

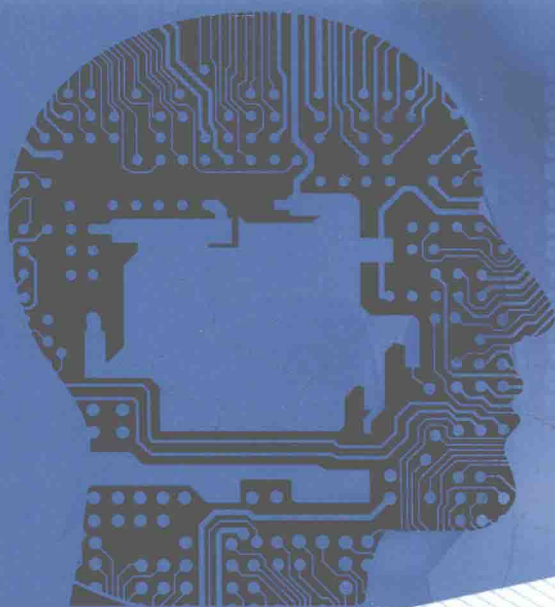


智能

科学/技术/著作/丛书

# 人工智能集对分析

蒋云良 赵克勤 著



科学出版社

智能科学技术著作丛书

# 人工智能集对分析

蒋云良 赵克勤 著

谨以此书纪念人工智能创立 60 周年

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统总结了集对分析在人工智能理论和技术研究的阶段性成果,共12章。第1、2章为集对分析基本概念、基本理论和最新进展的介绍,第3章是人工智能基础和前沿集对分析,第4~12章依次介绍集对分析在模式识别、不确定性推理、智能决策、知识生态学、自然语言和人类语言理解、专家系统、神经网络、智能工程和智能社会中的应用。本书内容丰富,涉及哲学、数学、系统与信息科学、计算机与网络、军事科学、安全科学、水科学、电力、交通、机械制造、教育、食品安全、农业和畜牧业等不同领域。

本书适合于高等院校人工智能、自动控制以及计算机等相关专业的教师、研究生和本科生阅读,对于其他从事高新技术研究与开发的科技人员也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

人工智能集对分析/蒋云良,赵克勤著. —北京:科学出版社,2017. 11

(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-055201-3

I. ①人… II. ①蒋…②赵… III. ①人工智能-研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 271356 号

责任编辑:张海娜 姚庆爽 赵微微 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

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>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



\*

2017年11月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年11月第一次印刷 印张:18 1/4

字数:350 000

定价:110.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 作者简介

蒋云良, 1967 年生, 工学博士, 湖州师范学院教授, 主要从事智能信息处理和地理信息系统方向的教学及研究, 主持和参与完成国家自然科学基金及省部级以上科研项目 10 余项, 在国内外重要学术期刊和学术会议发表论文 40 余篇。

邮箱: [jyl@zjhu.edu.cn](mailto:jyl@zjhu.edu.cn)



赵克勤, 1950 年生, 诸暨市联系数学研究所研究员, 浙江大学非传统安全与和平发展研究中心集对分析研究所所长, 中国人工智能学会第四、五、六届理事, 人工智能基础专业委员会副主任, 1989 年提出集对分析(联系数学), 发表论文 100 余篇, 出版专著 4 部。

邮箱: [zjzhaok@sohu.com](mailto:zjzhaok@sohu.com)



## 《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶,“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章,“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, NI),包括“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, AI),包括“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, II),即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, CI),指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, DI),如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

“人工智能”学科自1956年诞生以来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从狭义人工智能走向广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAD)正式成立,25年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面,取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。需要强调的是,这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持,以及编委们的共同努力,《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版,特赋贺诗一首:

智能科技领域广  
人机集成智能强  
群体智能协同好  
智能创新更辉煌

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

## 前 言

信息与系统科学是现代科学的领头科学,人工智能是信息与系统科学的前沿。时至今日,人工智能技术已应用于太空探索、深海潜航、地震救援、心脏移植、机器推理、自动控制、企业管理、经济贸易、金融服务、环境保护、家居旅行等领域,智能手机更是与人们的日常生活息息相关。

人工智能的概念提出于 20 世纪 50 年代,半个多世纪来,人工智能几经起伏,近几年随着计算机技术发展日新月异,特别是网络的不断延伸,人工智能得到长足进展。但伴随而来的是,一部分人开始担心终有一日智能机器人将横行天下,人将成为智能机器人的奴隶;另一部分人则认为要让智能机器人完全像人一样思维和工作几乎不可能。这两部分人相悖的心理情结,迫使人们深入思考这样的问题:什么是人工智能?智能从哪里来?如何发展人工智能?人工智能将走向何处?

