信息工程

王圣谊　郑善贤　李景谦等编译

丁钟琦审校

湖南大学出版社

信　息　工　程

郑善贤　王圣谊　李景谦等编译

丁钟琦　审校

湖 南 大 学 出 版 社

内容简介

本书系统地阐述了信息论在工程中的应用。全书共十一章，内容包括信息量的计算，信息编码，信息和噪声特性，通信系统原理和信息论应用的有关课题。

本书内容由浅入深，便于自学，注重实际，适合于无线电技术、通信工程和计算机等有关信息处理专业的学生和广大科技人员参考。

信息工程

祁善贤　王圣谊　李景澂等编译

丁钟琦审校

湖南大学出版社出版发行

（长沙岳麓山）

*

湖南省新华书店经销　　湖南省环境保护学校印刷厂印刷

*

开本787×1092毫米1/32　印张6.625　字数140千字

1987年6月第1版　1987年6月第1次印刷

印数0001～2500

ISBN 7—314—00127—8/Z·10

统一书号：17412·9　定价：1.65元

前　言

信息工程是一门新兴学科，它可以定义为信息的采集、存储、处理、传输和显示。所有以往的工程都是同实现它的实际技术和特定的具体概念联系在一起的，而信息工程则不同。无论科学技术的变化有多大，信息工程的基本原理都不会过时。

信息工程的基础是信息论，即研究信息量度、编码和通信的科学。信息论是在第二次世界大战之后迅速发展起来的，其中有些部分一直被认为没有实用价值，但近年来科学技术的发展使人们改变了看法。尤其现在正处于信息革命的时代，“信息”一词几乎家喻户晓，信息工程已成为广大工程技术人员、干部和社会各界人员的必修课。为此，我们以1984年出版的、英国瑞丁大学M.J.Usher所著“Information Theory for Information Technologists”为蓝本，编译了本书。

本书力图以最容易接受的方式介绍信息工程的基本内容及其应用。首先介绍学习信息工程所必须的最低限度的基础知识，引出信息量度、熵、冗余度的概念，并结合语言信息的计算进行定量分析。然后讨论香农理论，抗干扰编码，信号和噪声理论，最后讨论信息论在通信系统和电话、电视等典型信道，语声合成和音乐合成，语声识别和光学字符识别等方面的应用，这些都是信息工程最新的应用实例。

全书包括十一章和习题解答。参加本书编译的有：彭仲昆、赵怀清、殷端阳（第1、8章和全书习题解答）；李景谦（第2、3章）；郑善贤（第4、5、6、7章）；王圣谊（第9、10、11章）。

本书由郑善贤主编(译)，丁钟琦教授审校。

在本书编译过程中，得到了丁少琦、郭曦等同志的大力帮助，谨致谢忱。

由于我们水平有限，不妥之处在所难免，敬希读者不吝批评指正。

编　译　者

一九八七年二月

目　　录

附　　录

习题解答

第一章　信息与信息量

1.1　概　　述

信息工程讨论信息、信息量和信息的编码及传输。通俗地说，消息中有意义的内容就是信息。一条消息告诉我们许多原来不知道的新内容，这条消息就很有意义，信息量就大。反之，若有人告诉我们“一年有十二个月”这样众所周知的事实，则其信息量为零。信息的编码和传输可用图 1-1 所示之一般通信系统说明。信源产生消息（消息中包含信

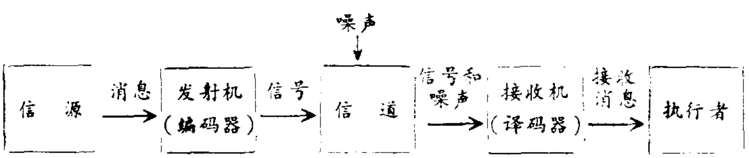

图1.1　一般通信信道

息），例如播音员广播新闻、评论等。编码器将消息转变为适于在信道（信道就是信号的通道，如通信线路等）上传输的信号，它要完成两次编码和一次调制的任务。两次编码是信源编码和信道编码，前者是为了提高传输效率，后者是为提高抗干扰性。而调制则是将要传输的信号对高频振荡的某一参数(如振幅、频率或相位)进行控制，使该参数随被传输的原始信号而变，这样，高频振荡就携带着欲传输的信号送

到很远的地方。若不进行调制，直接传输原始信号至远处则有很多困难。当包含原始信号的已调振荡传输到接收处时，接收机就将它解调、解码，二者是调制、编码的逆过程，任务是从已调振荡中恢复消息供终端使用。在信息的传输过程中，不可避免地会混入噪声和干扰，这些干扰和噪声对于正常、优质地恢复消息危害甚大，必须设法加以解决。

在信息的传输过程中，我们对传输的准确性、速度以及传输的信息量特别重视。

1.2 信 息 量

一个事件所蕴含的信息量，同该事件的出现概率有关：即我们对一个事件发生与否愈不能肯定，则该事件蕴含的信息量就愈大；若我们完全可以预测该事件会发生，就可以肯定该事件没有蕴含什么信息。因此，信息量度概念中最基本的就是不确定性的概念。

