

高校经典教材同步辅导丛书
配套国防工业版·樊昌信主编

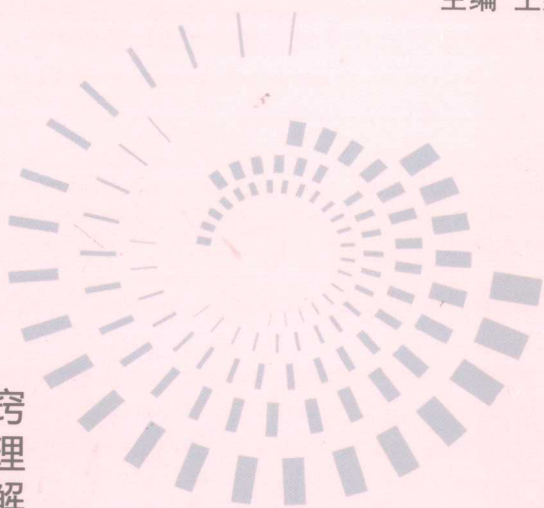
九章丛书

通信原理

第六版

同步辅导及习题全解

主编 王颖惠 牛丽英



- 知识点窍
- 逻辑推理
- 习题全解
- 全真考题
- 名师执笔
- 题型归类



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

通信原理（第六版）同步辅导 及习题全解

主 编 王颖惠 牛丽英

编 委（排名不分先后）

程丽园	李国哲	陈有志	苏昭平
郑利伟	罗彦辉	邢艳伟	范家畅
孙立群	李云龙	刘 岩	崔永君
高泽全	于克夫	尹泉生	林国栋
黄 河	李思琦	刘 闯	侯朝阳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书是为了配合国防工业出版社出版、樊昌信等主编的《通信原理》(第六版)的教材而编写的辅导用书。

本书对教材中各章的重点、难点做了较深刻的分析,并对各章的课后习题及思考题做了全面的解析。对应于教材,本书共有 14 章,分别介绍了通信概述、确知信号、随机过程、信道、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字带通传输系统、新型数字通带调制技术、模拟信号的数字传输、数字信号的最佳接收、差错控制编码、正交编码与伪随机序列、同步原理、通信网等内容。

本书可作为高等院校电子信息类专业的专业课辅导教材,也可作为各类工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理(第六版)同步辅导及习题全解/王颖惠,
牛丽英主编. —北京:中国水利水电出版社, 2009
(高校经典教材同步辅导丛书)

ISBN 978-7-5084-5977-6

I. 通… II. ①王…②牛… 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(2008)第 161806 号

书 名	高校经典教材同步辅导丛书 通信原理(第六版)同步辅导及习题全解
作 者	主 编 王颖惠 牛丽英
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市梦宇印务有限公司
规 格	148mm×210mm 32 开本 8.25 印张 336 千字
版 次	2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—6000 册
定 价	15.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

通信原理一直是各高等院校电子信息类专业学生的必修课程,其内容随着信息技术的发展而日趋丰富,这就产生了一个矛盾:一方面学生因所修课程越来越多而导致课外时间减少;另一方面因技术的进步又要求学生去了解比以前更多的知识。本书正是为了解决这一矛盾而精心编写的。

本书是与樊昌信等编著的教材《通信原理》(第六版)同步配套的全程辅导书。本书不同于传统辅导书的解题过程,而是每章分为三个层次:

1. **知识点窍**:运用公式、定理及定义来点明知识点。
2. **逻辑推理**:阐述习题的解题过程。
3. **解题过程**:概念清晰,步骤完整,数据准确,附图齐全。

把**知识点窍**——**逻辑推理**——**解题过程**联系起来,做到融会贯通,最后给出习题答案。在解题思路和解题技巧上进行精炼的分析和引导,巩固所学,达到举一反三的效果。

“**知识点窍**”和“**逻辑推理**”是本书的精华所在,是由多位著名教授根据学生在解题过程中存在的问题,进行分析而研究出来的一种新型的、拓展思路的解题方法。“**知识点窍**”提纲挈领地抓住了题目的核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图;而“**逻辑推理**”则注重引导学生思维,旨在培养学生科学的思维方法,即掌握答题的思维技巧。在此基础上提供了详细的“**解题过程**”,使学生熟悉整个答题过程。本书在编写过程中,参考了北京邮电大学出版社出版的由郝建军、尹长川、刘丹谱等编写的《通信原理考研指导》一书,并借鉴了书中部分插图,在此深表感谢。

