



高等学校电子信息类规划教材配套辅导

通信原理 第5版

习题精解

樊昌信等主编《通信原理》第5版同步辅导

夏应清 主编
众邦考试教育研究所 策划



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



高等学校电子信息类规划教材配套辅导

通信原理习题精解

(第5版)

樊昌信等编著《通信原理》第五版同步辅导

夏应清 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据

通信原理习题精解 / 夏应清主编. —成都:西南交通大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-81104-346-7

I. 通… II. 夏… III. 通信理论 - 高等学校 - 解题 IV. TN911 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070455 号

通信原理(第5版)习题精解

夏应清 主编

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 胡芬蓉

封面设计 展 宇

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

武汉武铁印刷厂印刷

*

成品尺寸:170 mm × 230 mm 印张:20.25

字数:545 千字 印数:1-6 000 册

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-346-7

定价:22.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562



前 言

《通信原理》是电子信息工程和通信工程等专业本科生的主要专业课,它是以高频电子线路、信号与系统、概率论与随机过程为基础的本科高年级课程。该课程对学生在通信与信息系统等领域的基础知识和独立学习能力都有较高的要求。

《〈通信原理〉习题精解》是为了配合由国防工业出版社出版、樊昌信教授主编的《通信原理》(第5版)的教学和学习,根据编者多年来在本课程教学实践过程中对学生深入地了解和分析后总结编写而成的一本教学参考书。

本书所安排内容和次序与教材一致,每章中有5节:第1节为本章的教学大纲要求;第2节全面总结并归纳了通信原理的基本概念、基本原理与分析方法、重要结论和复习要点;第3节精选典型例题进行分析,这些例题大多是历届通信原理研究生入学考试试题,我们对其进行了解析,给出了解题思路和方法;第4节为该章配套教材中的思考题详解;第5节为该章配套教材中全部习题的详细分析和解答,供读者参考。

全书由夏应清负责编写,吴玲、向常州、袁泉、周兆峰和刘莉等协助编写了各章有关内容。

限于编者水平有限及编写时间仓促,书中的不足和错漏之处在所难免,我们诚恳地希望读者提出宝贵意见和建议,也借此机会向各位读者、《通信原理》(第5版)的编者及在编写过程中关心和给予我们帮助的领导、编辑、同事和朋友表示由衷感谢。

编 者

2006年7月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 大纲要求	1
1.2 基本概念与考试要点	1
1.3 典型例题分析	6
1.4 思考题精解	8
1.5 习题全解	10
第2章 随机信号分析	13
2.1 大纲要求	13
2.2 基本概念与考试要点	13
2.3 典型例题分析	23
2.4 思考题精解	32
2.5 习题全解	35
第3章 信 道	45
3.1 大纲要求	45
3.2 基本概念与考试要点	45
3.3 典型例题分析	54
3.4 思考题精解	58
3.5 习题全解	60
第4章 模拟调制系统	67
4.1 大纲要求	67
4.2 基本概念与考试要点	67
4.3 典型例题分析	78
4.4 思考题精解	84
4.5 习题全解	86
第5章 数字基带传输系统	102
5.1 大纲要求	102
5.2 基本概念与考试要点	102
5.3 典型例题分析	111
5.4 思考题精解	117
5.5 习题全解	120
第6章 正弦载波数字调制系统	141
6.1 大纲要求	141
6.2 基本概念与考试要点	141



