

21 世纪高等学校电子信息类教材



天津市高校“十五”规划教材

现代通信原理及应用

● 苗长云 沈保锁 窦晋江 等编著 ● 王秉钧 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

天津市高校“十五”规划教材
21 世纪高等学校电子信息类教材

现代通信原理及应用

苗长云 沈保锁 窦晋江 等编著
王秉钧 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书讲述了现代通信原理,包括现代通信系统的组成、基本概念、基本原理、分析与设计方法及应用。全书共分为14章,主要内容有模拟通信原理、数字通信原理、通信网和通信系统举例,侧重于数字通信原理。

本书在内容上力求科学性、先进性、系统性与实用性;在讲述上力求概念清楚、重点突出、深入浅出、通俗易懂。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、电子信息科学与技术、计算机科学与技术及其他相近专业本科生教材或研究生参考书;也可供从事通信、电子、信息等工作的科研人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理及应用/苗长云等编著. —北京:电子工业出版社, 2005.1

天津市高校“十五”规划教材, 21世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-121-00850-5

I. 现… II. 苗… III. 现代通信—高等学校—教材 ② IV. TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第000094号

责任编辑:王 颖

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:23.25 字数:596千字

印 次:2005年1月第1次印刷

印 数:5000册 定价:29.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是天津市高校“十五”规划教材，是依据工科类通信教材出版编写大纲及作者多年来从事“通信原理”课程教学的实践经验编写而成的。

本书重点讲述现代通信原理，包含现代通信系统的组成、基本概念、基本原理、分析与设计方法及应用。本书的内容紧密结合通信技术的发展，尽可能多地融入通信领域的新技术、新方法；理论与实际相结合，在讲述理论的同时，介绍了部分常用的通信电路芯片、实用电路以及软件流程图，并通过“通信网”和“通信系统举例”两章使学生加深对通信原理的理解和了解通信原理的应用，从而提高解决通信工程实际问题的能力。考虑到部分专业在学习本课程之前没有开设“信号与系统”课程，因此本书包含了“确知信号分析”一章，可根据实际教学的需要进行选讲。

本书共分为 14 章：第 1 章主要介绍了通信的基本概念、通信系统模型、通信系统的性能指标，同时还介绍了信息论的基本概念；第 2 章介绍了信号与系统的基本分析方法，信号的频谱、信号的能量及功率谱密度、卷积和相关函数等概念；第 3 章主要介绍了本书其他章节所需的随机信号与噪声分析的数学知识；第 4 章讨论了信道的模型、分类以及信道对信号传输的影响；第 5 章介绍了模拟调制系统的原理；第 6 章详细讨论了模拟信号的抽样、量化和编码方法；第 7 章对基带传输系统设计的各个方面做了基本介绍；第 8 章介绍了基带的二进制数字调制、各种多进制调制及多种现代调制技术；第 9 章介绍了几种常用的最佳接收准则及其最佳接收机的设计，并分析了它们的性能；第 10 章讲述了多路复用、复接和多址接入技术，并且特别介绍主要的国际标准建议和一些实用体制；第 11 章着重分析了载波同步、位同步、帧同步、网同步及调频系统同步的实现方法和噪声性能；第 12 章介绍了信道编码原理、线性分组码、循环码、卷积码和 TCM 码等；第 13 章介绍了通信网的基本概念和部分应用的通信网；第 14 章介绍了移动通信、光纤通信和卫星通信系统的基本组成及工作原理，使读者学习时能理论联系实际，建立完整的数字通信系统的概念。为了便于读者理解和复习，各章末还附有习题，并且在书后给出了部分习题答案，供读者参考。

本书的参考学时数为 48~100 学时，可安排为一学期或两学期的课程，并辅以相应的实验课。

本书由天津工业大学苗长云担任主编，天津大学沈保锁、天津理工大学窦晋江担任副主编。本书第 1 章由苗长云编写，第 2、3 章由厉彦峰编写，第 4 章由刘培编写，第 5 章由关连成编写，第 6 章由关连成、苗长云编写，第 7、8 章由窦晋江编写，第 9 章由苗长云编写，第 10 章由郭翠娟编写，第 11 章由沈保锁编写，第 12 章由郭翠娟、苗长云编写，第 13、14 章由李莉编写。

