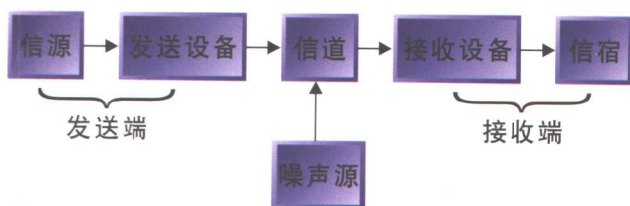


21

世纪通向研究生之路系列丛书

考试要点·例题精解·实战习题

通信原理



考研成功的阶梯

课程学习的帮手

李白萍 主编

常见题型解析及模拟题

西北工业大学出版社

【内容简介】本书是根据国家教育部制定的“高等工业学校通信原理课程的教学基本要求”及硕士研究生入学考试的基
本要求编写的辅导教材。

全书分为两部分。正文部分归纳了通信原理的基本概念,原理与方法,以信号在通信系统中传输的顺序贯穿始终,共分
为9章,即绪论、随机信号分析、信道与噪声、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、数字信号的
最佳接收、同步原理、差错控制编码。各章均按重点与难点、例题精选及习题三部分编写。附录部分收录了部分高校近几年
硕士研究生入学试题,共8套,并提供了两套考研模拟试题,以供读者参考。另附有各章习题部分参考答案,便于自学。

本书可供有志攻读硕士研究生的考生作为复习参考书,也可作为大学本科生学习通信原理课程的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理常见题型解析及模拟题/李白萍主编. —西安:西北工业大学出版社,2001.12
(21世纪通向研究生之路系列丛书)
ISBN 7-5612-1423-5

I. 通… II. ①李… III. —通信理论—研究生—入学考试—自学参考资料 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 083833 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)8493844

E-mail:FXB@nwpup.com

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:西安建筑科技大学印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12.5

字 数:290 千字

版 次:2002 年 1 月 第 1 版 2002 年 1 月 第 1 次印刷

印 数:1~4 000 册

定 价:16.00 元

通向研究生之路系列丛书编委会

- 顾问** 戴冠中（西北工业大学原校长，博士生导师，教授）
- 主任委员** 徐德民（西北工业大学原副校长，博士生导师，教授）
- 副主任委员** 孙 朝（陕西省学位委员会办公室主任）
- 王润孝（西北工业大学校长助理，教务处处长，教授）
- 冯博琴（西安交通大学教务处原副处长，教授）
- 韦全生（西安电子科技大学教务处原副处长，副教授）
- 郑永安（西北工业大学出版社原社长，副编审）
- 委员** 史忠科 张畴先 王公望 葛文杰
- 刘 达 支希哲 范世贵 武自芳
- 策 划** 王 璐 张近乐

面向 21 世纪,社会对德才兼备的高素质科技人才的需求更加迫切。通过行之有效的途径和方法培养符合时代要求的优秀人才,是摆在全社会尤其是高等学校、科研院(所)面前一项艰巨而现实的问题。

为了强化素质教育,使大学生学有所长,增强才智,高等教育部门各有关单位对高等学校公共基础课、技术基础课到专业课的整个教学过程做了大量细致的工作。与之相配合,不少出版社也相继出版了指导学生理想、领会教学内容,增强分析、解决问题能力的辅导读物,其中多数是关于外语、数学、政治等公共基础课的,极大地满足了大学生基础课学习阶段相应的要求。但当学习技术基础课时,学生们同样需要合适的参考书来帮助他们掌握课程重点和难点,提高课程学习水平,以及指导解题的思路和技巧,乃至适应研究生入学考试的需求。不过,这类读物目前比较少见。基于此,西北工业大学出版社的同志们深入作者、读者之中,进行市场调查研究,在广泛听取意见的基础上,组织数十位在重点大学执教多年,具有较高