由于编者水平有限及时间仓促,不妥之处在所难免。希望广大读者不吝批评指正。

编者
2008年10月

目 录

第一章 绪 论	1
考试要求	1
知识点归纳	1
教材同步习题全解	3
本章思考题	3
历年考研题评析	10
第二章 确知信号	11
考试要求	11
知识点归纳	11
教材同步习题全解	12
第三章 随机过程	18
考试要求	18
知识点归纳	18
教材同步习题全解	23
本章思考题	23
历年考研题评析	38
第四章 信 道	41
考试要求	41
知识点归纳	41
教材同步习题全解	46
本章思考题	46
历年考研题评析	50
第五章 模拟调制系统	52
考试要求	52
知识点归纳	52
教材同步习题全解	63
本章思考题	63
历年考研题评析	80

第六章 数字基带传输系统	84
考试要求	84
知识点归纳	84
教材同步习题全解	96
本章思考题	96
历年考研题评析	130
第七章 数字带通传输系统	133
考试要求	133
知识点归纳	133
教材同步习题全解	142
本章思考题	142
历年考研题评析	159
第八章 新型数字通带调制技术	162
考试要求	162
知识点归纳	162
教材同步习题全解	163
第九章 模拟信号的数字传输	166
考试要求	166
知识点归纳	166
教材同步习题全解	171
本章思考题	171
历年考研题评析	182
第十章 数字信号的最佳接收	184
考试要求	184
知识点归纳	184
教材同步习题全解	187
本章思考题	187
历年考研题评析	200
第十一章 差错控制编码	202
考试要求	202
知识点归纳	202
教材同步习题全解	206

本章思考题	206
历年考研题评析	225
第十二章 正交编码与伪随机序列	228
考试要求	228
知识点归纳	228
教材同步习题全解	231
本章思考题	231
历年考研题评析	238
第十三章 同步原理	240
考试要求	240
知识点归纳	240
教材同步习题全解	245
本章思考题	245
历年考研题评析	246
第十四章 通信网	248
考试要求	248
知识点归纳	248
教材同步习题全解	254
本章思考题	254

第一章 绪论

考试要求

本章重点内容是通信的基本认识,要求了解通信的基本概念、模型、分类及通信方式,着重掌握信息的定义及其度量方法、通信网的主要性能指标。

知识点归纳

1. 通信的基本概念

按照传统的理解,通信就是信息的传输与交换。

2. 通信的模型

基本的点对点通信系统的简化模型如图 1-1 所示。

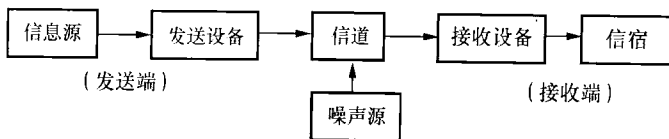


图 1-1

模拟通信系统模型如图 1-2 所示。

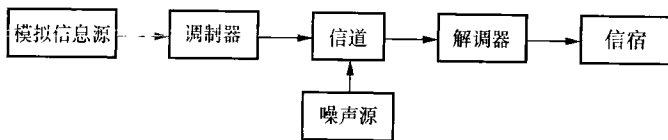


图 1-2

基带数字通信系统模型如图 1-3 所示。

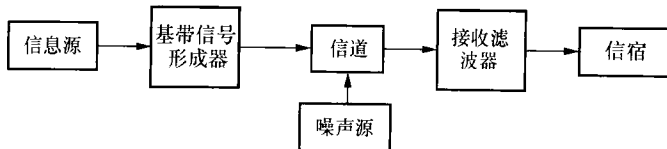


图 1-3

频带数字通信系统模型如图 1-4 所示。

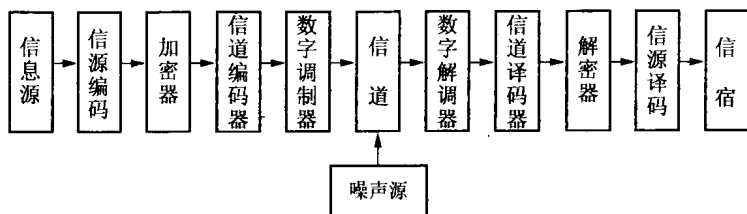


图 1-4

3. 通信的分类

- 按照通信业务分类,通信系统可以分为遥控通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等。
- 按照传输方式分类,通信系统可以分为基带传输和带通传输。
- 按工作波段分类,通信系统可分为长波通信、短波通信、微波通信和光通信等。
- 按照信号特征分类,通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统。
- 按传输媒介分类,通信系统可分为有线通信和无线通信。
- 按信号复用方式分类,通信系统可分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)和码分复用(CDM)。

