



高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU DIANZI XINXI LEI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

- 主 编 杨一荔
- 副主编 辛富国 孙小进

数字通信

原理

SHUZI TONGXIN YUANLI



电子科技大学出版社

高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

数字通信原理

主 编 杨一荔

副主编 辛富国 孙小进

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字通信原理 / 杨一荔主编. —成都:

电子科技大学出版社, 2007.1

高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-81114-307-2

I. 数... II. 杨... 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 (2007) 第 016733 号

内 容 简 介

随着社会的发展, 数字通信已广泛普及应用。本书共分 5 章, 主要介绍数字通信系统的基本原理及组成、信源编码、时分多路复用与数字复接技术、数字信号的传输、差错控制编码原理及方法等。本书的内容简明扼要, 重视基本概念及原理的介绍, 避免复杂的数学推导, 表述深入浅出。本书适合通信及信息类专业的专科学生作为教材, 也可作为相关工程技术人员的参考用书。

高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

数字通信原理

主 编 杨一荔

副主编 辛富国 孙小进

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 周元勋

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮件: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都蜀通印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 11.75 字数 286 千字

版 次: 2007 年 1 月第一版

印 次: 2007 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-307-2

定 价: 19.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

本书是根据教育部对高等职业技术学院的培养目标,紧密结合通信与信息技术对本课程的需求,由四川邮电职业技术学院、陕西邮电职业技术学院和湖南信息职业技术学院组织一批长期工作于理论及实践教学一线的具有丰富经验的教师联合编写而成。

全书共分5章,参考学时为64学时。

第一章——绪论:主要介绍通信系统的基本组成,重点介绍数字信号与模拟信号的区别、数字通信系统的基本组成及性能指标以及数字通信的特点和典型数字通信系统的应用。

第二章——信源编码:以介绍目前广泛使用的脉冲编码调制技术中的PCM基本通信过程、抽样定理、量化理论与编码及解码方法为主,同时结合当前GSM移动通信系统与IP电话系统语音编码的需求和多媒体通信技术对图像传输的需求,对差值脉冲编码调制(DPCM)、自适应差值脉冲编码调制(ADPCM)、子带编码等先进的波形编码技术以及图像信号数字化的基本概念、方法与标准进行了介绍。

第三章——时分多路复用与数字复接技术:在时分多路复用部分主要介绍了时分多路复用的作用与基本原理及系统组成;在数字复接部分主要介绍了我国准同步数字体系PDH的速率等级、数字复接技术的基本原理、实现方法及系统组成;重点以二次群为例介绍了同步复接与异步复接的帧结构与复接过程;并对零次群的定义及三次群、四次群等高次群的帧结构进行了介绍;同时针对PDH的缺点,介绍同步数字系列(SDH)的定义、特点、帧结构及复用结构。

第四章——数字信号的传输:介绍基带传输系统的基本组成框图及传输码型,重点对NRZ、RZ、AMI、HDB3和CMI码的编码规则与特点进行了讨论;在分析了码间干扰产生的原因的基础上引入了数字信号无码间干扰传输的原则;最后介绍了数字信号频带传输的基本原理及基本调制方法。

第五章——差错控制编码:介绍了差错控制编码的基本思想与常用差错控制方式,重点分析了线性分组码和循环码的编码原理及解码方法,对卷积码的构成原理与表示方法也进行了简要介绍。

本书的特点是内容简明扼要，表述深入浅出，重视基本概念与原理的介绍而避免复杂的数学推导与计算分析；尽量将相关的知识点前后联系以突出全书的整体系统性。本书适合通信及信息类专业在校专科学生作为教材，也可作为相关工程技术人员的技术参考资料。