本书由天津大学王秉钧教授担任主审。主审人对本书提出了许多宝贵的指导性意见，对此，我们表示诚挚的谢意。此外，本书还得到了天津市教委的大力支持，我们深表谢意！电子工业出版社王颖编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心感谢！

限于作者的水平，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

编者著

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 通信的概念及系统模型	(1)
1.1.1 通信的概念	(1)
1.1.2 通信系统模型	(1)
1.1.3 模拟通信系统模型和数字通信系统模型	(1)
1.2 通信的发展过程	(3)
1.3 通信系统的分类及通信方式	(4)
1.3.1 通信系统的分类	(4)
1.3.2 通信方式	(6)
1.4 信息及其度量	(7)
1.5 通信系统的主要性能指标	(9)
习题	(10)
第 2 章 确知信号分析	(12)
2.1 引言	(12)
2.2 信号与系统的基本分析方法	(12)
2.3 能量谱密度和功率谱密度	(17)
2.3.1 信号的能量和功率	(17)
2.3.2 巴塞伐尔 (Parseval) 定理	(18)
2.3.3 能量谱密度和功率谱密度	(18)
2.3.4 能量信号和功率信号通过线性系统	(19)
2.4 卷积	(20)
2.4.1 卷积的定义	(20)
2.4.2 卷积的性质	(21)
2.5 相关函数	(21)
2.5.1 波形的互相关与自相关	(21)
2.5.2 相关函数与谱密度	(23)
习题	(25)
第 3 章 随机信号分析	(27)
3.1 引言	(27)
3.2 概率论的基本概念	(27)
3.3 随机过程的基本概念	(28)
3.3.1 随机过程	(28)
3.3.2 随机过程的统计特性	(29)
3.3.3 随机过程的数字特征	(30)
3.4 平稳随机过程	(31)

3.4.1	平稳随机过程的定义	(31)
3.4.2	平稳随机过程的各态历经性	(32)
3.5	平稳随机过程的自相关函数和功率谱密度	(32)
3.5.1	自相关函数的性质	(32)
3.5.2	平稳随机过程的功率谱密度及其与自相关函数的关系	(33)
3.6	高斯过程	(35)
3.6.1	高斯过程的定义	(35)
3.6.2	高斯过程的性质	(36)
3.6.3	高斯白噪声	(38)
3.7	窄带随机过程	(39)
3.7.1	窄带随机过程的概念	(39)
3.7.2	同相分量和正交分量的统计特性	(39)
3.7.3	包络和相位的统计特性	(41)
3.8	正弦波加窄带随机过程	(42)
3.9	随机过程通过线性系统	(44)
习题		(47)
第4章	信道	(49)
4.1	引言	(49)
4.2	信道的定义及其数学模型	(49)
4.2.1	信道的定义	(49)
4.2.2	信道的数学模型	(50)
4.3	恒参信道及其对信号传输的影响	(52)
4.3.1	恒参信道	(52)
4.3.2	恒参信道特性及其对信号传输的影响	(58)
4.4	随参信道及其对信号传输的影响	(60)
4.4.1	随参信道	(60)
4.4.2	随参信道特性及其对信号传输的影响	(64)
4.4.3	随参信道特性的改善——分集接收	(67)
4.5	信道的加性噪声	(68)
4.6	信道的容量	(70)
4.6.1	离散信道的信道容量	(70)
4.6.2	连续信道的信道容量	(72)
习题		(73)
第5章	模拟调制系统	(75)
5.1	引言	(75)
5.2	幅度调制与解调	(75)
5.2.1	标准调幅 (AM)	(75)
5.2.2	抑制载波双边带 (DSB) 调制	(76)
5.2.3	单边带 (SSB) 调制	(78)
5.2.4	残留边带 (VSB) 调制	(79)

