



中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

多源水利信息 快速获取与处理

李茂堂 崔瑞玲 姜永生
高广利 耿丁蕤 曾桂菊 编著



海洋出版社

中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

多源水利信息快速获取与处理

李茂堂 崔瑞玲 姜永生
高广利 耿丁蕤 曾桂菊

编著



海洋出版社

2013年·北京



图书在版编目（CIP）数据

多源水利信息快速获取与处理/李茂堂等编著. —北京：海洋出版社，
2013.9

ISBN 978-7-5027-8634-2

I. ①多… II. ①李… III. ①水利调查—信息获取②水利调查—信息处理 IV. ①TV211

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第192500号

责任编辑：苏 勤

责任印制：赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编：100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2013年9月第1版 2013年9月北京第1次印刷

开本：787mm×1092mm 1/16 印张：15.75

字数：400千字 定价：60.00元

发行部：62147016 邮购部：68038093 总编室：62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

信息快速获取与处理技术是指采用各种技术手段获得目标或物体信息，并对信息进行快速存储、统计、管理和传输的技术。信息获取的技术手段主要是各种航天航空遥感、全球定位系统、地面自动采集系统等构成的天地一体化的现代高新技术手段；处理技术主要是对各种遥感图像的处理与信息提取、GIS 分析与处理、各种形式（声音、文字、图像等）信息的传输（网络、通信卫星、电话、微波等）。信息获取与处理技术的最终目标是为各种不同层次的用户提供多种形式的信息，用于指导决策。

信息的快速获取与处理技术是当前国际上正在迅速发展的一门学科，它是在自然科学范畴内研究被测对象的信号转换、数据融合和信息提取机理与规律的一门涉及遥感、航天、水利、地震、电子、材料、控制、仪器与机械、人工智能等多学科的新兴交叉学科，加强该领域的研究对于水资源管理、水利空间工程、航天工业、反恐、促进国民健康和生产安全、防治重大灾害和环境污染等都有着极其重要的作用。

近几十年来，随着我国工农业生产的迅猛发展和气候条件的变化，我国的水灾旱灾频繁发生，江河、湖泊和海域受污染面积和程度呈增加趋势，直接威胁人类可持续发展的生存环境和工农业生产的可持续发展。本书正是为研究和解决这些问题而编写。全书共分 6 章：第 1 章为“信息论初步”，主要介绍了信息、信息论、信息量与熵等基本概念。第 2 章为“信息快速获取与处理技术概述”，主要介绍了信息获取与快速处理技术的手段与方法。第 3 章为“多源水利信息的概念与内涵、数据类型与用途”，主要介绍了水利信息学、水利信息化的概念与内涵以及水利信息的数据类型、种类与用途。第 4 章为“多源水利信息的快速获取技术”，主要介绍了多源水利信息获取的技术手段与方法 and 水利信息通信传输的技术手段与方法。第 5 章为“多源水利信息处理技术”，主要介绍了多源水利信息的融合技术，多源水利信息的共享技术，多源水利信息视频数据的压缩和传输技术，基于遥感的水质信息提取与监测技术，基于陆地卫星遥感图像数据的水质参数反演与监测及基于多源水利信息的水污染评价与模拟仿真技术等。第 6 章为“多源水利信息快速获取与处理应用实践”，主要介绍了近年来水利领域水利信息快速获取与处理应用成果。

该书由李茂堂、崔瑞玲、姜永生、高广利、耿丁蕤、曾桂菊编著，其中姜永生还对全书内容进行了审核、曾桂菊还对全书内容进行了校对。

在该书的编写过程中，得到了水利部遥感中心李纪人、路京选、黄诗峰、潘史兵、辛景峰、程先云、庞治国、李琳、付俊娥，航天控制指挥中心刘博扬，煤炭科学研究院总院孙庆先，国家专利局齐慧峰，北京工学院刘晓燕，沈阳农业大学张婷婷等专家和学者的支持，在此一并表示感谢。

由于本书涉及内容广泛、时间紧，书中难免有不妥当之处，敬请指正。

目 录

第 1 章 信息论初步	1
1.1 信息与信息技术	1
1.1.1 信息与信息技术	1
1.1.2 信息的社会作用	2
1.1.3 信息科学	4
1.1.4 信息技术	5
1.2 信息论、信息量与熵	6
1.2.1 信息论的基本概念	6
1.2.2 离散信源模型与自信息	7
1.2.3 信息熵	10
1.2.4 连续信源的熵与最大熵定理	12
1.2.5 信息与熵的守恒定律	15
参考文献	16
第 2 章 信息获取与快速处理技术概述	18
2.1 信息获取与快速处理技术	18
2.2 3S 技术及空间信息科学	20
2.2.1 3S 技术及其集成	20
2.2.2 地球空间信息科学	21
2.3 电磁波谱及地物波谱特征	22
2.3.1 电磁波谱与电磁辐射	22
2.3.2 太阳辐射及大气对辐射的影响	27
2.4 辐射传感技术	31
2.4.1 遥感平台与传感器	31
2.4.2 微波遥感与成像	33
2.4.3 遥感图像的技术指标	35
2.5 遥感图像处理	37
2.5.1 遥感的光学基础	37
2.5.2 遥感数字图像的校正	42
2.5.3 遥感图像的变换处理	44
2.5.4 遥感图像的自动识别分类	46
2.5.5 遥感数字图像的增强	56

