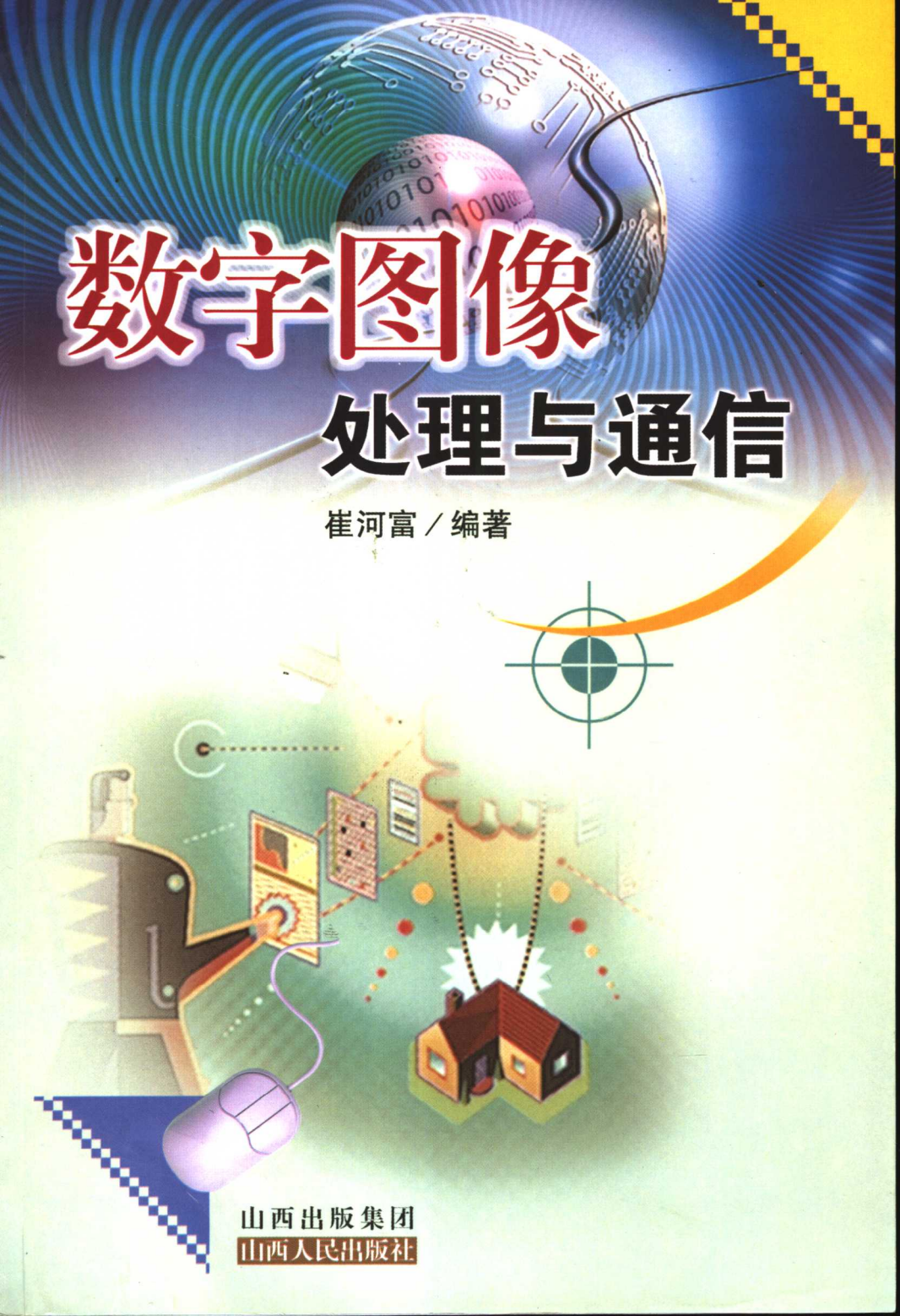
