

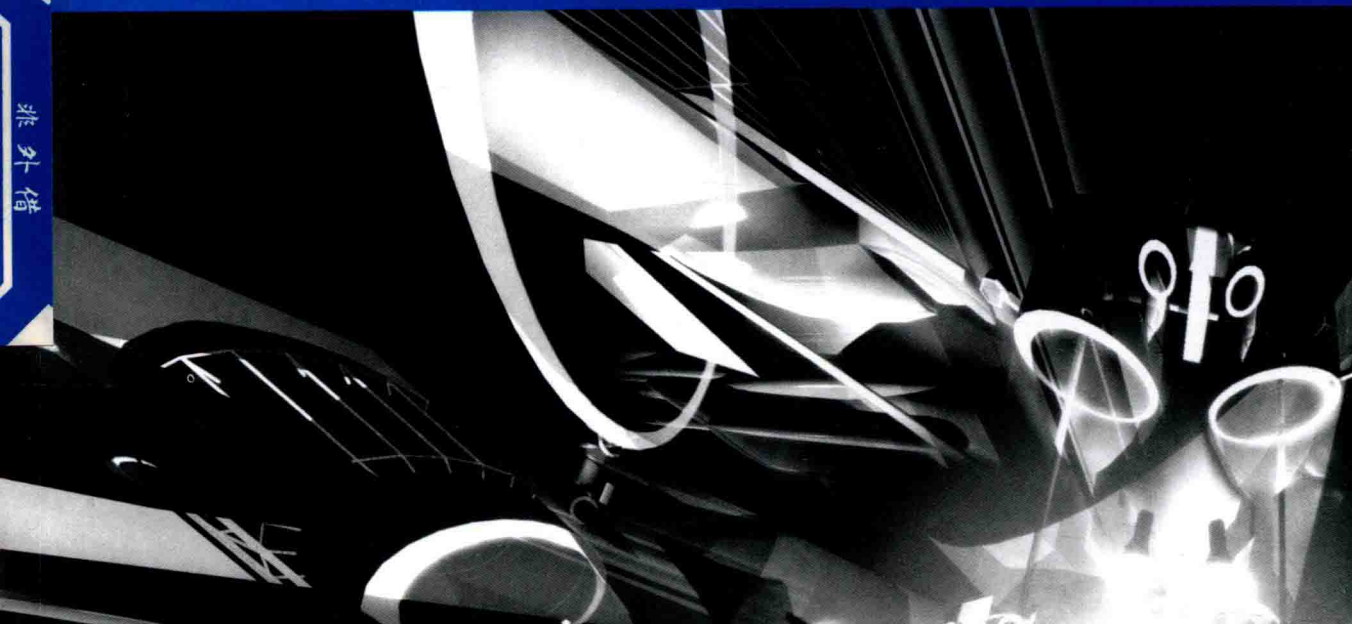
高等学校电子信息类专业  
“十三五”规划教材

**ELECTRONIC**  
INFORMATION SPECIALTY

# 现代通信系统

主 编 韩 冷 鲜继清  
副主编 鲜 娟 王 宁 孙 霞 曹李华 刘文晶

 西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

# 现代通信系统

主 编 韩 冷 鲜继清  
副主编 鲜 娟 王 宁 孙 霞  
曹李华 刘文晶



西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

现代通信系统是现代通信技术的集成,是信息技术的重要组成部分。本书主要讲述现代通信的基本特征、特点及现代通信系统的基本概念和几类应用较广的系统。着重介绍各种现代数字通信技术,较好地反映当代通信技术最新进展,是本书的最大特点。本书的主要内容有:现代通信基本概念、信源数字编码技术、现代数字交换技术、数字通信系统概述、数字光纤通信系统、数字微波与卫星通信系统、数字移动通信系统和通信系统与通信网发展等。

本书采用分散式结构编写,既做到前后呼应,自成统一体,又可分拆,自成章节,读者可根据需要选学。本书可作为高等学校非通信类专业的学生学习信息技术的教材和参考书,也可作为信息产业有关技术及管理人员的培训和参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代通信系统/韩冷,鲜继清主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.8  
(高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材)  
ISBN 978-7-5606-4564-3

I. ① 现… II. ① 韩… ② 鲜… III. ① 通信系统 IV. ① TN914

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 150649 号

策 划 戚文艳

责任编辑 武翠琴

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西大江印务有限公司

版 次 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张16.5

字 数 389千字

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

ISBN 978-7-5606-4564-3/TN

**XDUP 4856001-1**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

## 前言

随着科学技术的发展,人类已经进入信息时代,有人称之为“比特”时代。美国著名未来科学家尼葛洛庞帝在《数字化生存》一书中强调指出:“要实现信息化,数字技术是关键。”

自1962年美国首先把24路PCM数字通信系统投入使用及法国E10数字程控交换机问世以来,世界的通信面貌得到了极大改观,通信技术的发展日新月异,迅猛异常。1974年,邮电部第九研究所研制出的国内第一套PCM数字通信系统投入试运行,标志着我国已进入数字通信设备研制阶段。

改革开放以来,我国通信事业的发展采取了引进、消化与创新相结合的方针,加快了发展步伐。在20世纪90年代,我国对通信新技术的采用尤其积极,出现了我国通信史上的空前繁荣及超常规发展。现在,我国的通信网装备水平已进入了世界先进行列。进入21世纪,我国的通信事业更以崭新的面貌出现在世界面前。什么是现代通信?现代通信主要有哪些内容?它有什么特点?今后进展如何?都是人们想要知道的问题,编者编写此书就是力求能回答以上问题。

本书以点—线—网这一自然发展规律及逻辑思维,围绕数字系统信号传输本质——数字帧结构(数据分组、数据包)为主线进行编写;从信息源点的数字加工处理、节点交换到数字信息的传播,最后以通信网方式,使之成为现代通信的统一体。本书重点阐述现代通信系统的基本原理和基本技术,尽量避免繁琐的公式推导,并根据现代通信系统的发展趋势,精选相关内容,重点反映当前通信领域的新技术和新发展。本书的组成形式为分散式结构,读者可根据需要将内容分拆,自成章节。

本书第1、2、4、6章由韩冷、鲜继清编写,第3、7章由孙霞、鲜娟编写,第5章由曹李华、刘文晶编写,第8章由王宁编写。在编写过程中,作者力求既联系实际又有先进性,既寻求规律又有所创新,使读者对现代通信及信息技术有一个比较全面的认识,从中受到启迪。

本书是为自动化技术、电子技术、计算机科学与技术、信息管理等非通信专业的学生编写的教材及参考书,也可作为信息产业(电信、计算机、邮政、电子、电器等)有关管理部门及技术人员进行培训、提高、继续教育的教材及参考书,以及通信业余爱好者的参考书。

由于编者水平有限,时间仓促,书中可能还存在不妥之处,敬请读者批评指正,特表谢意!

