

SHUZI  
TONGXIN YUANLI

# 数字通信原理

主编 谭扬林 副主编 谢冬青



914.3  
67

湖南大学出版社

# 数字通信原理

主 编 谭扬林  
副主编 谢冬青  
编 委 谭扬林 谢冬青  
程 京 谭 健

湖南大学出版社

1999年·长沙

## 内容提要

本书讲述了数字通信的基本原理和基本技术。全书共分九章,内容包括:数字通信模型及信息量概念、信源编码(重点介绍了模拟信号的PCM、DM编码,其次介绍了离散信源DMS编码及线性预测编码LPC)、数字信号的基带传输系统、数字信号的频带传输系统、同步原理、差错控制、计算机通信网络及ISDN概念、数字信号的最佳接收及保密通信基本原理。

本书着重介绍物理概念和基本原理,并注意理论与实际相结合,可作为计算机通信、计算机应用、通信工程、电子信息工程等专业及相近专业的教材和参考书,也可供通信工程技术人员和科研人员参考。

### 数字通信原理

Shuzi Tongxin Yuanli

主编 谭扬林

---

责任编辑 陈灿华

出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙市岳麓山 邮码 410082

电话 0731-8821691 0731-8821315

经 销 湖南省新华书店

印 装 湖南省新华印刷二厂

---

开本 787×1092 16开 印张 18 字数 414千

版次 1998年8月第1版 1999年9月第2次印刷

印数 3 501—6 500册

书号 ISBN 7-81053-073-9/TN·1

定价 27.00元

---

(湖南大学版图书凡有印装差错,请向承印厂调换)

## 前 言

数字技术的飞速发展及计算机在通信领域中的广泛应用,使信息的传输和交换在形式上已发生了巨大的变化,用数字通信取代模拟通信来进行信号传输和交换已成必然趋势,数字通信的时代已经到来。

在通信领域中,数字通信是一门理论较深、知识涉及面较广的学科。本书吸收了国内外同类教材的特点,及编者多年从事教学实践的经验,从概念出发,对数字通信中的基本原理、系统结构、系统测试等进行了较详细的阐述,并辅以部分电路和系统框图加以说明。

本书共分九章,主要讲述了信源编码、数字信号的基带传输系统、数字信号的频带传输系统、同步原理和差错控制编码的基本原理及基本技术;此外,为了适应数字通信不断发展的需求,还介绍了计算机通信网络及 ISDN 的概念,阐述了数字信号的最佳接收原理、数字通信系统的潜在性能以及保密通信等内容。

本书可作为计算机通信、计算机应用、通信工程、电子信息工程等专业及相关专业的教材或参考书。

本书由谭扬林担任主编,谢冬青担任副主编,程京、谭健参与了编写。其中,第 1~5 章由谭扬林编写,第 6、9 章由谢冬青编写,第 7、8 章由程京编写,习题由谭健编写。

在编写过程中,得到了海南大学电子系丁钟琦教授的大力支持与热情指导;此外,成晓阳、张大方、林亚平、梁方对本书的编写给予了热情支持。在此,一并表示感谢!

本书由罗文钦教授担任主审。在编写过程中,罗文钦教授对本书的修改提出了许多宝贵的意见,在此表示真诚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1998 年 3 月于湖南大学

# 目 次

## 第一章 概 述

§ 1-1 通信发展史 .....	( 1 )
§ 1-2 通信系统的基本概念 .....	( 3 )
一、信号分类 .....	( 3 )
二、模拟通信系统 .....	( 3 )
三、数字通信系统 .....	( 4 )
§ 1-3 信 道 .....	( 6 )
一、信道的分类 .....	( 6 )
二、信道对传输信号的影响 .....	( 7 )
三、数字信道 .....	( 8 )
§ 1-4 信息量与信道容量 .....	( 9 )
一、信息量 .....	( 9 )
二、平均信息量 .....	( 10 )
三、信道容量 .....	( 10 )
§ 1-5 评价数字通信系统质量的主要技术指标 .....	( 11 )
一、通信系统的有效性 .....	( 12 )
二、通信系统的可靠性 .....	( 12 )
三、误码率与误信率的关系 .....	( 13 )
复习思考题 .....	( 13 )

