



应用型高等学校“十三五”规划教材

TONGXIN YUANLI JICHU JIAOCHENG

通信原理基础教程

羊梅君 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

“三五”规划教材

通信原理基础教程

主 编 羊梅君

副主编 谢永红 聂 茹 许癸驹

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书系统地阐述了通信系统的基本组成、基本原理、基本分析方法和基本实现方法,主要包括模拟通信和数字通信,侧重于数字通信。

全书共分9章,内容包括绪论、随机信号分析、信道、模拟调制系统、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、基本的数字调制系统、信道编码与差错控制、同步原理。

本书可以作为通信工程、电子信息工程及计算机网络等相关专业本科生的教材,也可以作为从事相关专业的工程技术人员的参考书。

本书配有免费的电子课件。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理基础教程/羊梅君主编. —武汉:华中科技大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5680-4929-0

I. ①通… II. ①羊… III. ①通信原理 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 007998 号

通信原理基础教程

Tongxin Yuanli Jichu Jiaocheng

羊梅君 主编

策划编辑:范莹

责任编辑:刘艳花

封面设计:原色设计

责任校对:李琴

责任监印:赵月

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:武汉市洪山区佳年华文印部

印刷:武汉市籍缘印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:15.5

字数:392千字

版次:2019年1月第1版第1次印刷

定价:39.80元



华中科技大学出版社

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本书是应用型高等学校“十三五”规划教材之一,是依据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会的“电子电气基础课程教学基本要求”为应用型本科学生编写的,本书可以作为通信工程、电子信息工程及计算机网络等相关专业本科生的教材,也可以作为从事相关专业的工程技术人员的参考书。

本书充分考虑了应用型本科教学的特点,以“控制篇幅,精选内容,突出重点,联系实际”为编写指导思想,在内容的选取上突出基础性、针对性和实用性,力求做到既能适应当前通信发展的现状,又能较好地跟踪未来通信发展的新动向。在内容阐述上,重点阐述通信系统的基本组成、基本原理、基本分析方法和基本实现方法,内容循序渐进,层次分明。除必要的数学分析之外,尽量避免烦琐的数学推导,强调物理概念,突出重点,力求做到深入浅出、条理清楚、通俗易懂、便于教学。

全书共 9 章,第 1 章为绪论,主要介绍了通信系统的基本概念、基本组成及其主要的性能指标;第 2 章为随机信号分析,内容包括随机变量、随机过程的分析,以及随机信号通过线性系统的分析;第 3 章为信道,介绍了恒参信道和随参信道的基本特征以及它们对信号传输的影响,同时还介绍了信道中噪声的特点和信道容量的基本概念;第 4 章为模拟调制系统,从时域和频域的角度阐述了各种模拟调制解调技术的基本原理和实现方法,并分析了各种调制解调技术的抗噪声性能,最后介绍了频分复用技术;第 5 章为模拟信号的数字传输,阐述了脉冲编码调制的原理及实现方法,介绍了差分脉冲编码调制、增量调制和时分复用技术;第 6 章为数字信号的基带传输,阐述了数字信号基带传输系统的原理和模型,讨论了系统无码间干扰的条件,介绍了眼图和时域均衡技术;第 7 章为基本的数字调制系统,阐述了各种二进制数字调制解调技术的原理、实现方法和抗噪声性能,介绍了各种多进制数字调制系统;第 8 章为信道编码与差错控制,阐述了纠错编码的基本原理,重点讨论了线性分组码、循环码的编译码原理及纠错性能;第 9 章为同步原理,讨论了载波同步、位同步和群同步的基本概念、实现方法和主要性能指标。

随着当今科学技术的高速发展,计算机仿真技术呈现出越来越强大的活力,它降低了科学研究的成本和风险、加速了科研成果向生产力的转化,已成为科学研究中必不可少的实用技术,是解决工程实际问题的重要手段。MATLAB/Simulink 是大量计算机仿真软件中功能最强大的仿真软件之一,在电子信息科学领域有着极为广泛的应用。因此,本书在第 1 章以及第 3~9 章中都加入了基于 MATLAB/Simulink 的计算机仿真的内容。

