

广义信息集成算子 及其应用

周礼刚 陈华友 著



科学出版社

广义信息集成算子及其应用

周礼刚 陈华友 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书研究几类广义信息集成算子及其应用,通过构建偏差模型,提出几种实数型广义信息集成算子,并构建相应的权重确定模型,将一些常用的信息集成算子进行推广,构建几类区间型广义信息集成算子、语言型广义信息集成算子和直觉模糊型广义信息集成算子;将决策者的决策态度融入距离测度,提出连续区间距离测度、语言连续区间距离测度和连续区间直觉模糊距离测度;讨论这些广义信息集成算子和距离测度的性质;探讨基于几类广义信息集成算子的多属性决策方法在投资选择、人力资源管理、综合评价等领域的应用。

本书可作为高等院校应用数学、运筹学、统计学、管理科学和系统工程专业的高年级本科生和研究生教材,也可供工程技术人员、管理人员和相关学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

广义信息集成算子及其应用/周勃刚,陈华友著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-044105-4

I. ①广… ①周… ②陈… Ⅱ. ①模糊数学②对策论

IV. ①O159②O225

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 078207 号

责任编辑:赵彦超 李静科/责任校对:钟 洋
责任印制:徐晓晨/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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015 年 5 月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:430 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

多属性决策作为现代决策理论的一个重要分支,其理论与方法广泛应用于经济、管理、军事、工程等诸多领域,如经济效益评价、供应商选择、武器装备性能评价、工程招标与投标等.多属性决策的核心问题是如何利用构建信息集成算子来将属性值进行集成.一个有效的信息集成算子能够更加明确地反映出决策结果,使多种属性值在进行综合应用时不会发生信息缺失现象,从而能正确体现决策的效果.因此,多属性决策方法研究的一个重要内容就是对信息集成算子及其相关问题进行研究.

许多学者对信息集成算子及其相关问题进行了广泛深入的研究,包括多种信息集成算子的概念和性质、信息集成算子的推广、信息集成算子权重的确定方法等.但是基于集成算子的不确定性,多属性决策理论方法等问题的研究仍然不够完善,还有许多值得我们进一步探讨的问题,同时其应用领域也有待进一步拓展.

本书从常用的几类信息集成算子出发,从不同角度提出几类广义信息集成算子,并研究其在多属性决策中的应用.全书共分6章,在章节关系上,以信息表现形式的模糊程度扩展深入为主线;在各章结构体系上,以信息集成算子的推广类型及决策方法为研究主线.

第1章绪论介绍研究背景和研究意义、国内外研究现状以及本书的主要研究内容和技术路线.第2章介绍几类常用的信息集成算子,包括广义有序加权平均算子、区间信息集成算子、语言信息集成算子、直觉模糊信息集成算子、距离测度和orness测度等.第3章基于罚函数通过构建不同的偏差函数提出六种实数型广义信息集成算子,研究了其在集结过程中的权重确定方法,同时提出广义power平均算子,以及基于这些实数型广义信息集成算子的多属性决策方法.第4章将常见的信息集成算子推广到区间信息形式,提出不确定广义有序加权平均算子、不确定广义power有序加权平均算子、连续区间广义信息集成算子、连续区间quasi有序加权平均算子和连续区间有序加权距离测度,以及基于这些算子的多属性决策方法.第5章将常用的信息集成算子推广到语言信息形式,提出广义语言信息集成算子、语言广义power平均算子、诱导语言广义信息集成算子、语言连续区间有序加权距离测度,并提出基于这些算子的多属性决策方法.第6章将常用的信息集成算子推广到直觉模糊信息形式,提出广义直觉模糊power平均算子、直觉模糊有序加权余弦相似测度、连续区间直觉模糊有序加权平均算子、连续区间直觉模糊有序加权距离测度,以及基于这些算子的多属性决策方法.

本书是在周礼刚的博士学位论文《几类广义信息集成算子及其在多属性决策中的应用》的基础上经过完善与扩充而成的。本书还包括周礼刚在美国南加利福尼亚大学访问期间的一些研究工作。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金 (项目编号 71371011, 71301001)、教育部高等学校博士点基金 (项目编号 20123401110001)、留学回国人员科研启动项目、安徽省振兴计划优秀青年人才支持计划项目、安徽省自然科学基金 (项目编号 1308085QG127)、安徽省高校省级自然科学研究重点项目 (项目编号 KJ2012A026)、安徽大学博士科研启动基金的资助。

本书的出版得到了科学出版社的大力支持和帮助, 作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 书中难免存在缺点和不足, 恳请读者给予批评指正。