6.3	典型例题分析	152
6.4	思考题精解	160
6.5	习题全解	165
第7章	模拟信号的数字传输	178
7.1	大纲要求	178
7.2	基本概念与考试要点	178
7.3	典型例题分析	188
7.4	思考题精解	194
7.5	习题全解	196
第8章	数字信号的最佳接收	206
8.1	大纲要求	206
8.2	基本概念与考试要点	206
8.3	典型例题分析	214
8.4	思考题精解	221
8.5	习题全解	225
第9章	差错控制编码	238
9.1	大纲要求	238
9.2	基本概念与考试要点	238
9.3	典型例题分析	246
9.4	思考题精解	253
9.5	习题全解	258
第10章	正交编码与伪随机序列	275
10.1	大纲要求	275
10.2	基本概念与考试要点	275
10.3	典型例题分析	284
10.4	思考题精解	287
10.5	习题全解	290
第11章	同步原理	293
11.1	大纲要求	293
11.2	基本概念与考试要点	293
11.3	典型例题分析	300
11.4	思考题精解	304
11.5	习题全解	306
附录一	常用三角公式	313
附录二	傅里叶变换	314
附录三	Q函数和误差函数	316
	参考文献	319

第1章 绪 论

1.1 大纲要求

1. 通信的基本概念
2. 通信系统的组成和分类及通信方式
3. 通信系统模型;数字通信系统模型
4. 数字通信系统的主要特点
5. 信息及其度量、离散信源的信息量,平均信息量(熵)
6. 通信系统主要性能指标;码元速率、信息速率,频带利用率,误码率

1.2 基本概念与考试要点

本章主要内容包括有关通信的一些基本概念,通信系统的模型、通信系统的分类及通信方式、信息的定义及其度量方法,以及通信系统的主要性能指标。

1.2.1 通信的概念

通信——按照传统的理解,通信就是克服距离上的障碍进行信息的传输与交换,通信的目的是传输消息。

消息——指通信中传输的文字、符号、数据、语音、图片或活动图像等。消息分为连续消息(指消息状态是连续变化的)和离散消息(指消息状态是可数的或离散的)。

信号——指与消息——对应的电量。它是消息的物理载体,电信号的某一参量随着消息的变化而变化。与连续消息和离散消息对应,若该参量连续取值,则该信号为模拟信号;若该参量是离散取值,则该信号为数字信号。

1.2.2 通信系统的组成

通信系统是指传递信息所需的一切电子设备的总和。按照传输的是模拟信号还是数字信号,通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

1. 通信系统的一般模型

基本的点对点通信都是把发送端的消息通过某种信道传递到接收端。这些通信系统可用如图1-1所示的简化模型来描述。

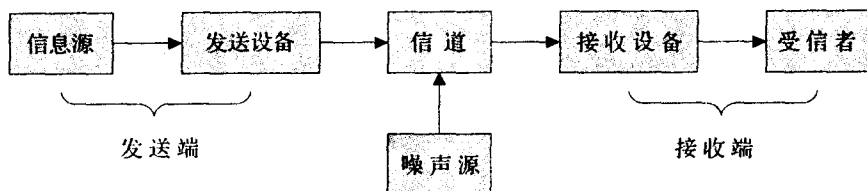


图 1-1 通信系统的简化模型

(1) 信息源

信息源是信息的来源,它把各种可能的消息通过相应的传感器转换成原始电信号。信息源分为模拟信息源和数字信息源。模拟信息源输出的电信号是幅度连续变化的模拟信号;数字信息源输出的则是离散的数字信号。

(2) 发送设备

发送设备的功能是将信息源和传输媒介连接起来,将信息源输出的原始电信号变换成适合在信道中传输的信号。它可以包括调制器、信源编码器或信道编码器等等。

(3) 信道

信道是信号传输的通道,一般指信号的传输媒介。传输媒介有很多,概括起来可分为无线和有线两大类。

(4) 接收设备

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变化,它从接收信号中恢复出相应的原始信号。对接收设备的基本要求是能够将收到的信号变换成与发送端信源发出的消息完全一样或基本一样的原始消息。它可以包括解调器、信源译码器或信道译码器等等。

(5) 受信者

受信者是在接收的一方将经过各种变换和传输的信息还原成所需要的消息形式。一般情况下受信者需要的消息应和发信者发出的消息类型一样。对于受信者和发信者来说,不管中间经过什么样的变换和传输,都不应该将两者所传递的消息改变。收到与发出的消息的相同程度越高越好。