本书由华南理工大学广州学院的羊梅君担任主编,负责全书的结构设计、理论部分内容的编写和定稿工作,书中加入的有关基于 MATLAB/Simulink 的计算机仿真内容由华南理工大学广州学院的谢永红、聂茹编写,谢永红编写了 1.6、3.7、4.7、8.6、9.4 等章节,聂茹编写了

5.7、6.6、7.7 等章节。在本书的编写过程中,作者参考了一些相关的著作、文献,在此对这些著作、文献的作者一并表示感谢。此外,作者还要感谢华中科技大学出版社对本书出版给予的支持,感谢范莹编辑对本书出版所付出的辛勤努力。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2019 年 1 月

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	消息、信号与信息	1
1.1.1	信息的度量	2
1.1.2	平均信息量(熵)的概念	2
1.2	通信系统的组成	3
1.2.1	通信系统的一般模型	3
1.2.2	模拟通信与数字通信系统模型	4
1.3	通信系统的分类及通信方式	6
1.3.1	通信系统的分类	6
1.3.2	通信方式	8
1.4	通信系统的性能指标	8
1.4.1	模拟通信系统的性能指标	9
1.4.2	数字通信系统的性能指标	9
1.5	通信发展简史	11
1.6	MATLAB/Simulink 系统建模与仿真基础	12
1.6.1	通信系统仿真优点	12
1.6.2	通信系统仿真工具	13
1.6.3	通信系统常用模块库简介	13
1.6.4	Simulink 使用简介	15
第 2 章	随机信号分析	18
2.1	随机变量	18
2.1.1	随机变量的分布函数	18
2.1.2	随机变量的概率密度	19
2.1.3	常见随机变量举例	20
2.1.4	随机变量的数字特征	21
2.2	随机过程	23
2.2.1	随机过程的基本概念	23
2.2.2	平稳随机过程	24
2.2.3	各态历经性	24
2.2.4	平稳随机过程的自相关函数和功率谱密度	25
2.3	高斯过程	28
2.4	窄带随机过程	30
2.5	正弦波加窄带高斯过程	31
2.6	随机信号通过线性系统	32

第3章 信道	36
3.1 信道的定义	36
3.2 信道模型	37
3.2.1 调制信道模型	37
3.2.2 编码信道模型	38
3.3 恒参信道	39
3.4 随参信道	46
3.5 信道中的噪声	48
3.6 信道容量	49
3.7 信道仿真	51
3.7.1 信源模块	51
3.7.2 信道模块	53
3.7.3 信号观察模块	55
第4章 模拟调制系统	59
4.1 概述	59
4.2 幅度调制的原理	60
4.2.1 标准调幅(AM)	60
4.2.2 双边带(DSB)调制	64
4.2.3 单边带(SSB)调制	66
4.2.4 残留边带(VSB)调制	69
4.3 线性调制系统的抗噪声性能	72
4.3.1 线性调制相干解调的抗噪声性能	73
4.3.2 调幅信号包络检波的抗噪声性能	75
4.4 非线性调制	78
4.4.1 相位调制与频率调制	78
4.4.2 窄带调频与宽带调频	81
4.4.3 调频信号的产生与解调	85
4.5 调频系统抗噪声性能分析	88
4.6 频分复用	90
4.7 模拟通信系统建模与仿真	92
4.7.1 AM信号调制与解调的Simulink仿真	92
4.7.2 DSB信号调制与解调的Simulink仿真	94
4.7.3 SSB信号调制与解调的Simulink仿真	94
第5章 模拟信号的数字传输	97
5.1 模拟信号的抽样	97
5.2 抽样信号的量化	100
5.2.1 均匀量化	101
5.2.2 非均匀量化	102
5.3 脉冲编码调制(PCM)	106
5.4 差分脉冲编码调制	113
5.4.1 DPCM系统的原理	113
5.4.2 DPCM系统的量化噪声和信号量噪比	114

