



北京理工大学“双一流”建设精品出版工程

Intelligent Computing and  
Information Processing

# 智能计算与信息处理

邓方 陈文颀 编著

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 智能计算与信息处理

邓 方 陈文颀 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书立足于实际工程应用需求,较为全面、系统地介绍了智能计算与信息处理的基本概念、发展现状、主要方法和基本应用。全书共分6章,以作者多年来在智能计算与信息处理领域的教学工作、科研成果为基础,全面讨论了知识与信息的表示、人工神经网络、不确定信息处理、群智能算法、云计算和大数据等内容。

本书可作为高等院校相关专业的教学用书和学习参考读物,也可供相关领域的科研工作者和工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

智能计算与信息处理 / 邓方, 陈文颀编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2020.6  
ISBN 978-7-5682-6955-1

I. ①智… II. ①邓… ②陈… III. ①智能计算机-信息处理-高等学校-教材  
IV. ①TP387

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第075110号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 10

字 数 / 229千字

版 次 / 2020年6月第1版 2020年6月第1次印刷

定 价 / 46.00元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

信息科学目前正处在人工智能发展的第三次高潮期，已经全面进入了信息时代。信息爆炸已经成为信息时代的显著特征之一。为了应付这种局面，信息的智能计算与处理应运而生。简单来说，智能计算与信息处理就是用计算机实现模拟人的行为来完成信息的处理过程。它与人类进行信息处理相比，速度更快，持续处理能力更强，更具逻辑性和严谨性，同时，与人类智能的差距正在不断缩小。

本书的编著目的是为硕士、博士研究生和高年级的本科生提供一本可以指导智能计算与信息处理的工具书。它涵括了一大批智能计算与信息处理工具的基础知识，其中包括神经网络、支持向量机、不确定信息处理、群智能算法、云计算、大数据和深度学习等。这些计算工具近年来开始广为流行，非常适合相关领域研究人员学习和使用。本书采用案例式的编写模式，结合作者科研工作实际，对大量实际项目中的智能计算与信息处理案例进行了介绍。本书附录中包括了近年来的项目成果和重要章节的典型程序的源代码。

全书共分6章，第1章是概述，第2章阐述了知识与信息的表示，包括知识的获取、表示和运用，文本、图像和声音的信息表示；第3章介绍了人工神经网络信息处理，包括感知机模型、BP神经网络模型、受限玻耳兹曼机、循环神经网络、生成对抗网络及创建的开源项目；第4章介绍了不确定信息处理，包括模糊信息处理、可拓信息处理和粗糙集信息处理，以及这些方法在工程上的应用；第5章介绍了群智能算法，包括蚁群算法、粒子群优化算法和差分进化算法及其改进算法，以及典型实例仿真验证；第6章介绍了云计算和大数据，包括云计算的来源、概念，云计算的类型划分，云计算在企业IT环境中的优势，云计算与网络的联系，Docker、MapReduce和Storm的大数据处理技术等。

本书是作者及其研究小组多年来从事智能计算与信息处理的研究成果的结晶，作者十分感谢研究组的李佳洪、崔静、关胜盘、周睿、徐建萍、王翔、马丽秋、张乐乐、岳祥虎、赵佳晨、高欣、高峰、叶子蔓、米承玮、丁宁、刘道明等同学，本书在编著工作中的一些资料的收集与代码的整理、调试与实现是在他们的参与和协助下完成的。

由于作者水平的限制，书中难免存在一些问题和不足，欢迎广大读者批评指正。

作 者

2019年1月于北京理工大学

# 目 录

## CONTENTS

---

---

---

<b>第 1 章 智能计算与信息处理概述</b> .....	001
1.1 智能计算与信息处理.....	001
1.2 产生和发展.....	002
1.3 主要研究内容.....	002
1.3.1 人工神经网络信息处理.....	002
1.3.2 模糊信息处理.....	003
1.3.3 可拓信息处理.....	004
1.3.4 粗糙集信息处理.....	005
1.3.5 群智能信息处理.....	006
1.3.6 云信息处理.....	007
参考文献.....	008
<b>第 2 章 知识与信息的表示</b> .....	009
2.1 基本概念.....	009
2.1.1 知识、信息和数据.....	009
2.1.2 知识的特点.....	010
2.1.3 知识的表示.....	010
2.2 信息的表示.....	011
2.2.1 文本的表示.....	011
2.2.2 图像的表达.....	011
2.2.3 声音的表示.....	011
2.3 知识的表示方法.....	012
2.3.1 一阶谓词逻辑表示法.....	012
2.3.2 产生式表示法.....	015
2.3.3 框架表示法.....	016
2.3.4 语义网络表示法.....	018
2.3.5 脚本表示法.....	020
2.3.6 面向对象表示法.....	021
2.3.7 状态空间表示法.....	022
2.3.8 与/或树表示.....	023
2.3.9 过程表示法.....	024