编者  
2017年4月

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第1章 现代通信基本概念</b> .....        | 1   |
| 1.1 人类科技进步的产物——现代通信 .....        | 1   |
| 1.1.1 模拟通信与数字通信 .....            | 1   |
| 1.1.2 现代通信技术的基础<br>——微电子技术 ..... | 1   |
| 1.1.3 现代通信技术的核心<br>——计算机技术 ..... | 1   |
| 1.1.4 光通信的基础——光子技术 .....         | 2   |
| 1.1.5 卫星通信技术的基础<br>——空间技术 .....  | 2   |
| 1.2 现代通信的基本特征——数字化 .....         | 2   |
| 1.2.1 现代通信系统与数字化 .....           | 2   |
| 1.2.2 数字信号及数字通信的特点 .....         | 3   |
| 1.3 现代通信的特点及主要内容 .....           | 4   |
| 1.3.1 综合化 .....                  | 4   |
| 1.3.2 宽带化 .....                  | 4   |
| 1.3.3 智能化 .....                  | 5   |
| 1.3.4 个人化 .....                  | 5   |
| 1.3.5 网络全球化 .....                | 5   |
| 习题 .....                         | 6   |
| <b>第2章 信源数字编码技术</b> .....        | 7   |
| 2.1 概述 .....                     | 7   |
| 2.2 模拟信号时域离散化与抽样定理 .....         | 7   |
| 2.3 语音数字编码技术 .....               | 8   |
| 2.3.1 波形编码技术 .....               | 8   |
| 2.3.2 参数编码技术 .....               | 29  |
| 2.3.3 混合编码技术 .....               | 33  |
| 2.4 数字音频编码标准 .....               | 45  |
| 2.4.1 话音音频编码标准 .....             | 45  |
| 2.4.2 高保真立体声音频编码标准 .....         | 48  |
| 2.5 图像编码技术 .....                 | 52  |
| 2.5.1 概述 .....                   | 52  |
| 2.5.2 图像压缩编码基本方法 .....           | 53  |
| 2.6 图像压缩编码标准 .....               | 58  |
| 2.6.1 静止图像压缩标准 .....             | 58  |
| 2.6.2 视频压缩标准 .....               | 60  |
| 习题 .....                         | 69  |
| <b>第3章 现代数字交换技术</b> .....        | 71  |
| 3.1 概述 .....                     | 71  |
| 3.2 交换方式的分类 .....                | 72  |
| 3.2.1 布控交换与程控交换 .....            | 72  |
| 3.2.2 模拟交换与数字交换 .....            | 73  |
| 3.2.3 空分交换与时分交换 .....            | 73  |
| 3.2.4 电交换与光交换 .....              | 74  |
| 3.3 信息交换的常用术语 .....              | 74  |
| 3.3.1 交换网络与接线器 .....             | 74  |
| 3.3.2 集中控制与分散控制 .....            | 75  |
| 3.3.3 电路交换与分组交换 .....            | 75  |
| 3.3.4 静态路由与动态路由 .....            | 76  |
| 3.4 数字程控交换技术 .....               | 77  |
| 3.4.1 T接线器的基本原理 .....            | 78  |
| 3.4.2 S接线器的基本原理 .....            | 79  |
| 3.4.3 TST交换网络 .....              | 80  |
| 3.4.4 数字程控交换呼叫处理与<br>控制 .....    | 82  |
| 3.5 分组交换 .....                   | 83  |
| 3.5.1 概述 .....                   | 83  |
| 3.5.2 分组交换的基本原理 .....            | 84  |
| 3.5.3 帧中继 .....                  | 89  |
| 3.5.4 ATM交换技术 .....              | 91  |
| 3.5.5 IP交换 .....                 | 93  |
| 习题 .....                         | 97  |
| <b>第4章 数字通信系统概述</b> .....        | 99  |
| 4.1 数字通信系统模型 .....               | 99  |
| 4.1.1 数字通信系统模型结构 .....           | 99  |
| 4.1.2 数字通信系统的主要性能指标<br>.....     | 100 |
| 4.2 数字复接技术 .....                 | 102 |
| 4.2.1 数字多路通信原理 .....             | 102 |