2.5.6 多源遥感数据信息融合	59
2.6 多源水利信息快速获取与共享平台	60
参考文献	61
第3章 多源水利信息的概念与内涵、数据类型与用途	63
3.1 多源水利信息的概念与内涵	63
3.1.1 水信息学概述	63
3.1.2 水利信息化	64
3.2 多源水利信息的数据类型与用途	69
3.2.1 美国陆地卫星 Landsat 的 TM、MSS 和 ETM+数据	69
3.2.2 SPOT 卫星遥感数据	72
3.2.3 IKONOS 米级卫星遥感数据	74
3.2.4 Quick Bird 高分辨率遥感数据	74
3.2.5 中国陆地资源卫星遥感数据	75
3.2.6 JERS 的 VNR、SWIR 和 SAR 数据	77
3.2.7 印度遥感卫星数据	77
3.2.8 NOAA 卫星的 AVHRR 数据	79
3.2.9 FY 气象卫星系列的数据	81
3.2.10 EOS/MODIS 数据	85
3.2.11 SEASAT 卫星的 SAR-A、SNMR 和 VIR 数据	88
3.2.12 Radarsat 系列卫星的数据	89
3.2.13 ERS 系列卫星数据	91
3.2.14 GMS 气象卫星数据	92
3.2.15 MTSAT 系列卫星数据	93
3.2.16 ENVISAT-1 卫星数据	94
参考文献	96
第4章 多源水利信息的快速获取技术	98
4.1 卫星通信技术	98
4.1.1 卫星通信概述	98
4.1.2 通信卫星	102
4.1.3 卫星通信体制	104
4.1.4 VSAT 卫星通信	104
4.2 雷达技术	119
4.2.1 雷达原理	119
4.2.2 雷达技术指标及分类	121
4.2.3 雷达组成及信号分类	124
4.2.4 雷达信号的 SDH 传输	125
4.2.5 雷达在水利上的应用	126

4.3 计算机网络技术·····	127
4.3.1 计算机网络概述·····	127
4.3.2 计算机网络基础·····	132
4.4 基于互联网、云计算与物联网的水利信息获取与处理·····	137
4.4.1 互联网简介·····	137
4.4.2 云计算简介·····	140
4.4.3 物联网简介·····	141
4.4.4 互联网、云计算与物联网的相互关系·····	142
4.4.5 基于互联网、云计算与物联网的信息获取与处理实例·····	143
参考文献·····	145
第5章 多源水利信息处理技术·····	147
5.1 多源水利信息的融合技术·····	147
5.1.1 融合中采用的基本理论·····	147
5.1.2 多源遥感数据融合的常用方法·····	148
5.2 多源水利信息的共享技术·····	150
5.2.1 科学数据共享的必要性·····	150
5.2.2 共享方式·····	157
5.3 多源水利信息视频数据的压缩和传输技术·····	158
5.3.1 视频数据概述·····	158
5.3.2 MPEG4 视频编解码标准·····	161
5.3.3 FFmpeg 开发工具包·····	161
5.3.4 视频质量评价·····	163
5.3.5 网络通信协议的选择·····	166
5.4 多源水利信息视频 DirectShow 处理技术·····	169
5.4.1 DirectShow 简介·····	169
5.4.2 COM 技术·····	170
5.4.3 DirectShow 技术构成·····	173
5.4.4 利用 DirectShow 实现视频的发送和接收·····	177
5.4.5 实验结果分析·····	179
5.5 基于遥感的水质信息提取与监测技术·····	180
5.5.1 基于遥感的水质信息提取与处理·····	180
5.5.2 基于遥感的水质信息监测与处理·····	181
5.5.3 基于实测高光谱数据的水质参数反演·····	190
参考文献·····	206
第6章 多源水利信息快速获取与处理应用实践·····	207
6.1 863“信息快速获取与处理”专题的一些科研成果·····	207
6.1.1 星载合成孔径雷达研制·····	207

