

/// 粒计算研究丛书 ///

# 多粒度知识获取 与不确定性度量

张清华 王国胤 胡 军 著



科学出版社

# 多粒度知识获取与不确定性度量

粒计算是人工智能领域中的一种新理念和新方法,它覆盖了所有有关粒度的理论、方法和技术,是研究复杂问题求解、海量数据挖掘和模糊信息处理等问题的有力工具。从粒计算的观点看,在认知过程中,人们对问题的分析与求解都具有粒度性,既与认知主体的主观局限有关,也与观测工具等很多客观因素有关。粒计算理论模型中的粒的合成与分解以及问题求解等都具有不确定性,直接影响问题求解的精度与效率。本书内容主要涉及粒计算研究概述、粒计算基本理论、多粒度知识空间模型、粒计算的不确定性度量、多粒度知识获取的模型和方法、覆盖粒计算模型的知识获取方法、粗糙集的近似集和多粒度计算研究的展望等。

本书可供计算机、自动化等相关专业的研究人员、教师、研究生、高年级本科生和工程技术人员参考。

科学出版社·信息技术分社  
联系电话: 010-64000430  
E-mail: it@mail.sciencep.com

销售分类建议: 计算机理论、人工智能、粒计算

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-036955-0



定价: 65.00 元

粒计算研究丛书

# 多粒度知识获取与 不确定性度量

张清华 王国胤 胡 军 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

粒计算是人工智能领域中的一种新理念和新方法,它覆盖了所有有关粒度的理论、方法和技术,是研究复杂问题求解、海量数据挖掘和模糊信息处理等问题的有力工具。从粒计算的观点看,在认知过程中,人们对问题的分析与求解都具有粒度性,既与认知主体的主观局限有关,也与观测工具等很多客观因素有关。粒计算理论模型中的粒的合成与分解以及问题求解等都具有不确定性,直接影响问题求解的精度与效率。本书内容主要涉及粒计算研究概述、粒计算基本理论、多粒度知识空间模型、粒计算的不确定性度量、多粒度知识获取的模型和方法、覆盖粒计算模型的知识获取方法、粗糙集的近似集和多粒度计算研究的展望等。

本书可供计算机、自动化等相关专业的研究人员、教师、研究生、高年级本科生和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

多粒度知识获取与不确定性度量/张清华,王国胤,胡军著—北京:科学出版社,2013

(粒计算研究丛书)

ISBN 978-7-03-036955-0

I. ①多… II. ①张…②王…③胡… III. ①人工智能—研究IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 043445 号

责任编辑:王 哲 王迎春 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:华路天然

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 3 月第一次印刷 印张:16

字数:322 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## “粒计算研究丛书”编委会

名誉主编:李德毅 张 钊

主 编:苗夺谦 王国胤 姚一豫

副 主 编:梁吉业 吴伟志 张燕平

委 员:陈德刚 代建华 高 阳 胡清华

胡学钢 黄 兵 李德玉 李凡长

李进金 李天瑞 刘贵龙 刘 清

米据生 史开泉 史忠植 王飞跃

王 珏 王熙照 徐久成 杨 明

姚静涛 叶东毅 于 剑 曾黄麟

张 铃 张文修 周献忠 祝 峰

秘 书:王睿智 张清华

## 从 书 序

粒计算是一个新兴的、多学科交叉的研究领域。它既融入了经典的智慧，也包括了信息时代的创新。通过十多年的研究，粒计算逐渐形成了自己的哲学、理论、方法和工具，并产生了粒思维、粒逻辑、粒推理、粒分析、粒处理、粒问题求解等诸多研究课题。值得骄傲的是，中国科学工作者为粒计算研究发挥了奠基性的作用，并引导了粒计算研究的发展趋势。

