



新一代高职教育信息通信规划教材

# 数 字 通 信

SHUZI TONGXIN

SHUZI TONGXIN



赵寒梅 主编



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

TN014.2

新一代高职教育信息通信规划教材

# 数字通信

赵寒梅 主编

李文海 主审

北京邮电大学出版社

·北京·

## 主要内容

本书是根据高等职业技术学院的培养目标和对本课程的基本要求,由三所院校经验丰富的几位教师编写而成,内容是针对后续专业课程的需要而设定,其实用性强。

全书分为6章,包括绪论、信道与噪声、信源编码、信道复用与数字复接、数字信号传输、差错控制编码等内容。

本书的特点是系统性强,突出基本概念,尽量去除数学推导和计算,内容简洁,通俗易懂。本书适合高职院校及成人教育的与通信工程相关专业学生作为教材使用,同时也适合工程技术人员作为参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字通信/赵寒梅主编. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1052-4

I. 数... II. 赵... III. 数字通信—高等学校:技术学校—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第032767号

---

出 版 者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京源海印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9.75

字 数:232千字

印 数:1—3 000册

版 次:2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

---

ISBN 7-5635-1052-4/TN·370

定价:16.00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·

# 新一代高职教育信息通信规划教材

## 编 委 会

主 任：肖传统

副主任：张孝强 张干生 严潮斌

委 员：(以姓氏笔画为序)

王立平 王巧明 王晓军 王 颖 宁 帆

刘翠霞 李 飞 李文海 苏开荣 吴正书

李转年 迟学芬 吴瑞萍 张一鸣 张敏华

张献居 张新璞 杨 泉 顾生华 孟祥真

徐淳宁 曹晓川 蒋青泉 傅德月

秘 书：王琴秋

## 编委会的话

随着我国高等教育规模的扩大和信息通信产业的迅速发展,通信院校专业课程教学面临着新的标准和新的要求。作为普通高等教育组成部分的高等职业教育在新的教学理念和信息化手段影响下,对教材这一重要的教学要素提出了新的需求。

教材已经成为传授规范知识和方法、完成教学大纲的主要载体。教材的编写质量和使用状况亦体现了任课教师的教学水准,成为课程建设和学科发展水平的重要标志,成为学校的强势学科和特色专业走向成熟的主要表现。所以,各级学校领导和教师历来十分重视教材建设。

近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应社会的需求,高等职业教育的教学模式、教学方法都应不断进行改革。与此相适应,需对高职教材进行重新调整与定位,突出自身的特色。

20世纪,原邮电高等函授教学指导委员会讨论审批、推荐出版了一大批教材。现在,它们的成员单位和部分成员重新组织在一起,成立了“新一代高职教育信息通信规划教材”编委会,开始酝酿教材建设的规划和思路。在这个编委会里,有通信职业技术学院的领导和教师,也有原邮电院校成人教育的专家教授。大家纷纷响应,且群策群力,就是为了一个共同的愿望:通过信息交流,统一规划,共同编写、出版和使用一批优秀教材。这样的优秀教材应体现现代教育观念,反映信息通信技术发展的最新成果,具有先进性、科学性和教学的适用性,充分体现高职教育的特征和本质要求,充分运用现代教育技术、手段与方法。该套教材将以立体化形式和配套教学资源完整地呈现出来。

编委会汇集了长沙通信职业技术学院、广东邮电职业技术学院、四川邮电职业技术学院、南京邮电学院吴江职业技术学院、石家庄邮电职业技术学院、黑龙江信息技术职业学院、河北省通信职业技术学院、北京邮电大学网络教育学院、南京邮电学院继续教育学院、重庆邮电学院成人教育学院、西安邮电学院继续教育学院、吉林大学通信学院的领导及教学一线的教师。大家在一起对高职

教育中的教学及教材建设进行了认真的研讨,一致认为:目前,通信行业的高职院校大部分是在原中专学校的基础上发展起来的,各校在教学中遇到的一个带有共性的问题,就是缺少适合于高职教育的教材,大部分院校都在借用本科甚至中专的教材,这种状况亟待改变。因而高职教材成为各院校教材建设的重中之重。高职教材的建设应从两方面齐头并进:一方面针对专业课和基础课教材以适用性为特征,强调简便易行;另一方面是着手进行实训课程教材的编写。各院校,尤其是各邮电职业技术学院将携手推出“新一代高职教育信息通信规划教材”。

