

铁路职业教育铁道部规划教材

通信原理

TONGXINYUANLI

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

沈瑞琴/主编 段智文/主审

高职

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

通信原理

(高职)

沈瑞琴 主 编

段智文 主 审

中国铁道出版社

2011年·北京

内 容 简 介

本书为铁路职业教育铁道部规划教材。全书共分为9章,主要有通信系统概述、模拟调制系统、信源编码、信道复用与多址技术、数字基带传输系统、数字调制系统、信道编码、同步技术。

本书既可作为高职高专通信专业教材,也可作为从事通信专业工作人员和相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/沈瑞琴主编. —北京:中国铁道出版社,2011.8

铁路职业教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-13265-1

I. ①通… II. ①沈… III. ①通信原理—职业教育—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 150527 号

书 名:通信原理

作 者:沈瑞琴 主编

策 划:武亚雯 朱敏洁

责任编辑:刘红梅 电话:010-51873133 电子信箱:mm2005td@126.com 教材网址:www.tdjiaocai.com

封面设计:崔丽芳

责任校对:孙 玫

责任印制:陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:12 字数:296 千

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 978-7-113-13265-1

定 价:23.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育铁道部规划教材。本书是根据铁路职业教育铁道通信专业教学计划“通信原理”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育铁道通信专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育铁道通信专业教材编审组审定。

本书的参考学时数为 108 学时。全书共分八章,主要包括模拟通信和数字通信,但侧重于数字通信。其中第一章介绍通信系统的基本组成特点,通信系统的主要性能指标;第二章介绍模拟调制系统,主要内容有幅度调制的原理、性能、主要应用,对频率调制的基本特点和主要应用进行简要讨论;第三章介绍信源编码,主要内容有波形编码中的脉冲编码调制原理(PCM)、抽样定理,量化理论,编码与解码;第四章介绍信道复用与多址技术,主要讨论目前常用的频分复用、时分复用和码分复用技术,以及移动通信系统中采用的几种多址技术;第五章介绍数字基带传输系统,主要内容有基带传输的应用及其常见传输码型分析,基带传输的码间干扰问题及采取的措施,眼图的应用;第六章介绍数字调制系统,主要分析二进制数字调制的类型、特性及应用,同时介绍多进制数字调制的特点及目前通信系统中应用广泛的几种数字调制系统;第七章介绍信道编码,主要分析差错控制编码的基本原理,常见的差错控制编码技术以及在各种不同信道中实际所采用的差错控制方案;第八章介绍各种同步技术的种类及应用情况。各章均设有小结和复习思考题。在实施教学过程中,还要配合一定的实验。

本书以讲清通信系统的基本概念和基本技术为主,理论上不作过多的分析。

本书由南京铁道职业技术学院沈瑞琴主编,湖南高速铁路职业技术学院段智文主审。书中第二章由天津铁道职业技术学院卜爱琴编写,第八章由天津铁道职业技术学院石文静编写,其余各章由沈瑞琴编写。编写过程中得到了铁路兄弟院校的大力帮助和指导。

由于水平限制,书中难免存在缺点和错误,敬请各位读者批评指正。

编 者
2011 年 6 月

目 录

第一章 通信系统概述	1
第一节 通信的基本概念	1
第二节 通信系统的分类及通信方式	2
第三节 通信系统的主要性能指标	7
本章小结	9
复习思考题	10
第二章 模拟调制系统	11
第一节 调制的概念和分类	11
第二节 幅度调制	12
第三节 幅度调制的解调	19
第四节 幅度调制系统的抗噪声性能	21
第五节 角度调制(非线性调制)	23
第六节 非线性调频的解调	24
第七节 非线性调频的带宽及抗噪声性能	25
第八节 各种模拟调制系统的比较	29
本章小结	30
复习思考题	31
第三章 信源编码	33
第一节 脉冲编码调制(PCM)	33
第二节 抽 样	34
第三节 量 化	38
第四节 编码和解码	45
本章小结	53
复习思考题	54
第四章 信道复用与多址技术	56
第一节 频分多路复用 FDM	56
第二节 时分多路复用 TDM	58
第三节 码分多路复用 CDM	72
第四节 多址通信技术	73
本章小结	76
复习思考题	77
第五章 数字基带传输系统	78
第一节 数字基带传输系统	78