作 者

2015 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 实数型信息集成算子及其应用研究综述	3
1.2.2 区间型信息集成算子及其应用研究综述	5
1.2.3 语言型信息集成算子及其应用研究综述	7
1.2.4 直觉模糊型信息集成算子及其应用研究综述	10
1.2.5 信息集成算子权重确定方法研究综述	12
1.3 主要研究内容和技术路线	12
第 2 章 几类常用的信息集成算子	17
2.1 GOWA 算子和罚函数	17
2.1.1 OWA 算子、OWGA 算子和 OWHA 算子	17
2.1.2 GOWA 算子	19
2.1.3 基于罚函数的 GOWA 算子	20
2.2 区间信息集成算子	21
2.2.1 区间数及其运算法则	21
2.2.2 不确定有序加权平均算子	21
2.2.3 连续区间有序加权平均算子	23
2.3 语言信息集成算子	25
2.3.1 语言变量及其运算法则	25
2.3.2 区间语言变量及其运算法则	26
2.3.3 LOWA 算子和 ULLOWA 算子	27
2.4 直觉模糊信息集成算子	29
2.4.1 直觉模糊数及其运算法则	29
2.4.2 区间直觉模糊数及其运算法则	30
2.4.3 直觉模糊信息集成算子	31
2.5 距离测度和 orness 测度	32
2.5.1 距离测度	32
2.5.2 orness 测度	33

2.6 本章小结	35
第 3 章 实数型广义信息集成算子及其应用	36
3.1 广义有序加权对数平均算子及其应用	36
3.1.1 GOWLA 算子和 GOWHLA 算子及其性质	36
3.1.2 确定 GOWHLA 算子权重的非线性规划模型	45
3.1.3 基于 GOWHLA 算子的多属性决策方法及应用	47
3.2 广义有序加权比例平均算子及其应用	50
3.2.1 GOWPA 算子及其性质	51
3.2.2 GOWPA 算子的 orness 测度	60
3.2.3 确定 GOWPA 算子权重的广义最小平方法	66
3.2.4 基于 GOWPA 算子的多属性决策方法及应用	67
3.3 广义有序加权指数比例平均算子及其应用	72
3.3.1 GOWEPA 算子及其性质	73
3.3.2 GOWEPA 算子的 orness 测度	82
3.3.3 确定 GOWEPA 算子权重的最小指数平方法	89
3.3.4 基于 GOWEPA 算子的多属性决策方法及应用	90
3.4 广义有序加权对数比例平均算子及其应用	93
3.4.1 GOWLPA 算子及其性质	93
3.4.2 确定 GOWLPA 算子权重的广义对数 χ^2 法	107
3.4.3 基于 GOWLPA 算子的多属性决策方法及应用	108
3.5 广义有序加权对数调和平均算子及其应用	113
3.5.1 GOWLHA 算子及其性质	113
3.5.2 GOWLHA 算子的 orness 测度	124
3.5.3 确定 GOWLHA 算子权重的广义最小平方法	125
3.5.4 基于 GOWLHA 算子的多属性决策方法及应用	127
3.6 广义有序加权多重平均算子及其应用	131
3.6.1 GOWMA 算子及其性质	131
3.6.2 确定 GOWMA 算子权重的广义最小平方法	142
3.6.3 基于 GOWMA 算子的多属性决策方法及应用	144
3.7 广义 power 集成算子及其应用	145
3.7.1 POWA 算子及其性质	146
3.7.2 GPA 算子及其性质	148
3.7.3 GPOWA 算子	150
3.7.4 基于 GPOWA 算子的多属性决策方法及应用	152

3.8 本章小结	153
第 4 章 区间型广义信息集成算子及其应用	156
4.1 不确定广义有序加权平均算子及其应用	156
4.1.1 UGOWA 算子及其性质	156
4.1.2 UGOWA 算子的权重确定模型	170
4.1.3 基于 UGOWA 算子的多属性决策方法及应用	173
4.2 不确定广义 power 有序加权平均算子及其应用	177
4.2.1 不确定 power 有序加权平均算子	177
4.2.2 不确定广义 power 平均算子及其性质	178
4.2.3 不确定广义 power 有序加权平均算子及其性质	181
4.2.4 基于 UGPOWA 算子的多属性决策方法及应用	182
4.3 连续区间广义信息集成算子及其应用	186
4.3.1 C-GOWA 算子及其性质	186
4.3.2 C-GOWA 算子的推广	192
4.3.3 基于 C-GOWA 算子的多属性决策方法及应用	195
4.4 连续区间 quasi 有序加权平均算子及其应用	197
4.4.1 C-QOWA 算子及其性质	197
4.4.2 C-QOWA 算子的 orness 测度	203
4.4.3 C-QOWA 算子的推广	208
4.4.4 基于 CC-QOWA 算子的多属性决策方法及其应用	211
4.5 COWD 测度及其在多属性决策中的应用	214
4.5.1 COWD 测度及其性质	214
4.5.2 COWD 测度的推广	218
4.5.3 基于 COWD 测度的多属性决策方法及应用	219
4.6 本章小结	224
第 5 章 语言型广义信息集成算子及其应用	226
5.1 诱导语言有序加权平均算子	226
5.1.1 IOWA 算子	226
5.1.2 ILOWA 算子	227
5.2 语言广义信息集成算子及其应用	228
5.2.1 LGOWA 算子及其性质	228
5.2.2 LGOWA 算子的推广	232
5.2.3 基于 LGOWA 算子的多属性决策方法及其应用	234
5.3 语言广义 power 平均算子及其应用	236
5.3.1 LGPA 算子及其性质	236