5.2.5	调幅系统的解调	(80)
5.3	线性调制系统的抗噪声性能	(81)
5.3.1	通信系统抗噪声性能的分析模型	(81)
5.3.2	线性调制系统相干解调器的抗噪声性能	(82)
5.3.3	线性调制系统非相干解调器的抗噪声性能	(85)
5.4	角度调制	(87)
5.4.1	角度调制的基本概念	(87)
5.4.2	窄带调频 (NBFM)	(89)
5.4.3	宽带调频 (WBFM)	(90)
5.4.4	调频信号的功率分布	(91)
5.4.5	调频信号的产生与解调	(92)
5.5	频率调制系统的抗噪声性能	(94)
5.5.1	NBFM 的抗噪声性能	(94)
5.5.2	WBFM 的抗噪声性能	(95)
5.6	频率调制系统的预加重和去加重	(98)
5.7	调频系统的专用芯片	(100)
5.7.1	低功耗调频调制器芯片	(100)
5.7.2	高增益低功耗解调器芯片	(100)
5.8	各种模拟调制系统的比较	(101)
	习题	(101)
第 6 章	模拟信号数字化	(104)
6.1	引言	(104)
6.2	抽样定理	(104)
6.2.1	低通信号抽样定理	(104)
6.2.2	带通信号抽样定理	(106)
6.3	脉冲振幅调制 (PAM)	(107)
6.3.1	自然抽样	(108)
6.3.2	平顶抽样	(109)
6.4	脉冲编码调制 (PCM)	(110)
6.4.1	量化	(111)
6.4.2	编码和译码	(117)
6.4.3	PCM 集成编、译码器简介	(121)
6.4.4	PCM 系统的抗噪声性能	(122)
6.5	增量调制 (ΔM) 系统	(124)
6.5.1	增量调制的基本原理	(125)
6.5.2	增量调制系统中量化噪声和过载噪声的影响	(126)
6.5.3	增量调制系统中加性高斯白噪声的影响	(128)
6.5.4	PCM 和 ΔM 系统的性能比较	(129)
6.6	几种改进型增量调制	(131)
6.6.1	总和增量调制 ($\Delta-\Sigma M$)	(131)

6.6.2	数字压扩自适应增量调制	(132)
6.6.3	差分脉冲编码调制 (DPCM)	(133)
6.6.4	增量调制解调器芯片	(134)
6.7	语音与图像压缩编码简介	(135)
6.7.1	语音压缩编码简介	(135)
6.7.2	图像压缩编码简介	(137)
	习题	(138)
第 7 章	数字信号的基带传输系统	(141)
7.1	引言	(141)
7.2	数字基带传输的常用码型	(141)
7.2.1	码型设计的原则	(142)
7.2.2	常用码型	(142)
7.3	数字基带信号的频谱分析	(148)
7.3.1	数字基带信号的频谱特性	(148)
7.3.2	常用数字基带信号功率谱密度举例	(152)
7.4	基带传输的码间串扰与无码间串扰的基带传输	(154)
7.4.1	数字基带信号传输系统模型	(154)
7.4.2	基带传输的码间串扰	(154)
7.4.3	无码间串扰的基带传输特性	(156)
7.4.4	无码间串扰的理想低通滤波器	(158)
7.4.5	无码间串扰的滚降系统	(159)
7.5	部分响应技术	(160)
7.5.1	第 I 类部分响应	(161)
7.5.2	差错传播和预编码	(161)
7.5.3	第 IV 类部分响应波形	(163)
7.6	无码间串扰的基带传输系统的抗噪声性能	(164)
7.7	眼图	(166)
7.8	均衡	(167)
7.8.1	时域均衡器的基本工作原理	(167)
7.8.2	时域均衡器的输出及抽头系数的计算	(169)
	习题	(172)
第 8 章	数字调制系统	(174)
8.1	引言	(174)
8.2	二进制数字调制原理	(174)
8.2.1	二进制幅移键控 (2ASK)	(174)
8.2.2	二进制频移键控 (2FSK)	(175)
8.2.3	二进制相移键控 (2PSK)	(177)
8.3	二进制数字调制信号的频谱特性	(180)
8.3.1	ASK 信号的功率谱	(180)
8.3.2	FSK 信号的功率谱	(181)

