

应用型本科电子信息类规划教材

陈光军 主编

# 数据通信技术与应用

SHUJU TONGXIN JISHU YU YINGYONG

(修订版)



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

应用型本科电子信息类规划教材

# 数据通信技术与应用

(修订版)

陈光军 主 编

北京邮电大学出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书内容的组织以培养学生的应用能力为主要目标,理论与实践并重,强调理论与实践相结合;在内容的编排上,力求由浅入深,循序渐进,举一反三,突出重点,通俗易懂,使学生真正达到学以致用;既注重培养学生分析问题的能力,也注重培养学生思考、解决问题的能力;适度增加新技术,拓宽知识面,突出学科发展特点。全书共分12章,第1章绪论,第2章数据通信基础,第3章信道,第4章模拟信号的数字化技术,第5章数字基带信号的基带传输,第6章数字信号的频带传输,第7章同步技术,第8章差错控制技术,第9章多路复用技术,第10章数据链路传输控制规程,第11章数据通信用互连设备,第12章数据通信网。

本书内容丰富,实用性强,可作为计算机科学与技术、网络工程、通信工程等专业数据通信技术与应用课程的教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

数据通信技术与应用/陈光军主编. —修订本. —北京:北京邮电大学出版社,2007

应用型本科电子信息类规划教材

ISBN 978-7-5635-1102-0

I. 数… II. 陈… III. 数据通信—高等学校—教材 IV. TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 191045 号

---

书 名: 数据通信技术与应用(修订版)

作 者: 陈光军

责任编辑: 黄建清

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20

字 数: 483 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2005 年 8 月第 1 版 2008 年 1 月第 2 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-1102-0

定价: 32.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

# 前言

随着因特网技术的迅速发展,数据通信技术得到越来越广泛的应用,数据通信的新设备不断涌现,人们越来越期望了解和掌握数据通信技术。数据通信技术是计算机技术和通信技术相融合的技术,在各个学校许多专业(如计算机、通信、网络、电子等)陆续开设了数据通信这门课,但大都侧重通信的原理,理论推导过多,与实际结合甚少。本书加强了通信技术和计算机技术的结合,并强调理论与实际应用相结合,加强实用性。编写一本真正计算机和通信结合的教材,是数据通信教学的急需,也是提高教学质量的基本保证。

“数据通信技术与应用”是计算机科学与技术及相关专业的一门重要的专业基础课。本书力求用通俗简明的语言,既讲清楚基本的原理、基本的方法,又注重技术的先进性和实用性。

本书内容丰富,实用性强,可适用于计算机科学与技术专业、网络工程专业、通信工程专业数据通信技术与应用教材。

## 1. 教材编写思路

教材编写以满足社会需要为目标。教学内容的推导与原理性分析,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法。例如在讲解采样定理时,略去原理性的证明,讲清楚原理的结论和它产生的科学背景,并讲清楚定理的结论对模拟信号进行数字化的指导意义。在讲解数据编码方法时,对于每一种码型,讲清楚码型的构成、数字序列波形、码型的优缺点以及适用范围,使学生明确什么样的码型在什么场合应用。在讲解 RS-232,USB 接口时应注重计算机通信的分层结构,把物理接口、编码方法、协议、开发应用层次讲清楚,应和计算机网络技术的分层结构相对应。在内容的编排上,力求由浅入深,循序渐进,举一反三,突出重点,通俗易懂,使学生真正达到学以致用,增加新技术,拓宽知识面。

## 2. 先进性

一是内容先进,本书紧紧跟随计算机数据通信的发展,避免了其他教材内容陈旧、难度过大等缺点;二是教材组织方法先进,概念、原理、技术通过例题加以说明,学生容易理解,且在每章前面有提要,后面有适量思考题,便于学生掌握知识要点。

## 3. 实践性

本书在注重基本理论掌握的同时,特别注重学生的实践能力。本书的编者多年从事数

据通信原理与应用技术的教学与科研开发工作,对数据通信原理与应用技术有着深刻的理解和丰富的经验,在内容的组织上结合了教学与科研开发等方面的经验,书中的案例来自具体的科研项目。通过学习,学生能够水到渠成地掌握数据通信原理与应用技术。