6.1.2	固态有源相控阵雷达技术	207
6.1.3	成像光谱仪系统	207
6.1.4	自适应光学望远镜技术	208
6.2	微波对地实时观测处理系统	209
6.2.1	航空遥感实时对地观测系统的原理	209
6.2.2	航空遥感实时对地观测系统的应用设计	210
6.3	CCD 数字相机实时采集系统	219
6.3.1	CCD 数字相机实时采集系统原理	219
6.3.2	CCD 数字相机实时采集系统的设计	220
6.4	水利信息快速获取与处理平台	225
6.4.1	水利信息快速获取与处理平台的组成	225
6.4.2	水利信息快速获取与处理平台的数据库设计	233
6.4.3	水利信息快速获取与处理平台的水质灾害预警系统	234
	参考文献	237

第1章 信息论初步

1.1 信息与信息技术

1.1.1 信息与信息技术

当今社会是一个飞速发展的社会，伴随着各种高新技术的不断出现与发展，新的名词术语层出不穷，并不断被赋予新的内容。今天，我们已经进入到了“信息时代（Information Epoch）”，信息成为国民经济与建设和人们日常生活中不可或缺的重要资源。冰消雪融、草木发芽，这是自然带给我们季节变换的信息；新闻报道、商品广告，这是社会带给我们的信息；闹钟的铃声把我们从睡梦中叫醒，这是生活中的信息。我们无时无刻不与信息有联系。

信息是一个比较抽象的概念。信息的定义是一个值得进一步探讨的问题，有关信息的数学模型也处于不断深入研究之中。

《辞海》对信息作了如下解释，信息即通信系统传输和处理的对象，泛指消息和信号的具体内容和意义。通常须通过处理和分析来提取。信息、物质和能量被称为系统的三大要素。信息和物质的量值与信息的随机性有关，如在接收端无法预估消息或信号中所蕴含的内容或意义，即预估的可能性越小，信息量就越大。

控制论的创始人之一——美国科学家维纳（N.wiener）在1948年出版的奠基性著作《控制论——动物和机器中的通信与控制问题》一书中指出：信息就是信息，不是物质，也不是能量。他的这个论断，在信息与物质和能源之间划了一条界线。后来，他又在《人有人的用处》一书中提出了新的看法：“信息是人和外界互相作用的过程中互相交换的内容的名称。”

1948年，信息论的奠基人，美国科学家香农（C.E.shannon）在《通信的数学理论》一文中，把信息定义为“熵的减少”。换句话说，他把信息定义为“能够用来消除不定性的东西”，因为熵是不定性程度的度量，熵的减少就是不定性的减少。

前苏联学者别尔格（A.Be.Dr）在1971年出版的《控制论的方法论观点》一书中指出，“信息作为自然界客观现象的一个方面，是在整个世界，整个宇宙中无所不存在的”，进而，他又认为，经典物理学的物质、运动、能量、空间、时间等基本概念，已不足以描述实在世界了……人们在研究能量场（引力、电、磁场……）的特点和属性时，也应考虑到这些场都是信息的负载者。

意大利学者朗格（G.Longe）在1975年出版的《信息论：新趋势和未决问题》一书中，也提出了一种定义：“信息是事物之间的差异，而不是事物本身。”

目前，国内外关于信息的各种定义已达近百种，作为一个科学名词，如何来定义信息呢？从最本质的意义上来说，信息是人们对客观事物运动规律及其存在状态的认识结

果。小到一条最简单的消息，大到宇宙的基本定律都是信息，它们都是人们对客观事物变化或存在方式的认识和描述。

上述的描述及定义抓住了信息的本质，是比较科学和客观的。把信息定义为事物运动的状态和方式，不仅从正面回答了“信息是什么”的问题，而且统一了前面所提出的各种定义，同时还为定量描述信息奠定了基础。在这里，“事物”是泛指一切范畴的事物，既包括一切形式的物质，也包括精神，而“运动”也是最广义的运动，即哲学意义下的运动，宇宙间一切事物都在运动，绝对静止的事物是没有的。“状态”和“方式”是事物运动的两个基本侧面，状态反映运动的相对稳定的一面，方式则反映运动的变化的一面。

1.1.2 信息的社会作用

1.1.2.1 物质、能量、信息三者的关系

现代科学认为，物质、能量、信息是物质世界的三大支柱，是科学史上三个最重要的概念，这三者之间存在着密切的联系。

物质、能量、信息三者是统一的、不可分割的，它们是同一客观存在的三个方面，是组成任何系统乃至整个世界的三大要素。能量是信息流通的动力，物质能量是信息的载体，而信息是物质能量在时空中存在的秩序，是关于物质运动状态的特征，只要有运动的事物，就需要有能量，也就会存在信息。信息是普遍的，它无时不有，无处不存。