8.3.3	PSK 信号的功率谱	(181)
8.4	二进制数字调制系统的抗噪声性能	(182)
8.4.1	二进制幅移键控系统的抗噪声性能	(182)
8.4.2	二进制频移键控系统的抗噪声性能	(185)
8.4.3	二进制相移键控系统的抗噪声性能	(186)
8.4.4	二进制数字调制系统的性能比较	(187)
8.5	多进制数字调制系统	(189)
8.5.1	MASK 调制原理	(189)
8.5.2	MFSK 调制原理	(190)
8.5.3	MPSK 调制原理	(191)
8.5.4	M 进制数字调制系统的抗噪声性能	(195)
8.6	现代数字调制技术	(196)
8.6.1	正交幅度调制 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)	(196)
8.6.2	偏移四相相移键控 OQPSK(Offset Quadri-Phase Shift Keying)	(198)
8.6.3	$\pi/4$ -QPSK	(199)
8.6.4	最小频移键控 MSK	(200)
8.6.5	其他恒包络调制	(203)
	习题	(206)
第 9 章	数字信号的最佳接收	(208)
9.1	引言	(208)
9.2	最大输出信噪比准则及其最佳接收机	(208)
9.3	最小均方差准则及其最佳接收机	(212)
9.4	最小差错概率准则及其最佳接收机	(213)
9.4.1	最佳接收准则	(213)
9.4.2	恒参信道确知信号的最佳接收	(215)
9.5	二进制数字调制信号的最佳接收	(217)
9.5.1	2ASK 系统最佳接收机结构	(217)
9.5.2	2FSK 系统最佳接收机结构	(218)
9.5.3	2PSK 系统最佳接收机结构	(218)
9.6	最佳接收机的性能	(219)
9.6.1	最佳接收机的性能及其潜力	(219)
9.6.2	最佳接收机与实际接收机的性能比较	(222)
	习题	(223)
第 10 章	信道复用和多址方式	(225)
10.1	引言	(225)
10.2	频分复用 (FDM) 及多级调制	(225)
10.2.1	频分多路复用	(225)
10.2.2	多级调制	(226)
10.3	时分复用 (TDM)	(227)
10.4	数字复接技术	(228)

10.4.1	数字复接设备的构成	(228)
10.4.2	复接标准	(229)
10.4.3	复接方式	(229)
10.4.4	同步复接	(230)
10.4.5	异步复接	(232)
10.5	码分复用	(235)
10.5.1	概念	(235)
10.5.2	伪随机码	(237)
10.5.3	直接序列(DS)通信系统	(240)
10.5.4	跳频序列(FH)通信系统	(240)
10.6	多址通信方式	(241)
10.6.1	频分多址(FDMA)	(242)
10.6.2	时分多址(TDMA)	(242)
10.6.3	码分多址(CDMA)	(243)
	习题	(244)
第 11 章	同步原理	(245)
11.1	载波同步	(245)
11.1.1	插入导频法	(245)
11.1.2	直接法	(246)
11.1.3	同相正交法(科斯塔斯环)	(247)
11.1.4	载波同步系统的性能	(248)
11.2	位同步	(251)
11.2.1	插入导频法	(251)
11.2.2	自同步法	(252)
11.2.3	位同步系统的性能	(255)
11.3	帧同步	(257)
11.3.1	起止式同步法	(258)
11.3.2	对帧同步系统的要求	(258)
11.3.3	集中插入同步法	(259)
11.3.4	分散插入同步法	(262)
11.3.5	帧同步系统的性能	(264)
11.4	跳频信号的同步	(265)
11.4.1	跳频同步的内容及方法	(266)
11.4.2	跳频系统的等待自同步法	(266)
11.5	网同步	(269)
11.5.1	全网同步系统	(269)
11.5.2	准同步系统	(270)
	习题	(271)
第 12 章	差错控制编码	(272)
12.1	引言	(272)