“新一代高职教育信息通信规划教材”将陆续与广大教师和学生见面,它凝聚着编委会成员及所在院校领导和专家的辛勤努力,凝聚着一批优秀教师和作者的智慧结晶,也许其中有些内容因时间仓促而略显瑕疵,但我们相信,有各个院校教师的关爱和斧正,有广大读者的建议和支持,我们所付出的努力必将得到越来越多的人们的赞赏和承认。

“新一代高职教育信息通信规划教材”编委会

2003 年 12 月

# 前 言

本书是根据教育部对高等职业技术学院的培养目标和本课程的基本要求,经过系列教材编委会审定,由黑龙江信息技术职业学院、四川邮电职业技术学院及河北通信职业技术学院联合编写。

全书共分6章,参考学时为60学时。

第1章——绪论:主要介绍通信系统的基本组成,重点介绍数字通信的主要性能指标。

第2章——信道与噪声:介绍信道的基本概念和特性以及通信中可能存在的各种噪声;讨论不同信道对所传信号的影响和改善信道特性的方法;最后介绍信道容量的概念及仙农公式。

第3章——信源编码:主要介绍抽样定理、量化理论和PCM编码及译码,还讨论了差值脉冲编码调制(DPCM)、自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)和子带编码等波形编码。最后介绍了参量编码和图像编码技术。

第4章——信道复用与数字复接:在信道复用部分介绍了频分复用(FDM)、正交频分复用(OFDM)和时分复用(TDM)技术;在数字复接部分介绍了同步复接和异步复接及准同步数字体系(PDH)和同步数字体系(SDH)的概念。

第5章——数字信号的传输:介绍基带传输信号的基本码型,主要是NRZ、差分码、AMI码和HDB3码的编译码规则,讨论了码间串扰以及眼图等概念;最后介绍了数字信号的频带传输的基本概念。

第6章——差错控制编码:介绍差错控制编码的机理和常用检错码及纠错码的概念,重点分析线性分组码和循环码的构成原理及解码方法;简单介绍卷积码构成原理和表示方法。

本书特点是系统性强、突出基本概念、尽量去除数学推导和计算、内容简洁、通俗易懂。适合在校专科学学生作教材使用,同时也适合工程技术人员阅读。

本书第1章、第3章由韩静编写,第2章、第4章由赵寒梅编写,第5章由李媛编写,第6章由杨一荔编写,全书由赵寒梅统稿。

在本书的编写过程中,北京邮电大学的李文海老师提出了许多指导性意见;黑龙江信息技术职业学院的宁雪晶老师在全书的校对过程中做了不少工作,编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2005年5月



# 目 录

---

## 第1章 绪论

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 1.1 通信及通信系统构成 .....       | 1 |
| 1.2 信息、信号及分类 .....        | 2 |
| 1.2.1 模拟信号 .....          | 2 |
| 1.2.2 数字信号 .....          | 3 |
| 1.3 模拟通信和数字通信 .....       | 3 |
| 1.3.1 模拟通信 .....          | 3 |
| 1.3.2 数字通信 .....          | 4 |
| 1.4 数字通信特点及性能指标 .....     | 4 |
| 1.4.1 数字通信的特点 .....       | 4 |
| 1.4.2 数字通信系统的主要性能指标 ..... | 6 |
| 本章小结 .....                | 8 |
| 习 题 .....                 | 8 |

## 第2章 信道与噪声

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 2.1 信道的定义、分类与模型 .....     | 9  |
| 2.1.1 信道的定义 .....         | 9  |
| 2.1.2 信道的分类 .....         | 9  |
| 2.1.3 信道的模型 .....         | 10 |
| 2.2 恒参信道及其对所传信号的影响 .....  | 13 |
| 2.2.1 幅度-频率畸变 .....       | 13 |
| 2.2.2 相位-频率畸变 .....       | 13 |
| 2.2.3 减小畸变的措施 .....       | 15 |
| 2.3 随参信道及其对所传信号的影响 .....  | 15 |
| 2.3.1 随参信道传输媒质的特点 .....   | 15 |
| 2.3.2 产生多径效应的分析 .....     | 16 |
| 2.4 随参信道特性的改善——分集接收 ..... | 17 |
| 2.5 信道内的噪声 .....          | 18 |
| 2.6 通信系统中常见的几种噪声 .....    | 20 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 2.6.1 白噪声         | 20 |
| 2.6.2 高斯噪声        | 21 |
| 2.6.3 高斯型白噪声      | 21 |
| 2.6.4 余弦函数加窄带高斯噪声 | 21 |
| 2.7 信道容量的概念       | 22 |
| 本章小结              | 23 |
| 习题                | 24 |