本书第一章由辛富国编写，第二章由刁碧编写，第三、五章由杨一荔编写，第四章由孙小进编写。全书由杨一荔统稿。

本书在编写过程中除参考相关建议及标准文件外，还参考了诸多作者编写的相关文献与书籍，在此对这些作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 通信系统的基本模型.....	1
1.2 信息、信号及分类.....	2
1.3 模拟通信与数字通信.....	3
1.3.1 模拟通信系统.....	3
1.3.2 数字通信系统.....	4
1.4 数字通信系统的主要性能指标.....	5
1.4.1 有效性指标.....	6
1.4.2 可靠性指标.....	7
1.5 数字通信的特点.....	7
1.6 数字通信系统的发展及应用.....	9
本章小结.....	10
习题一.....	11
第二章 信号数字化编码原理.....	12
2.1 脉冲编码调制——PCM.....	12
2.1.1 脉冲编码调制 (PCM——Pulse Code Modulation) 的概念.....	12
2.1.2 抽样.....	13
2.1.3 量化.....	19
2.1.4 编码与解码.....	30
2.1.5 单片集成 PCM 编译码器.....	41
2.2 差值脉冲编码调制——DPCM.....	44
2.2.1 DPCM 原理及实现.....	44
2.2.2 自适应差值脉冲编码调制——ADPCM.....	44
2.3 参量编码与子带编码 (SBC) 简介.....	46
2.3.1 子带编码.....	46
2.3.2 参量编码.....	48
2.4 图像编码技术.....	50
2.4.1 图像通信与图像信号.....	50
2.4.2 图像信号数字化.....	53
2.4.3 数字图像压缩编码的主要国际标准.....	57
本章小结.....	60
习题二.....	62

第三章 时分复用与数字复接技术	64
3.1 时分多路复用 (TDM)	64
3.1.1 时分多路复用的概念.....	65
3.1.2 PCM 同步时分多路通信系统的构成.....	67
3.1.3 时分复用的同步.....	68
3.2 PCM30/32 路基群系统.....	68
3.2.1 PCM30/32 路基群系统帧结构.....	69
3.2.2 PCM30/32 路基群定时系统.....	70
3.2.3 PCM30/32 路基群帧同步系统.....	73
3.2.4 PCM30/32 路基群端机系统构成.....	74
3.3 PDH 数字复接技术.....	76
3.3.1 准同步数字体系 (PDH)	76
3.3.2 PCM 复用和数字复接.....	77
3.3.3 数字复接的实现方法.....	78
3.3.4 数字复接的同步与码速调整.....	79
3.3.5 数字复接的系统构成.....	81
3.3.6 同步复接与异步复接.....	82
3.3.7 PCM 零次群和 PCM 高次群.....	86
3.4 同步数字系列 (SDH)	91
3.4.1 SDH 的概念及特点.....	91
3.4.2 SDH 信号的帧结构.....	95
3.4.3 SDH 的复用结构和步骤.....	104
本章小结.....	112
习题三.....	114
第四章 数字信号传输原理	116
4.1 数字信号基带传输原理.....	116
4.1.1 数字基带传输系统模型.....	116
4.1.2 常见的基带信号.....	118
4.1.3 常用数字基带信号传输码型.....	119
4.1.4 数字信号无码间干扰传输原则.....	123
4.1.5 扰码和解码.....	126
4.1.6 眼图.....	129
4.1.7 均衡技术 (Equalization)	131
4.2 数字信号的频带传输.....	132
4.2.1 二进制振幅键控 (2ASK, OOK)	133
4.2.2 二进制移频键控 (2FSK)	135

4.2.3	二进制数字相位调制.....	139
4.2.4	数字调制系统性能比较.....	143
4.3	现代调制技术.....	146
4.3.1	正交振幅调制 (QAM)	146
4.3.2	正交相移键控 (QPSK)	148
4.3.3	最小频移键控 (MSK)	151
4.3.4	高斯滤波最小频移键控 (GMSK)	153
	本章小结.....	154
	习题四.....	154
第五章	差错控制编码.....	157
5.1	概述.....	157
5.1.1	误码的原因.....	157
5.1.2	差错控制方法.....	157
5.2	常用检错码.....	159
5.2.1	差错编码基本原理.....	159
5.2.2	几种简单差错控制编码.....	160
5.3	线性分组码.....	163
5.4	循环码.....	166
5.4.1	循环码原理.....	166
5.4.2	循环码编码器.....	169
5.4.3	循环码译码器.....	171
5.5	卷积码.....	172
	本章小结.....	176
	习题五.....	177
	参考文献.....	179

