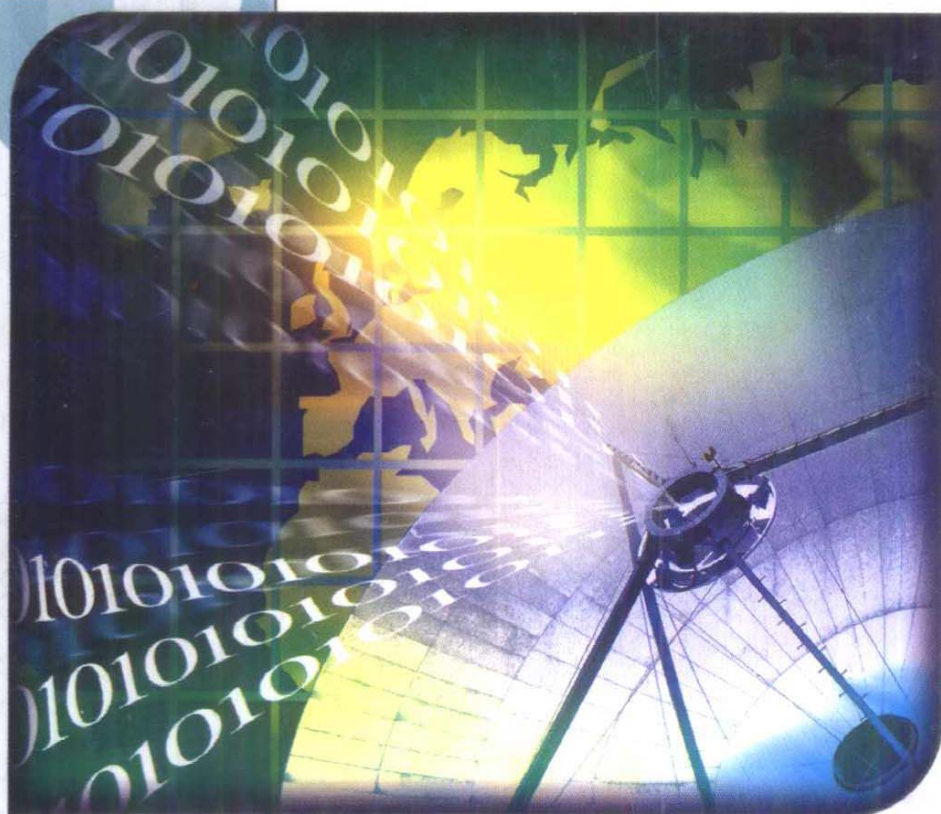




中等职业教育国家规划教材（通信技术专业）  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 数字通信技术

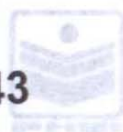
主编 王钧铭  
责任主审 刘蕴陶 审稿 李文海 毛京丽



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



131

V914 3 4 3  
LL33

中等职业教育国家规划教材(通信技术专业)

# 数字通信技术

主编 王钧铭

责任主审 刘蕴陶 审稿 李文海 毛京丽

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书介绍了数字通信系统的基本构成、数字信号编码与传输原理、模拟信号的数字化、光纤通信系统、卫星通信系统与卫星电视接收机、移动通信以及计算机通信等方面的内容。本书内容浅显,以基本概念和系统概念为重点,所涉及的知识面较宽,适合于已具有一定的电子线路知识的中等职业学校电子信息类专业的学生使用,也可作为电子类工程技术人员和管理人员的参考用书。

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

数字通信技术/王钧铭主编. —北京:电子工业出版社,2002.6

中等职业教育国家规划教材(通信技术专业)

ISBN 7-5053-7229-7

I. 数… II. 王… III. 数字通信—通信技术—专业学校—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034315 号

责任编辑:张荣琴

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:7.75 字数:204 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:10.00 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

## 前 言

本教材根据教育部中等职业学校重点建设专业主干专业课程《数字通信技术》教学大纲中基础模块的要求编写,适用于中等职业学校电子信息类通信技术专业教学。

本教材共有 8 章,内容包括数字信号传输、模拟信号数字化技术、光纤通信、卫星通信、移动通信以及计算机通信等,在介绍这些领域的基本知识的同时也反映了现代通信技术。考虑到内容的实用性,本教材也编入了一部分属于模拟通信的内容。由于受篇幅的限制,每一部分内容都难以详尽介绍,对使用本教材者来说也不可能就此掌握通信技术。我们的目标在于帮助读者建立一个完整的通信系统的概念,掌握数字通信的基本原理,了解通信技术的现状与发展趋势。

本教材由南京无线电工业学校王钧铭高级讲师、天津仪表无线电学校刘松讲师担任主编,常州无线电工业学校吴青萍讲师、黑龙江电子工业学校唐彦儒讲师、深圳电子技术学校周毅讲师参加了本教材的编写。其中,刘松编写第 1~4 章,唐彦儒编写第 5 章,王钧铭编写第 6 章,周毅编写第 7 章,吴青萍编写了第 8 章。全书由王钧铭统稿。

本教材在编写过程中得到了北京信息职业技术学院刘连青、大连电子工业学校孙青卉,河北省电子工业学校翟英等教师的帮助,编者在此深表谢意,也希望有更多使用本教材的教师和同学能提出宝贵意见。