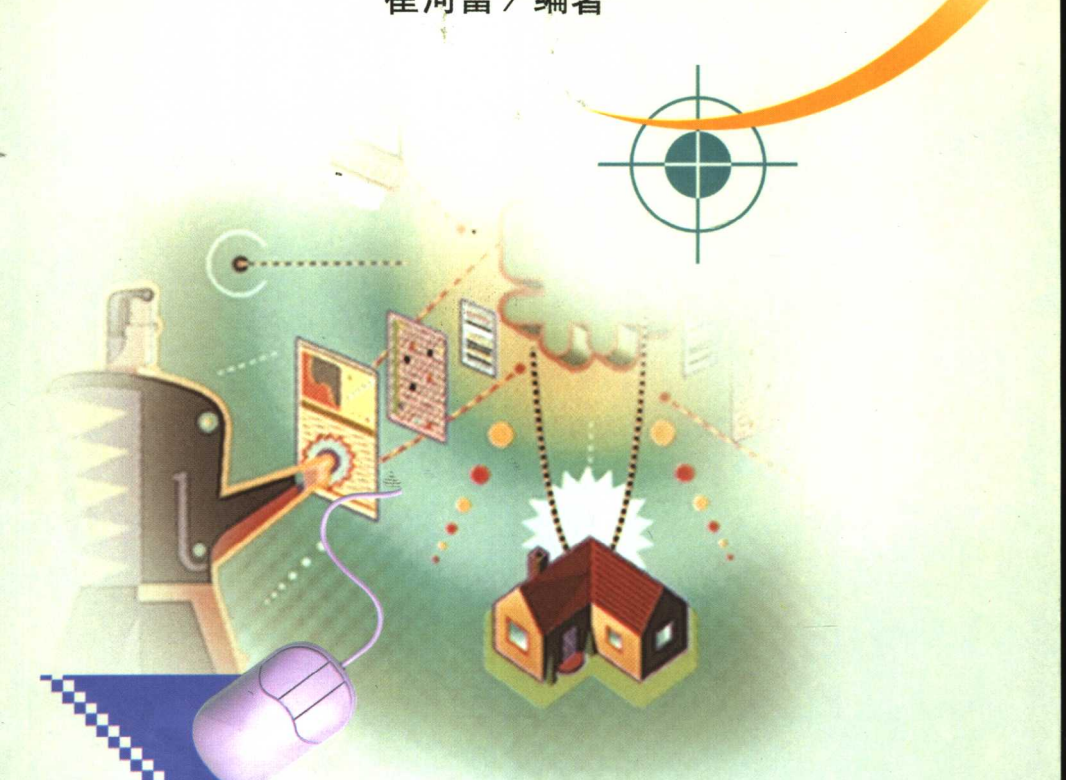