在过去几年里，科学出版社出版了一系列具有广泛影响的粒计算著作，包括《粒计算：过去、现在与展望》、《商空间与粒计算——结构化问题求解理论与方法》、《不确定性与粒计算》等。为了更系统、全面地介绍粒计算的最新研究成果，推动粒计算研究的发展，科学出版社推出了“粒计算研究丛书”。本丛书的基本编辑方式为：以粒计算为中心，每年选择该领域的一个突出热点为主题，邀请国内外粒计算和该主题方面的知名专家、学者就此主题撰文，来介绍近期相关研究成果及对未来的展望。此外，其他相关研究者对该主题撰写的稿件，经丛书编委会评审通过后，也可以列入该系列丛书。本丛书与每年的粒计算研讨会建立长期合作关系，丛书的作者将捐献稿费购书，赠给研讨会的参会者。

中国有句老话，“星星之火，可以燎原”，还有句谚语，“众人拾柴火焰高”。“粒计算研究丛书”就是基于这样的理念和信念出版发行的。粒计算还处于婴儿时期，是星星之火，在我们每个人的爱心呵护下，一定能够燃烧成燎原大火。粒计算的成长，要靠大家不断地提供营养，靠大家的集体智慧，靠每一个人的独特贡献。这套丛书为大家提供了一个平台，让我们可以相互探讨和交流，共同创新和建树，推广粒计算的研究与发展。本丛书受益于粒计算研究每一位同仁的热心参与，也必将服务于从事粒计算研究的每一位科学工作者、老师和同学。

“粒计算研究丛书”的出版得到了众多学者的支持和鼓励，同时也得到了科学出版社的大力帮助。没有这些支持，也就没有本丛书。我们衷心地感谢所有给予我们支持和帮助的朋友们！

“粒计算研究丛书”编委会

2012年7月

# 前 言

在社会发展的过程中，人们遇到很多挑战，对这些挑战的探索与追求推动了科技的进步。例如，为了能够打破交流中的地域空间限制而发明了电话，为了能够像鸟儿一样在天空翱翔而发明了飞机等。随着智能科学和认知科学的不断进步，人类又提出了一个充满诱惑和挑战的设想——让机器具有智能，于是智能机器人诞生了。如何让机器能像人一样具有分析问题、解决问题的能力是人工智能科学家目前追求的目标，这个问题吸引了无数研究者。

粒计算（granular computing）是当前计算智能研究领域模拟人类的多粒度、分层次思维解决复杂问题的新方法。它覆盖了所有有关粒度的理论、方法和技术，是研究复杂问题求解、海量数据挖掘和模糊信息处理等问题的有力工具。人类在观察、分析、求解问题时，一般是采用从局部到整体或者从整体到局部的思维方法。针对人类在问题求解中的这一特点，人工智能研究者对其进行了深入研究，并建立了各种形式化的理论模型。作为一个正在兴起的人工智能研究领域，粒计算的目的是建立一种模仿人类对问题进行分而治之求解特点的理论模型，其基本思想是在不同的粒度层次上实现问题求解，它是一种描述客观世界和处理客观问题的有效方法。粒的概念广泛存在于现实世界中，是对现实世界的一种抽象。粒计算方法的研究是近年来人工智能领域中兴起的一个新方向，它从实际问题求解出发，用可行的满意近似解代替精确解，改变了传统的计算观念，其主要思想是在合适的粒度层次上进行问题求解，在很大程度上体现了人类问题求解过程中的智能。

度量事件的不确定性程度称为不确定性度量。最早的不确定性度量方法是柯尔莫哥洛夫于1933年提出的概率论。后来，随着通信技术的发展，香农于1948年提出了信息熵。人们还在模糊集、粗糙集和云模型等理论研究中提出了模糊熵、粗糙熵、超熵等概念。在运筹学、管理科学、信息科学、系统科学、计算机科学和工程技术等领域都存在着对知识的不确定性度量问题。近年来，随着粒计算的诞生，很多研究者开始讨论各种粒计算理论模型中的知识不确定性度量与问题处理方法。从粒计算的观点看，在人类认知过程中，知识的表示和问题的分析求解都具有粒度性，这既与认知主体的主观局限有关，也与观测工具等很多客观因素影响有关。因此，粒计算理论模型中的知识粒具有不确定性，它直接影响问题求解的效率和精度。在粒计算模型中，确定性是指认知主体在当前的知识粒度水平上是确定的，而新证据的增加及各方面的条件变化又会使知识粒度发生变