第二节 数字基带信号传输码型	80
第三节 无码间干扰的基带传输特性	83
第四节 无码间干扰基带传输系统的抗噪声性能	86
第五节 眼 图	88
本章小结	90
复习思考题	91
第六章 数字调制系统	92
第一节 概 述	92
第二节 二进制振幅键控 2ASK	93
第三节 二进制频移键控 2FSK	97
第四节 二进制相移键控 2PSK	102
第五节 2ASK、2FSK、2PSK 性能比较	108
第六节 多进制数字调制	109
第七节 常用的数字调制技术	113
本章小结	130
复习思考题	131
第七章 信道编码	133
第一节 信道编码的基本概念	133
第二节 线性分组码	137
第三节 循 环 码	141
第四节 检测和纠正突发错误的编码	145
第五节 卷 积 码	147
第六节 网格编码 TCM	152
第七节 Turbo 码	154
本章小结	156
复习思考题	156
第八章 同步技术	158
第一节 载波同步	158
第二节 位 同 步	163
第三节 群 同 步	167
第四节 网 同 步	171
本章小结	174
复习思考题	175
参考文献	176
附录	177
附录一 傅氏变换	177
附录二 基带信号的频谱分析	179
附录三 误差函数	183

第一章

通信系统概述

通信是指信息的传输与交换。

社会生产力的发展、科学技术的进步和人类生活水平的提高与通信水平是相互依赖、相互制约的关系,不同的时代要求与之相适应的通信水平。随着社会现代化、文明化程度的提高,通信业务已经深入到人类生活的每个细胞。

为了实现信息的传输与交换,通信一般由终端、传输和交换三大部分共同组成一个完整的通信系统。通信原理则侧重于对信息的传输原理以及信息传输所采用的技术进行讨论。

第一节 通信的基本概念

尽管通信的方式及业务种类越来越多,但通信系统的基本模型未变;通信的基本原理未变;衡量通信质量的手段、指标也未变。因此,掌握现代通信技术并能够适应将来通信发展的关键是掌握通信的基本原理、基本技术和性能指标的分析方法。

任何一种点对点的通信,其系统模型都可以用图 1-1 来概括。

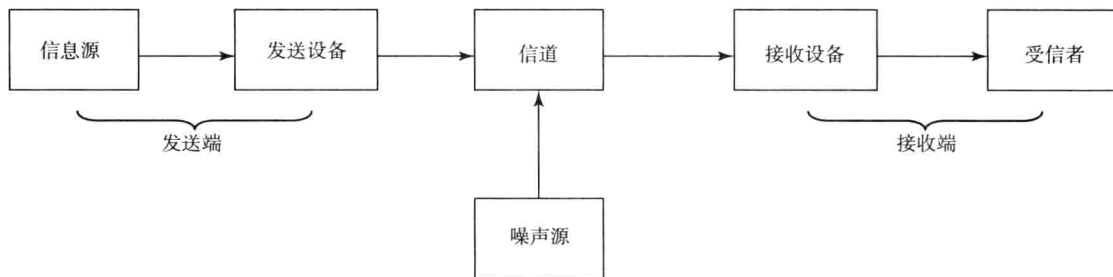


图 1-1 通信系统模型

发送端由信息源和发送设备组成。信息源即原始信息的来源,它的作用是把各种如语声、音乐、文字、数据、图片、活动画面等消息转换成相应的电信号。常见的信息源设备有电话机、摄像机、传真机、计算机和各种数字终端设备等。为了使这些电信号能在信道中传输,由发送设备对原始信号进行调制、复用等处理,然后再送入信道。

信道是指信号的传输媒质,可以是无线的,也可以是有线的(包括光纤)。有线和无线均有多种传输媒介。

传输过程中必然会受到干扰,通常称为噪声。噪声的来源很广,有外界干扰、开关接触、工业点火辐射等人为噪声;有闪电、大气中的电暴、天体辐射、宇宙噪声等自然噪声;还有系统设备本身产生的如电阻的热噪声、散弹噪声(在半导体器件组成的电路中,半导体的输出电流因

其阴极发射的电子数目的随机性而在某一平均值上下波动,称该波动为散弹噪声)、电源哼声等内部噪声。一般把热噪声、散弹噪声、宇宙噪声统称为起伏噪声。这些噪声无论在时域还是在频域内总是普遍存在不可避免的,因此,它是影响通信质量的主要因素之一,通信系统中,一般以起伏噪声作为对通信系统影响的主要噪声,起伏噪声是不能预测的随机噪声。但就其统计特性来说,这种噪声具有高斯型分布和平稳性、历经性的特点,并且在整个频率范围内具有平坦的功率谱密度。因此,把通信系统中的噪声称为高斯白噪声。为了方便对通信系统的分析,一般将这些噪声集中表示。

接收端由接收设备和受信者组成。接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换,即进行解复用和解调等,并将有用信号与噪声区分开来,恢复出原始的电信号;受信者则将复原的原始电信号转换成原始消息。