本书由陈光军任主编,陈光军编写了第2,5,7,8,9,10,11,12章,张光辉编写了第1,3,4,6章。秦书平对全书进行了仔细认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 第 1 章 绪论

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1.1 通信系统的基本概念 .....        | 1  |
| 1.1.1 通信系统的组成 .....        | 1  |
| 1.1.2 通信系统的分类 .....        | 4  |
| 1.2 数据通信及系统组成 .....        | 7  |
| 1.2.1 数据通信的产生 .....        | 7  |
| 1.2.2 数据通信的发展 .....        | 8  |
| 1.2.3 数据通信的应用 .....        | 11 |
| 1.2.4 数据通信系统的组成 .....      | 13 |
| 1.3 数据通信系统中的主要性能指标 .....   | 15 |
| 1.3.1 数据通信系统的有效性指标 .....   | 16 |
| 1.3.2 数据通信系统的可靠性指标 .....   | 17 |
| 1.3.3 数据通信系统的抗干扰能力指标 ..... | 17 |
| 习题与思考题 .....               | 18 |

## 第 2 章 数据通信基础

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 2.1 数据通信理论基础 .....       | 19 |
| 2.1.1 时域概念 .....         | 19 |
| 2.1.2 频域概念 .....         | 20 |
| 2.1.3 数据率和频带的关系 .....    | 22 |
| 2.1.4 字符的数据表示方法 .....    | 24 |
| 2.1.5 傅里叶分析 .....        | 25 |
| 2.1.6 有限带宽信号 .....       | 25 |
| 2.2 数据的传输方式 .....        | 27 |
| 2.2.1 单工、半双工、全双工传输 ..... | 27 |
| 2.2.2 并行传输与串行传输 .....    | 28 |
| 2.2.3 异步传输与同步传输 .....    | 29 |
| 2.3 信息及度量 .....          | 31 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 2.4 交换技术 .....                    | 32 |
| 2.4.1 电路交换 .....                  | 32 |
| 2.4.2 报文交换 .....                  | 33 |
| 2.4.3 分组交换 .....                  | 34 |
| 习题与思考题 .....                      | 36 |
| <b>第3章 信道</b>                     |    |
| 3.1 信道概述 .....                    | 37 |
| 3.1.1 信道的定义 .....                 | 37 |
| 3.1.2 信道的分类 .....                 | 37 |
| 3.2 信道的传输特性 .....                 | 39 |
| 3.2.1 恒参信道的信道传输特性及其对信号传输的影响 ..... | 40 |
| 3.2.2 随参信道的信道传输特性及其对信号传输的影响 ..... | 41 |
| 3.2.3 噪声 .....                    | 42 |
| 3.3 有线信道 .....                    | 43 |
| 3.3.1 双绞线 .....                   | 43 |
| 3.3.2 同轴电缆 .....                  | 45 |
| 3.3.3 光纤 .....                    | 46 |
| 3.4 无线信道 .....                    | 49 |
| 3.4.1 无线电波和频段划分 .....             | 50 |
| 3.4.2 数字微波通信 .....                | 51 |
| 3.4.3 卫星通信 .....                  | 52 |
| 3.5 数据传输的信道容量 .....               | 55 |
| 习题与思考题 .....                      | 57 |
| <b>第4章 模拟信号的数字化技术</b>             |    |
| 4.1 概述 .....                      | 58 |
| 4.2 采样 .....                      | 59 |
| 4.3 量化 .....                      | 62 |
| 4.3.1 量化概述 .....                  | 62 |
| 4.3.2 均匀量化 .....                  | 64 |
| 4.3.3 非均匀量化 .....                 | 64 |
| 4.4 脉冲编码调制 .....                  | 69 |
| 4.4.1 PCM 通信系统 .....              | 70 |
| 4.4.2 二进制 PCM 编码 .....            | 71 |
| 4.4.3 线性编码器和非线性编码器 .....          | 73 |
| 4.5 增量调制 .....                    | 82 |
| 4.6 差分脉冲编码调制系统 .....              | 88 |

|              |    |
|--------------|----|
| 习题与思考题 ..... | 90 |
|--------------|----|

