

新编考研辅导丛书

Principle of Communication

通信原理辅导

张辉 曹丽娜 王勇 编著

重点·难点·考点

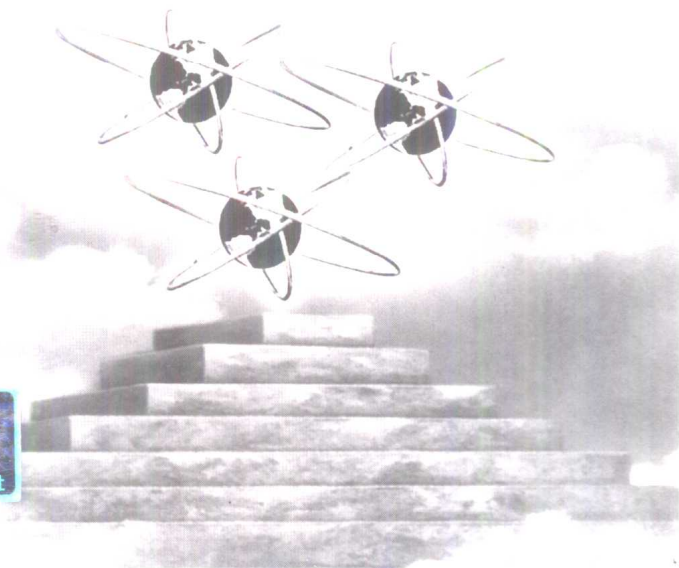
典型题例解析

精选习题与解答

模拟试题与答案

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>



新编考研辅导丛书

通信原理辅导

张辉 曹丽娜 王勇 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

“通信原理”是通信与信息系统专业研究生入学考试中一门重要的专业基础课,对考生在通信与信息系统领域的基础知识和独立工作能力有较高的要求。

本书以樊昌信教授等主编的《通信原理》教材为主要参考书,同时参考了其它教材。全书包括 10 章内容,涵盖了“通信原理”课程研究生入学考试的绝大部分内容。每章都总结性地给出了考试要求、复习要点、难点解析,重点分析讲解了大量的典型例题,并给出一定的练习题供考生自练自测。书末附有近几年来西安电子科技大学研究生入学考试“通信原理”课程试题,可供读者参考。

本书既可作为报考硕士研究生的复习辅导书,也可用作相关专业课程学习或复习的指导书,还可作为有关教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理辅导/张辉等编著. — 西安:西安电子科技大学出版社,2000.11

(新编考研辅导丛书)

ISBN 7-5606-0944-9

I. 通… II. 张… 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(2000)第 52617 号

责任编辑 李惠萍 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8227828

邮 编 710071

http: //www. xduph. com

E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印 刷 西安长青印刷厂

版 次 2000 年 11 月第 1 版 2001 年 3 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 14

字 数 277 千字

印 数 6 001~14 000 册

定 价 17.00 元

ISBN 7-5606-0944-9/TN·0166

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

序

人类走过了又一个千年之交。世界正在发生深刻变化。这一变化是20世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果，她已经成为推动社会发展与文明进步的革命性力量。人类走过了农业经济时代、工业经济时代，正在进入知识经济时代。

自1978年国家恢复招收研究生和1980年建立学位制度至今，研究生教育已经走过了20多年的历程，她是我国教育结构中最高层次的教育，肩负着为国家现代化培养高素质、高层次创造性人才的重任，是我国增强综合国力、增强国际竞争力的重要支撑力量。研究生教育的改革和发展，直接关系到21世纪我国第三步战略目标的实现。

西安电子科技大学是一所70年历史的教育部直属的重点高等学校，也是国家“211”重点建设高校，同时又是国家首批具有硕士、博士授予权的单位之一。现有在校生15 000多人，其中研究生2000余人。学校建有研究生院等10个学院，有3个国家重点学科和27个省部级重点学科；同时建有3个国家重点实验室和16个省部级重点实验室，在“通信与信息系统”、“信号与信息处理”、“电路与系统”、“微电子与固体电子学”、“电磁场与微波技术”和“密码学”等领域设有“长江计划”特聘教授岗位。近年来，西安电子科技大学研究生教育得到了迅速的发展，年招生已超过1000人，招生质量和培养质量在省内名列前茅。毕业生遍布国内外，受到了广泛赞誉。