12.2	纠错编码的原理	(273)
12.2.1	纠错编码的原理	(273)
12.2.2	差错控制编码的基本概念	(274)
12.3	常用的简单编码	(276)
12.3.1	奇偶监督码	(276)
12.3.2	二维奇偶监督码	(277)
12.3.3	恒比码	(277)
12.3.4	正反码	(277)
12.4	线性分组码	(278)
12.4.1	汉明码的编码原理	(279)
12.4.2	汉明码的译码	(282)
12.5	循环码	(283)
12.5.1	循环码的概念	(283)
12.5.2	码多项式及按模运算	(284)
12.5.3	码的生成多项式和生成矩阵	(285)
12.5.4	循环码的编码	(287)
12.5.5	循环码的解码	(288)
12.5.6	实用循环码	(290)
12.6	卷积码	(292)
12.6.1	卷积码的编码原理	(293)
12.6.2	卷积码的图解表示	(294)
12.6.3	卷积码的生成矩阵和监督矩阵	(295)
12.6.4	卷积码译码	(299)
12.7	网格编码调制	(303)
12.7.1	TCM 编码器结构	(303)
12.7.2	归一化欧几里德距离	(303)
12.7.3	信号点集的划分	(304)
12.7.4	TCM 码网格图及卷积码编码器	(305)
习题		(306)
第 13 章	通信网	(309)
13.1	通信网概述	(309)
13.1.1	通信网的概念及构成要素	(309)
13.1.2	通信网的业务	(309)
13.1.3	通信网的分类	(310)
13.1.4	现代通信网的构成和发展	(310)
13.2	通信网的基本理论	(311)
13.2.1	通信网的拓扑结构	(311)
13.2.2	通信网中的交换	(312)
13.2.3	通信网的约定	(314)
13.3	基本通信网	(318)

13.3.1 电话通信网	(318)
13.3.2 数字数据网	(320)
13.3.3 计算机网络	(322)
13.3.4 综合业务数字网 (ISDN)	(322)
习题	(324)
第 14 章 通信系统举例	(326)
14.1 移动通信系统	(326)
14.1.1 移动通信系统的发展概况	(326)
14.1.2 移动通信的特点	(326)
14.1.3 移动通信关键技术	(327)
14.1.4 GSM 数字蜂窝移动通信系统	(328)
14.2 光纤通信系统	(331)
14.2.1 光纤通信的发展概况和优点	(331)
14.2.2 光纤通信系统的基本组成	(332)
14.2.3 光纤	(332)
14.2.4 光缆	(333)
14.2.5 光源与光发射机	(333)
14.2.6 光检测器与光接收机	(335)
14.2.7 光放大器	(336)
14.2.8 光通信网新技术	(337)
14.2.9 光波分复用 (WDM) 技术基本原理	(338)
14.2.10 WDM 光网络	(339)
14.2.11 光孤子通信系统	(340)
14.2.12 中国光网络的发展	(340)
14.3 卫星通信系统	(341)
14.3.1 卫星通信系统的发展	(341)
14.3.2 卫星通信系统的分类和优缺点	(341)
14.3.3 卫星通信系统的组成	(343)
14.3.4 卫星通信系统的工作原理	(343)
习题	(344)
附录 A 误差函数、互补误差函数表	(345)
附录 B 英文缩写名词对照表	(346)
附录 C 部分习题答案	(348)
参考文献	(356)

第1章 绪 论

1.1 通信的概念及系统模型

1.1.1 通信的概念

在人类社会里，为满足生产和生活的需要，人们在进行思想感情的交流以及知识的获取等方面都离不开消息的传递。古代的烽火台、金鼓、旌旗及当今的书信、电报、电话、可视电话、电视等都是传递消息的方式。广义地说，通信就是由一地向另一地传递消息。

随着人类社会文明、科学技术的进步与发展，通信所传递的消息的形式越来越多，不仅有语言、符号、文字、音乐，还包括数据、图片、图像和文本等。实现这些消息的传递可采用各种各样的通信方式，在诸多通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方式——电通信，能使消息在任意通信距离上几乎都能实现既迅速、有效，又准确、可靠的传递，缩短了通信双方的时间和距离的差异，因而得到飞速的发展及广泛的应用。如电话、传真、可视电话、数据传输、电视、广播、雷达、遥测、遥控等通信都是按通信业务划分的“电”通信方式。本书所讲的通信即为“电”通信，简称通信。