2.4 知识的语言实现	025
参考文献	025
<b>第3章 神经网络信息处理</b>	<b>026</b>
3.1 概述与基本概念	026
3.1.1 人工神经元模型	027
3.1.2 神经网络模型	029
3.2 感知机模型	030
3.3 BP神经网络模型	034
3.4 受限玻耳兹曼机	036
3.5 循环神经网络	040
3.6 生成对抗网络	043
3.6.1 简介	043
3.6.2 GAN的改进	045
3.6.3 生成对抗网络在Mnist数据集上的应用	046
参考文献	046
<b>第4章 不确定信息处理</b>	<b>048</b>
4.1 模糊信息处理	048
4.1.1 概述与基本原理	048
4.1.2 模糊推理	053
4.1.3 主要应用	056
4.2 可拓信息处理	057
4.2.1 简介	057
4.2.2 可拓理论	058
4.2.3 主要应用	064
4.3 粗糙集信息处理	066
4.3.1 粗糙集理论的发展概述	066
4.3.2 粗糙集理论的基本原理	068
4.3.3 计算实例	087
4.3.4 粗糙集的研究现状与展望	088
参考文献	090
<b>第5章 群智能算法</b>	<b>092</b>
5.1 蚁群算法	092
5.1.1 基本原理	092
5.1.2 系统模型	094
5.1.3 算法流程	096
5.2 蚁群算法典型实例	098
5.3 改进的蚁群算法	101
5.3.1 带精英策略的蚂蚁系统	101
5.3.2 最大-最小蚂蚁系统	102

5.3.3 基于排序的蚂蚁系统	102
5.4 粒子群优化算法	103
5.4.1 算法原理	103
5.4.2 算法流程	103
5.4.3 模型分析	104
5.4.4 收敛性分析	105
5.4.5 种群拓扑结构	105
5.5 标准粒子群优化算法	105
5.5.1 带惯性权重 $w$ 的粒子群优化算法	105
5.5.2 带压缩因子 $\chi$ 的粒子群优化算法	106
5.6 改进粒子群优化算法	106
5.7 粒子群优化算法的应用实例	106
5.8 差分进化算法概述	113
5.9 改进型差分进化算法	114
5.9.1 基于水平集自适应的差分进化算法	114
5.9.2 基于锦标赛选择的差分进化算法	115
5.9.3 PSO 与 EC 的异同	115
参考文献	116
<b>第 6 章 云计算和大数据</b>	<b>118</b>
6.1 云计算	118
6.1.1 云计算的身世	118
6.1.2 云计算的概念及特征	120
6.1.3 云计算的分类	122
6.1.4 云计算的优势	123
6.2 云与网的关系	124
6.2.1 以数据中心为界, 云计算网络的外延与内涵	124
6.2.2 外延——关注用户体验	125
6.2.3 内涵——关注系统效率	125
6.2.4 物联网与云计算的融合	126
6.3 大数据处理	126
6.3.1 大数据的产生	126
6.3.2 Docker 实现虚拟计算/存储资源	128
6.3.3 MapReduce 实现离线数据处理	129
6.3.4 Storm 实现在线数据处理	130
参考文献	131
附录	133

# 第 1 章

## 智能计算与信息处理概述

### 1.1 智能计算与信息处理

智能计算与信息处理是模拟人或者自然界其他生物处理信息的行为，建立处理复杂系统信息的理论、算法和系统性的方法技术，是用计算机实现模拟人的行为来完成智能信息的过程。它与人工进行信息处理相比，不怕苦、不怕累、速度快，并且会越来越智能。

智能计算与信息处理主要包括信息处理与智能化两部分。信息处理是对信息进行转换、传输、存储、分析等的科学。广义的概念包括人的信息处理，在这里主要是指计算机信息处理。其中，信息与数据的区别在于，数据是指未经加工的，未经分析的事实，而信息是经过分析和处理的数据。智能计算与信息处理的具体过程如图 1.1 所示。