化,这又使知识表现出不确定性,即认知过程中的不确定性。

近年来,我国学者在粒计算理论、多粒度知识获取和不确定性度量等方面进行了较为深入的研究,开展了国际、国内学术研讨会和暑期研讨会等多种形式的粒计算学术交流。相继出版了一系列相关著作,如2007年张钹、张铃出版了《问题求解理论及应用——商空间粒度计算理论及应用(第2版)》(清华大学出版社),2008年由13位海内外华人学者合著出版了《粒计算:过去、现在与展望》(科学出版社)。结合粒计算专题,国内外华人学者联合出版了《商空间与粒计算——结构化问题求解理论与方法》(科学出版社,2010)、《不确定性与粒计算》(科学出版社,2011)、《云模型与粒计算》(科学出版社,2012)等一系列著作。这些学术活动和学术成果极大地促进了我国粒计算理论及其应用研究的发展。

本书是计算智能重庆市重点实验室(重庆邮电大学)粒计算研究组在从事多年粒计算理论及其应用研究的成果基础上撰写而成的。本书介绍粒计算研究组近年来在多粒度知识获取及不确定度量方面取得的最新研究成果和相关研究进展。内容主要包含粒计算研究概述、粒计算的基本理论、多粒度知识空间模型、粒计算的不确定性度量方法、多粒度知识获取模型和方法、覆盖粒计算模型的知识获取方法、粗糙集的近似集以及粒计算研究总结与展望等内容。全书由张清华、胡军统稿,王国胤审稿,在编写过程中还得到实验室肖雨、姚红、郭庆文、沈文、幸禹可、马鸿耀、闫新宝等研究生同学的大力帮助。国内外众多从事粒计算研究的专家学者,如姚一豫、Andrzej Skowron、刘清、张钹、张铃、李德毅、梁吉业、苗夺谦、吴伟志、钱宇华、胡清华、李天瑞等在研究组的研究过程中也给予了大力的帮助和指导。

在本书的编写和出版过程中,我们得到科学出版社王哲编辑的大力帮助和支持,得到了国家自然科学基金(No.61272060, No.61073146)、重庆市自然科学基金(No.cstc2012jjA40047, No.cstc2012jjA1649)和重庆市教育委员会研究项目(No.KJ110512)等资助,以及重庆邮电大学出版基金的资助,在此一并致谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年1月