1.1.2 通信系统模型

通信是由通信系统来实现的，点对点通信系统的模型如图 1.1 所示。其目的是把发送端的消息送到接收端。图 1.1 中，信息源的作用是把各种可能的消息转换成原始电信号。为了使这个原始电信号适合在信道中传输，在发送端要通过发送设备对其进行某种变换后才送入信道。信道是指信号的传输媒介。在接收端，接收设备的功能与发送设备的功能相反，它能从接收信号中恢复出相应的原始电信号，而受信者（或信息宿）是将复原的原始电信号转换成相应的消息。图 1.1 中的噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处噪声的集中表示。

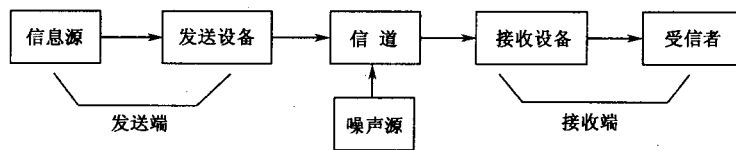


图 1.1 点对点通信系统的模型

图 1.1 所示的通信系统模型表明了通信系统的基本组成。根据研究的对象及涉及的问题不同，可选择不同形式的较具体的通信系统模型。本书就是围绕着与通信系统模型有关的通信原理及基本理论进行讨论的。

1.1.3 模拟通信系统模型和数字通信系统模型

通信所传输的各种消息可被分成两大类：一类消息的状态是可数的或离散的，这类消

息就是离散消息（或数字消息），如符号、文字和数据等；另一类消息的状态是连续变化的，这类消息就是连续消息（或模拟消息），如连续变化的语言、图像等。

为了传递消息需将各种消息转换成电信号，这种转换就是在消息与电信号的某一参量或几个参量间建立起一一对应的关系。若消息为离散消息，它所对应的电信号参量是离散取值的，这样的信号为数字信号；若消息为连续消息，它所对应的电信号参量是连续取值的，这样的信号为模拟信号。我们按信道中传输信号的特征是模拟信号和数字信号，可相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

应该指出，也可以采用数字通信系统来传递模拟信号。它是在发送端先将模拟信号转换成数字信号（A/D 转换），经数字通信系统传输后，在接收端再进行相反的转换（D/A 转换），还原出模拟信号。

模拟通信系统的模型如图 1.2 所示。其中包含两种重要的变换：第一种是在发送端将连续消息变换成原始电信号，或在接收端进行相反的变换，它是由信息源或受信者完成；第二种是在发送端将原始电信号转换成适合于信道传输的信号或在接收端进行相反的变换，即调制或解调，它们由调制器或解调器完成。经第一种变换所得到的原始电信号具有较低的频谱分量，一般不宜直接作为远距离传输信号，因此在模拟通信系统中常常需要进行第二种变换。通常将在发送端调制前或接收端解调后的信号称为基带信号，因此原始电信号又称基带信号，而经过调制的信号称已调信号。调制的目的主要有三方面：①将基带信号变换为适合于信道传输的频带信号，如在无线通信中，必须将基带信号载在高频上才能发射出去；②改善系统性能；③实现信道复用，提高信道利用率。

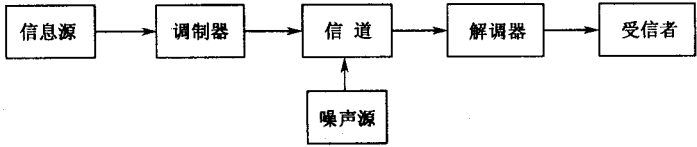


图 1.2 模拟通信系统的模型

除了上述两种变换外，模拟通信系统中还包括滤波、放大、变频及二/四线转换（差接）等环节。本书重点介绍两个变换及反变换，其他部分的重要环节也应重视。

从模拟通信系统的模型可看出，模拟通信研究的基本问题包括：①收发两端的换能过程及基带信号的特性；②调制与解调原理；③信道与噪声特性及其对信号传输的影响；④存在噪声时的系统性能等。