5.3.2 基于 LGPOWA 算子的语言多属性群决策方法及应用	243
5.4 诱导语言广义信息集成算子及其应用	245
5.4.1 ILGOWA 算子	246
5.4.2 ILGOWA 算子的推广	247
5.4.3 基于 ILGHA 算子和 ILGOWA 算子的语言多属性决策方法	250
5.5 语言连续区间有序加权距离测度及其应用	253
5.5.1 LCOWD 测度及其性质	253
5.5.2 LCOWD 测度的推广	259
5.5.3 基于 LCOWD 测度多属性决策方法及应用	260
5.6 本章小结	267
第 6 章 直觉模糊型广义信息集成算子及其应用	269
6.1 广义直觉模糊 power 平均算子及其应用	269
6.1.1 GIFPOWA 算子及其性质	269
6.1.2 基于 GIFPOWA 算子的多属性决策方法及应用	274
6.2 直觉模糊有序加权余弦相似测度及其应用	277
6.2.1 IFOWCS 测度及其性质	277
6.2.2 IFOWCS 测度的推广	281
6.2.3 基于 IFOWCS 测度的多属性决策方法及应用	285
6.3 连续区间直觉模糊有序加权平均算子及其应用	290
6.3.1 C-IVIFOWA 算子及其性质	290
6.3.2 C-IVIFOWA 算子的推广	294
6.3.3 基于 CC-IVIFOWA 算子的多属性决策方法及应用	300
6.4 连续区间直觉模糊有序加权距离测度及其应用	304
6.4.1 C-IFOWD 测度及其性质	304
6.4.2 C-IFOWD 测度推广	309
6.4.3 基于 C-IFOWD 测度的多属性决策方法及应用	310
6.5 本章小结	315
参考文献	317
索引	334

第1章 绪 论

本章主要介绍广义信息集成算子的研究背景与研究意义,分析国内外研究现状,并阐述本书的主要研究内容和技术路线.

1.1 研究背景和研究意义

决策是为了实现某一特定系统的预定目标,在占有信息和经验的基础上,根据客观条件,提出各种备选方案,应用科学的理论和方法,进行必要的判断、分析和计算,按照某种准则,从中选出最满意的方案,并对方案的实施过程进行检查,直到目标实现的全过程^[1].

对于决策中的备选方案,其固有的特征、品质或性能称为方案的属性,每一个方案都可以用一系列的属性来描述,用以表征其水平.例如,购买汽车时,要考虑汽车的安全性、价格、舒适度、品牌、配置、噪声等方面因素,这些因素即为汽车的评价属性.这些属性具有两个显著特点:一是属性之间具有不可公度性,也就是说属性之间没有统一的量纲,难以用统一的标准进行衡量;二是某些属性之间存在一定的矛盾,安全性较高的汽车往往价格较高,价格较低的汽车其安全性也相对较低.因此需要克服属性之间的不可公度性,协调属性间的矛盾,多属性决策正是解决该问题的有效工具.

多属性决策是指在给定数量的备选方案的基础上,将每个方案在多个属性下的属性偏好结果利用数学模型进行综合集成得到综合属性值,并将备选方案按照综合属性值大小进行排序,从而选出最满意方案的过程.多属性决策作为现代决策理论的一个重要分支,其理论与方法已经广泛应用于经济、管理、军事、工程等诸多领域,如经济效益评价^[2]、供应商选择^[3]、武器装备性能评价^[2]、工程招标与投标^[4,5]等.

目前,多属性决策理论方法和应用方面的研究已经取得了大量的重要性成果^[1-14].截至2014年10月,中国知网数据库中收录的关键词为“多属性决策”的学术论文共计2376篇,其中2009年以来的学术论文就高达1417篇.若在Web of Science数据库中以“multi attribute decision making”为主题词进行检索,则可得到该数据库每年出版的相关文献数量和每年相关文献的引用次数,结果如图1.1.1所示.

