



普通高等教育“十二五”规划教材

# 通信系统原理

孔英会 高强 张素香 李星蓉 编著



免费  
电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

# 通信系统原理

孔英会 高强 张素香 李星蓉 编著



机械工业出版社

本书全面阐述现代通信系统的基本概念、基本原理和基本分析方法。全书共分 11 章,包括绪论、信号分析基础、信道、模拟调制系统、模拟信号的数字传输、数字基带传输系统、数字调制系统、数字信号的最佳接收、信道编码、正交编码与伪随机序列、同步等内容。

本书内容丰富,覆盖范围广,以现代通信系统为背景,详细介绍通信的基本概念和基本原理,加深学生对通信基本理论的理解,并密切跟踪现代通信新技术的研究成果,注重通信技术在实际工程中的应用,加深读者对所学知识的理解和激发兴趣,引入通信系统仿真方法,培养读者的创新实践能力。本书每一章都附有思考题和习题,同时还提供配套多媒体教案。

本书可作为通信工程、电子信息科学与技术、电子信息工程等专业本科生教材,还可供通信领域工程技术人员、科研人员和研究生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

通信系统原理/孔英会等编著. —北京:机械工业出版社, 2011. 8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 111 - 34303 - 5

I. ①通… II. ①孔… III. ①通信系统 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 160308 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑:徐 凡 责任编辑:徐 凡 责任校对:陈秀丽  
封面设计:张 静 责任印制:乔 宇  
三河市国英印务有限公司印刷  
2011 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 25 印张 · 616 千字  
标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 34303 - 5  
定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

人类已迈入信息时代，信息化建设促进了通信学科的飞速发展，与此相关的通信理论、通信技术等也都获得了迅猛发展，其应用也越来越广泛。为适应这一发展需求，作为通信、电子类的专业基础课程，“通信原理”已成为很多学校的必修课程，也是很多学校相关专业的核心课程。本书主要建立通信系统的基本概念，介绍通信系统的基本理论和技术、基本分析方法以及通信理论的实际应用，为从事通信领域工作的广大读者提供所需的基础知识。

“通信原理”课程有很多优秀教材。本书作者广泛吸取了国内外同类教材的精华，同时结合多年来讲授“通信原理”课程的教学经验，同时考虑新的需求，编写了本书。本书主要突出强调了以下几点：

(1) 在叙述通信基本理论的基础上，以数字通信为主流，密切跟踪现代通信新技术的研究成果，如现代数字调制技术 OFDM、现代差错控制编码技术 Turbo、LDPC 等内容的引入，使读者可以在掌握了基本理论后对最新的研究进展有所了解。

(2) 既从理论上讲述通信系统的基本知识和基本原理，又注重理论与实际的结合。这表现在两个方面，一方面选择部分信号的波形和功率谱进行了实际测试，将理论结果与实测结果进行对比分析，如第 6 章数字基带信号及功率谱和第 7 章数字调制信号及功率谱部分，以加强对一些概念的理解；另一方面注重所学知识在实际通信系统中的应用，突出强调由所述理论解决工程问题，拉近理论与实际的距离，增进读者对所学知识的理解和激发兴趣，如本书在每一章的后面一节都安排应用实例（每一章加\*的内容），使读者能更好地利用所学理论解决实际问题。

(3) 引入现代通信系统仿真技术和方法，利用 MATLAB、Systemvue 等通信系统仿真工具对部分教学内容进行仿真分析，培养读者的创新实践能力。

本书讲述力求简明透彻，重点突出。教材的宏观体系是，先对基本概念和基础知识进行介绍，然后再系统介绍；先介绍模拟通信系统，后介绍数字通信系统；先学习基本原理，后介绍相关技术。每章都安排有思考题和习题，便于教师组织教学和学生自学。

全书分为 11 章，包括绪论、信号分析基础、信道、模拟调制系统、模拟信号的数字传输和数字基带传输系统、数字调制系统、数字信号的最佳接收、信道编码、正交编码与伪随机序列、同步原理。第 1 章绪论介绍了通信系统的基本知识，包括通信的概念、信息、消息与信号、通信系统的组成、分类、通信网概念、信息及其度量、通信系统的主要性能指标等；研究通信系统特性就必须掌握信号的相关理论知识，所以第 2 章介绍信号分析基础，其中确知信号分析部分涉及了信号的频谱分析、信号的能量和功率以及卷积和相关运算等重要的基础知识；随机信号分析部分主要解决通信过程存在的不确定性，着重介绍随机信号的分析方法，包括随机过程、平稳随机过程、高斯过程、窄带随机过程、白噪声等重要的基础知识，为后续章节的学习奠定必要的基础；信道是通信必需的传输通道，传输媒质特性对通信有很大影响，建立信道模型便于详细分析通信过程，第 3 章重点分析各种传输媒质特性并建