# 目 录

## 丛书序

## 前言

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....            | 1  |
| 1.1 引言 .....                     | 2  |
| 1.1.1 人工智能的起源 .....              | 3  |
| 1.1.2 粒计算的发展现状 .....             | 5  |
| 1.2 粒计算研究概述.....                 | 11 |
| 1.2.1 粒计算的基本概念 .....             | 12 |
| 1.2.2 粒计算的基本理论模型 .....           | 18 |
| 1.2.3 粒计算的不确定性度量方法 .....         | 22 |
| 1.2.4 粒计算应用研究 .....              | 23 |
| 1.3 总结和展望.....                   | 28 |
| 1.3.1 粒计算理论研究尚存的问题 .....         | 28 |
| 1.3.2 粒计算模型的不确定性度量研究中存在的问题 ..... | 33 |
| 1.4 本书的主要内容和结构安排.....            | 35 |
| 1.4.1 多粒度计算的研究 .....             | 35 |
| 1.4.2 本书的主要内容和安排 .....           | 38 |
| 参考文献 .....                       | 39 |
| <b>第 2 章 粒计算的基本理论</b> .....      | 43 |
| 2.1 模糊集粒计算理论.....                | 44 |
| 2.2 粗糙集粒计算理论.....                | 47 |
| 2.3 商空间粒计算理论.....                | 51 |
| 2.4 云模型粒计算理论.....                | 54 |
| 2.5 其他粒计算理论.....                 | 58 |
| 本章小结 .....                       | 60 |
| 参考文献 .....                       | 61 |
| <b>第 3 章 多粒度知识空间模型</b> .....     | 65 |
| 3.1 分层递阶商空间.....                 | 65 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 3.1.1 阈值为1的商空间理论 .....              | 65        |
| 3.1.2 任意阈值的商空间理论 .....              | 67        |
| 3.1.3 模糊等价关系的分层递阶构建方法 .....         | 68        |
| 3.2 覆盖近似空间的层次模型 .....               | 73        |
| 3.2.1 知识粒度的基本概念 .....               | 74        |
| 3.2.2 基于最小描述的覆盖上的知识粒度关系 .....       | 76        |
| 3.2.3 覆盖上的知识粒度关系定义间的联系 .....        | 79        |
| 3.3 覆盖近似空间与划分空间的转化 .....            | 80        |
| 3.3.1 覆盖空间的近似划分空间 .....             | 81        |
| 3.3.2 覆盖空间与划分空间之间的关系 .....          | 84        |
| 本章小结 .....                          | 87        |
| 参考文献 .....                          | 87        |
| <b>第4章 粒计算的不确定性度量方法 .....</b>       | <b>89</b> |
| 4.1 模糊集的不确定性度量 .....                | 90        |
| 4.1.1 模糊集的几种不确定性度量方法 .....          | 90        |
| 4.1.2 Vague 集的几种不确定性度量方法 .....      | 93        |
| 4.2 粗糙集的不确定性度量 .....                | 99        |
| 4.2.1 完备信息系统的粗糙集模型的不确定性度量 .....     | 99        |
| 4.2.2 不完备信息系统的粗糙集模型的不确定性度量 .....    | 102       |
| 4.2.3 各种不确定性度量方法之间的对比分析 .....       | 104       |
| 4.3 覆盖粗糙集的不确定性度量 .....              | 106       |
| 4.3.1 覆盖粗糙集模型 .....                 | 106       |
| 4.3.2 Bonikowski 覆盖粗糙集的不确定性度量 ..... | 108       |
| 4.4 分层递阶商空间的不确定性度量 .....            | 115       |
| 4.4.1 分层递阶商空间的信息熵序列 .....           | 115       |
| 4.4.2 分层递阶商空间同构的判定定理 .....          | 119       |
| 4.4.3 分层递阶商空间、模糊关系和信息熵序列之间的关系 ..... | 120       |
| 4.5 其他粒计算模型的不确定性度量 .....            | 121       |
| 4.5.1 模糊粗糙集的不确定性度量 .....            | 121       |
| 4.5.2 粗糙模糊集的不确定性度量 .....            | 122       |
| 4.5.3 云模型的不确定性度量 .....              | 126       |
| 4.5.4 概念格粒计算模型的不确定性度量 .....         | 129       |
| 本章小结 .....                          | 129       |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 参考文献                              | 130 |
| <b>第 5 章 多粒度知识获取</b>              | 134 |
| 5.1 多粒度认知模型                       | 134 |
| 5.1.1 认知过程的粒计算                    | 135 |
| 5.1.2 多粒度认知过程                     | 135 |
| 5.2 多粒度规则获取                       | 138 |
| 5.2.1 模糊决策信息系统                    | 139 |
| 5.2.2 模糊信息系统的多粒度规则提取              | 140 |
| 5.2.3 不完备信息系统的多粒度规则提取             | 144 |
| 5.3 属性约简的粒度原理与最大粒知识获取             | 151 |
| 5.3.1 一致决策信息系统及其决策逻辑              | 151 |
| 5.3.2 属性约简的多粒度原理                  | 153 |
| 5.3.3 多粒度属性约简与规则获取                | 155 |
| 5.3.4 基于最大粒的规则获取算法                | 158 |
| 5.4 多粒度增量式知识获取                    | 161 |
| 5.4.1 相关基本概念                      | 162 |
| 5.4.2 多粒度增量式知识获取方法                | 164 |
| 5.4.3 算法分析                        | 167 |
| 5.4.4 实验对比分析                      | 169 |
| 5.5 多粒度形式背景分析                     | 171 |
| 5.5.1 形式背景分析                      | 172 |
| 5.5.2 属性细分及其概念格之间的关系              | 174 |
| 本章小结                              | 180 |
| 参考文献                              | 181 |
| <b>第 6 章 覆盖粒计算模型的知识获取方法</b>       | 183 |
| 6.1 覆盖粗糙模糊集模型及其应用                 | 183 |
| 6.1.1 Wei 覆盖粗糙模糊集模型和 Xu 覆盖粗糙模糊集模型 | 184 |
| 6.1.2 Hu 覆盖粗糙模糊集模型                | 185 |
| 6.1.3 三种覆盖粗糙模糊集间的关系               | 189 |
| 6.1.4 覆盖粗糙模糊集模型在模糊决策中的应用          | 190 |
| 6.2 覆盖近似空间的知识约简模型及其应用             | 192 |
| 6.2.1 覆盖近似空间的知识约简模型               | 193 |
| 6.2.2 基于覆盖粒计算模型的不完备信息系统处理方法       | 199 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 6.3 覆盖近似空间的扩展与属性约简 .....              | 204 |
| 6.3.1 覆盖近似空间的扩展 .....                 | 204 |
| 6.3.2 覆盖决策系统的属性约简 .....               | 207 |
| 6.3.3 覆盖近似空间的扩展空间与属性约简 .....          | 210 |
| 本章小结 .....                            | 213 |
| 参考文献 .....                            | 213 |
| <b>第7章 粗糙集的近似集</b> .....              | 216 |
| 7.1 集合的近似度 .....                      | 217 |
| 7.2 粗糙集的近似集 .....                     | 219 |
| 7.2.1 粗糙集的近似集的性质 .....                | 221 |
| 7.2.2 $R_{0.5}(X)$ 与 $X$ 的近似性 .....   | 222 |
| 7.2.3 基于 $R_{0.5}(X)$ 提取规则的实例分析 ..... | 227 |
| 7.3 近似集 $R_{0.5}(X)$ 随知识粒度的变化关系 ..... | 230 |
| 本章小结 .....                            | 233 |
| 参考文献 .....                            | 234 |
| <b>第8章 总结与展望</b> .....                | 236 |
| 8.1 本书总结 .....                        | 236 |
| 8.2 未来工作展望 .....                      | 240 |