本书作者赵克勤于 1988 年提出“自然辩证法是否有数学模型”的问题,并认为“自然辩证法数学模型的建立会促进人工智能的发展”;于 1989 年提出集对分析理论,站在哲学的角度思考人脑思维的规律,并把集对分析看成是自然辩证法的一种数学模型。2000 年,中国人工智能学会理事长涂序彦教授为《集对分析及其初步应用》(赵克勤著)一书作序。2009 年在浙江大学召开的第 9 次全国集对分析学术研讨会上,赵克勤提出“集对人”的概念;2014 年在湖州师范学院召开的第 13 次全国集对分析学术研讨会上又进一步提出“智脑”的概念和“智脑模型”,“智脑”的一般模型是“人脑+电脑”,并可进一步细分为“人脑+网络脑”“双脑”“多脑”“群脑”“首脑+智囊团”“超级脑”“和谐脑”“时空脑”等不同类型;并于 2015 年 7 月在杭州举办的第 3 期非传统安全集对分析研学班上提出信息是物质和能量相互作用的产物,人脑智能是自然界智能在人脑中的一种映射等观点,从而在一定程度上为回答“智能从哪里来?如何进一步发展人工智能?人工智能究竟要走向何处?”提供了有价值的启示和深入研究的新途径。

本书在集对分析理论和“智脑模型”假设基础上,梳理了集对分析提出近 30 年,作者和其他学者从不同角度把集对分析的思想、理论、方法应用于人工智能所做的阶段性工作,包括集对分析在智能本质的探讨、人工智能基础、模式识别、不确定性推理、智能决策、知识生态学、自然语言理解、专家系统开发、神经网络、智能工程、智能社会等方面的应用,展现出集对分析在人工智能领域的广阔应用前景。

鉴于人工智能已有许多优秀的专著和教材,并假定读者对人工智能已有充分了解,为节约篇幅和读者的精力,本书把重点放在集对分析基本理论方法与联系数

的介绍以及在人工智能的应用探索和说明上。又由于此前已陆续有《集对分析及其初步应用》《水文水资源集对分析》《区间数决策集对分析》《信息处理集对分析》等专著出版,故本书取名《人工智能集对分析》。

本书共 12 章,第 1、2 章介绍集对分析的基本概念和有关进展;第 3 章在人工智能基础集对分析的基础上介绍集对人与智脑模型;第 4~12 章主要介绍模式识别集对分析、不确定性推理集对分析,以及集对分析在智能决策、智能工程及智能社会中的应用等。

本书的撰写与出版得到国家自然科学基金项目(No. 61370173, No. 51379013)、国家 973 计划项目(No. 2010CB951104)与国家自然科学基金创新研究群体项目(No. 51121003)的资助。

