

高等院校教材同步辅导及考研复习用书

spark® 星火·燎原

丛书主编 马德高

通信原理 辅导及习题精解

(樊昌信 第6版)

本册主编 林 霏 张少蔚

联系考研, 渗透精讲历年考研真题

典型例题
分析

+

教材习题
答案

+

同步自测
练习

延边大学出版社

丛书主编 马德高

通信原理

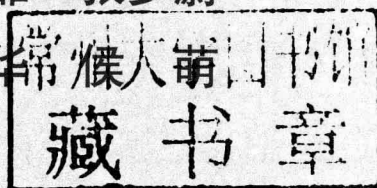
辅导及习题精解

(樊昌信 第6版)

本册主编 林 霏 张少蔚

副主编

李庆华



延边大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信原理辅导及习题精解：樊昌信第6版 / 马德高
主编. — 延吉：延边大学出版社，2011.7
ISBN 978-7-5634-1787-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 136205 号

通信原理辅导及习题精解

主编：马德高

责任编辑：何 方

出版发行：延边大学出版社

社址：吉林省延吉市公园路 977 号

邮编：133002

网址：<http://www.ydcbs.com>

E-mail：ydcbs@ydcbs.com

电话：0433-2732435

传真：0433-2732434

印刷：淄博恒业印务有限公司

开本：787×1092 1/16

印张：15.5 字数：300 千字

版次：2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5634-1787-2

定价：16.80 元

前言

《通信原理》是高等学校电子信息类专业学生最重要的一门专业基础课,也是电子信息类专业硕士研究生的专业考试科目。樊昌信、曹丽娜编著的《通信原理》是一套深受读者欢迎并多次获奖的优秀教材,被全国许多院校采用。该书第六版保持了其一贯的体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点,并根据近代通信技术发展的潮流,做了相应的调整。该教材保持了原来的优点、特色,进一步强调提高学生的综合素质并激发学生的创新能力。

为帮助、指导广大读者学好这门课程,我们编写了这本与樊昌信、曹丽娜编著的《通信原理》(第六版)配套的《通信原理辅导及习题精解》,以帮助读者加深对基本概念的理解,加强对基本解题方法与技巧的掌握,进而提高学习能力和思维水平。

本书共分十四章。章节的划分与教材完全一致。每章包括六大部分内容:

一、知识脉络结构图:先用网络结构图的形式揭示出本章知识点之间的有机联系,以便于学生从总体上系统地掌握本章知识体系和核心内容;

二、重点难点梳理:简要对每节涉及的基本概念、基本定理和公式进行了系统的梳理,并指出理解与应用基本概念、定理、公式时需注意的问题以及各类考试中经常考查的重要知识点;

三、典型例题精解:精选部分反映各章基本知识点和基本方法的典型例题——其中部分例题选自历年考研真题,给出了详细解答,以提高读者的综合解题能力;

四、历年考研真题评析:精选全国众多知名高校的研究生入学考试真题,做了精心深入的解答。

五、思考题与习题解答:对教材里该章节全部习题作详细解答。在解题过程中,对部分有代表性的习题,设置了“思路点拨”以引导读者尽快找到解决问题的思路和方法;

六、同步自测题及解答:精选有代表性、测试价值高的题目(有些题目选自历年考研真题),以检测学习效果,提高应试水平。

全书内容编写系统、新颖、清晰、独到,充分体现了如下三大特色:

一、知识梳理清晰、简洁:直观、形象的脉络结构图,精炼、准确的考点提炼,权威、独到的方法归纳,将教材内容抽丝剥茧、层层展开,呈现给读者简明扼要、层次分明的知识结构,便于读者快速复习、高效掌握,形成稳固、扎实的知识网,为提高解题能力和思维水平夯实基础。

二、能力提升迅速、互动:所有重点、难点、考点,统统归纳为一个个在考试中可能出现的基本题型,然后针对每一个基本题型,举出丰富的精选例题、考研例题,举一反三、深入讲解,

真正将知识掌握和解题能力提升高效结合、浑然一体,一举完成。

三、联系考研密切、实用:本书既是一本教材同步辅导,也是一本考研复习用书,书中处处联系考研:例题中有考研试题,同步自测中也有考研试题,更不用说讲解中处处渗透考研经常考到的考点、重点等,为的就是让同学们同步完成考研备考,达到考研要求的水平。