## 第二章 信源编码——A/D 转换

§ 2-1 离散无记忆信源 (DMS) 编码 .....	( 15 )
一、等长编码 .....	( 15 )
二、不等长编码 .....	( 16 )
§ 2-2 脉冲编码调制 (PCM) .....	( 18 )
一、PCM 通信系统的概念 .....	( 18 )
二、波形抽样及抽样定理 .....	( 18 )
三、量化及量化噪声 .....	( 22 )

四、编码 .....	(28)
五、译码 .....	(30)
§ 2-3 压扩技术及非线性编码 .....	(31)
一、压扩处理 .....	(31)
二、逐次反馈折叠二进制 PCM 编码 .....	(34)
三、A 律 PCM 码的译码 .....	(37)
四、A 律压扩特性的量化噪声 .....	(38)
§ 2-4 PCM 通信系统的组成及时分复用 .....	(39)
一、PCM 通信系统的组成 .....	(39)
二、PCM 信号的时分复用 (TDM) .....	(40)
三、PCM 信号的带宽 .....	(42)
§ 2-5 线性编码器和非线性编译码器 .....	(42)
一、线性编码器 .....	(42)
二、非线性编码器和解码器 .....	(46)
三、实用的单片 PCM 编译码器 .....	(47)
§ 2-6 PCM 系统性能 .....	(49)
一、量化噪声 .....	(49)
二、信道的加性噪声 .....	(50)
§ 2-7 差分 PCM 编码 (DPCM) .....	(51)
一、DPCM 编码原理 .....	(51)
二、DPCM 编码实现方框图 .....	(52)
§ 2-8 模拟信号增量编码调制 (DM) .....	(53)
一、增量编码的基本原理 .....	(53)
二、量化噪声及过载噪声 .....	(54)
三、增量调制系统的抗噪声性能 .....	(56)
四、总和增量调制 ( $\Delta$ - $\Sigma$ ) 及数字压扩增量调制 .....	(58)
五、ADM 集成单片编译码器 .....	(61)
§ 2-9 PCM 系统与 DM 系统的比较 .....	(62)
§ 2-10 线性预测编码的概念 .....	(63)
复习思考题 .....	(67)

### 第三章 数字信号的基带传输系统

§ 3-1 基带传输系统 .....	(69)
一、基带传输系统方框图 .....	(69)
二、选择数字基带信号应考虑的原则 .....	(70)

三、数字基带信号波形	(71)
四、常用的基带传输码型	(73)
五、基带随机脉冲序列的功率谱	(79)
<b>§ 3-2 基带传输特性及码间干扰</b>	(84)
一、基带传输模型	(84)
二、无码间串扰传输系统及 Nyquist 准则	(85)
三、部分响应系统	(89)
<b>§ 3-3 基带系统的最佳化及抗噪声系统</b>	(94)
一、基带系统的最佳化	(94)
二、基带系统的抗噪声性能	(97)
<b>§ 3-4 均衡原理</b>	(100)
一、传输系统的无失真条件	(100)
二、频域均衡器	(101)
三、时域均衡器 (横向滤波器均衡器)	(104)
<b>§ 3-5 实用的基带系统工程测量工具——眼图</b>	(110)
<b>复习思考题</b>	(112)