|                                                   |     |                                     |     |
|---------------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 4.2.2 数字信号复接技术 .....                              | 104 | 6.1.1 微波通信的基本概念 .....               | 155 |
| 4.3 数字传输信号帧结构 .....                               | 105 | 6.1.2 微波传输线路 .....                  | 157 |
| 4.3.1 PCM30/32 路基群帧结构 .....                       | 105 | 6.2 卫星通信系统 .....                    | 159 |
| 4.3.2 准同步数字复接(PDH)系列结构<br>(以 PCM30/32 路为基础) ..... | 107 | 6.2.1 卫星通信系统的组成及特点 .....            | 160 |
| 4.3.3 同步数字复接(SDH)系列帧<br>结构 .....                  | 110 | 6.2.2 卫星通信传输线路的性能<br>参数 .....       | 161 |
| 4.3.4 交换以太网帧结构 .....                              | 111 | 6.3 通信卫星 .....                      | 164 |
| 4.4 数字传输信号的处理 .....                               | 114 | 6.3.1 同步通信卫星 .....                  | 164 |
| 4.4.1 信道编码变换 .....                                | 114 | 6.3.2 通信卫星的组成 .....                 | 165 |
| 4.4.2 扰码与解扰码 .....                                | 117 | 6.3.3 观察参量 .....                    | 168 |
| 4.4.3 差错控制(纠错编码) .....                            | 118 | 6.4 卫星通信系统的多址方式 .....               | 168 |
| 4.5 数字信号的调制与解调 .....                              | 121 | 6.4.1 频分多址(FDMA)方式 .....            | 168 |
| 4.5.1 数字信号的无线传输 .....                             | 121 | 6.4.2 时分多址(TDMA)方式 .....            | 170 |
| 4.5.2 数字信号的调制与解调 .....                            | 122 | 6.4.3 空分多址(SDMA)方式 .....            | 171 |
| 4.5.3 OFDM 调制技术 .....                             | 126 | 6.4.4 码分多址(CDMA)方式 .....            | 171 |
| 习题 .....                                          | 129 | 6.5 卫星地球站 .....                     | 171 |
| <b>第 5 章 数字光纤通信系统</b> .....                       | 130 | 6.5.1 地球站的组成 .....                  | 171 |
| 5.1 数字光纤通信系统概述 .....                              | 130 | 6.5.2 地球站分系统 .....                  | 173 |
| 5.1.1 数字光纤通信的基本概念 .....                           | 130 | 6.6 数字卫星通信系统范例 .....                | 175 |
| 5.1.2 数字光纤通信系统的组成 .....                           | 131 | 6.6.1 卫星电视广播系统 .....                | 175 |
| 5.1.3 光纤和光缆 .....                                 | 132 | 6.6.2 VSAT 卫星通信系统 .....             | 176 |
| 5.2 PDH 数字光纤传输系统 .....                            | 137 | 6.6.3 海事卫星通信系统 .....                | 179 |
| 5.3 SDH 光同步数字传输系统 .....                           | 139 | 6.6.4 IDR 卫星通信系统 .....              | 180 |
| 5.3.1 SDH 光同步数字传输系统的<br>基本概念和特点 .....             | 139 | 6.6.5 GPS 定位及差分原理 .....             | 181 |
| 5.3.2 SDH 的速率与帧结构 .....                           | 140 | 6.6.6 量子卫星通信系统 .....                | 185 |
| 5.3.3 SDH 的基本网络单元 .....                           | 140 | 6.6.7 非同步卫星通信系统 .....               | 189 |
| 5.3.4 SDH 光传输系统中的光缆和<br>中继长度计算 .....              | 142 | 习题 .....                            | 190 |
| 5.4 光波分复用系统 .....                                 | 143 | <b>第 7 章 数字移动通信系统</b> .....         | 192 |
| 5.4.1 光波分复用系统的基本概念 .....                          | 143 | 7.1 移动通信概述 .....                    | 192 |
| 5.4.2 光波分复用系统的结构 .....                            | 145 | 7.1.1 移动通信的概念及特点 .....              | 192 |
| 5.4.3 WDM 系统的功能描述 .....                           | 146 | 7.1.2 蜂窝移动通信的概念 .....               | 195 |
| 5.4.4 光波分复用系统的主要设备 .....                          | 147 | 7.1.3 移动通信的分类 .....                 | 201 |
| 5.4.5 光波分复用线路光纤 .....                             | 150 | 7.2 第二代移动通信系统 .....                 | 203 |
| 5.4.6 光波分复用的主要技术 .....                            | 151 | 7.2.1 GSM 系统 .....                  | 203 |
| 5.5 IP over WDM(全光因特网) .....                      | 153 | 7.2.2 GSM 制式特点 .....                | 205 |
| 习题 .....                                          | 154 | 7.2.3 GSM 陆地蜂窝移动通信网 .....           | 206 |
| <b>第 6 章 数字微波与卫星通信系统</b> .....                    | 155 | 7.3 GSM 系统的主要技术与设备 .....            | 216 |
| 6.1 数字微波通信系统概述 .....                              | 155 | 7.3.1 GSM 网的主要设备 .....              | 216 |
|                                                   |     | 7.3.2 GSM 的语音编码技术 .....             | 218 |
|                                                   |     | 7.3.3 GSM 系统的信道编码技术 .....           | 219 |
|                                                   |     | 7.3.4 GSM 系统的数字调制技术<br>(GSMK) ..... | 219 |

|                               |            |                        |            |
|-------------------------------|------------|------------------------|------------|
| 7.3.5 鉴权、加密与设备识别 .....        | 220        | 8.1 通信系统与通信网 .....     | 240        |
| 7.3.6 跳频技术 .....              | 222        | 8.1.1 通信网的概念 .....     | 240        |
| 7.4 CDMA 移动通信系统 .....         | 222        | 8.1.2 通信网的物理拓扑结构 ..... | 240        |
| 7.4.1 CDMA 移动通信系统的概念 ...      | 222        | 8.1.3 通信系统与通信网 .....   | 242        |
| 7.4.2 码分多址扩频通信(DS)系统 ...      | 223        | 8.2 现代通信网的分类 .....     | 243        |
| 7.4.3 N-CDMA(IS-95)系统 .....   | 227        | 8.2.1 概述 .....         | 243        |
| 7.5 3G 移动通信系统 .....           | 231        | 8.2.2 电话网 .....        | 245        |
| 7.5.1 WCDMA .....             | 232        | 8.2.3 接入网 .....        | 246        |
| 7.5.2 TD-SCDMA .....          | 233        | 8.2.4 智能网 .....        | 247        |
| 7.5.3 CDMA2000 .....          | 235        | 8.2.5 通信网的支撑系统 .....   | 249        |
| 7.6 第四代移动通信系统 .....           | 236        | 8.3 通信网的发展 .....       | 252        |
| 7.6.1 LTE-TDD .....           | 236        | 8.3.1 互联网 .....        | 252        |
| 7.6.2 FDD-LTE .....           | 238        | 8.3.2 物联网 .....        | 253        |
| 习题 .....                      | 238        | 习题 .....               | 255        |
| <b>第 8 章 通信系统与通信网发展 .....</b> | <b>240</b> | <b>参考文献 .....</b>      | <b>256</b> |