编 者

2002 年 2 月

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| <b>第 1 章 数字通信概述</b>          | (1)  |
| 1.1 通信系统构成                   | (1)  |
| 1.1.1 信息与信号                  | (1)  |
| 1.1.2 模拟信号与数字信号              | (1)  |
| 1.1.3 通信系统的模型及特点             | (2)  |
| 1.1.4 通信系统的分类                | (4)  |
| 1.2 通信系统的主要性能指标              | (5)  |
| 1.2.1 码元与比特                  | (5)  |
| 1.2.2 传输速率和传输差错率             | (5)  |
| 1.3 通信技术的现状及发展趋势             | (6)  |
| 本章小结                         | (6)  |
| 思考题与习题                       | (7)  |
| <b>第 2 章 数字终端技术</b>          | (8)  |
| 2.1 模拟信号数字化方法                | (8)  |
| 2.1.1 脉冲编码调制基本原理             | (8)  |
| 2.1.2 抽样                     | (9)  |
| 2.1.3 量化                     | (9)  |
| 2.1.4 编码与解码                  | (12) |
| 2.2 多路复用技术及 30/32 路 PCM 通信系统 | (15) |
| 2.2.1 频分多路复用                 | (15) |
| 2.2.2 时分多路复用                 | (17) |
| 2.2.3 30/32 路 PCM 通信系统       | (17) |
| 2.2.4 30/32 路 PCM 基群端机的构成    | (18) |
| 2.3 数字复接基本原理                 | (19) |
| 2.3.1 PCM 数字复接等级             | (19) |
| 2.3.2 数字复接原理                 | (19) |
| 2.3.3 数字复接的方法及分类             | (20) |
| 本章小结                         | (21) |
| 思考题与习题                       | (21) |
| <b>第 3 章 数字信号的基带传输</b>       | (23) |
| 3.1 数字基带信号                   | (23) |
| 3.1.1 数字基带信号波形与频谱            | (23) |
| 3.1.2 数字基带信号常用线路码型           | (25) |
| 3.2 基带传输系统                   | (28) |
| 3.2.1 数字基带信号无码间干扰传输准则        | (28) |

|            |                        |             |
|------------|------------------------|-------------|
| 3.2.2      | 眼图 .....               | (30)        |
| 3.2.3      | 误码的检测 .....            | (31)        |
| 3.2.4      | 基带传输的再生中继系统 .....      | (31)        |
| 3.2.5      | 再生中继器功能 .....          | (31)        |
| 3.3        | 同步传输与异步传输 .....        | (32)        |
| 3.3.1      | 同步传输 .....             | (32)        |
| 3.3.2      | 异步传输 .....             | (32)        |
| 3.3        | 差错控制编码 .....           | (33)        |
| 3.3.1      | 差错控制方式 .....           | (34)        |
| 3.3.2      | 常用差错控制编码 .....         | (34)        |
| 本章小结       | .....                  | (35)        |
| 思考题与习题     | .....                  | (36)        |
| <b>第4章</b> | <b>数字信号的频带传输 .....</b> | <b>(37)</b> |
| 4.1        | 数字调制及解调 .....          | (37)        |
| 4.1.1      | 二进制数字调制及解调 .....       | (37)        |
| 4.1.2      | 多进制数字调制及现代数字调制技术 ..... | (42)        |
| 4.2        | 二进制数字调制系统的性能比较 .....   | (44)        |
| 4.3        | 数字信号传输的同步技术 .....      | (44)        |
| 4.3.1      | 载波同步的实现 .....          | (44)        |
| 4.3.2      | 位同步的实现 .....           | (45)        |
| 4.3.3      | 群同步的实现 .....           | (46)        |
| 4.4        | 调制解调器 .....            | (46)        |
| 4.4.1      | 调制解调器结构与功能 .....       | (47)        |
| 4.4.2      | 调制解调器部分硬件工作原理 .....    | (48)        |
| 4.4.3      | 电话线路接口电路 .....         | (49)        |
| 本章小结       | .....                  | (50)        |
| 思考题与习题     | .....                  | (50)        |
| <b>第5章</b> | <b>光纤通信 .....</b>      | <b>(52)</b> |
| 5.1        | 光纤的结构及分类 .....         | (52)        |
| 5.1.1      | 光纤与光缆的结构 .....         | (52)        |
| 5.1.2      | 光纤的分类 .....            | (54)        |
| 5.1.3      | 光缆敷设方法与连接 .....        | (56)        |
| 5.2        | 光纤通信系统 .....           | (57)        |
| 5.2.1      | 光纤通信系统的基本结构及原理 .....   | (57)        |
| 5.2.2      | 混合光纤同轴接入网 .....        | (60)        |
| 5.3        | 波分复用与密集型波分复用 .....     | (63)        |
| 5.3.1      | 波分复用系统的基本组成及其原理 .....  | (63)        |
| 5.3.2      | WDM 与 DWDM .....       | (64)        |
| 本章小结       | .....                  | (65)        |
| 思考题与习题     | .....                  | (66)        |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| <b>第 6 章 卫星通信</b>       | (67)  |
| 6.1 概述                  | (67)  |
| 6.1.1 卫星通信的基本概念         | (67)  |
| 6.1.2 卫星通信系统的组成         | (68)  |
| 6.1.3 卫星通信组网技术          | (73)  |
| 6.2 卫星地球站               | (74)  |
| 6.2.1 地球站的分类及要求         | (74)  |
| 6.2.2 地球站的组成            | (75)  |
| 6.2.3 DW-10 型地球站        | (78)  |
| 6.3 卫星电视接收机             | (80)  |
| 本章小结                    | (81)  |
| 思考题与习题                  | (82)  |
| <b>第 7 章 移动通信</b>       | (83)  |
| 7.1 概述                  | (83)  |
| 7.1.1 移动通信系统的组成         | (83)  |
| 7.1.2 移动通信系统的分类         | (84)  |
| 7.1.3 移动通信的发展过程         | (86)  |
| 7.2 数字移动通信的相关技术         | (86)  |
| 7.2.1 多址技术              | (87)  |
| 7.2.2 调制技术              | (87)  |
| 7.2.3 语音编码技术            | (87)  |
| 7.2.4 信道编码与交织技术         | (88)  |
| 7.2.5 跳频技术              | (89)  |
| 7.3 GSM 数字蜂窝移动通信        | (89)  |
| 7.3.1 GSM 系统信道类型与时帧结构   | (89)  |
| 7.3.2 GSM 系统结构          | (90)  |
| 7.3.3 数字移动通信系统的运行       | (93)  |
| 本章小结                    | (95)  |
| 思考题与习题                  | (96)  |
| <b>第 8 章 计算机网络及通信协议</b> | (97)  |
| 8.1 计算机通信网络             | (97)  |
| 8.1.1 数据传输系统的构成         | (97)  |
| 8.1.2 通信网络拓扑结构          | (98)  |
| 8.1.3 通信网络中的信道共享        | (99)  |
| 8.1.4 信号交换              | (100) |
| 8.1.5 计算机网络的分类          | (100) |
| 8.1.6 开放系统互联参考模型        | (101) |
| 8.2 计算机局域网              | (102) |
| 8.2.1 LAN 标准            | (102) |
| 8.2.2 接入网技术             | (104) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 8.3 网络互联技术 .....                 | (106) |
| 8.3.1 网络互联设备及其应用 .....           | (106) |
| 8.3.2 TCP/IP 协议体系与 IP 技术简介 ..... | (107) |
| 8.3.3 因特网 (Internet) .....       | (110) |
| 本章小结 .....                       | (111) |
| 思考题与习题 .....                     | (111) |
| 附录 国际性通信组织及相关组织简介 .....          | (113) |
| 参考文献 .....                       | (114) |