同时,我们根据教学的实际需要,在本书最后附赠两套期末测试题,所有题目均选自重点高校的期末试题库,题量、体例、分值及难易程度安排合理科学,用以方便读者进行阶段检测,及教师作为出题参考。

本书注意博采众家之长,参考了多本同类书籍,吸取了不少养分。在此向这些书籍的编著者表示感谢。由于我们水平有限,书中疏漏与不妥之处,在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见,以便再版时更正、改进。

编者

目 录

第1章 绪 论	(1)
本章知识结构及内容小结	(1)
经典例题解析	(4)
历年考研真题评析	(5)
思考题问题解答	(6)
习题分析与解答参考	(9)
同步自测题及参考答案	(13)
第2章 确知信号	(14)
本章知识结构及内容小结	(14)
思考题问题解答	(16)
习题分析与解答参考	(17)
第3章 随机过程	(21)
本章知识结构及内容小结	(21)
经典例题解析	(25)
历年考研真题评析	(26)
思考题问题解答	(28)
习题分析与解答参考	(32)
同步自测题及参考答案	(40)
第4章 信 道	(41)
本章知识结构及内容小结	(41)
经典例题解析	(42)
历年考研真题评析	(43)
思考题问题解答	(45)
习题分析与解答参考	(47)
同步自测题及参考答案	(49)
第5章 模拟调制系统	(50)
本章知识结构及内容小结	(50)
经典例题解析	(52)
历年考研真题评析	(53)
思考题问题解答	(55)
习题分析与解答参考	(58)
同步自测题及参考答案	(69)
第6章 数字基带传输系统	(70)
本章知识结构及内容小结	(70)

经典例题解析	(74)
历年考研真题评析	(76)
思考题问题解答	(78)
习题分析与解答参考	(83)
同步自测题及参考答案	(101)
第7章 数字带通传输系统	(103)
本章知识结构及内容小结	(103)
经典例题解析	(106)
历年考研真题评析	(109)
思考题问题解答	(111)
习题分析与解答参考	(114)
同步自测题及参考答案	(124)
第8章 新型数字带通调制技术	(126)
本章知识结构及内容小结	(126)
历年考研真题评析	(127)
思考题问题解答	(129)
习题分析与解答参考	(130)
同步自测题及参考答案	(132)
第9章 模拟信号的数字传输	(133)
本章知识结构及内容小结	(133)
经典例题解析	(137)
历年考研真题评析	(139)
思考题问题解答	(141)
习题分析与解答参考	(144)
同步自测题及参考答案	(151)
第10章 数字信号的最佳接收	(152)
本章知识结构及内容小结	(152)
经典例题解析	(155)
历年考研真题评析	(158)
思考题问题解答	(160)
习题分析与解答参考	(162)
同步自测题及参考答案	(172)
第11章 差错控制编码	(173)
本章知识结构及内容小结	(173)
经典例题解析	(175)
历年考研真题评析	(176)
思考题问题解答	(178)
习题分析与解答参考	(180)
同步自测题及参考答案	(193)

第 12 章 正交编码与伪随机序列	(195)
本章知识结构及内容小结	(195)
经典例题解析	(197)
历年考研真题评析	(198)
思考题问题解答	(199)
习题分析与解答参考	(203)
同步自测题及参考答案	(206)
第 13 章 同步原理	(207)
本章知识结构及内容小结	(207)
经典例题解析	(210)
历年考研真题评析	(210)
思考题问题解答	(212)
习题分析与解答参考	(215)
同步自测题及参考答案	(217)
第 14 章 通信网	(218)
本章知识结构及内容小结	(218)
思考题问题解答	(220)
习题分析与解答参考	(224)
期末测试题一	(226)
期末测试题二	(228)
期末测试题参考答案	(230)

第1章 绪论

本章知识结构及内容小结

【本章知识结构】



图 1-1 第1章知识结构框图

【本章内容小结】

1. 常用通信术语

① 通信

通信即信息的传输与交换。

② 消息

消息是物质或精神状态的一种反映,具有不同的表现形式,例如语音、文字、数据、图片等。各种不同的消息可以分成两大类:一类称为连续消息,此时消息的状态连续变换或不可数;另一类称为离散消息,此时消息的状态是可数的或离散的。