立调制信道和编码信道模型，并分析他们对信号传输的影响。前面三章都是分析通信系统所必需的基础。

从第4章开始进入通信系统原理的具体论述，开始详细介绍信息传输所需的基本处理过程及相关分析。第4章模拟调制系统是学习调制原理的基础，先给出调制的概念、作用、分类，再分别介绍各种模拟调制的原理与实现，包括表达式、波形、频谱、带宽、系统构成方框图、抗噪性能分析、应用等。

数字通信是目前通信技术发展的主流，本书从模拟信号的数字传输开始，共分六章详细介绍了模拟信号数字化方法、数字信号的基带传输和数字调制原理、数字信号的最佳接收、信道编码、正交编码与伪随机序列。

随着数字通信的迅猛发展，越来越多的模拟信息将依赖于数字通信系统传输，而模拟信号的数字传输是数字通信的前提，即首先在发端将模拟信号转换成数字信号，在接收端又必须将数字信号恢复成模拟信号。第5章着重介绍了两种模拟信号数字化方法（PCM和 $\Delta M$ ）的原理、性能和应用。

基带传输系统的许多问题也是频带传输系统必须涉及的问题，因此数字信号的基带传输是数字通信的基础。第6章主要讨论数字基带传输的码型、功率谱、无码间串扰传输条件，并介绍部分响应和时域均衡原理与实现。

大多数实际信道具有带通传输特性，将数字基带信号通过数字调制变为适于信道传输的数字频带信号才能进行传输，因此数字信号的频带传输是数字信号最重要的传输方式。第7章主要讨论基本的数字调制方式——二进制数字调制的基本原理、实现方法及性能，在此基础上根据新的需求引出了各种现代数字调制方式。

由于信道特性的不理想以及信道中存在噪声等不利因素对信号接收产生影响，通信接收系统的性能非常关键。第8章以接收问题作为研究对象，着重分析从噪声中如何以最佳策略提取有用信号，即重点讨论数字信号最佳接收的基本原理及方法。

第9章介绍了信道编码的有关内容。首先介绍了信道编码的基本思想、常用的差错控制方法，接着论述了几种常用的简单信道编码，详细介绍了线性分组码、循环码、卷积码和几种复合编码以及TCM的有关原理和实现方法。

正交编码与伪随机序列在数字通信中都有着十分重要的作用，它们广泛应用于码分多址通信、扩展频谱通信等领域。第10章介绍了正交编码的原理与m序列、M序列等伪随机序列的产生、性质及应用。

同步对于模拟通信系统和数字通信系统都非常重要，它关系到能否正常进行通信并直接影响通信质量的好坏。第11章介绍了载波同步、位同步、群同步和网同步等理论知识。

本书第1、6、9章由孔英会教授编写；第7、8、11章由高强教授编写；第2、5、10章由张素香副教授编写；第3、4章由李星蓉编写，全书由孔英会统稿。本书作者还制作了配套的多媒体教案。

作者在编写本书和承担河北省精品课程“通信原理”建设的教学过程中得到了学校教务处、电子与通信工程系、通信教研室的关心、帮助和支持，还得到了北京交通大学的梁满贵教授、北京邮电大学陈雪教授、河北大学王振朝教授、河北大学王兰勋副教授的大力协助，在此向他们表示衷心的感谢。本书的编写过程中，还有很多朋友和同学积极参与到了教材的资料收集和整理活动中，研究生张姣姣、景美丽、武军娜、刘雨娜、温正阳等为本书的

资料搜集与整理、图形绘制、电子版的排版等方面做了大量的工作。本书的出版得到了机械工业出版社的大力协助和支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平，书中不妥及错误之处在所难免，敬请同仁与读者批评指正。

作者  
于华北电力大学

# 目 录

## 前言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 通信的概念 .....	1
1.1.1 通信的概念与现代社会中的通信 .....	1
1.1.2 信息、消息与信号 .....	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 模拟通信系统和数字通信系统 .....	3
1.2.3 实际通信系统 .....	4
1.2.4 通信网的概念及通信网组成 .....	9
1.3 通信系统分类与通信方式 .....	12
1.3.1 通信系统的分类 .....	12
1.3.2 通信方式 .....	14
1.4 信息及其度量 .....	15
1.5 通信系统的主要性能指标 .....	17
1.5.1 模拟通信系统的主要性能指标 .....	18
1.5.2 数字通信系统的主要性能指标 .....	18
1.6 现代通信发展趋势 .....	20
1.7 本章小结 .....	23
思考题 .....	23
习题 .....	24
<b>第2章 信号分析基础</b> .....	25
2.1 确知信号分析 .....	25
2.1.1 信号的分类 .....	25
2.1.2 傅里叶变换 .....	27
2.1.3 能量频谱密度与功率频谱密度 .....	28
2.1.4 卷积与相关 .....	29
2.1.5 信号通过线性系统 .....	33
2.1.6 希尔伯特变换 .....	36
2.2 随机信号分析 .....	36
2.2.1 随机信号的概念与定义 .....	36
2.2.2 平稳随机过程 .....	39
2.2.3 高斯过程 .....	43
2.2.4 高斯白噪声 .....	46
2.2.5 窄带随机过程 .....	48
2.2.6 正弦波加窄带高斯过程 .....	49
2.3 本章小结 .....	50
思考题 .....	50
习题 .....	51
<b>第3章 信道</b> .....	53
3.1 引言 .....	53
3.2 广义信道的定义 .....	53
3.3 常用传输媒质 .....	54
3.3.1 常用有线信道 .....	54
3.3.2 常用无线信道 .....	55
3.4 信道的数学模型 .....	58
3.4.1 调制信道模型 .....	58
3.4.2 编码信道模型 .....	59
3.5 恒参信道特性及其对信号传输的影响 .....	59
3.5.1 信道无失真传输的条件 .....	59
3.5.2 恒参信道的幅频特性与相频特性 .....	60
3.6 随参信道特性及其对信号传输的影响 .....	62
3.6.1 随参信道的多径传输与衰落 .....	62
3.6.2 分集接收 .....	64
3.7 信道中的噪声 .....	64
3.8 信道容量 .....	65
3.8.1 离散信道的信道容量 .....	66
3.8.2 连续信道的信道容量 .....	68
3.9 多人多出信道的容量 .....	69
*3.10 无线信道建模与仿真 .....	70
3.10.1 无线信道的大尺度模型 .....	70
3.10.2 无线信道的小尺度模型 .....	70
3.10.3 移动信道的 Jakes 仿真模型介绍 .....	71
3.11 本章小结 .....	71
思考题 .....	72
习题 .....	72
<b>第4章 模拟调制系统</b> .....	74
4.1 引言 .....	74
4.1.1 调制的概念 .....	74