由于作者水平有限,本书难免存在不妥之处,敬请读者指正。

# 目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第 1 章 集对分析的基本知识 | 1  |
| 1.1 原理          | 1  |
| 1.1.1 成对原理      | 1  |
| 1.1.2 系统不确定性原理  | 1  |
| 1.2 集对          | 2  |
| 1.2.1 集对的定义     | 2  |
| 1.2.2 集对的特征函数   | 4  |
| 1.3 联系数         | 6  |
| 1.3.1 二元联系数     | 6  |
| 1.3.2 三元联系数     | 7  |
| 1.3.3 四元联系数     | 8  |
| 1.3.4 五元联系数     | 9  |
| 1.3.5 多元联系数     | 9  |
| 1.3.6 联系数的性质    | 10 |
| 1.3.7 不确定性转换器   | 11 |
| 1.4 联系数的基本运算    | 11 |
| 1.4.1 联系数的加法    | 11 |
| 1.4.2 联系数的乘法    | 12 |
| 1.4.3 联系数的减法    | 14 |
| 1.4.4 联系数的除法    | 15 |
| 1.4.5 联系数的复运算   | 16 |
| 1.5 集对分析理论      | 18 |
| 1.5.1 不确定性系统理论  | 18 |
| 1.5.2 同异反系统理论   | 20 |
| 1.5.3 同异反空间     | 22 |
| 1.5.4 联系场       | 22 |
| 1.5.5 论域        | 22 |
| 1.5.6 同异反联系熵    | 22 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1.6 本章小结                 | 25 |
| 参考文献                     | 25 |
| <b>第2章 集对分析若干进展</b>      | 27 |
| 2.1 联系数的伴随函数             | 27 |
| 2.1.1 态势函数               | 27 |
| 2.1.2 广义势函数              | 29 |
| 2.1.3 势函数定理              | 29 |
| 2.1.4 偏联系数               | 30 |
| 2.1.5 反偏联系数              | 32 |
| 2.1.6 邻联系数               | 32 |
| 2.1.7 反邻联系数              | 34 |
| 2.1.8 相互作用联系数            | 34 |
| 2.1.9 反相互作用联系数           | 35 |
| 2.1.10 反联系熵函数            | 35 |
| 2.2 赵森烽-克勤概率简介           | 35 |
| 2.2.1 赵森烽-克勤随机试验         | 35 |
| 2.2.2 随机事件定义             | 36 |
| 2.2.3 四个定理               | 37 |
| 2.2.4 主事件和伴随事件           | 37 |
| 2.2.5 赵森烽-克勤概率           | 38 |
| 2.2.6 应用举例               | 39 |
| 2.3 基于联系数的绿色智能计算         | 41 |
| 2.3.1 数的认识               | 41 |
| 2.3.2 自然数的联系数化           | 41 |
| 2.3.3 绿色智能计算             | 42 |
| 2.4 本章小结                 | 43 |
| 参考文献                     | 44 |
| <b>第3章 人工智能基础和前沿集对分析</b> | 45 |
| 3.1 系统智能原理               | 45 |
| 3.1.1 智能的定义              | 45 |
| 3.1.2 基本原理               | 46 |
| 3.1.3 系统智能原理与性质          | 49 |
| 3.2 人工智能原理               | 50 |
| 3.2.1 人工智能定义             | 50 |
| 3.2.2 人工智能实质和目标          | 50 |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 3.3 人工智能基础 .....                 | 51        |
| 3.3.1 问题提出 .....                 | 51        |
| 3.3.2 人工智能的科学基础 .....            | 51        |
| 3.3.3 人工智能的技术基础 .....            | 52        |
| 3.4 人工智能基础集对分析 .....             | 53        |
| 3.4.1 人工智能科学基础的集对分析 .....        | 53        |
| 3.4.2 人工智能技术基础的集对分析 .....        | 54        |
| 3.4.3 人工智能三大研究学派的集对分析 .....      | 54        |
| 3.5 智脑与集对人 .....                 | 56        |
| 3.5.1 问题提出 .....                 | 56        |
| 3.5.2 智脑的概念 .....                | 56        |
| 3.5.3 实例 .....                   | 57        |
| 3.5.4 集对人 .....                  | 58        |
| 3.5.5 数学模型 .....                 | 59        |
| 3.5.6 问题思考 .....                 | 60        |
| 3.6 本章小结 .....                   | 61        |
| 参考文献 .....                       | 62        |
| <b>第4章 基于集对分析的模式识别</b> .....     | <b>63</b> |
| 4.1 原理介绍 .....                   | 63        |
| 4.1.1 模式识别的定义 .....              | 63        |
| 4.1.2 基于集对分析的同异反模式识别原理 .....     | 63        |
| 4.2 基于集对分析的指纹识别应用 .....          | 64        |
| 4.2.1 指纹 .....                   | 64        |
| 4.2.2 基于集对分析的指纹识别系统 .....        | 65        |
| 4.2.3 实验 .....                   | 66        |
| 4.3 同异反模式识别在金属矿山地质灾害判断中的应用 ..... | 68        |
| 4.3.1 基本思路 .....                 | 68        |