物质、能量和信息，作为物质世界的三种资源，具有三位一体相辅相成的关系。例如，一个现代化的自动防空体系，雷达监视着空间的特定区域，一旦发现目标，就立即发出信号，把目标物的运动状态和方式，以无线电波的一系列参数形式，通过通信系统传递给计算中心。计算中心对所收到的信号作分析处理，估计出目标物的坐标、方位、仰角、运动速度、加速度等参数，并计算出拦截目标时导弹的发射参数。然后，控制系统根据这些参数控制武器的发射，发射出导弹以后，雷达系统又监视着导弹与目标物之间的误差关系，并把这一误差信息再由通信系统传送给计算中心，经过计算及时调整导弹的飞行参数，并由控制系统指挥导弹，直到拦截击毁成功为止。在这个防空体系中，如果没有材料，就不存在雷达、计算机、导弹；如果没有能量，计算机、控制系统就不能工作。然而，在这三者之中，驾驭全局的是信息。物质使系统具有形体，能量使系统具有力量，而信息则使系统具有了“灵魂”。

1.1.2.2 信息是一种资源

正像物质和能量是人类生存和发展所必需的资源一样，信息也是一种不可缺少的资源，是现代经济社会发展的重要支柱。物质提供各种各样有用的材料；能源提供各种形式的动力；而信息向人类所提供的则是无穷无尽的知识 and 智慧。人类生存没有必需的材料和动力不行，没有信息更不行。其他各种生物也是如此。生物进化论的一条重要法则是“适者生存”。环境总在不断地变化，任何生物如果不能从变化着的环境中获得对它的生存直接有关的信息——环境有关因素的运动状态和方式，它就不能适应环境的变化，更不能生存下来。

人类社会的早期，人们只能利用大自然给予的器官及功能来进行信息的简单处理。

信息处理手段的第一次飞跃应当说是文字的产生与使用，包括纸张的产生与印刷术的进步。文字的出现、纸张与印刷术的发明使人们在信息的存储方面有了重大的突破。同样，从古代的筹算到流传至今的算盘，是早期信息处理技术的典型例子；遍布全国的烽火台系统和驿道系统同样表现出我们的祖先为加快信息传递速度而做出的巨大努力；我国古代发明的指南针则是原始的感测技术和显示技术。这个阶段可以称为信息处理的手工时代。

以蒸汽机的出现为标志，工业革命在物质和能量的使用方面开创了一个全新的时代。在信息处理方面，工业革命的思想与技术同样产生了一系列成果。例如，帕斯卡发明的机械计算机，这种设备可以在一定程度上帮助人们从事大量数据的累加、乘、除等运算。以其为原形发展起来的手摇计算机直到20世纪60年代初还在许多地方使用。在信息的加工与传递上，由于电的使用，人类又发明了一系列新的技术，如电报（包括有线的与无线的）和电话。这些技术与设备使人类在信息处理方面有了进一步的提高。这个时期可以称之为机械与电气为主要手段的机电时代。

20世纪中叶，由于生产社会化程度的空前提高，人类在信息处理方面也进入了一个全新的阶段，我们可以称之为信息处理的现代阶段，或信息处理的电子时代。所谓现代信息技术，就是指在这几十年内迅速发展起来并且迅速普及的一系列技术，正是这些技术构成了现代信息处理的基础。

现代信息技术的核心是电子计算机和现代通信技术。作为信息处理的设备电子计算机，无论在信息量的存储方面，还是在信息处理加工速度方面都有长足的发展。电子计算机的价格大幅度下降，性能大幅度提高，这些都为电子计算机广泛应用于信息处理提供了可能。现代通信技术主要包括数字通信、卫星通信、微波通信、光纤通信等。通信技术的普及应用，是现代社会的显著标志。通信技术的迅速发展大大加快了信息传递的速度，使地球上任何地点之间的信息传递速度缩短到几分钟甚至更短，加上价格的大幅度下降，通信能力的大大加强，多种信息媒体（数字、声音、图形、图像）的传输，使社会生活发生了极其深刻的变化。除了以上最主要的技术外，现代信息技术还包括了现代办公设备、轻印刷设备、缩微技术、遥测技术等方面的内容，它们同样对人类信息处理水平的提高发挥了巨大的作用。

当今社会已进入信息时代，信息革命深刻改变着生产生活方式。在信息社会里，信息资源被空前提到重要的战略资源的高度。通过信息资源的交互，把物质资源和能量资源以最大的量、最恰当的路径配置到最恰当的地方，从而实现社会资源的最优化配置，大大提升社会资源的利用效率。通过信息技术创造先进的智能工具，提高物质能量开发利用水平，开发新资源，改善产业结构，提高社会效率，降低环境污染，使许多悲观难题迎刃而解。专家指出，信息经济倡导三个最大化：最大限度地优化配置自然资源；最大限度地提高自然资源利用效率；最大限度地提高自然资源的利用效益。信息社会的价值不仅仅体现在信息技术对社会经济发展的强大的创造力，更重要的是在于信息资源对物质资源和能量资源所起的调控作用。