当前，研究生教育面临新的挑战，同时给研究生教育的发展带来了新的机遇。如何选拔优秀人才是一项长期的研究课题。西安电子科技大学出版社组织我校长期在教学科研第一线、在国内有一定知名度的教授编写了这套考研辅导丛书，并从重点、难点、考点、典型例题分析及自测题等方面进行有剖析、对比总结性的阐述，有助于考生在有限的时间内复习所学内容，并有新的提高和启发。

我们相信此套丛书的出版对我国工科电子信息类研究生教育的发展会起到积极的促进作用。

西安电子科技大学研究生院

博士生导师 焦李成

2000年7月

前言

“通信原理”课程是通信与信息系统专业研究生入学考试课程之一，对考生在通信与信息系统领域的基础知识和独立工作能力有较高的要求。此书旨在帮助考生能在较短的时间内掌握本课程的主要内容，熟悉多种题型，掌握解题技巧，了解命题动态。

本书以樊昌信教授等主编的《通信原理》(第4版)为主要参考书，同时参考了其它教材。全书共分10章：绪论，随机信号分析，信道，模拟调制系统，数字基带传输系统，数字调制系统，模拟信号的数字传输，数字信号的最佳接收，差错控制编码，同步原理。每章由基本概念与复习要点、例题精解和练习题三部分组成，包括了研究生入学考试要求的绝大部分内容。最后选编了西安电子科技大学通信与信息系统专业“通信原理”课程近几年的研究生入学考试试题。

本书由西安电子科技大学张辉教授、曹丽娜副教授、王勇老师合作编写。其中，曹丽娜编写1~4章，张辉编写5~8章，王勇编写9、10两章及附录A、B，张辉教授任主编，负责全书的统稿。李悦、李荣、雷莹、李伟、侯晶晶等同志为本书部分例题做了解答，在此致以诚挚的谢意。对本书选用的参考文献的著作者，我们表示真诚的感谢。

编者都是在一线长期从事“通信原理”课程教学的教师，在编写时力求文字通俗易懂，基本概念明确，内容重点突出。但由于编者水平有限，编写时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2000年9月

目

录

第一章 绪论	1
1.1 基本概念与复习要点	1
1.2 典型例题分析	9
1.3 练习题	11
第二章 随机过程	12
2.1 基本概念与复习要点	12
2.2 典型例题分析	22
2.3 练习题	28
第三章 信道	30
3.1 基本概念与复习要点	30
3.2 典型例题分析	36
3.3 练习题	41
第四章 模拟调制系统	43
4.1 基本概念与复习要点	43
4.2 典型例题分析	55
4.3 练习题	63
第五章 数字基带传输系统	65
5.1 基本概念与复习要点	65
5.2 典型例题分析	71
5.3 练习题	84
第六章 数字调制系统	87
6.1 基本概念与复习要点	87
6.2 典型例题分析	97
6.3 练习题	110

第七章 模拟信号的数字传输	112
7.1 基本概念与复习要点	112
7.2 典型例题分析	123
7.3 练习题	133
第八章 数字信号的最佳接收	136
8.1 基本概念与复习要点	136
8.2 典型例题分析	145
8.3 练习题	151
第九章 差错控制编码	153
9.1 内容综述与基本概念	153
9.2 典型例题分析	160
9.3 练习题	168
第十章 同步原理	169
10.1 基本内容与基本概念	169
10.2 典型例题分析	175
10.3 练习题	180
附录 A 西安电子科技大学“通信原理”课硕士研究生入学考试题选	181
附录 B 西安电子科技大学“通信原理”课 1998 年硕士研究生入学考试题精解	202
附录 C 西安电子科技大学 2001 年硕士研究生入学考试“通信原理”试题	211
附录 D 通信与信息系统专业“通信原理”课硕士研究生入学考试主要参考书	215
参考文献	216