## 第四章 数字信号的频带传输系统

<b>§ 4-1 数字调制的分类及其运用场合</b>	(115)
一、数字调制技术运用的场合	(115)
二、数字调制类型	(116)
<b>§ 4-2 数字幅度调制 (ASK)</b>	(117)
一、数字幅度调制的一般分析	(117)
二、ASK 调制信号的产生电路	(118)
三、ASK 信号的解调	(119)
四、ASK 系统的抗噪声性能	(120)
<b>§ 4-3 数字频率调制 (FSK)</b>	(124)
一、数字调频信号的一般分析	(124)
二、FSK 信号的产生电路	(126)
三、FSK 信号的解调	(127)
四、FSK 系统的抗噪声性能	(128)
<b>§ 4-4 数字相位调制 (PSK)</b>	(130)
一、绝对调相和相对调相	(130)
二、移相键控信号的功率谱	(132)
三、PSK 信号解调及其系统抗噪声性能	(132)

四、DPSK 解调.....	(134)
五、误码率的计算.....	(135)
§ 4-5 各种数字调制系统的性能比较 .....	(137)
§ 4-6 改进型数字调制系统 .....	(138)
一、多进制数字调制.....	(138)
二、最小移频键控 (MSK) .....	(144)
三、正交部分响应相关编码键控方式 (QPRK) .....	(147)
四、幅相键控 (APK) 方式 .....	(147)
复习思考题.....	(150)

## 第五章 同步原理

§ 5-1 同步与锁相环 .....	(152)
一、同步.....	(152)
二、锁相环 (PLL) 的基本工作原理.....	(153)
§ 5-2 载波同步 .....	(161)
一、插入导频法.....	(161)
二、直接提取载波法.....	(163)
三、载波同步的性能及相位误差对解调信号的影响.....	(166)
§ 5-3 码元同步 .....	(167)
一、插入导频法.....	(167)
二、直接提取位同步法.....	(168)
三、位同步相位误差对性能的影响.....	(169)
§ 5-4 群同步 .....	(170)
一、起止式同步法.....	(170)
二、连贯插入特殊码字同步法.....	(171)
三、间隔式插入同步码法.....	(174)
四、群同步系统的性能.....	(174)
五、自群同步简介.....	(177)
§ 5-5 数字通信网的网同步 .....	(178)
一、主从同步方式.....	(179)
二、相互同步方式.....	(179)
三、独立时钟的同步方式.....	(180)
复习思考题.....	(182)



## 第六章 差错控制

§ 6-1 误差的由来与控制 .....	(184)
一、引起误差的原因及分类 .....	(184)
二、提高数字通信可靠性的途径 .....	(184)
三、差错控制的基本思想 .....	(185)
四、纠错编码的基本原理 .....	(187)
§ 6-2 常用的简单编码 .....	(190)
一、奇偶监督码 .....	(190)
二、二维奇偶监督码 (水平-垂直奇偶监督码) .....	(191)
三、恒比码 (等重码) .....	(191)
四、正反码 .....	(192)
§ 6-3 线性分组码 (Linear Block Codes) .....	(192)
一、线性分组码概念 .....	(192)
二、线性分组码的一致校验 .....	(193)
三、线性分组码的生成矩阵 .....	(194)
四、线性分组码的译码及伴随式 (Syndrome) .....	(196)
五、线性分组码纠错能力与监督元个数的关系 .....	(197)
§ 6-4 汉明码与循环码 .....	(197)
一、汉明码与增余汉明码 .....	(197)
二、循环码 (Cyclic Code) .....	(200)
§ 6-5 卷积码 .....	(205)
复习思考题 .....	(206)

## 第七章 计算机通信网及综合业务数字网 (ISDN)

§ 7-1 计算机通信网的含义及网络结构 .....	(208)
一、计算机通信网的含义 .....	(208)
二、计算机通信网的网络结构 .....	(209)
§ 7-2 计算机网络协议及其实现 .....	(214)
一、网络协议 .....	(214)
二、协议描述 .....	(214)
三、协议实现 .....	(215)