# 第 1 章 数字通信概述

## 1.1 通信系统构成

### 1.1.1 信息与信号

人类生活在信息的海洋里，离不开信息的传递与交流。信息（Information）是指对收信者来说有意义的内容，是一个比较抽象的概念，但它可以用不同形式的信号来表示，如语言、文字、数据、图像等。

信号（Signal）是信息的载体，是运载信息的工具。在各种形式的信号中，电信号与光信号已成为用于信息传递的主要载体，其他形式的信号都可以通过各种器件转换成电信号，在电子技术、多媒体技术迅速发展的今天，电信号发挥出越来越重要的作用。

通信（Communication）是信息的传递和交换过程。通信的含义很广泛，本书所讨论的通信主要是以电信号（或光信号）为载体的信息传输或交换，也称为电通信。电通信的突出优点是能使信号在任意距离上实现快速、有效、准确可靠的传递，因此电通信已成为现代社会的主要通信方式。

电信号可以以电流的方式传输，也可以以电磁波的方式传输。近年来，光信号在光纤中传输的技术有了很大的突破，光纤通信被大量用于通信系统中。

### 1.1.2 模拟信号与数字信号

#### 1. 模拟信号

如果定义信号的幅度值是连续（连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值）的而不是离散的，则这样的信号称为模拟信号（Analog Signal），如图 1.1 所示。图 1.1（a）是话音信号的电压波形，其幅度是连续变化的。常见的模拟信号有电话、电视图像信号等。

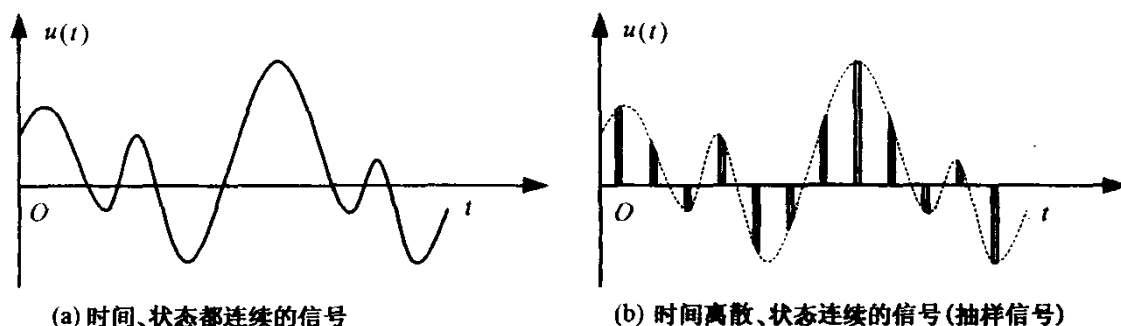


图 1.1 模拟信号波形

#### 2. 数字信号

如果信号的幅度是离散的，具有有限个状态，并且在时间上也是离散的，则这样的信号称为数字信号（Digital Signal）。图 1.2 所示的是数字信号的两个波形。图（a）是二电平