第一章 绪 论

【学习目标】

1. 掌握通信系统的一般模型以及各部分的功能，理解信息与信号的含义。
2. 掌握数字通信系统的基本组成及性能指标。
3. 理解数字通信系统的特点。

1.1 通信系统的基本模型

人类生活在信息的海洋里，离不开信息的传递与交流。通信就是克服距离上的障碍，快速而准确地传递和交换信息，一般说，就是由一个地方向另一个地方传递信息。

通信系统就是用电信号（或光信号）传递信息的系统，也叫做电信系统。其基本组成包括：信源、变换器、信道、反变换器、信宿及噪声源六个部分。模型框图如图 1-1 所示。其中噪声源为传输过程中引入的。

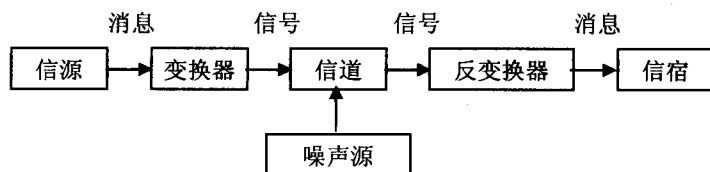


图 1-1 通信系统的一般模型

模型中各部分功能如下：

(1) 信源

信源是指发出信息（如语音、文字、图像及数据等）的信息源，简单地讲就是信息的发出者。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，信源可以看做是发出信息的机器（如电话机、电传机、计算机和各种数字终端设备等）。

(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；另一种是无线信道，如电磁波、微波、卫星等。

(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的，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。

例如，A 用户与 B 用户通话，变换器将语音信号（频率 300Hz~3kHz）变换为适合信道

传输的电信号或者光信号。在接收端，反变换器再将电信号或者光信号转变为人们能接收的语音信号。

(5) 信宿

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

(6) 噪声源

噪声源并不是一种人为实现的实体，但在实际通信系统中又是客观存在的。系统的噪声来自各个部分，从发出信息和接收信息的周围环境、各种设备的电子器件，到信道所受到的外部电磁场干扰，都会对信号形成噪声影响。将系统内所存在的干扰折合到信道中，用噪声源来表示。

1.2 信息、信号及分类

上一节讨论通信系统模型时曾指出，通信的目的就是传递或者交换信息。但什么是信息呢？近几年来信息这一词显得特别时髦，如信息社会、信息时代、信息科学、信息技术等比比皆是。但从信息论的观点又很难为信息一词下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由美国的一位数学家——信息论的主要奠基人香农（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”。如果排除干扰和传输差错的因素，通信的结果就可使信息接收者收到一定的信息。

信息是由信源发出的，它具有某种信源对应的特征形式及属性。在实际通信中常见的信源信息形式有声音、文字、数据和图像等。信源的信息形式不同就要求有不同的通信系统与之对应，从而形成了多种多样的通信系统。例如，对于输出信息形式为语音的信源，构成的就是电话通信系统；如果信息形式是图像，则构成图像通信系统等等，还有其他很多种对应于不同信息形式的通信系统。

语音、图像和文字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化和处理，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数——如电压、电流及光波强度和频率等。信号是以数学的方法描述和表达实际通信系统中信息的形式，通常称为语音信号、图像信号、数据信号等。

根据信号物理参量基本特征不同，信号可以分为两大类：模拟信号和数字信号。

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。模拟信号的一般表示如图 1-2 所示。由于模拟信号的强度是随时间连续变化的，所以模拟信号也称为连续信号。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 1~2V 的取值范围内，可以取 1.1V、1.11V、1.111V 等无限多个数值，所以说，模拟信号可以有无限多个量的强度取值。

数字信号：它与模拟信号相反，数字信号强度参量的取值是离散变化的，其示例如图 1-3 所示。数字信号又叫做离散信号，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。如图 1-3 (b) 所示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。