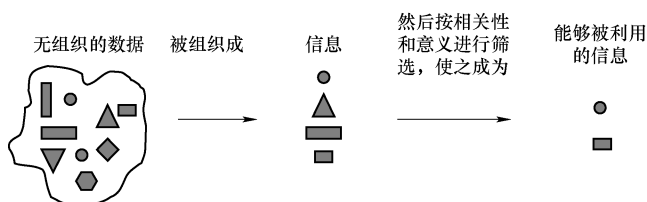


图 1.1 智能计算与信息处理示意图

智能化是现代科学技术发展的重要趋势。什么是智能？古人认为是智谋与才能。在历代著作中，多次出现“智能”一词。《管子·君臣上》写道：“是故有道之君，正其德以莅民，而不言智能聪明。”《汉书·高帝纪下》写道：“今天下贤者智能岂特古之人乎？”宋代司马光《人墓志铭》写道：“呜呼！妇人柔顺足以睦其族，智能足以齐其家，斯已贤矣。”另一种解释为智能是知识与智力的总和。其中知识是一切智能行为的基础，而智力是获取知识并运用知识求解问题的能力，是头脑中思维活动的具体体现。《新华词典》中提供给大众的解释是智慧和能力。可见，书中对智能并没有一个固定的定义。

英国的阿兰·图林（Alan Turing）分别于 1947 年和 1950 年发表了《智能机器》《计算机与智能》两文，提出了检验智能的一个标准：将问答双方互相隔开，问的一方为人，答的一方可以完全是计算机程序，也可以是人；如果提出的问题实际是由计算机程序来回答的，而在一定的范围内提问者又不能区分回答者是人还是机器，则可称这一机器是具有智能的<sup>[1]</sup>。

智能信息处理的核心是智能。智能可分为三个层面：第一层是生物智能，由人脑的物理化学过程体现出来，其物质基础是有机物；第二层是人工智能，是非生物人为实现的，通常

采用符号表示,人工智能的基础是人类的知识和得到的数据;第三层是智能计算,是由计算机软件 and 现代数学计算方法实现的,其基础是数值方法得到的数据。智能计算与信息处理是这三个层面的融合。

生活中智能信息处理的例子有很多,如自动跟踪监测系统智能仪器、仪表自动控制与导航系统、自动诊断系统、机器人、网络机器人(飞信、10086、清华图书馆的小图)等。

## 1.2 产生和发展

智能信息处理起源于20世纪30—40年代,数字计算机应用后,以人工智能符号运算推理为基础的智能信息处理出现,在智能仪器、自动跟踪、自动控制与导航、自动诊断等领域得到了一定的应用。

传统意义上的智能信息处理是模仿与人的思维有关的功能,通过逻辑符号处理系统的推理规则来实现自动诊断、问题求解及专家系统智能。其是对人类逻辑思维方式的模仿,并采用串行的工作程序按照一定的规则逐步进行计算、处理和控制等操作。

后来随着信息技术的发展,传统的基于人工智能的信息处理系统已经不能适应信息量迅速增大的需求,在实时性、可靠性和智能性方面不能满足要求。于是产生了计算智能的智能信息处理方法,如人工神经网络、进化计算、模糊逻辑等计算智能方法,还有小波分析、数据融合、粗集、可拓信息处理等信息处理方法。

现在大数据时代已经到来,以后将向更加智能化的方向发展,并且结合人与机器的特点,发展速度会更快,同时,会不断发展出新的智能信息处理方法。

## 1.3 主要研究内容

### 1.3.1 神经网络信息处理

许多现代科学理论的创导者对脑的功能和神经网络都有着强烈的兴趣,并从中得到了不少启示,创导或发展了许多新理论。冯·诺依曼曾谈到计算机与大脑在结构和功能上的异同,对它们从元件特性到系统结构进行了详尽比较。McCulloch 和 Pitts 提出的形式神经元模型导致了有限自动机理论的发展,其是最终促成第一台冯·诺依曼电子计算机诞生的重要因素之一。

人工神经网络是模仿和延伸人脑认识功能的一种现代智能信息处理方法。它是一种大规模并行的自学习、自组织和自适应的非线性动力学系统。通过构造具有类似人脑智能的智能信息处理系统,可以解决传统方法所不能或不易解决的信息处理问题,可以实现不完整、不准确信息的处理<sup>[2]</sup>。

神经网络信息处理具有以下特点:分布式存储;以大规模模拟并行处理为主;具有较强的鲁棒性和容错性;具有较强的自学习能力;是一个大规模自适应非线性动力学系统;具有集体运算的能力。

神经网络的主要应用有:

- ① 预测,如股票预测、价格预测、企业破产预测、天气预报等;

- ② 分类与鉴定, 如产品分级、废品鉴定、细菌鉴定等;
- ③ 优化, 如生物实验结果优化、运动员训练优化等;
- ④ 识别辨识, 如文字识别、语音识别、系统辨识、辅助翻译等;
- ⑤ 分析方面, 如疾病诊断、故障诊断与分析、石油探测、经济市场分析等。