绪 论

第一章

本章大纲

常用通信术语

通信系统的组成和分类, 通信方式

数字通信系统的主要特点

离散信源的信息量, 平均信息量(熵)

码元速率, 信息速率, 频带利用率, 误码率

1.1 基本概念与复习要点

1.1.1 常用术语

通信: 克服距离上的障碍, 交换和传递消息。

消息: 有待于传输的文字、符号、数据和语音、活动图片等。前者称为离散消息(指消息状态是可数的或离散的), 后者称为连续消息(指消息状态连续变化)。

信号: 与消息一一对应的电量。它是消息的物质载体, 即消息是寄托在电信号的某一参量上, 若该参量是离散取值的, 这样的信号则称为数字信号。若电信号的该参量连续取值, 则称为模拟信号。

通信系统: 传递信息所需的一切技术设备的总和。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。

1.1.2 通信系统的组成

1. 通信系统的一般模型

通信系统的一般模型如图 1-1 所示。

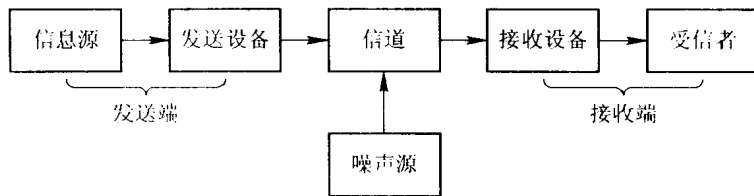


图 1-1 通信系统的一般模型

1) 信源和受信者(信宿)

信源是发出信息的源，其作用是把消息转换成原始电信号。信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源(如电话机、电视摄像机)输出连续幅度的模拟信号；数字信源(如电传机、计算机等各种数字终端设备)输出离散的数字信号。信宿是传输信息的归宿点，其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

2) 发送设备

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来，即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的，在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。对数字通信系统来说，发送设备常常又可分为信源编码与信道编码。

3) 信道

信道是指传输信号的通道，可以有线的，也可以是无线的，有线和无线均有多种传输媒质。信道既给信号以通路，也对信号产生各种干扰和噪声。传输媒质的固有特性和干扰直接关系到通信的质量。

4) 接收设备

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换，即进行解调、译码、解码等等。它的任务是从带有干扰的接收信号中正确恢复出相应的原始信号来。对于多路复用信号，接收设备还具有解除多路复用和实现正确分路的功能。

2. 数字通信系统的模型

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。数字通信、涉及的技术问题很多，其中有信源编码、信道编码、保密编码、数字调制、数字复接、同步

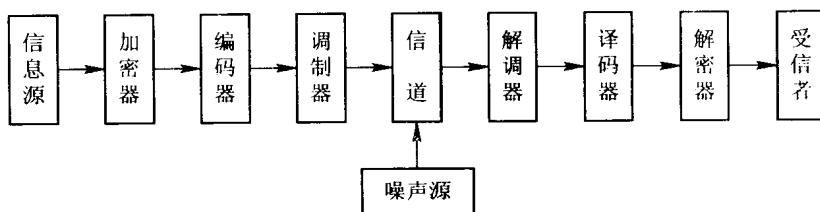


图 1-2 数字通信系统模型

问题等等。

1) 信源编码与译码

信源编码的作用有两个，一是将模拟信号转换成数字信号，即通常所说的模/数转换；二是设法降低数字信号的数码率，即通常所说的数据压缩。编码比特率在通信中直接影响传输所占的带宽，而传输所占的带宽又直接反应了通信的有效性。信源译码是信源编码的逆过程。