现在让我们研究一个具体的例子，即图1.2所示的棋盘。如果某甲将一粒棋子随意放在棋盘中的某方格内，分两种情况让乙猜测棋子所在位置：①、将方格按1、2、……64顺序编号，令乙猜测棋子所在方格的顺序编号；②、将方格按行、列编号，甲将其中的行编号（或列编号）告诉乙之后，再令乙猜棋子所在位置，很显然，在第①种情况下，乙猜中这一事件的出现概率是1/64，而在第②种情况下则是1/8。前者的不确定性比后者大，发生这一事件（猜中）蕴含的信息量也比后者大。

如果我们深入讨论这个例子，就不难发现；若只是将方

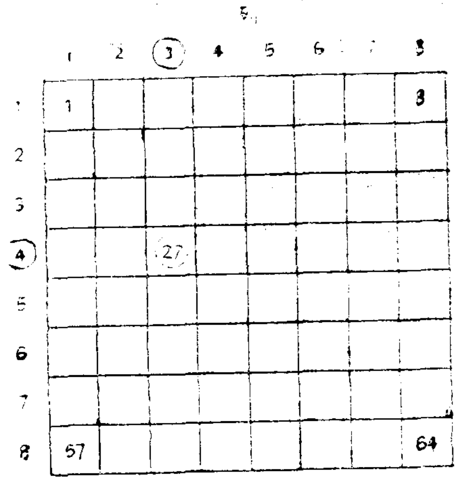

图1.2

格按行、列编号，而甲并不把棋子所在行（或列）的编号告诉乙，那么，发生乙猜中这一事件的概率便是（$1/8\times1/8$）$=(1/8)^2=1/64$，即概率是按指数变化的。另一方面，无论是按行、列编号，还是按顺序编号，发生乙猜中这一事件都具有相等的信息量。显然，乙直接猜中棋子所在方格顺序号的信息量，理应与他同时猜中棋子所在行编号和列编号信息量之和相等，而在本例中猜中行编号的信息量与猜中列编号的信息量又是相等的，这说明信息量是线性变化的。为了将概率的指数变化和信息量的线性变化统一起来，哈特莱率先提出了按事件出现概率的对数度量信息量的方法，即：

$$信息量\ I=-\log p \qquad (1.1)$$

式中p为概率，它小于1，故式中加一负号，使I为正。

现将式(1.1)应用于棋盘问题，对第①种说法，$I=-\log$

$(1/64)=\log 64$。在数字系统中，一般采用2进制，故取2作对数之底数，于是$I=\log_2 64$① $=6$。再看第②种说法，当告以行数时，$I_a=-\log 1/8=\log 8=3$；再说出列数时，$I_b=-\log 1/8=3$。$I_a+I_b=I$ 。

由棋盘例可见，定义式(1.1)是正确的。

对数的底数取2时，信息量的单位为比特(bit)。在2进制系统中，若出现0及1的概率相等，则 $p(0)=p(1)=1/2$，故$I_0=I_1=\log 2=1$比特。

用3作底数时，单位为屈特（trit）；用e作底数时，单位为奈特(Nat)。

我们再用一些例子进一步说明定义式(1.1)。设26个英文字母出现之概率相等，则给定一已知字母的概率为1/26，$I=\log 26=4.7$ 比特。对于数字0～9，若每一数字的概率相等，则 $I=\log 10=3.3$ 比特。对于一个必然事件 $P=1$，$I=\log 1=0$。

1.3 熵

式(1.1)给出了概率为p的单一事件出现时的信息量。若有n个事件，每一事件的概率分别为 p_1、p_2……p_n，信息量分别为$-\log p_i$，则按数学期望（概率平均值）公式，n个事件的平均信息量为$-(p_1\log p_1+p_2\log p_2+\cdots\cdots p_n\log p_n)$，此平均信息量称为熵，并以H表之：

①下面我们约定，以2为底数之对数，一律将底数略去不写．$\log 5=2.32$，$\log 3=1.58$．

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i \quad （比特） \quad (1.2)$$

以英文字母为例，前面求信息量时曾假定每个字母以等概率出现，但实际各字母的概率不同，如表（1.1）所示。由各字母的概率可求出平均信息量

$$\begin{aligned} H &= -[p(A)\log p(A) + p(B)\log p(B) + \\ &\quad \cdots\cdots + p(z)\log p(z)] \\ &\approx 4.1 \text{ 比特/字符} \end{aligned}$$

熵之单位实际上是信息量的单位，此处用比特/字符是为了强调熵的平均性质。

再研究一个二字符信源的例子。设该信源产生0及1，概率分别为$p(0)=1/8$，$p(1)=7/8$，则

$$H = -\frac{1}{8}\log\frac{1}{8} - \frac{7}{8}\log\frac{7}{8} = 0.55\text{比特}$$

前面已得出0、1等概率时，$I_0 = I_1 = 1$比特，$H = p(0) I_0 + p(1) I_1 = \frac{1}{2}(1) + \frac{1}{2}(1) = 1$ 比特/字符。当 $p(0)$（或 $p(1)$）变化时，$H-P(0)$的关系曲线如图1.3所示。即当

