



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

通信原理

主编 胡岸勇 郝立强 主审 张鸣瑞

全程导学及习题全解

第六版

- ◆知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆习题详解 精确解答教材习题
- ◆提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House



21 世纪高等
ERSHIYISHIJIGAODENG

TN911/42=2C

2008

同步辅导
TONGBUFUDAO

通信原理

主编 胡岸勇 郝立强 主审 张鸣瑞

全程导学及习题全解

第六版

- ◆ 知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆ 习题详解 精确解答教材习题
- ◆ 提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

通信原理 (第六版) 全程导学及习题全解/胡岸勇, 郝立强主编. —北京: 中国时代经济出版社, 2008. 3

(21 世纪高等院校经典教材同步辅导)

ISBN 978-7-80221-519-1

I. 通… II. ①胡…②郝… III. 通信理论—高等学校—教学参考资料 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 197400 号

通信原理
(第六版)
全程导学及习题全解

胡岸勇
郝立强
主编

出版者	中国时代经济出版社
地址	北京市西城区车公庄大街乙 5 号 鸿儒大厦 B 座
邮政编码	100044
电话	(010)68320825(发行部) (010)88361317(邮购)
传真	(010)68320634
发行	各地新华书店
印刷	北京地质印刷厂
开本	787×1092 1/16
版次	2008 年 3 月第 1 版
印次	2008 年 3 月第 1 次印刷
印张	11.75
字数	270 千字
印数	1~5000 册
定价	15.00 元
书号	ISBN 978-7-80221-519-1

版权所有 侵权必究

内容简介

本书是根据国防工业出版社出版的、樊昌信教授主编的《通信原理》(第六版)教材所编写的辅导用书。全书共14章,第1章~第5章:阐述通信基础知识和模拟通信原理。第6章~第10章:主要论述数字通信、模拟信号的数字传输和数字信号的最佳接收原理。第11章~第14章:讨论数字通信中的编码和同步等技术,以及简要介绍通信网的概念。与教材相对应,每章分为4部分,分别为知识点要点归纳、典型例题讲解、思考题解答和教材的习题全解。本书可以作为在校大学生和自考生学习《通信原理》课程的教学辅导材料和复习参考用书及工科考研强化复习的指导书,也可以作为《通信原理》课程函授和成人教育的配套教材及教师的教学参考书。

前 言

“通信原理”是通信技术的理论基础课程,也是理工科研究生入学考试的内容。为了帮助广大学生更好的学习和掌握樊昌信教授主编的《通信原理》(第六版)课程的精髓和解题方法,我们编写了本辅导书。本书根据《通信原理》教材中每一章的内容,编写了以下几方面的内容:

本章知识要点:总结了各章中的主要知识点,理清各知识点之间的脉络联系,囊括了主要定理及相关推论和重要公式等,帮助读者迅速了解本章知识要点,系统理解各章的体系结构,奠定扎实的理论基础。典型例题讲解:精选具有代表性的重点题型进行讲解,分析问题的突破点,指引解决问题的思路。思考题解答:对教材中的思考题进行解答。习题全解:依据教材各章节的习题,进行详尽的解答。

本书由胡岸勇、郝立强等同志编写,全书由张鸣瑞教授主审。张鸣瑞老师高深的造诣、严谨的治学态度,使编者受益匪浅,对此深表感谢。本书编写过程中得到崔建宗、苗明川、侯钢、吴星明等同志的大力协助,本书在编写过程中得到中国时代经济出版社的领导和有关编辑的大力支持,为此表示衷心的感谢!对《通信原理》(第六版)教材的作者樊昌信教授表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书难免有缺点和疏漏,存在一些不妥之处,敬请各位专家及广大读者批评指正。

编者

2008年1月

目 录

第一章 绪 论	1
本章知识要点	1
典型例题讲解	2
思考题解答	3
习题分析与全解	5
第二章 确知信号	10
本章知识要点	10
典型例题讲解	11
思考题解答	12
习题分析与全解	13
第三章 随机过程	18
本章知识要点	18
典型例题讲解	21
思考题解答	23
习题分析与全解	25
第四章 信 道	36
本章知识要点	36
典型例题讲解	37
思考题解答	38
习题分析与全解	39
第五章 模拟调制系统	42
本章知识要点	42
典型例题讲解	45
思考题解答	49
习题分析与全解	50
第六章 数字基带传输系统	63
本章知识要点	63
典型例题讲解	65
思考题解答	67
习题分析与全解	71
第七章 数字带通传输系统	90
本章知识要点	90
典型例题讲解	91
思考题解答	93
习题分析与全解	95