人类社会文明进化本质是信息化，是信息数量积累和质量提高的过程，信息开发利用程度决定社会形态。

1.1.2.3 信息的基本性质

(1) 未知性或不确定性。这是信息的最基本属性, 否则就不是信息。

(2) 由不知到知, 为不确定性的集合的元素的减少。这样, 就可以基于集合论和概率论来描述信息的传输。

(3) 可以度量, 这是信息论的基础, 使得信息可以比较大小、价值等。

(4) 可以产生和消失。信息既有物质的某些属性, 但又不同于物质, 物质具有不灭性, 只能转化形式, 而信息可以产生和消失。

(5) 可以识别, 可以转化形式。信息可以通过人的感官直接识别, 也可以通过各种探测器间接识别。信息可以从一种形态转换成另一种形态, 如语言、文字、图像、图表等信号形式; 也可以转换成计算机代码及广播、电视等电信号, 而电信号和代码又可以转换成语言、文字、图像等。

(6) 可以存储和传递。人用脑神经细胞存储信息(称作记忆); 计算机用存储器和数据库存储信息: 录音机、录像机用磁带存储信息等。人与人之间的信息传递依靠语言、表情、动作; 社会信息的传输借助报纸、杂志、广播; 工程中的信息则可以借助机械、光、声、电等传输。

此外, 信息作为一种资源, 还具有可共享性、永不枯竭性和时效性。即信息经过传播可以成为全人类的财富。信息作为事物运动的状态和方式, 是永不枯竭的, 只要事物在运动, 就有信息存在。有些信息如果不能及时得到, 就会失去其原有的利用价值, 不能发挥其原来的作用, 如台风预报、水旱灾害预报等。由于信息具有这些性质, 因此它对于人类和人类社会具有十分重要的意义。

1.1.3 信息科学

1.1.3.1 信息科学的概念

信息科学是以信息为主要研究对象, 以信息的运动规律和应用方法为主要研究内容, 以计算机等技术为主要研究工具, 以扩展人类的信息功能为主要目标的一门综合性学科。它包括两个方面的内容: 一是信息本身的有关规律; 二是有关利用信息方面的规律。因此, 也可以说, 信息科学是关于如何认识信息以及如何利用信息的科学。

以信息作为主要的研究对象, 这是信息科学区别于一切传统科学的最根本的特征。虽然在自然界、人类社会和人的思维领域存在大量的信息现象、信息问题和信息过程, 信息对于人类社会的生存和发展是那样重要, 但是传统科学却没有把信息问题作为基本的对象来研究, 它的基本注意力放在物质和能量方面。物质和能量是传统科学的中心概念。

信息科学是研究如何认识信息和利用信息的。在认识信息方面, 包括进一步探讨信息的本质, 建立信息问题的完整的数学描述方法和度量方法, 探明信息是怎样产生的, 怎样识别、提取、变换、传递、检测、存储、检索、处理和分析信息, 研究在这些过程中的基本规律和关系; 在利用信息方面, 主要研究利用信息来进行有效控制和组织最优系统的一般原理和方法。显然, 认识是基础和前提, 而利用则是结果和目的, 认识和利用, 两者密切关联, 是一个统一的有机整体。

1.1.3.2 信息科学的目的是任务

人类认识世界和改造世界的全部活动, 信息贯穿其始终, 而且, 人的一生也一直都

在同信息打交道,把人同信息打交道的本领(主要包括获取信息、传递信息、处理信息和产生信息的本领)称为人的信息功能。然而,人的信息功能主要是由他的一系列信息器官来承担的。那就是,感觉器官主要承担信息提取、信息变换和检测的功能;神经系统主要承担信息传递和某些信息处理的功能;大脑主要承担信息存储、分析和产生(决策)的功能等。而信息科学的目的和任务,就是在分析、探索和掌握这些功能的机制的基础上,运用信息科学提供的原理和方法以及各种技术(包括机械、电子、激光、生物等),来延长、增强、补充和扩展人的信息器官的功能,提高人的创造力、逻辑和辩证思维能力。

1.1.4 信息技术

1.1.4.1 信息的概念

信息技术(Information Technology)从广义上讲,是指可以扩展人的信息功能的技术,也就是人类获取、加工存储、提取、传递和利用信息的技术。从狭义上讲:信息技术是指利用电子计算机和现代通信手段获取、传递、存储、显示信息和分配信息的一门新技术。