数字图像

处理与通信

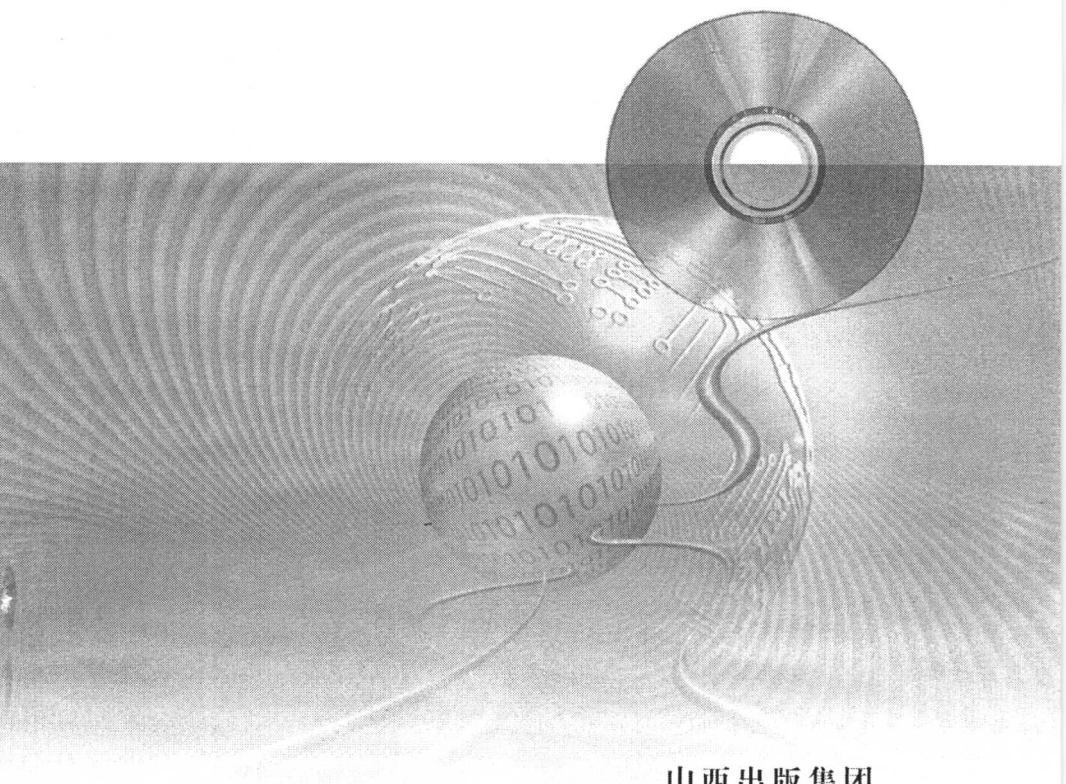
崔河富 / 编著



山西出版集团
山西人民出版社

数字图像 处理与通信

崔河富 / 编著



山西出版集团
山西人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与通信 / 崔河富编著. —太原: 山西人民出版社, 2007.8

ISBN 978-7-203-05877-9

I. 数… II. 崔… III. ①数字图像处理②数字通信: 图像通信 IV. TN911.73 TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124551 号

数字图像处理与通信

编 著: 崔河富

责任编辑: 阎卫斌

装帧设计: 肖 泉

出 版 者: 山西出版集团·山西人民出版社

地 址: 太原市建设南路 21 号

邮 编: 030012

电 话: 0351-4922220(发行中心)

0351-4922208(综合办)

E-mail : fxzx@sxskcb.com

web@sxskcb.com

Renmshb@sxskcb.com

网 址: www.sxskcb.com

经 销 者: 山西出版集团·山西人民出版社

承 印 者: 山西臣功印刷包装有限公司

开 本: 890mm × 1240mm 1/32

印 张: 6.125

字 数: 160千字

印 数: 1-1000 册

版 次: 2007 年 8 月 第 1 版

印 次: 2007 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-203-05877-9

定 价: 18.00元

前 言

人类社会已经进入信息化时代,图像信息的处理、存储和传输在社会生活中的作用将越来越突出,人们对接受图像信息的要求也越来越迫切。近年来,与图像、视频相关的应用越来越广泛,如可视电话、VOD、视频会议、IP 上的视频服务、数字图像监控、数字电视等,而这些都与图像通信及其核心内容——图像的压缩编码有密切的联系。当图像以数字形式处理和传输时,具有质量好、成本低、小型化和容易实现等优点。数字图像通信将是通信事业发展中面临的最大机遇和挑战,也是未来通信市场的热点之所在。但数字化后的图像数据量却相当庞大。比如,如果不进行压缩处理,传输一帧 NTSC 制式的彩色视频数字化图像,则要求信道的传输带宽达到大约 248Mb/s。如何将图像数据压缩到最低,始终是通信领域人们感兴趣的话题之一。

本书系统地介绍了数字图像处理 and 通信方面的基本原理、主要技术和典型应用,内容包括三大部分。第一部分内容包括信息论的基本知识、数字图像压缩编码的基本原理和图像编码的相关国际标准;第二部分内容包括数字图像传输技术、图像的通信网络等图像传输方面的知识;第三部分内容包括相关前沿技术的介绍和图像通信技术的主要应用。其中,重点介绍了静止图像和序列图像编码的基本原理、算法和相关国际标准。本书共 6 章,第一章内容涉及信息论的基础知识、图像信号的基本概念、人眼的视觉特性和图像再现质量评价。第二章介绍静止图像编码,内容包括图像信号的数字化、图像信号的变换编码、图像信号的统计编码和静止图像编码标准及应用。第三章讨论序列图像编码方法和技术,内容涉及视频压缩的基本原理、