^① 邱关源——西安交通大学教授,博士生导师,曾任第一、二届中国电工技术学会理论电工专业委员会副主任委员,高等教育委员会工科电工课程教学指导委员会委员。

学术造诣的一线教师,历经两年,精心编撰了这套旨在有效指导大学生学习技术基础课,为课程学习、应试考研及以后工作提供帮助的参考书。

该丛书首批推出 9 种,所有书稿几经修改,并经同行专家审定。内容选材符合课程基本要求,并且重在对基本概念的启发、理解和提高读者分析问题的能力。我热情地向大家推荐这套丛书,希望它能对广大读者的学习有所帮助,更期望它能在强化素质教育、推动教学改革方面起到积极作用。

邱关源

1997 年 10 月

出版说明

随着经济建设的快速发展和科教兴国战略的实施,社会对高素质专业人才的需求更加迫切。崇尚知识,攻读学位,不仅是一种知识价值的体现,更是社会进步的标志。“考研热”已成为当今社会一道引人注目的风景线,成为莘莘学子乃至全社会关注的热点。

研究生入学考试是通向研究生之路上必过的一关。除了政治、英语、数学等公共基础课之外,技术基础课(专业基础课)和专业课也是必考的科目。为了配合全国各高校加强高素质、知识型人才的培养的需求,也为了给广大同学提供一套行之有效的、切合实际的考研指导用书,西北工业大学出版社精心策划和组织编写了《通向研究生之路系列丛书》,并于1997年9月陆续出版,至今已出版15种,基本涵盖了全国工科院校所开设的技术基础课和拟选定的考研科目。

本丛书具有以下4大特点。

1. 选题新颖,独树一帜

该丛书站在新的视角,有针对性、有计划地推出整套工科技术基础课的学习用书,令人耳目一新。

2. 紧扣大纲,严把尺度

丛书紧紧围绕国家教育部制定的教学大纲及研究生入学考试大纲,按照基础知识与提高解题技巧的主线,把握住内容的深浅程度,既保证课程学习时开卷有益,又能对复习应试行之有效。

3. 重视能力,提高技巧

该丛书严格遵从不管是课程学习还是考试,其最终目的都是为提高学生分析问题、解决问题的能力这一主旨,重在通过阐明基本要点及典型例题解析来引导学生识题、解题。

4. 选材得当,重点突出

参加本丛书编写的作者均是从事教学工作多年的资深教师。在丛书内容的取舍、材料的选编及文字表达方面能更胜一筹。因此,丛书内容得当,材料全而不滥,精而易懂,注释简明,解析扼要。

这套丛书的价值和生命,在时间的考验和市场的竞争中得到充分的证实。3年多来,从读者热忱的来函、来电和来访中可以看出,丛书不仅使广大报考硕士研究生的同学们深受裨益,而且对高校的教学改革起到了推波助澜的作用。基于此,在科学技术高速发展、高校基础课教材不断更新的今天,我们深感有责任、有义务,增新摒旧,扬长弥短,下大功夫,继续努力,使这套丛书日臻完美,以更好地为广大读者服务,为科技进步服务。

本次修订我们是在组织了资深作者,经过认真的讨论,多次的酝酿,在完成扎实的前期工作的基础上进行的。首先,对各分册第1版进行了精细、严格的审订;其次,在保持原有的结构严谨、重点突出、实用性强等特点的基础上,对部分内容予以删改、补充、更新;第三,为了配合当前高等学校注重培养高素质的知识型人才,拓宽基础知识面,加强基础理论的教学要求,修订时特别注意将科技发展中成熟的新技术予以补充;第四,与新修订的全国通用教材的内容相应配套,补充了例题或习题,有的分册增加了新的章节;第五,各个分册的附录部分都做了较大的变动,使读者不仅可以了解具体内容,而且为那些有志深造的读者提供有积累价值的资料。

本丛书的出版得到了多方面的支持和关心,陕西省学位委员会办公室、西安交通大学、西安电子科技大学、西北工业大学等单位的有关人士为本丛书的出版出谋划策,提出了许多建设性的意见。西安交通大学邱关源教授献身教育事业50余年,德高望重,学识渊博,他在百忙中为本丛书写了序,充分肯定了本丛书的价值。为此,我们一并表示衷心的感谢。

