

/// 粒计算研究丛书 ///

三支决策： 复杂问题求解方法与实践

Three-Way Decisions:
Methods and Practices for Complex Problem Solving

于 洪 王国胤 李天瑞 著
梁吉业 苗夺谦 姚一豫



科学出版社

粒计算研究丛书

三支决策：复杂问题求解方法与实践

Three-Way Decisions: Methods and Practices for
Complex Problem Solving

于 洪 王国胤 李天瑞 著
梁吉业 苗夺谦 姚一豫

科学出版社

北 京

内 容 简 介

决策是人类生产和生活中的普遍行为。当人们在接受、拒绝、暂不做决定三者之间权衡利弊时,便自发地运用了一种三支策略。为了系统地研究计算机科学、医学、管理学、心理学、认知科学中普遍存在的三支策略和方法,一种新的用于复杂问题求解的三支决策计算方法逐渐得到广大学者的关注,并逐渐形成其理论体系。近年来,该理论已应用于决策分析、不确定性分析、聚类分析、信息过滤、多标签分类、多维决策模型和 Web 支持系统等领域的研究工作中。本书主要介绍三支决策理论、模型与方法,以及在工程、管理等领域中的实践,并力图展现三支决策的最新研究成果。

本书可供信息科学技术、计算机科学与技术、智能科学与技术、自动化、控制科学与工程、管理科学与工程和应用数学等专业的教师、研究生、高年级本科生和科研人员、工程技术人员参考。



I. ①三… II. ①于… III. ①决策支持系统—研究 IV. ①TP399

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 166785 号

责任编辑:任 静 / 责任校对:郭瑞芝

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>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 7 月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2015 年 7 月第一次印刷 印张:22 1/4

字数:423 000

定价:88.00 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 钹

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：（按拼音排序）

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 张 铃

张文修 周献忠 祝 峰

秘 书：王睿智 张清华

丛 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

三支决策现象在人类社会生活中普遍存在。比如,当人们在接受、拒绝、暂不做决定三者之间权衡利弊时,便自发地运用了一种三支策略。朴素的三支策略思想简单、方法有效,却没有系统的、完善的理论支撑,始终被视为一种常识或经验。为了系统地研究计算机科学、医学、管理学、心理学、认知科学中普遍存在的三支策略和方法,并建立一个新的三支计算框架,姚一豫教授提出了三支决策。三支决策主要思想是将整体分为三个独立的部分,对不同部分采用不同的处理方法,为复杂问题求解提供一种有效的策略与方法。

近几年来,关于三支决策的研究引起了国内外学者的广泛关注。2013年,三支决策与粒计算(Three-way Decisions and Granular Computing)国际研讨会在成都召开;2014年与2015年在第九届与第十届国际粗糙集与知识技术学会上(Rough Sets and Knowledge Technology)相继举办了三支决策、不确定性与粒计算国际研讨会(Three-way Decisions, Uncertainty and Granular Computing)。第一届决策粗糙集研讨会作为中国 Rough 集与软计算学术会议(CRSSC2011)的专题讨论会在南京召开,引起了与会学者特别是众多青年学者的广泛关注,相关主题成为会议讨论热点。随后,在合肥召开的 CRSSC2012 会议上举办了第二届决策粗糙集研讨会。三支决策拓展了决策粗糙集的思想,因此,第三届研讨会更名为三支决策研讨会,在漳州 CRSSC2013 会议中举办;第四届与第五届三支决策研讨会于 2014 年和 2015 年相继在昆明与唐山召开的 CRSSC 会议上举办。

关于三支决策的理论、模型与应用研究获得了一定的进展,例如,决策分析与不确定性、三支决策聚类分析、垃圾邮件过滤、三支决策空间、代价敏感三支决策、三支决策与博弈论、多粒度三支决策、序列三支决策、动态三支决策、三支概念分析、三支决策与逻辑、基于 Web 的应用、多标准的分类和多视角的决策模型等。自 2011 年以来,李华雄等编著了《决策粗糙集理论及其研究进展》、贾修一等编著了《三支决策理论与应用》、刘盾等编著了《三支决策与粒计算》,这些著作极大地推动了三支决策的发展。国际知名 SCI 期刊《Knowledge-Based Systems》、《International Journal of Approximate Reasoning》和《Fundamenta Informaticae》等也先后出版相关专刊推动该领域的发展。为了让更多的学者了解三支决策的理论与应用,进一步促进该领域的发展,本书汇集了三支决策研究团队的最新成果。