5.5	增量调制	116
5.6	时分复用	118
5.6.1	时分复用原理	118
5.6.2	数字复接系列	119
5.7	脉冲编码调制(PCM)的 Simulink 仿真	122
第 6 章	数字信号的基带传输	126
6.1	数字基带信号的码型	126
6.2	数字基带信号的功率谱分析	130
6.2.1	二进制数字基带信号的功率谱分析	130
6.2.2	多元数字基带信号的功率谱分析	137
6.3	数字信号的基带传输及码间干扰	138
6.3.1	基带传输系统模型	138
6.3.2	码间干扰	140
6.3.3	奈奎斯特准则	141
6.4	眼图	145
6.5	均衡	148
6.6	数字基带传输仿真	150
6.6.1	数字基带信号波形的 Simulink 仿真	150
6.6.2	数字双相码的 Simulink 仿真	151
6.6.3	双极性码眼图的 Simulink 仿真	153
第 7 章	基本的数字调制系统	156
7.1	二进制振幅调制	156
7.1.1	二进制振幅调制的基本原理	156
7.1.2	2ASK 信号的功率谱与带宽	157
7.1.3	2ASK 信号的解调与系统误码率	158
7.2	二进制频率调制	162
7.2.1	二进制频率调制的基本原理	162
7.2.2	2FSK 信号的功率谱密度与带宽	163
7.2.3	2FSK 信号的解调与系统误码率	165
7.3	二进制绝对相位调制	168
7.3.1	二进制绝对相位调制的基本原理	168
7.3.2	二进制绝对相移信号的功率谱与带宽	170
7.3.3	2PSK 信号的解调与系统误码率	171
7.4	二进制相对相位调制	172
7.4.1	二进制相对相位调制的基本原理	172
7.4.2	2DPSK 信号的功率谱与带宽	173
7.4.3	2DPSK 信号的解调与系统误码率	173
7.5	二进制数字调制系统性能比较	175
7.6	多进制数字调制系统	177
7.6.1	多进制数字振幅调制	177
7.6.2	多进制数字频率调制	179
7.6.3	多进制绝对相位调制	180

7.6.4	多进制相对相位调制	183
7.6.5	多进制数字调制系统的性能比较	185
7.7	二进制数字调制与解调的 Simulink 仿真	186
7.7.1	2ASK 信号调制与解调的 Simulink 仿真	186
7.7.2	2FSK 信号调制与解调的 Simulink 仿真	188
7.7.3	2PSK 信号调制与解调的 Simulink 仿真	188
第 8 章	信道编码与差错控制	193
8.1	概述	193
8.2	纠错编码的基本原理	194
8.3	常用的简单编码	198
8.3.1	奇偶监督码	198
8.3.2	二维奇偶监督码	198
8.3.3	恒比码	199
8.4	线性分组码	199
8.5	循环码	204
8.5.1	循环码原理	204
8.5.2	循环码的编、解码方法	206
8.6	MATLAB/Simulink 信道编码建模与仿真	208
8.6.1	线性分组码建模与仿真	208
8.6.2	循环码建模与仿真	210
第 9 章	同步原理	213
9.1	载波同步	213
9.1.1	插入导频法	213
9.1.2	直接法	214
9.1.3	载波同步系统的性能指标	216
9.2	位同步	217
9.2.1	外同步法	217
9.2.2	自同步法	218
9.2.3	位同步系统的性能指标	219
9.3	群同步	220
9.3.1	集中插入法	221
9.3.2	分散插入法	222
9.3.3	群同步系统的性能指标	223
9.4	MATLAB/Simulink 平方环法载波同步建模与仿真	224
习题部分		228
参考文献		237

第 1 章 绪 论

通信就是信息的传输和交换。通信原理是一门研究信息传输基本原理的课程;其研究对象是通信系统;其研究目的是利用尽可能少的通信资源获得尽可能高的通信质量;其研究方法是将实际通信系统抽象成数学模型,采用数学分析和计算机模拟的方法对其进行研究,从而得到系统性能与系统参数之间的关系。通信系统的研究包括系统分析和系统设计,系统分析指的是在给定系统参数的情况下估算系统的性能,系统设计指的是在给定系统性能要求的情况下设计和优化系统的参数。当系统的数学模型比较复杂,用数学分析方法难以获得系统性能与系统参数之间的定量关系时,可以采用计算机模拟仿真(如用 MATLAB 软件仿真)的方法获得这些参数之间的关系,以达到优化通信系统的目的。