第八章 新型数字带通调制技术	110
本章知识要点	110
思考题解答	110
习题分析与全解	111
第九章 模拟信号的数字传输	114
本章知识要点	114
典型例题讲解	115
思考题解答	116
习题分析与全解	118
第十章 数字信号的最佳接收	126
本章知识要点	126
典型例题讲解	129
思考题解答	131
习题分析与全解	132
第十一章 差错控制编码	142
本章知识要点	142
典型例题讲解	143
思考题解答	145
习题分析与全解	147
第十二章 正交编码与伪随机序列	161
本章知识要点	161
典型例题讲解	162
思考题解答	163
习题分析与全解	166
第十三章 同步原理	169
本章知识要点	169
典型例题讲解	170
思考题解答	171
习题分析与全解	173
第十四章 通信网	176
本章知识要点	176
思考题解答	177
习题分析与全解	180

第一章 绪 论

本章知识要点

1-1 通信的基本概念

通信的目的是传递消息中所包含的信息。消息是物质或精神状态的一种反映,在不同时期具有不同的表现形式。信息是消息中包含的有效内容。

1-2 通信系统的组成

1. 通信系统的一般模型如图 1-1 所示。

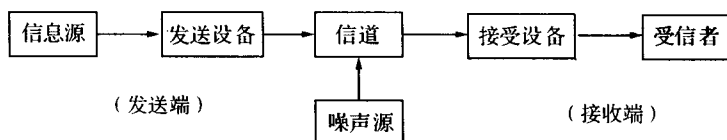


图 1-1 通信系统一般模型

2. 模拟信号和数字信号

按信号参量的取值方式不同,信号可分为模拟信号和数字信号。模拟信号指信号参量取值连续(不可数、无穷多);数字信号指信号参量取值仅有限个值。

3. 模拟通信系统模型如图 1-2 所示。

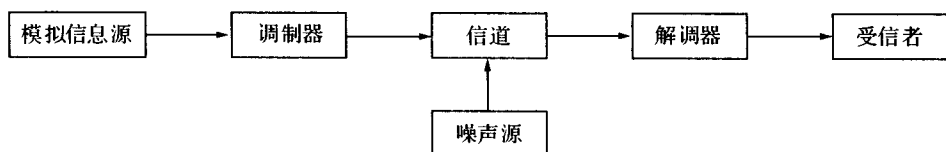


图 1-2 模拟通信系统模型

4. 数字通信系统模型如图 1-3 所示。

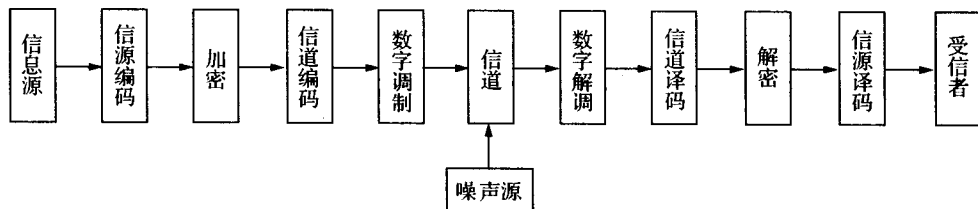


图 1-3 数字通信系统模型

5. 数字通信的特点

数字通信具有如下优点:抗干扰能力强,噪声不积累;传输差错可控;便于用现代数字信号处理技术进行处理、变换和存储;易于集成,使通信设备微型化,重量轻;易于加密处理,且保密性好。

1-3 通信系统分类与通信方式

1. 通信系统可以按不同的标准进行分类。按通信业务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。按调制方式分类可分为基带传输系统和带通传输系统。按信号特征分类可分为模拟通信系统和数字通信系统。按传输媒质分类可分为有线通信系统和无线通信系统。按工作波长分类可分为长、中、短波及红外通信。

