

高等学校“十一五”规划教材

电子信息与通信工程系列

# 通信原理

## COMMUNICATION PRINCIPLES

主 编 江晓林 杨明极  
主 审 赵金宪

高等学校“十一五”规划教材  
电子信息与通信工程系列

# 通信原理

|     |     |     |     |  |
|-----|-----|-----|-----|--|
| 主 编 | 江晓林 | 杨明极 |     |  |
| 副主编 | 于泓博 | 刘付刚 | 康 辉 |  |
|     | 王 健 | 王 娟 |     |  |
| 主 审 | 赵金宪 |     |     |  |

哈尔滨工业大学出版社

## 内容简介

本书系统、深入地介绍了通信系统及通信网的基本原理与基本分析方法,是通信及信息专业的专业基础课教材,是在相关高等学校教师长期教学实践的基础上编写的。

本书讲述模拟通信和数字通信,且侧重于数字通信。全书共分 13 章,主要包括:绪论、确定信号分析、随机过程和噪声分析、模拟信息传输、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、信源及信源编码、信道及其复用技术、信道编码、同步原理、现代通信网、MATLAB 通信仿真分析,各章节后面均备有相关习题与思考题。

本书概念清楚,取材新颖,书中除列举了大量例题,还附有习题。本书可作为高等学校通信工程、信息工程、电子工程和其他相近专业本科生的教材,也可供通信工程技术人员和科研人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

通信原理/江晓林,杨明极主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工业大学出版社,2010.2  
ISBN 978-7-5603-2992-5

I. ①通… II. ①江… ②杨 III. ①通信理论  
IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019641 号

责任编辑 许雅莹  
封面设计 刘长友  
出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006  
传 真 0451 - 86414749  
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>  
印 刷 肇东粮食印刷厂  
开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 19 字数 475 千字  
版 次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2992 - 5  
印 数 1 ~ 3 000 册  
定 价 33.80 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 总 序

电子信息与通信工程是当今世界发展最快的领域,该技术领域的新概念、新理论、新技术不断涌现,其知识更新速度也是令人吃惊。这就使得从事电子信息与通信工程技术的科技人员要不断学习,把握前沿动态,吸收最新知识。近年来,各高校通过教学改革,在引导学生将最新知识应用于社会实践和市场需求环境,解决实际问题,培养学生实践动手能力、探索性学习能力和创新思维能力等方面取得了可喜成就。

为了培养国家和社会急需的电子信息与通信工程领域的高级科技人才,配合高等院校电子信息与通信工程专业的教学改革和教材建设,哈尔滨工业大学出版社组织哈尔滨工业大学、哈尔滨理工大学、齐齐哈尔大学、佳木斯大学、黑龙江科技学院等多所高校编写了这套面向普通高等院校“电子信息与通信工程系列”教材,通过共同研讨和合作,联合编写专业教材,相互取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

本系列教材的编写要求:结合新的专业规范,融合先进的教学思想、方法和手段,体现科学性、先进性和实用性,强调对学生实践能力的培养,以适应新世纪对通信、电子人才培养的需求。

本系列教材力求做到:专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理、内容精炼、并注意与专业课教学的衔接;专业课教材覆盖面广、深度适中,体现相关领域的新发展和新成果,注重理论联系实际。

本系列教材的编委会阵容强大,编者都是在教学工作第一线的骨干教师。他们具有多年丰富的教学和科研经历,掌握最新的理论知识,具有丰富的实践经验,是一支高水平的教材编写队伍。

本系列教材理论性与工程实践性紧密结合,旨在引导读者将电子信息与通信工程的理论、技术与应用有机结合,适合于高等学校电子、信息、通信和自动控制等专业的教材选取。我深信:这套教材的出版,对于推动电子信息与通信工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到积极的推动作用,以其内容的先进性、实用性和系统性为特色而获得成功。

吴群

哈尔滨工业大学教授

2009年4月

# 前 言

通信技术的发展日新月异,学习通信专业知识的学生和科技人员首先需要掌握扎实的基础理论,本书的宗旨是系统深入地阐述通信系统的基本原理,其中包括模拟通信和数字通信,并以数字通信为主。本书是近十年来从事本科生和研究生教学实践的总结,并特别吸收了黑龙江科技学院电子信息、通信工程教研组在通信方面的科研成果。