上述模型概括地反映了通信系统的共性。当原始消息不同、使用的信道不同、研究的方面不同时,将会使用不同形式的较具体的通信系统模型。通信原理的讨论就是围绕通信系统的模型而展开的。

第二节 通信系统的分类及通信方式

一、通信系统的分类

通信系统的分类方法有很多,一般从下面五个方面进行分类。

1. 按通信业务分类

根据通信业务不同,可分为电话通信、数据通信、图像通信、多媒体通信等各种通信系统。这些通信系统可以是专用的,也可以是兼容的。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;如多媒体通信就是将电话、图像、数据综合在一起,形成一种相互关联的复合信号进行通信的新型业务。

2. 按是否调制分类

根据是否采用调制,可分为基带传输和频带传输的通信系统。

一般地,信息源发出的电信号频率大都从低频开始,这种信号称为基带信号,如话音信号频率为 $20 \sim 20\,000$ Hz,但主要能量集中在 $300 \sim 3\,400$ Hz;电视图像信号的频率在 $0 \sim 6$ MHz 范围内;数据信号的频率虽然与传输速率有关,但还是属于基带信号。直接将基带信号经过放大器送到信道上传输称为基带传输。

基带信号通过调制后,其频谱搬移到比较高的频率范围,以适合传输信道的要求。经过调制后频谱变高的信号称为频带信号。传输频带信号称为频带传输。

3. 按信号的特征分类

根据信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可分为模拟通信系统和数字通信系统。

当信号的某一参量随相应信息的变化而变化,其参量的取值为无限多个数值的称为模拟信号。如话音信号的电压或电流大小随声音的强弱而连续变化;调幅波或调频波信号其幅度或频率随话音或音乐作相应连续的变化等,这些都是随时间连续变化的模拟信号,如图 1-2 所示;而对于脉幅调制(PAM)、脉宽调制(PWM)信号,尽管在时间上是不连续的(离散的)但其脉冲的幅度、宽度随调制信号变化取连续值,因此仍属于模拟信号,如图 1-3 所示。

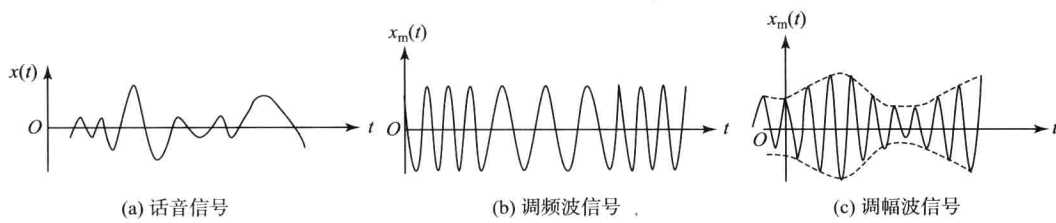


图 1-2 时间连续的模拟信号

当信号的某一参量随相应信息的变化而变化，其参量的取值为有限的，参量与信息之间的变化关系为非直观的数字形式称为数字信号。如脉冲编码调制(PCM)信号是用有限个数值来表示信息的变化，一般的数字信号不仅在幅度上的取值是离散的，而且在时间上也是离散的，但数字信号并非在时间上都是离散的，普通移频电报在时间上就是连续的，但反映信息的瞬时频率仅有 f_1 与 f_2 ，所以仍属于数字信号，如图 1-4 所示。

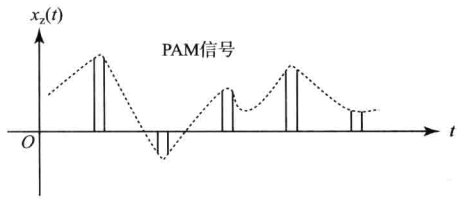


图 1-3 时间离散的模拟信号

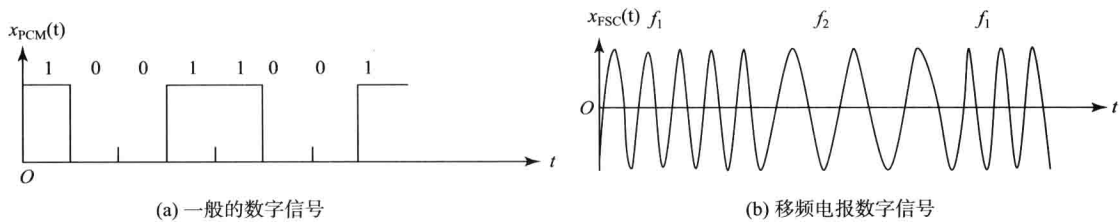


图 1-4 数字信号

图 1-5 为模拟通信系统模型。由于信源发出的原始电信号通常具有频率很低的频谱分量，一般不宜直接传输，因此需要调制器将其变换成适合信道传输要求的已调信号送到信道中传输。接收端经解调器把已调信号还原为原始信号。与图 1-1 相比，这里的调制器与解调器代表了发送设备和接收设备。