## 第5章 数字信号的基带传输

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 5.1 数字基带信号 .....                    | 91  |
| 5.1.1 数字基带信号的波形 .....               | 91  |
| 5.1.2 数字基带信号编码原则 .....              | 94  |
| 5.2 常用基带信号传输码型 .....                | 95  |
| 5.2.1 码型及其编码方法 .....                | 95  |
| 5.2.2 HDB <sub>3</sub> 编码解码电路 ..... | 102 |
| 5.3 基带传输系统 .....                    | 105 |
| 5.3.1 基带传输系统的组成 .....               | 105 |
| 5.3.2 带限传输系统对信号波形的影响 .....          | 105 |
| 5.3.3 均衡原理 .....                    | 106 |
| 5.4 实用的基带系统工程测量工具——眼图 .....         | 109 |
| 习题与思考题 .....                        | 111 |

## 第6章 数字信号的频带传输

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 6.1 引言 .....         | 112 |
| 6.2 数字振幅调制 .....     | 114 |
| 6.2.1 2ASK 调制 .....  | 115 |
| 6.2.2 MASK 调制 .....  | 118 |
| 6.2.3 其他振幅调制技术 ..... | 119 |
| 6.3 数字频率调制 .....     | 121 |
| 6.3.1 2FSK 调制 .....  | 121 |
| 6.3.2 MFSK 调制 .....  | 126 |
| 6.4 数字相位调制 .....     | 128 |
| 6.4.1 2PSK 调制 .....  | 128 |
| 6.4.2 2DPSK 调制 ..... | 131 |
| 6.4.3 多相调制 .....     | 135 |
| 习题与思考题 .....         | 138 |

## 第7章 同步技术

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 7.1 引言 .....        | 140 |
| 7.2 载波同步 .....      | 142 |
| 7.2.1 插入导频法 .....   | 142 |
| 7.2.2 直接提取载波法 ..... | 144 |
| 7.3 位同步 .....       | 146 |
| 7.3.1 外同步法 .....    | 146 |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.3.2 自同步法 .....         | 147 |
| 7.4 群同步 .....            | 149 |
| 7.4.1 起止式同步法 .....       | 150 |
| 7.4.2 连贯式插入法 .....       | 151 |
| 7.4.3 间歇式插入特殊码字同步法 ..... | 155 |
| 7.5 网同步 .....            | 156 |
| 7.5.1 网同步的基本概念 .....     | 156 |
| 7.5.2 全网同步系统 .....       | 157 |
| 7.5.3 准同步系统 .....        | 158 |
| 习题与思考题 .....             | 159 |

## 第8章 差错控制技术

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 8.1 概述 .....                | 160 |
| 8.1.1 差错控制的基本概念 .....       | 161 |
| 8.1.2 差错控制的基本原理 .....       | 161 |
| 8.1.3 差错控制编码的特性和能力 .....    | 163 |
| 8.2 差错控制方法 .....            | 165 |
| 8.2.1 自动请求重发方式 .....        | 166 |
| 8.2.2 前向纠错方式 .....          | 170 |
| 8.2.3 混合纠错方式 .....          | 170 |
| 8.2.4 信息反馈方式 .....          | 171 |
| 8.3 常用检错码 .....             | 171 |
| 8.3.1 奇偶校验编码 .....          | 172 |
| 8.3.2 恒比码 .....             | 173 |
| 8.3.3 矩阵校验码 .....           | 174 |
| 8.3.4 正反码 .....             | 175 |
| 8.4 线性分组码 .....             | 177 |
| 8.4.1 线性分组码的基本概念 .....      | 177 |
| 8.4.2 线性分组码的编码 .....        | 177 |
| 8.4.3 线性分组码的监督矩阵和生成矩阵 ..... | 178 |
| 8.4.4 线性分组码的检错和纠错 .....     | 181 |
| 8.5 循环码 .....               | 183 |
| 8.5.1 循环码的基本概念 .....        | 183 |
| 8.5.2 循环码的编码和译码 .....       | 186 |
| 8.6 卷积码 .....               | 188 |
| 8.6.1 卷积码的基本概念 .....        | 189 |
| 8.6.2 卷积码的编码和译码 .....       | 190 |
| 习题与思考题 .....                | 192 |