信息技术的主体内容包括传感技术、通信技术和计算机技术。传感技术主要包括信息的识别、检测、提取、变换以及某些信息处理技术,它是人的感官功能的扩展和延伸;通信技术包含信息的变换、传递、存储、处理以及某些控制与调节技术,它是人的信息传输系统(神经系统)功能的扩展和延伸;计算机技术主要包括信息的存储、检索、处理、分析、产生(决策或称指令信息)以及控制等,它是人的信息处理器官(大脑)功能的延伸。以上所述的几类信息技术是一个整体,其中通信技术与计算机技术是核心,感测技术和控制技术是核心与外部世界的接口。通过逻辑的综合分解可以形成各种各样的信息技术应用系统,如管理信息系统、自动护理系统、医疗专家系统、远程医疗会诊系统等。传感、通信和计算机技术三者是相辅相成的,它们构成了信息技术的核心,又被称为“3C”技术,即信息采集、通信和计算机(Collection, Communication and Computer)技术。信息技术是现代高科技技术中的代表性技术,是人类文明的技术基础,也是人类开发利用信息资源的主要手段,即信息管理的技术基础。

1.1.4.2 信息技术与新技术革命

信息技术、新材料技术和新能源技术,它们共同构成了科学技术的和谐结构。微电子技术是由新材料和信息技术派生出来的一门新技术;激光技术是新能源和信息技术派生出来的新技术;而生物、海洋和空间技术则是新材料、新能源和信息技术派生出来的三门新技术。至于光纤通信和计算机技术则是信息技术的分支。

人类历史上经历了五次信息技术革命,每次信息技术革命都带来了新技术的革命。

第一次信息技术革命是语言的使用,这次信息技术革命使人类之间和其他生物之间的交流发生了新的革命。

第二次信息技术革命是文字的使用(大约在公元前3500年),这次信息技术革命使人类对信息的保存和传播取得重大突破,较大地超越了时间和地域的局限。

第三次信息技术革命是印刷技术的应用(大约公元11世纪),大约在公元1040年,我国开始使用活字印刷技术,大约在1451年,欧洲人开始使用印刷技术。印刷术的发明

和使用,使书籍、报刊成为重要的信息储存和传播的媒体。

第四次信息技术革命是电报、电话、广播、电视的应用(从19世纪中叶至20世纪40年代)。在电报、电话、广播、电视的应用以前,人们传递信息主要靠烽火台、飞鸽、马匹及人力传输。比如马拉松消息传递事件就是典型的信息传输事件。马拉松是希腊的一个地名,公元前490年,希腊在马拉松河谷与波斯皇帝派来的大军展开了激烈的战斗,雅典军队在外无救兵的情况下,团结一心,运用正确的战术技巧,以少胜多,打败了波斯侵略军,取得了辉煌的胜利。当时担任传令兵的菲迪皮得斯奉命将这一胜利消息尽快告诉雅典居民,让受难同胞早些分享这胜利的喜悦。他顾不得路途遥远,一口气从马拉松跑到雅典,到达雅典时他已累得精疲力竭,只说一句“我们胜利了”就倒在广场,闭上了双眼。为了纪念此事,1896年雅典第1届奥运会设立了马拉松跑项目。1837年,美国人莫尔斯研制了世界上第一台有线电报机。电报机利用电磁感应原理(有电流通过,电磁体有磁性,无电流通过,电磁体无磁性),使电磁体上连着的笔发生转动,从而在纸带上画出点、线符号。这些符号的适当组合(称为莫尔斯电码),可以表示全部字母,于是文字就可以经电线传送出去了。1844年5月24日,人类历史上的第一份电报从美国国会大厦传送到了40英里外的巴尔的摩城。1864年英国著名物理学家麦克斯韦发表了一篇题目为《电与磁》的论文,预言了电磁波的存在。1876年3月10日,美国人贝尔用自制的电话同他的助手通了话。1895年俄国人波波夫和意大利人马可尼分别成功地进行了无线电通信实验。1894年电影问世。1925年英国首次播映电视。电话、广播、电视的使用,使人类进入利用电磁波传播信息的时代。

第五次信息技术革命是以计算机的应用与数据处理技术与新一代通信技术的有机结合为开端的,始于20世纪60年代。近几十年来,在计算机技术的支持下,微波通信(包括卫星通信)、移动通信、天空地一体化的接力通信,逐步光纤化的全球网络通信等通信技术得到了飞速的发展。利用分布式等先进技术集多台高速计算机于一体的多维数据融合与信息快速提取技术、大容量的虚拟计算技术和云计算技术也得到了迅速发展,以通信网络为主体的数字化、网络化、可视化和智能化技术更是日新月异地飞速发展。