这套丛书现以《21世纪通向研究生之路系列丛书》的崭新面貌进入市场。它把丛书的作者、读者和出版者紧紧地联系在一起。在本套丛书第2版即将付梓之际,我们对辛勤耕耘在教学、科研第一线,将自己在实践中积累的知识无私奉献给社会、奉献给读者的各位作者老师表示衷心的感谢。我们坚信,修订后的这套丛书将为在书海中勤奋进取的同学们指引一条通向成功的捷径,也必将成为在知识海洋中遨游的学子们不断搏击,获取胜利的力量源泉。

丛书编委会

2000年6月

前言

本书是西北工业大学出版社根据国家教育部教学指导委员会制定的“通信原理课程教学基本要求”和硕士研究生入学考试的基本要求而策划和组织编写的《通向研究生之路系列丛书》之一,目的在于为有志攻读硕士研究生的考生提供一套全面的复习参考书,同时也为大学本科、专科学生在学习通信原理课程时提供一套实用的辅助教材。

本书以樊昌信教授等编写的《通信原理》(第4版)为主要参考书,以数字通信系统框图基本组成及信号传输的顺序为主线编写,不包括模拟信号调制部分。

全书基本内容共分9章:绪论,随机信号分析,信道与噪声,模拟信号的数字传输,数字信号的基带传输,数字信号的频带传输,数字信号的最佳接收,同步原理,差错控制编码。每章由重点与难点、例题精选和习题三部分组成。重点与难点主要给出各章的基本内容和要求,为读者提供一条主线;例题精选通过对典型例题的分析和解答,帮助读者形成一个完整的解题思路,提高解题能力,掌握解题技巧;为使读者检验对各章内容的复习效果,每章均选编有习题,并在书末给出了部分习题的参考答案。本书附录部分提供了近年来几所高等院校硕士研究生入学考试试题,共8套,并提供了两套考研模拟试题,供读者和考生熟悉多种题型,了解命题动态。

本书由西安科技学院李白萍副教授、王树奇老师、硕士研究生李明明合作编写。李白萍副教授任主编,负责全书的统稿和各章内容的编写,王树奇编写附录,李明明为本书的部分例题做了解答,并负责抄稿、画图。在编写过程中,西安科技学院通信与信息理论教研室的老师给予了大力支持,在此谨致以诚挚的谢意。对本书选用的参考文献和资料的作者,我们真诚地致以感谢!

编者

2001年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 重点与难点	1
1.1.1 通信基本概念	1
1.1.2 通信系统的组成及分类	1
1.1.3 信息及其度量	3
1.1.4 通信系统的主要性能指标	4
1.2 例题精选	5
1.3 习题	8
2 随机信号分析	10
2.1 重点与难点	10
2.1.1 随机过程的基本概念	10
2.1.2 平稳随机过程	11
2.1.3 高斯过程(正态随机过程)	12
2.1.4 窄带随机过程	13
2.1.5 正弦波加窄带高斯过程	14
2.1.6 随机过程通过线性系统	14
2.2 例题精选	15
2.3 习题	23
3 信道与噪声	25
3.1 重点与难点	25
3.1.1 信道定义及模型	25
3.1.2 恒参信道特性及对信号传输的影响	26
3.1.3 随参信道特性及对信号传输的影响	27
3.1.4 信道的加性噪声	28
3.1.5 信道容量	28
3.2 例题精选	29
3.3 习题	35
4 模拟信号的数字传输	37
4.1 重点与难点	37

4.1.1	模拟信号数字化的方式	37
4.1.2	抽样定理及PAM信号	37
4.1.3	量化理论	39
4.1.4	编码理论	40
4.1.5	增量调制 ΔM	42
4.1.6	时分复用和多路数字电话系统	43
4.2	例题精选	45
4.3	习题	56
5	数字信号的基带传输	58
5.1	重点与难点	58
5.1.1	数字基带传输系统基本结构	58
5.1.2	数字基带信号及其频谱特性	58
5.1.3	基带传输的常用码型	59
5.1.4	基带脉冲传输与无码间干扰条件	60
5.1.5	无码间干扰基带系统的抗噪声性能	62
5.1.6	眼图与时域均衡	62
5.2	例题精选	64
5.3	习题	81
6	数字信号的频带传输	84
6.1	重点与难点	84
6.1.1	数字信号的频带传输系统	84
6.1.2	二进制数字调制解调原理	84
6.1.3	二进制数字调制系统的抗噪声性能	87
6.1.4	多进制数字调制系统	88
6.1.5	改进的数字调制系统	89
6.2	例题精选	91
6.3	习题	103
7	数字信号的最佳接收	105
7.1	重点与难点	105
7.1.1	最佳接收概念及最佳接收准则	105
7.1.2	确知信号的最佳接收	106
7.1.3	匹配滤波器	109
7.1.4	基带系统的最佳化	110
7.2	例题精选	111
7.3	习题	118