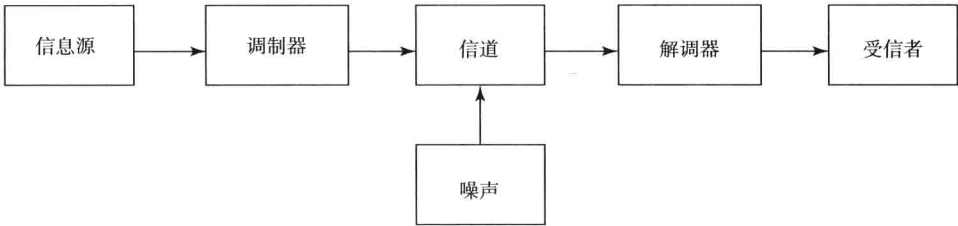


图 1-5 模拟通信系统模型

数字通信系统模型如图 1-6 所示。当信息源发送出来的电信号是模拟信号时，需要经过信源编码变换成数字基带信号；加密器可以很方便地对传输信号进行加密处理；复用是将多路信号按一定规律复合成一路信号，以提高传输信道的效率；信道编码通常包括纠错编码和线路编码；由于信道噪声的干扰而使传输的数字信号产生差错，必须在接收端能自动检出错码并纠正错码，即纠错编码，线路编码的目的是为了信源编码后的数字信号更适合在信道上传输；调

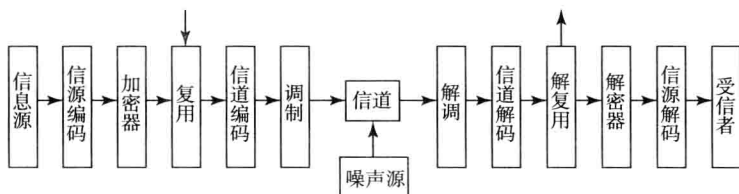


图 1-6 数字通信系统模型

制器是为了实现数字信号的频带传输。接收端的解调、信道解码、解复用、解密器、信源解码等功能，与发送端的调制、信道编码、解复用、加密器、信源编码等功能是一一对应的反变换。

需要说明的是，图 1-6 是数字通信系统的一般组成。实际的数字通信系统不一定包括图中的所有环节，例如数字基带传输系统中，是不需要调制器和解调器的；另外，有些环节如同步，由于分散在各处，图 1-6 中没有画出。

数字通信发展非常迅速，主要原因是它与模拟通信相比有着独特的优点：

(1) 抗干扰能力强

信号在传输过程中必然会受到各种噪声的干扰。在模拟通信中，为了实现远距离传输，需要及时地把已经受到衰减的信号进行放大（增音）。但在信号放大的同时，串扰进来的噪声也被放大，如图 1-7(a) 所示。由于模拟信号是用信号幅度载荷信息的，而噪声又是直接干扰信号幅度，因此，难以把信号与干扰噪声分开。随着传输距离增加，噪声累加越来越大，信噪比越来越小。所以模拟通信的通信距离越远，通信质量越差。

在数字通信中，信息不是包含在脉冲的波形上，而是包含在脉冲的有无之中。为了实现远距离传输，可以通过再生的方法对已经失真的信号波形进行判决，从而消除噪声积累，如图 1-7(b) 所示。由于无噪声积累，所以数字通信抗干扰能力强，易于实现高质量的远距离传输。这是数字通信的重要优点之一。

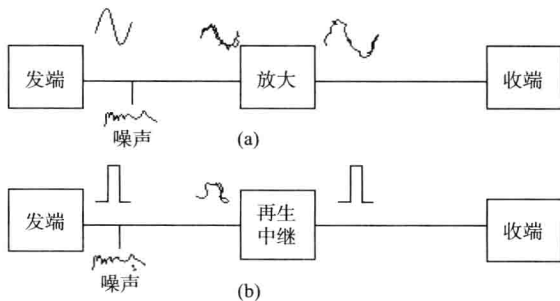


图 1-7 数字通信和模拟通信抗干扰性能比较

(2) 灵活性强，能适应各种业务要求

在数字通信中，各种消息（电报、电话、图像和数据等）都可以变换成统一的二进制数字信号进行传输。数字信号的传输可以与数字信号的时分交换结合起来，组成统一的综合业务数字网（ISDN）。综合业务数字网对来自不同信源的信号自动地交换、综合、传输、处理、存储和分离，这给实际应用带来极大的便利。