本书力求把基本概念阐述透彻,并注重理论联系实际,为帮助读者掌握基本分析方法,书中列举许多例题,各章后还附有大量习题与思考题。

全书共 13 章。第 1 章,绪论。第 2 章主要介绍了几种重要的信号、周期信号与非周期信号频谱、卷积、相关函数、信号的能量谱与功率谱分析。第 3 章介绍了随机过程的基本概念及数字特征,平稳随机过程判定及其功率谱分析,并对平稳随机过程通过相关系统后信号的平稳性进行了分析,最后对高斯白噪声、窄带高斯噪声、余弦波加窄带高斯噪声的统计特性进行了分析。第 4 章介绍了线性调制和非线性调制原理,给出了一般模型,分析了线性调制系统和非线性调制系统抗噪声性能,最后对常用的线性调制系统和非线性调制系统性能进行了综合比较。第 5 章阐述了低通型信号、带通型信号抽样定理和均匀量化、非均匀量化基本原理,介绍了脉冲编码调制(PCM)、差分脉冲编码调制(DPCM)、自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)和增量调制(M)的工作原理及相关性能。第 6 章概述了数字基带信号常用码型、基带信号的频谱、传输过程中的误码产生的原因,并探讨了消除的方法,主要从消除码间干扰和噪声分析两方面进行,最后介绍了眼图和均衡技术。第 7 章概述了数字调制解调的基本原理,分析了幅度键控、频率键控、相位键控的实现过程及抗噪声性能,最后介绍了多进制调制系统。第 8 章介绍了信源的分类及相关统计特性、信息熵及互信息熵的求解过程,重点分析了无失真信源编码与限失真信源编码的编码原理。第 9 章介绍了信道的定义、数学模型、传输特性,分析了恒参信道、随参信道特性及对信号传输的影响,重点介绍了信道复用技术,最后介绍了伪随机序列。第 10 章介绍了信道编码实现差错控制的机理及常用检、纠错码,重点分析了线性分组码、循环码和卷积码的构成原理及解码方法。第 11 章介绍了载波同步、位同步、群同步的原理和技术。第 12 章介绍了现代通信网络的组成及其发展趋势,对移动通信网、计算机通信网、宽带综合业务数字网进行了分析,并对下一代网络进行了分析和展望。第 13 章介绍了 MATLAB 通信工具箱及其在通信系统中的应用,同时介绍了实现通信系统的信源编译码、调制解调技术、通信仿

真和同步技术仿真的 MATLAB 仿真方法与技巧。

本书的特点是系统性强,内容编排连贯,突出基本概念、基本原理;注意吸收新技术和新的通信系统;注重知识的归纳与总结。本书语言简练、通俗易懂,可作为高等学校工科无线电技术、电子信息、通信工程专业及相关专业的高年级本科生的教材,也可作为技术人员的参考书。

本书由江晓林和杨明极任主编,齐齐哈尔大学于泓博编写第 2、3 章,黑龙江科技学院江晓林编写第 7、10 章,刘付刚编写第 8、13 章,康辉编写第 4、5 章,王娟编写第 9 章,东北林业大学王健编写第 11、12 章,哈尔滨理工大学杨明极编写第 1、6 章,全书由江晓林统稿。

黑龙江科技学院赵金宪教授担任本书主审,提出了许多宝贵的意见,在此我们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳切希望各界读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