信号波形，图中标出的数字是相应的二进制代码，只取两个状态（0, 1）。图（b）是四电平信号波形，有 4 个幅度为 3, 1, -1, -3 的电平（分别代表信码 3, 2, 1, 0）。数字信号的特点是状态有限，它不是连续的而是离散的。电报信号、数据信号均属于数字信号。

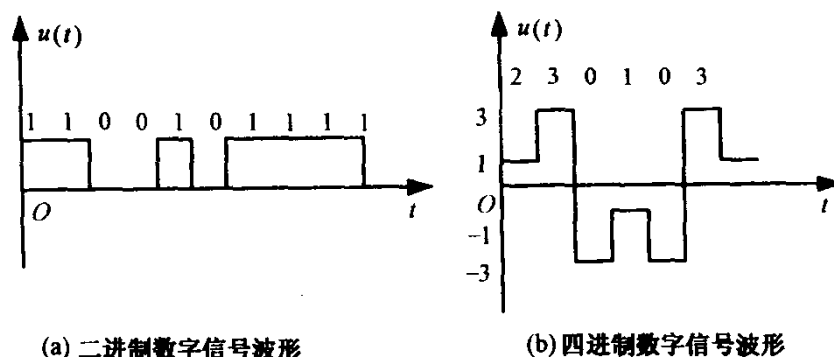


图 1.2 数字信号波形

判断一个信号是数字信号还是模拟信号，其关键是看信号幅度的取值是否离散。一个信息既可用模拟信号来表示，也可用数字信号来表示，因此，模拟信号和数字信号在一定条件下可相互转换。

### 1.1.3 通信系统的模型及特点

#### 1. 通信系统的模型

通信系统的一般模型如图 1.3 所示，由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿五部分组成。

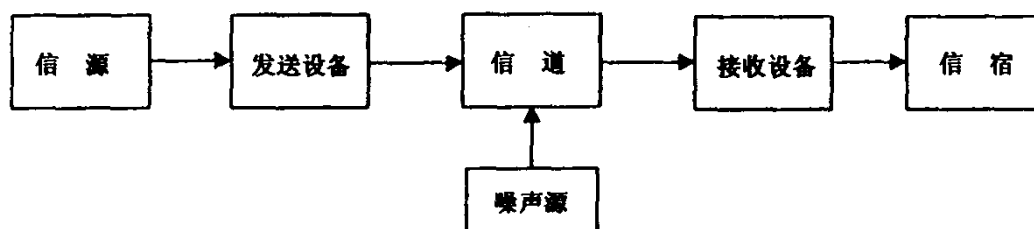


图 1.3 通信系统模型

信源是指产生信息的源，在这里是指产生电信号的源，它将各种形式的信息变换成原始电信号。

发送设备将信源产生的信号变换为适合于在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的，常见的变换方式有各种信道编码，放大、正弦调制等。经正弦调制后的信号称为频带信号；未经正弦调制的信号称为基带信号。

信道（Channel）是信号的传输媒介，即传输信号的通道。信号在信道中传输时，不仅会受到衰减和失真，而且不可避免地会受到信道外部干扰和信道内部噪声的影响。

接收设备的任务是将接收到的、来自于信道的信号准确地恢复成原基带信号。接收设备与发送设备有对应关系，通常包含信道译码、解调、各种滤波、放大等功能。

信宿的作用是将基带信号恢复成原始信号。

图 1.3 所示的通信系统模型是对各种通信系统的概括，它反映了通信系统的共性。根据所研究的对象不同，还可以有其他形式的通信模型。图 1.4 所示的是一个数字通信系统的模型。

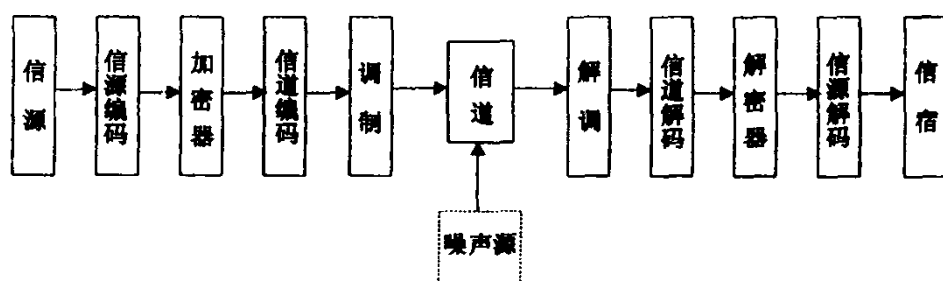


图 1.4 数字通信系统模型

图中，信源是信息变换成原始电信号的设备或电路。常见的信源有产生模拟信号的电话机、话筒、摄像机和输出数字信号的电子计算机等。

信源编码的任务是把信号转换成具有一定格式的数字信号，如将模拟信号变换成数字信号，即模拟/数字变换（简称模/数变换或 A/D 变换），或将计算机键盘符号变换成 ASCII 码。