### 第3章 信源编码

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 3.1 脉冲编码调制            | 25 |
| 3.1.1 概念              | 25 |
| 3.1.2 抽样              | 26 |
| 3.1.3 量化              | 31 |
| 3.1.4 编码与解码           | 43 |
| 3.1.5 单片集成 PCM 编解码器   | 51 |
| 3.2 差值脉冲编码调制          | 53 |
| 3.2.1 差值脉冲编码调制的原理及实现  | 54 |
| 3.2.2 自适应差分脉冲编码调制     | 55 |
| 3.3 子带编码              | 55 |
| 3.3.1 子带编码的概念及原理      | 55 |
| 3.3.2 子带编码的比特分配及编码速率  | 56 |
| 3.3.3 子带的划分           | 57 |
| 3.4 参量编码              | 58 |
| 3.4.1 语音信号分析          | 58 |
| 3.4.2 线性预测编码的基本概念     | 59 |
| 3.5 图像编码技术            | 60 |
| 3.5.1 图像通信与图像信号       | 60 |
| 3.5.2 图像信号数字化         | 63 |
| 3.5.3 数字图像压缩编码的主要国际标准 | 68 |
| 本章小结                  | 71 |
| 习题                    | 72 |

### 第4章 信道复用与数字复接

|              |    |
|--------------|----|
| 4.1 频分多路复用   | 74 |
| 4.1.1 基本频分复用 | 74 |
| 4.1.2 正交频分复用 | 75 |
| 4.2 时分多路复用   | 76 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 4.2.1 时分复用基本原理·····         | 76 |
| 4.2.2 时分复用信号的带宽及相关问题·····   | 77 |
| 4.2.3 TDM 与 FDM 的比较 ·····   | 78 |
| 4.3 时分复用的 PCM 系统 ·····      | 79 |
| 4.3.1 PCM 时分多路通信系统的构成 ····· | 79 |
| 4.3.2 时分多路复用系统中的位同步·····    | 80 |
| 4.3.3 时分复用系统中的帧同步·····      | 81 |
| 4.4 系统举例·····               | 81 |
| 4.4.1 PCM30/32 路系统帧结构·····  | 81 |
| 4.4.2 PCM30/32 路帧同步系统·····  | 83 |
| 4.5 数字复接技术·····             | 84 |
| 4.5.1 PCM 复用和数字复接 ·····     | 84 |
| 4.5.2 数字复接的实现·····          | 85 |
| 4.5.3 数字复接的同步·····          | 86 |
| 4.5.4 数字复接的方法·····          | 87 |
| 4.6 同步数字体系的基本概念·····        | 89 |
| 4.6.1 准同步数字体系·····          | 89 |
| 4.6.2 同步数字体系·····           | 89 |
| 4.6.3 同步数字体系的速率与帧结构·····    | 90 |
| 本章小结 ·····                  | 92 |
| 习 题 ·····                   | 92 |

## 第 5 章 数字信号的传输

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.1 数字基带信号的传输码型·····        | 94  |
| 5.1.1 对基带传输码型的要求·····       | 94  |
| 5.1.2 常见的传输码型·····          | 95  |
| 5.2 数字基带信号无码间干扰传输·····      | 98  |
| 5.2.1 码间干扰产生的原因和影响·····     | 99  |
| 5.2.2 数字信号无码间干扰的条件 ·····    | 101 |
| 5.2.3 数字信号基带传输系统构成 ·····    | 102 |
| 5.3 数字基带信号的再生中继传输 ·····     | 103 |
| 5.3.1 数字基带信号在信道传输中的特点 ····· | 103 |
| 5.3.2 再生中继器的组成 ·····        | 104 |
| 5.3.3 均衡放大 ·····            | 105 |
| 5.3.4 再生中继系统的特点 ·····       | 110 |
| 5.4 再生中继传输系统的性能指标 ·····     | 110 |
| 5.4.1 误码率 ·····             | 110 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5.4.2 相位抖动 .....    | 112 |
| 5.5 数字信号的频带传输 ..... | 112 |
| 5.5.1 幅度键控 .....    | 113 |
| 5.5.2 移频键控 .....    | 113 |
| 5.5.3 移相键控 .....    | 114 |
| 本章小结 .....          | 117 |
| 习 题 .....           | 118 |