2) 信道编码与译码

数字信号在信道传输时，由于噪声、衰落以及干扰等因素，将会引起差错。信道编码的目的就是提高通信系统抗干扰能力，尽可能地控制差错，实现可靠通信。

3) 加密与解密

为了保证数字信号与所传信息的安全，将输入的明文信号人为扰乱，即加上密码，这种处理过程叫加密。在接收端对收到的信号进行解密，恢复明文。

4) 调制与解调

数字调制的任务是各种数字信息脉冲(基带信号)转换成适于信道传输的数字调制信号(已调信号或频带信号)。数字解调是数字调制的逆过程。

在某些有线信道中，若传输距离不太远且通信容量不太大时，数字基带信号可以直接传送，我们称之为数字信号的基带传输。而在另外一些信道，特别是无线信道和光信道中，数字基带信号则必须经过调制，将信号频谱搬移到高频处才能在信道中传输，我们把这种传输称为数字信号的调制传输(或频带传输，或载波传输)。

5) 同步与数字复接

同步是使收发两端的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。数字复接就是依据时分复用基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速的数字信号，以扩大传输容量和提高传输效率。

3. 数字通信的主要特点

数字通信相对于模拟通信具有如下一些优点：

- (1) 抗干扰能力强，可消除噪声积累；
- (2) 差错可控，传输性能好；
- (3) 便于与各种数字终端接口，用现代计算技术对信号进行处理、加工、变换、存储，形成智能网；
- (4) 便于集成化，从而使通信设备微型化；
- (5) 便于加密处理，且保密强度高。

事物总是一分为二的，一般来说，数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以电话为例，一路模拟电话通常只占据 4 kHz 带宽，但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 20~60 kHz 的带宽，因此数字通信的频带利用率不高。数字通信的另一个缺点是对同步要求高，系统设备比较复杂。

1.1.3 通信系统的分类

1. 按通信的业务和用途分类

根据通信的业务和用途可将通信系统分为常规通信和控制通信等。其中，常规通信又分为话务通信和非话务通信，话务通信业务主要是电话信息服务业务、语音信箱业务和电话智能网业务。非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子信箱、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达，因而其它通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输、交换和处理。控制通信则包括遥测、遥控、通信和遥调通信等，如雷达数据通信和遥测、遥控指令通信等。

2. 按调制方式分类

根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输和调制传输。基带传输是将未经调制的信号直接传送。调制传输是对各种信号变换方式后传输的总称。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) 改善系统性能。

各种调制方式正是为了达到这些目的而发展起来的。

3. 按传输信号的特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，可以相应地把通信系统分成两类，即

模拟通信系统和数字通信系统。

4. 按传输信号的复用方式分类

传输多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用、码分复用。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。

5. 按传输媒介分类

按传输媒介可将通信系统分为有线(包括光纤)和无线通信两大类。有线信道如明线、电缆、光缆信道,无线信道如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继信道。

6. 按通信方式分类

按消息传递的方向与时间关系,通信方式可分为单工、半双工及全双工通信三种。

单工通信是指消息只能单方向传输的工作方式。例如,遥测、遥控就是单工通信方式。

半双工通信是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收发的工作方式。例如,使用同一载频工作的无线电对讲机,就是按这种通信方式工作的。

全双工通信是指通信双方可同时进行收发消息的工作方式。例如,普通电话就是一种最常见的全双工通信方式。

1.1.4 信息及其度量

通信的目的在于传递信息,每一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. 离散消息的信息量

直观经验告诉我们:消息出现的可能性(概率)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;若干独立消息之和的信息量是每个消息所含信息量的线性叠加,即信息具有相加性。

综上所述,某离散消息 x 所携带的信息量为

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

式中, $p(x)$ 为该消息发生的概率。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)。目前广泛使用的单位为bit。

【例1】 已知二进制离散信源(0,1),每一符号波形等概独立发送,求传送二进制波

形之一的信息量。

解 由于每一波形出现的概率为 $p(x)=1/2$ ，故其信息量为

$$I = \log_2 \frac{1}{p(x)} = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$$