(3) 便于差错控制

在数字通信中，可以很方便地通过信道编码技术进行检错与纠错，降低误码率，提高传输

质量。

(4) 便于加密处理

信息传输的安全性和保密性都显得越来越重要,数字通信的加密处理比模拟通信容易得多。加密经过一些简单的逻辑运算即可实现,如图 1-8 所示。

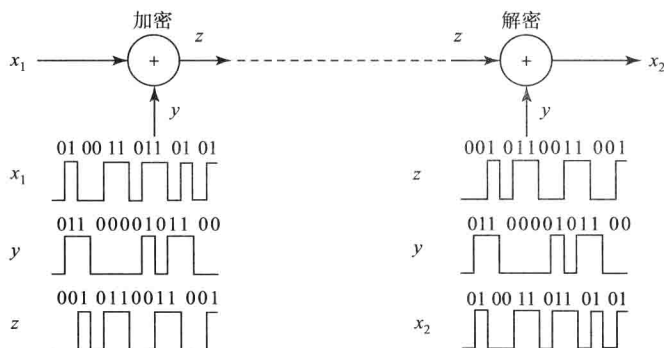


图 1-8 加密

x_1 为原数字信号, 设为 01001101101010..., y 为密码, 设为 0110000101100 的周期性信号。将二者送入由模 2 加组成的加密电路, 则输出的信号 $z = x_1 \oplus y = 0010110011001\dots$ 。显然, z 和 x_1 不同。到了接收端, 将 z 和 y 再送入由模 2 加组成的解密电路, 输出的信号 $x_2 = z \oplus y = 0100110110101\dots$, 即还原为原数字信号。只要双方约定密码, 且密码周期足够长, 则第三者就很难破译, 而且密码还可以随时变换。

以上介绍的只是简单的加密原理, 实际的加密方案要复杂得多, 但由此可看出, 数字通信容易加密。

(5) 设备便于集成化、小型化

数字通信通常采用时分多路复用, 不需要昂贵的、体积较大的滤波器。由于设备中大部分电路都是数字电路, 可以用大规模和超大规模集成电路实现, 这样设备体积小, 功耗也较低。

但是, 它也有不足之处, 如占用频带宽, 这是数字通信的最大缺点。一路模拟电话约占 4 kHz 带宽, 而一路数字电话大约需 64 kHz 带宽。随着编码技术的不断发展, 一路数字电话的带宽可降到 32 kHz、16 kHz, 甚至更低。随着光纤等宽带传输信道的广泛采用, 数字通信和光纤传媒的优点得到了最好的结合, 数字通信得到了广泛的应用。

4. 按信号的复用方式分类

传送多路信号一般有三种复用方式: 频分复用、时分复用、码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围; 时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间; 码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信息。

传统的模拟通信中都采用频分复用。时分复用是数字通信系统中采用的一种最基本的复用方式。码分复用多用于空间通信的扩频通信系统和移动通信系统中。当然, 为了进一步提高系统的有效性, 一个通信系统中可以采用多种复用技术。例如在移动通信系统中, 同时采用频分复用、时分复用和码分复用技术。

5. 按传输媒介分类

按传输媒介, 通信系统可分为有线和无线通信系统两大类。所谓有线通信是用导线(如架空明线、对称电缆、同轴电缆、光导纤维等)作为传输媒质完成通信。如市内电话、有线电视、海

底电缆通信等。所谓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。

二、通信方式

通信方式是指通信双方之间的工作方式或信号传输方式。

对于点与点之间的通信,按信号传送的方向与时间关系,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

单工通信,是指信号只能单方向传输的工作方式,如图 1-9(a)所示。例如遥测、遥控,就是单工通信方式。

半双工通信,是指通信双方都能收发信息,但不能同时进行收发的工作方式,如图 1-9(b)所示。例如,使用同一载频工作的无线电对讲机,就是按这种通信方式工作的。

全双工通信,是指通信双方可同时进行收发信息的工作方式,如图 1-9(c)所示。例如,普通电话就是一种最常见的全双工通信方式。

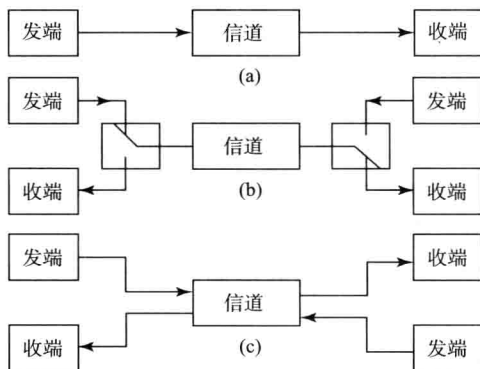


图 1-9 通信方式示意图

在数字通信中,按照数字信号码元排列方法不同,有串行传输与并行传输之分。

所谓串行传输,是将数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,如图 1-10(a)所示。如果将数字信号码元序列分割成两路或两路以上的数字信号码元序列同时在信道中传输,则称为并行传输,如图 1-10(b)所示。