4.1.2 调制在通信系统中的作用	74	计算	119
4.1.3 调制的分类	74	5.5.3 非均匀量化	121
4.2 线性调制	75	5.6 脉冲编码调制	125
4.2.1 调幅(AM)	75	5.6.1 PCM基本原理	125
4.2.2 双边带调制(DSB)	77	5.6.2 编码实现	126
4.2.3 单边带调制(SSB)	78	5.6.3 PCM的抗噪性能分析	131
4.2.4 残留边带调制(VSB)	81	5.7 差分脉冲编码调制和自适应	
4.3 线性调制系统的抗噪声性能	82	差分脉冲编码调制	133
4.3.1 抗噪性能指标与分析方法	82	5.7.1 差分脉冲编码调制	134
4.3.2 双边带调制系统的抗噪声性能	83	5.7.2 自适应差分脉冲编码调制	137
4.3.3 单边带调制系统的抗噪声性能	84	5.8 增量调制	137
4.3.4 幅度调制系统的抗噪声性能	86	5.8.1 增量调制的基本原理	137
4.4 非线性调制(角度调制)原理	88	5.8.2 增量调制存在的问题	139
4.4.1 角度调制的基本概念	89	5.8.3 抗噪性能分析	140
4.4.2 窄带调频	90	5.8.4 PCM和 $\Delta M$ 系统性能比较	141
4.4.3 宽带调频	91	5.9 时分多路复用和多路数字电话系统	142
4.4.4 调频信号的产生与解调	94	5.9.1 时分复用的基本原理	142
4.5 调频系统的抗噪声性能	97	5.9.2 复用信号的传输带宽与路数	144
4.5.1 大信噪比时的调制制度增益	97	5.9.3 时分复用速率计算	144
4.5.2 小信噪比时的门限效应	100	5.9.4 PCM时分多路数字电路系统的组成	145
4.5.3 预加重与去加重	101	5.9.5 国际标准	147
4.6 各种模拟调制系统的比较	101	5.10 模拟信号数字化在工程中的应用	149
4.7 频分复用	102	5.10.1 在声卡中的应用	149
4.8 复合调制与多级调制的概念	103	5.10.2 在数字程控交换机中的应用	149
4.9 模拟通信系统应用实例	104	5.10.3 语音编码在移动通信中的应用	150
4.9.1 电力线载波通信	104	5.11 基于SystemVue仿真实例	151
4.9.2 调幅广播	105	5.12 本章小结	152
4.9.3 调频立体声广播	105	思考题	153
4.10 本章小结	106	习题	153
思考题	106		
习题	107		
<b>第5章 模拟信号的数字传输</b>	<b>109</b>	<b>第6章 数字基带传输系统</b>	<b>155</b>
5.1 引言	109	6.1 引言	155
5.2 模拟信号的抽样	109	6.2 数字基带信号及其频谱特性	156
5.2.1 低通抽样定理	110	6.2.1 数字基带信号波形	156
5.2.2 带通抽样定理	112	6.2.2 数字基带信号传输的常用码型	158
5.3 实际抽样	114	6.2.3 数字基带信号的频谱特性	163
5.3.1 自然抽样	114	6.3 数字基带波形传输与码间串扰	173
5.3.2 瞬时抽样	116	6.3.1 码间串扰产生的原因	173
5.4 脉冲调制	117	6.3.2 无码间串扰产生的条件	175
5.5 模拟信号的量化	118	6.3.3 无码间串扰的基带传输特性	177
5.5.1 量化及其量化特性	118		
5.5.2 均匀量化和量化信噪功率比的			