§ 7-3 交换方式 .....	(215)
一、交换及其在计算机通信网中的使用 .....	(215)
二、交换方式 (Switching mode) .....	(216)
§ 7-4 计算机通信网的应用及发展 .....	(220)
一、新信息通信业务 .....	(220)
二、LAN 与 PABX 的结合 .....	(221)
三、综合业务数字网 (ISDN) .....	(221)

## 第八章 数字信号最佳接收原理

§ 8-1 统计描述与最佳接收准则 .....	(225)
一、接收端信号和干扰的统计描述 .....	(225)
二、最佳接收准则 .....	(228)
§ 8-2 相干接收与非相干接收 .....	(230)
一、恒参信道下确知信号的最佳接收——相干接收 .....	(230)
二、随相信号的最佳接收——非相干接收 .....	(241)
三、实际接收机与最佳接收机的性能比较 .....	(249)
§ 8-3 匹配滤波器 .....	(250)
一、动态滤波器 .....	(251)
二、准最佳(准匹配)滤波器 .....	(253)

## 第九章 保密通信

§ 9-1 引论 .....	(256)
一、基本术语 .....	(256)
二、密码攻击 .....	(257)
§ 9-2 传统密码 .....	(258)
一、Caesar 系统 .....	(258)
二、简单置换密码系统 .....	(258)
三、Vigenere 密码和多表置换密码 .....	(259)
四、Vernam 密码 .....	(260)
§ 9-3 数据加密标准 .....	(260)
一、DES 的加/解密算法 .....	(260)
二、DES 每圈密钥向量的生成 .....	(261)

三、DES 的实用情况 .....	(263)
<b>§ 9-4 公开密钥密码 .....</b>	<b>(264)</b>
一、公开密钥密码概述 .....	(264)
二、RSA 体制 .....	(266)
三、RSA 体制的参数选取 .....	(268)
四、RSA 的实用情况 .....	(270)
<b>复习思考题 .....</b>	<b>(273)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(274)</b>

# 第一章 概述

## § 1-1 通信发展史

通信进行信息的传递和交换，是人类社会活动的工具。我国古代的烽火告警和驿马传令，以及近代的电报、电话、广播、传真、电视、雷达、遥控、遥测甚至人工智能都属于通信的范畴。当今世界由物质、能量和信息三大要素构成。担负信息传递重任的通信技术的发展水平代表着人类社会的文明与进步程度。因此，从事通信方面的人们应该了解通信的过去和现在，预测其未来的发展。

人类自存在以来，在生存斗争中总要进行思想交流和消息传递。远古时代的人类用表情和动作进行信息交换，这是最原始的通信。在漫长的生活和劳动中，人类创造了语言和文字；进而用它们（书信）进行消息的传递。这种通信方式一直沿用至今。

在电信号出现之前，人们还创造了许多种消息传递的方式，如古代的烽火台、金鼓、旌旗，航行用的信号灯等等。这些方式，可以在较远的距离之间及时地完成消息的传递。

大约从 1800 年，伏打 (Volta) 发明电源以来，人们就试图用电技术进行通信。1837 年，莫尔斯 (Morse) 第一个发明了电信号的通信有线电报通信。这种通信是利用导线中电流的有无来区别传号和空号，并利用传号和空号的长短进行电报符号的编码，这给远距离的消息传递揭开了崭新的一页。当电磁感应现象被发现后，1876 年贝尔 (A·G·Bell) 利用电磁感应原理发明了电话机，从而使人们可以直接利用导线上电流的强弱来传送语音信号，这样使通信技术的发展又进了一步。这种有线电通信方式一直保留到现在。但这种有线传送消息的系统要花费很大的代价建造线路，甚至在有些情况下（如隔海洋）是难以实现的。

1864 年麦克斯韦 (Maxwell) 预言了电磁波辐射的存在，1887 年赫兹 (Hertz) 通过实验加以证实，这为现代的无线电通信提供了理论根据。无线电波可以在大气媒质中传播，不需要价格昂贵的线路投资。这一理论的创立大大推动了通信技术的发展。