# 第 1 章 绪 论

在人类进步和社会发展的历史长河中,人们似乎总是喜欢提出一些看似不可能完成的任务,而恰恰是在人类解决这些问题的同时推动了科技的进步。例如,人类希望能够打破地域的限制进行交流,于是发明了电话和因特网;人类希望像鸟儿一样在天空飞翔,于是发明了飞机等。随着科技的不断进步和对未知世界的好奇,人类又提出了一个充满诱惑和挑战的设想——让机器具有人类的智能并能像人类一样思考和解决问题。这个设想吸引了无数的研究者。20 世纪 50 年代中期,著名科学家 McCarthy 召开了一次会议来讨论机器智能未来的发展方向,人工智能 (artificial intelligence, AI) 这一术语也在这次会议上正式被确立。为人类的某些智能行为建立适当的形式化模型,使计算机再现人类智能的主要功能,是人工智能最主要的目的。然而,什么是人类最主要的智能? 智能最重要的表现形式是什么? 至今没有统一的答案。那么人类的智能体现在哪里呢? 研究人员在总结人类观察、分析、解决问题的过程时发现了一些规律。人类在观察、分析、求解问题时大致会采用如下方式<sup>[1]</sup>。

(1) 从部分到整体、从细节到抽象。即先从各个方面、各个角度对同一问题进行不同侧面的观察,然后再对它们进行综合。“横看成岭侧成峰,远近高低各不同”,就是描述了对问题从不同角度和侧面所进行的观察和分析。如果不经综合处理,结果只能是片面地了解事物,不能从总体上把握事物。因此,诗人又以“不识庐山真面目,只缘身在此山中”对综合和整体的重要性给予了论述。