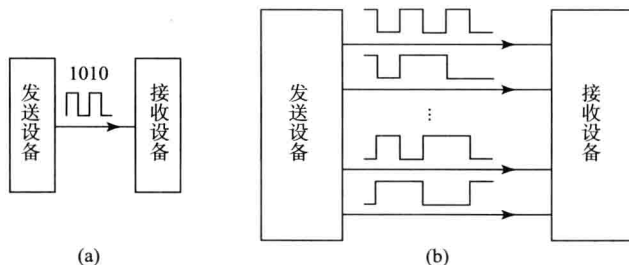


图 1-10 串行和并行方式

一般的远距离数字通信大都采用串行传输方式,因为这种方式只需占用一条通路。并行传输在近距离数字通信中被采用,它需要占用两条或两条以上的通路。

此外,按同步方式的不同,可分为同步通信和异步通信;按通信设备与传输线路之间的连

接类型,可分为点到点之间通信(专线)、点到多点 and 多点之间通信(网通信),由于通信网的基础是点与点之间的通信,所以本书重点讨论点与点之间的通信。

第三节 通信系统的主要性能指标

一、信息及其度量

通信的目的是传递信息。为了对通信系统的主要性能作定量的分析,先对信息这个术语的含义以及它的定量描述作简要的讨论。

信息一词在概念上与消息的意义相似,但它的含义却更普遍化、抽象化。信息可以被理解为消息中包含接收者所需要知道的有意义的内容。消息以具体信号形式表现出来,而信息则是抽象的、本质的内容。消息的出现是随机的、无法预知的。一个预先确知的消息因不给接收者带来任何信息而失去传递的必要。不同形式的消息,可以包含相同的信息。例如,分别用语音和文字发送的天气预报,所含信息内容相同。在本课程中对消息和信息不作严格的区分,两者可以混用。如同运输货物多少采用“货运量”来衡量一样,传输信息的多少使用“信息量”去衡量。

概率论告诉我们,事件的不确定程度,可以用其出现的概率来描述:事件出现的可能性愈小,概率就愈小;反之,概率就愈大。根据这种认识,我们得到:消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关,消息出现的概率愈小,则消息中包含的信息量就愈大。如果事件是必然的(概率为 1),则它传递的信息量应为零;如果事件是不可能的(概率为 0),则它将有无穷的信息量。如果我们得到不是由一个事件构成而是由若干个独立事件构成的消息,那么这时我们得到的总信息量,就是若干个独立事件信息量的总和。

消息中所含的信息量 I 与消息出现的概率 $P(x)$ 间的关系式为

$$I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \quad (1-1)$$

信息量的单位为比特(bit)。

下面我们来讨论等概率出现的数字信号的信息量。

在数字信道中传送的数字信号单元,可以是二进制的,也可以是多进制的,不同进制的信号单元所携带信息量是不同的,我们称这种信号单元为码元。

一位二进制数,不是 0 就是 1,当 0、1 等概出现时[即 $P(0) = P(1) = 1/2$],一个码元所携带的信息量为

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{P} \right) = \log_2 \left(\frac{1}{1/2} \right) = 1 \text{ bit} \quad (1-2)$$

对于 M 进制,当 M 个数等概出现时(概率为 $1/M$),一个码元所携带的信息量为

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{P} \right) = \log_2 (M) \text{ bit} \quad (1-3)$$

【例 1-1】 在四进制系统中,求等概出现的一个码元所携带的信息量。

解: 0、1、2、3 等概出现,概率均为 $1/4$,故一个码元所携带的信息量是

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{P} \right) = \log_2 (M) = 2 \text{ bit} \quad (1-4)$$

二、主要性能指标

在设计或评估通信系统时,往往要涉及通信系统的主要性能指标,否则将无法衡量其质量

的优劣。性能指标即是质量指标,它们是对整个系统综合规定的。

通信系统最主要的质量指标是传输信息的有效性和可靠性。有效性指传输一定信息量时所占用的信道资源(如频带宽度),或者说是传输的“速度”的问题;而可靠性指接收信息的准确程度,是一个“质量”的问题。显然,有效性和可靠性是互相矛盾的:要求传输速率高,质量就差一些;要求传输质量好,则速度就要受到限制。通常只能依据实际要求取得相对的统一。当然有效性和可靠性在一定条件下是可以进行互换的。