人工神经网络, 该类算法的发展经历了3次高潮和2次衰落。第一次高潮是20世纪60年代广为人知的控制论。当时的控制论是受神经科学启发的一类简单的线性模型。然而该线性模型使其应用领域极为受限, 最为著名的是它不能处理异或问题。人工智能之父 Marvin Minsky 曾撰文批判神经网络存在的两点关键问题: 首先, 单层神经网络无法处理“异或”问题; 其次, 当时的计算机缺乏足够的计算能力, 无法满足大型神经网络长时间的运行需求。对神经网络的批判使对其的研究在60年代末进入“寒冬”, 人工智能产生了很多不同的研究方向, 可唯独神经网络好像逐渐被人淡忘。

直到80年代, David Rumelbar 和 Geoffery E. Hinton 等提出了反向传播 (Back Propagation) 算法, 解决了两层神经网络所需要的复杂计算量问题, 同时克服了神经网络无法解决异或的问题。自此, 神经网络“重获生机”, 迎来了第二次高潮, 即20世纪80—90年代的连接主义。不过, 好景不长, 受限于当时数据获取的“瓶颈”, 神经网络只能在中小规模数据上训练, 因此, 过拟合极大地困扰着神经网络型算法。同时, 神经网络算法的不可解释性令它俨然成为一个“黑盒”, 设计模型依赖经验和运气。有人无奈地讽刺说, 它根本不是“科学”, 而是一种“艺术”。另外, 由于当时硬件性能不足而带来的巨大计算代价使人们对神经网络望而却步; 相反, 如支持向量机等数学优美且可解释性强的机器学习算法逐渐变成历史舞台上的“主角”。短短10年, 神经网络再次跌入“谷底”。

尽管当时许多人抛弃神经网络转行做了其他方向, 但如 Geoffery E. Hinton、Yoshua Bengio 和 Yann LeCun 等仍“笔耕不辍”, 在神经网络领域默默耕耘。之后的近30年, 随着软件算法和硬件性能的不断优化, 直到2006年, Geoffery E. Hinton 等在 Science 上发表文章提出: 一种称为“深度置信网络”(Deep Belief Network) 的神经网络模型可通过逐层预训练的方式有效完成模型训练过程。很快, 更多的实验结果证实了这一发现。更重要的是, 除了证明神经网络训练的可行性外, 实验结果还表明神经网络模型的预测能力相比其他传统机器学习算法更高, 可谓鹤立鸡群。Hinton 发表在 Science 上的这篇文章无疑为神经网络类算法带来了一片曙光。接着, 被冠以“深度学习”名称的神经网络终于可以大展拳脚, 首先于2011年在语音识别领域大放异彩, 其后便是在2012年计算机视觉“圣杯”ImageNet 竞赛上强势夺冠。这就是第三次高潮, 也就是大家都比较熟悉的深度学习 (Deep Learning) 时代<sup>[3]</sup>。其实, 深度学习中的“deep”一部分是为了强调目前人们已经可以训练和掌握相比之前神经网络层数多得多的网络模型。正因为有效数据的急剧扩增、高性能计算硬件的实现及训练方法的大幅完善, 三者作用最终促成了神经网络的第三次“复兴”。

### 1.3.2 模糊信息处理

模糊性的概念在日常生活中早已运用自如, 但在科学分析中, 该理论却还未完善。下面的例子可以说明模糊和精确的区别: “他是学生吗?” 答案是确定的, 要么是, 要么不是; “他是成年人吗?” 答案不定, 也许是, 也许不是, 也许介于两者之间。

模糊信息处理模仿人脑的不确定性概念判断、推理思维方式, 应用模糊集合和模糊规则

进行推理，实行模糊综合判断，推理解决常规方法难以解决的规则型模糊信息问题。

Zadeh 教授提出的模糊理论就是能够处理信息不确定性的智能信息处理方法。模糊理论借助于隶属度函数的概念，区分模糊集合，处理模糊关系，模拟人脑实施规则型推理<sup>[4]</sup>。

虽然模糊理论仍有许多不完善的地方，如模糊规则的获取和确定、隶属度函数的选择及稳定性的问题，但并没有与数学的精确性和有效的数学模型相悖而行。

模糊信息处理的应用非常广泛。模糊信息处理理论是一个非常基础的理论，其既能应用于图像和语音的智能处理、家电等机电设备的智能控制及机器学习等人工智能前沿应用领域的研究，也能应用于概率论等基础理论的研究。