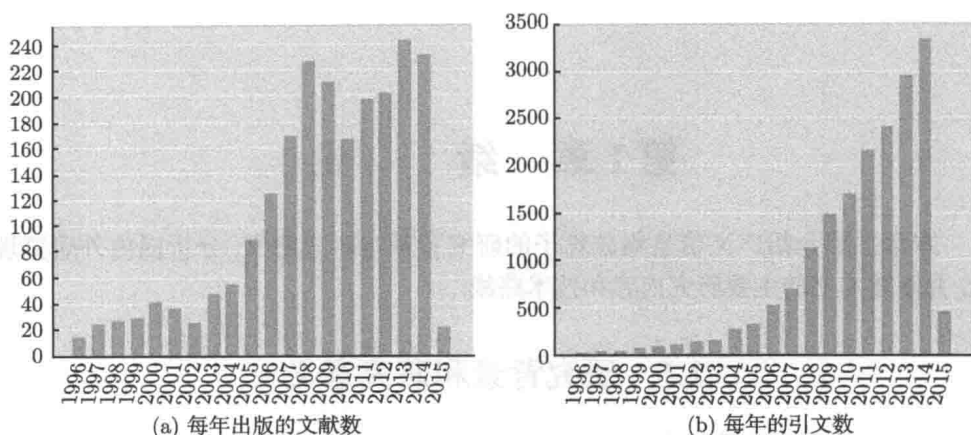


图 1.1.1 Web of Science 数据库每年出版的文献数量和引用次数

由图 1.1.1 可以看出, 2006 年以后, 每年被 Web of Science 收录的关于多属性决策方面的外文文献均超过 120 篇, 多属性决策方面的研究成果被引用的次数呈逐年递增的趋势, 尤其是 2010 年以来, 每年的引用次数均在 1500 次以上. 显然, 多属性决策的理论和应用研究不论是在国内还是在国际上都引起了越来越多的专家学者的关注, 其影响广泛而深远.

一方面, 随着现代社会经济的不断发展, 企业的经营规模不断扩大, 经营方式日益趋于多元化, 其面临的决策问题也表现得越来越复杂, 加上人类思维的模糊性, 导致面向实际对象的多属性决策问题中属性值可能不以实数形式存在, 而常常以不确定的信息形式给出, 如区间模糊数^[2]、语言变量^[5,13]、区间语言变量^[5]、直觉模糊变量^[11]等.

模糊数是美国加利福尼亚大学 Zadeh 教授于 1965 年提出的, 用来度量无法以精确信息或准确的概率分布描述的事物^[14]. 区间模糊数, 简称为区间数^[2]. 多属性决策中属性值若不能以精确数给出, 但却可以用可能的变动范围给出, 则该属性值的表现形式即为区间数, 且认为属性值服从该区间上的均匀分布. 例如, 一段时间内金融市场中的股票价格、汇率等均可以用区间数来表示. 语言变量是对多属性决策中的属性进行评价时给出的“好”“坏”“中”等语言形式的变量^[5,13]. 例如, 在对汽车的制动性能进行评价时, 可以用“非常好”“好”“一般”“差”“非常差”等语言变量来表示; 对游戏玩家来说, 玩游戏时的体验可以用“极度爽”“非常爽”“爽”“没感觉”“不爽”“非常不爽”“极度不爽”等语言变量表示. 区间语言变量指的是用来描述属性的变量为区间形式的语言变量.

属性值用区间数来表示的决策称为区间数多属性决策, 属性值用语言变量来表示的决策称为语言多属性决策, 属性值用区间语言变量来表示的决策称为区间语言多属性决策^[5,13]. 目前关于区间数多属性决策、语言多属性决策、区间语言多

属性决策等不确定决策的研究,已经引起了学术界的广泛关注,并取得了丰硕的成果^[2,5,13]. Atanassov 于 1986 年拓展了模糊理论,提出了非隶属度和犹豫度的概念,建立直觉模糊理论^[15]. 直觉模糊变量指的是用来描述属性的变量为直觉模糊数形式. 属性值用直觉模糊数来表示的多属性决策称为直觉模糊多属性决策. 目前,关于直觉模糊多属性决策的研究和应用也已取得了丰富的成果^[9,11,16-19].

另一方面,多属性决策方法的核心问题有两个,一是各个属性值按照什么方式来进行综合,即属性值集成函数(也称为集成算子)的确定;二是在将属性值进行综合时,各个属性的重要性权重如何确定,即集成函数中各个待集成参数的重要性权重. 一个有效的集成算子能够更加明确地反映出决策结果,使多种属性值在进行综合应用时不能缺失,正确体现出决策效果. 而有效的集结权重能够正确反映出决策者的决策态度,清晰地给出体现决策效果的理论和实验依据. 因此,多属性决策方法研究的重要内容就是对信息集成算子及其属性值集成权重等问题进行研究^[20-43].