## 第6章 差错控制编码

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 6.1 概 述 .....          | 119 |
| 6.1.1 误码的原因 .....      | 119 |
| 6.1.2 差错控制方法 .....     | 120 |
| 6.2 常用检错码 .....        | 121 |
| 6.2.1 差错编码基本原理 .....   | 121 |
| 6.2.2 几种简单差错控制编码 ..... | 123 |
| 6.3 线性分组码 .....        | 125 |
| 6.3.1 线性分组码的编码原理 ..... | 125 |
| 6.3.2 线性分组码的解码原理 ..... | 127 |
| 6.3.3 汉明码 .....        | 128 |
| 6.4 循环码 .....          | 129 |
| 6.4.1 循环码原理 .....      | 129 |
| 6.4.2 循环码编码器 .....     | 131 |
| 6.4.3 循环码译码器 .....     | 133 |
| 6.5 卷积码 .....          | 134 |
| 6.5.1 卷积码的基本编码原理 ..... | 135 |
| 6.5.2 卷积码的状态图与树图 ..... | 136 |
| 本章小结 .....             | 138 |
| 习 题 .....              | 139 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 141 |
|------------|-----|

# 绪论

## 第1章

随着人类步入 21 世纪,社会信息化和经济全球化的步伐明显加快,人们的工作、学习、生活和社会活动比以往任何时候都更需要信息,也更依赖于信息。通信技术,尤其是数字通信技术,已经成为当今社会人们获取、传输和利用信息的重要手段,以通信、计算机和信号处理等技术为核心的信息技术也成为衡量一个国家综合实力的重要方面。

### 1.1 通信及通信系统构成

人们常用语音、文字、数据、图形、图像等方式来表达和传递信息,有时也用收发双方预先约定的编码来表达和交换信息,收发双方之间的这种信息传递的过程就是“通信”。人类的社会活动离不开信息的传递和交换,从古代的烽火台、驿站,到现代社会的电报、电话、传真、电视、因特网(Internet)、空间通信等,都是利用不同的方式和手段来实现信息传递和交换的。在当今社会中,这种信息的传递和交换主要是依靠“电系统”来完成或实现的。

在通信领域,人们常将完成信息传递和交换的所有技术设备(含传输媒介)的总和称为通信系统,这包括构成系统的硬件、软件,甚至是操作或使用系统的人。现代通信系统种类繁多、形式各异,但无论是哪种通信系统,都是要完成从一地到另一地的信息传递或交换。在这样一个总的目的下可以把通信系统概括为一个统一的模型。这一模型包括信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源 6 个部分,模型框图如图 1-1 所示,其中噪声源是在传输过程中引入的。

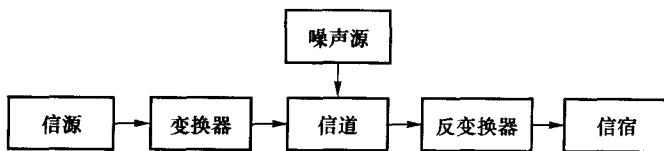


图 1-1 通信系统模型

模型中各部分功能如下:

#### (1) 信源

信源是指发出信息的信息源,简单地说就是信息的发出者。在人与人之间通信的情况

下,信源是发出信息的人;在机器与机器之间通信的情况下,信源可以看作是发出信息的机器,如计算机或其他机器等。

### (2) 变换器

变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号,如电话通信系统的变换器是送话器,它的功能是把语音变换成电信号。

### (3) 信道

信道是信号传输媒介的总称。不同的信源形式所对应的变换处理方式不同,与之对应的信道形式也是不同的。从大的类别来分,传输信道的类型有两种:一种是有线信道,如双绞线、电缆、同轴电缆、光纤等;一种是无线信道,如可以传输电磁信号的自由空间。

### (4) 反变换器

反变换器具有与变换器相反的逆变换功能。因为变换器的功能是把不同形式的信息变换和处理成适合于在信道中传输的信号,一般情况下这种信号是不能被信息接收者直接接收,所以要利用反变换器把从信道上接收的信号变换成信息接收者可以接收的信号。

### (5) 信宿

信宿是指信息传送的终点,也就是信息接收者。它可以是与信源相对应的,构成人-人通信或机-机通信,也可以是与信源不一致的,构成人-机通信或机-人通信。

### (6) 噪声源

噪声源并不是一个人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。模型中的噪声是把发送、传输和接收端各部分的干扰集中地由一个噪声源来表示。

## 1.2 信息、信号及分类

通信的目的就是传递或交换信息,但从信息论的观点很难为信息一词给出一个很确切而又一目了然的定义。

与通信结合较紧密的一个定义是美国的一位数学家、信息论的主要奠基人仙农(C. E. Shannon)提出的。他把信息定义为“用来消除不定性的东西”。通信的过程就是传递“用来消除不定性的东西”。