## 第1章 现代通信基本概念

### 1.1 人类科技进步的产物——现代通信

#### 1.1.1 模拟通信与数字通信

在远古时代,人类就用烽火台、击鼓、驿站等方式进行简单的信息传递,这是远古时代的通信。

自1876年贝尔发明电话以来,人们之间的信息传递变为电信号的实时传递——电话,人们称之为电信。1973年,有关国际电信公约及规定将“电信”这一基本术语定义为:利用有线电、无线电、光学或其他电磁系统对符号、信号、文字、影像、声音或任何信息的传输、发射或接收。

以上谈到的电信,就是本书讲的“通信”。简而言之,通信就是信息的传递与交流。电话就是使电信号随着人的声带振动而变化并进行传递和交流的通信设备。以前的步进制、纵横制、机电式、半电子式等电话交换传递的信号,以及早期的电视技术、用载波和微波来传输的电话、电视(现在广泛应用的CATV)信号等都属于模拟通信的范畴。模拟通信传递的电信号在时间上的瞬时幅值是连续的。这些模拟通信技术成熟,设备简单,成本低。但该技术存在着干扰严重、信号处理难、不易集成和设备庞大等许多缺点。

在20世纪60年代,为解决交换局内的中继线干扰等问题,出现了PCM(话音编码)技术,接着数字程控交换机投入使用,从此开始用数字信号(瞬时幅值离散的信号)来交换和传递信息,信息传递发生了根本变革——数字通信。

#### 1.1.2 现代通信技术的基础——微电子技术

电子学,特别是微电子学,是信息技术的关键,是现代通信产业的重要基础,它在很大程度上决定着硬件设备的运行能力。衡量微电子技术发展程度的一个重要指标,是在指甲大小的硅芯片上能集成的元件数目。由于其设计和生产工艺水平的不断改进,如采用了电子射线蚀刻技术等先进工艺,大大提高了集成电路的集成度,使芯片集成度按摩尔定律发展,即以每9~18个月翻一番的速度上升,发展到纳米级(0.1~100 nm),可在一片芯片上集成几十亿至上百亿个元件,并正在向极限挑战。将来会把整个通信设备集成在一块芯片上,这为通信设备和计算机微型化奠定了基础。

#### 1.1.3 现代通信技术的核心——计算机技术

电话交换技术与计算机技术紧密结合,使交换技术数字程控化。通信与计算机融为一

体,这使通信技术得到了飞跃发展,我们把数字通信与计算机的融合称为现代通信。随着计算机计算速度的加快和微电子计算机的发展,其软件处理能力几乎每10年翻一番。随着智能计算机、光子计算机、生物计算机、神经元计算机及超导计算机在通信装备中的应用,加之智能媒介计算机识别、神经网络等信息技术的采用及IP技术的应用与发展,包交换已是大势所趋,光交换已出现曙光。这对传统的数字程控电话交换技术提出了严峻的挑战,同时也将使通信领域变得更加活跃,通信技术得到更大的发展。

#### 1.1.4 光通信的基础——光子技术

1964年,英籍华人高锟博士首先提出利用玻璃纤维实现远距离通信。20世纪70年代,美国首先制成了实用的玻璃光导纤维——光纤,使光纤通信成为现实。随着光子技术的发展,出现了电子-光子芯片。在这种芯片上,电子与光子产生了复杂的相互作用,提供了速率为几十到上百千兆比特的光波通信能力,使光波通信系统从PDH向SDH光传输系统发展。光器件及光通信设备的需求过去主要来自传统的电信运营商,但近年来随着云计算及数据中心的蓬勃发展,数据中心对于光器件的需求开始加速,统计表明2016年其需求超过电信市场的一半,为光器件市场带来新的增量。

#### 1.1.5 卫星通信技术的基础——空间技术

航天技术的发展,促进了现代空间通信的发展。从1957年苏联发射第一颗人造地球卫星以来,火箭、航天飞机等空间技术发展非常迅速。把通信卫星送到各种轨道的技术已经成熟,三颗同步卫星的通信范围即可覆盖全球。现在人们已经利用各种卫星获取了大量信息,并将这些信息广泛应用于航天、航海、气象、定位、救灾等方面。卫星通信、卫星电视已经遍及全世界。通信卫星正向大容量、长寿命方向发展。低轨道卫星通信系统的利用,将使地面、空间的通信系统连成一体。这意味着真正的全球个人通信,即人们在地球上任何地方(包括陆地、森林、沙漠、湖泊、高山、海洋、空间)都可随时与任何人或机器进行信息交流。

### 1.2 现代通信的基本特征——数字化

#### 1.2.1 现代通信系统与数字化

当今我们经常谈到的信息,是指数字化的信息,可以说人类的进步是一代比一代数字化。美国著名未来科学家尼葛洛庞帝在《数字化生存》一书中提出了要实现信息化,数字技术是关键。我们经常谈到的通信,是指由各种通信系统所构成的收、发两端之间的信息传递。数字光纤通信系统、数字微波通信系统、数字卫星通信系统、数字移动通信系统,以及综合业务数字网等,无不在各种通信前面冠以“数字”二字,即表明现代通信系统首先要实现数字化,由各种数字化的通信系统构成现在的各种通信网。在各种通信前面冠以“数字”二字,也可以说,现代通信姓“数”。由此可见,现代通信的基本技术特征即为数字化。数字化指的就是数字技术。简单地讲,就是各种信息经数字化处理,编成“1”和“0”,即“有”“无”这样简单的二进制信号,如电脉冲信号,有脉冲称为“1”信号,无脉冲称为“0”信号,