鉴于集成算子及其权重确定在多属性决策中的重要性,许多学者均进行了广泛深入的研究,包括多种信息集成算子的提出和性质研究^[2-22]、信息集成算子的推广^[23-34]、信息集成算子权重的确定^[35-43]等. 但是,广义信息集成算子及其在不确定多属性决策理论方法的应用研究仍然不够完善,有必要进一步深入研究.

1.2 国内外研究现状

集成算子和确定集结信息权重向量的方法研究是多属性决策理论研究的重要内容. 关于信息集成算子及其在多属性决策中的应用研究,现分为实数型信息集成算子及其应用、区间型信息集成算子及其应用、语言型信息集成算子及其应用、直觉模糊型信息集成算子及其应用、信息集成算子权重确定方法等五部分来阐述对多种信息集成算子的研究现状.

1.2.1 实数型信息集成算子及其应用研究综述

为了集结偏好信息,美国学者 Yager 教授于 1988 年提出了有序加权平均 (ordered weighted averaging, OWA) 算子^[20],这是一类介于最大值算子和最小值算子之间的信息集成方法,常规的加权算术平均算子是它的特例. 近年来有关这类算子的理论研究引起了众多专家学者的关注,成为国内外十分活跃的研究课题之一,并广泛应用于金融分析、项目管理、群决策等诸多领域^[2,5,9,11-13,22-34,44-55].

Chiclana 等^[25]和 Xu 和 Da^[26]将 OWA 算子进行推广,提出了有序加权几何平均 (ordered weighted geometric averaging, OWGA) 算子,以及基于 OWGA 算子的多属性决策方法;陈华友等提出了有序加权调和平均 (ordered weighted harmonic

averaging, OWHA) 算子^[56]. 2004 年, Yager 将 OWA 算子和广义平均相结合, 提出了一种广义有序加权平均 (generalized ordered weighted averaging, GOWA) 算子^[33], 该算子通过一个控制参数将多种信息集成算子综合在一个函数表达式中, 决策者可以通过控制参数来调整决策结果, 参数的不同取值对应于不同的信息集成算子, 包括 OWA 算子、OWGA 算子、OWHA 算子, 以及普通的平均数算子.

OWA 算子的另一种推广形式是诱导有序加权平均 (induced ordered weighted averaging, IOWA) 算子^[34]. IOWA 算子通过诱导变量来实现数据的集成, 它与 OWA 算子的不同点在于 IOWA 不是直接对数据进行排序, 而是对诱导变量进行排序, 诱导变量可以用于反映决策者的决策态度、决策结果的精确性等方面的性能. Xu 和 Da 又提出了诱导有序加权几何平均 (induced ordered weighted geometric averaging, IOWGA) 算子^[57], 陈华友等提出了诱导有序加权调和平均 (induced ordered weighted harmonic averaging, IOWHA) 算子^[56]. Merigó 和 Gil-Lafuente 将 IOWA 算子和 GOWA 算子相结合, 提出了一类诱导广义有序加权平均 (induced generalized ordered weighted averaging, IGOWA) 算子^[29], 并将它应用到多属性决策中. IGOWA 算子综合了 GOWA 算子和 IOWA 算子的所有特点, 决策者可以根据不同的决策问题来选用其具体形式. 另外, Torra 将 OWA 算子和加权平均相结合, 提出一种加权的 OWA (weighted OWA, WOWA) 算子^[58]. Ribeiro 和 Pereira 基于加权平均算子和 OWA 算子提出了一种广义混合平均算子^[59], Yager 考虑了准则的优先权提出了一种优先权的集成算子^[60], Beliakov 等提出了广义 Bonferroni 平均算子^[61] 并用于多准则决策中, Llamazares 提出了一种半模有序加权平均 (semi-uninorm OWA, SUOWA) 算子^[62], Emrouznejad 基于 OWA 算子权重提出了一种最优 OWA 算子^[63], Angelov 和 Yager 提出了一种密度平均算子^[64].

普通的信息集成算子在对数据信息进行集成时首先要解决的一个问题是集成权重的确定. 为了对数据进行更加客观性的处理, Yager 于 2001 年提出了一种 power 平均 (power average, PA) 算子^[65], 这种算子通过构建单个数据与其他所有数据之间的支撑度关系来构造信息集结权重, 使得信息集结的过程完全客观化. Yager 还讨论了多种支撑度函数对信息集成结果的影响, 并将 PA 算子和 OWA 算子结合, 提出了 power 有序加权平均 (POWA) 算子. POWA 算子结合了 PA 算子和 OWA 算子的优点, 在对数据信息进行集成时, 不仅考虑了数据本身和数据位置的重要性, 还强调了数据之间的关系. 2010 年, Xu 和 Yager 将 PA 算子和 POWA 算子进行了推广^[66], 提出了 power 几何平均 (power geometric averaging, PGA) 算子和 power OWGA (POWGA) 算子, 并将它们应用到多属性决策中. 姚平等^[67] 提出了 power 调和平均 (power harmonic averaging, PHA) 算子和 power 有序加权调和平均 (POWHA) 算子, 并将它们应用到多属性决策中.