6.4 部分响应系统 .....	181	7.4.2 多进制频移键控 (MFSK) .....	238
6.4.1 部分响应波形 .....	181	7.4.3 多进制相移键控 (MPSK) .....	240
6.4.2 部分响应系统的预编码与相关 编码 .....	183	7.4.4 多进制差分相移键控 (MDPSK) .....	242
6.4.3 一般形式的部分响应系统 .....	185	7.4.5 多进制相移键控的抗噪声 性能 .....	243
6.5 数字基带传输系统的抗噪性能 分析 .....	188	7.5 现代数字调制技术 .....	243
6.5.1 数字通信系统抗噪性能分析的 一般步骤和方法 .....	188	7.5.1 偏移四相相移键控(OQPSK) .....	243
6.5.2 二进制数字基带系统的误码率 .....	189	7.5.2 $\pi/4$ 四相相移键控 ( $\pi/4$ -QPSK) .....	244
6.5.3 多元码的差错率 .....	193	7.5.3 最小频移键控 (MSK) .....	245
6.6 眼图 .....	193	7.5.4 时频调制 .....	250
6.7 时域均衡 .....	195	7.5.5 正交幅度调制 (QAM) .....	251
6.7.1 时域均衡的概念和原理 .....	195	7.5.6 正交频分复用 (OFDM) .....	253
6.7.2 线性均衡 .....	195	*7.6 数字调制技术的应用 .....	254
6.7.3 基本均衡算法及实现 .....	197	7.7 本章小结 .....	255
6.7.4 非线性均衡 .....	199	思考题 .....	256
6.7.5 盲均衡技术 .....	200	习题 .....	256
*6.8 应用实例 .....	200	<b>第8章 数字信号的最佳接收</b> .....	258
6.8.1 光纤通信系统的线路编码 .....	200	8.1 引言 .....	258
6.8.2 计算机网络通信采用的 传输码型 .....	202	8.2 最小差错率准则 .....	259
6.8.3 OFDM 系统中均衡技术的 应用 .....	202	8.3 确知信号的最佳接收机——理想 接收机 .....	261
6.9 本章小结 .....	203	8.3.1 二进制确知信号最佳接收机 结构 .....	262
思考题 .....	204	8.3.2 二进制确知信号最佳接收机误码 性能 .....	264
习题 .....	204	8.3.3 抗噪声性能影响因素分析 .....	266
<b>第7章 数字调制系统</b> .....	207	8.4 最大输出信噪比准则——匹配滤 波器 .....	267
7.1 引言 .....	207	8.4.1 匹配滤波器的冲激响应 .....	269
7.2 二进制数字调制原理 .....	207	8.4.2 匹配滤波器的实现 .....	271
7.2.1 二进制振幅键控 (2ASK) .....	208	8.5 最小均方误差准则——相关接 收机 .....	273
7.2.2 二进制频移键控 (2FSK) .....	212	8.6 随相信号的最佳接收机 .....	275
7.2.3 二进制相移键控 (2PSK) .....	216	8.7 随机振幅和相位信号的最佳接收 .....	279
7.3 二进制数字调制系统的抗噪声 性能 .....	222	8.8 最佳基带传输系统 .....	280
7.3.1 2ASK 系统的抗噪声性能 .....	222	8.8.1 理想信道下的最佳基带传输 系统 .....	281
7.3.2 2FSK 系统的抗噪声性能 .....	227	8.8.2 非理想信道下的最佳基带 系统 .....	283
7.3.3 2PSK 和 2DPSK 的抗噪声 性能 .....	230	*8.9 最佳接收理论的应用 .....	283
7.3.4 二进制数字调制系统的性能 比较 .....	234	8.10 本章小结 .....	284
7.4 多进制数字调制系统 .....	236		
7.4.1 多进制振幅键控 (MASK) .....	237		