# 目 录

## CONTENTS

|                  |    |
|------------------|----|
| 第1章 绪 论          | 1  |
| 1.1 引言           | 1  |
| 1.2 通信系统的组成      | 3  |
| 1.3 通信系统的分类及通信方式 | 6  |
| 1.4 通信系统的主要性能指标  | 8  |
| 习题与思考题           | 10 |
| 第2章 确定信号分析       | 11 |
| 2.1 单位冲激信号和阶跃信号  | 11 |
| 2.2 周期信号的频谱分析    | 12 |
| 2.3 非周期信号的频谱分析   | 14 |
| 2.4 卷积           | 16 |
| 2.5 相关函数         | 17 |
| 2.6 信号的能量谱和功率谱分析 | 18 |
| 习题与思考题           | 19 |
| 第3章 随机过程和噪声分析    | 21 |
| 3.1 随机过程的基本概念    | 21 |
| 3.2 随机过程的数字特征    | 22 |
| 3.3 平稳随机过程       | 24 |
| 3.4 平稳随机过程的功率谱密度 | 27 |
| 3.5 平稳随机过程通过线性网络 | 28 |
| 3.6 平稳随机过程通过乘法器  | 31 |
| 3.7 高斯白噪声        | 32 |
| 3.8 窄带高斯噪声       | 34 |
| 3.9 余弦信号加窄带高斯噪声  | 37 |
| 习题与思考题           | 39 |
| 第4章 模拟信息传输       | 41 |
| 4.1 调制的目的及分类     | 41 |
| 4.2 线性调制         | 42 |
| 4.3 非线性调制        | 59 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 4.4 模拟调制系统的比较 .....        | 75         |
| 习题与思考题 .....               | 77         |
| <b>第5章 模拟信号的数字传输 .....</b> | <b>80</b>  |
| 5.1 引言 .....               | 80         |
| 5.2 抽样定理 .....             | 80         |
| 5.3 脉冲幅度调制 .....           | 84         |
| 5.4 模拟信号的量化 .....          | 87         |
| 5.5 脉冲编码调制 .....           | 95         |
| 5.6 差分脉冲编码调制 .....         | 103        |
| 5.7 增量调制 .....             | 105        |
| 习题与思考题 .....               | 111        |
| <b>第6章 数字信号的基带传输 .....</b> | <b>114</b> |
| 6.1 引言 .....               | 114        |
| 6.2 数字基带信号码型 .....         | 115        |
| 6.3 基带信号的频谱分析 .....        | 120        |
| 6.4 数字基带传输中误码分析 .....      | 123        |
| 6.5 眼图 .....               | 132        |
| 6.6 均衡 .....               | 133        |
| 习题与思考题 .....               | 136        |
| <b>第7章 数字信号的频带传输 .....</b> | <b>138</b> |
| 7.1 引言 .....               | 138        |
| 7.2 数字调制原理 .....           | 138        |
| 7.3 二进制数字调制系统的抗噪声性能 .....  | 149        |
| 7.4 多进制数字调制系统 .....        | 159        |
| 习题与思考题 .....               | 166        |
| <b>第8章 信源及信源编码 .....</b>   | <b>168</b> |
| 8.1 信源的分类及统计特性 .....       | 168        |
| 8.2 信息熵及互信息量 .....         | 171        |
| 8.3 无失真信源编码 .....          | 174        |
| 8.4 限失真信源编码 .....          | 184        |
| 8.5 相关信源的限失真编码 .....       | 189        |
| 习题与思考题 .....               | 196        |
| <b>第9章 信道及其复用技术 .....</b>  | <b>198</b> |
| 9.1 信道的定义及分类 .....         | 198        |
| 9.2 信道的数学模型 .....          | 199        |
| 9.3 信道的传输特性 .....          | 201        |
| 9.4 信道容量 .....             | 206        |
| 9.5 信道复用技术 .....           | 207        |
| 9.6 伪随机序列 .....            | 210        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 习题与思考题 .....               | 212 |
| 第 10 章 信道编码 .....          | 213 |
| 10.1 引言 .....              | 213 |
| 10.2 纠错编码的基本原理 .....       | 215 |
| 10.3 检错码 .....             | 216 |
| 10.4 线性分组码 .....           | 218 |
| 10.5 循环码 .....             | 222 |
| 10.6 卷积码 .....             | 228 |
| 习题与思考题 .....               | 233 |
| 第 11 章 同步原理 .....          | 235 |
| 11.1 同步及其分类 .....          | 235 |
| 11.2 载波同步方法及其性能 .....      | 236 |
| 11.3 位同步方法及其性能 .....       | 243 |
| 11.4 群同步方法及其性质 .....       | 247 |
| 11.5 网同步 .....             | 252 |
| 习题与思考题 .....               | 253 |
| 第 12 章 现代通信网 .....         | 255 |
| 12.1 现代通信网概述 .....         | 255 |
| 12.2 现代通信网络的发展趋势 .....     | 256 |
| 12.3 移动通信网 .....           | 259 |
| 12.4 宽带综合业务数字网 .....       | 262 |
| 12.5 下一代网络 .....           | 264 |
| 习题与思考题 .....               | 267 |
| 第 13 章 MATLAB 通信仿真分析 ..... | 268 |
| 13.1 通信工具箱 .....           | 268 |
| 13.2 编码与译码 .....           | 273 |
| 13.3 模拟调制与解调 .....         | 278 |
| 13.4 数字调制与解调 .....         | 285 |
| 13.5 通信系统仿真输出 .....        | 288 |
| 习题与思考题 .....               | 293 |
| 参考文献 .....                 | 294 |