8 同步原理	121
8.1 重点与难点	121
8.1.1 同步的基本概念	121
8.1.2 载波同步	121
8.1.3 位同步	123
8.1.4 群同步	124
8.2 例题精选	124
8.3 习题	130
9 差错控制编码	131
9.1 重点与难点	131
9.1.1 差错控制编码的基本概念、原理	131
9.1.2 常用的简单编码	132
9.1.3 线性分组码	132
9.1.4 循环码	134
9.2 例题精选	135
9.3 习题	141
附 录	143
1 2001 年西安科技学院硕士研究生入学考试试题	143
2 2000 年西安科技学院硕士研究生入学考试试题	146
3 2000 年北京邮电大学硕士研究生入学考试试题	149
4 1999 年北京邮电大学硕士研究生入学考试试题	153
5 2000 年西安电子科技大学硕士研究生入学考试试题	156
6 1999 年西安电子科技大学硕士研究生入学考试试题	158
7 1998 年西北工业大学硕士研究生入学考试试题	160
8 1997 年西安交通大学硕士研究生入学考试试题	162
9 硕士研究生入学考试模拟试题 1	165
参考解答	167
10 硕士研究生入学考试模拟试题 2	170
参考解答	172
各章部分习题参考答案	177
参考文献	184

绪 论

- 通信基本概念
- 通信系统的组成及分类
- 信息及其度量
- 通信系统的主要性能指标

1.1 重点与难点

1.1.1 通信基本概念

1. 通信、消息、信息、信号

(1) 通信: 消息传递的全过程, 即信息的传输与交换。

(2) 消息: 是有待于传输的语言、活动图片和文字、数据等。前者称为连续消息, 后者称为离散消息; 它们均具有不确定性。

(3) 信息: 消息中包含的有意义的内容。不同形式的消息可以包含相同的信息。

(4) 信号: 与信息一一对应的电量, 是信息的物质载体。即信息被承载在电信号的某一参量上, 若该参量是离散取值的, 则称这样的信号是数字信号; 若该参量是模拟取值的, 则称这样的信号是模拟信号。

2. 通信系统

通信的目的在于传递信息。完成信息传递所需全部设备和传输媒介的总和称为通信系统。信道中传输的是模拟信号, 所对应的通信系统为模拟通信系统; 信道中传输的是数字信号, 所对应的通信系统为数字通信系统。

1.1.2 通信系统的组成及分类

1. 通信系统的一般模型

点对点通信系统的一般模型如图 1.1 所示。

(1) 信源和信宿: 信源的作用是把各种可能的消息转换成原始电信号, 非电 / 电转换; 信宿的作用是将复原的原始电信号转换成相应的消息, 电 / 非电转换。

(2) 发送设备: 发送设备将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。其变换过程包括编码和调制, 基本功能是将信源和信道匹配。

(3) 信道和噪声源: 信道是指信号传输的通道, 即传输媒质, 分为有线和无线两类。信道给

信号通路,同时也对信号产生各种干扰和噪声。噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示,影响通信质量。