### 1.3.3 可拓信息处理

可拓学选题于 1976 年。1983 年，蔡文在《科学探索学报》发表了可拓学的开创性文章《可拓集合和不相容问题》，标志着这门新学科的诞生。其是用形式化语言描述物、事与关系，研究化解矛盾问题的形式化方法，把哲学上用自然语言表示的规律与逻辑，转化为用计算机可操作、可处理的方法体系<sup>[5]</sup>。

现实世界存在很多矛盾问题，如用一台最多称 200 kg 的秤，称数吨重的大象；公安部门凭借少量的信息，却要侦破复杂的案件；发明者根据少量的功能要求，却要构思复杂的新产品；靠左行驶的公路系统和靠右行驶的公路系统要连接成一个大系统等。

这些问题在人们的生活和工作中无处不在。人类社会就是在处理各种各样的矛盾问题中发展起来的。那么，解决它们有无规律可循？有无方法可依？可拓论的研究对象就是客观世界中这类矛盾问题，包括主观与客观矛盾问题、主观与主观矛盾问题、客观与客观矛盾问题。

对于矛盾问题，仅靠数量关系的处理是无法解决的，曹冲称象的关键在于把大象换成石头这一事物的变换。把高于门的柜子搬进房间，采取了把柜子“放倒”的方法，这里的关键是把柜子与门高度的矛盾转化为柜子的长度与门高度的相容关系。由此可见，不能仅停留在对数量关系的研究上，而必须研究事物、特征和量值，必须研究这三者的关系及其变化，才能得到解决矛盾问题的方案。

为此，可拓论建立了物元的概念，把事物、特征和量值综合考虑，作为可拓论的逻辑细胞。可拓性是可拓论的重要概念，是解决矛盾问题的依据。为了解决矛盾问题，必须对事物进行拓展，事物拓展的可能性称为事物的可拓性，实现了的拓展称为开拓。事物的可拓性用物元的可拓性来描述；为了解决矛盾问题，必须研究事物从不具有某种性质向具有某种性质的转化，可拓理论建立了可拓集合的概念，以便定量地描述这种转化，其可拓域就是不具有某种性质的事物，在一定变换下能转化为具有该性质的事物的全体<sup>[5]</sup>。

可拓工程研究的基本思想是利用物元理论、事元理论和可拓集合理论，结合各应用领域的理论和方法去处理该领域中的矛盾问题，化不可行为可行，化不可知为可知，化不属于为属于，化对立为共存<sup>[5]</sup>。

在政治、经济和军事等领域中，会碰到各种各样的对立问题和对立系统，“各行其道，各得其所”的转换桥方法是处理对立问题的巧妙方法，例如，“香港的汽车靠左行驶，内地的汽车靠右行驶，如果简单地把这两个对立运行规则的交通系统连接成一个系统，必然撞车。因此，在深圳的皇岗建了这样一座桥：香港靠左行驶的汽车经过它，自动变成靠右行驶进入

大陆；大陆靠右行驶的汽车驶过它，自动变成靠左行驶进入香港。”可拓学用这座桥来描述解决对立问题的关键部分，并称之为转换桥。转换桥方法在解决问题的过程中，具有十分特殊的作用，要实现对立的目标或使对立的系统转换为相容的系统，必须设置转换桥，利用转换桥这一工具可以解决很多对立的问题<sup>[5]</sup>。

### 1.3.4 粗糙集信息处理

在很多实际系统中，均不同程度地存在着不确定性因素，采集到的数据常常包含着噪声，不精确甚至不完整。粗糙集理论是继概率论、模糊集、证据理论之后的又一个处理不确定性的数学工具。作为一种较新的软计算方法，近年来粗糙集越来越受到重视，其有效性已在许多科学与工程领域的成功应用中得到证实，是当前国际上人工智能理论及其应用领域中的研究热点之一<sup>[6]</sup>。

在自然科学、社会科学和工程技术的很多领域中，都不同程度地涉及对不确定因素和对不完备（imperfect）信息的处理。采用纯数学上的假设来消除或回避这种不确定性，效果往往不理想；反之，如果正视它，对这些信息进行合适处理，常常有助于相关实际系统问题的解决。

多年来，研究人员一直在努力寻找科学地处理不完整性和不确定性的有效途径。模糊集和基于概率方法的证据理论是处理不确定信息的两种方法，已应用于一些实际领域。但这些方法有时需要一些数据的附加信息或先验知识，如模糊隶属函数、基本概率指派函数和有关统计概率分布等，而这些信息有时并不容易得到。