| 4.3.2 模型构建 .....                 | 68        |
| 4.3.3 应用实例 .....                 | 71        |
| 4.4 基于同异反模式识别的聚类与应用 .....        | 73        |
| 4.4.1 基本思路 .....                 | 73        |
| 4.4.2 预测模型与应用实例 .....            | 74        |
| 4.5 基于集对分析的相似识别应用 .....          | 77        |
| 4.5.1 相似性 .....                  | 77        |
| 4.5.2 基本思路 .....                 | 78        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 4.5.3 相似元相似度计算 .....           | 79         |
| 4.5.4 相似系统相似度计算 .....          | 80         |
| 4.5.5 应用实例 .....               | 80         |
| 4.6 基于联系数的不确定空情意图识别 .....      | 82         |
| 4.6.1 问题提出 .....               | 83         |
| 4.6.2 识别方法 .....               | 83         |
| 4.6.3 识别步骤 .....               | 84         |
| 4.6.4 应用实例 .....               | 85         |
| 4.7 本章小结 .....                 | 88         |
| 参考文献 .....                     | 89         |
| <b>第5章 基于集对分析的不确定性推理 .....</b> | <b>90</b>  |
| 5.1 基本原理 .....                 | 90         |
| 5.1.1 不确定性推理 .....             | 90         |
| 5.1.2 基于集对分析的不确定性推理原理 .....    | 90         |
| 5.2 基于联系概率的推理 .....            | 91         |
| 5.2.1 联系概率 .....               | 91         |
| 5.2.2 基于联系概率的推理特点 .....        | 91         |
| 5.2.3 应用举例 .....               | 91         |
| 5.3 基于集对分析的同异反推理 .....         | 94         |
| 5.3.1 同异反系统理论 .....            | 94         |
| 5.3.2 同异反推理模式 .....            | 94         |
| 5.3.3 同异反推理实例 .....            | 95         |
| 5.4 基于集对分析上下文感知的不确定性推理 .....   | 97         |
| 5.4.1 上下文感知技术 .....            | 97         |
| 5.4.2 同异反向量的夹角余弦 .....         | 97         |
| 5.4.3 推理步骤 .....               | 98         |
| 5.4.4 推理实例 .....               | 98         |
| 5.5 基于集对分析的案例检索 .....          | 99         |
| 5.5.1 检索模型 .....               | 99         |
| 5.5.2 模型的系统架构 .....            | 100        |
| 5.5.3 应用实例 .....               | 100        |
| 5.6 本章小结 .....                 | 103        |
| 参考文献 .....                     | 103        |
| <b>第6章 基于集对分析的智能决策 .....</b>   | <b>105</b> |
| 6.1 基于集对分析的智能决策特点 .....        | 105        |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 6.1.1 智能决策定义 .....                 | 105 |
| 6.1.2 基于集对分析的智能决策一体化集成特点 .....     | 105 |
| 6.2 基于集对分析的同异反综合评价决策 .....         | 106 |
| 6.2.1 同异反智能决策定义 .....              | 106 |
| 6.2.2 同异反综合评价 .....                | 107 |
| 6.2.3 应用举例 .....                   | 107 |
| 6.3 基于联系数不确定性分析的智能决策 .....         | 109 |
| 6.3.1 问题描述 .....                   | 109 |
| 6.3.2 决策过程与决策模型 .....              | 109 |
| 6.3.3 应用举例 .....                   | 110 |
| 6.4 基于联系数的区间数伴语言变量的混合多属性智能决策 ..... | 115 |
| 6.4.1 问题描述 .....                   | 115 |
| 6.4.2 决策步骤 .....                   | 115 |
| 6.4.3 应用举例 .....                   | 116 |
| 6.5 基于赵森烽-克勤概率的智能风险决策 .....        | 118 |
| 6.5.1 赵森烽-克勤概率 .....               | 118 |
| 6.5.2 应用实例 .....                   | 119 |
| 6.6 基于集对云的多属性智能群决策 .....           | 120 |
| 6.6.1 问题描述 .....                   | 120 |
| 6.6.2 算法描述 .....                   | 121 |
| 6.6.3 应用实例 .....                   | 122 |
| 6.6.4 仿真实验 .....                   | 125 |
| 6.7 本章小结 .....                     | 127 |
| 参考文献 .....                         | 127 |
| 第7章 知识生态学集对分析 .....                | 129 |
| 7.1 基本原理 .....                     | 129 |
| 7.1.1 知识生态学 .....                  | 129 |
| 7.1.2 知识与知识生态学集对分析原理 .....         | 129 |