加密器用于对数字信号进行加密。对数字信号进行一些逻辑运算即可起到加密的作用。

信道编码包括线路编码（又称码型变换）和差错控制编码两部分。信道编码的目的在于使信号能够适应具有低通特性的信道，接收端易于同步接收发送端送来的数字码流，并且根据信道编码形成的规律自动进行检错甚至纠错。

如果数字信号要在具有带通特性的信道中传输，则需要用调制器将数字基带信号转换成频带信号。

接收端的解调、信道解码、解密器、信源解码等功能与发送端的调制、信道编码、加密器、信源编码等功能是一一对应的反变换，这里不再赘述。

需要指出的是：实际的数字通信系统各功能块有时并不能区分，如信源与信源编码器在硬件上可能合为一体；有些功能可能是通过计算机软件实现；而有些功能在系统中并不一定需要。

## 2. 数字通信的特点

数字通信与模拟通信抗干扰性能比较如图 1.5 所示。与模拟通信比较，数字通信的特点为：

(1) 抗干扰能力强，无噪声积累。信号在传输过程中必然会受到各种干扰。模拟通信系统只能通过各种滤波器滤除干扰，但对与信号同频的干扰几乎无能为力；在远距离传输时，如果信号衰减过大，就需要加中继站，每个中继站都要对信号进行放大，但对信号放大的同时对干扰也放大了，如图 1.5 (a)，放大器并不能改善信号噪声功率比，这样多次中继后信号质量会很差。

数字信号传输时在幅度上所受到的干扰只要不是太大，都可以通过对波形的整形（如抽样判决）消除，因此数字通信不仅比模拟通信有更好的抗干扰能力，而且在远距离通信时可以通过增加中继站，使每一段距离内的干扰都由中继电路消除，不会产生噪声的积累，如图 1.5 (b) 所示。

(2) 灵活性强，能适应各种业务要求。在数字通信系统中，各种信号（电报、电话、图像和数据等）都可以变换成统一的数字信号进行传输。

(3) 便于与计算机连接。计算机产生、处理和接收的均是数字信号，可以直接作为数字通信系统的信源与信宿。另外，计算机也可以直接作为数字通信系统的一个组成部分实现系统的管理、维护、监控以及信号处理等功能。

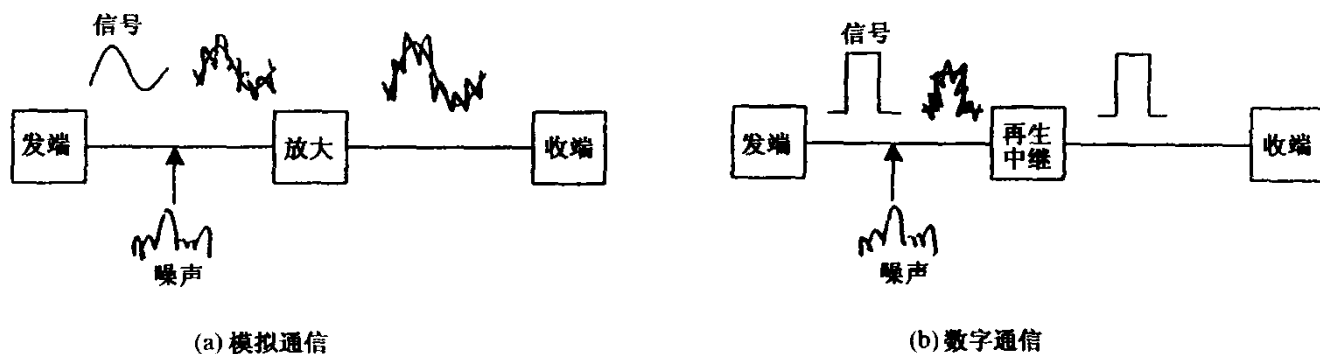


图 1.5 数字通信和模拟通信抗干扰性能比较

(4) 便于加密处理。信息传输的安全性和保密性越来越重要。数字通信的加密处理比模拟通信容易得多，经过一些简单的逻辑运算即可实现加密。

(5) 设备便于集成化、小型化。数字通信通常采用时分多路复用，不需体积大的滤波器。由于设备中大部分电路都是数字电路，可用大规模和超大规模集成电路实现，因此体积小、功耗低。

(6) 占用频带宽。这是数字通信的最大缺点。在电话交换系统中，一路模拟电话约占 4kHz 带宽，而一路数字电话约占 64 kHz 带宽。随着宽频带信道（光缆、数字微波）的大量利用、低码率的编码技术、数据压缩技术及窄带调制技术的发展，数字电话的带宽问题已不是主要问题。

### 1.1.4 通信系统的分类

#### 1. 按传输媒介可分为有线通信和无线通信

有线通信是指电磁波沿线缆传播的通信方式。常用的线缆有双绞线、同轴电缆、光缆等。

无线通信是电磁波在空间传播的通信方式，传输媒介为无线空间。无线按所用波段不同又可划分为长波通信、中波通信、短波通信、超短波通信和微波通信等。

无线通信与有线通信比较具有机动灵活、不受地理环境限制、通信区域广等优点。但无线通信易受到外界干扰，保密性差。而有线通信可靠性高，成本低，适用于近距离固定点之间的通信。在现代通信中，无线通信系统和有线通信系统互相融合、互相补偿。