(6) 噪声源

噪声源是信道中的噪声及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示。

2. 模拟通信系统与数字通信系统模型

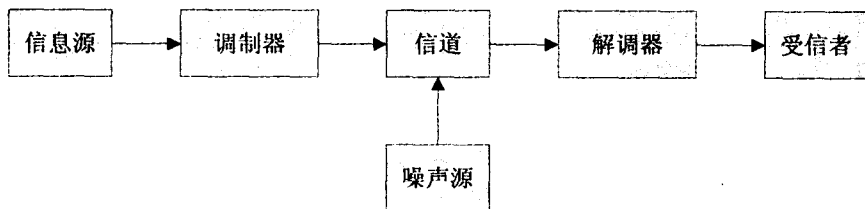


图 1-2 模拟通信系统模型

模拟通信系统的模型如图 1-2 所示。系统中需要两种变换:发送端的连续消息要变换成原始信号,接收端收到的信号要反变换成原来的连续消息;原始的电信号要变换成其频带适合信道传

输的信号,并在接收端进行反变换。调制器为发送设备,解调器为接收设备。经调制后的信号称为已调信号(或频带信号),而未经过调制的原始电信号称为基带信号。

消息从发送端到接收端的传递过程中,除有连续消息与原始电信号和原始电信号与已调信号之间的两种变换外,实际通信系统中还可能有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调两种变换起主要作用,其他过程不会使信号发生质的变化,只对信号进行放大或改善信号特性,一般被认为是理想的,不参与讨论。

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。其模型如图 1-3 所示。图中(a)和(b)分别对应于频带和基带数字通信系统的一般模型。数字通信系统研究的技术问题主要有信源编码/译码、信道编码/译码、数字调制/解调、数字复接、同步以及加密等。

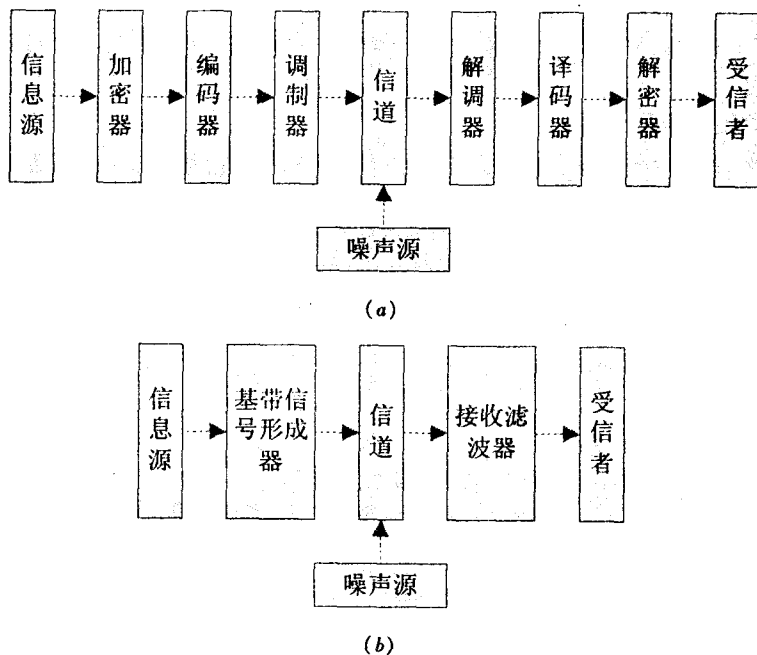


图 1-3 数字通信系统模型

(a) 频带数字通信系统的一般模型; (b) 基带数字通信系统的一般模型

信源编码的作用大致有两个:其一是当信息源给出的是模拟信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输;其二是设法减少码元数目和降低码元速率,也就是数据压缩。码元速率决定传输所占的带宽,而传输带宽反映了通信的有效性。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码是为了克服数字信号在信道传输时,由于噪声、衰落以及人为干扰等引起的差错。信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入监督码元,进行差错控制编码。接收端的信道译码器按相应的逆规则进行解码,从中发现错误或纠正错误,提高通信系统的抗干扰能力。