在实践中，人们发现正弦波易于产生和控制，所以在 20 世纪初期就出现了代表消息的信号去控制高频正弦振幅的调制方式。这就是最早出现的调幅制方式 AM 制。它的出现使通信出现了新局面，它不仅可以传送语音，还可以传送音乐、图像等。这种 AM 通信方式使点通信发展到点对面通信（如广播），它促进了人类社会的文化交流和宣传教育的发展，深刻地影响着人们的生活。

调幅制传送信号容易接受噪声干扰，使信号失真，影响传信质量。1936 年，发明了抗干扰能力比 AM 制强的调频技术 (FM)。FM 制不仅提高了抗干扰能力，而且大大推动了移动通信的发展。AM 制和 FM 制的应用标志着本世纪 30 年代是世界上模拟通信的兴旺时期。

自从 1928 年奈奎斯特 (Nyquist) 定理被提出到 1937 年瑞维斯 (A·H·Reeves) 发明 PCM (脉冲编码调制) 通信, 通信技术由频分制 (FDM) 发展到时分制 (TDM), 由模拟通信发展到数字通信。利用数字通信, 模拟信号被数字化后传送, 进一步提高了抗干扰能力。但由于器件的限制, 当时未能实现, 直到晶体管出现后, 1950 年贝尔实验室才造出了第一台实用的 PCM 设备。新器件的出现对通信技术的发展, 起着很大的推动作用。

数字通信不仅能使人和人之间通信, 而且能完成人与机器、机器与机器之间的通信和数据交换, 为现代通信网奠定了良好的基础。

随着通信容量的增加和通信范围的扩大, 1955 年皮尔斯 (Pierce) 提出了卫星通信的设想。1962 年发射了人类历史上第一颗通信卫星 (TELSTAR), 为国际通信开辟了道路。这一技术的发展与大规模集成电路 (LSI) 的出现有着密切的关系。集成电路的出现, 使通信设备小型化, 可靠性提高, 对空间通信起了促进作用。

更大容量和更加可靠的光纤通信, 在 20 世纪 60 年代初已问世。在这方面, 我国正在紧追世界先进水平。目前, 我国的光纤通信正处于推广应用阶段。

当今社会处于“信息时代”, 人们要求通信能够更加迅速、有效、准确、可靠地传递信息, 从而充分利用社会上现有的财富, 更好地发挥各种资源的效应。一个综合性的信息交换网正在形成。这就是“计算机技术、通信系统和自动化系统”构成的完整信息交换系统。全数字化的综合业务数字网 (ISDN) 是目前通信界所关注和研究的新内容。20 世纪 80 年代初, 发达国家已建立了 ISDN 试验网。国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 在有关建议中已提出关于 ISDN 的概念, 指出 ISDN 是一个服务于语音和非语音数据通信业务的综合网。1984 年, CCITT 有关组织 (IEEE 的第 802 委员会) 推出了 I 系列关于 ISDN 的功能、网络结构、接口及网络互联等方面的建议。可以预计 ISDN 是今后一二十年世界通信网发展的必然趋向。

随着各种通信网的建立和数字通信的发展, 相应的安全保密通信技术也将进一步引起人们的注意。

此外, 由于通信容量增加, 要求对频率资源开发向着更高的频段发展 (如微波接力通信已达 20GC, 移动通信已达 800MC 等)。然而, 在信源数据的处理上要求进一步压缩, 提高通信的有效性。

回顾通信的发展历史, 可以看到通信技术是一门年轻但发展迅速的新技术! 它仅仅在 100 年左右的时间, 从简单的通信技术发展为通信科学。其原因在于除了生活实际、社会要求和新器件发明的推动之外, 通信理论的指导也起着十分重要的作用。在本世纪四五十年代通信理论的发展出现了高峰, 滤波和预测理论、香农信息论、纠错编码理论、信号和噪声理论、调制理论及信号检测理论等使通信理论在有效性和可靠性等方面的研究出现了突破。这些理论的出现使通信技术变成通信科学。尽管如此, 通信目前仍不能满足人们越来越高的要求。一般来说, 技术来源于科学, 它与社会互相推动, 共同发展。电信技术也是这样。可以预见, 它将和其他科学一样正朝着更高的水平突飞猛进。