实际上, 因为 power 信息集成算子在对数据信息进行集成时应用了支撑度函

数,使得数据的集成更加客观,而对于 power 信息集成算子的研究目前还不是很多,所以有必要对不同环境下的 power 信息集成算子进行推广研究。

但是这些算子均是从数据的加权平均方式出发,将集结过程中的数据排序,然后进行综合集成。事实上,不同的集成方式都需要从一定程度上反映原始数据的信息,为了更好地反映集成效果,文献 [68] 提出了一种基于罚函数的优化模型,通过求解优化模型来获取信息集成函数,由这种方法构建的集成算子能够从一定程度上反映原始数据的大量信息,并且具有更强的理论基础。而不同的罚函数其构建的优化型信息集成算子也不相同^[68,69]。目前关于这类更具有理论性质的信息集成算子讨论仍然不多,因此有必要进一步加强研究。

1.2.2 区间型信息集成算子及其应用研究综述

一方面,为了对区间数据进行集成, Xu 和 Da 将 OWA 算子进行推广,提出了一种不确定有序加权平均 (uncertain ordered weighted averaging, UOWA) 算子^[70],这类算子和 OWA 算子的不同之处在于其集结的数据信息均为区间数。因此,利用 UOWA 算子进行多属性决策,需要先对区间数进行排序。为了对区间数进行排序, Xu 和 Da 又提出了可能度的概念^[70],将区间数的比较转化为模糊互补偏好关系,然后利用矩阵元素的大小来判别。同时, Xu 和 Da 提出了不确定有序加权几何平均 (uncertain ordered weighted geometric averaging, UOWGA) 算子^[71],并类似于 UOWA 算子,提出了相应的多属性决策方法。周礼刚等将 UOWGA 算子进行推广,提出了一种组合不确定型 OWGA 算子^[72],并提出了一种区间数群决策方法。Merigó等将不确定加权平均 (uncertain weighted averaging, UWA) 算子和不确定诱导有序加权平均 (uncertain induced ordered weighted averaging, UIOWA) 算子相结合,提出了一种不确定诱导有序加权平均-加权平均 (uncertain induced ordered weighted averaging-weighted averaging, UIOWAWA) 算子^[73],且基于该算子的多属性决策方法,将之运用到旅游管理决策中。Merigó和 Casanovas 将 UOWA 算子进行推广,结合 IOWA 算子和 quasi 算术平均,提出了一种不确定诱导 quasi 算术 OWA (uncertain induced quasi-arithmetic OWA, Quasi-OWA) 算子^[74],该算子包含一大类常用算子,即 UIOWA 算子、不确定诱导广义有序加权平均 (uncertain induced generalized ordered weighted averaging, UIGOWA) 算子、quasi 不确定有序加权平均 (quasi Uncertain ordered weighted averaging, Quasi-UOWA) 算子、不确定诱导有序加权平方平均 (uncertain induced ordered weighted quadratic averaging, UIOWQA) 算子等,他们还将 Quasi-OWA 推广到离散 Choquet 积分形式,并提出了基于 Quasi-OWA 算子的区间数决策方法。接着, Merigó等将概率和加权平均结合起来,提出了一种不确定广义概率加权平均 (uncertain generalized probability weighted averaging, UGPWA) 算子^[75],这种算子同时考虑了概率和加权平均算子

的重要性程度,同时,Merigó 等还将 UGPWA 算子进行了推广,提出了 quasi 算术不确定概率加权平均算子和不确定广义概率加权移动平均算子等,并研究了它们在不确定策略管理决策中的应用。