③ 信号

信号是消息的承载者,信号常常由消息变换而来,是与消息对应的某种物理量,通常是时间的函数。通信系统中传送的是信号。

④ 信息

信息是物质运动规律的总和,可被理解为消息中包含的有意义的内容;不同形式的消息,可包含相同的信息。

2. 通信系统模型

① 通信系统一般模型如图 1-2 所示。

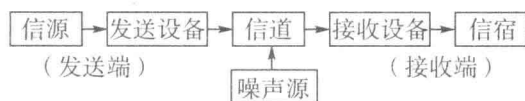


图 1-2 通信系统一般模型

信源(Source):将待传输的消息转换成原始电信号;

发送设备(Transmitter):将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号;

信道(Channel):信号传输的通道,分为无线与有线两类;

接收设备(Receiver):从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号;

信宿(Destination):将复原的原始电信号转换成相应的消息;

噪声源(Noise):信道中及分散在通信系统其他各处噪声的集中表示。

② 模拟通信系统模型如图 1-3 所示。

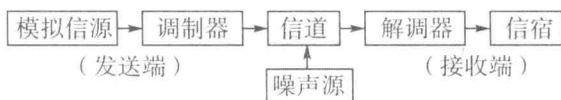


图 1-3 模拟通信系统模型

调制器(Modulator):将来自信源的原始基带信号转化为频带信号(又称作已调信号或带通信号);

解调器(Demodulator):将频带信号还原为原始基带信号。

③ 数字通信系统模型如图 1-4 所示。

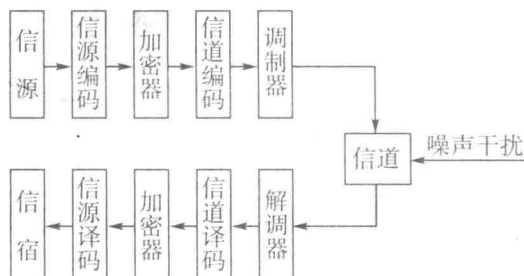


图 1-4 数字通信系统模型

信源编码:将信源产生的消息转换成电信号及进一步的变换。信源编码的目的是提高通信系统的有效性。

信道编码:将信源编码输出的信号按一定的规则加入监督元,目的是增强数字信号的抗干扰能力。信道编码目的是提高系统的可靠性。

解码器是编码器的逆变换。

3. 通信系统分类

- (1) 根据消息的物理特征:电话、电报、数据、图象等;
- (2) 根据调制方式:基带传输与频带传输系统;
- (3) 根据信号特征:数字与模拟通信系统;
- (4) 根据传输媒介:有线与无线通信系统;
- (5) 根据工作波段:长波、中波、短波、远红外线通信系统;
- (6) 根据信号复用方式:频分、时分与码分复用系统。

4. 信息及其度量

(1) 信息量

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

$a = 2$: 比特(bit); $a = e$: 奈特(nit); $a = 10$: 哈特莱。

(2) 信源熵

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

信息源的最大熵,发生在每一个符号(M进制)等概率出现时,即

$$H(X) = \log_2 M (\text{bit/符号})$$

5. 通信系统性能指标

通信系统的最主要性能指标为有效性与可靠性:

(1) 有效性:传输一定信息量时占用的信道资源,即信息传输的“速度”问题;

模拟通信系统的有效性可用有效传输频带来衡量。带宽越小,有效性越高;

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。传输速率或频带利用率越高,有效性越高。

① 传输速率:包括传码率与传信率

I 传码率(码元传输速率)。

定义:单位时间内传送的符号(码元)数量;

符号: $R_B, R_B = \frac{1}{T} (B)$, 其中 T 为码元宽度;

单位:“波特”(Baud 或 B)。

思考:传码率与码元的进制有关吗?