2. 通信方式指通信双方的工作方式或信号传输方式。按消息传输的方向和时间可以分为单工、半双工及全双工通信。在数据通信中,按数据代码排列的方式不同,可分为并行传输和串行传输。

1-4 信息及其度量

信息指消息中包含的有效内容,或者说是受信者预先不知而待知的内容。

信息量:消息所含的信息量 I 与消息 x 出现的概率 $P(x)$ 间的关系式:

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

当 a 取 2 时,信息量的单位是比特(bit)。

信源中每个符号的平均信息量计算公式:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (\text{bit/符号})$$

假设信源中有 M 个符号,当信息源的每个符号等概率出现时,信源具有最大的熵:

$$H = \log_2 M \quad (\text{bit/符号})$$

1-5 通信系统主要性能指标

通信系统的指标有有效性、可靠性、适用性、经济性、标准性、可维护性等。

模拟通信系统的有效性用传输带宽来衡量,可靠性用输出信噪比来衡量。

数字通信系统的有效性用传输速率和频带利用率来衡量,可靠性用差错率来衡量。

典型例题讲解

【例题 1-1】 已知二元离散信源只有“0”、“1”两种符号,若“0”出现概率为 $1/3$,求出现“1”所含的信息量。

【解】 由于全概率为 1,因此出现“1”的概率为 $2/3$ 。由信息量定义式可知,出现“1”的信息量

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

$$I(1) = \log_2 \frac{3}{2} = 0.585 \text{ bit}$$

【例题 1-2】 已知英文字母 e 和 z 出现的概率分别为 0.105 和 0.001,求英文字母 e 和 z 的信息量。

【解】 e 的信息量

$$I(e) = -\log_2 0.105 = 3.24 \text{ bit}$$

z 的信息量

$$I(z) = -\log_2 0.001 = 9.97 \text{ bit}$$

【例题 1-3】 某离散信源由 0、1、2、3 四种符号组成,其概率分布为

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ \frac{3}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \end{bmatrix}$$

求消息 201 020 130 213 001 203 210 100 321 010 023 102 002 010 312 032 100 120 210 的信息量。

【解】 此消息总长为 57 个符号,其中 0 出现 23 次,1 出现 14 次,2 出现 13 次,3 出现 7 次。由如下公式可求得此消息的信息量

$$I = - \sum_{i=1}^n n_i \log_a P(x_i)$$

$$I = -23 \log_2 \frac{3}{8} - 14 \log_2 \frac{1}{4} - 13 \log_2 \frac{1}{4} - 7 \log_2 \frac{1}{8}$$

$$\begin{aligned}
 &= 32.55 + 28 + 26 + 21 \\
 &= 107.55 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

【例题 1-4】 求例题 1-3 中消息的平均信息量。

【解】 每个符号所含信息量的统计平均值为

$$\begin{aligned}
 H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \\
 H &= - \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \\
 &= 1.906 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

因为消息有 57 个符号,所以该消息所含信息量为

$$I = 57 \times 1.906 \approx 108.64 \text{ bit}$$

说明:与例题 1-3 相比,总信息量的结果略有差异,原因在于两者平均处理的方法不同。随着消息中符号数的增加,这种误差会逐渐减小。

顺便指出,不同的离散信息源可能有不同的熵值。无疑,我们期望熵值愈大愈好,可以证明,信息源的最大熵发生在每一个符号等概率出现时,即 $P(x_i) = 1/n$,最大熵值等于 $\log_2 n$ (bit/符号)。

思考题解答

1-1 以无线广播和电视为例,说明图 1-1 模型中信息源、受信者及信道包含的具体内容是什么?

【答】 在无线广播中,信息源包括的具体内容为从声音转换而成的原始电信号。受信者中包括的具体内容就是从复原的原始电信号转换成的声音。

在电视系统中,信息源包括的具体内容为从影像转换而成的电信号。受信者中包括的具体内容就是从复原的原始电信号转换成的影像。

二者信道中包括的具体内容分别是载有声音和影像信息的无线电波。

1-2 何谓数字信号? 何谓模拟信号? 两者的根本区别是什么?