全书共 18 章。第 1 章为三支决策概述,由姚一豫和于洪撰写;第 2 章为三支决策空间,由胡宝清撰写;第 3 章为基于概率粗糙集的动态三支决策方法,由罗川、李天瑞和陈红梅撰写;第 4 章为基于区间数决策粗糙集的三支决策,由梁德翠和刘盾撰

写；第5章为构造型的多粒度三支决策模型，由陈洁、张燕平和赵姝撰写；第6章为三支决策聚类，由于洪和王国胤撰写；第7章为基于三支决策的多粒度文本情感分类，由张志飞、王睿智和苗夺谦撰写；第8章为基于三支决策的高利润项集增量挖掘，由闵帆、张智恒、李瑶和张恒汝撰写；第9章为代价敏感序贯三支决策在图像识别中的应用，由张里博、李华雄、周献中和黄兵撰写；第10章为基于基尼目标函数的三支决策域确定，由张燕和姚静涛撰写；第11章为基于三支决策的中文文本情感分析，由周哲、贾修一和商琳撰写；第12章为基于三支决策的支持向量机增量学习方法，由徐久成、刘洋洋、杜丽娜和孙林撰写；第13章为基于自反概率模糊粗糙集的三支决策，由马建敏撰写；第14章为三支决策的集对分析数学模型及应用，由刘保相和李言撰写；第15章为基于直觉模糊集和区间集的三支决策研究，由张红英和杨淑云撰写；第16章为基于三支决策的微博主观文本识别研究，由朱艳辉和田海龙撰写；第17章为形式概念的三支表示，由祁建军、魏玲和姚一豫撰写；第18章为模糊三支决策，由杨海龙撰写。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目（项目编号：61379114、61272060、61175047）、重庆市自然科学基金项目（项目编号：CSTC2013jjB40003）和中央财政支持地方高校发展专项资金项目的资助。在这里，对国家自然科学基金委员会、重庆市科学技术委员会和国家财政部表示诚挚的感谢。本书是国内外三支决策研究领域学者共同努力的结果，没有这些支持，本书不可能出版。同时，也要感谢管延勇、徐伟华、张楠、王洪凯、郎广名、徐菲菲、张清华、胡峰、曾宪华、刘群、周应华、杨勇等专家为书稿审稿所付出的辛勤劳动。感谢每一位为本书编写和出版付出努力的同仁，正是由于你们的辛勤劳动和大力支持，本书才得以顺利出版。

最后，欢迎广大学者参与三支决策研究，您可以访问三支决策主页（<http://www2.cs.uregina.ca/~twd/>）获取更多的信息。对书中的不足之处，恳请批评指正（联系方式：yuhong@cqupt.edu.cn或 hongyu.cqupt@gmail.com）。

于 洪

2015年6月

目 录

前言

第 1 章 三支决策概述	1
An Introduction to Three-Way Decisions	
1.1 三支决策思想	1
1.1.1 中庸与三支决策	1
1.1.2 三支决策复杂问题求解实例	2
1.1.3 三支决策问题求解的普遍性	6
1.2 三支决策的认知基础及意义	7
1.3 三支决策	8
1.3.1 三支决策描述	8
1.3.2 基于评价函数的三支决策	9
1.4 基于集合论构造三支决策	10
1.4.1 区间集与三支决策	10
1.4.2 粗糙集与三支决策	11
1.4.3 概率粗糙集与三支决策	12
1.4.4 模糊集与三支决策	13
1.4.5 阴影集与三支决策	13
1.5 本章小结	14
致谢	14
参考文献	15
第 2 章 三支决策空间	20
Three-Way Decision Space	
2.1 引言	20
2.2 三支决策空间	21
2.2.1 三支决策的度量	22
2.2.2 三支决策的条件	22
2.2.3 三支决策的决策评价函数	23
2.2.4 三支决策空间	25
2.3 三支决策空间上的三支决策	25
2.3.1 三支决策	25

