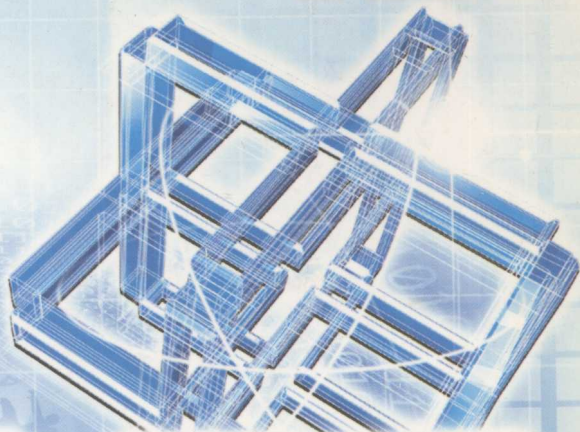


樊昌信等主编 《通信原理》
(第五版) 同步辅导

九章丛书



通信原理

(第五版)

全程辅导

编写 九章系列课题组
主编 苏志平

辽宁师范大学出版社

TN911
S860:3

通信原理全程辅导 8

(第五版)

编 写 九章系列课题组

主 编 苏志平

辽宁师范大学出版社

内 容 简 介

本书是为了配合国防工业出版社出版的樊昌信等主编《通信原理》(第五版)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,对各章的课后习题及思考题做了全面解析解答。本书将是电气信息类本科生的重要参考书,也是教师的参考书。并可作为各类工程技术人员和自学者的辅导书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理(第五版)全程辅导/苏志平主编.-大连:辽宁师范大学出版社,2004.8

ISBN 7-81103-077-2

I. 通... II. 苏... 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(2004)第 085423 号

责任编辑:穆 杰

责任校对:童 娇

封面设计:黄志勇

出 版 者:辽宁师范大学出版社

地 址:大连市黄河路 850 号

邮 编:116029

印 刷 者:廊房华星印刷厂

发 行 者:全国新华书店

幅面尺寸:850×1168 1/32

印 张:12.25

字 数:260 千字

出版时间:2004 年 8 月第 1 版

印刷时间:2004 年 8 月第 1 次印刷

本册定价:18.80 元

前 言

《通信原理》(第五版)一直是大中专院校电子信息类专业学生必修课程,其内容随着电子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。

今本书正是为了解决这一矛盾而精心编写的。

本书是与樊昌信等主编的教材《通信原理》(第五版)同步配套的习题全程辅导书。本书除了有传统辅导书的解题过程外,主要有以下特点:

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,最后给出本书的习题答案。在解题思路和解题技巧上进行精练分析和引导,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郝建军,尹长川、刘丹谱编写的《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

2004年8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	4
第二章 随机信号分析	14
考试要求	14
知识点归纳	14
教材同步习题全解	42
第三章 信道	65
考试要求	65
知识点归纳	65
教材同步习题全解	73
第四章 模拟调制系统	89
考试要求	89
知识点归纳	89
教材同步习题全解	104
第五章 数字基带传输系统	133
考试要求	133
知识点归纳	133
教材同步习题全解	150
第六章 正弦载波数字调制系统	200
考试要求	200
知识点归纳	200
教材同步习题全解	213

第七章 模拟信号的数字传输	244
考试要求	244
知识点归纳	244
教材同步习题全解	251
第八章 数字系统的最佳接收	269
考试要求	269
知识点归纳	269
教材同步习题全解	273
第九章 差错控制与编码	299
考试要求	299
知识点归纳	299
教材同步习题全解	304
第十章 正交编码与伪随机序列	333
考试要求	333
知识点归纳	333
教材同步习题全解	338
第十一章 同步原理	349
考试要求	349
知识点归纳	349
教材同步习题全解	356
第十二章 通信网	373
考试要求	373
知识点归纳	373
教材同步习题全解	381

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:

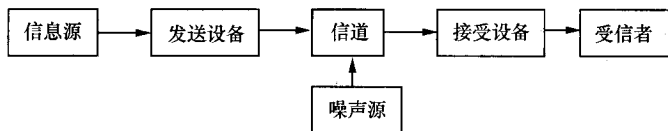


图 1-1 通信系统的简化模型

模拟通信系统模型如图 1-2 所示:

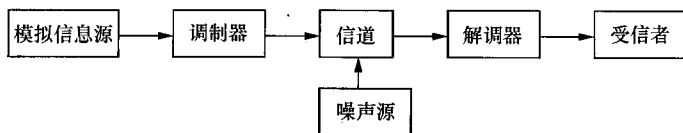


图 1-2 模拟通信系统模型

基带数字通信系统模型如图 1-3 所示:

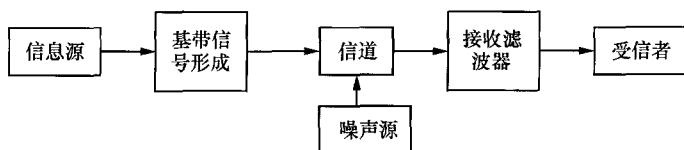


图 1-3 基带数字通信系统模型

频带数字通信系统模型如图 1-4 所示：

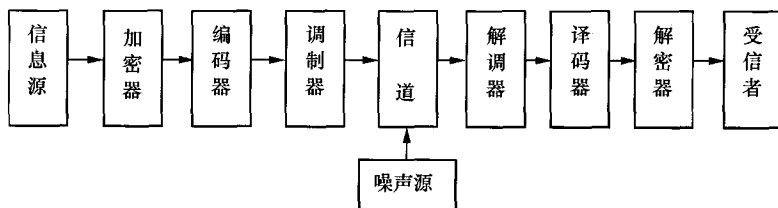


图 1-4 频带数字通信系统模型

3. 通信的分类

- 按照消息的物理特征分类,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、图象通信系统等。
- 按照调制方式分类,根据是否采用调制,通信系统可以分为基带传输和频带(调制)传输。
- 按照信号特征分类,可以把通信系统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

本课程重点讲述点与点之间的通信,对于点与点之间的通信,按消息传送方向与时间关系,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不同,分为串行传输和并行传输。

5. 信息及其度量

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

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

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. 通信网的主要性能指标

通信系统的性能指标涉及有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性及维护使用等,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

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

信息传输速率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)。

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

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

(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:

$$P_e = \frac{\text{错误接收码元数}}{\text{传送总码元数}}$$

误信率(误比特率) P_b 定义为

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

教材同步习题全解

思 考 题

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

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,信息源中包括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,信息源中包括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,受信者中包括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,受信者中包括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,信道中包括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 数字通信有哪些特点?

答:相对模拟通信,数字通信具有以下特点:

- (1)其所传输的信号是离散式或数字的;
- (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,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。

1-3 按消息的物理特征,通信系统如何分类?

答:根据消息的物理特征的不同,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、图像通信系统等。

1-4 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,常见的一些可以见教材的表 1-1。

1-5 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。

1-6 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,频分复用(FDM),时分复用(TDM)和码分复用(CDM)。

1-7 通信方式是如何确定的?

答:按照消息传送的方向与时间关系,通信方式可以选择单工通信、半双工通信和全双工通信。在数字通信中,一般的远距离通信大都采用串行传输方式,在近距离数字通信中,有时也用并行传输方式。

1-8 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其有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性等,但主要性能有两个: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。

1-9 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。

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

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

1-11 未来通信技术的发展趋势如何?

答:相对模拟通信系统,数字通信系统具有诸多优点,尤其可以方便的实现加密解密,可靠性高,易于实现各种信息的综合传输,未来通信技术将必然以数字通信技术为主,各种类型的消息都在统一的通信网中传送。

1-12 什么是信源符号的信息量?什么是离散信源的信源熵?

答:信息符号中所包含的有用信息的多少就是信源符号的信息量。信源符号所含的信息量 I 与该信息符号出现的概率有关,信源符号出现的概率越小,其所包含的信息量就越大,反之信息量就越小。离散信号所有符号所包含的信息量的平均值就是离散信号的信源熵。当离散信源的所有符号独立等概出现时,其信源熵的值达到最大。

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: $I = \log_2 \frac{1}{p(x)} = -\log_2 p(x)$ bit。

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

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

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

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

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

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

【逻辑推理】 直接利用公式

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

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

$$p(E) = \frac{5}{16} \text{ 代入求解。}$$

【解题过程】 由平均信息量公式

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

1-3 设有四个消息 A 、 B 、 C 、 D 分别以概率 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/8$ 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。

【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

【逻辑推理】 直接利用公式 $H(x) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$ bit/符号求解。

【解题过程】 由平均信息量公式

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

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 代表 A,01 代表 B,10 代表 C,11 代表 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: $R_b = R_{BN} \times H(x)$ 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_{B4} ; 将每个字母的平均信息量 $H(x)$ 与码元速率 R_{B4} 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, 每个字母平均信息量即达到了信息源的最大熵

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

每个字母用二进制脉冲编码, 每个脉冲宽度为 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

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

平均信息速率为

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

(2) 每个字母不等概出现时, 每个字母的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \\ &= - \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{3}{10} \log_2 \frac{3}{10} \\ &= 1.985 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

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 $I =$

$\log_2 \frac{1}{p(x)} = -\log_2 p(x)$ bit 和平均信息量公式 $H(x) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$ 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 $1/3$ ”, 列出下列方程式:

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

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 设一信息源的输出由 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。

【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;

信息速率: $R_b = R_{BN} \times H(x)$ 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, 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 。

【解题过程】

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$$