【答】 数字信号指电信号的参量仅可能取有限个值;模拟信号指电信号的参量可以取连续值。它们的区别在于电信号参量的取值是连续还是离散可数。

1-3 何谓数字通信? 数字通信有哪些优缺点?

【答】 传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。其优缺点:

(1) 抗干扰能力强。

(2) 传输差错可以控制。

(3) 便于加密处理。信息传输的安全性和保密性越来越重要,数字通信的加密处理的比模拟通信容易得多,以话音信号为例,经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密、解密处理。

(4) 便于存储、处理和交换。数字通信的信号形式和计算机所用信号一致,都是二进制代码,因此便于与计算机联网,也便于用计算机对数字信号进行存储、处理和交换,可使通信网的管理、维护实现自动化、智能化。

(5) 设备便于集成化、微型化。数字通信采用时分多路复用,不需要体积较大的滤波器。设备中大部分电路是数字电路,可用大规模和超大规模集成电路实现,因此体积小、功耗低。

(6) 便于构成综合数字网和综合业务数字网。采用数字传输方式,可以通过程控数字交换设备进行数字交换,以实现传输和交换的综合。另外,电话业务和各种非话业务都可以实现数字化,构成综合业务数字网。

(7) 占用信道频带较宽。一路模拟电话的频带为 4kHz 带宽,一路数字电话约占 64kHz。

1-4 数字通信系统的一般模型中各组成部分的主要功能是什么?

【答】 数字通信系统的模型见图 1-4 所示。其中信源编码与译码的功能是提高信息传输的有效性和进行模数转换;信道编码与译码的功能是增强数字信号的抗干扰能力;加密与解密的功能是保证传输信息

的安全;数字调制与解调的功能是把数字基带信号搬移到高频处以便在信道中传输;同步的功能是收发双方在时间上保持步调一致,保证数字通信系统有序、准确、可靠的工作。

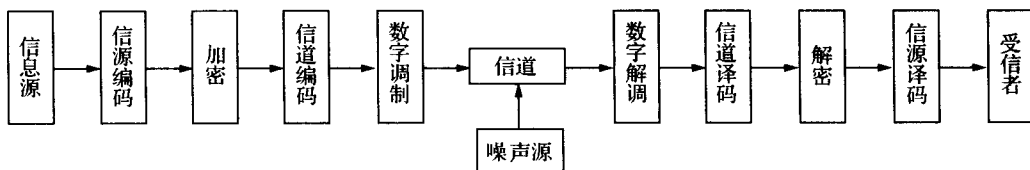


图 1-4 数字通信系统模型

1-5 按调制方式,通信系统如何分类?

【答】 按调制方式分类。

根据信道中传输的信号是否经过调制,可将通信系统分为基带传输系统和带通(频带或调制)传输系统。基带传输是将未经调制的信号直接传送,如市内电话、有线广播;带通传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多,表 1-1 列出了一些常见的调制方式。

表 1-1 常见调制方式及用途

调制方式			用途举例
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅 AM	广播
		双边带调幅 DSB	立体声广播
		单边带调幅 SSB	载波通信、无线电台、数据传输
		残留边带调幅 VSB	电视广播、数据传输、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	振幅键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
		相移键控 PSK、DPSK、QPSK	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制 QAM、MSK	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉总目模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM(PWM)	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 DM(ΔM)	军用、民用数字电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他话音编码方式 ADPCM	中速数字电话

1-6 按传输信号的特征,通信系统如何分类?

【答】 按信号特征信道中传输的信号可分为是模拟信号和数字信号,相应的系统分别为模拟通信系统和数字通信系统。

1-7 按传输信号的复用方式,通信系统如何分类?

【答】 频分复用(Frequency-Division Multiplexing)

时分复用(Time-Division Multiplexing)

码分复用(Code-Division Multiplexing)

1-8 单工、半双工及全双工通信方式是按什么标准分类的?解释它们的工作方式并举例说明。

【答】 它们是按照消息传递的方向与时间关系分类。单工通信是指消息只能单向传输的工作方式,通信双方只有一个进行发送,另一个只能接受,如广播、遥测、无线寻呼等。半双工通信指通信双方都能进行收发消息,但是不能同时进行收发的工作方式,如使用同一载频的普通对讲机。全双工通信是指通信双方能同时进行收发消息的工作方式,如电话等。

1-9 按数字信号码元的排列顺序可分为哪两种通信方式? 它们的适用场合及特点?