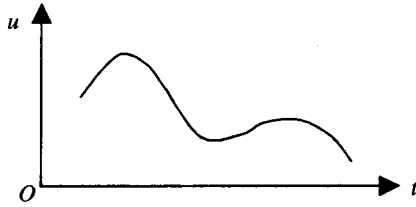
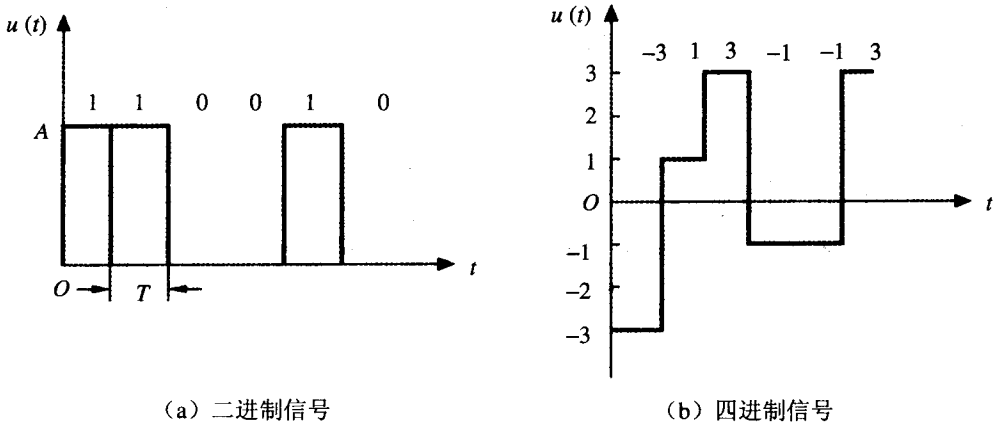


图 1-2 模拟信号示例

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。



(a) 二进制信号

(b) 四进制信号

图 1-3 数字信号

1.3 模拟通信与数字通信

在传输信道中按传输信号的类别的不同，通信系统可分为模拟通信和数字通信两大类。

1.3.1 模拟通信系统

在模拟通信中，传送的是模拟信号，传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。电话的语音信息和传真、电视的图像信息都是模拟信号（连续信号）。模拟通信系统模型如图 1-4 所示。

在图 1-4 中，发送端的原始连续信息要变换成原始电信号，接收端收到的信号要反变换成原始连续信息。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，这种第二次变换称为调制，调制即是将原始电信号变换成其频带适合信道传输的信号。已调信号通过信道传输到接收端的解调器和电/非电变换器，它们起着反变换的功能，解调即是在接收端将信道中传输的信号还原成原始的电信号。

经过调制后的信号成为已调信号，发送端调制前和接收端解调后的信号成为基带信号。因此，原始电信号又称为基带信号，而已调信号又称为频带信号。

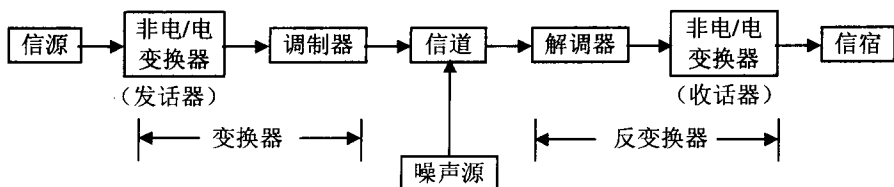


图 1-4 模拟通信系统模型

模拟通信在信道中传输的信号频谱比较窄，可以通过多路复用使信道的利用率提高。它的缺点是：传输的信号是连续的，叠加噪声干扰后不易消除，即抗干扰能力较差；不易保密通信；设备不易大规模集成；不适应飞速发展的计算机通信的要求。

1.3.2 数字通信系统

数字通信系统是指利用数字信号传递信息的通信系统。数字通信系统的基本任务是把信源产生的信息转换成一定格式的数字信号，通过信道传输，在终端再反变换适合受信者接收的信息形式。数字通信系统的组成形式有多种，但从系统的主要功能和部件看，都可概括为如图 1-5 所示的基本模型。