(2) 从整体到部分。即先从总体进行观察、分析,然后再逐步深入地研究各个部分。中国古代的哲学家老子在其著作《道德经》中有这样的论述:道生一,一生二,二生三,三生万物。宇宙本原是否果真如此,不得而知,但这至少在一定程度上体现了古人就已经知道按照从整体到部分的方式来观察、认识世界;现代物理学从物质到分子、从分子到原子、从原子到粒子的研究,也正是这一过程的体现。

(3) 前面两种方式的结合。即从各侧面对事物进行了解,然后进行综合观察,再对不甚了解的部分进行进一步观察。

从上述 3 种方式可以看出,在不同的抽象层次上观察、理解、表示现实世界问题,并进行分析、综合、推理,是人类问题求解过程的一个明显特征,也是人类问题求解能力的强有力的表现。因此,从一定意义上来说,这就是人类智能之所在。针对人类问题求解的这种能力和特征,人工智能研究者对其进行了深入的研究,并建立了各种形式化的模型。作为一种正在兴起的人工智能研究领域,粒计算

(granular computing, GrC)的目的是建立一种体现人类问题求解特征的抽象模型,其基本思想是在不同的粒度(granularity)层次上进行问题求解。粒计算是一种看待客观世界和处理客观问题的世界观和方法论。粒(granule)广泛存在于现实世界中,是对现实世界的一种抽象。粒化(granulation)旨在建立基于外部世界的有效的并以用户为中心的概念,同时简化人们对物理世界和虚拟世界的认识。

## 1.1 引言

粒计算是融合了粗糙集(rough set)、模糊集(fuzzy set)、商空间(quotient space)和云模型(cloud model)等人工智能领域里多种理论方法的一个超集。如今,粒计算已成为学术界非常重视的研究领域,IEEE 计算智能学会于 2004 年成立了粒计算小组(Task Force on GrC),并从 2005 年开始召开国际粒计算学术年会(IEEE International Conference on Granular Computing),我国也从 2007 年开始召开国内粒计算学术年会(CGrC),除此之外,RSFDGrC、RSCTC、RSKT、JRS 等国际会议都设置了专门的粒计算专题。粒计算理论及其应用的研究在最近十多年得到了长足发展,特别是从 2007 年开始,我国每年的 CGrC-CRSSC-CWeb 联合会议召开更进一步促进了粒计算理论及其应用的研究。从 2010 年开始每年召开的粒计算专题研讨会(2010 年的主题是“商空间与粒计算”,2011 年的主题是“不确定性与粒计算”,2012 年的主题是“云模型与粒计算”,2013 年将以“三支决策与粒计算”为主题进行研讨)也有效地促进了粒计算的发展,并在科学出版社出版了“粒计算研究丛书”,主要包括《粒计算:过去、现在与展望》、《商空间与粒计算》、《不确定性与粒计算》、《云模型与粒计算》、《决策粗糙集理论及其研究进展》等。本书在简单论述粒计算发展现状和理论模型的基础上,较为全面地介绍了粒计算的应用领域。

读者在了解粒计算的过程中,不仅要了解其本质的概念和理论,更应该学会用这种哲学的方式去思考和解决问题。在“粒计算”一词正式提出以前,“粒”的概念已经进入了科学家的视线,但是由于当时的社会环境和科研条件的限制,“粒”并没有得到很好的发展。后来人们在研究模糊集、粗糙集、商空间和云模型时,“粒”的概念再次得到了科学家的重视,从而掀起了粒计算的研究热潮。当时人们把粒计算称为粒数学(granular mathematics),后来 Lin 将其改为粒计算;而在我国,有的研究者称其为粒度计算、粒子计算等,后来,我国研究者在几次国内学术会议上将其统一定义为粒计算。

下面将简单从人工智能的角度介绍粒计算,并分析现有描述复杂问题方法的一些缺陷或不足,从而引出粒计算研究的意义和必要性;然后从时间顺序和研究角度两方面来阐述粒计算的发展历程。读者在阅读本节后,可以对身边的人工智能应用和粒计算发展现状有初步的了解和把握。