## § 1-2 通信系统的基本概念

### 一、信号分类

通信就是传递消息。为了使消息可以在信道中传送，首先应将消息转换为可以传送的电信号。按代表消息的信号的参量取值方式，一般分为两类：一类为模拟信号，又叫连续信号，如电话机送出的语音信号、摄像机产生的图像信号等，它们的电压（或电流）波形的取值为连续的时间函数；另一类为数字信号，又称离散信号，如电报符号、雷达数据、遥控指令及计算机数据等，这种信号的取值为有限个离散值，且不是时间的连续函数。

通常把传送模拟信号的通信系统称为模拟通信系统，把传送数字信号的通信系统称为数字通信系统。

在模拟通信系统中，传送的信号是一个模拟的波形，它要求接收机能够高度保真地重现波形信号。所以，在模拟通信系统中追求的主要质量指标是较高的信噪比，在接收端对信号的检测就是对信号连续波形的参量估值。可见，对模拟信号的检测理论就是参量估值理论。

在数字通信系统中，传送的信号是取有限个值的离散脉冲，在有干扰存在的情况下，接收端要求正确判决发送的是哪一种离散状态。只要脉冲波形的失真不足以引起错误判决就不会影响通信质量。因此，衡量数字通信的主要质量指标是误码率，研究数字通信系统检测的主要理论是统计判决理论。

### 二、模拟通信系统

#### 1. 组成

传输模拟信号的通信系统称模拟通信系统。电话的语声消息和传真、电视的图像消息都是模拟信号（连续信号）。以语声为例，它的声压随时间的变化是连续的，如图 1-1 所示。

把这种连续消息通过变换器，变成适合信道传输的电信号后，若其电流或电压仍然是随时间变化的，则这种系统显然是模拟通信系统。其具体构成如图 1-2 所示。

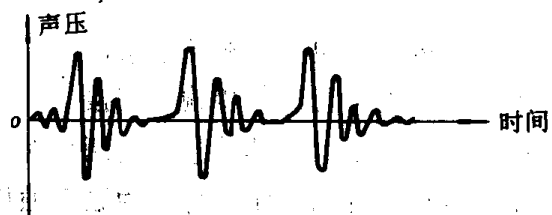


图 1-1 语声信号

在该系统中，发信者发的语声信号经过非电/电变换器（发话器）转换为电信号。为了适应具体信道的传输，通常还要把经过第一次变换后的电信号再进行第二次变换。这种第二次变换称作调制，调制后的电信号称作已调信号，它仍然是一种连续信号。这种信号的变换由调制器完成。已调信号通过信道传输到接收端的解调器和电/非电变换器（收话器），它们与发送端的调制器和发话器一一对应，起着反变换的功能，把已调信号恢复成语声的连续消息。在发送端调制器之前和接收端解调器之后的信号是一种原始电