II 传信率(信息传输速率)

定义:单位时间内传送的平均信息量;

符号: R_b ;

单位:“比特/秒”(bit/s 或 bps)。

III 传码率与传信率之间的关系

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

② 频带利用率

定义:单位带宽内的传输速率;

符号: $\eta = \frac{R_B}{B}$ 或 $\eta = \frac{R_b}{B}$

单位:Baud/Hz 或 bit/(s · Hz)。

(2) 可靠性:接收信息的准确程度,即信息传输的“质量”问题。

模拟通信系统的可靠性用接收端解调器输出信噪比来衡量。信噪比越大,可靠性越高;

数字通信系统的可靠性用差错率(包括误码率和误信率)来衡量。差错率越小,可靠性越高。

① 误码率

定义:错误接收的码元数在总传输码元数中所占的比例,即码元在传输系统中被传错的概率;

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

② 误信率

定义:错误接收的比特数在总传输比特数中所占的比例;

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

③ 传码率与传信率之间的关系

M 进制传输系统中, $P_b = \frac{M}{2(M-1)} P_e$ 。

6. 重点、难点与考点

重点:通信系统的相关概念;

难点:信源熵的计算;

考点:通信系统的模型图、信息量、熵、数字通信系统性能指标。

经典例题解析

基本题型 I:通信系统模型

例 1 画出通信系统的一般模型图,并描述各组成部分的主要功能。

【思路探索】 该类简单题还包括考察模拟与数字通信系统的模型图。可按照信道两侧对应记忆,例如信源对应信宿,调制对应解调,编码对应译码等。

解:参看图 1-2,具体解答略。

基本题型 II:信息量的计算

例 2 设二进制离散信源,数字 0 或 1 以相等的概率出现,试计算每个符号的信息量。

【思路探索】 按照信息量的定义直接计算。

解:二进制等概率时, $P(1) = P(0) = 0.5$,

所以,信息量 $I(1) = I(0) = -\log_2 0.5 = 1(\text{bit})$ 。

【引申】 M 进制等概时,每个符号的信息量相等,均为 $\log_2 M(\text{bit})$ 。

基本题型 III:信源熵的计算

例 3 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。

【思路探索】 首先计算信息源的熵,然后根据传码率,计算平均信息量。

解:该信息源的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= -\sum_{i=1}^M P(x_i) \log_2 P(x_i) \\ &= -\frac{1}{32} \log_2 \frac{1}{32} - \frac{1}{224} \log_2 \frac{1}{224} = 6.405 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

另由题意可知,码元速率 $R_B = 1000 \text{ B}$,所以该信息源的平均信息速率为 R_b 为

$$R_b = R_B \times H(x) = 6405 \text{ bit/s}$$

基本题型 IV:传码率与传信率的计算

例 4 如果二进制独立等概信号,码元宽度为 0.5 ms ,求传码率 R_B 与传信率 R_b ?

【思路探索】 利用传码率与传信率之间的关系求解。

解:传码率 $R_B = 1/T = 2000 \text{ B}$;

二进制中,不同码元等概出现时,每个码元的平均信息量为:

$$H(x) = \log_2 0.5 = 1 \text{ bit/符号};$$

因此,传信率 $R_b = R_B \times H(x) = 2000 \text{ bit/s}$ 。

例 5 如果四进制独立等概信号,码元宽度为 0.5 ms ,求传码率 R_B 与传信率 R_b ?

解:传码率 $R_B = 1/T = 2000 \text{ B}$;

四进制中,不同码元等概出现时,每个码元的平均信息量为:

$$H(x) = \log_2 0.25 = 2 \text{ bit/符号};$$

因此,传信率 $R_b = R_B \times H(x) = 4000 \text{ bit/s}$ 。

历年考研真题评析

总体来看,本章考研题单独出现的概率并不大,如果出现,考查重点主要集中在平均信息量的计算、符号独立等概率出现时信息源的熵取得最大值、码元速率与信息速率的关系等方面的联合考察上。

1. (北京邮电大学) 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 5 ms 。

(1) 不同的字母等概率出现时,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。

【问题分析】 该题的考点有四个,一是脉冲宽度和符号宽度的关系;二是码元速率和码元宽度的关系;三是码元速率和信息速率的关系;四是等概率和不同概率情况下平均信息量的计算。

【问题解答】 因为每一个字母用二进制脉冲编码,每个脉冲宽度为 5ms,所以每个字母占用的时间长度 $T = 2 \times 5 = 10\text{ms}$,由此可得码元速率 $R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \times 10^{-3}} = 100\text{B}$

(1) 不同的字母等概率出现时,平均信息量为

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

平均信息速率 R_b 为:

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

(2) 四个字母不同概率出现时,代入可求得平均信息量 $H(x)$ 为:

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

平均信息速率 R_b 为:

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

思考题问题解答

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?