4. 通信方式

对于点与点之间的通信,按消息传送方向与时间关系的不同,可分为单工、半双工和全双工三种通信方式;按照数字信号码元排列方法的不同,分为串行传输和并行传输。

5. 信息熵及其度量

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

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

当信息源的每个符号等概率出现时,信息源具有最大熵:

$$H(x) = \log_2 n \text{ (bit/符号)}$$

6. 通信系统的主要性能指标

通信系统的性能指标包括有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用是否方便等,但设计或评价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。

对于模拟通信系统来说,有效性可以用消息占用的有效带宽来度量,可靠性可以用接收端输出的信噪比来度量。

对于数字通信系统来说,度量其有效性的主要性能指标是传输速率,可靠性的主要指标是差错率。

(1) 传输速率。

传输速率可以用码元传输速率或者信息传输速率来衡量。

码元速率 R_B 定义为每秒传输码元的数目,单位是波特(Baud)。二进制与 N 进制码元速率有如下转换关系式:

$$R_B = R_{BN} \log_2 N \text{ (B)}$$

码元传输速率又称为信息速率或传信率,其定义为每秒钟传递的信息量,单位是比特/秒(bit/s)。

在 N 进制下,设信息速率为 R_b (bit/s),码元速率为 R_{BN} (Baud),则有

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

(2) 差错率。

差错率可以用误码率或误信率表示。误码率 P_e 定义为:

$$P_e = \frac{\text{错误接收码元数}}{\text{传送码元总数}}$$

误信率(误比特率) P_b 定义为

$$P_b = \frac{\text{错误接收信息量}}{\text{传送信息总量}}$$

教材同步习题全解

本章思考题

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

答:信息源的作用是将各种可能的消息转换成原始电信号。在无线广播中,信息源中包含的具体内容就是从声音等各种消息转换而成的原始电信号;在无线电视中,信息源中包含的具体内容就是从声音、图像等消息转换而成的原始电信号。受信者的作用就是将复原的原始电信号转换成相应的消息。在无线广播中,受信者中包含的具体内容就是从复原的原始电信号转换成的声音等消息;在无线电视中,受信者中包含的具体内容就是从复原的原始电信号转换而成的声音、图像等消息。信道的作用就是传送由原始电信号转换而来的信号。在无线广播和电视中,信道中包含的具体内容就是无线电波,其中以某种方式表示原始电信号。

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:如果电信号的参量仅可能取有限个值,则称之为数字信号。

模拟信号:如果电信号的参量取值连续(不可数、无穷多),则称之为模拟信号。

两者的根本区别在于电信号的参量取值是有限个值还是连续的。

1-3 何谓数字通信?数字通信有哪些优缺点?

答:数字通信即通过数字信号传输的通信,相对模拟通信,数字通信具有以下特点:

(1) 传输的信号是离散式的或数字的;

- (2) 强调已调参数与基带信号之间的一一对应;
- (3) 抗干扰能力强,因为数字信号可以再生,从而消除噪声积累;
- (4) 传输差错可以控制;
- (5) 便于使用现代数字信号处理技术对数字信号进行处理;
- (6) 便于加密,可靠性高;
- (7) 便于实现各种信息的综合传输。

1-4 略。

1-5 按调制方式,通信系统如何分类?

答:根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将未经调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多,常见的一些可以见《通信原理》的表 1-1。

1-6 按传输信号的特征,通信系统如何分类?

答:按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

1-7 按传送信号的复用方式,通信系统如何分类?

答:传送多路信号有三种复用方式,即为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)和码分复用(CDM)。

1-8 略。

1-9 略。

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包括有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性等,但主要性能指标有两个:传输速率和差错率。传输速率可以用码元速率或信息速率来表征,可靠性可以用误码率或误信率来表征。

1-11 略。

1-12 何谓码元速率和信息速率?它们之间的关系如何?