语音、图像和文字等都是表示信息的一种形式。对于通信系统,特别是电信系统,信源发出的信息要经过适当的变换和处理,使之变成适合在信道上传输的信号才可以传输。所以说,信号是用来携带信息的载体。

信号应具有某种可以感知的物理参量(电压、电流及光波强度和频率等),通常称之为语音信号、图像信号、数据信号等。

根据信号物理参量基本特征的不同,信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

### 1.2.1 模拟信号

模拟信号的特点是信号强度(如电压或电流)的取值随时间连续变化,故模拟信号也称为连续信号。模拟信号的一般表示如图 1-2 所示。连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值。举例来说,在  $1\sim 2\text{V}$  的取值范围内,可以取  $1.1\text{V}$ ,  $1.11\text{V}$ ,  $1.111\text{V}$ , ……无

限多个数值,所以说,模拟信号可以有无限多个量的强度取值。

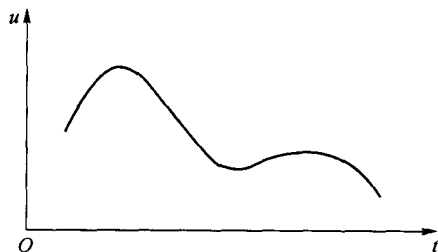


图 1-2 模拟信号示例

### 1.2.2 数字信号

与模拟信号相反,数字信号强度参量的取值是离散变化的,故数字信号也称离散信号,其示例如图 1-3 所示。离散的含义是其强度的取值是有限个数值,图 1-3(a)所示是二进制数字信号,所谓二进制就是只有两种取值的可能性,通常用 0,1 表示。当然,也可以有多进制数字信号,如四进制、八进制等。图 1-3(b)所示的就是四进制数字信号。四进制数字信号是只有四种可能取值的离散信号,如图所示,四种取值是 0,1,2,3。

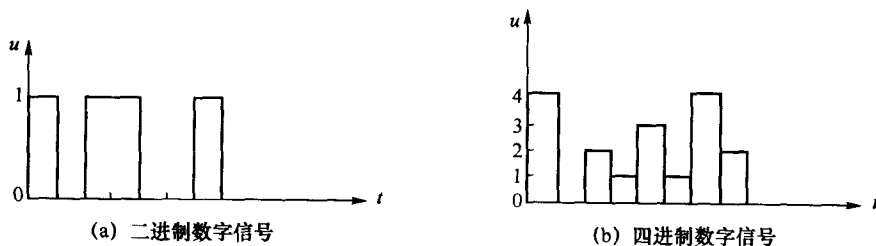


图 1-3 数字信号示例

模拟信号与数字信号形式不同,物理特性也不相同,所以对传输通路的要求以及对信号传输过程的处理方式也是不同的。

## 1.3 模拟通信和数字通信

根据在信道上传输信号的类别不同,可分为两类通信方式:模拟通信和数字通信。

### 1.3.1 模拟通信

信源所发出的信息经变换器变换和处理后,送往信道上传输的是模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的一般构成模型如图 1-4 所示,图中的调制器和解调器是变换器和反变换器的一部分,其主要作用是延长传输距离或是实现多路复用。电话通信系统如图 1-5 所示,它就是模拟通信系统的一个实例。