Merigó 和 Casanovas 将 OWA 算子进行推广^[76],提出了诱导 heavy OWA(induced heavy OWA, IHOWA) 算子、不确定 heavy OWA(uncertain heavy OWA, UHOWA) 算子和不确定诱导 heavy OWA (uncertain induced heavy OWA, UIHOWA) 算子,然后又利用广义平均和 quasi 算术平均将这几种算子进行推广,提出了广义 heavy 加权平均 (generalized heavy weighted averaging, GHWA) 算子、广义 heavy OWA(generalized heavy OWA, GHOWA) 算子、诱导广义 heavy OWA(induced generalized heavy OWA, IGHOWA) 算子、不确定广义 heavy 加权平均 (uncertain generalized heavy weighted averaging, UGHWA) 算子、不确定广义 heavy OWA(uncertain generalized heavy OWA, UGHOWA) 算子、不确定诱导广义 heavy OWA(uncertain induced generalized heavy OWA, UIGHOWA) 算子、heavy 加权 quasi 算术平均 (heavy weighted quasi-arithmetic, Quasi-HWA) 算子、quasi 算术 heavy OWA(quasi-arithmetic heavy OWA, Quasi-HOWA) 算子、quasi 算术诱导 heavy OWA(quasi-arithmetic induced heavy OWA, Quasi-IHOWA) 算子、quasi 算术不确定 heavy 加权平均 (quasi-arithmetic uncertain heavy weighted averaging, Quasi-UHWA) 算子、quasi 算术不确定 heavy OWA(quasi-arithmetic uncertain heavy OWA, Quasi-UHOWA) 算子和 quasi 算术不确定诱导 heavy OWA(quasi-arithmetic uncertain induced heavy OWA, Quasi-UIHOWA) 算子等。

另外,李伟伟等^[77]还定义了区间数密度加权平均中间算子和区间数密度加权几何平均中间算子,还引入区间隶属度概念对区间数进行聚类,给出了一种规划模型确定密度加权向量。针对 power 算子,徐泽水和 Yager 将 PA 算子和 POWA 算子推广到区间数环境,提出了不确定 power 加权平均 (uncertain power weighted average, UPWA) 算子和不确定 power 有序加权平均 (uncertain power ordered weighted average, UPOWA) 算子^[78],并将这些算子应用到区间数模糊偏好关系群决策中。Xu 和 Yager 还将 PGA 和 POWGA 算子推广到区间数环境,提出了不确定 PGA(uncertain PGA, UPGA) 算子和不确定 POWGA(uncertain POWGA, UPOWGA) 算子^[66]。

另一方面,为了集结区间数据,Yager 提出了一种连续区间有序加权平均 (continuous ordered weighted averaging, C-OWA) 算子^[79],该算子利用一个态度参数将区间数据表示成实参数形式,而且该态度参数可以直接反映决策者的决策态度,对于多属性决策具有广泛的实际意义。徐泽水将 C-OWA 算子进行拓展^[80],提出了加权的 C-OWA(WC-OWA) 算子、有序加权的 C-OWA(OWC-OWA) 算子以及组合的 C-OWA(CC-OWA) 算子。接着,Yager 和 Xu 将 C-OWA 算子与几何平均算子相结合,提出了一种连续区间有序加权几何平均 (continuous ordered weighted geomet-

ric averaging, C-OWGA) 算子^[81], 并将它应用到区间互反偏好关系决策中. 陈华友、刘金培等将 C-OWA 算子和调和平均算子相结合, 提出了一种连续区间有序加权调和平均 (continuous ordered weighted harmonic averaging, C-OWHA) 算子^[82], 并进行推广, 另外还提出了加权的 C-OWHA(WC-OWHA) 算子、有序加权的 C-OWHA(OWC-OWHA) 算子和组合的 C-OWHA(CC-OWHA) 算子, 还将这些算子应用到多属性决策中. 周礼刚等将 IOWA 算子和 C-OWA 算子结合, 提出了一种诱导连续区间有序加权平均 (induced continuous ordered weighted averaging, ICOWA) 算子^[83], 并针对区间模糊偏好关系, 定义了基于专家评判水平偏差的诱导连续区间有序加权平均 (deviation-based induced continuous ordered weighted averaging, DI-COWA) 算子, 并给出了一种基于该算子的区间数群决策方法. Wu 等将 C-OWGA 算子进行推广, 提出了一种诱导连续区间有序加权几何平均 (induced continuous ordered weighted geometric averaging, ICOWGA) 算子^[84], 并考虑了区间互反偏好关系的一种相对一致度指标, 提出了基于相对一致度的 ICOWGA(relative consensus degree ICOWGA, RCD-ICOWGA) 算子. Chen 和 Zhou^[85], Xu^[86]、Zhou 等^[87] 分别将 C-OWA 算子应用到区间互反偏好关系和区间模糊偏好关系, 并提出了相应的区间数群决策方法. Zhou 等^[88] 将 C-OWGA 算子应用到区间互反偏好关系, 提出了基于 C-OWGA 算子的群决策相容性指标, 并将它应用到区间数群决策中. Zhou 等^[89] 将 ICOWA 算子应用到区间模糊偏好关系, 提出了一致性指标 ICOWA(consensus indicator ICOWA, CI-ICOWA) 算子和相容度 ICOWA(compatibility degree ICOWA, CD-ICOWA) 算子, 且基于 CI-ICOWA 算子和 CD-ICOWA 算子的区间数群决策方法.