| 7.2 默会知识与显性知识的集对分析 .....           | 130 |
| 7.2.1 默会知识及其悖论 .....               | 131 |
| 7.2.2 默会知识与显性知识的同异反分析 .....        | 131 |
| 7.2.3 中介知识特点 .....                 | 132 |
| 7.2.4 中介知识举例 .....                 | 133 |
| 7.2.5 启示 .....                     | 134 |
| 7.3 基于集对分析的知识创新规律 .....            | 135 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 7.3.1 知识是什么 .....                     | 135 |
| 7.3.2 知识的形态 .....                     | 136 |
| 7.3.3 知识创新规律 .....                    | 137 |
| 7.4 知识的不确定描述与应用 .....                 | 138 |
| 7.4.1 知识的不确定描述 .....                  | 139 |
| 7.4.2 不确定值的传播算法 .....                 | 139 |
| 7.4.3 算法性质 .....                      | 140 |
| 7.4.4 应用示例 .....                      | 141 |
| 7.5 知识产权评估的集对分析 .....                 | 141 |
| 7.5.1 技术知识产权评估 .....                  | 142 |
| 7.5.2 武器装备知识产权管理绩效评估 .....            | 144 |
| 7.6 基于集对分析和知识关联的检索结果聚类 .....          | 145 |
| 7.6.1 基本思路 .....                      | 146 |
| 7.6.2 基于集对分析的文本聚类 .....               | 146 |
| 7.6.3 实验与分析 .....                     | 147 |
| 7.7 本章小结 .....                        | 149 |
| 参考文献 .....                            | 150 |
| <b>第8章 集对分析在自然语言和人类语言理解中的应用</b> ..... | 151 |
| 8.1 基本原理 .....                        | 151 |
| 8.1.1 自然语言和人类语言 .....                 | 151 |
| 8.1.2 语言和人类语言理解的集对分析原理 .....          | 152 |
| 8.2 人工智能对人类语言理解研究的集对分析 .....          | 155 |
| 8.2.1 人类语言理解和处理概念的集对分析 .....          | 155 |
| 8.2.2 人类语言研究方法的集对分析 .....             | 156 |
| 8.2.3 基于信息的人类语言理解研究集对分析 .....         | 157 |
| 8.3 语言及语言理解集对分析原理的应用 .....            | 158 |
| 8.3.1 在中文语言理解中的应用 .....               | 158 |
| 8.3.2 在语言翻译中的应用 .....                 | 160 |
| 8.4 集对分析在语言和语言理解其他方面的应用 .....         | 162 |
| 8.4.1 决策用语言变量的联系数转换与应用 .....          | 162 |
| 8.4.2 科技交流中语言及语言理解非对称的集对分析 .....      | 164 |
| 8.4.3 词语思想丰度的联系数刻画 .....              | 164 |
| 8.5 本章小结 .....                        | 165 |
| 参考文献 .....                            | 166 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 9 章 集对分析在专家系统中的应用          | 167 |
| 9.1 基本原理                     | 167 |
| 9.1.1 专家系统                   | 167 |
| 9.1.2 专家系统应用集对分析的原理          | 168 |
| 9.2 集对分析在猪病诊断专家系统研究中的应用      | 169 |
| 9.2.1 研究概述                   | 169 |
| 9.2.2 基于集对分析的诊断准确度计算         | 169 |
| 9.2.3 简评                     | 171 |
| 9.3 集对分析在进出口食品安全监管专家系统研究中的应用 | 172 |
| 9.3.1 研究概述                   | 172 |
| 9.3.2 基于集对分析的进出口食品安全监管风险评价   | 172 |
| 9.3.3 简评                     | 175 |
| 9.4 集对分析在大豆病虫害诊断专家系统中的应用     | 175 |
| 9.4.1 研究概述                   | 175 |
| 9.4.2 基于集对分析的不确定性推理          | 176 |
| 9.4.3 简评                     | 178 |
| 9.5 集对分析在故障诊断专家系统研究中的应用      | 178 |
| 9.5.1 研究概述                   | 178 |
| 9.5.2 基于集对分析和粗集的规则提取与应用      | 178 |
| 9.5.3 简评                     | 180 |
| 9.6 本章小结                     | 181 |
| 参考文献                         | 181 |
| 第 10 章 集对分析与神经网络的融合与应用       | 182 |
| 10.1 基本原理                    | 182 |
| 10.1.1 神经元及其基本特性             | 182 |
| 10.1.2 人工神经网络及其基本特性          | 183 |
| 10.1.3 人工神经网络的算法学习           | 183 |
| 10.1.4 人工神经网络集对分析基本原理        | 183 |
| 10.2 基于 SPA-ANN 耦合的年径流预测     | 184 |
| 10.2.1 问题描述                  | 185 |
| 10.2.2 模型原理                  | 185 |
| 10.2.3 建模步骤                  | 186 |
| 10.2.4 实例                    | 188 |
| 10.3 集对分析径向基函数神经网络预测模型       | 189 |