【答】 分为并行传输和串行传输。并行传输是将代表信息的数字信号码元以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输,其优势是传输速度快,无需附加设备就能实现收发双方字符同步,缺点是成本高,常用于短距离传输。串行传输是将代表信息的数字信号码元以串行方式一个码元接一个码元地在一条信道上传输,其优点是成本低,缺点是传输速度慢,需要外加措施解决收发双方码组或字符同步,常用于远距离传输。

1-10 通信系统的主要性能指标是什么?

【答】 通信系统的性能指标涉及有效性、可靠性、适应性、经济性、标准性、可维护性等。其中有效性和可靠性是主要指标,在模拟通信系统有效性可用有效传输频带来度量,同样的消息用不同的调制方式,则需要不同的频带宽度,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。具体的指标有码元传输速率 R_B , 信息传输速率 R_b , 频带利用率等。数字通信中的可靠性用差错率来衡量。

具体差错率指标有误码率 P_e 、误信率 P_b 。

1-11 衡量数字通信系统有效性和可靠性的性能指标有哪些?

【答】 有效性用传输速率和频带利用率来衡量,可靠性用差错率来衡量,差错率有误码率和误比特率。

1-12 何谓是码元速率和信息速率? 它们之间的关系如何?

【答】 码元速率定义为每秒钟传送码元的数目,单位为波特。

信息速率定义为每秒钟传递的信息量,单位是 bit/s。

在二进制下,码元速率与信息速率在数值上相等,只是单位不同;在 N 进制下,设信息速率为 R_b (bit/s), 码元速率为 R_{BN} , 则有

$$R_b = R_{BN} \log_2 N \text{ (bit/s)}$$

1-13 何谓误码率和误信率? 它们之间的关系如何?

【答】 误码率 P_e 是码元在传输系统中被传错的概率。指错误接收的码元数在传输总码元数中所占比例

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

误信率 P_b 是码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。误信率又称误比特率,是指错误接收的比特数在传输总比特数中占的比例

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

它们是描述差错率的两种不同表述。在二进制中,二者数值相等(即 $P_e = P_b$)。

1-14 消息中包含的信息量与以下哪些因素有关?

- (1) 消息出现的概率;
- (2) 消息的种类;
- (3) 消息的重要程度。

【答】 (1)。

习题分析与全解

1-1 已知英文字母 e 出现的概率为 0.105, x 出现的概率为 0.002, 试求 e 及 x 的信息量。

【考点分析】 信息量计算公式

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

【解题过程】 字母 e 出现的概率 $P(e) = 0.105$, 字母 x 出现的概率 $P(x) = 0.002$, 由公式可得其信息量分别为

$$I_e = \log_2 \frac{1}{P(e)} = 3.25 \text{ bit}$$

$$I_x = \log_2 \frac{1}{P(x)} = 8.97 \text{ bit}$$

1-2 某信息源的符号集由 A, B, C, D 和 E 组成, 设每一符号独立出现, 其出现概率分别为 $1/4, 1/8, 1/8, 3/16$ 和 $5/16$ 。试求该信息源符号的平均信息量。

【考点分析】 平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/符号})$$

【解题过程】 由题意可知

$$P(A) = \frac{1}{4}, P(B) = \frac{1}{8}, P(C) = \frac{1}{8}, P(D) = \frac{3}{16}, P(E) = \frac{5}{16}$$

因此直接利用公式可得

$$\begin{aligned} H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \\ &= 2.23 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

1-3 设有四个符号, 其中前三个符号的出现概率分别为 $1/4, 1/8, 1/8$ 和 $1/2$, 且各符号的出现是相对独立的。试计算该符号集的平均信息量。

【考点分析】 平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/符号})$$

【解题过程】 由题意可知

$$P(A) = \frac{1}{4}, P(B) = \frac{1}{8}, P(C) = \frac{1}{8}, P(D) = \frac{1}{2}$$

因此直接利用公式可得

$$\begin{aligned} H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \\ &= 1.75 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