随着当今科学技术的高速发展,计算机仿真技术呈现出越来越强大的活力,它可以减少科学研究的成本和风险、加速科研成果向生产力的转化,已成为科学研究中必不可少的实用技术,是解决工程实际问题的重要手段。MATLAB/Simulink 是大量计算机仿真软件中功能最强大的仿真软件之一,MATLAB/Simulink 能够进行动态系统建模、仿真和综合分析,可以处理离散、连续和混合系统,不仅支持线性系统仿真,还支持非线性系统仿真,在电子信息科学领域有着极为广泛的应用,因此,本书在很多章节中都介绍了有关 MATLAB 软件仿真的内容。

本章主要介绍了信息的度量、通信系统的基本组成、通信系统的分类、通信系统的性能指标等基本概念,以便读者在系统学习各章节之前,对本课程的内容有一个初步的了解。此外,还介绍了 MATLAB/Simulink 系统建模与仿真的基础知识,为读者学习后续章节中有关计算机仿真的内容打下基础。

1.1 消息、信号与信息

在日常生活中,经常会用到消息、信号和信息这三个名词,在不少场合会将它们互相替换而不加以区分。严格来说,它们的含义是不一样的,在这里有必要对它们之间的区别和联系进行说明。

消息(message)是通信系统所传输的具体对象,是对人或事物情况的报道,其表现形式有语言、文字、图形、图像等。

信号(signal)是消息的载体,消息必须转换成信号才能在通信系统中传输和交换。尽管目前已经广泛地利用光信号来实现通信,但整体而言还是以电信号传输为主,所以目前的通信仍然被人们称为电信,即借助电信号来实现信息的传输和交换。

虽然通信系统中传输的是消息,但是通信的目的却是传输信息(information)。那么消息与信息究竟有什么区别呢?信息是指消息中所含有的对接收者有意义的或有效的内容,即接收者原来不知而待知的内容。消息是信息的载体,信息通过消息表达出来。不同形式的消息

可以含有相同的信息,相同的信息可以通过不同的消息来表达。例如,在传输有关天气预报的信息时,既可用语音,也可用文字,两者的表现形式不同,却可以含有同样的信息。

1.1.1 信息的度量

在通信中,对于消息的接收者而言,某些消息比另外一些消息含有更多的信息。例如,发布天气预报“明天的降雨量将有 1 mm”与“明天的降雨量将有 1 m”相比较,在接收者看来,前一消息所表达的事件很可能发生,不足为奇,但后一消息所表达的事件发生的可能性很小,听后使人惊奇。由于消息所表达的事件越不可能发生,越使人感到意外,则消息所含有的信息量越大,所以接收者从后一消息中获得的信息量更大。也就是说,消息中含有的信息量与消息所表达的事件发生的可能性有关,即与事件发生的概率有关。事件发生的概率越大,则给接收者带来的信息量越小,如果事件的发生是必然的(概率为 1),例如“明早太阳将从东方升起”,则该消息含有的信息量为 0。

假设 $P(x)$ 是某一消息所表达的事件发生的概率,则该消息中所含有的信息量 I 是 $P(x)$ 的函数,即 $I=I[P(x)]$,信息量的计算公式为

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

由式(1-1)可知, $P(x)$ 越小, I 越大, $P(x)$ 越大, I 越小。当 $P(x)=1$ 时, $I=0$,此时信息量为 0;而当 $P(x)=0$ 时, $I=\infty$ 。

信息量的单位与对数的底数有关。底数为 2 时,信息量的单位为比特(bit);底数为 e 时,信息量的单位为奈特(nit);底数为 10 时,信息量的单位为哈特(hart)。通常使用的信息量的单位为比特。

设信源是由 M 个符号 $x_1, x_2, \dots, x_M$ 组成的集合,每个符号的出现是相互独立的,它们出现的概率分别为 $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_M)$,则第 i 个符号 x_i 出现的概率为 $P(x_i)$,它含有的信息量为

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

而信源所含的总信息量是 M 个符号所含的信息量之和,即信息具有可加性,信源的总信息量为

$$I[P(x_1)P(x_2)\cdots P(x_M)]=I[P(x_1)]+I[P(x_2)]+\cdots+I[P(x_M)] \quad (1-2)$$