| 10.3.1 基本思路                  | 189 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 10.3.2 建模步骤 .....                        | 189        |
| 10.3.3 应用实例 .....                        | 191        |
| 10.4 集对分析在改进 BP 神经网络凌汛开河日期预测评估中的应用 ..... | 193        |
| 10.4.1 模型评估的实现 .....                     | 193        |
| 10.4.2 实例 .....                          | 194        |
| 10.5 本章小结 .....                          | 196        |
| 参考文献 .....                               | 197        |
| <b>第 11 章 集对分析在智能工程中的应用 .....</b>        | <b>198</b> |
| 11.1 基本原理 .....                          | 198        |
| 11.1.1 智能工程 .....                        | 198        |
| 11.1.2 集对分析用于智能工程原理 .....                | 198        |
| 11.2 基于联系数的多传感器数据融合(1) .....             | 198        |
| 11.2.1 问题描述 .....                        | 199        |
| 11.2.2 数据融合算法 .....                      | 199        |
| 11.2.3 数据融合实例 .....                      | 200        |
| 11.2.4 讨论 .....                          | 202        |
| 11.3 基于联系数的多传感器数据融合(2) .....             | 204        |
| 11.3.1 数对及其联系度 .....                     | 204        |
| 11.3.2 联系度矩阵及其扩维 .....                   | 204        |
| 11.3.3 一致可靠性测度 .....                     | 205        |
| 11.3.4 算法仿真 .....                        | 207        |
| 11.4 基于集对分析的工艺路线智能决策 .....               | 209        |
| 11.4.1 概述 .....                          | 209        |
| 11.4.2 初始工艺路线生成 .....                    | 209        |
| 11.4.3 基于零件工艺设计经验的评价指标计算 .....           | 210        |
| 11.4.4 基于制造稳定性分析的评价指标计算 .....            | 211        |
| 11.4.5 基于集对分析的工艺路线决策 .....               | 213        |
| 11.4.6 实例验证 .....                        | 215        |
| 11.5 基于集对理论的砂轮主轴转动系统故障树分析 .....          | 220        |
| 11.5.1 故障树的集对分析模型 .....                  | 220        |
| 11.5.2 故障树集对模型分析流程 .....                 | 222        |
| 11.5.3 砂轮主轴转动系统的集对故障树分析 .....            | 222        |
| 11.6 本章小结 .....                          | 225        |
| 参考文献 .....                               | 226        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 12 章 集对分析在智能社会中的应用 .....           | 227 |
| 12.1 引言 .....                        | 227 |
| 12.1.1 智能社会 .....                    | 227 |
| 12.1.2 集对分析用于智能社会的基本原理 .....         | 227 |
| 12.2 基于集对分析的干道绿波协调控制方案优选 .....       | 227 |
| 12.2.1 交通干道绿波协调问题 .....              | 228 |
| 12.2.2 给定速度下的绿波协调模型 .....            | 228 |
| 12.2.3 行驶速度与绿波带宽联系度 .....            | 230 |
| 12.2.4 面向速度的绿波协调控制 .....             | 232 |
| 12.2.5 应用案例 .....                    | 233 |
| 12.3 基于集对分析的隐私保护度量研究 .....           | 240 |
| 12.3.1 隐私保护及其度量研究 .....              | 240 |
| 12.3.2 隐私保护度量的集对分析 .....             | 242 |
| 12.3.3 不同隐私保护度量方法比较 .....            | 250 |
| 12.3.4 结语 .....                      | 251 |
| 12.4 基于集对分析的电力系统黑启动决策 .....          | 251 |
| 12.4.1 黑启动 .....                     | 251 |
| 12.4.2 基于 Vague 集向联系数转换的黑启动群决策 ..... | 252 |
| 12.4.3 实例 .....                      | 254 |
| 12.5 基于集对联系度的主题关注网络社区发现 .....        | 257 |
| 12.5.1 主题关注网络社区 .....                | 257 |
| 12.5.2 基本思路 .....                    | 258 |
| 12.5.3 模型 .....                      | 258 |
| 12.5.4 算法 .....                      | 261 |
| 12.5.5 实验 .....                      | 263 |
| 12.5.6 结语 .....                      | 269 |
| 12.6 本章小结 .....                      | 269 |
| 参考文献 .....                           | 270 |
| 后记 .....                             | 271 |