运动估计和补偿、基于波形的编码和基于内容的编码以及 H.26X 系列视频编码标准和 MPEG-X 系列标准。第四章介绍图像信号的传输,内容包括图像传输质量分析、图像的传输方式和图像的传输网络。第五章介绍了图像通信的新技术,诸如蓝牙技术、光通信、WAP 和 TD-SCDMA 等。最后一章介绍了图像通信应用系统,内容包括流媒体原理及应用、视频会议系统的组网设计、卫星广播数字电视系统等本书注重基础理论、基本技术的讲述,并列举了大量的实例,同时注意了选材的深度和广度,还介绍了目前图像通信领域新的发展方向。

在本书的出版过程中,得到了山西人民出版社有关同志的诸多帮助,借本书出版之际,向他们表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,参考了大量的文献、书籍及网站等资料。这些资料在本书的参考文献中已尽量列出。但由于写作过程较长,同时有些通过网络上查找的资料和文献没有详细的原始出处,可能会遗漏一些文献和书籍的著录,在此表示歉意,对这些作者的辛勤工作致以由衷的敬意。

由于编写工作是在承担着繁忙的科研和教学工作的情况下进行的,时间较为紧张,更由于作者学识水平所限,书中难免有谬误之处,恳请读者批评指正。

编者 2007 年 6 月

目 录

1 导论	1
1.1 信息论的基础知识	1
1.1.1 信息论的创始人——Claude Shannon	1
1.1.2 信息和信息论	2
1.1.3 信息和信息熵	4
1.1.4 Shannon 信息论简介	7
1.2 图像信号的基本概念	10
1.2.1 图像信号	10
1.2.2 数字图像处理系统	11
1.2.3 图像信号特征分析	13
1.3 人眼的视觉特性和图像再现质量评价	16
1.3.1 人眼的视觉特性	16
1.3.2 人眼的视觉特性在图像编码技术中的应用	17
1.3.3 图像再现质量评价	20
2 静止图像编码研究	22
2.1 图像信号的数字化	23
2.2 图像信号的变换编码	26
2.2.1 DCT 变换	28
2.2.2 图像的小波变换	30
2.3 图像信号的统计编码	37
2.3.1 霍夫曼(Huffman)编码	38
2.3.2 算术编码	40

2.4 JPEG 系列标准及应用	45
2.4.1 JPEG2000 图像压缩标准	46
2.4.2 数码相机	51
3 序列图像编码研究	57
3.1 视频压缩的基本原理	59
3.1.1 视频信号压缩的可能性	59
3.1.2 视频信号的数字化和压缩	61
3.1.3 预测编码的原理	63
3.2 几种常用的视频帧	65
3.3 运动估计和补偿	67
3.4 基于波形的编码和基于内容的编码	71
3.5 H.26X 系列标准	72
3.5.1 H.261 视频编码标准	72
3.5.2 H.263 视频编码标准	76
3.5.3 H.264 视频编码标准	79
3.6 MPEG-X 系列标准	88
3.6.1 MPEG-1 标准	88
3.6.2 MPEG-2 标准	91
3.6.3 MPEG-4 标准	97
3.7 视频编码标准的应用	99
3.7.1 VCD	100
3.7.2 DVD	102
4 图像信号的传输	106
4.1 图像传输质量分析	106
4.1.1 对图像和通信系统的质量要求	106
4.1.2 传输速率对图像业务质量的影响	108
4.1.3 图像传输差错与处理	112
4.1.4 传输时延对图像业务质量的影响	116
4.2 图像的传输方式	117

4.2.1 微波传输	118
4.2.2 卫星传输	119
4.2.3 光纤传输	120
4.3 图像的传输网络	121
4.3.1 SDH 传输技术	122
4.3.2 ATM 交换技术	125
4.3.3 宽带接入技术	127
5 图像通信的新技术	132
5.1 蓝牙技术	132
5.1.1 蓝牙技术及其应用	132
5.1.2 蓝牙技术概况	133
5.1.3 应用前景	138
5.1.4 相关技术比较	139
5.1.5 蓝牙技术的重大意义及在我国的发展	140
5.2 光通信介绍	142
5.3 WAP 介绍	144
5.3.1 WAP 的开发原则	145
5.3.2 WAP 的体系结构	147
5.3.3 一致性与互通性	150
5.4 TD-SCDMA 介绍	151
5.4.1 TD-SCDMA 发展历程	151
5.4.2 TD-SCDMA 产业联盟	152
5.4.3 TD-SCDMA 技术特征	153
5.4.4 TD-SCDMA 研发试验测试内容	154
6 图像通信应用系统	156
6.1 流媒体原理及应用	156
6.1.1 流媒体概述	156
6.1.2 流媒体的优点	158
6.1.3 流媒体系统的组成	159