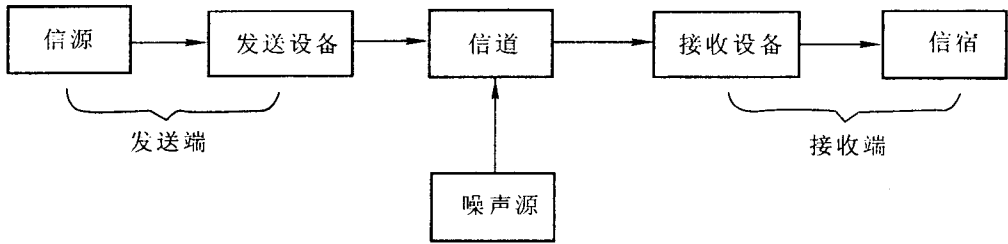


图 1.1 通信系统的一般模型

(4) 接收设备:接收设备的功能与发送设备的相反。它能从带有干扰的接收信号中正确恢复出相应的原始信号。

2. 数字通信系统的模型

数字通信的基本特征是传输的信号是“离散”或“数字”的。数字通信系统就是利用数字信号来传递信息的通信系统,如图 1.2 所示。

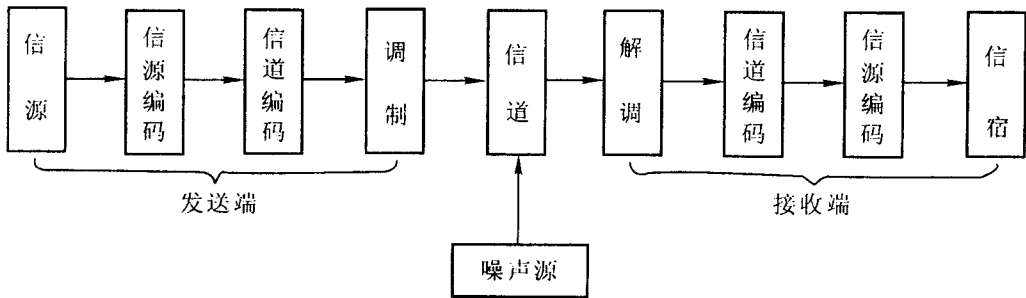


图 1.2 数字通信系统的模型

(1) 信源和信宿:信源的作用是把消息转换成原始的电信号,完成非电 / 电的转换;信宿的作用是把复原的电信号转换成相应的消息。

(2) 信源编码和信源解码:信源编码有两个作用,其一:进行模 / 数转换,其二:数据压缩,即设法降低数字信号的数码率;信源解码是信源编码的逆过程。

(3) 信道编码与解码:数字信号在信道中传输时,由于噪声影响,会引起差错。使数字信号适应信道所进行的变换称为信道编码。信道编码的目的就是提高通信系统的抗干扰能力,尽量控制差错,保证通信质量。信道解码是信道编码的反变换。

(4) 调制和解调:数字调制的任务是把各种数字基带信号转换成适应于信道传输的数字频带信号。经变换后已调信号有两个基本特征:一是携带信息,二是适应在信道中传输。数字解调是数字调制的逆变换。

(5) 信道:信道是信号传输的通道(媒质)。信道分为有线信道、无线信道。在某些有线信道中,若传输距离不远,通信容量不大时,数字基带信号可以直接传送,称为基带传输;而在无线信道和光缆信道中,数字基带信号必须经过调制,即把信号频谱搬移到高频处才能传输,这种

传输称为频带传输。

(6) 最佳接收和同步:依据最小差错准则进行接收,可以合理设计接收机达到最佳。同步是使收发两端信号在时间上保持步调一致,按照同步的作用不同,分为载波同步、位同步、群同步和网同步。同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提条件。

3. 数字通信系统的特点

相对于模拟通信系统而言,数字通信系统有如下优点:

- (1) 抗干扰能力强,无噪声积累;
- (2) 便于加密处理,保密性强;
- (3) 采用差错控制技术,改善传输质量;
- (4) 便于集成化,使通信设备微型化;
- (5) 利用现代计算技术,便于对信息进行处理、存储、变换。

其缺点是:

- (1) 占据系统频带宽,频带利用率不高。一路模拟电话占 4 kHz 带宽,而一路数字电话占 20 ~ 64 kHz 带宽;
- (2) 对同步要求高,系统设备比较复杂。