波形图如图 1.1 所示。

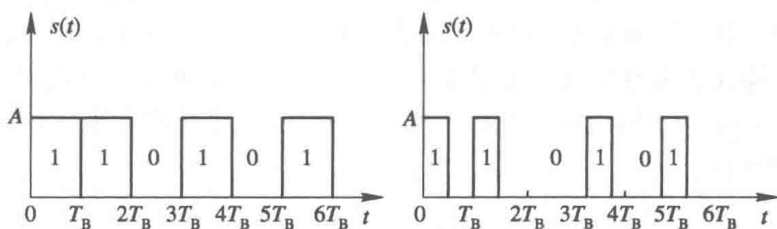


图 1.1 数字信号脉冲波形

以上这些脉冲信号,我们称之为数字信号,又称为“比特”信号。在现代计算机中,运行的就是数字信号;在现代通信系统中,流动的也是数字信号。这些数字信号变幻无穷、高深莫测。通信技术革命的关键在于数字化。数字化浪潮已经波及各类消费电子产品,如数字音响设备、数字电视、家用电器数字化、家庭通信终端数字化等。因此,有人把当今时代称为比特时代。“比特”,作为“信息 DNA(脱氧核糖核酸)”,正在迅速取代原子而成为人类社会的基本要素。“计算不再只和计算机有关,它决定我们的生存。”

### 1.2.2 数字信号及数字通信的特点

数字信号为何那么神通广大?数字技术为什么发展如此迅速呢?这主要是因为数字信号及数字通信有许多独特的优点:

(1) 数字信号便于存储、处理(加密等)。正是因为数字信号便于存储、处理,才使计算机技术迅速发展,特别是微型计算机。通信与计算机结合,发展了现代通信技术和现代信息技术,如 VCD、DVD 视盘等。

(2) 数字信号便于交换和传输。计算机与电话交换技术结合,出现了数字程控交换,由于光电器件的采用,“比特”数字信号很容易转变为光脉冲信号,便于传输。

(3) 数字信号便于组成数字多路通信(系统)。由于数字信号是用时间上的“有”和“无”信号来传递信息的,因而从时间可分性来衡量,它可以在单位时间里传输多个“有”“无”信号,即“占”“空”信号,在空的时隙中可间插其他脉冲信号,以形成多路通信(数字复接技术)。从电话的多路来看,原来每对线可传一路电话,而现在用电光脉冲来传电话,一根光纤可传上万、几十万路电话,传输带宽可达几百千兆以上。

(4) 便于组成数字网。由于通信交换和传输的都是数字信号,因此把各个数字程控交换局和数字传输连接起来就成了综合数字网 IDN,再把各用户终端、各种业务数字化处理后,都可以统一到一个网中,即组成综合业务数字网,如 Internet 等。这样的数字网,智能化程度、可靠性等都很高。

(5) 数字化技术便于通信设备小型化、微型化。电子器件采用了数字化技术后,芯片集成度更高,达到亚微米级和纳米级,每个芯片包含几十亿至上百亿个元件,这使现代通信设备产品更小型化、微型化。

(6) 数字通信抗干扰性强,噪声不积累。信号在通信中传输一段距离后,信号能量会受到损失,噪声的干扰会使波形变坏,为了提高其信噪比,要及时将变形的信号进行处理、

放大。在模拟通信中,由于传输的信号是模拟信号(幅值是连续的),因此难以把噪声干扰分开而去掉,随着距离的增加,信号的传输质量会越来越恶化,如图 1.2(a)所示。在数字通信中,传输的是数字脉冲信号,这些信号在传输过程中,也同样会有能量损失,受到噪声干扰,但当信噪比还未恶化到一定程度时,可在适当距离或信号终端经过再生的方法,使之恢复为原来的脉冲信号波形,如图 1.2(b)所示。消除了干扰和噪声积累,就可实现长距离、高质量的通信。

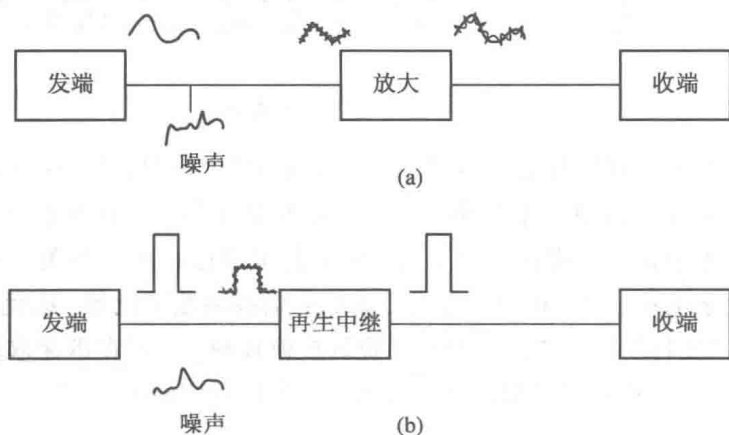


图 1.2 两类通信方式抗干扰性能比较

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

除以上的优点外,数字通信也有缺点——占频带较宽。模拟信号经数字化后,一般占用频带较宽,经 PCM 数字编码后其速率达 64 kb/s。特别是复杂的电视信号,由原来的 6 MHz 带宽,经 PCM 数字化后变为几百兆比特每秒数字信号,这是它的不足之处。

因此,在数字通信中,一般都采用数字压缩技术来降低其速率,如电视信号经压缩编码,其速率可降低为 2 Mb/s,甚至几百千比特每秒。随着数字信号处理技术的发展以及宽带传输技术的采用,数字信号占频带较宽的弱点,在现代通信中已逐渐被克服。

## 1.3 现代通信的特点及主要内容

### 1.3.1 综合化

综合化具有双重含义。其一是技术的综合化,即无论是传输、交换还是通信处理功能都采用数字技术,实现数字传输与数字交换的综合,使网络技术,如电话网、数据网、电视网一体化。其二是业务的综合,即把来自各种信息源的通信业务(如电话、电报、传真、数据、文字、图像电视等)综合在同一网内传输和处理,并可在不同的业务终端之间实现互通。各种通信业务的综合,是以技术综合为基础的。

### 1.3.2 宽带化

宽带化主要指现代数字通信宽带化。人们日益增长的物质文化需求,如高速数据、高速文件、可视电话、会议电视、宽带可视图文、高清晰度电视以及多媒介、多功能终端等促此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