数字通信系统的模型如图 1.3 所示。在数字通信中，必须保证接收端数字信号与发送端数字信号有一致的节拍，否则就会使收发步调不一致，而造成数据混乱，使传输出错。这个节拍称为同步。图 1.3 中应包含同步环节，但由于数字通信中有三种同步方式，且每种同步方式的位置不固定，故图中没有示出。

编码和译码组成一对环节，编码包括信源编码和信道编码。信源编码的主要任务是提高数字信号传输的有效性，即用适当的方法降低数字信号的码元速率以压缩频带。若从信息源传来的信号是模拟信号，则先要进行 A/D 转换，信源编码的输出就是信息码。此外，信源编码还包括数据扰乱、数据加密、话音和图像压缩编码等。信道编码的主要任务是提高数字信号传输的可靠性。由于数字通信在信道传输过程中混入的噪声或干扰会造成数字信号传输的差错，需通过差错控制编码来实现差错控制，以提高系统的可靠性。

调制器与解调器构成一对环节，其作用与模拟通信系统中的调制器与解调器作用相同，不同的是这里的调制器与解调器是数字的。数字通信系统中，基带信号仍是调制前和解调后的信号，信道中传输的调制后的信号为已调信号。

上述所列数字通信的有些环节（如编码与译码、调制器与解调器）并不是必须的，它可根据不同的条件和要求决定是否采用。没有调制器与解调器环节，直接传输基带信号的数字通信系统称为数字基带传输系统。

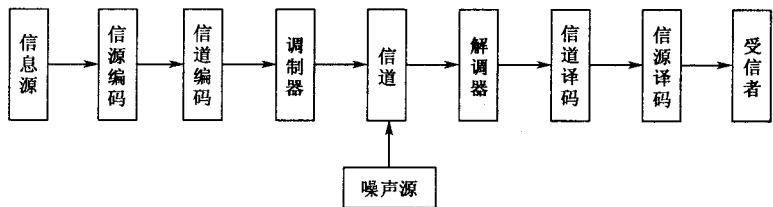


图 1.3 数字通信系统的模型

从数字通信系统模型可看出，数字通信研究的基本问题包括：①收、发两端的换能过程，模拟信号数字化及数字式基带信号的特征；②数字调制与解调原理；③信道与噪声的特性及其对信号传输的影响；④抗干扰编码和译码，即差错控制编码；⑤通信保密；⑥同步。

目前，无论是模拟通信还是数字通信，都是已经获得广泛应用的通信方式。综合模拟通信和数字通信的各自特点，数字通信与模拟通信相比有以下优点：

- ① 数字传输的抗噪声（即抗干扰）能力强，数字信号传输中可通过中继再生消除噪声的累积；
- ② 数字通信可以通过差错控制编码技术，提高通信的可靠性；
- ③ 数字通信便于利用现代数字信号处理技术对数字信息进行处理；
- ④ 数字通信中的信息易于加密，且保密性强；
- ⑤ 数字通信可以传递各种消息（模拟的和离散的），使通信系统灵活性好、通用性强；
- ⑥ 数字通信采用数字集成电路，具有体积小、重量轻、可靠性高及调整调试方便的优点。

但是，数字通信与模拟通信相比较，其突出的缺点是信号占有的频带宽。如一路模拟电话仅占 4 kHz 带宽，而一路数字电话要占 20~64 kHz 的带宽。然而由于毫米波通信和光纤通信的出现，带宽问题得到了解决，数字通信几乎成了惟一的选择。

本书以下各章将分别对上述两种通信系统中的基本问题进行较为详细的讨论。

1.2 通信的发展过程

按照通信交流方式与技术的不同可以将通信发展划分为四个历史阶段。第一阶段是语言通信，人们通过人力、马力以及烽火台等原始通信手段传递消息；第二阶段是出现文字后的邮政通信；第三阶段是电通信时代，其主要代表性的通信方式是电话、电报和广播等；第四阶段是信息时代，它不仅要求对信息进行传递，还包括了对信息进行存储、处理和加工，其主要代表为计算机网络和信息高速公路等。