1-4 一个由字母 A, B, C, D 组成的字, 对于传输的每一个字母用二进制脉冲编码, 00 代替 A, 01 代替 B, 10 代替 C, 11 代替 D, 每个脉冲宽度为 5ms。

(1) 不同的字母是等可能出现时, 试计算传输的平均信息速率;

(2) 若每个字母出现的可能性分别为

$$P_A = \frac{1}{5}, P_B = \frac{1}{4}, P_C = \frac{1}{4}, P_D = \frac{3}{10}$$

试计算传输的平均信息速率。

【考点分析】 平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/符号})$$

信息源的最大熵(每一个符号等概率出现时),

$$H = \log_2 n (\text{bit/符号})$$

信息速率

$$R_b = R_{BN} \times H$$

【解题过程】 (1) 不同字母等概率出现时, 每个字母平均信息量达到信息源的最大熵值

$$H = \log_2 4 = 2(\text{bit/符号})$$

字母采用二进制脉冲编码, 每个脉冲宽度 5ms, 所以每个字母的持续时间是 10ms, 字母的传输速率为

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 \text{Baud}$$

$$R_b = R_B \times H = 200 \text{bit/s}$$

(2) 每个字母不等概率出现时, 由平均信息量公式可得

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) = 1.985 \text{bit/符号}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H = 198.5 \text{bit/s}$$

1-5 国际摩尔斯电码用“点”和“划”的序列发送英文字母, “划”用持续 3 单位的电流脉冲表示, “点”用持续 1 个单位的电流脉冲表示; 且“划”出现的概率是“点”出现概率的 1/3。

(1) 计算“点”和“划”的信息量;

(2) 计算“点”和“划”的平均信息量。

【考点分析】 信息量计算公式

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

平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/符号})$$

【解题过程】 (1) 由题意可知

$$P(\cdot) = \frac{1}{3} P(-) \quad \text{①}$$

$$P(\cdot) + P(-) = 1 \quad \text{②}$$

联立两个等式解得

$$P(\cdot) = 0.75 \quad P(-) = 0.25$$

由信息量公式求得

$$I(\cdot) = \log_2 (0.75) = 0.415 \text{bit}$$

$$I(-) = \log_2 4 = 2 \text{bit}$$

(2) 由平均信息量公式可知, “点”和“划”的平均信息量为

$$H = \frac{3}{4} I(\cdot) + \frac{1}{4} I(-) = 0.81 \text{bit/符号}$$

1-6 设一信息源的输出由 128 个不同的符号组成, 其中 16 个出现的概率为 1/32, 其余 112 个出现概率为 1/224。信息源每秒发出 1000 个符号, 且每个符号彼此独立。试计算该信息源的平均信息速率。

【考点分析】 平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/符号})$$

信息速率计算公式

$$R_b = R_B \times H(x) \text{bit/s}$$

【解题过程】 $H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) = 6.404 \text{bit/符号}$

已知码元速率 $R_B = 1000 \text{Baud}$, 所以平均信息速率为 $R_b = R_B \times H(x) = 6404 \text{bit/s}$

1-7 设一数字传输系统传送二进制码元的速率为 2400B, 试求该系统的信息速率; 若该系统改为传送 16 进制信号码元, 码元速率不变, 则这时的系统信息速率为多少 (设各码元独立等概率出现)?

【考点分析】 码元速率与信息速率的关系。

【解题过程】 传输二进制码元时,

$$R_b = 2400 \times \log_2(2) = 2400 \text{ bit}$$

传输 16 进制码元时,

$$R_b = 2400 \times \log_2(16) = 9600 \text{ bit}$$

1-8 若题 1-2 中信息源以 1000B 速率传送信息。

(1) 试计算传送 1h 的信息量;

(2) 试计算传送 1h 可能达到的最大信息量。

【考点分析】 平均信息量计算公式

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/符号)}$$

信息速率计算公式 $R_b = R_B \times H(x) \text{ bit/s}$

信息源的最大熵(每一个符号等概率出现时),

$$H = \log_2 n \text{ (bit/符号)}$$

信息总量计算公式

$$I = R_b \times T \text{ bit}$$

【解题过程】 由习题 1-2 结果得

$$H(x) = 2.23 \text{ bit/符号}$$

则平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H(x) = 2230 \text{ bit/s}$$