进了新的宽带业务的发展,从而研究开发了宽带数字信号交换和传输。

### 1.3.3 智能化

智能化主要指在现代通信中,由于大量采用了计算机及其软件技术,使网络与终端、业务与管理都充满智能。在信号处理、传输与交换、监控管理及维护中通过引进更多的智能(软件技术),可以形成所谓的智能网(IN),即通信网智能化,从而提高网络业务的应变能力,随时提供满足各类用户对各种业务需求的服务。它的基本思想是改变传统的网络结构,在网络元件之间重新分配网络功能,把大部分功能集中分配在少数节点上,而不是分配在各个交换局内。智能网采用分布式结构,以公共信令系统的数字交换机和智能数据库为基础,不仅能传递信息,而且还能存储处理信息,对网络资源进行动态分配。这样可大大节省信息传播的时间和费用,也可减少网络经营者对交换机的依赖性。随着IP网的发展,目前已形成高智能的新一代网络。

### 1.3.4 个人化

人们在日常生活中总会到处奔波、移动,现代通信已经能使移动中的用户方便快捷地实现信息的交流——移动通信。对于移动通信,大家已经不陌生了,如2G、3G、4G以及正在发展的5G移动通信和卫星移动通信等。移动通信的发展,使通信个人化成为现实。

目前,数字移动通信发展很快,如果说第三代数字移动通信技术(3G)是“迈向个人通信的第一步”,第四代数字移动通信技术(4G)则使个人通信普及化,给人们带来了更加美好的未来。4G集3G与WLAN于一体,能够快速传输数据、高质量的音频、视频和图像等。4G系统可以自动管理、动态改变自己的结构以满足系统变化和发展的要求。用户可以使用各种各样的移动设备接入4G系统中,各种不同的接入系统结合成一个公共的平台,它们互相补充、互相协作以满足不同业务的要求,移动网络服务趋于多样化,最终会演变为社会上多行业、多部门、多系统与人们沟通的桥梁。

### 1.3.5 网络全球化

多网融合是未来通信的发展方向,基于IP化的通信使各种网络互联,利用集群网关使各系统互通。在未来,为了完成多媒体的功能,IP网络、公网、窄带集群、宽带集群、卫星通信将完全融合在一起。通信技术的发展已经脱离纯技术驱动的模式,正在走向技术与业务相结合、互动的新模式,这种转变将深刻影响通信技术的走向。

目前,5G移动通信技术已经成为移动通信领域的全球性研究热点。随着科学技术的深入发展,未来几年,该技术会进入实质性的发展阶段,在移动通信技术领域掀起新一轮的竞争热潮。加快5G技术的研发应用,力求在5G通信领域的商业竞争中脱颖而出,已成为各国信息领域发展的重要任务。5G通信技术带来的不仅仅是高速、安全的网络,更多的是带来全球化网络的无缝连接,5G的未来对军事、医疗、建筑、教育等各个方面都会带来前所未有的信息便利,整个世界将建成更加智能、完善的移动网络。5G数字移动通信技术,必将得到空前的发展,并给社会的进步带来前所未有的推动力。

## 习 题

1. 什么是现代通信？它的基本特征是什么？它的核心是什么？
2. 数字通信与模拟通信的主要区别是什么？举例说明日常生活中的信息服务，哪些属于模拟通信，哪些属于数字通信。
3. 数字通信的特点有哪些？
4. 为什么说数字通信抗干扰性强且噪声不积累？
5. 现代通信的特点有哪些？
6. 如何理解网络全球化？它会给人类生活带来什么样的影响？

## 第2章 信源数字编码技术

### 2.1 概 述

一个完整的数字通信系统可由图 2.1 所示的框图表示。在该系统中,有两个编码功能块:信源编码和信道编码。信源编码的基本目的是对信源的信号进行变换,将其变换成适合数字传输系统的形式,进而提高传输的有效性。信道编码是围绕数字调制方式和信道选择设置的,其目的是通过信道编码将数字信号变换成与调制方式和传输信道匹配的形式,从而降低传输误码率,提高传输的可靠性。

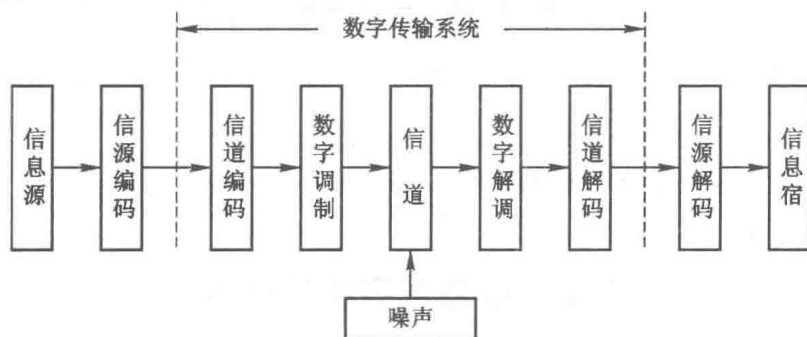


图 2.1 数字通信系统

在数字通信中,信源编码一般包含模拟信号的数字化和压缩编码两个范畴。由于多数信源产生的信号是模拟信号,因此,必须经过数字化将其变换成数字码流,方能在数字传输系统中传输。数字化变换通过扩大信号传输频带来提高通信质量。压缩编码是对数字信号进行处理,去除或减少信号的冗余度,或者说把信号能量集中起来缩窄占据的频带,从而提高通信的有效性。

信源编码根据不同信号及不同形式可采用不同的方法,在本章中主要讨论语音信号和图像信号的常用编码方法及相应标准。

### 2.2 模拟信号时域离散化与抽样定理

信号数字化的第一步是对模拟信号实施时域离散化。通常,信号时域离散化是用一个周期为  $T$  的脉冲信号控制抽样电路对模拟信号实施抽样的过程,如图 2.2 所示。模拟信号  $f(t)$  通过一个由周期为  $T$  的抽样脉冲信号  $s(t)$  控制的抽样器得到抽样后的信号  $f_s(t)$ 。