1982年，波兰学者 Z. Pawlak 提出了粗糙集（Rough Sets, RS）理论。粗糙集是一种刻画不完整性和不确定性的数学工具，能有效地分析不精确、不一致（inconsistent）、不完整（incomplete）等各种不完备的信息，还可以对数据进行分析 and 推理，从中发现隐含的知识，揭示潜在的规律。粗糙集理论是建立在分类机制的基础上的，它将分类理解为在特定空间上的等价关系，而等价关系构成了对该空间的划分。粗糙集理论将知识理解为对数据的划分，每一个被划分的集合称为概念<sup>[7]</sup>。

粗糙集理论的主要思想是利用已知的知识库，将不精确或不确定的知识用已知的知识库中的知识来（近似）刻画。该理论与其他处理不确定和不精确问题理论的最显著区别是它无须提供问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息，所以对问题的不确定性描述或处理可以说是比较客观的。由于这个理论未能包含处理不精确或不确定原始数据的机制，所以这个理论与概率论、模糊数学和证据理论等其他处理不确定或不精确问题的理论有很强的互补性<sup>[3]</sup>。

智能信息处理主要用于解决因信息量不全而导致的系统病态问题、用数学模型难以描述的非线性和不确定性问题，以及计算复杂性和实时性问题。粗糙集理论模仿人的认知特性，将信息处理转变成一种逐层次逼近的知识获取行为，以其数据处理的有效性和实用性，而成为智能信息处理技术的新理论和新方法，并在众多领域取得了成功的应用。如美国堪萨斯大学 J. W. Grzumala-Busse 等在 20 世纪 80 年代末开发的 LERS 系统、日本东京医学与牙科大学设计的能从临床数据库中自动提取医疗专家系统规则的 PRIMEROSE-REX 系统、波兰波兹南工业大学开发的 RoughDAS 和 RoughClass 系统。

### 1.3.5 群智能信息处理

“进化计算 (Evolutionary Computation, EC)”这一术语是在 20 世纪 90 年代初被提出的。它是模拟生物进化过程中“优胜劣汰”的自然选择机制和遗传信息传递规律的算法总称, 主要用来解决实际中的复杂优化问题。

目前, 进化计算主要由遗传算法 (Genetic Algorithms, GA)、遗传编程 (Genetic Programming, GP)、进化策略 (Evolution Strategies, ES) 和进化编程 (Evolutionary Programming, EP) 等分支组成, 其他的算法, 诸如 DNA 计算和分子计算 (Molecular Computing), 也开始应用在实际问题中, 但还没有形成一个体系, 比较零散。进化计算学科的出现, 促进了它的不同分支之间的交流, 可以取长补短<sup>[8]</sup>。上述四个主要分支是由不同的学者独立提出的, 在 1992 年之前, 基本上是独立发展, 没有交流。各个分支都有自己的优缺点, 研究它们的优越性, 并融合成新的进化算法, 可以促进进化计算更广泛的应用。

目前, 进化计算已经在人工智能、知识发现、模式识别、图像处理、决策分析、产品工艺设计、生产调度、股市分析等仍然不断增加的领域中发挥出了显著的作用。

#### 1. 遗传算法

进化的历史告诉我们, 生物的进化是一个漫长而复杂的过程, 在这个过程中, 生物从低级、简单的状态向高级、复杂的状态演变。现在, 人们已经认识到进化不仅是生命科学的范畴, 还是一个优化的过程, 可以在计算机上模拟, 并应用到工程领域中。

早在 20 世纪 60 年代初, 美国密歇根大学的 J. H. Holland 教授就意识到了生物进化过程中蕴含着朴素的优化思想, 他借鉴了达尔文的生物进化论和孟德尔的遗传定律的基本思想, 并将其进行提取、简化与抽象, 提出了第一个进化计算算法——遗传算法。1975 年出版了他的专著 *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, 标志着遗传算法的正式诞生。在这本专著中, 他称其为 “Genetic Plans”, 详细阐述了遗传算法的基本思想和结构框架。

“Genetic Algorithms”一词首先出现在 J. D. Bagley 的博士论文中, 他研究了遗传算法在博弈论 (六子棋) 中的参数搜索, 这是遗传算法最早的应用。

#### 2. 免疫算法

生物免疫系统 (Biology Immune System, BIS) 是一个分布式、自组织和具有动态平衡能力的自适应复杂系统。它对外界入侵的抗原 (Antigen, Ag), 可由分布全身的不同种类的淋巴细胞产生相应的抗体 (Antibody, Ab), 其目标是尽可能保证整个生物系统的基本生理功能得到正常运转。