为了保密通信,给被传输的数字序列加上密码,即扰乱,这个过程称为加密。在接收端利用相应的逆规则对收到的数字序列进行解密,恢复原来的信息。

数字调制是把所传输的数字序列的频谱搬移到适合在信道中传输的频带上。基本的数字调



制方式有振幅键控 ASK、频移键控 FSK、绝对相移键控 PSK、相对(差分)相移键控 DPSK 等。在接收端可以采用相干解调或非相干解调还原数字序列。对高斯噪声下的信号检测,一般用相关接收机或匹配滤波器来实现。

3. 数字通信系统的优点

与模拟通信系统相比,数字通信系统具有如下的优势:

- (1) 抗干扰能力强,数字信号可以再生而消除噪声积累;
- (2) 传输差错可控,能改善传输质量;
- (3) 易于使用现代数字信号处理技术对数字信号进行处理;
- (4) 易于加密,可靠性高;
- (5) 易于实现各种信息的综合传输,等等。

与模拟通信相比,数字通信的主要缺点是:系统设备复杂,对同步要求高,比模拟通信占据更宽的系统频带等。

1.2.3 通信系统的分类

1. 按消息的物理特征,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、图像通信系统等。

2. 按调制方式,通信系统可以分为基带传输系统和频带(调制)传输系统。

基带传输是将由消息变换而来的电信号未经调制而直接传送。

调制传输是将由消息变换而来的电信号再经过调制变换后进行传输。调制的目的有如下几个方面:

- (1) 便于信息的传输;
 - (2) 实现信道复用;
 - (3) 改变信号占据的带宽;
 - (4) 改善系统的性能,提高系统的抗干扰能力。
3. 按传输信号的特征,通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

4. 按传输媒介,通信系统可分为有线(包括光纤)和无线两类。在各个频段上都可以使用有线传输和无线传输。

有线传输一般有线对、同轴电缆、波导和光纤等媒介。无线传输有长波、中波、短波、米波、分米波、厘米波、毫米波和激光空间传播等。

5. 按传送信号的复用方式,通信系统可以分为频分复用通信系统、时分复用通信系统和码分复用通信系统。

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号。传统的模拟通信中都采用频分复用,随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用愈来愈广泛,码分复用主要用于空间通信的扩频通信中。

1.2.4 通信方式

对于点与点之间的通信,按消息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。若消息只能单向传输,这种工作方式则为单工通信方式;若通信双方都能收发消息,但不能同时进行收发,这种工作方式则为半双工通信方式;若通信双方可同时进行



收发消息,这种工作方式则为全双工通信方式。

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。串行传输是将数字信号码元序列时间一个接一个地在信道中传输,它只需占用一条通道,一般应用在远距离数字通信中;并行传输是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,它需要占用两条或两条以上的通路,一般应用在近距离数字通信中。

1.2.5 信息及其度量

信息可理解为消息中包含的有意义的内容。消息以具体的信号形式表现出来,而信息则是消息中抽象出来的本质的内容。

1. 离散消息的信息量

消息中所含的信息量与该消息出现的概率 $p(x)$ 之间的关系为

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

通常取对数底数 $a = 2$,则信息量 I 的单位为比特(bit)。

2. 离散信源的平均信息量

离散信源的平均信息量是指离散信源中每个符号所含信息量的统计平均值。

对于符号集是由 n 个符号 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 组成的离散信息源,若每个符号出现的概率分别为 $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$,且有 $\sum_{i=1}^n p(x_i) = 1$,则平均每个符号所含的信息量为

$$H = \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 \frac{1}{p(x_i)} = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \text{ (bit/符号)} \quad (1-2)$$

H 又称为信息源的熵。当离散信源的每个符号等概独立出现时,信息源具有最大熵,此时 $P(x_i) = \frac{1}{n}, i = 1, 2, \dots, n$,故离散信源的最大熵为

$$H_{\max} = \log_2 n \text{ (bit/符号)} \quad (1-3)$$

1.2.6 主要性能指标

从研究消息的传输角度来说,设计或评述通信系统的主要性能指标是指传输信息的有效性和可靠性。有效性主要是指消息传输的“速度”,而可靠性主要是指消息传输的“质量”。这两个指标是相互矛盾的,通常依据实际系统要求取得相对的统一。