2.3.2	乐观多粒度三支决策	26
2.3.3	悲观多粒度三支决策	26
2.4	基于 Fuzzy 集的三支决策	27
2.4.1	基于一般 Fuzzy 集的三支决策	27
2.4.2	基于区间值 Fuzzy 集的三支决策	28
2.4.3	基于 Fuzzy 关系的三支决策	28
2.4.4	基于阴影集的三支决策	28
2.4.5	基于区间集的三支决策	29
2.5	基于随机集的三支决策	30
2.5.1	随机集	30
2.5.2	决策度量域为集代数的三支决策	30
2.5.3	决策度量域为 $[0, 1]$ 的三支决策	30
2.6	基于粗糙集的三支决策	31
2.6.1	基于 Fuzzy 决策粗糙集的三支决策	31
2.6.2	基于区间值 Fuzzy 决策粗糙集的三支决策	32
2.7	多粒度三支决策空间的转化	34
2.7.1	加权平均多粒度三支决策	34
2.7.2	max-min 平均多粒度三支决策	35
2.8	三支决策空间的动态三支决策	35
2.8.1	动态二支决策	35
2.8.2	动态三支决策	38
2.9	三支决策空间的双评价函数三支决策	39
2.10	三支决策空间上的其他三支决策	41
2.10.1	三支决策空间上 $0 \leq \beta \leq \alpha \leq 1$ 的三支决策	41
2.10.2	三支决策空间上含拒绝决策域的三支决策	43
2.11	本章小结	43
	致谢	45
	参考文献	45
第 3 章	基于概率粗糙集的动态三支决策方法	49
	Dynamic Three-Way Decision Method Based on Probabilistic Rough Sets	
3.1	引言	49
3.2	基于概率粗糙集的三支决策模型	50
3.3	基于概率粗糙集的动态三支决策方法	52
3.4	基于概率粗糙集的增量式三支决策算法	59
3.5	实例分析	63

3.6 本章小结	65
致谢	65
参考文献	66
第4章 基于区间数决策粗糙集的三支决策	68
Three-Way Decisions with Interval-Valued Decision-Theoretic Rough Sets	
4.1 区间数决策粗糙集的基础模型	68
4.1.1 区间数决策粗糙集的基本理论模型	68
4.1.2 区间数决策粗糙集与决策粗糙集的比较	70
4.2 基于确定性排序方法的区间数决策粗糙集决策机制	71
4.3 基于可能度排序方法的区间数决策粗糙集决策机制	74
4.3.1 基于可能度排序方法的决策规则	74
4.3.2 决策规则准则	76
4.4 基于优化视角的区间数决策粗糙集决策机制	83
4.5 实验分析	87
4.5.1 对比研究	87
4.5.2 选取区间数决策粗糙集分析方法的准则	90
4.6 本章小结	90
致谢	91
参考文献	91
第5章 构造型的多粒度三支决策模型	93
Constructive Multi-Granular Three-Way Decision Model	
5.1 引言	93
5.2 三支决策相关理论	94
5.2.1 基于决策粗糙集的三支决策模型	94
5.2.2 CCA 简介	95
5.2.3 基于 CCA 的三支决策模型	96
5.3 基于 CCA 的代价敏感三支决策模型	96
5.3.1 引入代价敏感的三支决策模型	96
5.3.2 实验结果及分析	97
5.4 基于 CCA 的鲁棒性三支决策模型	101
5.4.1 基于 CCA 的鲁棒性三支决策模型	101
5.4.2 实验结果及分析	102
5.5 边界域的多粒度挖掘模型	105
5.5.1 基于覆盖算法的多粒度思想	105
5.5.2 边界域的多粒度挖掘	106

5.5.3 实验结果分析	107
5.6 本章小结	110
致谢	110
参考文献	110
第 6 章 三支决策聚类	112
Three-Way Decision Clustering	
6.1 引言	112
6.2 不确定性聚类	113
6.3 聚类问题的三支决策描述	114
6.3.1 三支决策聚类的提出	114
6.3.2 三支决策的区间集描述	115
6.3.3 三支决策聚类的表示	116
6.4 三个域的关系	117
6.5 重叠域细分在社交网络中的应用	120
6.6 动态三支决策聚类	123
6.6.1 增量式数据聚类的相关定义	124
6.6.2 初始聚类	125
6.6.3 创建搜索树	127
6.6.4 增量聚类	128
6.6.5 实验分析	130
6.7 本章小结	132
致谢	133
参考文献	133
第 7 章 基于三支决策的多粒度文本情感分类	136
Multi-Granularity Sentiment Classification Based on Three-Way Decisions	
7.1 引言	136
7.2 粗糙集和三支决策	137
7.3 上下文有关的词语情感分类	138
7.3.1 上下文有关反义词对	138
7.3.2 基于三支决策的上下文有关词语情感分类	139
7.3.3 实验结果与分析	141
7.4 主题依赖的句子情感分类	143
7.4.1 情感先验	143
7.4.2 基于三支决策的主题依赖句子情感分类	144
7.4.3 实验结果与分析	145