【知识储备】 信息源简称信源,它的作用是把各种消息转换成原始电信号。消息包括文字、图像、符号、声音等。信号是消息的承载者,信号常常由消息变换而来,是与消息对应的某种物理量,通常是时间的函数。通信系统中传送的是信号。受信者简称信宿,是传送消息的目的地,其功能与信源相反,即把原始电信号还原为相应的消息。信道是一种物理媒质,用来将来自发送设备的信号传送到接收端。信道分为无线信道和有线信道。无线信道利用电磁波在自由空间来传输信号。

【问题解答】 无线广播所需要传播的消息形式为声音,信息源将声音转换成原始电信号。受信者将信道传输来的原始电信号还原成相应的声音,信道是载有声音的无线广播信道。

电视所需要传播的消息形式为声音、图像,信息源将音视频消息转换成原始电信号。受信者将信道传输来的原始电信号还原成相应的音视频消息,信道是载有声音和图像的无线电波信道。

1-2 何谓数字信号?何谓模拟信号?两者的根本区别是什么?

【知识储备】 模拟(连续)消息:状态连续变化,例如语音,图像。数字(离散)消息:状态可数或离散,如符号、文字、数据。消息是寄托在电信号的某一参量上进行传递的。

【问题解答】 数字信号是载荷消息的电参量离散取值的信号,参量仅可能取有限个值,有时也称离散信号,离散的含义是指信号的某一参量是离散变化的。

模拟信号是载荷消息的电信号参量连续取值(不可数、无穷多)。

数字信号和模拟信号的根本区别在于信号参量的取值是连续还是离散,是无穷多个还是有限多个。

1-3 何谓数字通信?数字通信有哪些优缺点?

【知识储备】 按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。目前,数字通信已成为当代通信技术的主流。

【问题解答】 利用数字信号来传递信息的通信系统称为数字通信。

数字通信的优点:

- (1) 抗干扰能力强(可有效消除噪声积累);
- (2) 传输差错可控,可通过检错和纠错,提高传输质量;
- (3) 便于处理和管理,便于传输和交换;
- (4) 便于与各种数字终端接口,进行处理、加工、变换、存储,形成智能网;
- (5) 便于集成化,微型化;
- (6) 便于加密处理,且保密性好。

数字通信的缺点:

- (1) 频带利用率低。例如传输一路模拟电话通常需占用 4kHz 带宽,但传输一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 20—60kHz 的带宽。
- (2) 对同步要求高,因而系统设备比较复杂。

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?

【知识储备】 数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。一般模型如图 1-4 所示。注意图中给出的是一般化模型,实际的数字通信系统不一定包括图中的所有环节。

【问题解答】 信源编码的作用之一是通过数据压缩提高信息传输的有效性,作用之二是完成模/数(A/D)转换,以实现模拟信号的数字化传输;信道编码的作用是增强数字信号的抗干扰能力,以提高通信系统的可靠性;加密和解密的作用是保证所传信息的安全;数字调制和解调的作用是将数字基带信号的频谱搬到高频处,形成适合在信道中传输的带通信号;同步的作用是使得收发两端信号在时间上保持一致。

1-5 按调制方式,通信系统如何分类?

【知识储备】 调制作用是将基带信号的频谱搬到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。调制是本课程的重点内容,详见第 5、7 章和第 8 章。

【问题解答】 参考教材第 6 页图 1-1,具体回答略。

1-6 按传输信号的特征,通信系统如何分类?

【知识储备】 按照所传输信号是模拟信号还是数字信号进行分类。

【问题解答】 按传输信号的特征,通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统,其中模拟通信系统的信道中传输信号为模拟信号,例如电话;数字通信系统的信道中传输信号为数字信号,例如电报。

1-7 按传输信号的复用方式,通信系统如何分类?

【知识储备】 传输多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。

【问题解答】 按传输信号的复用方式,通信系统分为频分复用(FDM)系统、时分复用(TDM)系统和码分复用(CDM)系统。

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。

【知识储备】 对于点对点通信来说,按消息传送方向与时间关系可将通信方式进行分类。

【问题解答】 单工、半双工及全双工通信方式是按消息传送方向与时间关系进行分类的。单工通信指只能有一个方向的通信而没有反方向的交互,例如遥测、遥控、寻呼;半双工通

信指通信的双方都可以发送信息,但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收),例如使用同一载频无线电对讲机。全双工通信指通信的双方可以同时发送和接收信息,例如电话。

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?