6.1.4 流媒体技术的主要应用	162
6.2 视频会议系统	164
6.2.1 视频会议的目的和要求	165
6.2.2 H.323 协议	166
6.2.3 组网设计	168
6.2.4 应用实例	170
6.3 卫星广播数字电视系统	174
6.3.1 整体结构	175
6.3.2 我国的卫星电视领域	181

1 导论

1.1 信息论的基础知识

1.1.1 信息论的创始人——Claude Shannon

1948 年, Claude Shannon (克劳德·香农) 在他的经典论文“*A Mathematical Theory of Communication*”(通信中的数学理论)的引言部分中写道:“通信中的基本问题就是在某一点精确或近似地再生另一点选择的信息。”为解决这一问题,他在该论文中提出了应用数学的一个全新分支,现在称之为信息理论或编码理论。

香农于 1916 年 4 月 30 日生于美国密歇根州佩托斯基。曾就读于密歇根大学电子工程和数学系,于 1936 年获得理学学士学位。1940 年在麻省理工学院获博士学位,后又在普林斯顿大学进修了一年。之后,加入了位于新泽西州普林斯顿的贝尔电话实验室技术部。

1941 年,在某种程度上出于战事的需要,香农对通信问题开始了深入的研究,并汇集他的研究成果,于 1948 年发表了名为“*A Mathematical Theory of Communication*”(通信中的数学理论)的论文。伴随着许多深奥的科学发现(例如 1905 年爱因斯坦提出狭义相对论),现在看来当时产生科学突破的时机已经成熟了。但在通信理论领域却并非如此。虽然在 20 世纪 40 年代香农的工作并非与世隔绝,但是他的理论却独树一帜,以至于当时的通信专家都无法立即接受。但是随着他的定理逐渐被数学/工程界认可,他的研究也逐渐发展成为一门崭新的学科,并更多的人开始投身这一领域。起初发展得

较缓慢,但后来这个学科发展得越来越快,直到现在每年都有上百篇信息理论的论文发表。

香农凭借 1948 年发表的论文,被认为是独一无二的信息论之父。除此之外,他还被评为 1948 年以后对此领域做出最大贡献的人!自从发表 A Mathematical Theory of Communication 论文以来,他的每篇论文几乎都可以构成其他人科研思想的无价源泉。

1.1.2 信息和信息论

① 信息

关于信息的本质和特点,是信息论研究的首要内容和解决其他问题的前提。信息是什么?迄今为止还没有一个公认的定义。英文信息一词(Information)的含义是情报、资料、消息、报导、知识的意思。所以长期以来人们就把信息看作是消息的同义语,简单地把信息定义为能够带来新内容、新知识的消息。但是后来发现信息的含义要比消息、情报的含义广泛得多,不仅消息、情报是信息,指令、代码、符号语言、文字等,一切含有内容的信号都是信息。哈特莱第一次指出消息、情报、信号、语言等等都是信息的载体,而信息则是它们承载着的内容。但是信息到底是什么呢?香农的定义是:信息是人们对事物了解的不确定性的消除或减少。这是从通讯角度上下的定义,并且用概率统计数学方法,引入信息熵这一概念来量度信源整体的平均不定度。

人类的社会生活是不能离开信息的,人类的社会实践活动不仅需要周围世界的情况有所了解并能做出正确的反应,而且还要与周围的人群沟通才能协调地行动,这就是说,人类不仅时刻需要从自然界获得信息,而且人与人之间也需要进行通讯,交流信息。人类需要随时获取、传递、加工、利用信息,否则就不能生存。人们获得信息的方式有两种:一种是直接的,即通过自己的感觉器官,耳闻、目睹、鼻嗅、口尝等直接了解外界情况;一种是间接的,即通过语言、文字、信号等等传递消息而获得信息。人类早期只是用语言和手势直接进行通讯,交流信息。“仓颉造字”则使信息传递摆脱了直接形式,同时扩大了信息的储存形式,可算是一次信息技术的革命。印刷术的发

