大和改善信号特性等，因此，这些过程都认为是理想的，而不去讨论。

1.2.3 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。数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统。

1. 数字频带传输通信系统

数字通信的基本特征是，它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性，从而使数字通信具有许多特殊的问题。例如前边提到的第二种变换，在模拟通信中强调变换的线性特性，即强调已调参量与代表消息的基带信号之间的比例特性；而在数字通信中，则强调已调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。

另外，数字通信中还存在以下突出问题：第一，数字信号传输时，信道噪声或干扰所造成的差错，原则上是可以控制的，这是通过所谓的差错控制编码来实现的。于是，就需要在发送端增加一个编码器，而在接收端相应需要一个解码器。第二，当需要实现保密通信时，可对数字基带信号进行人为“扰乱”（加密），此时在收端就必须进行解密。第三，由于数字通信传输的是按一定节拍一个接一个传送的数字信号，因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍，否则，就会因收发步调不一致而造成混乱。另外，为了表述消息内容，基带信号都是按消息特征进行编组的，于是，在收发之间一组的编码的规律也必须一致，否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中，称节拍一致为“位同步”或“码元同步”，而称编组一致为“群同步”或“帧同步”，故数字通信中还必须有“同步”这个重要问题。

综上所述，点对点的数字通信系统模型如图 1-3 所示。

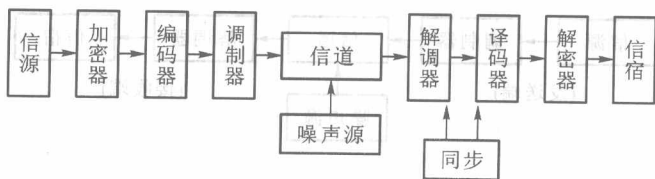


图 1-3 数字频带通信系统的模型

需要说明的是，图 1-3 中，调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节，在具体通信系统中是否全部采用，要取决于具体设计条件和要求。但在一个系统中，如果发送端有调制/加密/编码，则接收端必须有解调/解密/译码。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

2. 数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应，把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统，如图 1-4 所示。

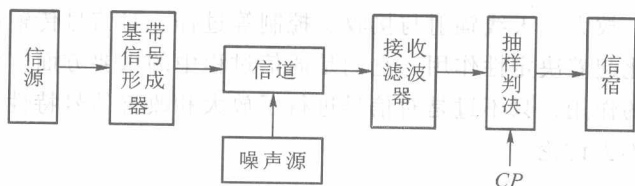


图 1-4 数字基带传输系统模型

图 1-4 中，基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等，接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。

3. 模拟信号数字化传输通信系统

上面介绍的数字通信系统中，信源输出的信号均为数字基带信号，实际上，在日常生活中大部分信号(如语音信号)为连续变化的模拟信号。那么要实现模拟信号在数字系统中的传输，则必须在发送端将模拟信号数字化，即进行模/数(A/D)转换；在接收端需进行相反的转换，即数/模(D/A)转换。实现模拟信号数字化传输的系统如图 1-5 所示。



图 1-5 模拟信号数字化传输系统模型

1.2.4 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。

1. 数字通信的主要优点

(1) 抗干扰能力强

由于在数字通信中, 传输的信号幅度是离散的, 以二进制为例, 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, 必然会使波形失真, 接收端对其进行抽样判决, 以辨别是两种状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确性, 就能正确接收(再生)。而在模拟通信中, 传输的信号幅度是连续变化的, 一旦叠加上噪声, 即使噪声很小, 也很难消除。

数字通信抗噪声性能好, 还表现在微波中继通信中, 它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后, 只要不发生错码, 它仍然像信源中发出的信号一样, 没有噪声叠加在上面。因此中继站再多, 数字通信仍具有良好的通信质量。而模拟通信中继时, 只能增加信号能量(对信号放大), 而不能消除噪声。

(2) 差错可控

数字信号在传输过程中出现的错误(差错), 可通过纠错编码技术来控制, 以提高传输的可靠性。

(3) 易加密

数字信号与模拟信号相比, 它容易加密和解密。因此, 数字通信保密性好。

(4) 易于与现代技术相结合

由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展, 许多设备、终端接口均采用数字信号, 因此极易与数字通信系统相连接。

2. 数字通信的缺点

相对于模拟通信来说, 数字通信主要有以下两个缺点。

(1) 频带利用率不高

系统的频带利用率, 可用系统允许最大传输带宽(信道的带宽)与每路信号的有效带宽之比来表征, 即

$$n = \frac{B_w}{B_i} \quad (1-1)$$

式中, B_w 为系统允许最大频带宽度; B_i 为每路信号的频带宽度; n 为系统在其带宽内最多能容纳(传输)的话路数。 n 值愈大, 系统利用率愈高。

数字通信中, 数字信号占用的频带宽, 以电话为例, 一路模拟电话通常只占据 4 kHz 带宽, 但一路接近同样语音质量的数字电话可能要占据 20 ~ 60 kHz 的带宽。因此, 如果系统传输带宽一定的話, 模拟电话的频带利用率要高出数字电话的 5 ~ 15 倍。