#### 2. 按信号传送类型可分为模拟通信和数字通信

利用模拟信号作为载体而传递信息的通信方式称为模拟通信。目前的电话通信和图像通信仍大量采用模拟通信方式。传输模拟信号的信道称为模拟信道。

利用数字信号作为载体而传递信息的通信方式称为数字通信。如电报、计算机、数据等均属数字通信。

任一信息既可用模拟方式传输，也可用数字方式传输。例如，电话信号，过去都用模拟信号传输，而现在可以用数字化手段将模拟信号变成数字信号后再传输，这就是数字电话。此外，数字信号经变换后，也可在模拟信道上传输。

实际上，通信系统还有很多分类方法，如按业务分类，可分为移动电话系统、市话系统、有线电视系统、无线寻呼系统等。

## 1.2 通信系统的主要性能指标

衡量通信系统性能优劣的主要指标是系统的有效性和可靠性。有效性是指信息的传输速度，而可靠性是指信息传输的质量。两者是相互矛盾而又相互联系的，通常也是可以相互转换的。

模拟通信系统的有效性可用有效传输频带来度量，同样的消息采用不同的调制方式，则需不同的频带宽度，因此有效性也不同。可靠性用系统输出信号噪声功率比来度量，在相同的条件下，某一系统输出信噪比高，则称该系统通信质量好。如通常电话要求信噪比为 20dB~40dB，电视则要求 40dB 以上。

与模拟通信相对应，衡量数字通信系统的主要性能指标为传输速率和传输差错率。

### 1.2.1 码元与比特

码元：携带信息的数字单元称做码元。它是指在数字信道中传送数字信号的一个波形符号，它可能是二进制的，也可能是多进制的。

比特 (bit)：是信息的度量单位。在讨论信息的传递时，规定一位二进制数所携带的信息量即为 1bit。例如，10010110，八位二进制数字，所携带的信息量为 8bit。一个  $M=2^N$  进制的码元，由于它可以用  $N$  个二进制码元表示，所以它所携带的信息量为  $N=\log_2 M$  bit。例如，1 个八进制的码元所携带的信息量为 3bit。

### 1.2.2 传输速率和传输差错率

#### 1. 传输速率

传输速率是指在单位时间内通过信道的平均信息量，一般有两种表示方法。

(1) 比特速率，又称传信率，指系统每秒钟传送的比特数。单位是比特/秒 (bit/s 或 b/s)，用  $f_b$  表示。

(2) 码元速率，又称传码率，指系统每秒钟传送的码元数。单位是波特 (Baud)，用  $f_B$  表示。

如果一个通信系统传送的是  $M$  进制码元，则该系统的码元速率和比特速率的关系式为：

$$f_b = f_B \cdot \log_2 M$$

显然对二进制码元， $f_b = f_B$ 。

#### 2. 传输差错率

衡量数字通信系统可靠性的主要指标是误码率和误比特率，统称传输差错率。

(1) 误码率，指在传输的码元总数中错误接收的码元数所占的比例，用  $P_e$  表示。

$$P_e = \frac{\text{发生误码个数 } n}{\text{传输总码数 } N}$$

(2) 误比特率，又称误信率，指在传输的信息量总数中错误接收的比特数所占的比例，用  $P_{eb}$  表示。

## 1.3 通信技术的现状及发展趋势

电通信始于莫尔斯发明电报的 1837 年,他利用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字,通过电导线进行数字信息的传输。1876 年贝尔发明了电话,直接将声音信号转变为电信号沿导线传送。19 世纪末,人们又致力于研究利用能够以电磁波形式在空间传输的无线电信号来传送信息,即所谓的无线电通信。1895 年意大利的 G·马可尼(G. Marconi)首次利用电磁波实现了无线电通信,从而开辟了无线电技术的新领域。随着各类电子器件的出现,无线电通信技术迅猛地发展,继而出现了无线电广播、传真和电视。到 20 世纪 30 年代中期以前,无线电通信方面已完成了利用电磁波来传递电码、声音和图像的任务。也就是在这个时期,里夫斯(A.H.Reeves)提出了脉冲数字编码调制(PCM)数字通信方式,20 世纪 40 年代末美国制造出了第一台实验用 PCM 多路通信设备,首次实现了数字通信,至此通信技术有了新的飞跃。

随着社会的发展和科学技术的进步,各种技术之间相互渗透,相互利用,相继出现了综合业务数字网(ISDN)、多媒体通信技术(MMT)、综合移动卫星通信(M-SAT)、个人通信网以及智能通信网(IN 或 AIN)等。特别是多媒体通信以通信技术、广播电视技术、计算机技术为基础,突破了计算机、电话、电视等传统产业的界线,将计算机的相互性、通信网的分布性和电视广播的真实性融为一体,向人们提供了综合的消息服务,成为一种新型的、智能化的通信方式。