明,扩大了信息的传播范围和容量,也是一次重大的信息技术变革。但真正的信息革命则是电报、电话、电视等现代通讯技术的创造与发明,它们大大加快了信息的传播速度,增大了信息传播的容量。

信息是物质相互作用的一种属性,涉及主客体双方。信息表征信息源客体存在方式和运动状态的特性,所以它具有客体性,绝对性;但接收者所获得的信息量和价值的大小,与信宿主体的背景有关表现了信息的主体性和相对性。此外,信息的产生、存在和流通,依赖于物质和能量,没有物质和能量就没有能动作用。信息可以控制和支配物质与能量的流动。

信息来源于物质,又不是物质本身;信息也来源于精神世界,但又限于精神的领域;信息的这种特殊地位决定了它的一般属性,主要包括:普遍性、客观性、无限性、相对性、抽象性、依附性、动态性、异步性、共享性、可传递性、可变换性、可转化性等。信息的功能表现为五个方面:首先,信息是宇宙万物有序运行的内在依据;其次,信息是人类认识世界和改造世界的中介;第三,信息是维系社会生存与发展的动因;第四,信息是智慧的源泉,是人类的精神食粮;第五,信息是管理的灵魂。

② 信息论

现代信息论的出现,对现代通信技术和电子计算机的设计,产生了巨大的影响。如果没有信息论,现代的电子计算机是无法研制成功的。1948年,香农的两篇《通信的数学理论》与《在噪声中的通信》论文奠定了狭义信息论的基础。这一理论认为通讯就是信息传输、是将消息由发信者送给收信者的过程,因而给出了一般通信系统的模型。香农提出信息传递的基本模型:信源→编码→信道→译码→信宿。他还利用统计方法,正确处理信息的形式和内容的辩证关系,解决了信息量问题,给出了信息量的数学公式。

信息论是关于信息的本质和传输规律的理论,是研究信息的计量、发送、传递、交换、接收和储存的一门新兴学科。正是现代通讯技术的发展导致了现代信息论的诞生。香农在贝尔电话研究所时,他为

了解决通讯技术中的信息编码问题,突破老框框,把发射信息和接收信息作为一个整体的通讯过程来研究,提出通讯系统的一般模型;同时建立了信息量的统计公式,奠定了信息论的理论基础。1948年香农发表的《通讯的数学理论》一文,成为信息论诞生的标志。在信息论的发展中,还有许多科学家对它做出了卓越的贡献。法国物理学家 L·布里渊(L.Brillouin)1956年发表《科学与信息论》专著,从热力学和生命等许多方面探讨信息论,把热力学熵与信息熵直接联系起来,使热力学中争论了一个世纪之久的“麦克斯韦尔妖”的佯谬问题得到了满意的解释。英国神经生理学家(W.B.Ashby)1964年发表的《系统与信息》等文章,还把信息论推广应用于生物学和神经生理学领域,也成为信息论的重要著作。这些科学家们的研究,以及后来从经济、管理和社会的各个部门对信息论的研究,使信息论远远地超越了通讯的范围。

信息论还研究信道的容量、消息的编码与调制的问题以及噪声与滤波的理论等方面的内容。信息论还研究语义信息、有效信息和模糊信息等方面的问题。广义信息论则把信息定义为物质在相互作用中表征外部情况的一种普遍属性,它是一种物质系统的特性以一定形式在另一种物质系统中的再现。信息论为控制论、自动化技术和现代化通讯技术奠定了理论基础,为研究大脑结构、遗传密码、生命系统和神经病理学开辟了新的途径,为管理的科学化和决策的科学化提供了思想武器。

1.1.3 信息和信息熵

通信的目的就是传递或交换信息。但是,什么是信息呢?人类关于文字、数字、图画、声音的知识已有几千年历史了。但是它们的总称是什么,它们如何统一地计量,直到19世纪末还没有被正确地提出来,更谈不上如何去解决了。20世纪初期,随着电报、电话、照片、电视、无线电、雷达等的发展,如何计量信号中信息量的问题被隐约地提上日程。

信息是个很抽象的概念。我们常常说信息很多,或者信息较少,

但却很难说清楚信息到底有多少。比如一本五十万字的中文书到底有多少信息量。直到 1948 年,信息论及数字通信的奠基人香农提出了熵(entropy)的概念,才解决了对信息的量化度量问题。