思考题 .....	285	9.7.3 LDPC 码在 WLAN 中的应用 .....	321
习题 .....	285	9.7.4 TCM 在数字通信中的应用 .....	322
<b>第 9 章 信道编码</b> .....	<b>287</b>	9.8 本章小结 .....	322
9.1 引言 .....	287	思考题 .....	323
9.2 信道编码的基本概念 .....	287	习题 .....	323
9.2.1 差错控制方式 .....	287	<b>第 10 章 正交编码与伪随机序列</b> .....	<b>325</b>
9.2.2 信道编码的分类 .....	288	10.1 引言 .....	325
9.2.3 有扰离散信道的编码定理 .....	289	10.2 正交编码 .....	325
9.2.4 信道编码的基本原理 .....	289	10.3 伪随机序列 .....	327
9.2.5 信道编码的性能 .....	291	10.3.1 伪随机序列的特性 .....	328
9.2.6 常用的简单信道编码 .....	292	10.3.2 m 序列 .....	328
9.3 线性分组码 .....	295	10.3.3 Gold 序列 .....	332
9.3.1 线性分组码的概念 .....	295	10.3.4 M 序列 .....	333
9.3.2 线性分组码的监督关系式与 校正子 .....	295	*10.4 伪随机序列的应用 .....	335
9.3.3 线性分组码的校验矩阵和生成 矩阵 .....	296	10.4.1 通信加密 .....	335
9.3.4 线性分组码的纠错原理 .....	298	10.4.2 扩频通信 .....	335
9.3.5 循环码 .....	299	10.4.3 数据序列的扰乱与解扰 .....	342
9.3.6 几种重要的循环码 .....	303	*10.5 CDMA 移动通信系统简介 .....	344
9.4 卷积码 .....	305	10.5.1 CDMA 移动通信系统的 特点 .....	344
9.4.1 卷积码的特征 .....	305	10.5.2 CDMA 移动通信的关键 技术 .....	344
9.4.2 卷积码编码器 .....	306	10.6 基于 SystemVue 的直接序列扩频 系统仿真 .....	345
9.4.3 卷积码的描述 .....	307	10.7 本章小结 .....	347
9.4.4 卷积码的维特比译码 .....	310	思考题 .....	347
9.5 复合编码 .....	310	习题 .....	348
9.5.1 级联码 .....	311	<b>第 11 章 同步原理</b> .....	<b>349</b>
9.5.2 交织码 .....	312	11.1 引言 .....	349
9.5.3 Turbo 码 .....	313	11.2 载波同步 .....	351
9.5.4 低密度奇偶校验码 .....	315	11.2.1 直接法 .....	351
9.6 网格编码调制 .....	317	11.2.2 插入导频法 .....	355
9.6.1 编码与调制单独设计带来的 问题 .....	317	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 .....	357
9.6.2 TCM 概念的引出 .....	317	11.3 位同步 .....	358
9.6.3 TCM 集分割的基本原理 .....	317	11.3.1 插入导频法 .....	358
9.6.4 卷积编码与调制信号的映射—— TCM 信号的产生 .....	318	11.3.2 直接法 .....	360
9.6.5 TCM 信号的解码 .....	319	11.3.3 位同步系统的性能及其相位误差 对性能的影响 .....	366
*9.7 差错控制编码的应用 .....	319	11.4 群同步 .....	369
9.7.1 差错控制编码技术在网络与 数据通信中的应用 .....	319	11.4.1 起止式同步法 .....	369
9.7.2 Turbo 码在移动通信中的 应用 .....	320	11.4.2 连贯式插入法 .....	369
		11.4.3 间隔式插入法 .....	370

11.4.4 群同步系统的性能 .....	371	习题 .....	376
11.4.5 群同步的保护 .....	372	<b>附录</b> .....	378
11.5 网同步 .....	373	附录 A 误差函数表 .....	378
11.5.1 主从同步法 .....	374	附录 B 贝赛尔函数表 .....	378
11.5.2 码速调整法 .....	374	附录 C 常用英文缩写词汇表 .....	379
*11.6 SDH 时钟网 .....	375	附录 D 部分习题参考答案 .....	383
11.7 本章小结 .....	376	<b>参考文献</b> .....	386
思考题 .....	376		

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 通信的概念

### 1.1.1 通信的概念与现代社会中的通信

通信的目的是互通信息。克服距离上的障碍，迅速而准确地传递信息，是通信的任务。

人类社会建立在信息交流的基础之上。通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。按照人类通信交流的不同方式，通信经历了人工通信方式到电气通信方式的变迁。现代的通信一般是指电信，国际上称为远程通信（Telecommunication）。如今，人类已进入了信息时代，随着现代科学技术和现代经济的发展，通信技术也得到了迅速的发展，社会对信息传输、存储和处理的要求越来越高，信源的种类越来越多，不仅有语言，还包括数据、文本和图像等。现代通信系统已成为信息时代的生命线，现代通信与经济的发展密切相关，通信网已成为支撑现代经济最重要的基础结构之一。现代通信网已不再是单一的电话网，而是一个综合性的为多种信息服务的通信网。本章重点介绍通信的基本概念，使读者对通信系统、通信网、通信发展历史及本课程要研究的主要内容有初步了解。

### 1.1.2 信息、消息与信号

按照香农信息论的定义，信息是关于事物运动状态或存在方式的不确定性的描述。通信过程是一种消除不确定性的过程，不确定性的消除，就获得了全部信息，通信的任务就完成了。通信的结果是消除或部分消除不确定性从而获得信息。

信息要用某种物理方式表现出来，通常可以用语言、文字、图像、数据、符号等来表达。也就是说，信息通常隐含于一些按一定规则组织起来的约定的“符号”之中，这种用约定方式组成的“符号”统称为消息，因此消息中包含大量的信息。通信系统在形式上传输的是消息，但实质上传输的是信息。消息只是表达信息的工具，是载荷信息的客体。信息较抽象，而消息是较具体的。

信号是消息的载体，是消息的一种表现形式。广义地讲，信号是带有信息的随时间变化的物理量或物理现象。例如，机械振动产生力信号、位移信号及噪声信号，雷电过程产生声光信号，大脑、心脏运动分别产生脑电信号和心电信号，电气系统随参数变化产生电磁信号，等等。在通信系统中，信号是传递各种消息的工具，是通信传输的客观对象。