对于模拟通信系统来说,其有效性可用信号占用的有效带宽来度量,可靠性用接收端输出的信噪比来度量。

衡量数字通信系统有效性的主要性能指标是传输速率,可靠性的主要性能指标是差错率。

1. 传输速率

传输速率可用码元传输速率(又称码速率或传码率)或信息传输速率(又称信息速率或传信率)来衡量。

码元速率定义为每秒钟传送码元的数目,单位为“波特”,常用符号“B”表示。由于码元速率并未限定码元的进制,而同一系统的各点上可能采用不同的进制,故给出码元速率时须说明码元的进制和该速率在系统中的位置。设二进制码元速率为 R_B , N 进制码元速率为 R_N ,且有 $N = 2^k$,其中 k 为正整数,则二进制与 N 进制的码元速率有如下转换关系式:

$$R_B = R_N \log_2 N(B) \quad (1-4)$$



信息传输速率又称为信息速率或传信率,它定义为每秒钟传递的信息量,单位是“比特/秒”,或记为 bit/s(或可写成 bps)。

若信源的码元速率为 $R_b(B)$, 熵为 H , 则该信源的平均信息速率为

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

在二进制等概时,码元速率与信息速率在数值上相等,只是单位不同;在 N 进制等概时,设信息速率为 $R_b(\text{bit/s})$, 码元速率为 $R_{B_s}(B)$, 则有

$$R_b = R_{B_s} \log_2 N (\text{bit/s}) \quad (1-5)$$

或

$$R_{B_s} = \frac{R_b}{\log_2 N} (B) \quad (1-6)$$

2. 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时,单看它们的传输速率是不够的,还应看有这样传输速率下所占的信道频带宽度。通信系统占用的频带愈宽,传输信息的能力应该愈大。因此,真正用来衡量数字通信系统传输效率(有效性)的指标应该是单位频带内的传输速率,即

$$\eta = \frac{R_b}{B} (B/\text{Hz})$$

其中 B 为通信系统所占的信道频带宽度。

对二进制传输可表示为

$$\eta = \frac{R_b}{B} (\text{bit}/(\text{S} \cdot \text{Hz}))$$

3. 差错率

差错率可用误码率或误信率两种方法来表述,它是衡量系统正常工作时,传输消息可靠程度的重要性能指标。

误码率 P_e 是指错误接收的码元数在传送总码元数中所占的比例,即码元在传输系统中被错误的概率。

$$P_e = \frac{\text{错误接收码元数}}{\text{传送总码元数}} \quad (1-6)$$

误信率 P_b 是指错误接收的信息量在传送信息总量中所占的比例,即码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。