### 1.1.1 人工智能的起源

人工智能的出现可以追溯到古埃及。19 世纪后,以机器代替或减轻人类的体力劳动的研究,使科学技术得到了突飞猛进的发展。20 世纪,信息技术的飞速发展,尤其是计算机的出现,以机器代替或减轻人的脑力劳动,使人工智能诞生并迅速发展。自诞生之日起,人工智能就引起了人们无限美好的想象和憧憬,成为学科交叉发展的重要目标,吸引了无数研究者参与研究,并取得了丰硕的研究成果。

人工智能作为计算机学科的一个分支,20 世纪 70 年代与空间技术、能源技术一起被称为世界三大尖端技术,也被认为是 21 世纪除基因工程、纳米科学外的三大尖端技术之一。这是因为近 30 年来人工智能获得了迅速的发展,已逐步成为一个独立的分支,无论在理论上还是在实践上都已自成系统,在很多学科领域都获得了广泛应用,并取得了杰出的成果。这里就符号计算、模式识别、专家系统、状态空间法等方面的应用作简单介绍。

#### 1. 符号计算

计算机最主要的用途之一就是科学计算。长期以来,人们一直盼望有一个可以进行符号计算的计算机软件系统。早在 20 世纪 50 年代末,人们就开始对此进行研究,进入 20 世纪 80 年代后,随着计算机的普及和人工智能的发展,相继出现了多种功能齐全的计算机代数系统软件,Mathematica 和 Maple 是其中的代表。计算机代数系统的优越性主要在于它能够进行大规模的代数运算,通常人们用笔和纸进行代数运算只能处理符号较少的算式,当算式的符号上升到百位数后,手工计算就很困难了,这时用计算机代数系统就可以进行准确、快捷、有效的运算。尽管计算机代数系统在代替人进行烦琐的符号运算上有着无可比拟的优越性,但是它只能执行人们给它的指令,有一定的局限性。因此,计算机代数系统仍在不断地发展和完善。

#### 2. 模式识别

模式识别是用计算机作为工具,用数学技术方法来研究模式的自动处理和判读方法。把环境与客体统称为“模式”,用计算机实现文字、声音、人物、物体等模式的自动识别,是开发智能机的一个最关键的突破口,也为人类认识自身智能提供了线索。信息处理过程中的一个重要形式是智能体对环境及客体的识别。对人类来说,特别重要的是对光学信息和声学信息的识别,这是模式识别的两个重要研究方面。计算机识别的显著特点是速度快、准确性和效率高。模式识别过程与人类的学习过程相似,广泛地应用于文字和语音识别、遥感和医学诊断等方面。

#### 3. 专家系统

专家系统是一种模拟人类专家解决某个领域复杂问题的计算机程序系统。

专家系统内部含有大量的某个领域的专家水平的知识与经验,能够运用人类专家的知识和解决问题的方法进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程来解决该领域的复杂问题。专家系统作为人工智能领域最活跃、最广泛的应用之一,涉及社会各个方面,各种专家系统已遍布各专业领域,并取得了很大的成功。根据专家系统处理的问题类型,可将其分为解释型、诊断型、调试型、维修型、教育型、预测型、规划型、设计型和控制型等类型。为了实现专家系统,必须要存储有该领域中经过事先总结、分析并按某种模式表示的专家知识,以及拥有类似于领域专家解决实际问题的推理机制。系统能对输入的信息进行处理,并运用知识进行推理,给出决策和判断,其解决问题的水平达到或接近专家的水平。但是,由于人们活跃的思维和丰富的语言表达,且专家系统事先所设定的知识库过于机械化,很难正确理解人们所描述的问题,因此专家系统只能作为专家助手来使用。

#### 4. 状态空间法

状态空间法<sup>[2]</sup>是一种基于解答空间的问题表示和求解的方法,该方法以三个基本要素来描写要解决的问题,一是符号结构或者知识库;二是一组算子或者产生式规则,描述各符号结构之间的关系;三是控制策略,表示选取规则的原则和策略。通过以上三种要素,可以把一个问题的求解过程描述为状态空间的搜索或图的搜索。由于状态空间法需要扩展过多的结点,容易出现“组合爆炸”,所以只适用于处理比较简单的问题。以专家系统 PROSPECTOR<sup>[2]</sup>为例,它的任务是估计潜在的矿床。图 1.1.1 是以状态空间法表示的推理网络的片段,图中的结点表示其可能