人工免疫系统 (Artificial Immune System, AIS) 就是研究、借鉴、利用生物免疫系统的原理、机制而发展起来的各种信息处理技术、计算技术及其在工程和科学中的应用而产生的多种智能系统的统称。从生物信息处理的角度看, 它可归为信息科学范畴, 与人工神经网络、进化计算等智能理论和方法并列。

免疫算法是基于免疫系统的学习算法, 是人工免疫系统研究的主要内容之一。它具有良好的系统应答性和自主性, 对干扰具有较强的维持系统自平衡的能力。此外, 免疫算法还模拟了免疫系统独有的学习、记忆、识别等功能, 具有较强模式分类能力, 尤其对多模态问题的分析、处理和求解, 表现出较高的智能性和鲁棒性。

遗传算法是一种 “生成 + 检测” 的迭代过程搜索算法, 有进化的可能, 也有退化的可能,

在某些时候,这种退化是明显甚至有害的。同时,在用遗传算法求解问题时,可变的灵活程度较小,在求解问题时的启发作用较小。

人们将免疫概念及其理论应用于遗传算法,在保留原算法优良特性的前提下,有选择、有目的地利用待求问题中的一些特征信息或知识来抑制其优化过程中出现的退化现象。

### 3. 蚁群算法

蚁群算法(Ant Colony Optimization, ACO)由Colormi、Dorigo和Maniezzo在1991年提出,它是通过模拟自然界蚂蚁社会的寻找食物的方式而得出的一种仿生优化算法。自然界中,蚁群寻找食物时,会派出一些蚂蚁分别在四周游荡,如果一只蚂蚁找到食物,它就返回巢中通知同伴并沿途留下“信息素”(pheromone)作为蚁群前往食物所在地的标记。信息素会逐渐挥发,如果两只蚂蚁同时找到同一食物,又采取不同路线回到巢中,那么比较绕弯的一条路上信息素的气味会比较淡,蚁群将倾向于沿另一条更近的路线前往食物所在地。

ACO算法设计虚拟的“蚂蚁”,让它们摸索不同路线,并留下会随时间逐渐消失的虚拟“信息素”。根据“信息素较浓的路线更近”的原则,即可选择出最佳路线。

目前,ACO算法已被广泛应用于组合优化问题中,在图着色问题、车间流问题、车辆调度问题、机器人路径规划问题、路由算法设计等领域均取得了良好的效果;也有研究者尝试将ACO算法应用于连续问题的优化中。由于ACO算法具有广泛实用价值,成为群智能领域第一个取得成功的实例,曾一度成为群智能的代名词,相应理论研究及改进算法近年来层出不穷。

### 4. 粒子群算法

1995年,Eberhart博士和Kennedy博士提出了一种新的算法——粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法。这种算法以其实现容易、精度高、收敛快等优点引起了学术界的重视,并且在解决实际问题中展示了其优越性。

粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法是近年来发展起来的一种新的进化算法(Evolutionary Algorithm, EA)。PSO算法属于进化算法的一种。和遗传算法相似,它也是从随机解出发,通过迭代寻找最优解。它也是通过适应度来评价解的品质。但是它比遗传算法规则更为简单,它没有遗传算法的“交叉”(Crossover)和“变异”(Mutation)操作。它通过追随当前搜索到的最优值来寻找全局最优。

源于对鸟群捕食的行为研究。PSO模拟鸟群的捕食行为。设想这样一个场景:一群鸟在随机搜索食物。在这个区域里只有一块食物。所有的鸟都不知道食物在哪里。但是它们知道当前的位置离食物还有多远。那么找到食物的最优策略是什么呢?最简单有效的方法就是搜寻目前离食物最近的鸟的周围区域。

PSO从这种模型中得到启示并用于解决优化问题。PSO中,每个优化问题的解都是搜索空间中的一只鸟。我们称之为“粒子”。所有的粒子都有一个由被优化的函数决定的适应值(fitness value),每个粒子还有一个速度决定它们飞翔的方向和距离,然后粒子们就追随当前的最优粒子在解空间中进行搜索。

## 1.3.6 云信息处理

云计算(Cloud Computing)是分布式计算技术的一种,其最基本的概念,是通过网络将庞大的计算处理程序自动分拆成无数个较小的子程序,再交由多部服务器所组成的庞大系

统,经搜寻、计算分析之后,将处理结果回传给用户。通过这项技术,网络服务提供者可以在数秒之内,处理数以千万计甚至亿计的信息,实现和“超级计算机”同样强大效能的网络服务<sup>[9]</sup>。