$$P_b = \frac{\text{错误接收的信息量}}{\text{传送信息总量}} \quad (1-7)$$

二进制系统中误码率 P_e 与误信率 P_b 相等,但在多进制系统中,误码率 P_e 与误信率 P_b 一般不相等,通常 $P_e > P_b$ 。

1.3 典型例题分析

例 1-1 设英文字母中 c, e, o, x 出现的概率分别为 0.023, 0.105, 0.001, 0.002, 试分别求出它们的信息量。



解 根据题意,英文字母 c 的信息量为

$$I_c = -\log_2 p(c) = -\log_2 0.023 = 5.44(\text{bit})$$

英文字母 e 的信息量为

$$I_e = -\log_2 p(e) = -\log_2 0.105 = 3.25(\text{bit})$$

英文字母 o 的信息量为

$$I_o = -\log_2 p(o) = -\log_2 0.001 = 9.97(\text{bit})$$

英文字母 x 的信息量为

$$I_x = -\log_2 p(x) = -\log_2 0.002 = 8.97(\text{bit})$$

例 1-2 某离散信源由 0,1,2,3 四个符号组成,它们出现的概率分别为 $3/8, 1/4, 1/4, 1/8$, 且每个符号的出现都是独立的。求消息

201020130213001203210100321010023102002010312032100120210

的信息量。

解 该消息的信息量可用信息相加性的概念来计算或用熵的概念来计算。

(1) 用信息相加性的概念来计算

在该消息中可统计出“0”出现了 23 次,“1”出现了 14 次,“2”出现了 13 次,“3”出现了 7 次,共有 57 个符号。该消息的信息量为

$$\begin{aligned} I &= \sum_{i=1}^4 n_i \log_2 \frac{1}{p(x_i)} \\ &= -23 \log_2 \frac{3}{8} - 14 \log_2 \frac{1}{4} - 13 \log_2 \frac{1}{4} - 7 \log_2 \frac{1}{8} \\ &= 33 + 28 + 26 + 21 \\ &= 108(\text{bit}) \end{aligned}$$

式中, n_i 为第 i 个符号出现的次数; $p(x_i)$ 为第 i 个符号出现的概率。

(2) 用熵的概念来计算

该信息源的熵为

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

因此可求得该消息的信息量为

$$I = mH = 57 \times 1.906 = 108.64(\text{bit})$$

式中 m 为消息中的符号数目。

例 1-3 一个离散信息源每毫秒发出四种符号中的一个,各相互独立符号出现的概率分别为 0.4, 0.3, 0.2, 0.1。求该信息源的平均信息量与信息速率。

解 信息源的平均信息量为

$$\begin{aligned} H &= -\sum_{i=1}^4 p(x_i) \log_2 p(x_i) \\ &= -0.4 \log_2 0.4 - 0.3 \log_2 0.3 - 0.2 \log_2 0.2 - 0.1 \log_2 0.1 \\ &= -0.4 \times (-1.32) - 0.3 \times (-1.74) - 0.2 \times (-2.32) - 0.1 \times (-3.32) \end{aligned}$$



$$= 1.85(\text{bit/符号})$$

$$\text{该信息源的码元速率为 } R_b = \frac{1}{1 \times 10^{-3}} = 1000(\text{B})$$

则该信息源的信息速率为

$$R_b = R_b H = 1000 \times 1.85 = 1850(\text{bit/s})$$

例1-4 设某信息源的输出由256个不同符号组成,其中32个出现的概率为1/64,其余244个出现的概率为1/448,信息源每秒发出2400个符号,且每个符号彼此独立。试计算该信息源发送信息的平均速率及最大可能的信息速率。

解 该信息源的熵为

$$\begin{aligned} H &= -32 \times \frac{1}{64} \times \log_2 \frac{1}{64} - 244 \times \frac{1}{448} \times \log_2 \frac{1}{448} \\ &= 7.40(\text{bit/符号}) \end{aligned}$$

该信息源发送信息的平均速率为

$$R_b = R_b H = 2400 \times 7.40 = 17760(\text{bit/s})$$

256个不同符号等概出现时有最大信息熵

$$H_{\max} = \log_2 256 = 8(\text{bit/符号})$$

此时平均信息速率最大,因此最大可能的信息速率为

$$R_{b\max} = R_b \cdot H_{\max} = 2400 \times 8 = 19200(\text{bit/s})$$

例1-5 已知八进制数字信号的传输速率为2400B,试问变换为二进制数字信号的传输速率为多少bit/s?

解 由于 $R_b = 2400\text{B}$,则变换为二进制数字信号的传输速率为

$$R_b = R_b \log_2 8 = 2400 \times 3 = 7200(\text{bit/s})$$

例1-6 设在125μs内传输256个二进制码元,计算信息传输速率是多少?若该信码在2s内有三个码元产生误码,试问其误码率和误信率分别为多少?