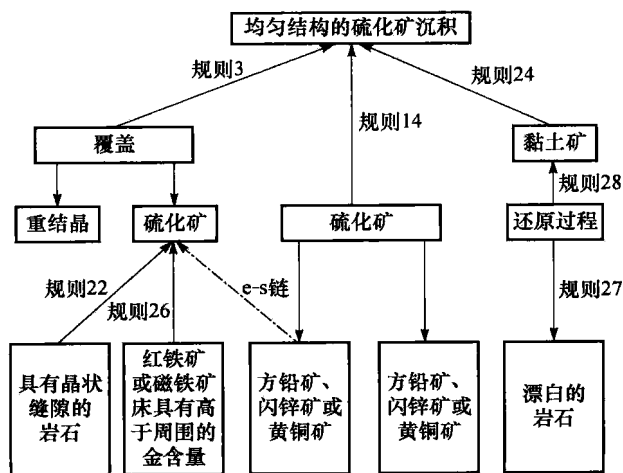


图 1.1.1 问题的状态空间描述法<sup>[2]</sup>

解的子集。例如,均匀结构的硫化矿沉淀,表示一个可能解的类,具体的解包含在这个子集中。随着推理的深入,解也越来越明确。结点之间的连线表示不同的推理规则。

另一种描述方法称为问题规约法,它把一个问题分解为若干子问题,这些子问题比原问题简单。然后分别求解子问题,子问题又可进一步分解为更简单的子问题,直到可以解决为止。例如,设计一台电子仪器,可以把整机的设计任务分解为几个部件的设计,如电源部件设计、显示器部件设计等。一些部件设计又可分解为更小的部件设计,如电源部件可以进一步分解为变压器设计、整流器设计等<sup>[3]</sup>,如图 1.1.2 所示。

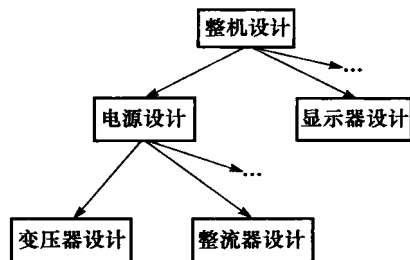


图 1.1.2 问题的规约描述法<sup>[3]</sup>

上面讲述的两种问题描述方法,虽然可以描述相当广泛的问题求解过程,但它们还不能描述人类问题求解中的某些重要特点,而这些特点在反映人类智能上又是至关重要的。除此之外,现存的其他问题描述方法及表达方法也都难以处理上述问题,从而导致了这些应用不能很好地适用于人类对已知问题的求解、对未知世界的探索。正是因为这些缺陷和困难的存在,粒计算才得以快速发展,并成为解决复杂问题的一种新兴方法论和问题求解观。

### 1.1.2 粒计算的发展现状

1.1.1 节介绍了现存的问题描述方法与表达方法存在的不足,粒计算作为弥补这些不足的一种新方法论而被提出,用于从宏观到微观的不同粒度层面上分析和处理信息。尽管在不同粒度层次上对问题求解几乎伴随着人类所有的问题求解过程,但粒计算真正作为一个被人们广泛接受与认可的方法论还是经历了一段很长的时间。

#### 1. 粒计算的时空发展历程

第一个粒计算的形式化框架是用集合论和区间的语言来表示的,即所谓的区间分析(interval analysis)。由于数字计算的精度有限,区间分析可以有效地表达计算误差的传播和累加。作为一种有界且有限的粒,区间在描述系统辨识、不确定控制、模式分类等方面的数值现象很有吸引力<sup>[4]</sup>。

1979 年,Zadeh 提出并讨论了模糊信息粒度,以元素属于给定概念的隶属程度作为粒度,用来解决现实世界中信息的不连续性问题,并认为它在模糊集中有着潜在的应用。这是“粒”这一概念的首次提出,推动了模糊逻辑理论及其应用的发展。