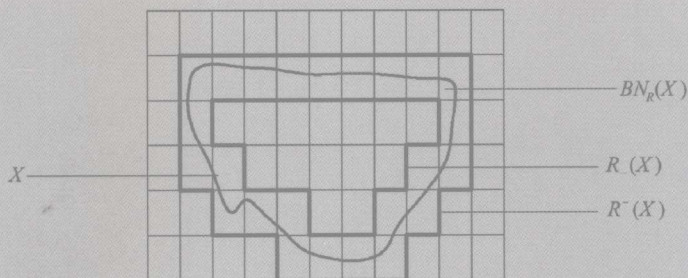


粗集多属性决策 理论与方法

Rough Set Multiple
Attribute Decision Making
Theories and Methods

蒋朝哲 著



粗集多属性决策理论与方法

蒋朝哲 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

粗集多属性决策理论与方法 / 蒋朝哲著. —成都: 西南交通大学出版社, 2007.7

ISBN 978-7-81104-639-7

I. 粗… II. 蒋… III. 粗系统 IV.0175

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 088728 号

粗集多属性决策理论与方法

蒋朝哲 著

责任编辑	张宝华
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	140 mm×203 mm
印 张	4.187 5
字 数	109 千字
版 次	2007 年 7 月第 1 版
印 次	2007 年 7 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-81104-639-7
定 价	15.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: (028) 87600562

前 言

随着社会的进步和发展,决策方法的研究和应用虽然已经取得了一些成果,但处在当今的信息社会,人们所面临的决策问题更加复杂,比如动态性和静态性共存、单目标和多目标(多准则)共存,等等.其中一类多准则决策问题是多属性决策问题(multi-attribute decision making problem),这类决策问题中的决策变量是离散的,其中的备选方案数量为有限个,对其求解的核心是对各备选方案进行评价后排出各方案的优劣次序,再从中择优.

目前,在多属性决策研究中,人为规定了一些对描述整个多属性决策问题的属性集的假设性要求:① 属性集应该是完全的,它反映了决策问题的所有重要方面;② 属性集应该是可以运算的,能有效地用于进一步分析;③ 属性集应该是可以分解的,可以分成几部分,使下一步的分析评价简化;④ 属性集应该是非冗余的,即问题没有哪个方面被重复考虑;⑤ 属性集应该是最小的,也就是说,对同一目标问题,找不到另一个完全的属性集比它有更少数目的元素.

但在不断涌现海量信息的今天,要求属性集的非冗余性和最小化显然是太理想的局面.同时,经典的多属性决策方法是基于效用函数或偏好函数的,这种函数是人为确定的,带有较强的主观性.因此,提供一套能够弱化多属性决策条件而又较为客观的决策方法已成为当务之急.

本书通过深入分析现有复杂决策问题的特征,在检索大量国内外资料,跟踪国际前沿技术的基础上,应用多学科交叉技术,将粗糙集理论引入经典的多属性决策方法中,并将管理学、人工

智能、信息科学等知识相融合. 在系统观点指导下, 针对经典多属性决策方法中存在的严格假设问题, 重点研究了粗糙集属性约简理论、粗集分类、奇异粗集等理论在经典的多属性决策方法中的应用, 提出了一套基于粗糙集理论的多属性决策理论与方法. 最后经过模拟、试验和算例验证了该方法的有效性, 具有重要的理论意义和应用价值.

本书可作为高等院校运筹学、管理科学、信息科学和系统工程专业的研究生教材, 也可作为相关领域研究人员、工程技术人员、管理干部、教师和学者的参考书.

作者对西南交通大学经济管理学院胡培教授、理学院秦克云教授、山东大学数学与系统科学学院的史开泉教授给予的指导和帮助致以衷心的感谢, 同时还要感谢西南交通大学博士创新基金(2005JCZ)、高等学校博士学科点专项科研基金(20060613019)、四川省教育厅自然科学青年基金(2006B090)的资助, 以及西南交通大学出版社给予的热心支持和帮助.