可见，发送等概的二进制波形之一的信息量为 1 bit。

【例 2】 已知四进制离散信源(0, 1, 2, 3)，独立等概发送，求传送每一波形的信息量。

解 由于每一波形出现的概率为 $p(x)=1/4$ ，故其信息量为

$$I = \log_2 \frac{1}{p(x)} = \log_2 4 = 2 \text{ bit}$$

可见，四进制的每一波形所含的信息量，恰好是二进制每一波形所含信息量的 2 倍。这是由于每一个四进制波形需要用 2 个二进制波形表示。

推广 $M(M=2^K)$ 进制的每一波形所含的信息量，恰好是二进制每一波形包含信息量的 K 倍。

【例 3】 已知二进制离散信源(0, 1)，若“0”出现概率为 $1/3$ ，求出现“1”的信息量。

解 由于全概率为 1，因此出现“1”的概率为 $2/3$ ，故其信息量为

$$I = \log_2 \frac{3}{2} = 0.585 \text{ bit}$$

以上是单一符号出现时的信息量。对于由一串符号构成的消息，则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，则可用平均信息量的概念来计算。

2. 离散信源的平均信息量

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 M 个符号的离散信息源的平均信息量为

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

由于 H 同热力学中的熵形式一样，故通常又称它为信息源的熵，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

$$H = - \sum_{i=1}^M \frac{1}{M} \log_2 \frac{1}{M} = \log_2 M \text{ bit/符号} \quad (1-3)$$

【例 4】 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 用信息相加性概念来计算，此消息中，0 出现 23 次，1 出现 14 次，2 出现 13 次，3

出现 7 次, 共有 57 个符号, 故该消息的信息量为

$$I = - \sum_{i=1}^4 n_i \log_2 p(x_i) = - 23 \log_2 \frac{3}{8} - 14 \log_2 \frac{1}{4} - 13 \log_2 \frac{1}{4} - 7 \log_2 \frac{1}{8}$$

$$= 33 + 28 + 26 + 21 = 108 \text{ bit}$$

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。

若用熵的概念来计算, 由式(1-2)得

$$H = - \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8}$$

$$= 1.906 \text{ bit/符号}$$

则该消息的信息量为

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

讨论 一条由 m 个符号构成的消息, 其总信息量 $I = mH$ 。可见, 当消息很长时, 用熵的概念来计算比较方便。而且随着消息序列长度的增加, 两种计算误差将趋于零。

1.1.5 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, 因此传输信息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, 而可靠性是指接收信息的准确程度。这两者是相互矛盾而又相互联系的, 通常也是可以互换的。

模拟通信系统的有效性可用有效传输频带来度量。同样的消息用不同的调制方式, 则需要不同的频带宽度。可靠性用接收端最终输出信噪比来度量。不同调制方式在同样信道信噪比下所得到的最终解调后的信噪比是不同的。例如, 调频信号抗干扰性能比调幅好, 但调频信号所需要传输频带却宽于调幅。

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, 又称码元速率或符号速率。它被定义为单位时间(每秒)内传输码元的数目, 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, 即码元可以是多进制的, 也可以是二进制的。通常, M 进制的—个码元可以用 $\log_2 M$ 个二进制码元去表示。

码元速率又叫调制速率。它表示信号调制过程中, 一秒钟内调制信号波(即码元)的变换次数。如果一个单位调制信号波的时间长度为 T 秒, 则调制速率为

$$R_B = \frac{1}{T} \text{ Baud} \quad (1-4)$$

【例 5】 二进制调频波, 一个“1”或“0”符号的持续时间为 $T = 833 \times 10^{-6} \text{ s}$, 则调制速率为

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{833 \times 10^{-6}} = 1200 \text{ Baud}$$

2) 信息传输速率(R_b)