信息技术向人类提供了各种有用的知识,是现代技术的智慧和灵魂,在新的技术革命中扮演主要的角色。

1.2 信息论、信息量与熵

1.2.1 信息论的基本概念

信息论是关于信息的本质和传输规律的科学理论,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。

信息论作为一门科学始于20世纪40年代。1948年,美国贝尔电话研究所的数学家香农(C.E.Shannon, 1916—2001)为解决通信技术中的信息编码问题,突破常规,把发射信息和接收信息作为一个整体的通信过程来研究,提出了通信系统的一般模型,同时建立了信息量的统计公式。他的研究成果集中发表在《贝尔系统技术》杂志中的“通信的数学理论”一文中,该文成为信息论诞生的标志。在同一时期维纳发表了关于噪声理论,信号滤波和预测、统计、检测与估计理论,调制以及信息处理理论等。这些理论的

特点在于,运用概率测度和数理统计的方法系统地讨论了通信的基本问题,得出了一些重要而带有普通意义的结论,并由此奠定了现代信息论的基础。

信息论源于通信工程,其发展的背景是关于通信系统中的以下有关研究:

- (1) 信息传输的效率;
- (2) 信息传输的准确性;
- (3) 信息传输中的噪声干扰;
- (4) 信道频率特性。

因此,一些人往往认为,信息论与通信(communication)理论是同义语,实际上信息论范畴更广,而通信理论只是信息论中与通信有关的一部分。

对于信息论通常有以下三种理解。

(1) 狭义信息论。主要研究信息的测度、信道容量以及信源和信道编码理论等,这一部分即香农信息基本理论,因此又称为香农信息论。

(2) 一般信息论。也是主要研究通信问题,但包括噪声理论,信号滤波与预测,信号调制与信号处理等。这一部分理论的代表人是维纳和前苏联科学家卡尔莫格洛夫(А.Копмогорц)。

(3) 广义信息论,不仅包括上述内容,而且包括与信息有关的领域,如心理学、遗传学、神经生理学、语言学,甚至包括社会学中有关信息的问题。

现代信息理论在科学技术上的重要性,早已超越了狭义的通信工程的范畴。广义信息论不仅仅研究通信中的信源、信道、干扰噪声、信号调制、滤波等问题,而且广泛地渗透于其他科学技术领域。广义通信系统是泛指所有信息流通的系统,诸如生物有机体的神经系统、人类社会的管理系统、工程物理系统等。

1.2.2 离散信源模型与自信息

众所周知,自然科学通常都应作定量的描述,定性描述只能解释一些现象,即使认为能作直观理解,也是悬而未决的,尚未上升到学术水平。由于要从理论上研究信息,就必须对信息大小作定量描述。信息被定义为事物运动的状态和方式。那么,用什么方法来定量地描述信息呢?香农信息论的贡献就在于运用概率论与数理统计学方法,对信息给予了数学描述,从而使信息论作为一门科学建立起来。

为了给出度量信息的定量方法,首先从讨论信源的特征入手。为此,需要讨论代表性的信源。

1.2.2.1 信源

信源即信息产生的源。信源一般是以符号(或信号)的形式发出信息。信源的内部结构往往是很复杂的,例如,人发出信息,是通过大脑的思维活动,指挥口腔或手以语言或文字的形式表达出来的,这是相当复杂的过程,因此,一般只研究它的输出,即语言或文字等。语言文字是一种表达信息的符号,是物理性的。语言是声信号,而文字是光信号。同一件事情,可用不同语言表达,也就是同一信息可用不同的编码方式转换成符号。

信源的输出是不确定的,因为,如果事先已经知道信源的输出,那么就无信息可言。正如所研究的物理过程,它应是未知的,这时才有研究的价值。信源的输出常用随机变

量或随机矢量来描述,或者说用概率空间来描述信源。从随机变量出发来研究信息量,是香农信息理论的基本假设。从概率论可知,随机变量可取值于某一离散集合,也可取值于某一连续区间,相应的信源称为离散信源及连续信源。

1.2.2.2 离散信源模型

离散信源的数学模型是离散型概率空间,即:

$$[X, P] = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_N \\ P(x_1) & P(x_2) & \cdots & P(x_N) \end{bmatrix} \quad (1-1)$$