7.5	多标记的篇章情绪分类	148
7.5.1	多标记情绪	148
7.5.2	基于三支决策的多标记篇章情绪分类	149
7.5.3	实验结果与分析	151
7.6	本章小结	153
	致谢	153
	参考文献	153
第 8 章	基于三支决策的高利润项集增量挖掘	156
	Three-Way Based High Utility Itemset Incremental Mining	
8.1	引言	156
8.2	高利润项集挖掘	157
8.2.1	数据模型	157
8.2.2	相关定义	158
8.2.3	效用约束的特性	159
8.2.4	高效用项集挖掘算法	160
8.3	三支决策	163
8.3.1	三支决策理论	163
8.3.2	研究现状	164
8.4	基于三支决策的高利润项集增量挖掘	165
8.4.1	三支决策模型	165
8.4.2	增量更新算法	166
8.4.3	同步机制	168
8.5	算法性能评估	171
8.5.1	数据集	171
8.5.2	实验结果和评价	172
8.6	本章小结	174
	致谢	174
	参考文献	174
第 9 章	代价敏感序贯三支决策在图像识别中的应用	177
	Cost-Sensitive Sequential Three-Way Decision and Its Application in Image Recognition	
9.1	引言	177
9.2	三支决策及其应用	178
9.3	决策方法及决策代价	179
9.4	人脸图像识别与序贯决策	182

9.5	图像的子空间粒度特征提取法	184
9.5.1	序贯子空间粒度特征提取法	184
9.5.2	PCA 子空间粒度特征提取法	185
9.5.3	LPP 子空间粒度特征提取法	186
9.6	代价敏感的序贯三支决策方法	187
9.7	实验分析与验证	189
9.7.1	数据库介绍及实验设置	189
9.7.2	子空间粒度特征人脸图像	190
9.7.3	序贯决策的代价与错误率	191
9.7.4	序贯决策中的边界域变化趋势	194
9.8	本章小结	195
	致谢	195
	参考文献	195
第 10 章	基于基尼目标函数的三支决策域确定	199
	Gini Objective Functions for Determining Three-Way Decision Regions	
10.1	引言	199
10.2	三支决策域及其评价	200
10.2.1	粗糙集构造三支决策域	200
10.2.2	评价三支决策域	201
10.3	基尼系数	202
10.3.1	一般概率分布的基尼系数	203
10.3.2	三支决策域的基尼系数	205
10.3.3	决策域基尼系数的变化分析	206
10.4	基尼目标函数	208
10.4.1	将三个决策域的基尼系数作为一个整体	208
10.4.2	立即决策域的基尼系数对抗不承诺域的基尼系数	209
10.4.3	分别考虑每一个决策域的基尼系数	211
10.5	示例	212
10.6	本章小结	215
	致谢	215
	参考文献	215
第 11 章	基于三支决策的中文文本情感分析	219
	Emotion Analysis of Chinese Text Based on Three-Way Decisions	
11.1	引言	219
11.2	问题描述	220

11.3	准备工作——情感词典的构建	221
11.4	三支决策在中文文本情感分析中的应用	223
11.4.1	三支决策分类	223
11.4.2	对边界域的后续处理	225
11.5	实验结果	226
11.6	本章小结	228
	致谢	228
	参考文献	228
第 12 章	基于三支决策的支持向量机增量学习方法	231
	Three-Way Decisions-Based Incremental Learning Method for Support Vector Machine	
12.1	引言	231
12.2	背景知识	232
12.2.1	SVM 增量学习	232
12.2.2	三支决策	233
12.3	基于三支决策的 SVM 增量学习方法	234
12.3.1	三支决策中条件概率的构建	234
12.3.2	基于三支决策的 SVM 边界向量构建	237
12.3.3	基于三支决策的 SVM 增量学习算法	238
12.4	实验与分析	239
12.4.1	实验数据描述	239
12.4.2	数据预处理	240
12.4.3	评价指标	240
12.4.4	实验结果及分析	240
12.5	本章小结	242
	致谢	242
	参考文献	243
第 13 章	基于自反概率模糊粗糙集的三支决策	245
	Three-Way Decisions with Reflexive Probabilistic Rough Fuzzy Sets	
13.1	引言	245
13.2	模糊集与概率粗糙集	246
13.2.1	模糊集	246
13.2.2	概率粗糙集	247
13.3	自反概率粗糙模糊集	249
13.4	自反概率粗糙模糊集的三支决策	251