1809 年，左默灵成功地进行了电报通信实验以后，通信开始进入了电通信时代。从此通信技术得到了飞速的发展，其发展的主要过程如下：

1809 年——左默灵成功地进行了电报通信实验。
1830 年——火车诞生，其时速达到 50 英里/小时。
1837 年——摩尔斯有线电报诞生。
1864 年——马克斯韦尔提出电磁辐射方程。
1876 年——贝尔发明电话。
1896 年——马可尼发明无线电报。
1906 年——发明真空管。
1918 年——调幅无线电广播和超外差接收机问世。
1925 年——开始采用三路明线载波电话，实现了多路通信。
1936 年——调频无线电广播开播。
1937 年——发明脉冲编码调制原理。
1938 年——电视广播开播。
1940~1945 年——二次大战刺激了雷达和微波通信的发展。
1948 年——发明晶体管，香农提出了信息论，开始建立通信统计理论。
1950 年——时分多路通信应用于电话。
1954 年——第一台电子计算机诞生。
1856 年——敷设了越洋电缆。
1958 年——发射了第一颗通信卫星。
1961 年——发明了集成电路。
1962 年——发射了第一颗同步通信卫星，脉冲编码调制进入实用阶段。
1960~1970 年——彩电问世，数字传输的理论及技术得到了迅速发展。
1970~1980 年——大规模集成电路、卫星通信、光纤通信、高速度大容量微型计算机、程控数字交换机等迅速发展。
1980 年~现在——超大规模集成电路、多媒体技术、综合业务数字通信网（ISDN）、计算机网络、移动通信、信息高速公路等的掘起。

由此可见，通信技术经历了一个由数字到模拟，又由模拟到数字的发展过程。最早出现的电报是一种简单的数字通信，随着真空管的出现，模拟通信得到发展。此后由于脉冲编码理论、信息论的提出，计算机的诞生，大规模集成电路的发明以及光纤通信技术的成熟，使数字通信进入全盛时期。虽然目前各国通信网仍以模拟为主，但数字通信无疑将是通信技术的发展方向。

从通信的整个发展过程可以看出，通信的发展与人类科学技术进步是密切相关的，如高速火车的诞生促进了电报的诞生。另外，军事、经济及社会的发展对通信技术的需求都是通信技术飞速发展的动力。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

通信系统有多种分类方法，下面介绍几种常见的分类方法。

1. 按通信业务类型分类

根据通信业务类型的不同，通信系统可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统和图像通信系统等。由于电话通信网最为普及，因而除电话通信外的其他一些通信业务也常通过公共电话通信网进行传输，如电报通信和远距离计算机通信（数据通信）都可通过电话信道传输。现在建成的综合业务数字通信网（ISDN）适应于多种类型业务的信息传递。

2. 按调制方式分类

根据信道中传输的信号是否经过调制，可将通信系统分为基带传输通信系统和频带传输通信系统。基带传输通信系统是将未经调制的信号直接传输，如远距离音频电话、有线广播等；频带传输通信系统是将基带信号经调制后送入信道传输。调制方式很多，常见的调制方式及用途如表 1.1 所示。

表 1.1 常见的调制方式及用途

调制方式			用 途
连续波调制	线性调制	振幅调制 AM	广播
		单边带调制 SSB	载波通信、短波无线电通信
		抑制载波双边带调制 DSB	立体声广播
		残留边带调制 VSB	电视广播、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	幅移键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
		相移键控 PSK、DPSK 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	市话中继线、卫星、空间通信
		增量调制 DM（ ΔM ）、CVSD 等	军用、民用数字电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他语音编码方式 ADPCM、LPC 等	中速数字电话

3. 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，可相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统两类。

4. 按传输媒介分类

依据传输媒介的不同，通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信系统是以传输缆线作为传输的媒介，它包括电缆通信、光纤通信等；无线通信系统是无线电波在自由空间传播信息，它包括微波通信、卫星通信等。