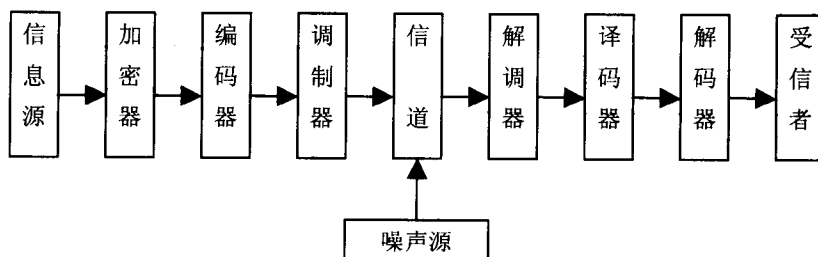


图 1-5 数字通信系统模型

图 1-5 中所示的信息源是指产生各种信息（如语音、文字、图像及数据等）的信源。

编码器和调制器组合在一起与模拟通信系统的变换器功能类同；解调器和解码器组合在一起与模拟通信系统的反变换器功能类同，但变换的原理有区别。

编码器的作用是将信源发出的模拟或离散的信号，转换成有规律的、适合信道传输的数字信号。这种数字信号一般为二进制的脉冲序列。

译码器的功能与编码器相反，是把数字信号还原为原始的信息信号。编码器和译码器一般包括两部分：信源编码、信道编码和信道解码、信源解码。

信源编码的主要任务是将信源送出的模拟信号数字化，即对连续信息进行模拟/数字（A/D）变换，用一定的数字脉冲组合来表示信号的一定幅度。

信道编码是一种代码变换，主要解决数字通信的可靠性问题，故又称为抗干扰编码。数字信号在信道中传输，不可避免地会受到噪声干扰，并有可能导致接收信号的错误判断，产生错码（误码）。信道编码就是为了减小这种错误判断出现的概率而引出的编码方法。具体讲，是将信源编码输出的数字信号，人为地按一定规律加入一些不代表所传信息的多余数字代码，以达到在接收端可以发现和纠正错误的目的。

调制器的作用是把二进制脉冲变换或调制成适合在信道上传输的波形。由于编码器输出的二进制脉冲序列（也称为基带信号）一般不宜在信道中直接传输，尤其不宜在长距离信道

中传输,需要把它调制在一个确定的高频振荡波(称为载波)上,使高频振荡波的振幅、频率、相位或它们的组合随所要传输的数字脉冲有规律地变化。在数字通信系统中,这个过程称为数字调制。它是信息传输过程中的一个重要措施,利用它可减小信道中干扰的影响,可改善信号频谱以及信道特性匹配,减小传输引起的失真,并具有提供多种用户合用一个信道(多路复用)的能力,使信号在信道上的传输效率大为提高。

数字通信在实现信息加密和解密方面比模拟通信有较大的优越性,一般是在数字通信系统的信源编码器后或前设置加密器,在信源译码器前或后设置解码器来实现保密通信。加密器是在需要实现保密通信时才用的器件。通过加密器可以产生密码,人为地把被传输的数字序列搅乱。这种编码可以采用周期非常长的伪随机序列,甚至采用完全无规律的噪声码。这个过程就叫做加密。在接收端利用与发端完全相同的密码复制品,可对接收到的数字序列进行解密,保证信息传输有极高的保密性。

解调是调制的逆过程,解调器是把接收到的已调制信号进行反变换,恢复出原数字信号,并送解码器解码。

信道是信号的传输媒介。噪声源是系统内各种干扰影响的等效结果。

需要指出的是,如图 1-5 所示是数字通信系统的一般化模型,实际的数字通信系统不一定包括图 1-5 中的所有环节。如在某些有线信道中,若传输距离不太远且通信容量不太大时,数字基带信号无需调制即可直接传送,称之为数字信号的基带传输,其模型中不包括调制与解调环节。

应该指出的是,模拟信号经过数字编码后可以在数字通信系统中传输,数字电话系统就是以数字方式传输模拟语音信号的例子。当然,数字信号也可以在模拟通信系统中传输,如计算机数据可以通过模拟电话线路传输,但这时必须使用调制解调器(Modem)将数字基带信号进行正弦调制,以适应模拟信道的传输特性。可见,模拟通信与数字通信的区别仅在于信道中传输的信号种类。

1.4 数字通信系统的主要性能指标

衡量、比较和评价一个通信系统的好坏,必然要涉及系统的主要性能指标问题;否则就无法衡量通信系统的好坏与优劣。通信系统的主要性能指标也称为主要质量指标,它们是从整个系统上综合提出或规定的。