(2) 系统设备比较复杂

数字通信中, 要准确地恢复信号, 接收端需要严格的同步系统, 以保持接收端和发送端严格的节拍一致、编组一致。因此, 数字通信系统及设备一般都比较复杂, 体积较大。

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。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用, 数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占主导地位。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信的分类

通信的目的是传递消息,按照不同的分法,通信可分成许多类别,下面将介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是媒质看得见、摸得着。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

2. 按信道中所传信号的特征分

前面已经指出,按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

3. 按工作频段分

按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表1-1列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

表1-1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波长	频段名称	常用传输媒介	用途
3 Hz ~ 30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频 VLF	有线线对 超长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30 ~ 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 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3 ~ 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 ~ 300 MHz	$10 \sim 1$ m	甚高频 VHF	同轴电缆 超短波/米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300 MHz ~ 3 GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频 UHF	波导 微波/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

频率范围	波长	频段名称	常用传输媒介	用途
3 ~ 30 GHz	10 ~ 1 cm	超高频 SHF	波导 微波/厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、 雷达
30 ~ 300 GHz	10 ~ 1 mm	极高频 EHF	波导 微波/毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim$ 3×10^{-6} cm	红外、可见 光、紫外	光纤 激光空间传播	光通信

工作频率和工作波长可互换，其关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

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

4. 按调制方式分

前面已经指出，根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将没有经过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再送到信道中传输的总称。调制的方式很多，将分别在第 3、5、6 章中论述。

5. 按业务的不同分

按通信业务分，通信系统可分为话务通信和非话务通信。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，它主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、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。

另外从广义的角度来看，广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴，因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展，目前它们已从通信中派生出来，形成了独立的学科。

6. 按通信者是否运动分

通信还可按收发信者是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活等特点，能使用户随时随地快速可靠地进行信息传递，因此，已被列为现代通信中的三大新兴通信方式之一。

另外，通信还有其他一些分类方法，如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等；按用户类型可分为公用通信和专用通信以及按通信对象的位置分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

1.3.2 通信方式

从不同角度考虑问题，通信的工作方式通常有以下几种。

1. 按消息传送的方向与时间分

对于点对点之间的通信,按消息传送的方向与时间,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信,是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,如图 1-6(a)所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。这里,信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。

所谓半双工通信方式,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。对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

所谓全双工通信,是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1-6(c)所示。在这种方式下,双方都可同时进行收发消息。很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话、手机等。

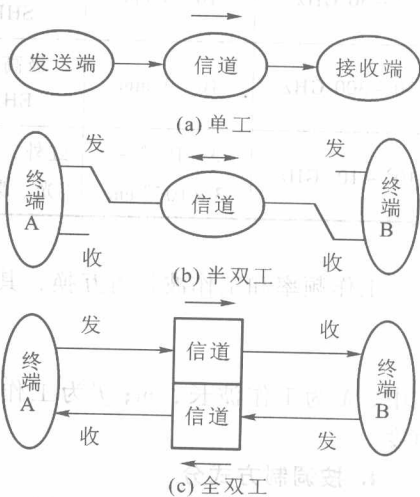


图 1-6 单工、半双工和全双工通信方式示意图

2. 按数字信号排序方式分

在数字通信中,按照数字信号代码排列顺序方式的不同,可将通信方式分为串行传输和并行传输。

所谓串行传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如图 1-7(a)所示。如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并行传输通信方式,如图 1-7(b)所示。

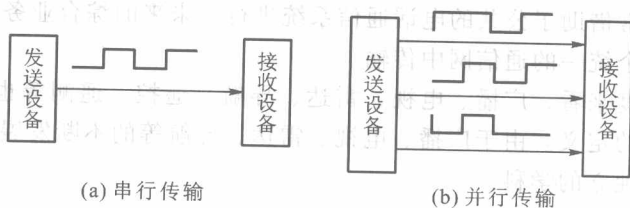


图 1-7 串行和并行传输方式

一般的数字通信方式大都采用串行传输,这种方式只需占用一条通路,缺点是传输时间相对较长;并行传输方式在通信中也会用到,它需要占用多条通路,优点是传输时间较短。

3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种:两点间直通方式、分支方式和交换方式,它们的示意图如图 1-8 所示。

直通方式是通信网络中最为简单的一种形式,终端 1 与终端 2 之间的线路是专用的。在分支方式中,每一个终端(1、2、3、 $\dots$ 、 N)经过同一信道与转接站相互连接,此时,终端之间不能直通信息,必须经过转接站转接,此种方式只在数字通信中出现。交换方式是终端之间通过交