答:码元速率 R_B 定义为每秒传输码元的数目,单位是波特(Baud)。信息传输速率 R_b 又称为信息速率或传信率,其定义为每秒传递的信息量,单位是比特/秒(bit/s)。由于码元速率并未限定码元的进制,不同的进制当中,表示一个码元的比特数不同。在二进制中,码元速率与信息速率在数值上相等,只是单位不同。在 N 进制中,设信息速率为 R_b bit/s,码元速率为 R_{BN} Baud,则有

$$R_{B2} = R_{BN} \log_2 N$$

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。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。一般说来, N 进制中,误信率比误码率更低,二进制中,误信率和误码率在数值上相等。

本章习题

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。

【知识点窍】 信息及其度量公式: $I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \text{ bit}$ 。

【逻辑推理】 直接利用公式 $I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x)$ 求解, 分别代入 $P(x)$ 和 $P(e)$ 。

【解题过程】 字母 e 出现的概率 $P(e) = 0.105$, 由信息量公式, 可知其信息量为

$$I_e = \log_2 \frac{1}{P(e)} = \log_2 \left(\frac{1}{0.105} \right) = 3.25 \quad (\text{bit})$$

字母 x 出现的概率为 $P(x) = 0.002$, 由信息量公式, 可知其信息量为

$$I_x = \log_2 \frac{1}{P(x)} = \log_2 \left(\frac{1}{0.002} \right) = 8.97 \quad (\text{bit})$$

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。

【知识点窍】 平均信息量

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

【逻辑推理】 直接利用公式

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

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

$$P(E) = \frac{5}{16} \text{ 代入求解。}$$

【解题过程】 由平均信息量公式

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

1-3 设有 4 个符号, 其中前 3 个符号的出现概率分别为 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/8$, 且各符号的出现是相互独立的。试计算该符号集的平均信息量。

【知识点窍】 平均信息量

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

【逻辑推理】 直接利用公式求解。

【解题过程】 各符号的概率之和等于1,故第4个符号的概率为 $\frac{1}{2}$,由平均信息量公式

$$\begin{aligned} H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \\ &= - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \\ &= 1.75 \quad (\text{bit/符号}) \end{aligned}$$

1-4 设一个由字母A、B、C、D组成的字,传输每一个字母用二进制编码,“00”代表A,“01”代表B,“10”代表C,“11”代表D,每个宽度为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。

【知识点窍】 平均信息量: $H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$ (bit/符号)

信息源的最大熵: $H(x) = \log_2 n$ (bit/符号)

信息速率: $R_b = R_{BN} \cdot H(x)$ (bit/s)

【逻辑推理】 直接利用信息源的平均信息量公式 $H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$ (bit/符号)(当不同字母等概出现时可以利用信息源的最大熵公式 $H(x) = \log_2 n$ (bit/符号),将 P_A, P_B, P_C, P_D 的值代入,计算得出每个字母的平均信息量 $H(x)$;然后根据传输每个字母占用的时间宽度,计算出字母的传输速率,也就是码元速率 R_{BN} ;将每个字母的平均信息量 $H(x)$ 与码元速率 R_{BN} 相乘,得出平均信息速率 R_b 。

【解题过程】

(1) 不同字母等概出现时,每个字母的平均信息量即达到了信息源的最大熵

$$H(x) = \log_2 4 = 2 \quad (\text{bit/符号})$$

每个字母用二进制编码,每个宽度为5ms,所以每个字母的持续时间是 $2 \times 5\text{ms}$,字母传输速率为

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

平均信息速率为

$$R_b = R_B \times H(x) = 200 \quad (\text{bit/s})$$

(2) 每个字母非等概出现时,每个字母的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= \frac{1}{5} \log_2 5 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{3}{10} \log_2 \frac{10}{3} \\ &= 1.985 \quad (\text{bit/符号}) \end{aligned}$$

平均信息速率为

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

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。

【知识点窍】 信息量: $I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \text{ (bit)}$;

平均信息量: $H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/符号)}$ 。

【逻辑推理】 利用条件“划”出现的概率是“点”出现概率的1/3”计算出“点”和“划”出现的概率 $P_{\text{点}}$ 和 $P_{\text{划}}$, 然后直接利用信息量公式 $I = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x) \text{ bit}$ 和平均信息量公式 $H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/符号)}$, 计算出“点”和“划”的信息量 $I_{\text{点}}$ 和 $I_{\text{划}}$ 以及“点”和“划”的平均信息量 $H(x)$ 。