一般通信系统的性能指标归纳起来有以下几个方面:

- (1) 有效性:指通信系统传输信息的“速率”问题,即快慢问题;
- (2) 可靠性:指通信系统传输信息的“质量”问题,即好坏问题;
- (3) 适应性:指通信系统使用时的环境条件;
- (4) 经济性:指系统的成本问题;
- (5) 保密性:指系统对所传信号的加密措施,这点对军用系统显得更加重要;
- (6) 标准性:指系统的接口、各种结构以及协议是否合乎国家、国际标准;
- (7) 维修性:指系统是否维修方便;
- (8) 工艺性:指通信系统各种工艺要求。

对一个通信系统,从研究信息的传输来说,有效性和可靠性将是主要的两个指标,这也

是通信技术讨论的重点。

通信系统的有效性和可靠性，是一对矛盾。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，常常依据实际系统的要求采取相对统一的办法，即在满足一定可靠性指标下，尽量提高信息的传输速率，或者在维持一定有效性条件下，尽可能提高系统的可靠性。

对于模拟通信来说，系统的有效性和可靠性具体可用系统有效带宽和输出信噪比（或均方误差）来衡量。模拟系统的有效传输带宽 B_w 越大，系统同时传输的信息路数也就越多，有效性就越好。

对于数字通信系统而言，系统的有效性和可靠性可用传输速率和误码率来具体衡量。

1.4.1 有效性指标

数字通信系统的有效性可用传输速率和频带利用率来衡量，传输速率越高，则系统的有效性越好。通常可从以下三个不同的角度来定义传输速率：

(1) 码元传输速率

码元传输速率通常又可称为码元速率、数码率、传码率，用符号 R_B 来表示。码元速率是指单位时间（每秒钟）内传输码元的数目，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 2s 内传送 4800 个码元，则系统的传码率为 2400B。

数字信号一般有二进制与多进制之分，但码元速率 R_B 与信号的进制数无关，只与码元宽度（ T_B ）有关：

$$R_B = \frac{1}{T_B} \quad (1-1)$$

通常在给出系统码元速率时，有必要说明码元的进制， N 进制码元速率 R_{B_N} 与二进制码元速率 R_{B_2} 之间，在保证系统信息速率不变的情况下，相互可转换，转换关系式为：

$$R_{B_2} = R_{B_N} \log_2 N(B) \quad (1-2)$$

【例 1-1】设一数字传输系统传送二进制码元的速率为 2400B。若系统的信息速率不变，试求传送十六进制信号时的码元速率。

解：因为

$$R_{B_2} = R_{B_N} \log_2 N(B)$$

所以

$$2400B = R_{B_{16}} \log_2 16(B)$$

则

$$R_{B_{16}} \frac{2400}{\log_2 16} (B) = 600(B)$$

(2) 信息传输速率

信息传输速率简称信息速率，又可称为传信率、比特率等。信息传输速率用符号 R_o 表示。 R_o 是指单位时间（每秒钟）内传送的信息量，单位为比特/秒（bit/s）。

例如，若某信源在 1 秒钟内传送 120 个符号，且每一个符号的平均信息量为 1bit，则该信源的 $R_o = 120\text{bit/s}$ 。

因为信息量与信号进制数 N 有关，因此， R_o 也与 N 有关。

(3) R_o 与 R_B 之间的互换

在二进制中，码元速率 R_{B_2} 同信息速率 R_{o_2} 的关系在数值上相等，但单位不同。

在多进制中, R_{b2} 与 R_{bN} 之间数值不同, 单位亦不同。它们之间在数值上有如下关系式:

$$R_{bN} = R_{b2} \log_2 N \quad (1-3)$$

在码元速率保持不变的条件下, 二进制信息速率 R_{b2} 与多进制信息速率 R_{bN} 之间的关系为:

$$R_{b2} = \frac{R_{bN}}{\log_2 N} \quad (1-4)$$

(4) 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时, 只看它们的传输速率是不够的, 还应看在这样的传输速率下所占的信道的频带宽度。因为传输速率越高, 所占用的信道频带越宽。因此, 能够真正体现出信息的传输效率的指标应该是频带利用率 (η), 即单位频带内的传输速率:

$$\eta = \frac{R_B}{B} \text{ (B/Hz)} \quad (1-5)$$

对二进制它可表示为:

$$\eta = \frac{R_b}{B} \text{ (bit/(s} \cdot \text{Hz))} \quad (1-6)$$

例如, 已知二进制数字信号的传输速率为 2400b/s, 试问转换成四进制数字信号时, 传输速率为多少波特?