信号，它具有频率较低的频谱，相对于已调信号（具有频率较高的频谱）而言，通常称这种原始信号为基带信号。

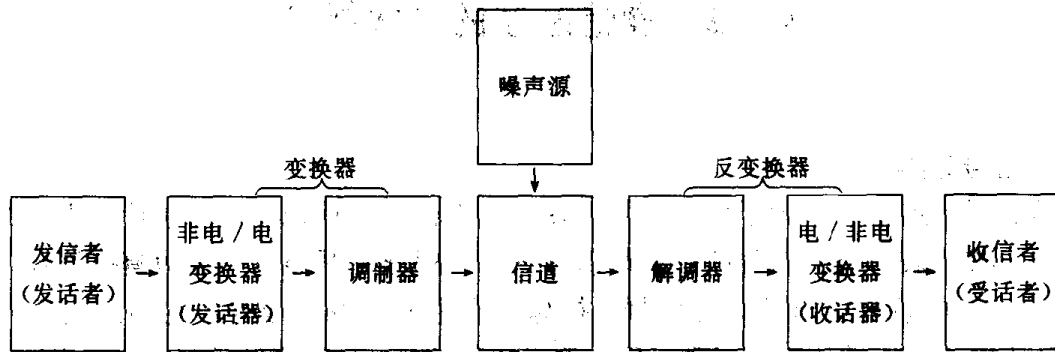


图 1-2 模拟通信系统

## 2. 模拟通信系统的优缺点

优点：通过信道的信号频谱比较窄，因此信道的利用率高。

缺点：

- (1) 传输的信号是连续的，混入噪声干扰后不易清除，即抗干扰能力差。
- (2) 不易保密通信。
- (3) 设备不易大规模集成化。
- (4) 不适于飞速发展的计算机通信要求。

## 三、数字通信系统

### 1. 组成

有一些信源的消息本来就是离散的，如电报符号和数据等。所谓离散消息也称为数字消息，其消息的状态是可数的，不随时间作连续变化，最简单的一种数字信号如图 1-3 所示，它在时间上是不连续的，而在幅度上只有两个值。另外，还可把信源的连续消息变为离散的消息进行传输，到接收端再把它反变成连续消息。这两种对原始消息（无论是离散的还是连续的）进行各种数字处理后的通信系统，都称为数字通信系统，其构成模型如图 1-4 所示。