因此，通信的实质是传输信息，形式上传输的是消息，物理层面上传输的是信号。

## 1.2 通信系统的组成

### 1.2.1 通信系统的一般模型

传输信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统，它由信息发送者（信源）、信息接收者（信宿）和处理、传输信息的各种设备共同组成。图 1-1 所示是通信系统的一般模型。

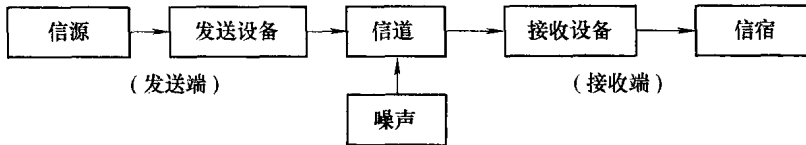


图 1-1 通信系统的一般模型

图 1-1 中的信源和信宿可以是人，也可以是机器设备（如电话机、计算机、传真机等），因而既可以实现人—人通信，也可以实现人—机或机—机通信。信源发出的信号既可以是语音信号，也可以是数字、符号、图像等非语音信号。

发送设备对信源发来的信息进行加工处理，使之转换为适合于信道传输的形式，同时将信号功率放大，从信道发送出去。

信道是信息的传输媒质。从其物理特性来分，可将信道分为有线和无线两大类。现代的有线信道包括明线、电缆和光缆等；无线信道又分为不同的频段，涉及利用不同性能的设备 and 配置方法，组成不同的无线通信系统，如微波中继通信、卫星通信、移动通信等。不同的信道传输性能不同，可以传送的信号形式也不同，如频率在 0.3 ~ 3.4kHz 范围的话音信号，通过常规的电缆信道可直接传输；若用光缆传送，则必须将话音信号转换为光信号；若用微波传送，则需要对话音信号进行调制，将信号频谱搬移到微波系统的射频频段上去。

发送设备对信源信息进行的加工、处理，其目的就是完成这些转换。另外，信号传输一般都要经过很长的距离，无论是有线还是无线信道，都会使信号能量逐渐衰减。因此，发送设备中一般都包含有功率放大器，将发送信号的功率放大到适当水平，使其沿信道衰减后，接收设备仍能接收到足够强度的信号。

在传输信号的同时，自然界存在的各种干扰噪声也作用在信道上。这里的噪声主要是各种电磁现象引起的干扰脉冲，如雷电、电晕、电弧等，另外还有邻近、邻频的其他信道的干扰。干扰噪声对信号的传输质量影响很大，如果噪声过强而又没有有效的抗干扰措施，轻则使信号产生失真，重则出错，甚至将有效信号完全淹没掉。正因为噪声的存在，接收设备除了应能够对接收到的信号进行与发送设备的信号加工过程相反的转换以外，还应具有强大的干扰抑制能力，以有效地去除噪声、抑制干扰，准确地恢复原始信号。

图 1-1 只是一个单向的点对点通信系统模型。实际上，大多数的通信系统都是双向的，即两端都有信源和信宿，这就需要在两端都设置有发送、接收设备。图 1-1 是一个简化了的通信系统模型。根据通信系统中传输的信号形式不同，图 1-1 又可以表示为下面的模拟通信

系统与数字通信系统两种不同的形式。

### 1.2.2 模拟通信系统和数字通信系统

按照信道中传输的信号是模拟信号还是数字信号，可将通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。由于传输的信号形式不同，模拟通信系统与数字通信系统在构成上也有差异。

#### 1. 模拟通信系统模型

凡信号参量的取值是连续的或取无穷多个值的，且直接与消息相对应的信号，均称为模拟信号，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，而不一定在时间上也连续，如抽样信号。信道中传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的模型如图 1-2 所示。

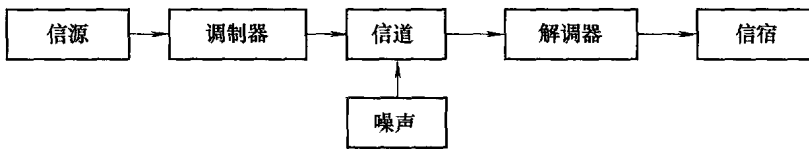


图 1-2 模拟通信系统模型

模拟通信系统模型由图 1-1 演变而成，调制器和解调器就代表图 1-1 中的发送设备和接收设备。

#### 2. 数字通信系统模型

凡信号参量只能取有限个值，并且常常不直接与消息相对应的信号，均称为数字信号，如电报信号、计算机输入/输出信号、PCM 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，而不一定在时间上也离散，如 2PSK 信号。信道中传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。数字通信系统的模型如图 1-3 所示。