目前, 关于区间数据的信息集成算子和连续区间信息集成算子的推广和应用尚需进一步深入研究.

1.2.3 语言型信息集成算子及其应用研究综述

为了对语言数据信息进行集成, Herrera 等^[90] 提出了语言有序加权平均 (linguistic ordered weighted averaging, LOWA) 算子, 并研究了 LOWA 算子在语言群决策中的应用. 徐泽水也提出了语言平均 (linguistic averaging, LA) 算子^[91]、语言加权平均 (linguistic weighted averaging, LWA) 算子^[91] 和 LOWA 算子^[91], 并将这些算子应用到多属性决策中. LOWA 算子与 OWA 算子的区别在于, LOWA 算子集成的信息数据为语言变量, 而运用机制完全类似. Xu^[92] 提出了语言几何平均 (linguistic geometric averaging, LGA) 算子、语言加权几何平均 (linguistic weighted geometric averaging, LWGA) 算子、语言有序加权几何平均 (linguistic ordered weighted geometric averaging, LOWGA) 算子和语言混合几何平均 (linguistic hybrid geometric averaging, LHGA) 算子, 并提出了基于这些算子的语言群决策方法. 徐泽水将 LOWA 算

子与 IOWA 算子相结合,提出了一种诱导 LOWA(ILOWA)算子,并将该算子进行推广,得到广义 ILOWA(GILOWA)算子^[93]. Merigó和 Casanovas 基于 LOWA 算子和 DS 证据理论,提出了信仰结构语言有序加权平均 (belief structure-linguistic ordered weighted averaging, BS-LOWA) 算子和信仰结构语言混合平均 (belief structure-linguistic hybrid averaging, BS-LHA) 算子^[94],并讨论了这些算子在语言决策中的应用. Xu 等^[95]将 PA 算子和 POWA 算子推广到语言环境下提出了语言 power 平均 (linguistic power averaging, LPA) 算子、语言加权 PA (linguistic weighted power averaging, LWPA) 算子和语言 POWA (linguistic power ordered weighted averaging, LPOWA) 算子. 同时, Xu 还将 PA 算子和 POWA 算子推广到区间语言环境下,提出了不确定语言 PA (uncertain linguistic PA, ULPA) 算子和不确定语言 POWA (uncertain linguistic POWA, ULPOWA) 算子. Xu 和 Wang^[96]将 PGA 算子和 POWGA 算子推广到语言环境下提出了语言 power 几何平均 (linguistic power geometric averaging, LPGA) 算子和语言 POWGA (linguistic power ordered weighted geometric averaging, LPOWGA) 算子.

进一步, Herrera 和 Martínez 将语言算子进行改进,提出了二元语义的语言模型^[97,98],并提出了二元语义的加权平均 (2-tuple linguistic weighted averaging, 2TLWA) 算子和二元语义的有序加权平均 (2-tuple linguistic ordered weighted averaging, 2TLOWA) 算子. Xu 和 Huang^[99]提出了二元语义的加权几何平均 (2-tuple linguistic weighted geometric averaging, 2TLWGA) 算子和二元语义的有序加权几何平均 (2-tuple linguistic ordered weighted geometric averaging, 2TLOWGA) 算子. Park 等^[100]提出了二元语义的加权调和平均 (2-tuple linguistic weighted harmonic averaging, 2TLWHA) 算子和二元语义的有序加权调和平均 (2-tuple linguistic ordered weighted harmonic averaging, 2TLOWHA) 算子. Wei^[101]将 2TWA 和 2TOWA 算子进行了推广,提出了广义二元语义加权平均 (generalized 2TWA, G2TWA) 算子和广义二元语义有序加权平均 (generalized 2TOWA, G2TOWA) 算子. Merigó和 Gil-Lafuente^[102]将广义二元语义集结算子与 IOWA 算子相结合,提出了诱导二元语义广义有序加权平均 (induced 2-tuple linguistic generalized ordered weighted, 2TILGOWA) 算子,同时进一步推广得到诱导 quasi 算术平均二元语义有序加权平均 (induced quasi-arithmetic 2TOWA, Quasi-2TILOWA) 算子和诱导 quasi 算术 Choquet 积分集结算子.

另外, Xu 还将语言变量推广到区间数环境^[103],提出了语言型的可能度,从而进一步提出了不确定语言平均 (uncertain linguistic averaging, ULA) 算子、不确定语言加权平均 (uncertain linguistic weighted averaging, ULWA) 算子、不确定语言有序加权平均 (uncertain linguistic ordered weighted averaging, ULOWA) 算子. 还将 ILOWA 算子和 ULOWA 算子相结合,提出诱导 ULOWA(IULOWA)算子和广义