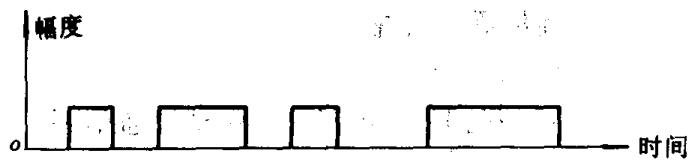


图 1-3 数字信号

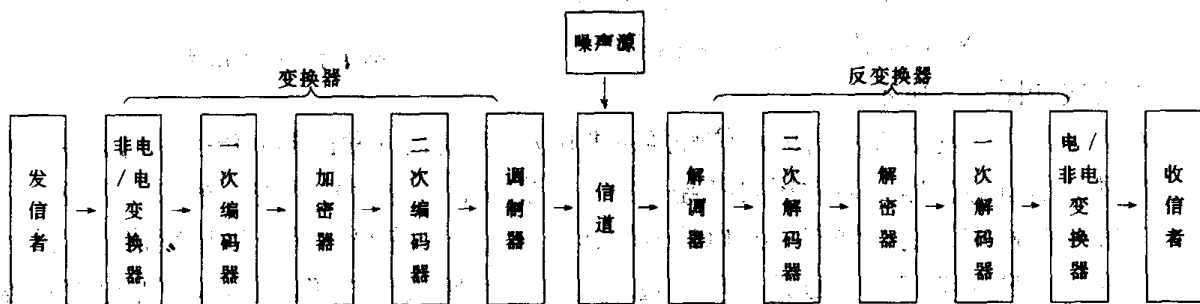


图 1-4 数字通信系统

在该系统中，如果原始信号已经是数字信号如数据信号等，则它相当于一次编码器的输出；如果原始消息是模拟的，要进行数字通信则需从左边第一个方框开始。现设发信者发的仍是语音信号，经过“非电/电”变换器（此时即为发话器）变成模拟的电信号，然后经一次编码器，把模拟信号转换为数字信号，这种变换通常称作模拟/数字变换。有时通信需要保密，则上面的数字信号可经加密器，按照内定的规律加上一些密码，对一次干扰信号进行“扰乱”。有时为了控制由于信道噪声使传输的数字信号所造成的差错，可以在数字信号内再附加一定数量的数字码，形成新的数字信号，使其内部数码间的关系形成一定的规律性，一旦新的数字信号发生差错，接收端就会按照一定的规律自动检查出来或进行自动纠正。这种功能叫作自动差错控制。它由二次编码器（具体叫做差错控制编码器）来完成。为了使这一级输出的信号能适应信道传输的要求，有时还需要再加一级调制器，使信号能较好地通过信道到达接收端。接收端的几个方框，其功能是进行与发送端的几个方框一一对应的反变换。必须指出，具体的数字通信系统并非一定要按照图 1-4 所示那样包括所有的方框。若对数字消息进行传输，则加密器以前的和解密器以后的方框可去掉。在无需保密时，连加密器、解密器也可以去掉。这样构成的系统称作数据通信系统。相反地，除信道以外，如把加密器以后和解密器之前的方框去掉（同样地，加密器与解密器也应视是否需要保密而进行取舍），这又构成了另一种系统，广义地称作为信源编码通信系统。后者是本书的重点。当然这一系统还可视具体情况的需要，再单独外加一对二次编码解码器，或单独外加一对调制解调器，甚至把这二对全部加上，形成一个较完整的数字通信系统。

## 2. 数字通信的优缺点

### (1) 优点：

(a) 抗噪声（即抗干扰）能力强，尤其是数字信号通过中继再生后可消除噪声积累，理论上数字信号可以传送无限远。

(b) 数字通信可以通过差错控制编码，提高通信的可靠性。

(c) 由于数字信号传输一般采用二进制码，所以可以使用现代计算机对数字信号进行处理。数字通信可以完成计算机之间的通信，实现复杂的距离控制，例如由雷达、数字通信机、计算机及导弹系统组成的自动化防空系统。

(d) 数字通信系统可以传送各种消息（模拟的和离散的），使通信系统灵活、通用，因而可以构成信号处理、传送、交换的现代数字通信网。

(e) 数字信号易于加密处理，所以数字通信保密性强。

另外，数字通信系统还具有易于集成化、体积小、重量轻、可靠性高等优点。

### (2) 缺点：

数字通信较突出的缺点是比模拟通信占带宽，如一路模拟电话占 4 kHz 带宽，而一路数字电话约占 20~64 kHz 的带宽。然而，在当前由于毫米波和光纤通信的出现，带宽问题已基本得到解决。

因为卫星信道和光纤信道的工作频率带宽通常可达几十兆赫、几百兆赫甚至更高，数字通信占用频带宽的矛盾可得到解决。



## § 1-3 信 道

### 一、信道的分类

各种电信号都要通过信道才能从甲地传送到乙地。根据分类的不同，信道的构成也有所不同。

#### 1. 按传播媒介分

##### (1) 有线信道，包括

- (a) 明线信道——铜线信道、铁线信道等；
- (b) 对称电缆信道；
- (c) 同轴电缆信道；
- (d) 波导管信道（方波导、圆波导、椭圆波导）；
- (e) 光纤信道。

##### (2) 无线信道，包括

- (a) 长波信道；
- (b) 中波信道；
- (c) 短波信道；
- (d) 超短波信道；
- (e) 微波信道；
- (f) 卫星信道。

#### 2. 按信息多路复用的形成分

##### (1) 频率分割信道(频分信道)，包括

- (a) 载波信道；
- (b) 频分短波信道；
- (c) 频分微波信道；
- (d) 频分卫星信道；
- (e) 其他频分信道。

##### (2) 时间分割信道(时分信道)，包括

- (a) 时分基带信道；
- (b) 时分短波信道；
- (c) 时分微波信道；
- (d) 时分卫星信道；
- (e) 其他时分信道。

#### 3. 按信道传输的信息类型分

(1) 模拟信道：与频分信道相同，另外还包括基带模拟信道。

(2) 数字信道：与时分信道基本相同，但数字信道所传送的信号一定要数字化，它