解 设二进制码元等概出现,信息传输速率为

$$R_b = \frac{256}{125 \times 10^{-6}} = 2.048 \times 10^6(\text{bit/s})$$

若该信码在2s内有三个码元产生误码,其误码率 P_e 和误信率 P_b 为

$$P_e = P_b = \frac{3}{2.048 \times 10^6 \times 2} = 7.32 \times 10^{-7}$$

1.4 思考题精解

1-1 以无线电广播和电视为例,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,信息源是各种待传播的声音(消息)通过传感器(麦克风)转换而成的原始电信号,受信者是在接收端通过喇叭(扬声器)将经过各种变换和传输的电信号还原所形成的声音。信道是指长波或短波无线电波,通常也包括调制器和解调器。

在电视传输系统中,信息源是各种待传播的图象和声音(消息)通过传感器转换而成的原始电信号,受信者是在接收端通过显示器和扬声器将经过各种变换和传输的电信号还原所形成的图象和声音。信道是指微波、同轴电缆或光纤等,通常也包括调制器和解调器。

1-2 数字通信有哪些特点?

答:与模拟通信相比,数字通信的优势主要有:抗干扰能力强,数字信号可以再生而消除噪声积累;传输差错可控,能改善传输质量;易于使用现代数字信号处理技术对数字信号进行处理;易于加密,可靠性高;易于实现各种信息的综合传输。但数字通信的缺点是:系统设备复杂,对同步要求高,比模拟通信占据更宽的系统频带等。

1-3 按消息的物理特征,通信系统如何分类?

答:按消息的物理特征,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、图像通信系统等。

1-4 按调制方式,通信系统如何分类?

答:按调制方式,通信系统可以分为基带传输系统和频带(调制)传输系统。

1-5 按传输信号的特征,通信系统如何分类?

答:按传输信号的特征,通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

1-6 按传送信号的复用方式,通信系统如何分类?

答:按传送信号的复用方式,通信系统可以分为频分复用通信系统、时分复用通信系统和码分复用通信系统等。

1-7 通信方式是如何确定的?

答:对于点与点之间的通信,按消息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。若消息只能单向传输,这种工作方式则为单工通信方式;若通信双方都能收发消息,但不能同时进行收发,这种工作方式则为半双工通信方式;若通信双方可同时收发消息,这种工作方式则为全双工通信方式。

1-8 通信系统的主要性能指标是什么?

答:通信系统的主要性能指标是传输信息的有效性和可靠性。有效性是指在传输一定的信息量所消耗的信道资源的多少,信道的资源包括信道的带宽和时间;而可靠性是指传输信息的准确程度。有效性和可靠性始终是相互矛盾的。在一定可靠性指标下,尽量提高消息的传输速率;或在一定有效性条件下,使消息的传输质量尽可能提高。根据香农公式,在信道容量一定时,可靠性和有效性之间可以彼此互换。

1-9 什么是误码率?什么是误信率?它们之间的关系如何?

答:误码率 P_e 是指错误接收的码元数在传送总码元数中所占的比例,即码元在传输系统中被传错的概率。

误信率 P_b 是指错误接收的信息量在传送信息总量中所占的比例,即码元的信息量在传输系统中被丢失的概率。

二进制系统中误码率 P_e 与误信率 P_b 相等,但在多进制系统中,误码率 P_e 与误信率 P_b 一般不相等,通常 $P_e > P_b$ 。

1-10 什么是码元速率?什么是信息速率?它们之间的关系如何?

答:码元速率 R_b 定义为每秒钟传送码元的数目,单位为“波特”,常用符号“B”表示,又称为码元传输速率或传码率。信息速率 R_b 定义为每秒钟传递的信息量,单位是比特/秒(bit/s 或 bps)。



设通信系统传送 N 进制码元, 则码元速率 R_B 与信息速率 R_b 之间的关系为 $R_b = R_B \log_2 N$ (bit/s) 或 $R_B = \frac{R_b}{\log_2 N}$ (B)。

1-11 未来通信技术的发展趋势如何?