解: 若信息速率保持不变, 则:

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} = \frac{2400}{\log_2 4} = 1200 \text{ (B)}$$

1.4.2 可靠性指标

衡量数字通信系统可靠性的指标, 具体可用信号在传输过程中出错的概率来表述, 即用差错率来衡量。差错率越大, 表明系统可靠性愈差。差错率通常有两种表示方法。

(1) 码元差错率 P_e

码元差错率 P_e 简称误码率, 它是指接收错误的码元数在传送总码元数中所占的比例, 更确切地说, 误码率就是码元在传输系统中被传错的概率。用表达式可表示成:

$$P_e = \frac{\text{单位时间错误接收的码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数}} \quad (1-7)$$

(2) 信息差错率 P_i

信息差错率 P_i 简称误信率, 或误比特率, 它是指接收错误的信息量在传送信息总量中所占的比例, 或者说, 它是码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。用表达式可表示成:

$$P_i = \frac{\text{单位时间内错误接收的比特数}}{\text{单位时间内系统传输的总比特数}} \quad (1-8)$$

1.5 数字通信的特点

从内因来看, 数字通信相对于模拟通信具有如下一些特点:

1. 抗干扰能力强, 无噪声累积

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 1-6(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, 噪声累积越来越大, 将使传输质量严重恶化。

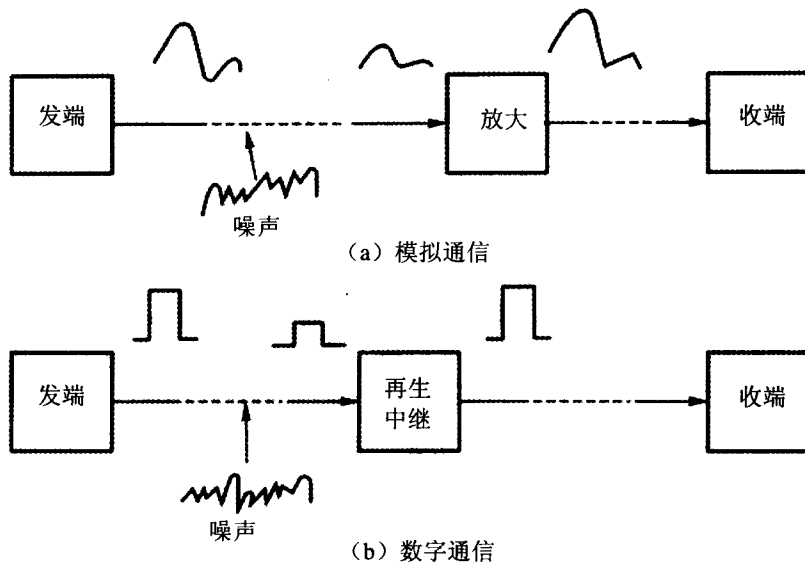


图 1-6 两类通信方式抗干扰性能比较

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时虽然也要叠加噪声，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 1-6 (b) 所示。由于无噪声积累，可实现长距离、高质量的传输。

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 1-7 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。

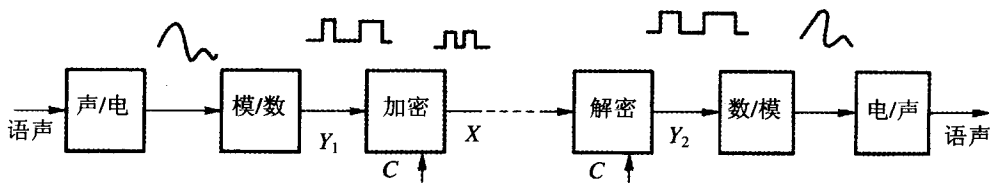


图 1-7 数字通信加密方法示意

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间隙，同在一条信道上传输，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。