如果离散信源中的 M 个符号等概率出现,当 $M=2$ 时, $P(x_1)=P(x_2)=1/2$,则 $I[P(x_1)]=I[P(x_2)]=1$,即信源中每个符号包含的信息量为 1 bit。同理可得,当 $M=4$ 时,信源中每个符号包含的信息量为 2 bit。由此也可以推导出,当信源中的 $M=2^k$ 个符号等概率出现时,每个符号包含的信息量为 k bit。

1.1.2 平均信息量(熵)的概念

一般来说,信源各符号出现的概率是不相等的,此时各符号所含的信息量也不同。若各符号的出现统计独立,则该信源每个符号所含信息量的统计平均值,即平均信息量为

$$H(s)=\sum_{i=1}^M P(x_i)I(x_i)=-\sum_{i=1}^M P(x_i)\log_2 P(x_i) \quad (1-3)$$

由于平均信息量 $H(s)$ 同热力学中的熵形式相似, 因此又称它为信源的熵, $H(s)$ 具有如下性质。

- (1) $H(s)$ 的物理概念是信源中每个符号的平均信息量, 单位为 bit/sym (sym 指符号)。
- (2) $H(s)$ 是非负的。
- (3) 当信源中各符号等概率出现时, $H(s)$ 具有最大值 $H_{\max}(s)$, 即

$$H_{\max}(s) = \sum_{i=1}^M P(x_i) I(x_i) = \log_2 M \quad (1-4)$$

【例 1-1】 某信源由 0、1、2、3 四个符号组成, 各符号出现的概率分别为 3/8、1/4、1/4、1/8, 且每个符号的出现都是独立的。试求某消息

201020130213001203210100321010023102002010312032100120210

所含的信息量。

解 此消息中, 0 出现 23 次, 1 出现 14 次, 2 出现 13 次, 3 出现 7 次, 共有 57 个符号, 所以该消息的平均信息量为

$$I = 23 \log_2 \frac{8}{3} + 14 \log_2 4 + 13 \log_2 4 + 7 \log_2 8 = 107.55 \text{ (bit)}$$

若用熵的概念来计算, 由式(1-3)得

$$H(s) = -\frac{3}{8} \log_2 \frac{8}{3} - \frac{2}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} = 1.906 \text{ (bit/sym)}$$

则该消息所含的信息量为

$$I = 57 \times 1.906 = 108.642 \text{ (bit)}$$

可知, 尽管两种算法的结果有一定误差, 用平均信息量来计算比较方便, 而且随着消息序列长度的增加, 两种计算结果的误差将趋近于零。

以上介绍了离散信源所含信息量的度量方法。对于连续信源, 信息论中有一个重要的结论, 就是任何形式的待传信息都可以用二进制形式表示而不失其主要内容, 因此, 以上信息量的定义和计算同样适用于连续信源。连续信源的信息量也可用概率密度来描述, 有兴趣的读者可参考有关信息论的专著。

1.2 通信系统的组成

通信的目的是传输信息, 把实现信息传输所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。在实际中, 使用的各类通信系统虽然其表现形式各异, 但都具有一定的共性, 这些共性可以抽象概括为通信系统模型。

1.2.1 通信系统的一般模型

对于基本的点对点通信系统, 可以用图 1-1 所示的一般模型来描述。

信源的作用是将消息转换成随时间变化的原始电信号, 原始电信号通常又称基带信号。常用的信源有电话机的话筒、摄像机、传真机和计算机等。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来, 即将信源产生的原始电信号变换为适合

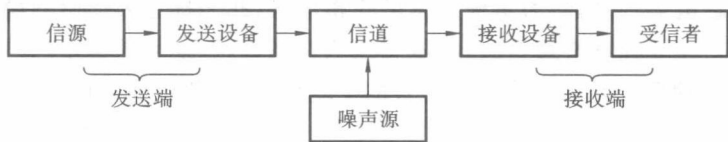


图 1-1 通信系统的一般模型

在信道中传输的信号形式。发送设备一般由调制器、滤波器和放大器等单元组成。在数字通信系统中,发送设备还包含加密器和编码器等。

信道是信号传输的通道,可以是有线的,也可以是无线的。如双绞线、同轴电缆、光缆等是有线信道,中长波、短波、微波中继及卫星中继等是无线信道。

噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。噪声主要来源于热噪声、外部的干扰(如雷电干扰、宇宙辐射、邻近通信系统的干扰等),以及由于信道特性不理想使得信号失真而产生的干扰。为了方便分析,通常将各种噪声抽象为一个噪声源并集中在信道上加入。