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 引言

通信的目的就是互通信息,是指由一个地方向另一个地方进行信息的有效传递。它不仅要有有效地传递信息,而且还有存储、处理、采集及显示等功能。通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将大量有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。

从远古时代到现代文明社会,人类社会的各种活动与通信密切相关,特别是当今世界已进入信息时代,通信已渗透到社会各个领域,通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一,对人们日常生活和社会活动起到非常重要的作用。

#### 1.1.1 通信发展简史

19 世纪中叶以后,随着电报、电话的发明,电磁波的发现,人类在通信领域产生了根本性的变革,实现了利用金属导线来传递信息,甚至通过电磁波来进行无线通信,使神话中的“顺风耳”、“千里眼”变成了现实。从此,人类的信息传递可以脱离常规的视觉、听觉方式,用电信号作为新的载体,由此带来了一系列技术革新,开创了人类通信的新时代。

1837 年,美国人塞缪尔·莫尔斯(Samuel Morse)研制出世界上第一台电磁式电报机。1844 年 5 月 24 日,莫尔斯在国会大厦联邦最高法院会议厅“用莫尔斯电码”发出了人类历史上的第一份电报,从而实现了长途电报通信。1875 年,苏格兰青年亚历山大·贝尔(A. G. Bell)发明了世界上第一台电话机,并于 1876 年申请了发明专利。1888 年,德国青年物理学家海因里斯赫兹(H. R. Hertz)用电波环进行了一系列实验,发现了电磁波的存在,他用实验证明了麦克斯韦的电磁理论,这个实验轰动了整个科学界,成为近代科学技术史上的一个重要里程碑,导致了无线电的诞生和电子技术的发展。1894 年,俄国的波波夫、意大利的马可尼分别发明了无线电报,实现了信息的无线电传播,其他的无线电技术也如雨后天春笋般涌现出来。1906 年,美国物理学家费森登成功地研究出无线电广播。1920 年,美国无线电专家康拉德在匹兹堡建立了世界上第一家商业无线电广播电台,从此广播事业在世界各地蓬勃发展,收音机成为人们了解时事新闻的方便途径。1924 年,第一条短波通信线路在璺恩和布宜诺斯艾利斯之间建立。1933 年,法国人克拉维尔建立了英法之间的第一商用微波无线电路,推动了无线电技术的进一步发展。

随着电子技术的高速发展,军事、科研迫切需要解决的计算工具也大大改进。1946 年,美

宾夕法尼亚大学的埃克特和莫希里研制出世界上第一台电子计算机。电子元器件材料的革新进一步促使电子计算机朝小型化、高精度、高可靠性方向发展。1948年,美国贝尔实验室的肖克莱、巴丁和布拉坦发明了晶体三极管,于是晶体管收音机、晶体管电视、晶体管计算机很快代替了各式各样的真空电子管产品。1959年,美国的基尔比和诺伊斯发明了集成电路,从此微电子技术诞生了。1967年,大规模集成电路诞生了,一块米粒般大小的硅晶片上可以集成1千多个晶体管的线路。1977年,美国、日本科学家制成超大规模集成电路,30 mm<sup>2</sup>的硅晶片上集成了13万个晶体管。微电子技术极大地推动了电子计算机的更新换代,使电子计算机显示了前所未有的信息处理功能,成为现代高新科技的重要标志。20世纪80年代末,多媒体技术兴起,使计算机具备了综合处理文字、声音、图像、影视等各种形式信息的能力,日益成为信息处理最重要和必不可少的工具。电子计算机和通信技术的紧密结合,标志着数字化信息时代的到来。

### 1.1.2 通信在中国的发展

通信业在中国的发展有目共睹,其日新月异的变化也足以让世界震惊。从新中国成立到现在,中国通信业发展经历了两个阶段。

#### (1) 第一阶段(1949~1978年)

第一阶段属于通信业发展的探索阶段,实现了通信能力的从无到有,保持了低水平的发展。该阶段国家用于通信建设的投资仅为60亿元人民币,通信状况比较落后,市话为磁石电话(摇把子),长途交换为人工转接,因为电话普及率很低,最大众的通信方式是电报。到1978年,全国电话交换容量仅368万门,普及率仅为0.38%,也就是说,每百人拥有电话不到半部。