此外,通信系统的性能指标还涉及标准性、经济性、适应性和维护使用等。

1. 模拟通信系统的有效性和可靠性

在模拟通信系统中,信号传输的有效性通常是用有效传输频带来衡量的。同样的消息用不同的调制方法,需要不同的频带宽度。例如,调频波的频带比调幅波宽得多,因此在同样的传输线路上传输调频波的有效性就不如调幅波。

模拟通信系统的可靠性通常用接收端解调器输出信噪比来衡量。

由于信道内存在噪声,因此模拟通信系统的接收端接收到的波形实际上是信号和噪声的混合物,它们经过解调后同时在通信系统的输出端出现,因此,噪声对模拟信号的影响可用信号与噪声的平均功率之比来衡量,称为信噪比,通常采用分贝为单位。定义为

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{S}{N} = L_S - L_N (\text{dB}) \quad (1-5)$$

式中, S 为信号的平均功率; N 为噪声的平均功率; L_S 为信号功率电平; L_N 为噪声功率电平。所以信噪比还可以定义为信号功率电平与噪声功率电平之差。

信噪比越大,通信质量越高。信息内容的准确性也就越高。输出信噪比一方面与信道内噪声大小和信号功率有关,同时又和调制、解调方式有很大的关系。不同的解调方式对噪声的处理能力是不同的。例如,在调频系统内采用鉴频器具有抑制噪声的能力,因此输出信噪比可以提高;而在调幅系统内采用包络检波器来解调就没有提高输出信噪比的能力,因此调频通信系统的传输可靠性往往比调幅系统好。但是,调频系统的传输有效性不如调幅系统,这是有效性和可靠性之间的矛盾。

2. 数字通信系统的有效性和可靠性

数字通信系统的有效性指标是传输速率和频带利用率,可靠性指标是传输差错率。

(1) 传输速率

①信息速率(传信率) R_b :它是指单位时间内(1 s)所传送的信息量。单位为比特/秒(bit/s)。

②码元速率(传码率) R_B :它是指单位时间内(1 s)所传送的码元数目。单位为“波特”(Baud)。

传信率和传码率虽然都是用来衡量数字通信系统有效性的,但两者之间是有区别的。二进制情况下,两者在数值上相等,但单位不同。多进制情况下两者在数值上不等,两者间的关系为

$$R_b = R_B \log_2 M (\text{bit/s}) \quad (1-6)$$

由上式看出,若采用多进制码元传输信息,可以提高信息的传输速率。

【例 1-2】 已知等概独立的二进制数字信号的信息速率为 2 400 bit/s。

(1)求此信号的码速率和码元宽度;

(2)将此信号变为四进制信号,求此四进制信号的码速率、码元宽度。

解:(1) $R_B = R_b / \log_2 M = (2\,400 / \log_2 2) = 2\,400 \text{ Baud}$

$$T = \frac{1}{R_B} = \frac{1}{2\,400} = 0.42 \text{ ms}$$

$$(2) R_B = (2\,400 / \log_2 4) = 1\,200 \text{ Baud}$$

$$T = \frac{1}{R_B} = \frac{1}{1\,200} = 0.83 \text{ ms}$$

(2) 频带利用率

在比较不同的通信系统的效率时,只看它们的传输速率是不够的,还要看传输这样的信息所占用的频带宽度。所以还可以用频带利用率来衡量通信系统的传输有效性。频带利用率的定义是单位频带内的传输速率,用 η 表示,单位为比特/秒·赫[(bit/s)·Hz]或波特/赫兹(Baud/Hz)。

【例 1-3】 假设某通信系统信道频带宽度为 1 024 kHz,可传输 2 048 kbit/s 的比特率,其传输效率为多少? 当信道频带宽度改为 2 048 kHz,其传输效率又为多少?

解: 信道频带宽度为 1 024 kHz,传输 2 048 kbit/s 的比特率,其传输效率为

$$\eta = \frac{2\,048}{1\,024} = 2 \text{ [(bit/s)·Hz]}$$

当信道频带宽度改为 2 048 kHz,传输 2 048 kbit/s 的比特率,其传输效率为

$$\eta = \frac{2\,048}{2\,048} = 1 \text{ [(bit/s)·Hz]}$$

3. 传输差错率

(1) 误信率(误比特率) P_b : 它是指接收端收到的错误比特数在传送总比特数中所占的比例。

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1-7)$$

(2) 误码率(误符号率) P_e : 它是指接收端收到的错误码元数在传送总码元数中所占的比例。

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1-8)$$

【例 1-4】 设在 100.38 μs 内传输 848 个二进制码元,计算信息传输速率。若该系统在 2 s 内有三个码元产生误码,试求其误码率是多少?