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换,如解调、解密、译码等。接收设备的主要任务是从接收到的带有干扰的信号中正确恢复出相应的原始电信号。

受信者又称信宿,其作用是将接收设备恢复出的原始电信号转换成相应的消息。

通信系统的一般模型反映了通信系统的共性。根据所要研究的对象及所关心的问题不同,应使用不同形式的较具体的通信系统模型。通信原理就是围绕通信系统的模型展开讨论的。

1.2.2 模拟通信与数字通信系统模型

通信系统为了实现消息的传递,首先要将消息转换为相应的电信号(以下简称信号)。通常这些信号是以它的某个参量(如振幅、频率、相位等)的变化来表示消息的。按照信号参量取值方式的不同,可将信号分为模拟信号和数字信号。

消息是被载荷在信号的某一参量上的,即该参量是携带着消息的,如果该参量的取值是连续的或取无穷多个值的,则该信号称为模拟信号;如果该参量的取值是离散的,则该信号称为数字信号。可见,区别数字信号与模拟信号的准绳,是看其携带消息的参量的取值是连续的还是离散的,而不是看时间。数字信号的波形在时间上可以是连续的,而模拟信号的波形在时间上可以是离散的。

根据通信系统所传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统,下面分别对这两种系统加以介绍。

1. 模拟通信系统模型

若通信系统中传输的信号是模拟信号,则称该系统为模拟通信系统。模拟通信系统的模型如图 1-2 所示。

在发送端,信源将消息转换成模拟基带信号(原始电信号)。基带信号通常具有很低的频谱分量,如语音信号为 300~3400 Hz,图像信号为 0~6 MHz,一般不宜直接传输,因此,常常需要对基带信号进行转换,由调制器将基带信号转换为适合信道传输的已调信号。已调信号常被称为频带信号,其频谱具有带通形式且中心频率远离零频,适合在信道中传输。



图 1-2 模拟通信系统模型

在接收端,解调器对接收到的频带信号进行解调,恢复出基带信号,再由受信者将其转换成消息。

需要注意的是,在实际的通信系统中,信号的发送和接收还应包括滤波、放大、天线辐射、控制等过程,这些都简化到了调制器和解调器装置中。

2. 数字通信系统模型

若通信系统中传输的信号是数字信号,则称该系统为数字通信系统。数字通信系统的模型如图 1-3 所示。

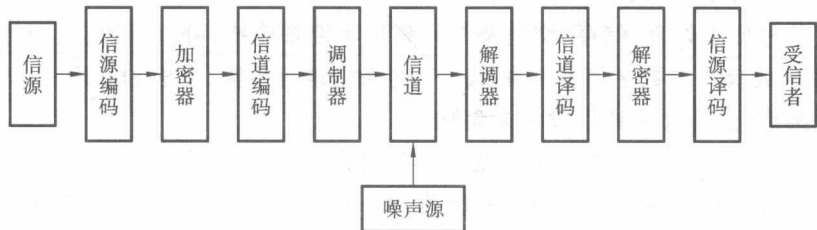


图 1-3 数字通信系统模型

与图 1-2 所示的模拟通信系统模型相比较,数字通信系统模型不仅包括调制解调过程,还包括信源编(译)码、加(解)密、信道编(译)码等。

在数字通信系统中,信源的输出可以是模拟基带信号,也可以是数字基带信号。所以信源编码有两个主要任务:第一,若信源输出的是模拟基带信号,则信源编码将包括模/数转换功能,即把模拟基带信号转换为数字基带信号;第二,实现压缩编码,减小数字基带信号的冗余度,提高传输速率。而信源译码则完成信源编码的逆过程,即解压缩和数/模转换。

在某些数字通信系统中,可以根据需要对所传输的信号进行加密编码。通常采用的方法是,在发送端由加密器将数字信号序列人为地按照一定规律进行扰乱,在接收端再由解密器按照约定的扰乱规律进行解码,恢复出原来的数字信号序列。