一条信息的信息量大小和它的不确定性有直接的关系。比如说,我们要搞清楚一件非常非常不确定的事,或是我们一无所知的事情,就需要了解大量的信息。相反,如果我们对某件事已经有了较多的了解,我们不需要太多的信息就能把它搞清楚。所以,从这个角度,我们可以认为,信息量的度量就等于不确定性的多少。

香农把信息定义为“用来消除不确定性的东西”。自然,通信的过程就是传递“用来消除不确定性的东西”。“通信的基本问题就是在一点重新准确地或近似地再现另一点所选择的消息”。这是香农在他的《通信的数学理论》中的一句名言。正是沿着这一思路,他应用数理统计的方法来研究通信系统,从而创立了影响深远的信息论。

香农理论的重要特征是熵(entropy)的概念,他证明熵与信息内容的不确定程度有等价关系。熵曾经是波尔兹曼在热力学第二定律引入的概念,我们可以把它理解为分子运动的混乱度。信息熵也有类似意义。

那么我们如何量化的度量信息量呢?我们来看一个例子,足球世界杯赛刚刚过去,大家都关心谁会是冠军。假如我错过了看世界杯,赛后我问一个知道比赛结果的观众“哪支球队是冠军”?他不愿意直接告诉我,而要让我猜,并且我每猜一次,他要收一元钱才肯告诉我是否猜对了,那么我需要付给他多少钱才能知道谁是冠军呢?我可以把球队编上号,从 1 到 32,然后提问:“冠军的球队在 1-16 号中吗?”假如他告诉我猜对了,我会接着问:“冠军在 1-8 号中吗?”假如他告诉我猜错了,我自然知道冠军队在 9-16 中。这样只需要五次,我就能知道哪支球队是冠军。所以,谁是世界杯冠军这条消息的信息量只值五块钱。

当然,香农不是用钱,而是用“比特”(bit)这个概念来度量信息量。一个比特是一位二进制数,计算机中的一个字节是八个比特。在

上面的例子中,这条消息的信息量是五比特。(如果有朝一日有六十四个队进入决赛阶段的比赛,那么“谁世界杯冠军”的信息量就是六比特,因为我们要再多猜一次。)读者可能已经发现,信息量的比特数和所有可能情况的对数函数 $\log$ 有关。($\log 32=5, \log 64=6$)。

有些读者此时可能会发现我们实际上可能不需要猜五次就能猜出谁是冠军,因为像巴西、德国、意大利这样的球队得冠军的可能性比日本、美国、韩国等队大的多。因此,我们第一次猜测时不需要把 32 个球队等分成两个组,而可以把少数几个最可能的球队分成一组,把其他队分成另一组。然后我们猜冠军球队是否在那几只热门队中。我们重复这样的过程,根据夺冠概率对剩下的候选球队分组,直到找到冠军队。这样,我们也许三次或四次就猜出结果。因此,当每个球队夺冠的可能性(概率)不等时,“谁世界杯冠军”的信息量比五比特少。香农指出,它的准确信息量应该是

$$H=-(p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + \dots + p_{32} \log p_{32}) \quad (1.1)$$

其中, $p_1, p_2, \dots, p_{32}$ 分别是这 32 个球队夺冠的概率。香农把它称为“信息熵”(Entropy),一般用符号 H 表示,单位是比特。有兴趣的读者可以推算一下当 32 个球队夺冠概率相同时,对应的信息熵等于五比特。有数学基础的读者还可以证明上面公式的值不可能大于五。

在香农的通信数学模型中,清楚地提出信息的度量问题,给出了著名的计算信息熵 H 的公式:

对于任意一个随机变量 X (比如得冠军的球队),它的熵定义如下:

$$H(X) = - \sum_x p(x) \log_2 [p(x)] \quad (1.2)$$

变量的不确定性越大,熵也就越大,把它搞清楚所需要的信息量也就越大。

如果计算中的对数 $\log$ 是以 2 为底的,那么计算出来的信息熵就以比特(bit)为单位。今天在电脑和通信中广泛使用的字节(Byte)、

KB、MB、GB 等词都是从比特演化而来。“比特”的出现标志着人类知道了如何计量信息量。香农的信息论为明确什么是信息量概念做出了决定性的贡献。

在香农寻求信息量定义的名称时,数学家冯·诺依曼建议称为熵,理由是在统计力学中已经用熵这一观念来表示物质系统的不确定性。在热力学中,熵是物质系统状态的一个函数,它表示微观粒子之间无规则的排列程度,即表示系统的紊乱度,维纳说:“信息量的概念非常自然地属于统计学的一个古典概念——熵。正如一个系统中的信息量是它的组织化程度的度量,一个系统的熵就是它的无组织程度的度量;这一个正好是那一个的负数。”这说明信息与熵是一个相反的量,信息是负熵,所以在信息熵的公式中有负号,它表示系统获得后无序状态的减少或消除,即消除不定性的大小。

如果你问别人物理世界是由什么构成的,他很可能告诉你“物质和能量”。但只要我们学过一点工程、生物和物理的话,就知道信息同样是一个不可或缺的组成部分。只给汽车厂的机器人金属和塑料,它们不可能做出任何有用的东西,只有给它们下达如何焊接的指令它们才能组装出汽车。类似地,一个世纪以来物理学的进展告诉我们,信息在物理系统和物理过程中起着关键的作用。实际上,现在就有一个学派认为物理世界是由信息构成的。该理论认为信息才是最重要的,物质和能量不过是附属物而已。

1.1.4 Shannon 信息论简介

经典信息论的诞生有两个来源,一是来源于物理学的熵理论。信息论中的熵和热力学中的熵存在某种等价关系。信息论的另一个来源是早期人们对电报通信的研究。自 16 世纪,Gilbert 等人就研究了电报电码问题,这一研究的著名产物是 Mouse 电报电码。使用该电码可以用较少的电报符号传递较长的电文。而 Shannon 熵正反映了使用最优方式编码时,平均每个文字需要的最短码长。

Shannon 通信模型如图 1.1 所示。

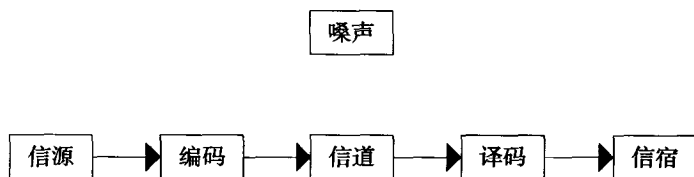


图 1.1 Shannon 通信模型

通信就是信息的传递和交换的过程。信息表现为许多形式,诸如图像、语音、文本数据等。通信系统形式各异、种类繁多。但是无论是哪种通信系统,都是要完成从一地到另一地的信息传递或交换。在这样一个总的目的下,可以把通信系统概括为一个统一的模型。这一模型包括信源、编码器、信道、解码器、信宿和噪声源六个部分。

模型中各部分功能如下:

信源: 信源是指发出信息的信息源,或简单地说是信息的发出者。如广播员讲话的声音是信源。

编码器: 编码器的功能是把信源发出的信息转换成适合在信道上传输的信号。首先利用声-电、光-电转换得到关于信息的电信号(基带信号),该信号不完全适合与传输,再把它转换成调制信号后才能有效地在相应的传输媒质(信道)中传输。

信道: 信道是信号传输媒介的总称。它可以是一对导线、一条同轴电缆或光纤,也可以是辐射电磁波的一个自由空间。

解码器: 解码器具有与编码器相反的逆变换功能。

信宿: 信宿是指信息传送的终点,也就是信息接收者。

噪声源: 噪声源并不是一个人为实现的实体,但在实际通信系统中又是客观存在的。在传输过程中绝对忽视不能噪声源的存在。

有时,把编码、解码部分和噪声并入信道,则通信模型简化为:信源?信道?信宿。这时,我们用取值于 $A=\{x_1, x_2, \dots\}$ 中的随机变量 X 表示信源文字,用取值于 $B=\{y_1, y_2, \dots\}$ 中的随机变量 Y 表示信宿文字,于是信源和信宿可以被抽象为概率分布函数 $P(X)$ 和 $P(Y)$,而信道可以被抽象为条件概率分布函数 $P(Y/X)$ 。