这期间大事记如下:

1950年12月12日,我国第一条有线国际电话电路——北京至莫斯科的电话电路开通,经由苏联转接通往东欧各国的国际电话电路也陆续开通。

1958年,上海试制成功第一部纵横制自动电话交换机,第一套国产明线12路载波电话机研制成功。

1970年,我国第一颗人造卫星(东方红1号)发射成功。

#### (2) 第二阶段(1978年至今)

第二阶段属于通信业发展的高速发展阶段,通过中国通信人的努力,通信水平和通信规模都进入了世界前列,实现了历史赋予我们的神圣使命。1978~1988年,通信企业经历了拨乱反正、转变观念、逐步对外开放和争取发展政策等重要发展过程。1988~1998年,为通信大发展期,主要表现为利用国家给的初装费政策和利用外资加速折旧,解决了资金问题,实现了通信建设的飞跃。1998~2003年,是发展与全面改革的五年,邮电分营、政企分开、移动独立、电信重组,改革力度之大,世界罕见。2003年至今是通信业继续发展的阶段,电信运营商纷纷转型,由通信转向信息应用,领域在拓宽,竞争日趋激烈。同时,这一段也是拓宽服务、面向农村的五年,公平信息社会的构建是主题之一。

这期间大事记如下:

1984年5月1日,广州用150 MHz频段开通了我国第一个数字寻呼系统。程控中文电报译码机通过鉴定并推广使用,首次具备国际直拨功能的编码纵横制自动电话交换机(HJ09型)研制成功。

1987年11月,广州开通了我国第一个移动电话局,首批用户有700个,我国第一个160人工信息台在上海投入使用。

1993年9月19日,我国第一个数字移动电话通信网在浙江省嘉兴市首先开通。

1994年7月,中国联通通信有限公司成立。

1998年5月15日,电信长城CDMA网商用试验网——133网在北京、上海、广州、西安投入试验。

1999年2月,国务院通过中国电信重组方案。中国移动集团、中国电信集团及中国卫通相继挂牌,同年4月中国网络通信有限公司成立。

2008年5月23日,运营商再次重组方案正式公布。随着电信重组方案的确定,中国移动和铁通合并为中国移动,中国联通(CDMA网)和中国电信合并为中国电信,中国联通(GSM网)和中国网通合并为中国联通,从而中国电信运营商形成了三足鼎立之势。三大运营商分别获得了相应的3G频段,其中中国电信获得的频段是1 920~1 935 MHz和2 110~2 125 MHz,其3G标准基于FDD模式;中国移动获得的频段是1 880~1 900 MHz和2 010~2 025 MHz,其3G标准基于TDD模式,获得了35 MHz频谱资源;而中国联通获得的频段是1 940~1 955 MHz和2 130~2 145 MHz,3G标准也基于FDD模式。

## 1.2 通信系统的组成

通信的任务是完成消息的传递和交换。以点对点通信为例,可以看出要实现消息从一地到另一地的传递,必须有三个部分:发送端、接收端和收发两端之间的信道,如图1.1所示。

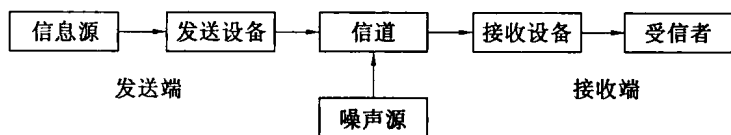


图 1.1 通信系统的组成

**信息源(也称发终端):**把各种可能消息转换成原始电信号。

**发送设备:**为了使这个原始信号适合在信道中传输,由发送设备对原始信号完成某种变换,然后再送入信道。

**信道:**是指信号传输的通道。

**接收设备:**其功能与发送设备相反,它能从接收信号中恢复出相应的原始信号。

**受信者(也称信息宿或收终端):**是将复原的原始信号转换成相应的消息。

**噪声源:**是信道中的噪声及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示,这并非指通信中一定要有一个噪声源,而是为了在分析和讨论问题时便于理解而人为设置的。

根据传输的消息形式,可以将消息分成连续消息(模拟消息)和离散消息(数字消息)。连续消息(模拟消息)是指消息的状态是连续变化的,如语音、图像等。离散消息是指消息的状态是可数的或离散型的,如符号、文字或数据等。