4. 通信系统的分类

- (1) 按通信的业务内容分类:(狭义)电话、电报、数据、图像通信等。
(广义)遥测、遥控、遥感、遥调通信等。
- (2) 按调制方式分类:基带传输和频带传输。
- (3) 按信号特征分类:模拟通信和数字通信。
- (4) 按传输媒介分类:有线和无线。
- (5) 按信号复用方式分类:FDM,TDM,CDM。
- (6) 按通信方式分类:单工、半双工、双工通信。
- (7) 按通信网络分类:专线通信(点对点)、网通信(多点间)。

1.1.3 信息及其度量

通信的目的在于传递信息,每一个消息信号必定包含有接收者所需要知道的信息,消息以具体信号形式表现出来,而信息则是抽象的、本质的内容。只有消息中的不确定的内容才构成信息,所以信息就是对这种不确定性的定量描述。

1. 信息量的计算

事件的不确定程度,可以用其出现的概率来描述。消息出现的可能性越小,则消息中包含的信息量就越大;当消息出现的概率为 1 时,则它传递的信息量为 0;若干独立事件构成的消息所含的信息量等于各个消息所含信息量的线性叠加,即信息具有相加性。传输信息的多少,用信息量去衡量。

综上所述,某离散消息 x 发生的概率为 $P(x)$,其所携带的信息量为

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

当对数底 a 取 2 时,信息量的单位为比特(bit);当 a 取 e 时,信息量的单位为奈特(nit);当 a 取 10 时,信息量的单位为哈特(hart)。

2. 离散信源的平均信息量的计算

对于由一连串符号所构成的消息,可根据信息相加性概念计算整个消息的信息量,但当消息很长时,可用平均信息量的概念来计算。

所谓平均信息量是指信源中每个符号所含信息量的统计平均值。统计独立的 N 个符号的离散信息源的平均信息量为

$$H = - \sum_{i=1}^N P(x_i) \lg P(x_i) \text{ (bit/符号)}^{\textcircled{1}}$$

由于 H 同热力学中的熵形式一样,故通常又称之为信息源的熵,其单位为 bit/符号。可以证明,信息源的最大熵发生在信源中每个符号等概独立出现时,此时最大熵为

$$H = \lg N \text{ (bit/符号)}$$

3. 连续消息的平均信息量

连续消息的平均信息量可用概率密度来描述。平均信息量为

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx$$

式中 $f(x)$ 为连续消息出现的概率密度。

1.1.4 通信系统的主要性能指标

通信的任务是能快速、准确地传递信息,从研究消息的传输来说,通信的有效性和可靠性是通信系统最主要的性能指标。有效性是指在给定信道内所传输的信息内容的多少,主要指消息传输的“速度”问题,而可靠性是指接收信息的准确程度,主要指消息传输的“质量”问题。这两者是相互矛盾而又相互联系的。衡量数字通信系统的有效性的主要性能指标是传输速率、频带利用率。可靠性指标主要是指差错率。

1. 传输速率

(1) 码元传输速率(R_B):码元传输速率简称传码率,又称为码元速率或符号速率。它被定义为每秒钟传输码元的数目,单位为波特,可记为 Baud 或 B。码元速率与所传的码元进制无关。通常, N 进制的的一个码元可以用 $\lg N$ 个二进制码元来表示,即: $R_{B2} = R_{BN} \lg N$ 。

(2) 信息传输速率(R_b):信息传输速率简称传信率,又称为信息速率、比特率、数码率。它被定义为每秒钟传递的信息量(比特数)的多少,单位是比特/秒,记为 bit/s。一般,每个二进制码元规定含有 1 bit 信息量。

若信源的码元速率为 R_B ,熵为 H ,则该信源的平均信息速率为

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

等概时,则有

$$R_b = R_B \times \lg N \quad (\text{bit/s})$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\lg N} \quad (\text{Baud})$$

其中, N 为符号的进制数。如果码元速率为 1 200 Baud,那么在二进制时的信息速率为 1 200 bit/s,在四进制时为 2 400 bit/s,在八进制时为 3 600 bit/s。