最简单的云计算技术在网络服务中已经随处可见,例如搜寻引擎、网络信箱等,使用者只要输入简单指令即能得到大量信息。未来,如手机、GPS 等行动装置都可以通过云计算技术发展出更多的应用服务。未来,进一步的云计算不仅只做资料搜寻、分析工作,如分析 DNA 结构、基因图谱定序、解析癌症细胞等,都可以通过这项技术轻易达成。稍早之前的大规模分布式计算技术即为“云计算”的概念起源,可以抛弃 U 盘等移动设备,只需要进入 Google Docs 页面,新建文档,编辑内容,然后将文档的 URL 分享给你的朋友或者上司,他可以直接打开浏览器访问 URL,再也不用担心因 PC 硬盘的损坏而发生资料丢失事件。

## 参 考 文 献

- [1] Turing A M. Computing Machinery and Intelligence[J]. *Computation & Intelligence*, 1995 (Mind 49): 433-460.
- [2] Haykin S O. *Neural Networks and Learning Machines*[M]. London: Pearson Higher Ed, 2011.
- [3] Heaton Jeff, Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. Deep learning[J]. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 2017:s10710-017-9314-z.
- [4] Zadeh L A. A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts[J]. *Systems Theory in the Social Sciences*, 1976: 202-282.
- [5] 蔡文. 可拓论及其应用[J]. *科学通报*, 1999, 44 (7): 673-682.
- [6] 贾晶. 信息系统的安全与保密[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [7] Pawlak Zdzisław. Rough sets[J]. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 1982, 11(5): 341-356.
- [8] Pal S K, Bandyopadhyay S, Ray S S. Evolutionary computation in bioinformatics: a review[J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C*, 2006, 36(5): 601-615.
- [9] Armbrust M, Fox A, Griffith R, et al. A view of cloud computing[J]. *International Journal of Computers & Technology*, 2013, 4(2b1): 50-58.

# 第 2 章

## 知识与信息的表示

智能计算与信息处理就是让机器模拟人或者自然界其他生物处理信息的行为。特别要研究用机器来模仿和执行人类的一些智力功能，而人类的智力功能又以知识为基础，所以，如何从现实世界中获取知识？——知识的获取；如何将已获取的知识以适当的形式在机器中存储？——知识的表示；如何利用这些知识进行推理，以解决实际问题？——知识的运用。这些构成研究的 3 个基础内容。本章将对知识及一些常用的知识表示方法进行介绍。

### 2.1 基本概念

#### 2.1.1 知识、信息和数据

知识就是人们对客观事物（包括自然的和人造的）及其规律的认识，还包括人们利用客观规律解决实际问题的方法和策略等。对客观事物及其规律的认识，包括对事物的本质、现象、关系、状态、联系、属性和运动等的认识，即对客观事物原理的认识。利用客观规律解决实际问题的方法和策略，包括诸如战略、战术、策略、计谋等宏观性方法，也包括解决问题的步骤、规则、操作、过程、技巧、技术等具体的微观性方法；或者说，把有关信息关联在一起所形成的信息结构称为知识。应用最多的关联形式是“if-then”的形式，它反映了信息间的某种因果关系。例如，if 计算机能听懂人类语言，then 可直接与计算机对话；if 大雁朝南飞，then 冬天就要来临了。

知识本身有多种含义，它和数据、信息、事实等有着很紧密的联系，有时甚至可以互相替换。在很多情况下，知识可以用数据进行表示，也可以指导数据转化为信息。知识具有一种金字塔式的层次结构，如图 2.1 所示<sup>[1]</sup>。噪声处在知识金字塔的最底层，通过知识可以从底层的噪声中提取有用的数据，可以把数据转化为信息，也可以把信息转化为所需要的知识。

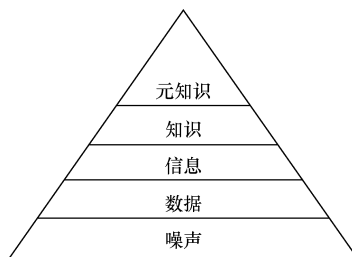


图 2.1 知识的金字塔结构

知识的模式可以表示为  $K = F + R + C$ 。其中， $K$  表示知识项 (Knowledge Items)； $F$  表示事实 (Facts)，是人类对客观事物、客观世界的状态、特征、属性的描述，以及对事物之间关系的描述； $R$  表示规则 (Rules)，是能表达在前提与结论之间的因果关系的一种形式； $C$  表示概念 (Concepts)，是事实的含义、规则、语