**第 9 章 多路复用技术**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 9.1 引言 .....                 | 194 |
| 9.2 频分多路复用 .....             | 195 |
| 9.2.1 频分多路复用的基本原理 .....      | 195 |
| 9.2.2 频分多路复用的应用举例 .....      | 197 |
| 9.3 同步时分多路复用 .....           | 198 |
| 9.3.1 同步时分多路复用的原理 .....      | 199 |
| 9.3.2 PCM 基群帧结构 .....        | 201 |
| 9.3.3 PCM 高次群 .....          | 203 |
| 9.3.4 时分复用技术和频分复用技术的比较 ..... | 204 |
| 9.4 统计时分多路复用 .....           | 205 |
| 9.4.1 统计时分复用的原理 .....        | 205 |
| 9.4.2 同步时分复用与统计时分复用的比较 ..... | 207 |
| 9.5 波分复用 .....               | 208 |
| 习题与思考题 .....                 | 210 |

**第 10 章 数据链路传输控制规程**

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 10.1 引言 .....             | 211 |
| 10.2 传输控制规程的主要功能和分类 ..... | 212 |
| 10.3 面向字符的传输控制规程 .....    | 214 |
| 10.3.1 控制字符 .....         | 215 |
| 10.3.2 帧格式 .....          | 216 |
| 10.3.3 数据透明性和同步 .....     | 220 |
| 10.3.4 数据链路结构及建立 .....    | 222 |
| 10.4 面向比特的传输控制规程 .....    | 224 |
| 10.4.1 HDLC 概述 .....      | 224 |
| 10.4.2 HDLC 的帧结构 .....    | 227 |
| 10.4.3 HDLC 帧类型和功能 .....  | 230 |
| 10.4.4 HDLC 操作规程 .....    | 234 |
| 习题与思考题 .....              | 239 |

**第 11 章 数据通信常用互连设备**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 11.1 引言 .....           | 241 |
| 11.2 串行通信的接口标准 .....    | 243 |
| 11.2.1 RS-232C 接口 ..... | 243 |
| 11.2.2 RS-422A 接口 ..... | 248 |
| 11.2.3 RS-485 接口 .....  | 249 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 11.2.4 各种串行接口的性能比较 ..... | 250 |
| 11.3 USB 接口 .....        | 252 |
| 11.4 网卡 .....            | 256 |
| 11.5 调制解调器 .....         | 258 |
| 11.5.1 调制解调器的功能 .....    | 258 |
| 11.5.2 调制解调器的标准 .....    | 259 |
| 11.5.3 调制解调器的速率标准 .....  | 259 |
| 11.5.4 调制解调器的分类 .....    | 260 |
| 11.6 中继器 .....           | 261 |
| 11.7 网桥 .....            | 262 |
| 11.8 路由器 .....           | 266 |
| 11.9 网络交换机 .....         | 270 |
| 11.10 网关 .....           | 271 |
| 习题与思考题 .....             | 272 |

## 第 12 章 数据通信网

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 12.1 X.25 分组交换网 .....          | 273 |
| 12.2 数字数据网 .....               | 274 |
| 12.2.1 数字数据网概述 .....           | 274 |
| 12.2.2 数字数据网的组成 .....          | 277 |
| 12.2.3 DDN 入网方式及网间互连 .....     | 279 |
| 12.3 帧中继 .....                 | 282 |
| 12.3.1 帧中继概述 .....             | 282 |
| 12.3.2 帧中继技术的原理 .....          | 284 |
| 12.3.3 帧中继的业务应用 .....          | 287 |
| 12.4 综合业务数字网 .....             | 288 |
| 12.4.1 ISDN 概述 .....           | 288 |
| 12.4.2 宽带 ISDN .....           | 290 |
| 12.5 铜线接入网技术 .....             | 291 |
| 12.5.1 xDSL 技术 .....           | 291 |
| 12.5.2 CATV .....              | 296 |
| 12.6 光纤接入网技术 .....             | 298 |
| 12.7 无线接入网技术 .....             | 300 |
| 12.7.1 IEEE 802.11 无线局域网 ..... | 300 |
| 12.7.2 GSM/ GPRS .....         | 301 |
| 12.7.3 WAP .....               | 304 |
| 习题与思考题 .....                   | 306 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 307 |
|------------|-----|