【知识储备】 按数字信号的码元排列方法有并行传输和串行传输两种传输方式,二者各有优缺点及适用场合。

【问题解答】 按数字信号码元的排列顺序,分为并行传输和串行传输两种通信方式。并行传输将数字信号序列码元分割成两路或者两路以上的通路上传输,优点是传输速度快,容易实现收发双方的字符同步,缺点是传输成本高,一般适用于近距离数字通信。串行传输将数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,优点是传输成本低,缺点是速度慢,需要外加同步措施,一般用于远距离数字通信。

1-10 通信系统的主要性能指标是什么?

【知识储备】 评价一个通信系统优劣的主要性能指标是系统的有效性和可靠性。有效性指传输的“速度”问题,可靠性指传输的“质量”问题。

【问题解答】 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。其中最主要性能指标是系统的有效性和可靠性。有效性指传输一定信息量时占用的信道资源,即信息传输的“速度”问题;可靠性指接收信息的准确程度,即信息传输的“质量”问题。按照信息论观点,有效性和可靠性常常是一对矛盾。模拟通信系统的有效性用所传信号的有效传输带宽来表征;可靠性用均方误差表示。数字通信系统的有效性用传输速率和频带利用率衡量;可靠性用差错率衡量。

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?

【知识储备】 数字通信系统有效性和可靠性。

【问题解答】 衡量数字通信系统有效性的性能指标有传输速率和频带利用率。传输速率有码元传输速率 R_B 和信息传输速率 R_b 。衡量数字通信系统可靠性的性能指标是差错率。差错率常用误码率 P_e 和误信率 P_b 表示。

1-12 何谓码元速率和信息速率?它们之间的关系如何?

【知识储备】 码元速率仅仅表征单位时间内传送码元的数目,而没有限定此时的码元是何种进制。信息速率与进制有关。

【问题解答】 码元速率,又称码元传输速率、传码率。它被定义为单位时间(每秒)传送码元的数目,单位是波特,简记为B。信息速率,又称信息传输速率、比特率。它定义为单位时间内传递的平均信息量或比特数,单位为比特/秒,简记为b/s或bps。

码元速率和信息速率之间有以下确定的关系,即 $R_b = R_B H(x)$ (bit/s),其中 $H(x)$ 为信源熵。

1-13 何谓误码率和误信率?它们之间的关系如何?

【知识储备】 误码率和误信率是数字通信系统的可靠性衡量指标。

【问题解答】 误码率 P_e 又称误符号率,指错误接收的码元数在传输总码元数中所占的比例,或指符号在传输系统中被传错的概率,即

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

误信率 P_b ,又称误比特率,是指错误接收的比特数在传输总比特数中所占的比例,指符号信息量在传输系统中发生错误的概率,即

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

误码率和误信率都是衡量数字通信系统可靠性的指标。在二进制中有

$$P_b = P_e$$

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。

【知识储备】 消息量 $\neq$ 信息量。消息中的不确定内容构成信息;信息量的多少与接收者的惊讶程度有关;消息表达的内容越不可能发生,越不可预测,惊讶程度越大,信息量就越大。信息量与消息的种类及重要程度无关;事件的不确定程度越大,信息量越大。消息中所含信息量是消息出现概率 $P(x)$ 的函数。消息出现的概率愈小,它所含信息量愈大;反之信息量愈小。

【问题解答】 应选择(1)。

习题分析与解答参考

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

【知识储备】 消息中包含的信息量与消息发生的概率密切相关。信息量的计算公式由信息量与消息发生的概率 $P(x)$ 之间的关系式得到:

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

【问题解答】 根据信息量的计算公式 $I = -\log_2 P(x)$, 由题意可知英文字母 e 出现的概率 $P(e) = 0.105$, 英文字母 x 出现的概率 $P(x) = 0.002$, 代入信息量计算公式可得的信息量为

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

同理, x 的信息量为

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

1-2 某信源符号集由 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。

【知识储备】 符号的平均信息量为每个符号所含信息量的统计平均值。平均信息量计算公式为

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

【问题解答】 由题意可知, A, B, C, D 和 E 出现的概率分别为

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

将上述值代入平均信息量计算公式可得

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