5. 占用频带宽

一路数字电话的频带一般为 64kHz，而一路模拟电话所占频带仅为 4kHz，前者是后者

的 16 倍。随着信道带宽很宽的数字微波、卫星和光纤通信等系统的利用以及数字频带压缩技术的发展，数字通信占用频带宽的问题正逐步缩小。

1.6 数字通信系统的发展及应用

信道的分类可以分为狭义信道和广义信道。狭义信道是某些物理通信信道，如有线信道和无线信道。有线信道的传输介质主要有：双绞线、光纤、同轴电缆等。无线信道的传输媒介主要有：卫星、微波、电磁波等。下面主要介绍几种在数字通信系统中比较常用的传输介质。

1. 双绞线

双绞线 (Twisted-Pair) 是由两根各自封装在彩色塑料皮内的铜线互相扭绞而成的，扭绞的目的是使它们之间的干扰最小。多对双绞线外再套一层保护套构成双绞线电缆，通过相邻线对间变换的扭矩，可使同一电缆内各线对间干扰最小。双绞线分为屏蔽型 (STP) 和非屏蔽型 (UTP)。其结构如图 1-8 所示。

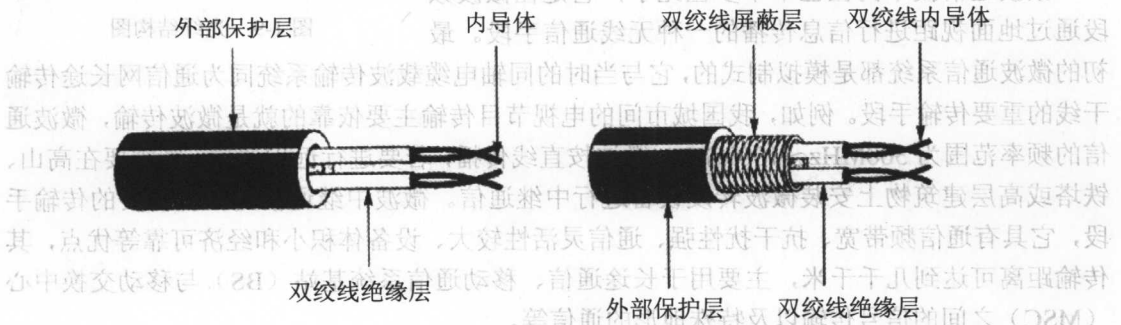


图 1-8 双绞线结构

STP 是在 UTP 外面再加上一个由金属丝编织而成的屏蔽层，以提高其抗电磁干扰能力。因此，STP 抗外界干扰性能优于 UTP。但 UTP 要比 STP 价格便宜。相互扭绞的一对双绞线可作为一条通路，其输入阻抗有 100Ω 和 150Ω 两种。

双绞线既可用于传输模拟信号，也可用于传输数字信号。双绞线常用于声音的模拟传输。其频谱在 $20\sim 20\,000\text{Hz}$ 之间，在一根双绞线上，可使用时分多路复用实现多个音频通道，每个通道的带宽为 4kHz 。双绞线的最高带宽可达 268kHz ，具有 24 条音频通道的容量。

在双绞线上传输数字信号，数据传输率可达 1.5Mbit/s ，最高上限为 10Mbit/s ，采用特殊技术可达 100Mbit/s 。

双绞线一般用于点到点的连线，在低频传输时，抗干扰性能相当于或高于同轴电缆。但频率超过 $10\sim 100\text{kHz}$ 时，同轴电缆的性能明显更优越。

双绞线的带宽取决于铜线的粗细和传输距离。用于传输模拟信号，每隔 $5\sim 6\text{km}$ 需要设置一级放大；用于传输数字信号，每隔 $2\sim 3\text{km}$ 就要用转发器转发一次。双绞线用于远程中继线时，最大传输距离为 15km ；用于局域网时，与集线器间的最大距离为 100m 。

2. 光纤

光纤信道是以光导纤维 (简称光纤 (Optical Fiber)) 为传输媒质、以光波为载波的信道，