信道编码的任务是提高信号传输的可靠性,其主要做法是在数字信号序列中按一定的规则附加一些监督码元,使接收端能根据相应的规则进行检错和纠错。信道译码是信道编码的逆过程,其功能是对所接收的信号进行检错和纠错之后,去掉之前附加上的监督码元,恢复出原来的数字信号序列。

同步是数字通信系统中不可缺少的组成部分。数字通信系统是一个接一个按节拍传输数字信号单元(码元)的,因此,发送端和接收端之间需要有共同的时间标准,以便接收端准确知道接收的每个数字信号单元(码元)的起止时间,从而按照与发送端相同的节拍接收信号。若系统没有同步或失去同步,则接收端将无法正确辨识接收信号中所包含的消息。

3. 数字通信的特点

目前数字通信的发展十分迅速,在整个通信领域中所占的比重日益增长,在大多数通信系

统中已替代模拟通信,成为当前通信技术的主流。这是因为,与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。数字通信的主要优点如下。

(1) 抗噪声性能好。数字信号携带消息的参量只取有限个值,例如,二进制数字信号就只有“1”码和“0”码两种状态。若发送端发送“1”码对应电压值 $A(V)$ 、“0”码对应电压值 $0(V)$,信号经过信道传输后,则叠加噪声的影响会导致波形出现失真。当接收端对接收信号进行抽样判决时,只要在抽样时刻噪声的影响不足以导致信号取值超过判决门限(这里为 $A/2$),则接收端仍可以正确地再生“1”“0”码的波形,完全消除噪声的影响。而模拟信号携带消息的参量是连续取值的,一旦叠加上噪声,即使噪声很小,其影响也无法消除。

(2) 接力通信时无噪声积累。在接力通信系统中,模拟信号每经过一个中继站都有噪声积累,通信质量逐渐下降。而数字信号每经过一个中继站都会再生一次原始信号,只要噪声的影响不使判决出错,就没有噪声积累。

(3) 差错可控。数字通信中可以采用纠错编码等技术,使信号传输出错的概率降低。

(4) 数字通信易于进行加密处理,保密性强。

(5) 数字信号便于处理、储存、交换及与计算机等设备连接,可以使语音、图像、文字、数据等多种业务变换成统一的数字信号并在同一个网络中进行传输、交换和处理。

(6) 易于集成化,从而使通信设备微型化。

数字通信的主要缺点是占用频带较宽。一般而言,数字通信的许多优点都是用比模拟通信占用更宽的系统频带换来的。以电话系统为例,一路模拟电话信号通常只占用 4 kHz 左右的带宽,而一路传输质量相同的数字电话信号则可能占用 $20\sim 60\text{ kHz}$ 的带宽,因此数字通信的频带利用率不高。如 PSNT(公众业务电话网)中采用的是 PCM 编码,每路话音信号编码后的信息速率为 64 kbit/s ,相应的传输带宽约为 64 kHz 。在系统传输带宽紧张的情况下,数字通信的这一缺点显得尤为突出。此外,由于数字通信对同步的要求高,在通信中要求发送端和接收端保持严格同步,因此数字通信系统的设备一般比模拟通信系统的复杂。

目前,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用,以及窄带调制技术、编码压缩技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点已经弱化。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

通信系统可以从不同角度进行分类,下面介绍几种较常见的分类方法。

1. 按传输媒质分类

按传输信号媒质的不同,通信系统可分为有线和无线两大类。有线通信系统是用导线作为媒质来完成通信的,如架空明线、双绞线、同轴电缆、光纤等,无线通信系统是依靠电磁波在空间传播来完成通信的,如微波中继传播、卫星中继传播等。

2. 按信号的特征分类

按照通信系统中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信

系统和数字通信系统。

3. 按通信业务分类

按通信业务类型的不同,通信系统可以分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统和图像通信系统等。

4. 按调制方式分类

按信道中传输的信号是否经过调制,通信系统分为基带传输系统和频带传输系统。基带传输是将没有经过调制的信号直接传输,频带传输是对基带信号进行调制后再将其送到信道中传输。各种常用的调制方式将在第3章和第5章中详细介绍。

5. 按工作频段分类

按照通信设备工作频率的不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信、远红外通信等。表1-1中列出了通信中使用的通信频段、常用传输媒质及主要用途。