2. 频带利用率

在比较不同通信系统的效率时,只看它们的传输速率是不够的,还应看有这样传输速率下

^① $\lg P = \log_2 P$. 见 GB3102.11-93

所占的信道的频带宽度。因为传输速率越高,所占用的信道频带越宽,因此,能够真正体现出信息的传输效率的指标应该是频带利用率,即单位频带内的传输速率。

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

对二进制传输可表示为

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

3. 可靠性指标

衡量数字通信系统可靠性指标具体可用信号在传输过程中出错的概率来描述,即用差错率。差错率越大,表明系统可靠性越差。差错率常用误码率和误信率表示。误码率(也称作误符号率)可表示为

$$P_e = \frac{\text{单位时间内错误接收的码元数}}{\text{单位时间内传输的总码元数}}$$

误信率(也称作误比特率)可以表示为

$$P_b = \frac{\text{单位时间内错误接收的比特数}}{\text{单位时间内传输的总比特数}}$$

显然,在二进制时有

$$P_b = P_e$$

1.2 例题精选

例 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。

题意分析 本题考核信息量的基本概念。信息量的公式: $I = \lg[1/P(x)]$, 其中 $P(x)$ 为 x 出现的概率。

解 由于字母 E 出现的概率为 0.105, 故其信息量为

$$I = \lg \frac{1}{P(E)} = -\lg 0.105 = 3.25 \text{ bit}$$

字母 X 出现的概率为 0.002, 故其信息量为

$$I = \lg \frac{1}{P(X)} = -\lg 0.002 = 8.97 \text{ bit}$$

例 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。

题意分析 本题为平均信息量的计算。主要用到公式: $H = -\sum P(x_i) \lg P(x_i)$, 其中 $P(x_i)$ 为 x_i 符号出现的概率。

解 信息源符号的平均信息量为

$$\begin{aligned} H &= -\sum P(x_i) \lg P(x_i) = \\ &= -\left[\frac{1}{4} \lg \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \lg \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \lg \frac{1}{8} + \frac{3}{16} \lg \frac{3}{16} + \frac{5}{16} \lg \frac{5}{16} \right] = \\ &= 2.23 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

例 1.3 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。

题意分析 本题仍是信息量和平均信息量的计算。注意,信息量和平均信息量只与各消息出现的概率有关,而与其持续时间无关。只有涉及信息速率或码元速率时,才与持续时间有关。

解 (1) 设点与划出现的概率分别为 $P_{\cdot}$ 和 P_{-} , 已知 $P_{-} = 1/3 P_{\cdot}$, 且 $P_{\cdot} + P_{-} = 1$, 故得 $P_{-} = 1/4$ $P_{\cdot} = 3/4$

则 点的信息量为 $I_{\cdot} = \lg\left(\frac{1}{P_{\cdot}}\right) = \lg \frac{4}{3} = 0.415 \text{ bit}$

划的信息量为 $I_{-} = \lg\left(\frac{1}{P_{-}}\right) = \lg 4 = 2 \text{ bit}$

(2) 平均信息量为

$$H = -P_{\cdot} \lg P_{\cdot} - P_{-} \lg P_{-} = \frac{3}{4} \times \lg \frac{4}{3} + \frac{1}{4} \times \lg 4 = 0.81 \text{ bit/符号}$$

例 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 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。

题意分析 本题是信息速率的计算题目,主要用到公式 $R_b = R_B \times H$ 。其中 R_B 为波特率,而 H 是信源的熵,即信息源符号的平均信息量。

解 (1) 一个字母用 2 个二进制脉冲代替,属于四进制符号,所以一个字母的持续时间为 $2 \times 5 \text{ ms}$ 。传送字母的符号速率为

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

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

(2) 每个符号的平均信息量为

$$H = \frac{1}{5} \lg 5 + \frac{1}{4} \lg 4 + \frac{1}{4} \lg 4 + \frac{3}{10} \lg \frac{10}{3} = 1.985 \text{ bit/符号}$$

则

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

可见,等概时才能获得最大可能信息速率。

例 1.5 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 个出现的概率为 1/224。信息源每秒发出 1 000 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及最大可能的信息速率。

题意分析 本题给出了一个计算平均信息量的快捷算法。有 m 个符号,若其中 n 个相互独立的符号出现的概率相同且都为 P 时,则这 n 个符号的总的信息量为 $I = -n \lg P$ 。 n 个符号