解: 信息传输速率为:

$$R_b = \frac{848}{100.38 \times 10^{-6}} = 8.448 \text{ Mbit/s}$$

系统在 2 s 内有三个码元产生误码的误码率为:

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} = \frac{3}{2 \times 8.448 \times 10^6} = 1.8 \times 10^{-7}$$

本章小结

通信就是传输信号,信号载荷消息,消息中存在着信息,因此通信的实质是传输与交换信息。点对点通信系统的基本模型由发送、传输、接收三部分组成。当传输的信号方式不同、对通信质量要求不同时,将对应有不同形式的较具体的通信系统模型。通信原理就是围绕着通

信系统模型展开讨论的。

通信系统的分类方法很多。常见的有:按业务分类、按调制方式分类、按信号的特征分类、按信号的复用方式分类、按传输媒介分类等。数字通信与模拟通信相比,其优越性表现在:抗干扰能力强、通用性强、便于差错控制、便于加密处理、便于集成化等。缺点是占用频带宽。通信的三种基本方式是:单工、半双工、全双工。

通信系统的性能指标主要有两个:有效性和可靠性。模拟通信系统的有效性是指传输频带宽度;可靠性是指接收端的输出信噪比。数字通信系统的有效性是指传输速率,即传信率或传码率,还可用频带利用率来表示;可靠性是指传输的差错率,即误信率或误码率。通信系统的分析主要是围绕着系统的有效性和可靠性展开的。

复习思考题

1. 通信的基本任务是什么?
2. 数字通信有哪些特点?
3. 以数字有线电话电通信为例,说明图 1-1 通信系统模型中信息源、受信者、信道包含的具体内容。
4. 试画出民用数据基带传输通信系统的模型。
5. 数字通信系统的主要性能指标有哪些?
6. 设一数字传输系统传送八进制码元的速率为 1 600 Baud,试求该系统的信息速率;若保持信息速率不变,改用二进制系统传输,二进制系统的码元传输速率是多少?
7. 某二进制传输系统,传输速率为 2 400 Baud,求信息速率;若保持传输速率不变,用四进制传送信息,则信息速率是多少?
8. 对于二进制独立等概系统,码元宽度为 0.5 ms,求传码率 R_B 和传信率 R_b ;当四进制系统时,码元宽度为 0.5 ms,求 R_B 和独立等概时的 R_b 。
9. 在 125 μs 内传输 256 个二进制码元,计算传码率及传信率。若该信息在 4 s 内有 5 个码元产生错误,则误码率为多少?

第二章

模拟调制系统

由信源产生的原始电信号,其频谱位于零频附近,称为基带信号。然而实际中的大多数信道具有带通型特性,而不能直接传送基带信号。为了使基带信号能够在带通信道中传输,就必须采用调制,将基带信号转换成适合在信道中传输的信号,而在接收端相应要有解调(调制的逆变换)。调制和解调是通信系统的重要环节。

本章介绍模拟调制系统的原理及其抗噪声性能。

第一节 调制的概念和分类

一、调制的概念

1. 调制的概念

所谓调制,就是用待传输的基带信号控制高频载波的某个参数的过程,即将基带信号寄载到高频载波信号之上的过程。通常,将待传输的基带信号称为调制信号;被调制的高频信号起着运载基带信号的作用,称为载波信号;常用的载波信号有高频正弦波信号和周期脉冲序列信号两种。调制后所得到的信号称为已调信号,或频带信号,显然,它含有基带信号的全部信息。

2. 调制的作用

调制在通信系统中起着非常重要的作用,具体体现在以下几个方面:

(1) 频率变换,便于辐射

进行无线通信时,只有当天线的尺寸与发射信号的波长相比拟(一般应不小于 $\lambda/4$)时,信号才能有效地辐射出去。由于基带信号包含有较低的频率分量,其波长较长,致使天线过长而难以实现。

通过调制技术可以将低频的基带信号变换成高频信号。例如,对于 3 000 Hz 的音频基带信号,若要直接无线传输,需要的天线尺寸约为 25 km,显然,这是难以实现的。但通过调制,将基带信号的频谱搬移至 30 MHz,则只需 2.5 m 的天线就可以实现有效辐射。

(2) 实现多路复用

被传输信号的带宽与信道本身的带宽相比,一般来说是很小的。所以一个信道只传输一路信号是很浪费的,它可以传输多路信号。但是如果不经变换就同时传输多路信号,就会引起相互之间的干扰。解决办法之一是通过调制将各个基带信号的频谱分别搬移到不同的频率上,然后将它们合在一起送入同一个信道传输。这样就可以实现同一信道同时传输多路信号,即信道的多路复用,从而提高信道的利用率。

(3) 提高系统的抗噪声性能

通过调制,可以实现传输带宽与信噪比之间的互换。在干扰比较严重的信道内,往往采用