1h 的信息量为

$$I = R_b \times T = 8.028 \times 10^6 \text{ bit}$$

当信息源的每个符号等概率出现时,信息源的熵最大

$$H = \log_2 5 = 2.322 \text{ bit/符号}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H(x) = 2322 \text{ bit/s}$$

传送 1h 的最大信息量为

$$I = R_b \times T = 8.359 \times 10^6 \text{ bit}$$

1-9 如果二进独立等概信号的码元宽度为 0.5ms,求 R_B 和 R_b ;若改为四进制信号,码元宽度为不变,求传码率 R_B 和独立等概时的传信率 R_b 。

【考点分析】 信息源的最大熵(每一个符号等概率出现时),

$$H = \log_2 n \text{ (bit/符号)}$$

信息速率计算公式

$$R_b = R_B \times H(x) \text{ bit/s}$$

【解题过程】 二进制中,不同码元等概率出现时,每个码元平均信息量为

$$H = \log_2 2 = 1 \text{ (bit/符号)}$$

码元的传输速率为

$$R_B = \frac{1}{T} = 2000 \text{ Baud}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H(x) = 2000 \text{ bit/s}$$

同理,四进制时不同码元等概率出现时每个码元平均信息量为

$$H = \log_2 4 = 2 \text{ (bit/符号)}$$

码元的传输速率为

$$R_B = \frac{1}{T} = 2000 \text{ Baud}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H(x) = 4000 \text{ bit/s}$$

1-10 已知某四进制数字传输系统的传信率为 2400b/s,接收端在 0.5h 内共收到 216 个错误码元,试计算该系统的误码率 P_e 。

【考点分析】 码元速率与信息速率的关系及误码率的计算公式。

【解题过程】 因为是四进制传输,故其传码率为

$$R_B = 2400 / \log_2 4 = 1200 \text{ Baud}$$

0.5h 内的传输码元数目为

$$1200 \times 0.5 \times 3600 = 2.16 \times 10^6$$

其误码率为

$$P_e = 216 / (2.16 \times 10^6) = 10^{-4}$$

第二章 确知信号

本章知识要点

2-1 确知信号的类型

确知信号是指其取值在任何时间都是确定的和可预知的信号,通常用数学公式表示它在任何时间的取值。按照是否具有周期重复性,确知信号可以分为周期信号和非周期信号。在数学上,若信号 $s(t)$ 满足下述条件:

$$s(t) = s(t + T_0), \quad -\infty < t < \infty$$

式中 $T_0 > 0$, 为常数, 则称此信号为周期信号, 否则称为非周期信号, 并将此最小 T_0 称为此信号的周期, 将 $1/T_0$ 称为基频 f_0 。

按照能量是否有限区分, 信号可以分为能量信号和功率信号两类。若信号的能量是一个正的有限的值, 即

$$0 < E = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt < \infty$$

则称此信号为能量信号。

信号的平均功率 P 定义为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s^2(t) dt$$

2-2 确知信号的频域特性

1. 周期信号的频谱

设一周期信号 $s(t)$ 的周期为 T_0 , 则其频谱函数定义为

$$C_n(f) = C(nf_0) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} s(t) e^{-j2\pi n f_0 t} dt$$

式中 $f_0 = 1/T_0$; n 为整数, $-\infty < n < \infty$; $C(nf_0)$ 表示 c 是 nf_0 的函数, 并简记为 c_n 。

2. 能量信号的频谱密度

设一个能量信号 $s(t)$, 将它的傅里叶变换 $S(f)$ 定义为它的频谱密度

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

而 $s(f)$ 的逆傅里叶变换就是原信号

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{-j2\pi f t} df$$

3. 能量信号的能谱密度

设一个能量信号 $s(t)$ 的能量为 E , 则此信号的能量为

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)^2 dt$$

将此信号的傅里叶变换的模平方称为此能量信号的能谱密度, 即

$$G(f) = |S(f)|^2 \quad (\text{J/Hz})$$

4. 功率信号的功率谱密度

将能量无穷大的信号截断为长度为 T 的能量有限信号, 对此能量有限信号求出其能谱密度函数