根据基本模型,可以知道要进行消息的传递,需要进行信号形式的转换。电话通信中,需要将消息转变为电信号,这样消息与电信号之间是单一的对应关系。消息被载荷在电信号的某一参量上,如果电信号的该参量是离散取值的,则称这样的信号为数字信号;如果电信号的

参量连续取值,则称这样的信号为模拟信号。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,把通信系统分成两类:模拟通信系统和数字通信系统。模拟通信系统又分为模拟基带传输系统和模拟频带传输系统,数字通信系统也可以分为数字基带传输系统和数字频带传输系统。数字基带传输系统,是指在传输过程中对发送的信号未进行调制;数字频带传输系统是指在传输过程中,对发送的信号进行了频谱的搬移,这样做的目的是利于信息的传输。下面我们分别对模拟和数字通信系统来加以阐述。

### 1.2.1 模拟通信系统

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统,其组成(通常也称为模型)可由一般通信系统模型略加改变而成,如图 1.2 所示。

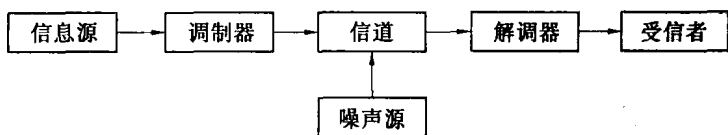


图 1.2 模拟通信系统的模型

对于模拟通信系统,它主要包含两种重要变换,即把连续消息变换成电信号(发端信息源完成)和把电信号恢复成最初的连续消息(收端受信者完成)。由信源输出的电信号(基带信号)具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号而送到信道中去,模拟基带传输系统很少采用。一般要对传输的信号进行调制,即将基带信号转换成频带适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成;在接收端同样需经相反的变换恢复出基带信号信息,它由解调器完成,经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性:携带有消息、适合在信道中传输和具有较高频率成分。

### 1.2.2 数字通信系统

#### 1. 数字化的优点

信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。与模拟通信系统相比,数字通信具有以下优点。

- (1) 数字传输抗干扰能力强,尤其在中继时,数字信号可以再生而消除噪声的积累。
- (2) 传输差错可以控制,从而改善了传输质量。
- (3) 便于使用现代数字信号处理技术来对数字信息进行处理。
- (4) 数字信息易于做高保密性的加密处理。
- (5) 数字通信可以综合传递各种消息,使通信系统功能增强。
- (6) 输出信噪比随带宽按指数规律增长。

但是,在数字传输过程中,由于数字信号所占用频带较宽,而频谱资源相对有限,所以如何提高频带利用率是亟须解决的问题。同时,在数字信号传输过程中,需要严格的同步。随着数字集成技术的发展,各种中、大规模集成器件的体积不断减小,加上数字压缩技术的不断完善,数字通信设备的体积将会越来越小。随着科学技术的不断发展,数字通信的两个缺点也越来越显得不重要了,实践表明,数字通信是现代通信的发展方向。

## 2. 数字通信系统的类型

数字通信系统可进一步细分为模拟信号数字传输通信系统、数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统。

### (1) 模拟信号数字传输通信系统

首先,应该对要求传送的模拟信号进行数字化,数字化分三步:抽样、量化和编码,即 A/D 转换。编完码后的信号放到数字通信系统中传输,接收端再进行反过程,即 D/A 转换,最后到达接收端,传输系统模型如图 1.3 所示。

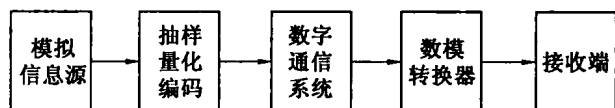


图 1.3 模拟信号数字传输通信系统模型

### (2) 数字频带传输通信系统

数字频带传输通信系统是指在传输过程中,对数字信号进行调制后再进行传输,基本模型如图 1.4 所示。图中,信源编码和信道编码完成了发送的数字信号信息进行加密和差错控制,再通过调制器进行调制,调制好后的信号放在信道中传输,不可避免有噪声的干扰,在接收端,对接收的信号进行解调、译码,最终到达受信者,从而完成通信的过程。