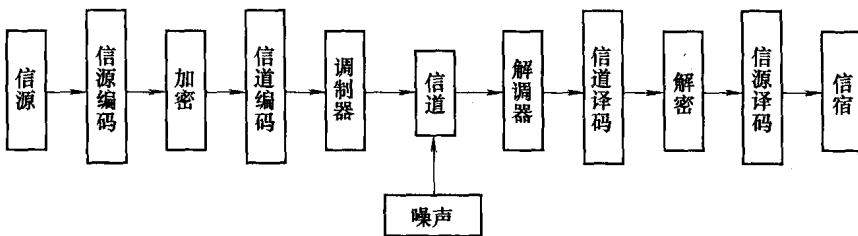


图 1-3 数字通信系统模型

数字通信涉及的技术问题很多，其中主要有信源编码/译码、信道编码/译码、数字调制/解调器、数字复接、同步以及加密等。其中信源编码的作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率，即通常所说的数据压缩，码元速率将直接影响传输所占的带宽，而传输带宽又直接反映了通信的有效性；作用之二是，当信息源给出的是模拟信号时，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。模拟信号数字化传输的主要方式有脉冲编码

调制 (PCM) 和增量调制 ( $\Delta M$  或 DM) 等。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码是为了降低误码率、提高数字通信的可靠性而采取的编码,基本思想是通过和信息序列作某种变换,使原来彼此独立,相关性极小的信息码元产生某种相关性,从而在接收端利用这种规律检查或纠正信息码元在信道传输中所造成的差错。

数字调制器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。

数字通信系统还涉及同步、复接、加密等重要内容和环节。同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的不可缺少的前提条件,同步使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。按照同步的功能不同,可分为载波同步、位同步、群同步和网同步。数字复接就是依据时分复用基本原理把若干低速数字信号合并成一个高速的数字信号,以扩大传输容量和提高传输效率。

对于模拟和数字两种通信系统来说,数字通信是发展的主流,因为数字通信具有如下优点。

- 1) 抗干扰能力强,因为数字信号可以再生,从而消除噪声累积。
- 2) 便于进行各种数字信号处理。
- 3) 便于实现集成化。
- 4) 便于加密处理。
- 5) 便于综合传递各种信息,实现综合业务数字网。

但是,数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以电话为例,一路模拟电话通常只占据 4kHz 带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 64kHz 的带宽,因此数字通信的频带利用率不高。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 (如光纤) 的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路、信息压缩等技术的发展,数字通信的这些缺点已经被弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在各种通信方式中正在逐步取代模拟通信而占主导地位。

需要说明的是,上述模型图中只给出了点对点的单向通信系统,而实际在大多数场合,通信系统需要双向进行,信源兼为受信者,通信设备包括发送设备和接收设备。此外,通信系统除了完成信息传输外,还必须进行信息的交换,传输系统和交换系统共同组成一个完整的通信系统,乃至通信网。为了保证通信网的运行,通信网中除了传输系统和交换系统等硬件设备外,还必须有信令和协议,它们是通信双方必须共同遵守的规则,称做通信网的软件。关于通信网的概念及相关技术本节后面会有介绍。

### 1.2.3 实际通信系统

图 1-1 给出的是通信系统的一般模型,反映了通信系统的共性,而实际的通信系统根据所传递消息的类型不同以及所采用的传输媒质不同,系统构成设备有很大的差别,但从原理上说,都符合一般模型。这里给出几种实际的通信系统构成图,可与图 1-1 进行比较,以加深对通信系统一般模型和实际通信系统的理解。

## 1. 数字微波通信系统

微波是指频率在 300MHz ~ 300GHz 范围内的电磁波，常用的范围是 1 ~ 40GHz，目前使用较多的频段是 2、4、6、7、8 和 11GHz。微波通信是无线通信的一种方式，数字微波通信是指利用微波（射频）作为载波携带数字信息，通过无线电波空间进行中继（接力）的通信方式。图 1-4 所示是相距较远的 A、B 两地间的地面微波中继通信系统示意图。由图 1-4 可看出，除了 A、B 两地设置的微波站外，中间还配置了若干中继站。

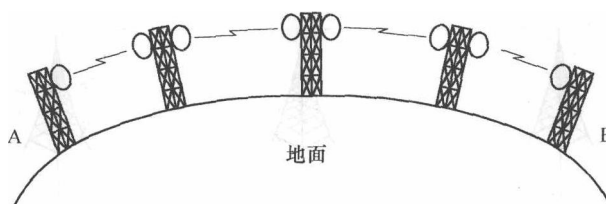


图 1-4 远距离地面微波中继通信系统示意图

一条数字微波通信线路由主干线和支线构成，如图 1-5 所示。其主干线可以长达几百千米甚至几千千米，除了在线路末端设置微波终端站外，还在线路中间每隔一定距离设置若干微波中继站和微波分路站。