表1-1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波长	名称与符号	传输媒质	主要用途
3 Hz~30 kHz	$10^4 \sim 10^8$ m	甚低频 (VLF)	有线线对、 长波无线电	音频电话、岸与潜艇通信、超远距离导航
30~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 (LF)	有线线对、 长波无线电	电力线通信、地下岩层通信、远距离导航
300 kHz~3 MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 (MF)	同轴电缆、 中波无线电	调幅广播、业余无线电、船用通信、中距离导航
3~30 MHz	$10 \sim 10^2$ m	高频 (HF)	同轴电缆、 短波无线电	短波广播、移动无线电、军用无线电通信、业余无线电
30~300 MHz	1~10 m	甚高频 (VHF)	同轴电缆、 米波无线电	调频广播、电视、雷达、军用无线电通信
300 MHz~3 GHz	0.1~1 m	特高频 (UHF)	波导、 分米波无线电	陆地移动通信、电视、超短波电台及对讲机
3~30 GHz	1~10 cm	超高频 (SHF)	波导、 厘米波无线电	微波视距接力、卫星和空间通信、雷达
30~300 GHz	1~10 mm	极高频 (EHF)	波导、 毫米波无线电	微波视距接力、雷达、射电天文学
$1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ GHz	$3 \times 10^{-7} \sim$ 3×10^{-6} m	紫外、可见 光或红外	光纤、 激光空间传播	光通信

6. 按传输信号的复用方式分类

传送多路信号有三种基本的复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同的信号占据不同的频率范围,常在传统的模拟通信中采用;时分复用是用脉冲调制的方法使不同的信号占据不同的时间区间,大多用于数字通信;而码分复用则是用一组正交的脉冲序列分别携带不同的信号,主要应用于扩频通信系统。

1.3.2 通信方式

对于点与点之间的通信,按消息传输的方向与时间的关系,可将通信方式分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

单工通信是指消息只能单方向传输的工作方式,如图 1-4(a)所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。

半双工通信是指通信双方都能收发消息,但不能同时收发消息的工作方式,如图 1-4(b)所示。无线对讲机就是这种通信方式的典型例子。

全双工通信是指通信双方可以同时收发消息的工作方式,如图 1-4(c)所示。普通电话就是一种常见的全双工通信方式。

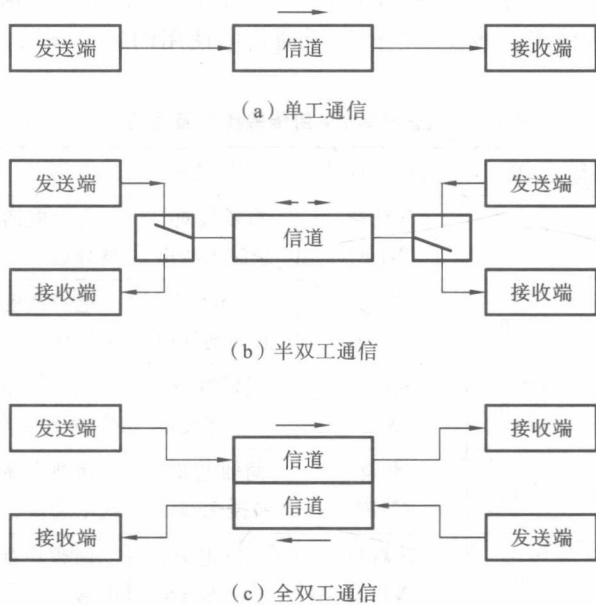


图 1-4 通信方式示意图

1.4 通信系统的性能指标

衡量和评价一个通信系统的好坏,必然要涉及系统的性能指标。通信系统的性能指标归纳起来有以下几个方面。

- (1) 有效性:通信系统传输信息的“速率”问题,即快慢问题。
- (2) 可靠性:通信系统传输信息的“质量”问题,即好坏问题。
- (3) 适应性:通信系统适用的环境条件。
- (4) 经济性:通信系统的成本问题。
- (5) 保密性:通信系统对所传信号采取的加密措施,这点对军用系统尤为重要。
- (6) 标准性:通信系统的接口、各种结构和协议是否符合国家、国际标准。