蒋朝哲

2007年5月于成都

目 录

第 1 章	绪 论	1
1.1	有关决策理论的研究与发展	1
1.2	粗集多属性决策理论的提出	6
1.3	研究思路和本书的结构安排	10
1.4	本书的主要研究工作	11
第 2 章	等价关系与粗糙集理论	14
2.1	集合与关系	15
2.2	等价关系与等价类	18
2.3	粗糙集理论	20
第 3 章	基于等价关系的粗集多属性决策与决策模型	27
3.1	一般多属性信息系统	27
3.2	多属性决策系统或决策表	29
3.3	冗余项属性的粗集解决方案——属性约简	32
3.4	粗集多属性决策系统数据预处理	38
3.5	多属性决策系统决策规则极小化	45
3.6	粗集多属性决策系统的一般求解步骤	46
3.7	基于粗集权重的多属性决策排序方法	48
第 4 章	基于级别高于关系粗集多属性决策分析	54
4.1	级别高于关系的定义与性质	55
4.2	基于级别高于关系且信息完全的多属性粗集决策与决策模型	57

4.3 基于级别高于关系且信息不完全的多属性粗集决策与决策模型	66
第 5 章 粗集动态 TOPSIS 多属性决策与决策模型	71
5.1 一般集合上改进的 TOPSIS 决策分析	72
5.2 Z.Pawlak 粗集静态 TOPSIS 决策分析	77
5.3 S-粗集动态 TOPSIS 决策分析	92
第 6 章 经济指标粗集综合评价分析	104
第 7 章 结 论	113
7.1 主要结论	113
7.2 后续研究工作的展望	115
参考文献	118

第 1 章

绪 论

1.1 有关决策理论的研究与发展

1.1.1 有关不确定性问题的现代决策理论的发展

决策理论最初是在行政学和统计学的基础上发展起来的，主要包括决策机理、决策规则、决策模型以及决策方法等方面的内容。对不确定性问题及由此而来的关于风险态度主观价值的研究是决策理论发展的主要轨迹。早在 17 世纪初，Nicholas Bernoulli (1713) 就提出了著名的 St. Petersburg 悖论，生动地说明了以期望效益值作为度量未来不确定性收益的决策准则与实际决策行为之间存在矛盾，从而对风险报酬是根据其期望报酬评价（期望收益极大化原则）的传统观念提出了挑战。随后，Daniel Bernoulli (1738) 进一步论述了效用值概念以及效用函数的可能形式，提出了基于财富水平的风险展望应根据其期望主观值加以衡量的思想，并指出了财富的边际效用递减原理，F. Y. Edgeworth (1881)

提出用序数效用表示方案优先顺序,他们的研究形成了传统的效用理论.而对决策理论的规范直到 20 世纪 40 年代才取得了重大突破,Neumann 和 Morgenstern (1944) 出版了在决策科学上具有跨时代意义的巨著——《Theory of Games and Economic Behavior》,提出了 von Neumann-Morgenstern 理性行为公理体系,为经典决策提供了理论基础,至今仍然在现代决策理论中占有重要地位;与理型决策理论研究的角度不同,W. Edwards 和 M. Allais (1950) 考虑了理性决策理论在实际决策行为中的真实性问题,引发了行为决策理论的研究;而随后 K.J. Arrow (1951) 提出的 Arrow 不可能定理对人们引以自豪的公共选择公理体系提出了挑战,并开创了群决策和社会选择理论研究领域.总的来说,由于诸多决策问题具有不确定性,故对其进行风险度量 and 主观价值判断的研究,构成了现代决策理论研究的基本格局.

近年来,学者们在前人的基础上进行了大量研究,取得了丰硕的研究成果,如 S.H.Chew 和 K.R.MacCrimmon (1979) 的权重效用值理论、M.J.Machina 的局部效用函数理论、J.L.Becker 和 R.K.Sarin 的事态体关联效用理论、P.C.Fishburn (1987) 的双线性 (SSB) 效用理论、徐扬 (1996) 的格值对策理论、贾建民和 James S.Dyer (1999) 的风险价值理论以及郭耀煌等 (2002) 提出的格序决策理论;胡培 (1999) 对决策偏好的相关理论与方法进行了系统的研究等.近半个世纪以来,决策理论也与其他学科结合派生出行为决策、投资决策、统计决策、公共决策、模糊决策等新的研究领域,与之相关的文章也有很多.然而迄今为止,对于许多有重大意义的决策问题仍然缺乏非常有效的分析方法.

现代决策理论的另一个研究角度是从评判度量的角度出发,这种度量在研究早期并没有一个为学者普遍接受的明确定义.直到 20 世纪 70 年代末和 80 年代初,使用准则这一度量术语才成为一种规范形式,即多准则决策.