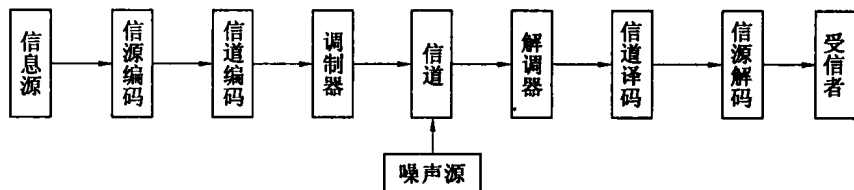


图 1.4 数字频带传输通信系统模型

### (3) 数字基带传输通信系统

与数字频带传输通信系统相对应,把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统,系统模型如图 1.5 所示。图中基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等,接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。

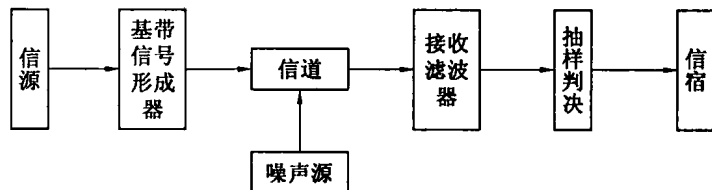


图 1.5 数字基带传输通信系统模型

## 1.3 通信系统的分类及通信方式

### 1.3.1 通信系统的分类

根据分类方法的不同,可以将通信系统分成很多类,下面介绍几种较常用的分类方法。

#### 1. 按消息的物理特征分类

可以分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等。由于电话通信网最为发达普及,其他消息常通过公共的电话通信网传送,所以在综合业务通信网中,各种类型的消息都在统一的通信网中传送。

#### 2. 按传输媒质分类

可以分为有线(包括光纤)和无线两种。有线通信,是指传输媒质为导线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是媒质能看得见、摸得着,导线可以是架空明线、电缆、光缆及波导等。无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。

#### 3. 按信道中所传信号的特征分类

可以分为模拟通信系统与数字通信系统。凡信号的某一参量可以取无限多个数值,且直接与消息相对应的,称为模拟信号。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化(即可以取无限多个值),而不一定在时间上也连续。凡信号的某一参量只能取有限个数值,并且常常不直接与消息相对应的,称为数字信号。数字信号有时也称离散信号,这是指信号的某参量是离散变化的,而不一定在时间上也离散。

#### 4. 按工作频段分类

可以将通信系统分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信系统等,具体频段划分及用途如表 1.1 所示。

表 1.1 通信使用的频段

| 频率范围( $f$ )     | 符号      | 通信方式 |
|-----------------|---------|------|
| 3 Hz ~ 30 kHz   | 甚低频 VLF | 长波通信 |
| 30 ~ 300 kHz    | 低频 LF   |      |
| 300 kHz ~ 3 MHz | 中频 MF   | 中波通信 |
| 3 ~ 30 MHz      | 高频 HF   | 短波通信 |
| 30 ~ 300 MHz    | 甚高频 VHF | 微波通信 |
| 300 MHz ~ 3 GHz | 特高频 UHF |      |
| 3 ~ 30 GHz      | 超高频 SHF |      |
| 30 ~ 300 GHz    | 极高频 EHF |      |

#### 5. 按调制方式分类

对于模拟信号来说,根据调制方式可以分为线性调制与非线性调制两种方式,其中线性调

制由常规幅度调制、单边带幅度调制、双边带幅度调制与残留边带幅度调制组成,非线性调制包括频率调制与相位调制。对于数字信号,调制可以分为幅度键控调制、频率键控调制、相位键控调制与其他高效数字调制等方式。调制又可以根据其脉冲调制的方式分为脉冲模拟调制与脉冲数字调制两种。脉冲模拟调制可以分为脉冲幅度调制、脉冲宽度调制和脉冲相位调制,脉冲数字调制可以分为脉冲编码调制、增量调制和差分脉码调制等方式。

另外,通信还有其他一些分类方法,这里不再一一列举。

### 1.3.2 通信方式

通信过程中,可以分为点对点通信、点对面通信、网络通信。点对点通信,如常用的电话、对讲机等;点对面通信,如广播、电视等;网络中用户间的通信,如计算机网、电话交换网络等。