21 世纪是信息化社会,信息技术和信息产业是新的生产力增长点之一,因此在信息技术中,全球信息高速公路将会成为将来高度信息化社会的一项基本设施。“国际信息基础工程”(通称“信息高速公路”)计划,目前正在世界不少国家和地区部署和实施。它是以光缆为“路”,集电脑、电视、录像、电话为一体的多媒体为载体,向大学、研究机构、企业及普通家庭实时提供所需数据、图像、声音传输等多种服务的全国性高速信息网络。它是多门学科的综合,从技术角度讲,涉及了计算机科学技术、光纤通信技术、数字通信技术、个人通信技术、信号处理技术、光电子技术、半导体技术、大容量存储技术、网络技术、信息安全技术等信息技术。这是一项规模巨大、意义重大的工程。因此各发达国家都在投入大量的人力、物力积极研究、实验、实施这项计划,但还有许多关键技术及社会问题尚待解决,可以说这一切仅仅是一个开始,还须人们不断地探索和研究。

### 本章小结

本章主要介绍了通信的基本知识和通信系统的整体概念。一个通信系统应包括信源,发送设备,信道,接收设备和信宿五部分。具体到数字通信系统还要有信源编译码,加密解密,信道编译码等。

通信系统按传输媒介不同可分为有线通信和无线通信,视传输信号形式不同又可分为模拟通信和数字通信。模拟通信在信道中传输的是模拟信号,数字通信在信道中传输的是数字信号。目前从通信发展趋势看是有线与无线相融合,并向数字通信方向发展。

无论是模拟通信,还是数字通信,衡量一个通信系统性能优劣的主要技术指标是通信的有效性和可靠性。信息速率(比特率)和码元速率(传码率)是描述数字通信系统有效性

的主要指标；而误码率是描述数字通信系统可靠性的主要参数指标，模拟通信中系统的传输质量用信噪比来表示。

## 思考题与习题

- 1.1 模拟信号与数字信号的主要区别是什么？
- 1.2 试画出通信系统方框图，并说明各部分作用。
- 1.3 通信系统是如何分类的？
- 1.4 数字通信和数据通信有什么区别？请画出话音信号、数字数据信号的基带传输和频带传输时的通信系统方框图。
- 1.5 数字通信和模拟通信相比有何特点？
- 1.6 什么叫比特速率？什么叫码元速率？两者有什么不同？
- 1.7 某一数字信号的码元传输速率为 1 200Baud，试问它采用四进制或二进制传输时，其信息传输速率各为多少？
- 1.8 设在 125 $\mu$ s 内传输 256 个二进制码元，计算信息传输速率为多少？若该信息在 5s 内有 6 个码元产生误码，试问其误码率为多少？
- 1.9 假设信道频带宽度为 1 024kHz，可传输 2 048kbit/s 的比特率，其传输效率为多少？信道频带宽度为 2 048kHz，其传输效率又为多少？

## 第2章 数字终端技术

如前所述, 数字通信系统用于传输和处理数字信号, 而常见的语言、图像等信号大都为模拟信号, 因此, 这一类信号必须被转换成数字信号后才可以借助数字通信系统进行传输。将模拟信号数字化的方法有很多种, 如根据模拟信号波形编码的脉冲编码调制 (PCM)、根据信号特征参数编码的参量编码以及它们的变型成混合。

一个数字通信系统的信息传输速率往往高于单个信源的信息速率。以电话通信为例, 交换机将每一路电话信号经 PCM 编码后产生的信息速率为 64 kbit/s, 而交换机之间的通信系统其传输速率至少可以达到 2 048 kbit/s。因此通信系统常采用多路复用技术使多个信源共享同一个数字通信系统。