在连续的信号中取出的信号“样品”,称为“样值”,经验告诉我们,如果取出的“样值”

的个数足够多, 这个样值序列就能逼近原始的连续信号。问题是样值要取多少才够? 也就是图 2.2 中的抽样周期  $T$  取多大才能满足用样值序列  $f_s(t)$  代表模拟信号  $f(t)$  的要求? 这个问题由抽样定理解决。低通抽样定理告诉我们: 如果一个带限的模拟信号  $f(t)$  的最高频率分量为  $f_m$ , 当满足抽样频率  $f_s \left( f_s = \frac{1}{T} \right) \geq 2f_m$  时, 所获得的样值序列  $f_s(t)$  就可以完全代表原模拟信号  $f(t)$ 。也就是说, 利用  $f_s(t)$  可以无失真地恢复原始模拟信号  $f(t)$ 。

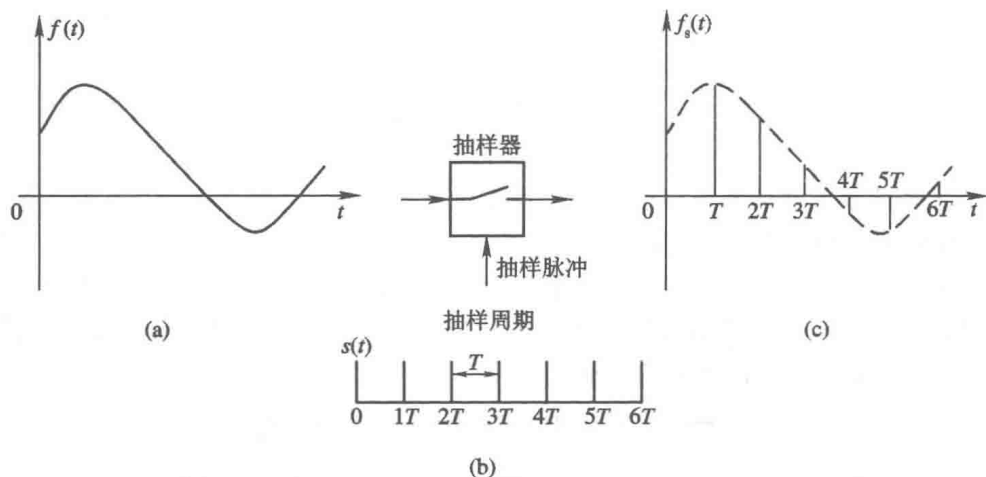


图 2.2 模拟信号时域离散化过程

(a) 被抽样的模拟信号; (b) 抽样信号; (c) 抽样后的信号

## 2.3 语音数字编码技术

在数字通信中, 语音信源编码主要可分成三类: 波形信源编码、参数信源编码和混合信源编码。波形编码是直接对语音信号离散样值进行编码处理和传输; 参数编码是先从离散语音信号中提取出反映语音的特征值, 再对特征值进行编码处理和传输; 混合编码是前两种方法的混合应用。

### 2.3.1 波形编码技术

波形编码是对离散化后的语音信号样值进行编码, 其编码可以在时域或变换域进行。时域编码主要有脉冲编码、差值脉冲编码和子带编码等方式。变换域编码是将语音信号的时域样值通过某种变换在另一域进行编码, 以期获得更好的处理效果或去除更大的信号冗余度。

#### 1. 脉冲编码

脉冲编码是在时域按照某种方法将离散的语音信号样值变换成一个一定位数的二进制码组的过程, 由量化和编码两部分构成, 如图 2.3 所示。量化是将样值幅度离散化的过程, 也就是按某种规律将一个无穷集合的值

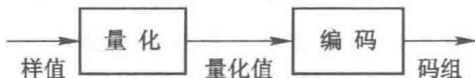


图 2.3 脉冲编码过程

压缩到一个有限集合中去。量化有两类：标量量化和矢量量化。在脉冲编码中主要采用标量量化。标量量化又有均匀量化和非均匀量化之分。与其对应，脉冲编码也可分成两类：线性编码和非线性编码。采用脉冲编码对信号数字化并传输的方式称为脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)。

### 1) 线性编码

如上所述，线性编码是先对样值进行均匀量化，再对量化值进行简单的二进制编码，即可获得相应码组。

所谓均匀量化，是以等间隔对任意信号值来量化，亦即将信号样值幅度的动态(变化)范围 $(-U \sim U)$ 等分成 $N$ 个量化级(间隔)，记作 $\Delta$ ，即

$$\Delta = \frac{2U}{N} \quad (2.3.1)$$

式中， $U$  称做信号过载点电压。

根据量化的原则，样值幅度落在某一量化级内，则由该级的中心值一个值来量化。如图 2.4(a) 所示，量化器输入  $u$  与输出  $v$  之间的关系是一个均匀阶梯波关系。由于  $u$  在一个量化级内变化时， $v$  值不变，因此量化器输入与输出间的差值称为量化误差，记作

$$e = v - u \quad (2.3.2)$$

其图形如图 2.4(b) 所示。由图可见，当样值落在量化级中心时，误差为零；当样值落在量化级两个边界上时，误差最大，为  $\pm \frac{\Delta}{2}$ 。均匀量化的量化误差

在  $0 \sim \pm \frac{\Delta}{2}$  之间变化。

获得量化值后，再用  $n$  位二进制码对其进行编码即可。码组长度  $n$  与量化级数  $N$  之间的关系为

$$N = 2^n \quad (2.3.3)$$

通过推导，线性编码在输入信号未过载时的量化信噪比为

$$\left( \frac{S}{N_q} \right)_{\text{dB}} = 10 \lg \left( 3N^2 \frac{u_e^2}{U^2} \right) = 4.77 + 6n + 20 \lg u_e - 20 \lg U \quad (\text{dB}) \quad (2.3.4)$$