# 绪 论

## 【教学提示】

本章主要讲解数据通信系统的组成,数据通信的应用,数据通信系统的性能指标。

## 【教学要求】

通过本章的学习,应该了解数据通信的发展、应用,掌握各种数据通信系统的组成、优缺点,掌握数据通信系统的性能指标。

## 1.1 通信系统的基本概念

当今社会已处于信息化时代,信息化离不开信息的传输。因特网的迅速发展,促进了数据通信技术的发展,数据通信技术的应用越来越广泛,数据通信的新设备不断涌现。数据通信技术是计算机技术和通信技术相融合的技术。人们越来越期望了解和掌握数据通信技术。

随着全球信息一体化的加快,一个综合性的信息交换网“计算机、通信、自动化系统”正在形成。

### 1.1.1 通信系统的组成

#### 1. 通信的定义

通信是指信息的传输和交换,或者是信息的有效传送。在各种各样的通信手段中,利用“电”来传递信息的通信方式称之为电信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点。利用电子技术等手段,借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地进行信息的有效传递和交换称为通信。

#### 2. 通信系统的一般模型

完成信息的传递和交换要通过一套设备,将一个用户的信息传递到另一个用户的全部设施称为一个通信系统。为了把信息从信源传递到信宿要经过发送设备、传输介质、接收设

备,所以通信系统的一般模型如图 1-1 所示。



图 1-1 通信系统的一般模型

通信系统一般模型各部分的作用如下。

#### (1) 信源

信源是信息的发出者,其作用是把各种信息转换为原始的电信号。不同的信源输出信号的形式是不一样的,一般将其分为模拟信源和离散信源。

模拟信源输出的信号在时间和幅度上都是连续的,如语音、图像,以及模拟传感器输出的信号等。离散信源输出的信号是离散的或可数的,如符号、文字,以及脉冲序列等。离散信源又称数字信源。

原始的信息经变换后成为电信号或本身就是电信号。模拟信号可以通过采样、量化和编码变为离散信号。换句话说,一切信息理论上都可以变换成离散的信号,这也是数字通信技术得到迅速发展的一个重要原因。

#### (2) 发送设备

发送设备的作用是将信源和传输介质连接起来,将信源输出的信号变换为适合于介质传输的信号形式。变换的方式很多,采用哪种变换则要根据信号类型、传输介质种类和质量要求等决定。有时可以将电信号直接送与媒介传送,有时则要进行频谱的搬移。在需要搬移时,调制是最常用的一种变换方式。

如果通信系统是数字的,对于模拟信号则需要进行采样、量化和编码。此时发送设备又可以分为信道编码和信源编码两部分。信源编码是把连续的模拟信号变为数字信号;信道编码则是把数字信号与传输介质匹配起来,以提高传输的有效性或可靠性。

#### (3) 传输介质

传输介质是用来传递发送设备和接收设备之间信号的。介质的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。传输介质可分为有线传输介质和无线传输介质,有线传输介质有双绞线、同轴电缆、光纤等;无线传输介质是指大气(自由空间)。根据研究对象的不同,需要对实际的物理介质建立不同的数学模型以反映传输介质对信号的影响。

#### (4) 噪声源

图 1-1 中的噪声源是信道中的噪声及分散在通信系统中其他各处的噪声的集中表示。信息在传输过程中,会受到来自外界和通信系统本身的噪声干扰,这些噪声干扰会对传输的信息产生很大的影响。而这些噪声没法完全消除掉,只能想办法减弱。

#### (5) 接收设备

接收设备的作用是能够将接收的信号变换成与发送端信源发出的消息完全一样的或基本一样的原始信号。从这一点出发,接收设备显然应该是发送设备的反变换,不仅如此,它还要克服在传输过程中干扰所带来的影响。

#### (6) 信宿

信宿是信息的接收者。接收方将经过各种变换和传输的信息还原成所需要的消息形

式。一般情况下信宿需要的消息应和发信者发出的消息类型一样。对于收信者和发信者来说,不管中间经过什么样的变换和传输,都不应该将两者的消息改变。收到和发出的消息的相同度越高越好。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。下面介绍这两种系统的组成。