【解题过程】 (1) 由条件“划”出现的概率是“点”出现概率的1/3, 列出下列方程:

$$\begin{cases} P_{\text{点}} + P_{\text{划}} = 1 \\ P_{\text{划}} = \frac{1}{3} P_{\text{点}} \end{cases}$$

计算得出 $P_{\text{划}} = 1/4$, $P_{\text{点}} = 3/4$ 。由信息量公式可知, 点的信息量为

$$I_{\text{点}} = \log_2 (4/3) = 0.415 \text{ (bit)}$$

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

(2) 由平均信息量公式可知, “点”和“划”的平均信息量为

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

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

【知识点窍】 平均信息量: $H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/符号)}$;

信息速率: $R_b = R_{\text{BN}} \cdot H(x) \text{ (bit/s)}$ 。

【逻辑推理】 直接利用信息源的平均信息量公式 $H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (bit/符号)}$, 计算得出每个字母的平均信息量 $H(x)$; 将每个字母的平均信息量 $H(x)$ 与码元速率 R_B 相乘, 得出平均信息速率 R_b 。

$$\begin{aligned}
 \text{【解题过程】 } H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \\
 &= -16 \times \frac{1}{32} \log_2 \frac{1}{32} - 112 \times \frac{1}{224} \log_2 \frac{1}{224} \\
 &= 6.404 \text{ (bit/符号)}
 \end{aligned}$$

已知码元速率 $R_B = 1000$ Baud, 所以平均信息速率为

$$R_b = R_{BN} \times H(x) = 1000 \times 6.404 = 6404 \text{ (bit/s)}$$

1-7 设某数字传输系统传送二进制码元的速率为 2400 Baud, 试求该系统的信息速率; 若该系统改为传送十六进制信号码元, 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)?

【知识点窍】 信息源的最大熵: $H(x) = \log_2 n$ (bit/符号)

信息速率: $R_b = R_{BN} \times H(x)$ (bit/s)

【逻辑推理】 计算得出二进制信息源最大熵 $H(x)$; 通过已知码元速率 R_{BN} , 算出信息速率。

【解题过程】 (1) 二进制信息源的最大熵 $H(x) = \log_2 2 = 1$ (bit/符号)

$$\text{平均信息速率: } R_b = R_{BN} \times H(x) = 2400 \text{ (bit/s)}$$

(2) 十六进制信息源的最大熵: $H(x) = \log_2 16 = 4$ (bit/符号)

$$\text{平均信息速率: } R_b = R_{BN} \times H(x) = 9600 \text{ (bit/s)}$$

1-8 若题 1-2 中信源以 1000 Baud 速率传送信息, (1) 试计算传送 1 小时的信息量? (2) 试计算传送 1 小时可能达到的最大信息量?

【知识点窍】 平均信息量: $H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$ (bit/符号);

信源的最大熵: $H(x) = \log_2 n$ (bit/符号);

信息速率: $R_b = R_{BN} \times H(x)$ (bit/s);

信息总量公式: $I = R_b \times T$ (bit)。

【逻辑推理】 直接利用信源的平均信息量公式 $H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$ (bit/符号) (当不同字母等概出现时可以利用信源的最大熵公式 $H(x) = \log_2 n$ (bit/符号)), 将 $P(A)$ 、 $P(B)$ 、 $P(C)$ 、 $P(D)$ 、 $P(E)$ 的值代入, 计算出信源的熵, 再利用信息速率公式: $R_b = R_{BN} \times H(x)$ (bit/s), 计算出平均信息速率, 利用信息总量公式 $I = R_b \times T$ (bit), 计算出传送一个小时的信息总量。

【解题过程】 题 1-2 中信源符号的平均信息量为

$$H(x) = 2.23 \text{ (bit/符号)}$$

则平均信息速率为

$$R_b = R_{BN} \times H(x) = 1000 \times 2.23 = 2230 \text{ (bit/s)}$$

所以传送 1 小时的信息量为

$$I = R_b \times T = 2230 \times 3600 = 8.028 \times 10^6 \text{ (bit)}$$

当信源的每个符号等概出现时,信源的熵最大

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

平均信息速率为

$$R_b = R_{BN} \times H(x) = 1000 \times 2.322 = 2322 \text{ (bit/s)}$$

传送 1 小时的信息量为

$$I = R_b \times T = 2322 \times 3600 = 8.359 \times 10^6 \text{ (bit)}$$

1-9 如果二进制独立等概信号,码元宽度为 0.5ms,求 R_B 和 R_b ;若有四进制信号,码元宽度为 0.5ms,求传码率 R_B 和独立等概时的传信率 R_b 。