答: 未来通信技术主要以数字通信为发展方向。随着光纤通信的不断发展, 有线通信将以光纤通信为发展方向, 当前主要研究单模长波长光纤通信、大容量数字传输技术和相干光通信。卫星通信集中体现在调制/解调、纠错编码/译码、数字信号处理、通信专用超大规模集成电路、固态功放和低噪声接收、小口径低旁瓣天线等多项新技术的发展。移动通信的发展方向是数字化、微型化和标准化。

1-12 什么是信源符号的信息量? 什么是离散信息源的信息熵?

答: 设信息源中某符号 x_i 出现的概率为 $p(x_i)$, 则该信源符号的信息量为 $I(x_i) = -\log_2 p(x_i)$ (bit)。

设离散信息源是一个由 n 个符号组成的符号集, 符号集中的每一个符号 x_i 按一定概率 $p(x_i)$ 独立出现, 各符号出现的概率为

$$\begin{bmatrix} x_1 & , & x_2 & , & \cdots & x_n \\ p(x_1) & , & p(x_2) & , & \cdots & p(x_n) \end{bmatrix}$$

且 $\sum_{i=1}^n p(x_i) = 1$, 则该离散信息源的信息熵为

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

1.5 习题全解

1-1 设英文字母 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。

解 由于英文字母 E 出现的概率为 $p(E) = 0.105$, 则其信息量为

$$I_E = \log_2 \frac{1}{p(E)} = \log_2 \frac{1}{0.105} = 3.25 \text{ (bit)}$$

字母 x 出现的概率为 $p(x)$, 其信息量为

$$I_x = \log_2 \frac{1}{p(x)} = \log_2 \frac{1}{0.002} = 8.97 \text{ (bit)}$$

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。

解 该信息源符号的平均信息量为

$$\begin{aligned} H &= - \sum_{i=1}^5 p(x_i) \log_2 p(x_i) \\ &= - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - 2 \times \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} - \frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} \\ &= 2.23 \text{ (bit/符号)} \end{aligned}$$

1-3 设有四个消息 A, B, C, D 分别以 $1/4, 1/8, 1/8$ 和 $1/2$ 传送, 每一消息的出现是相互独



立的。试计算其平均信息量。

解 每个消息的平均消息量为

$$H = -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - 2 \times \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \\ = 1.75 (\text{bit/符号})$$

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。

解 (1) 由于传输的每一个字母用二进制脉冲编码, 而每个脉冲宽度为 5ms, 则每个字母的持续时间为 $2 \times 5\text{ms}$, 所以字母传输速率为

$$R_{B_i} = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 (\text{B})$$

不同的字母等可能出现时, 每个字母的平均信息量为

$$H = \log_2 4 = 2 (\text{bit/符号})$$

平均信息速率为

$$R_b = R_{B_i} H = 200 (\text{bit/s})$$

(2) 每个字母的平均信息量为

$$H = -\frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{3}{10} \log_2 \frac{3}{10} \\ = 1.985 (\text{bit/符号})$$

所以, 平均信息速率为

$$R_b = R_{B_i} H = 100 \times 1.985 = 198.5 (\text{bit/s})$$

1-5 国际莫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。

解 (1) 设点和划出现的概率分别为 $p_{\text{点}}$ 和 $p_{\text{划}}$, 由题意知 $p_{\text{划}} = \frac{1}{3} p_{\text{点}}$, 且 $p_{\text{点}} + p_{\text{划}} = 1$, 所以 $p_{\text{划}} = \frac{1}{4}, p_{\text{点}} = \frac{3}{4}$ 。故点的信息量为

$$I_{\text{点}} = \log_2 \frac{1}{p_{\text{点}}} = \log_2 \frac{4}{3} = 0.415 (\text{bit})$$

划的信息量为

$$I_{\text{划}} = \log_2 \frac{1}{p_{\text{划}}} = \log_2 4 = 2 (\text{bit})$$

(2) 点和划的平均信息量为

$$H = \frac{3}{4} I_{\text{点}} + \frac{1}{4} I_{\text{划}} = 0.81 (\text{bit/符号})$$