### 3. 模拟通信系统

#### (1) 模拟通信系统的组成

模拟通信系统是利用连续的模拟信号来传递信息的通信系统,如图 1-2 所示。例如人类发出的语音信号是随时间连续变化的信号,为实现语音信号通过通信系统进行有效传递,必须把非电的语音信号通过非电/电的变换器变换为电信号,由于原始电信号通常具有很低的频谱分量,一般不易传输,所以为了适应具体的信道传输,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,将原始电信号变换成其频率适合信道传输的信号,这种第二次变换叫做调制。调制后的电信号称做已调信号,它仍然是一种连续信号,它有 3 个基本特征:携带有信息、适合在信道中传输、信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频。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,并在接收端进行反变换。这种解调器和电/非电变换器与发送端的调制器和发话器一一对应,把已调信号恢复成语音的连续信息。已调信号又称为频带信号。在发送端调制器以前和接收端调制器以后是一种原始电信号,通常称这种原始电信号为基带信号,其基本特征是:频谱从零附近开始,如语音信号为  $300\sim 3400\text{ Hz}$ ,图像信号为  $0\sim 6\text{ MHz}$ 。

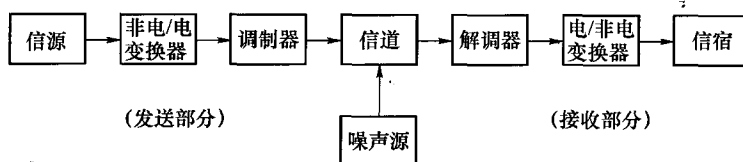


图 1-2 模拟通信系统

#### (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:抗干扰能力差,不易保密,设备是模拟电路不易大规模集成化,不适用于飞速发展的计算机通信要求。

### 4. 数字通信系统

#### (1) 数字通信系统的组成

数字通信系统如图 1-3 所示。在该系统中,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,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,一次编码器的输出信号在数字系统中称为基带信号。假设发信者发的是语音信号,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,这种转换通常称为模/数转换。有时通信需要保密,则上面的数字信号可经过加密器,按照内定的规律加上一些密码,对一次信号进行“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上一定数量的数字码,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。这种功能叫做自动差错控制。它由二次编码器(差错控制编码器)完成。为了使这一级输出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。接收端几个方框的功能是进行与发送端几个方框一一对应的反变换。具体的通信系统需要哪些变换器要视具体的应用系统而定。

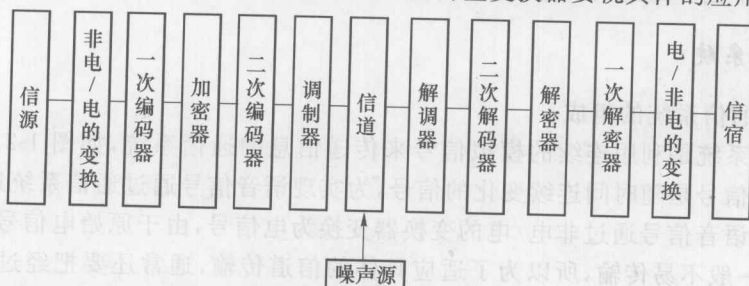


图 1-3 数字通信系统

## (2) 数字通信系统的优点

### ① 抗干扰能力强

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。

### ② 可靠性高

数字通信可以通过差错控制编码,提高通信系统的可靠性。

### ③ 远距离控制

由于数字信号传输一般采用二进制编码,使用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、计算机及导弹系统组成的自动化防空系统。

### ④ 组建现代数字通信网

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。

### ⑤ 保密性好

数字信号易于加密处理,所以数字通信保密性好。

另外,数字通信系统还具有高集成化、体积小、重量轻等优点。

## (3) 数字通信系统的缺点

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。由于卫星通信和光纤通信的工作频率带宽可达几十兆赫、几百兆赫甚至更高,所以数字通信占用频带宽的矛盾可以得到解决。