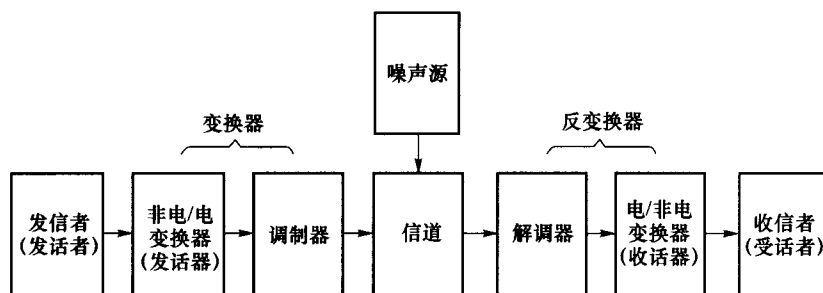


图 1-4 模拟通信系统模型

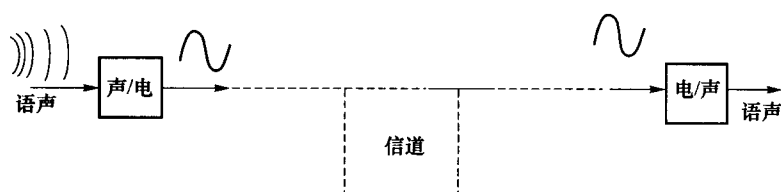


图 1-5 模拟通信系统的实例——电话通信系统

### 1.3.2 数字通信

与模拟通信相对应,信源所发出的信息经变换和处理后,送往信道上传输的是数字信号的通信系统称为数字通信系统。语音信号的数字通信系统构成如图 1-6 所示。在发送端,声/电变换设备将语音信号变换为模拟电信号,模/数变换设备将模拟电信号变换成数字信号,数字信号多是采用二进制形式送至信道传输。在接收端,数字信号再经数/模变换和电/声变换还原成声音,送给接收者。



图 1-6 语音数字通信系统示意图

## 1.4 数字通信特点及性能指标

### 1.4.1 数字通信的特点

#### 1. 抗干扰能力强,无噪声积累

在模拟通信中,为了提高信噪比,需要及时对传输信号进行放大(增音),但与此同时串扰进来的噪声也被放大,如图 1-7(a)所示。由于模拟信号的幅度是连续的,难以把传输信号和干扰噪声分开。随着传输距离的增加,噪声积累越来越大,将使传输质量严重恶化。



在数字通信中,由于数字信号的幅度值为有限个数的离散值(通常取两个幅值),在传输过程中受到噪声干扰虽然也要叠加噪声,但当信噪比还没有恶化到一定程度时,即在适当的距离,采用再生的方法即可消除噪声干扰,将信号再生成原发送的信号,如图 1-7(b)所示。由于无噪声积累,可实现长距离、高质量的传输。

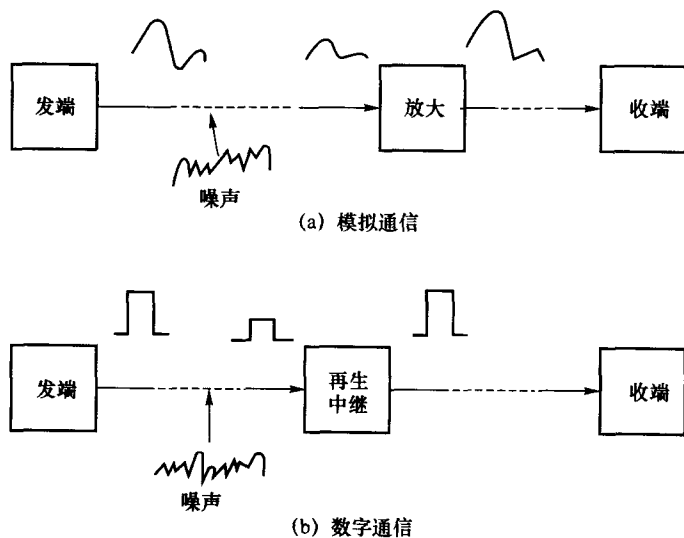


图 1-7 两类通信方式抗干扰性能比较

## 2. 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性越来越受到重视,数字通信的加密处理比模拟通信更容易实现。以语音数字通信为例,经过数字变换后的信号就可以用简单的数字逻辑运算进行加密处理,如图 1-8 所示。图中  $C$  为加密码,如传输过程不产生差错,则解密输出的  $Y_2$  应与发送端送入加密电路的  $Y_1$  完全相同。

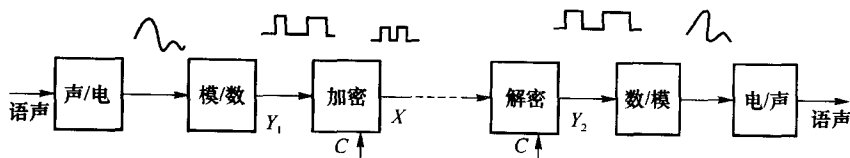


图 1-8 数字通信加密方法示意

## 3. 利于采用时分复用实现多路通信

时分复用是利用各种信号在信道上占用不同的时间时隙,同一条信道上传输,并且互不干扰。数字信号本身可以很容易用离散时间信号表示,在两个离散时间之间可以插入多路离散时间信号以实现时分多路复用。

## 4. 设备便于集成化、小型化

由于数字通信系统中大部分电路都是由数字电路来实现的,所以微电子技术的发展可使数字通信便于用大规模和超大规模集成电路来实现,这样功耗也较低。