本章将重点介绍通信中所用到的模拟信号数字化技术和多路复用技术。

### 2.1 模拟信号数字化方法

#### 2.1.1 脉冲编码调制基本原理

脉冲编码调制 (PCM) 是语音编码的主要形式之一。一个基带传输 PCM 单向通信系统如图 2.1 所示。

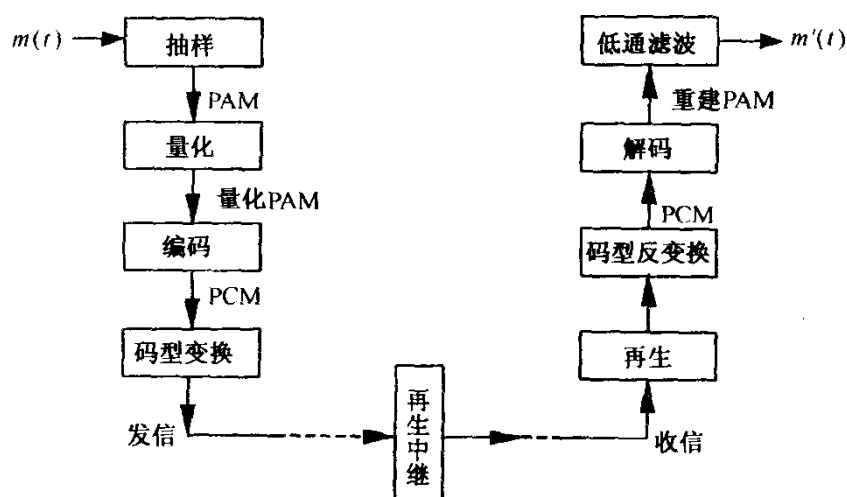


图 2.1 基带 PCM 通信系统组成

发信端的主要任务是完成 A/D 变换, 其主要步骤为抽样、量化、编码。

收信端的任务是完成 D/A 变换, 其主要步骤是解码、低通滤波。

信号在传输过程中要受到干扰和衰减, 所以每隔一段距离加一个再生中继器, 使数字信号获得再生。

为了使信码适合信道传输, 并有一定的检测能力, 在发信端加有码型变换电路, 收信端加有码型反变换电路。

下面具体分析各部分原理。

### 2.1.2 抽样

对于一个任意的信号，如果让它通过一个抽样门电路，该门电路以重复频率  $f_s$  开启与闭合，且开启时间很短，则可得到一个抽样信号 (Sample)，如图 2.2 所示。这个信号称为脉冲幅度调制 (PAM) 信号。抽样定理表明，设一个信号的最高频率为  $f_m$ ，如果用一个重复频率为  $f_s$  且有  $f_s \geq 2f_m$  的抽样脉冲对该信号进行抽样，则得到的抽样信号中完全包含有原信号的所有信息，换句话说，原信号可以从抽样信号中被完全恢复。

例如，电话信号的频率范围为  $300\text{Hz} \sim 3400\text{Hz}$ ，按抽样定理要求，只要用不低于  $6800\text{Hz}$  的重复频率对它进行抽样，得到的 PAM 信号就可以代表原电话信号。只要用一个截止频率为  $3400\text{Hz}$  的低通滤波器对这个 PAM 信号进行滤波，就能完全地恢复原来的电话信号。

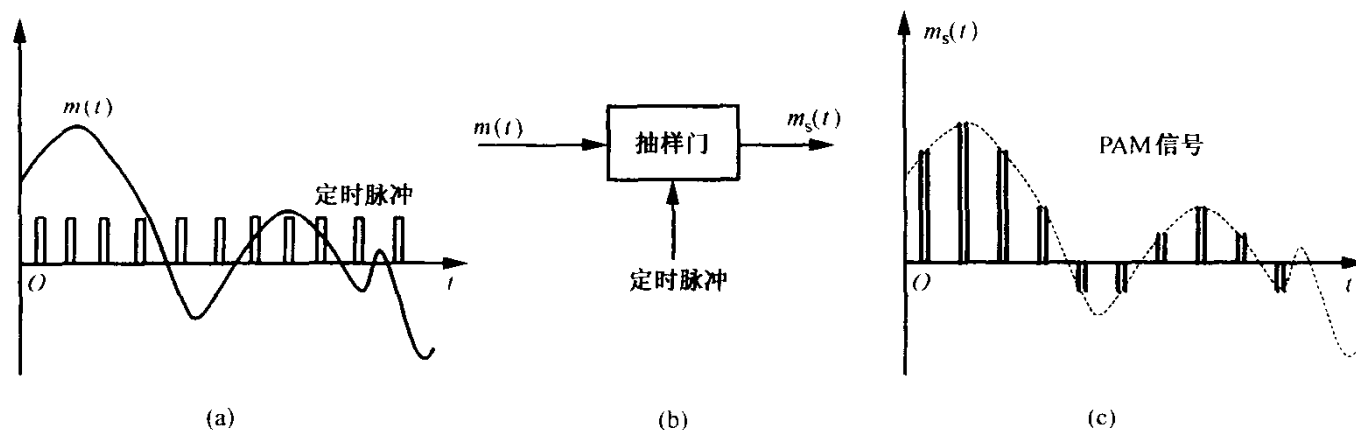


图 2.2 抽样过程

### 2.1.3 量化

量化的任务是将 PAM 信号在幅度上离散化，即将模拟信号转换为数字信号。其做法是将 PAM 信号的幅度变化范围划分为若干个量化级，每一个量化级的电平称为量化值。当 PAM 信号的一个抽样值处在某一量化级附近时，就用这个量化值来代替实际的抽样值。相邻两个量化级的差叫做量化级差，用  $\delta$  表示。

用有限个量化值表示无限个取样值，总是含有误差的。由于量化而导致的量化值和抽样值的差称为量化误差，用  $e(t)$  表示。即  $e(t) = \text{量化值} - \text{样值}$ 。

每个量化值要用数字码 (或码组) 表示，这个过程称为编码 (Coding)。量化过程与编码过程通常是同时进行，硬件也合为一体。

#### 1. 均匀量化

均匀量化的量化级差  $\delta$  在整个信号的电平范围内是均匀分布的。或者说，均匀量化的实质是不管信号的大小，量化级差都相同。图 2.3 是均匀量化的示意图。图中，在信号的电压范围 ( $-4\text{V} \sim +4\text{V}$ ) 内共设置了 8 个量化级，相邻两个量化级的差值均为  $1\text{V}$ 。第二个抽样脉冲的电压值约为  $2.4\text{V}$ ，靠近量化值是  $2\text{V}$  的量化级，因此量化后变为  $2\text{V}$ 。同样，第三个抽样脉冲量化后为  $4\text{V}$ ，……。从图中可以看到，量化值与抽样值的最大差值 (即量化误差) 为  $\pm 0.5\text{V}$ 。

量化误差在通信中表现为一种噪声，称为量化噪声。衡量一个信号的质量好坏，并不在于它所包含的噪声有多大，而在于信号功率与噪声功率之比 (简称为信噪比) 有多大。均匀量化的特点是：无论信号大小，量化噪声都是相同的，因此大信号时信噪比大，小信号时信噪比小；量化级数越多，量化级差越小，量化信噪比越大。实践证明，如果对一个话音信