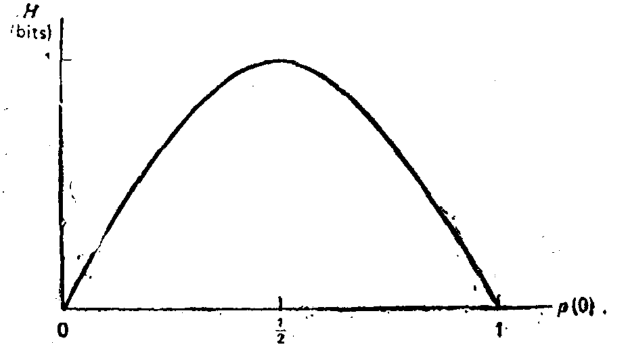

图1.3 二字符信源的平均信息依字符出现概率变化的曲线

表1.1

符　　号	概　　率	$-\log P$	$-P\log P$
空　　格	0.187	2.46	0.447
E	0.1073	3.22	0.345
T	0.0856	3.84	0.303
A	0.0668	3.90	0.260
O	0.0654	3.90	0.258
N	0.0658	4.11	0.234
R	0.0559	4.16	0.232
I	0.0519	4.27	0.222
S	0.0499	4.33	0.216
H	0.04305	5.54	0.195
D	0.03100	5.02	0.156
L	0.02775	5.17	0.144
F	0.02395	5.38	0.129
C	0.02260	5.45	0.123
M	0.02075	5.60	0.116
U	0.02010	5.64	0.1135
G	0.01633	5.94	0.0970
Y	0.01624	5.95	0.0966
P	0.01623	5.95	0.0966
W	0.01620	6.32	0.0796
B	0.01179	6.42	0.0756
V	0.07752	7.06	0.0531
K	0.00344	8.20	0.0282
X	0.00136	9.54	0.0130
J	0.00108	9.85	0.0100
Q	0.00099	9.98	0.0099
Z	0.00063	10.63	0.0067
			$\sum=4.056$

$p(0)=0$及1时，$H=0$；当$p(0)=1/2$时，$H=1$。这就是说，当0、1等概率时，有最大熵(每位1比特)。

1.4 冗余度

冗余度是信息论中的一个重要概念。以英文quick(快)为例，u就是多余的，因为英文q后面毫无例外是u，故传送quick时可省去u。又如二进制系统中，字母A可用0、B可用1表示，此时无冗余性。但是在编码时，也可将A编为000，B编为111。这样编码时，可以防止传输差错，因为3位中错了两位，还可以辨出A、B。由此例可引出冗余度定义。3位数可携带3比特熵，即最大熵为3，但3位数实际只携带1比特熵，于是冗余度可定义为：

$$\text{冗余度}R_y=\frac{\text{最大熵}-\text{实际熵}}{\text{最大熵}} \qquad (1.3)$$

对A为000、B为111之情况，冗余度为$(3-1)/3=2/3$。

显然，冗余度亦可用字母数表示。设实际用n个字母(码元)组成消息，传输的熵为H；而此熵又可包含于较少数目n_0个字母组成的消息中，于是$n-n_0$为多余码元，冗余度

$$R_y=\frac{n-n_0}{n} \qquad (1.4)$$

可以证明，式(1.3)与式(1.4)是等效的。

1.5 条件熵

在概率论中，当几个事件相互影响时，要使用条件概

率。应用条件概率的概念，可以得条件熵。在每一种语言中，前面的字符会影响后面的字符出现之概率，这种现象称为“符间效应”。在英语中，这种效应可出现于各字母、各字及各句之间。

考虑一个字符序列，符间效应仅出现于一对对相邻字符之间。对于两个相邻字符i及j，当收到i时，发方为j的概率是p(j/i)，因此而获得的信息量是 $-\log p(j/i)$。对所有可能的字符对i、j求概率平均值，即得所谓条件熵H(j/i)：

$$H(j/i)=-\sum_i\sum_j p(i,\ j)\log p(j/i) \qquad (1.5)$$

式中p(i，j)为联合概率，在概率论已证明

$$p(i,\ j)=p(i)p(j/i)=p(j)p(i/j)$$

式(1.5)表示每一个字符的信息量。

例：一简单语言由两个字符A、B组成，即 AABBBAAAABBAAABBBAAA¦A①，求它的条件熵及冗余度。

解：数一数A及B的个数，知A有12个，B有8个，于是：

$$P(A)=\frac{12}{20},\quad P(B)=\frac{8}{20}$$

分别数出AA、BB、AB、BA之对数可得：

$$P(A,\ A)=\frac{9}{20},\ P(B,\ B)=\frac{5}{20},$$

$$P(A,\ B)=\frac{3}{20},\quad P(B,\ A)=\frac{3}{20}$$

分别数出在B后的A及B后的B之个数可得：

---

①为了凑满20对字符，要给出第21个字符即虚线后之字符，现设第21个字符为A（假定为B亦可）.