信息传输速率简称传信率, 又称信息速率。它被定义为单位时间(每秒)内传递的信息量(比特数), 单位是比特/秒, 可记为 bit/s 或 b/s 或 bps。

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

$$R_b = R_B \cdot H \text{ b/s} \quad (1-5)$$

等概时, 则有

$$R_b = R_B \log_2 M \text{ b/s} \quad (1-6)$$

或

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \text{ Baud} \quad (1-7)$$

其中, M 为符号的进制数。如果码元速率为 600 Baud, 那么在二进制时的信息速率为 600 b/s, 在四进制时为 1200 b/s, 在八进制时为 1800 b/s。

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, 还应看在这样传输速率下所占的信道的频带宽度。通信系统占用的频带愈宽, 传输信息的能力应该愈大。所以, 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

$$\eta = \frac{R_B}{B} \text{ Baud/Hz} \quad (1-8)$$

对二进制传输可表示为

$$\eta = \frac{R_b}{B} \text{ b/s} \cdot \text{Hz} \quad (1-9)$$

3. 可靠性指标

衡量数字通信系统可靠性的指标是差错率, 常用误码率和误信率表示。误码率(也称误符号率)可表示为

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}} \quad (1-10)$$

误信率(也称误比特率)可表示为

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} \quad (1-11)$$

显然, 在二进制中有

$$P_b = P_e \quad (1-12)$$

1.2 典型例题分析

【例 6】 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

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

试计算传输的平均信息速率。

解 (1) 因一个字母对应二个二进制脉冲，属于四进制符号，故一个字母的持续时间为 2×5 ms。传送字母的符号速率为

$$R_{B_4} = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 100 \text{ Baud}$$

等概时，平均信息速率为

$$R_b = R_{B_4} \log_2 4 = 200 \text{ b/s}$$

(2) 每个符号的平均信息量为

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

则

$$R_b = R_{B_4} \cdot H = 100 \times 1.985 = 198.5 \text{ b/s}$$

可见，等概时才能获得最大可能信息速率。

【例 7】 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。

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 $P_{\cdot} = 3/4$ ， $P_{-} = 1/4$ ，则点的信息量为

$$I_{\cdot} = \log_2 \frac{1}{P_{\cdot}} = \log_2 \frac{4}{3} = 0.415 \text{ bit}$$

划的信息量为

$$I_{-} = \log_2 \frac{1}{P_{-}} = \log_2 4 = 2 \text{ bit}$$

(2) 平均信息量为

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

【例 8】 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。

解 每个符号的平均信息量为

$$H = 16 \times \frac{1}{32} \log_2 32 + 112 \times \frac{1}{224} \log_2 224 = 6.404 \text{ bit/符号}$$

已知符号速率 $R_B = 1000$ (Baud)，故平均信息速率为

$$R_b = R_B \cdot H = 6.404 \times 10^3 \text{ b/s}$$

【例 9】 设一数字传输系统传送二进制码元的速率为 1200 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，码元速率为 2400 Baud，则这时的系统信息速率为多少？

解 (1) $R_b = R_B = 1200 \text{ b/s}$

(2) $R_b = R_B \log_2 16 = 2400 \times 4 = 9600 \text{ b/s}$

【例 10】 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 $5/16$ ；信息源以 1000 Baud 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。

解 (1) 先求信息源的熵，由式(1-2)得

$$\begin{aligned} H &= -\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - 2 \times \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} - \frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} \\ &= 2.23 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

则平均信息速率为

$$R_b = R_B \cdot H = 1000 \times 2.23 = 2.23 \times 10^3 \text{ b/s}$$

故传送 1 小时的信息量为

$$I = T \times R_b = 3600 \times 2.23 \times 10^3 = 8.028 \times 10^6 \text{ bit}$$

(2) 等概时有最大信息熵，由式(1-3)得

$$H_{\max} = \log_2 5 = 2.23 \text{ bit/符号}$$

此时平均信息速率最大，故有最大信息量为

$$\begin{aligned} I_{\max} &= T \cdot R_B \cdot H_{\max} = 3600 \times 1000 \times 2.23 \\ &= 8.352 \times 10^6 \text{ bit} \end{aligned}$$