式中， $N_q = \frac{U^2}{3N^2}$  为量化噪声(误差)功率， $S = u_e^2$  为信号功率， $u_e$  为输入信号电压有效值。

### 2) 非线性编码

线性编码简单，实现容易，但是线性编码采用均匀量化，它在量化时对大、小信号采用相同的量化级量化。这样对小信号而言，量化的相对误差将比大信号大，即均匀量化的信号量化信噪比小，大信号量化信噪比大，这对小信号是很不利的。从统计角度来看，语音信号中小信号是大概率事件，因此，如何改善小信号的量化信噪比是语音信号量化编码所需要研究的问题。解决的方法是采用非均匀量化，使得量化器对小信号的量化误差小，对大信号的量化误差大，进而使量化器对大、小信号的量化信噪比基本相同。

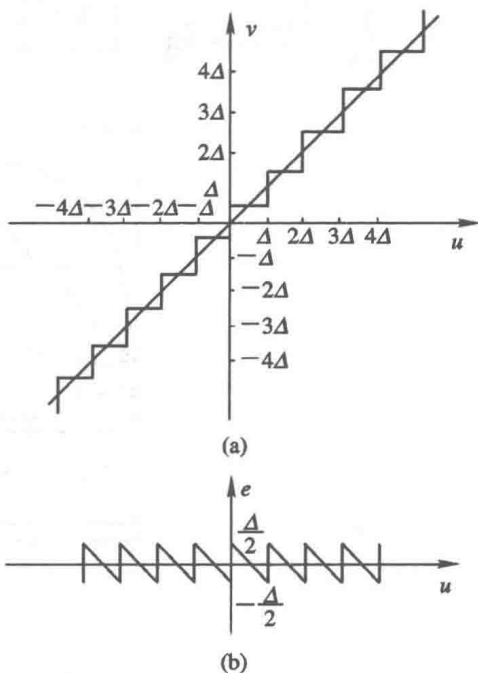


图 2.4 均匀量化曲线

(1) 非均匀量化。目前在语音信号中常用的非均匀量化方法是压扩量化。实现压扩量化编码的原理框图如图 2.5(a)所示,压扩原理可用图 2.5(b)解释。从框图中看到,信号经过一个具有压扩特性的放大系统后,再进行均匀量化。压扩系统对小信号的放大增益大,对大信号的放大增益小,这样可使小信号的量化信噪比大为提高,使信号在编码动态范围内,大、小信号的量化信噪比大体一致。与发端对应,在收端解码后,要进行对应的反变换,还原成原始的样值信号。

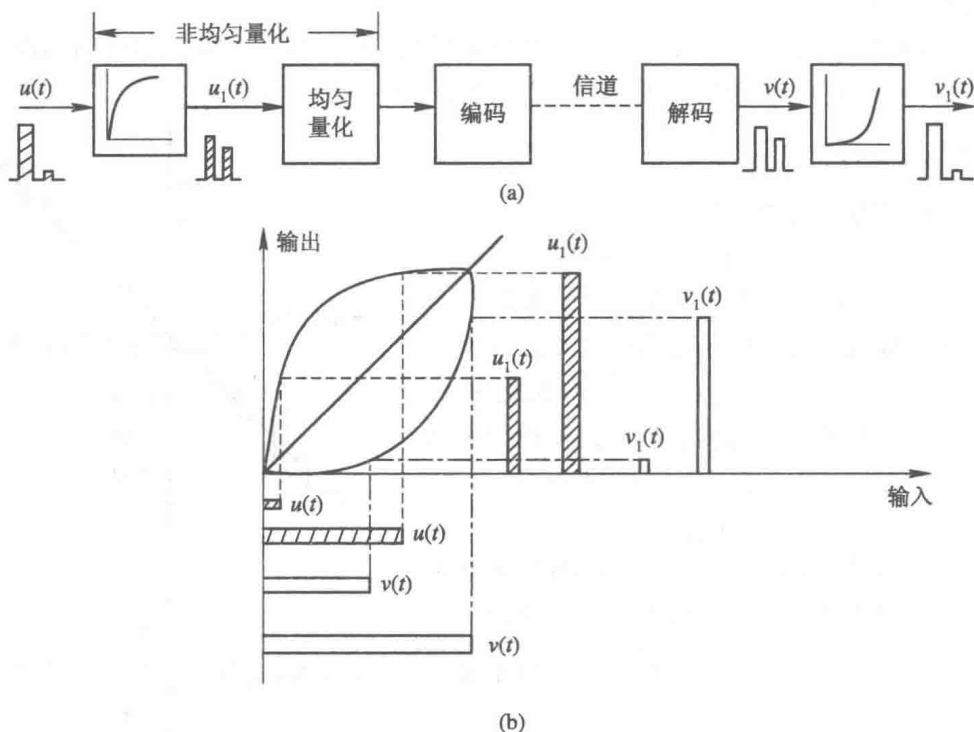


图 2.5 非均匀量化原理示意图

下面进一步讨论压扩特性。从压扩特性要求对大、小信号量化信噪比一致的条件出发,可以导出压扩特性应满足以下对数方程:

$$y = 1 + \frac{1}{k} \ln x \quad (2.3.5)$$

式中,  $x = \frac{u}{U}$  和  $y = \frac{v}{U}$  分别是量化器的归一化输入和输出,  $k$  为常数。压扩特性曲线如图 2.6(a)所示,  $x$  的定义域为  $(0, \infty)$ , 曲线不过原点。我们知道,语音信号是双极性的,即应允许  $x \leq 0$ , 而且它还是关于原点对称的,所以,理想压扩特性曲线应通过原点,并关于原点对称,即应如图 2.6(b)所示。由此可见,式(2.3.5)给出的曲线不能使用,需要修正。修正的目标主要有两点:一是曲线通过原点;二是曲线关于原点对称。修正的方法不同,导出的特性曲线方程也不同。目前 ITU-T 推荐两种方法: A 压扩律和  $\mu$  压扩律。下面分别对它们进行简介。

对图 2.6(a)中曲线作通过原点的切线,再考虑曲线的对称性,可以得到 A 压扩律方程为