13.4.1	贝叶斯决策过程	251
13.4.2	自反概率粗糙模糊集的三支决策	251
13.5	本章小结	255
	致谢	255
	参考文献	255
第 14 章	三支决策的集对分析数学模型及应用	259
	Set Pair Analysis in Three-Way Decision Model	
14.1	引言	259
14.2	集对分析联系数	259
14.2.1	集对与联系度	260
14.2.2	联系数	260
14.2.3	联系变量与联系函数	261
14.3	三支决策的集对分析数学模型	261
14.3.1	集对联系数的重新定义	262
14.3.2	三支决策的集对分析模型的建立	263
14.3.3	模型向二支决策的转化	264
14.3.4	模型的实现步骤和程序	264
14.4	基于三支决策集对分析模型的稿件评审问题	265
14.5	本章小结	266
	致谢	267
	参考文献	267
第 15 章	基于直觉模糊集和区间集的三支决策研究	269
	Three-Way Decisions Based on Intuitionistic Fuzzy Sets and Interval Sets	
15.1	引言	269
15.2	阴影集与三支决策的关系	270
15.2.1	基于面积的阴影集理解	270
15.2.2	基于模糊熵的阴影集理解	271
15.2.3	基于三支决策的阴影集理解	272
15.3	直觉模糊集的三支近似	273
15.3.1	基于直觉模糊集的三支决策	274
15.3.2	直觉模糊集的三支近似	275
15.4	区间集上的包含度理论	276
15.4.1	区间集	277
15.4.2	区间集上的序关系	280
15.4.3	区间集上的包含度	281

15.5 本章小结	283
致谢	283
参考文献	283
第 16 章 基于三支决策的微博主观文本识别研究	286
Research on Identifying Micro-blog Subjective Text Based on Three-Way Decisions	
16.1 引言	286
16.2 三支决策理论	287
16.2.1 三支决策理论概述	287
16.2.2 微博主观文本三支决策解释	289
16.2.3 一种微博主观文本三支决策阈值解释	290
16.3 特征抽取	290
16.3.1 候选主观特征选择	290
16.3.2 微博主观特征提取与加权	291
16.4 二阶段三支决策分类器设计	292
16.4.1 基于 NB 的三支决策分类器设计	292
16.4.2 基于 SVM 的三支决策分类器设计	292
16.4.3 基于 KNN 的三支决策分类器设计	293
16.5 实验与分析	293
16.5.1 评价标准	293
16.5.2 基于 NB 的三支决策分类器实验	293
16.5.3 基于 SVM 的三支决策分类器实验	295
16.5.4 基于 KNN 的三支决策分类器实验	297
16.6 本章小结	298
致谢	298
参考文献	298
第 17 章 形式概念的三支表示	300
Three-Way Formation of Formal Concepts	
17.1 引言	300
17.2 预备知识	301
17.2.1 子集对的运算	301
17.2.2 二值信息表	302
17.3 正算子与概念格	302
17.4 负算子与补概念格	304
17.5 三支算子与三支概念格	305
17.5.1 三支算子	305

17.5.2 对象导出的三支概念格	309
17.5.3 属性导出的三支概念格	310
17.6 本章小结	312
致谢	312
参考文献	312
第 18 章 模糊三支决策	314
Fuzzy Three-Way Decisions	
18.1 从三支决策到模糊三支决策	314
18.2 基于评价函数的模糊三支决策	317
18.2.1 带有一对基于偏序集的评价函数的模糊三支决策	317
18.2.2 带有一个基于偏序集的评价函数的模糊三支决策	320
18.2.3 带有一个基于全序集 $(\mathbf{R}, \leq)$ 的评价函数的模糊三支决策	321
18.3 模糊三支决策的两个模型	323
18.3.1 直觉模糊集与模糊三支决策	323
18.3.2 粗糙模糊集与模糊三支决策	324
18.4 本章小结	325
致谢	325
参考文献	325
附录 三支决策理论与应用已有成果文献	327