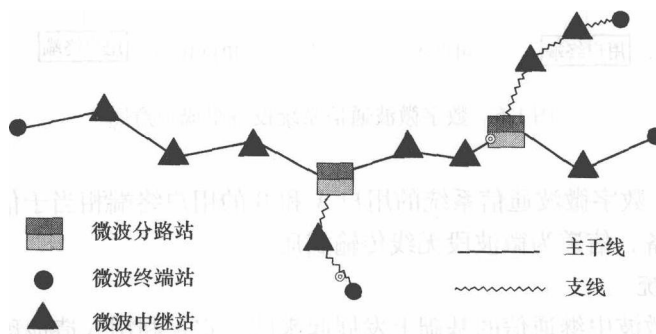


图 1-5 数字微波通信系统的组成示意图

数字微波通信系统设备由用户终端、交换机、终端复用设备、微波站等组成。图 1-6 给出了一个两跳的数字微波通信系统设备。用户终端是逻辑上最靠近用户的输入/输出设备，如电话机、传真机等，用户终端主要通过交换机集中在微波终端站或微波分路站。交换机的作用是实现本地用户终端之间的业务互通，如实现本地话音互通，又可通过微波中继通信线路实现本地用户终端与远地（对端交换机所辖范围）用户终端之间的业务互通。交换机配置在微波终端站或微波分路站。终端复用设备的基本功能是将交换机送来的多路信号或群路信号适当变换，送到微波终端站或微波分路站的发信机；将微波终端站或微波分路站的收信机送来的多路信号或群路信号适当变换后送到交换机。在民用数字微波通信中，数字微波通信系统的终端复用设备是 PCM 时分复用设备（PCM 时分复用原理在第 5 章会详细介绍）。终端复用设备配置在微波终端站或微波分路站。微波站的基本功能是传输来自终端复用设备的群路信号，微波站分为终端站、分路站、枢纽站和中继站。处于主干线两端或支线路终点



的微波站称为终端站，在此站可上、下全部支路信号；处于微波线路中间，除了可以在本站上、下某收、发信波道的部分支路信号外，还可以沟通主干线上两个方向之间通信的微波站称为分路站；配有交叉连接设备，除了可以在本站上下某收、发信波道的部分支路信号外，可以沟通干线上数个方向之间通信的微波站称为枢纽站；处于微波线路中间，不需要上下话路的微波站称为中继站。此站无用户终端、交换机、终端复用设备，只对信号进行解调、判决、再生至下一方向发信机。

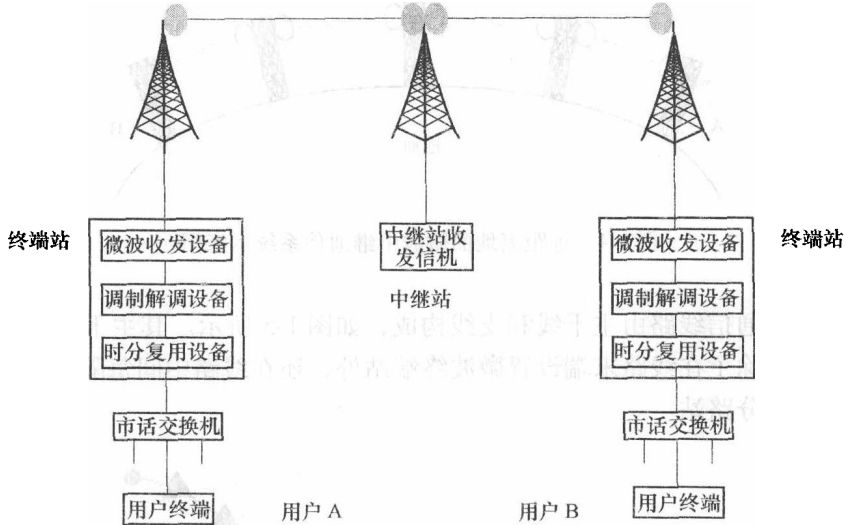


图 1-6 数字微波通信系统设备组成示意图

与图 1-1 对比，数字微波通信系统的用户 A 和 B 的用户终端相当于信源和信宿，微波站对应发送与接收设备，信道为微波段无线传输媒质。

## 2. 卫星通信系统

卫星通信是在微波中继通信的基础上发展起来的。它是利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波，从而进行两个或多个地面站之间的通信。卫星通信具有传输距离远、覆盖面积大、通信容量大、用途广、通信质量好、抗破坏能力强等优点。一颗通信卫星的总通信容量可实现上万路双向电话和多路彩色电视的传输。卫星通信工作在微波波段，与地面的微波接力通信类似，不同之处是卫星通信利用高空卫星进行接力通信。

卫星通信系统的构成部分包括通信卫星、地球站、控制与管理系统的几个部分。图 1-7 给出了卫星通信系统的构成示意图。其中通信卫星的主体是通信装置，其保障部分则有星体上的遥测指令、控制系统和能源装置等。通信卫星的主要作用是无线电中继，星上通信装置包括转发器和天线。

典型的卫星通信链路组成如图 1-8 所示。一颗通信卫星可以包括一个或多个转发器，每个转发器能同时接收和转发多个地球站的信号；地球站是卫星通信的地面部分，用户通过它们接入卫星线路，进行通信。地球站一般包括天线、馈线设备、发送设备、接收设备、信道、终端设备、天线跟踪伺服设备、电源设备；控制与管理系统是保证卫星通信系统正常运行的重要组成部分，它的任务是对卫星进行跟踪测量，控制其准确进入轨道上的指定位置，