## 1.1.2 通信系统的分类

通信系统根据不同的角度有不同的分类方法。

### 1. 按照通信业务分类

按照通信业务的不同,通信系统可分为话务(电话业务)通信和非话务通信。电话业务

在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务业务发展迅速,非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子邮件、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视和图像通信等。

## 2. 按照调制方式分类

根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将未经调制的信号直接发送,如音频市内电话。频带传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多,表 1-1 列出了一些常见的调制方式。

表 1-1 常见的调制方式

|       | 调制方式   |                          | 用途             |
|-------|--------|--------------------------|----------------|
|       |        |                          |                |
| 连续波调制 | 线性调制   | 常规双边带调幅 AM               | 广播             |
|       |        | 抑制载波双边带调幅 BSB            | 立体声广播          |
|       |        | 单边带调幅 SSB                | 载波通信、无线电台、数传   |
|       |        | 残留边带调制 VSB               | 电视广播、数传、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, QPSK     | 数据传输、数字微波、空间通信 |
|       |        | 其他高效数字调制 QAM, MSK        | 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、光纤通信        |
|       | 脉冲数字调制 | 脉冲编码调制 PCM               | 市话、卫星、空间通信     |
|       |        | 增量调制 $\Delta M$          | 民用、军事电话        |
|       |        | 差分脉码调制 DPCM              | 电视电话、图像编码      |
|       |        | 其他语音编码调制 ADPCM, APC, LPC | 中低速数字电话        |

## 3. 按照信号特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号,可把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。

## 4. 按照传输介质分类

按照传输介质的不同,可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信是用导线、双绞线、同轴电缆、光纤等作为传输介质完成通信的,如市内电话、有线电视、海底光缆通信等。无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。



## 5. 按照工作波段分类

由于不同的电磁波具有不同的传输特点,为了便于充分利用和管理通信资源,可按照通信设备的工作频率不同分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信和远红外线通信。表1-2列出了通信使用的频段、常用的传输媒介及主要用途。

工作波长和频率的换算公式是

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

式中, $\lambda$ 为工作波长(单位为m), $f$ 为工作频率(单位为Hz), $c$ 为光速(单位为m/s)。

表 1-2 通信波段与常用传输媒介

| 频段        | 频率范围                 | 波长范围                                        | 波段名称 | 传播特性               | 传输媒介       | 主要用途                    |
|-----------|----------------------|---------------------------------------------|------|--------------------|------------|-------------------------|
| 甚低频(VLF)  | 3 Hz~30 kHz          | $10^8 \sim 10^4$ m                          | 甚长波  | 衰减低、特性稳定可靠         | 有线线对、长波无线电 | 电话、数据终端、长距离导航           |
| 低频(LF)    | 30~300 kHz           | $10^4 \sim 10^3$ m                          | 长波   | 衰减与频率有关,频率越高特性越不稳定 |            | 导航                      |
| 中频(MF)    | 300 kHz~3 MHz        | $10^3 \sim 10^2$ m                          | 中波   |                    | 同轴电缆、短波无线电 | 调幅广播、移动陆地通信、业余无线电       |
| 高频(HF)    | 3~30 MHz             | $10^2 \sim 10$ m                            | 短波   | 远距离传播、衰减变化极大       |            | 移动无线电话、短波广播、业余无线电       |
| 甚高频(VHF)  | 30~300 MHz           | 10~1 m                                      | 超短波  | 直线传播、能穿透电离层、视距传播   | 同轴电缆、米波无线电 | 电视、调频广播、车辆、通信、空中导航、空中管制 |
| 特高频(UHF)  | 300 MHz~3 GHz        | 100~10 cm                                   |      |                    | 波导、分米波无线电  | 电视、雷达导航、移动通信、专用短程通信     |
| 超高频(SHF)  | 3~30 GHz             | 10~1 cm                                     |      |                    | 波导、厘米波无线电  | 微波接力、雷达、卫星和空间通信、专用短程通信  |
| 极高频(EHF)  | 30~300 GHz           | 10~1 mm                                     |      |                    | 波导、毫米波无线电  | 微波接力、雷达                 |
| 紫外、可见光、红外 | $10^5 \sim 10^7$ GHz | $3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm | 光波   | 直线传播               | 光纤、激光空间传输  | 光通信                     |