【知识点窍】 信源的最大熵: $H(x) = \log_2 n \text{ (bit/符号)}$;

信息速率: $R_b = R_{BN} \cdot H(x) \text{ (bit/s)}$;

【逻辑推理】 当不同码元等概出现时可以利用信源的最大熵公式 $H(x) = \log_2 n \text{ (bit/符号)}$,计算得出每个字母的平均信息量 $H(x)$;然后根据传输每个码元占用的时间宽度,计算出码元的传输速率,也就是 R_B ;将每个字母的平均信息量 $H(x)$ 与传码率 R_B 相乘,得出平均信息速率 R_b 。

【解题过程】 二进制中,不同码元等概出现时,每个码元平均信息量为

$$H(x) = \log_2 2 = 1 \text{ (bit/符号)}$$

$$\text{码元传输速率为 } R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2000 \text{ (Baud)}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_{BN} \times H(x) = 2000 \times 1 = 2000 \text{ (bit/s)}$$

同理,四进制中,不同码元等概出现时每个码元平均信息量为

$$H(x) = \log_2 4 = 2 \text{ (bit/符号)}$$

码元传输速率为

$$R_B = 1/(0.5 \times 10^{-3}) = 2000 \text{ (Baud)}$$

平均信息速率为

$$R_b = R_{BN} \times H(x) = 2000 \times 2 = 4000 \text{ (bit/s)}$$

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

【知识点窍】 传码率: $R_B = \frac{R_b}{\log_2 M}$

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

【逻辑推理】 首先通过公式计算出传码率,进而可计算出总的码元数,进而算出误码率 P_e 。

【解题过程】 传码率: $R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} = \frac{2400}{\log_2 4} = 1200 \text{ (Band)}$

误码率: $P_e = \frac{216}{1200 \times 0.5 \times 3600} = 0.01\%$

历年考研题评析

题 1 (北京邮电大学, 2005 年) 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) 不同的字母等概出现时, 试计算传输的平均信息速率;

(2) 若每个字母出现的概率分别为

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

试计算传输的平均信息速率。

【知识点窍】 四个字母构成四进制符号, 每个符号由两个脉冲构成, 故一个符号的持续时间即码元宽度为 $2 \times 5\text{ms}$ 。

【解题过程】 (1) 码速率为 $R_B = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 \text{ (Baud)}$

等概时, 平均信息速率为 $R_b = R_B \log_2 4 = 200 \text{ (bit/s)}$

(2) 每个符号的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= \frac{1}{5} \log_2 5 + \frac{2}{4} \log_2 4 + \frac{3}{10} \log_2 \frac{10}{3} \\ &= (0.2 \times 2.32 + 0.5 \times 2 + 0.3 \times 1.74) \times 1.985 \text{ (bit/符号)} \end{aligned}$$

则平均信息速率为 $R_b = R_B \cdot H(x) = (100 \times 1.985) \text{ b} = 198.5 \text{ (bit/s)}$

题 2 (北京航空航天大学, 2007 年) 某信源的符号集由 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 $5/16$; 信源以 1000Baud 速率传送信息。

(1) 求传送 1 小时的信息量;

(2) 求传送 1 小时可能达到的最大信息量。

【知识点窍】 等概时信源熵最大, 信息量也最大。

即 $P_A = P_B = P_C = P_D = P_E = \frac{1}{5}$ 时, 信息量最大。

【解题过程】 (1) 信源熵为

$$H(x) = \frac{1}{4} \log_2 4 + \frac{2}{8} \log_2 8 + \frac{3}{16} \log_2 \frac{16}{3} + \frac{5}{16} \log_2 \frac{16}{5} = 2.23 \text{ (bit/符号)}$$

平均信息速率为 $R_b = R_B \cdot H(x) = 1000 \times 2.23 = 2.23 \times 10^3 \text{ (bit/s)}$

1 小时传输的信息量为 $I = 2.23 \times 10^3 \times 3600 = 8.028 \text{ (Mb)}$

(2) 等概时信息源熵为最大值, 即 $H_{\max} = \log_2 5 = 2.322 \text{ (bit/符号)}$

1 小时传输的最大信息量为 $I_{\max} = 2.322 \times 1000 \times 3600 = 8.359 \text{ (Mb)}$