该式要满足条件,

$$\sum_{i=1}^N P(x_i) = 1 \quad (1-2)$$

其中, N 为自然数。

集合中的元素 $x_1, x_2, \cdots$ 描述了信源输出的可能状态,其概率 $P(x_1), P(x_2), \cdots$ 描述了各个状态出现的可能性,状态的出现往往是不相容的。如掷硬币这个过程,在未抛下之前,不能确定是正面还是反面,抛下之后,必须是正、反两种状态之一,其信源模型为:

$$[X, P] = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

其中, $P(x_1) = P(x_2) = 0.5$, 表明该系统是 $\sum_{i=1}^2 P(x_i) = 1$ 等概率事件。本例概率为先验概率,

与人们对该事物的认识有关,是根据历史或知识的积累而分析判断的。

1.2.2.3 自信息

一个事件可能存在多种状态,其出现的状态是随机的,不确定的,这种不确定性客观存在。但是,信源输出之后,经过变换、传输、处理而到达信宿,被人们所理解,就消除了事件的不确定性,并获得了信息。我们知道,如果信源中某一状态发生的先验概率很小,那么,一旦出现这种状态,人们获得的信息量就多。反之,如果信源中某一状态发生的先验概率很大,则人们获得的信息量就少。例如,一台机器有正常工作和发生事故两种状态,如果两种状态出现的概率分别为 $P(x_1) = 0.99$ 和 $P(x_2) = 0.01$, 则可认为这台机器一般处于正常工作状态。

由上述可知,事件发生的不确定性与事件发生的概率是有关的。如果事件发生的概率越小,人们猜测它有没有发生的困难程度就越大。而如果事件发生的概率越大,人们猜测这件事件发生的可能性就越大,也就是不确定性越小。对于发生概率等于 1 的必然事件就不存在不确定性。因此,某事件发生所含有的信息量,应该是该事件发生的先验概率的函数,即:

$$I(x_i) = f[P(x_i)] \quad (1-3)$$

其中, $P(x_i)$ 是事件 x_i 发生的先验概率; $I(x_i)$ 表示事件 x_i 发生所含有的信息量。根据客观事实和人们的习惯概念, $I(x_i)$ 应满足以下 4 个基本条件,如图 1-1 所示。

(1) $I(x_i)$ 是先验概率 $P(x_i)$ 的单调递减函数, $P(x_i)$ 越大, $I(x_i)$ 越小; $P(x_i)$ 越小, $I(x_i)$ 越大;

(2) $P(x_i)=1$ 时, $I(x_i)=0$, 即, 必然事件信息量为零。

(3) $P(x_i)=0$ 时, $I(x_i)=\infty$, 不可能发生的事件发生了, 其信息量为无穷大。

(4) 两个独立事件的联合信息量, 应等于它们各自信息量之和, 即, $I(x,y)=I(x)+I(y)$ 。

根据泛函分析理论, 满足条件(1)、条件(2)、条件(3)时, 应取信息量为先验概率 $P(x_i)$ 的倒数; 满足条件(4)时的方法是用对数来定义信息量。因此, 根据上述条件, 这种函数形式应是对数形式, 即:

$$I(x_i) = \log_{10} \frac{1}{P(x_i)} = -\log_{10} P(x_i) \quad (1-4)$$

$I(x_i)$ 的含义为事件 x_i 发生时, 该事件所含有的信息量。因为它描述的是事件 x_i 发生时的信息量, 故又称为自信息。

自信息采用的测度单位取决于所取对数之底。

以 2 为底, $I(x_i)$ 单位为比特 (bit 是 binary unit 的缩写);

以 e 为底, $I(x_i)$ 单位为奈特 (nat 是 nature unit 的缩写);

以 10 为底, $I(x_i)$ 单位为哈特 (Hart 是 hartley 的缩写)。

根据对数换底关系有:

$$\log_a^x = \frac{\log_b^x}{\log_b^a} \quad (1-5)$$

可得: 1 奈特=1.44 比特, 1 哈特=3.32 比特。

一般都采用以 2 为底的对数, 因为当 $P(x_i)=1/2$ 时, $I(x_i)=1$ 比特, 所以, 1 比特信息量就是两个互不相容的等可能事件之一发生时, 所提供的信息量。

例如, 英文字母出现的概率如下表 1-1 所示, 根据表中英文字母出现的概率, 得到字母 e 和 q 的信息量。

$$I(e) = -\log_2 P(e) = -\log_2 0.0105 = 3.24(\text{bit})$$

$$I(q) = -\log_2 P(q) = -\log_2 0.001 = 9.97(\text{bit})$$

表 1-1 英文字母出现的概率

符号	概率	符号	概率	符号	概率
空格	0.2	s	0.052	y, w	0.012
e	0.105	h	0.047	g	0.011
t	0.072	d	0.035	b	0.010 5
o	0.065	i	0.029	v	0.008
a	0.063	c	0.023	k	0.003
n	0.059	f, u	0.022 5	x	0.002
l	0.055	m	0.021	J, q, z	0.001
r	0.054	p	0.017 5		