#### 1. 按消息传送的方向与时间分类

通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种,具体如图 1.6 所示。

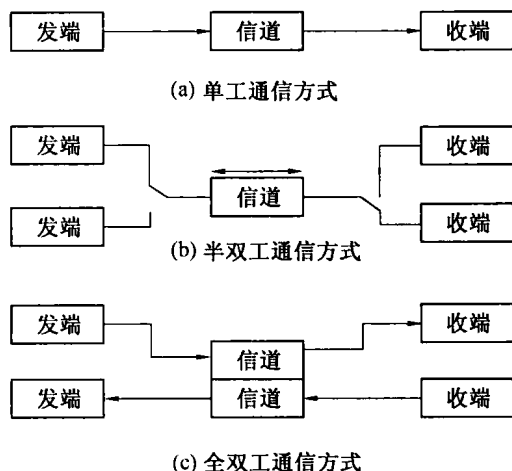


图 1.6 按消息传送的方向与时间划分的通信方式

单工通信,是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,如图 1.6(a)所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等,这里信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BB 机上。

半双工通信,是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的形式,如图 1.6(b)所示,如对讲机、收发报机等。

全双工通信,是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1.6(c)所示。这种方式,双方都可同时进行收发消息,很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话、各种手机等。

#### 2. 按信号传输的次序分类

在数字通信中,按照数字信号传输的次序,可将通信方式分为串行传输和并行传输。

串行传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输;如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并行传输,具体如图 1.7 所示。

串行传输只需占用一条通路,但传输占用时间相对较长;并行传输占用多条通路同时传输信息,传输时间短,两种方式各有利弊。

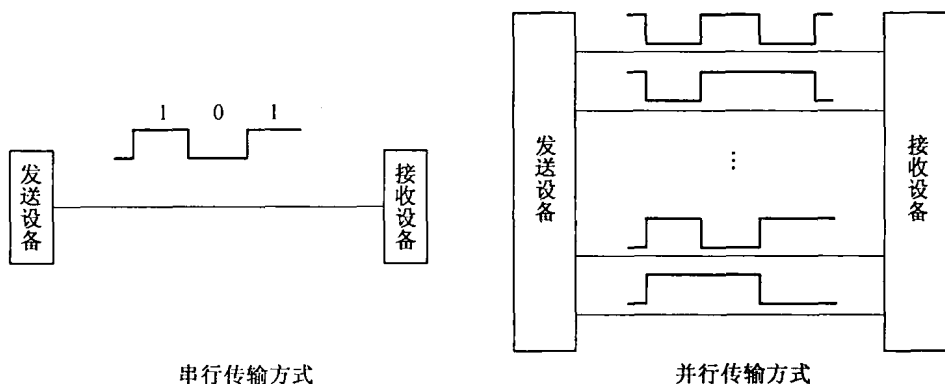


图 1.7 串行和并行传输通信示意图

## 1.4 通信系统的主要性能指标

### 1.4.1 衡量通信系统好坏的两个标准

评价通信系统优劣的指标包括信息传输的有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性,甚至还包括设备造型的优美性等。对一个通信系统,要求起主导和决定作用的是有效性和可靠性这两个指标,这也是衡量通信系统好坏的两个标准。那么何为有效性和可靠性呢?有效性是通信系统传输信息速率的表征,而可靠性是通信系统传输信息质量的表征。传输速度越快,有效性越高;传输信号越准确,可靠性越高。在通信系统中,人们总是希望传输信息既快又准,既有效又可靠。然而有效性和可靠性两者却是矛盾的,这一点,通过以后的进一步学习,将会有更深的体会。一般情况下,要增加系统的有效性,就得降低可靠性,反之亦然。在实际中,常常依据实际系统要求采取相对统一的办法,即在满足一定可靠性指标下,尽量提高消息的传输速率,即有效性;或者,在维持一定有效性条件下,尽可能提高系统的可靠性。二者如何进行选择,这就要求根据通信系统具体要求来进行。

### 1.4.2 评价两个指标的重要参量

#### 1. 有效性

数字通信系统的有效性可用传输速率来衡量,传输速率越高,则系统的有效性越好。对应于数字信号,传输速率快慢通常用以下参量来衡量。

##### (1) 码元传输速率 $R_B$

数字通信是用有限个数字波形来代表信息的,每秒钟所传输的数字波形的数目就是传输速率,即码元传输速率,又可称为码元速率或波形速率,用符号  $R_B$  来表示。码元速率单位为波特(Baud),常用符号“B”表示(注意,不能用小写)。例如,某系统在 2 s 内共传送 4 800 个码元,则系统的传码率为 2 400 B。码元速率与码元宽度  $T_b$  有关,即

$$R_B = \frac{1}{T_b} \quad (1.1)$$