在多准则决策中,评判决策对象的准则通常情况下包括两种

情形：多目标决策和多属性决策。对于度量值是连续的多目标决策，运用运筹与优化理论能够较好地解决问题；而对于度量值是离散的多属性决策问题，其本质是对事物的评价选择，因而其研究更具有现实意义。但由于人们的认识有限，又希望将不确定性问题予以精确化度量，因此在经典的多属性决策中自然产生了不完全、不可计算、冗余性等问题。

而在现实的决策中，即使是专家对于权重的确定以及信息值的测定也只能定性且不精确地描述为“重要地”、“0.7左右”等形式，于是寻找一种新的理论和方法研究更一般意义的多属性决策问题成了许多学者关注的热点问题。在众多的成果中，值得一提的是李荣均（2002）编著的《模糊多准则决策理论与应用》，它比较系统深入地对含糊问题的决策理论和方法进行了总结性研究。

近年发展起来的模糊多属性决策理论关键是依赖于隶属函数，而这种函数的确定，其实质还是专家经验的另一种体现，因而主观随意性、技巧依赖性、不知模糊对象有多少数量等问题无法避免。直到 Pawlak 教授（1982）提出了基于数据驱动的粗集理论，才为不确定性多属性决策问题的深入研究提供了一种新的数学工具。

1.1.2 粗糙集理论的研究现状

粗集理论是一种处理不确定性和不精确性问题的新型数学工具。它自问世以来，无论是在理论还是在应用上都是一种新的、重要的、迅速发展的和解决实际问题的方法。近年来，粗集理论在世界发展迅速。在国外，对粗集理论的研究主要集中在代数结构和逻辑研究上面：对代数结构的研究主要集中在粗集拓扑及其性质上面，它阐述了模糊集与粗集、证据理论与粗集理论的关系；对逻辑的研究主要是 Rough 逻辑及处理近似推理的逻辑工具上，

并建立了粗集与概率逻辑、粗集与模态逻辑等的统一框架。各国学者在上述研究中产生了一系列的成果：Orlowska (1985) 提出以等价关系 R 作为新的谓词；Pawlak (1987) 建立了五个逻辑真值；Slowinski, R (1992) 提出了扩展粗集模型的概念；基于拓扑学观点，Lin 和 Liu (1996) 定义了类似上近似和下近似的算子 L 和 H ，并建立了带这两个算子的近似推理的逻辑演绎系统；Liu (1999) 还提出了带算子 L 和 H 的 Rough 逻辑的近似推理模式和归结原理，并证明了它的归结完备性定理。

在国内，西安交通大学的张文修教授对粗集理论 (2001) 和概念格理论 (2005) 有过深入探讨；重庆邮电学院的王国胤教授 (2001)、南昌大学的刘清教授 (2001) 先后出版专著来介绍粗集，使得对粗集的研究成为学者们普遍重视和高度关注的热点。山东大学的史开泉教授提出的 S -粗集 (2002) 和函数 S -粗集 (2005) 概念，以及近几年来的有关奇异粗集研究成果，对经典的 Pawlak 粗集概念进行了扩展，将对粗集的研究从静态过程延拓到动态过程，也为将动态粗集理论运用到多属性决策中提供了理论上的依据和支持。

另外，从 1992 年开始以来，每年都要召开以粗集理论为主题的国际会议，国际上成立了 Rough 集学会 (IRSS, 官方网站: <http://www.roughsets.org/>)，并在互联网上定期发布电子公告 (可以在 <http://www.cs.uregina.ca/~roughset> 中的 Rough Set Community 中了解粗集研究进展)，以粗集为主题的国际期刊也已经正式出版，这些都加速了粗集理论的交流与发展。

1.1.3 粗糙集理论与多属性决策结合的研究现状

粗集理论与多属性决策相结合的有关研究还处于初始而零散的阶段。在国外，近期出现了一些方法上的研究，如：Kazimierz

Zaras (2001) 提出了多属性随机优势评估问题的带偏好关系的 Rough 近似方法; Salvatore Greco (2002) 提出了多属性多准则分类问题的粗集方法; Ramanna.S (2002) 提出了基于粗集近似空间的软件质量测评方法. 在众多研究中, 十分有价值的是 Alam S.S. (2002) 提出的基于 Rough 方法的 AHP 排序方法, 它直接对传统的多属性决策方法进行了改进; 另外, Jinmao Wei (2002) 首次提出了在决策树的节点构造中, 提出采用基于粗糙集理论的多属性综合评价方法来选择节点, 改变了传统节点属性单一的特点. 在实际应用上, 加拿大的 Nick 和 Ziarko (1997) 将粗集用到水资源调度系统及预测上; 日本的 Tsumoto 博士 (1998) 利用粗集在临床医学诊断系统做了大量工作; A.IDimitras (1999) 利用 Rough 集方法对希腊的公司并购进行了有效的预测, 取得了很好的效果.

在国内, 张梅和李怀组 (2003) 提出了国际竞争力因素分析的粗集方法; 何亚群 (2004) 提出了不完全信息的多属性粗集决策分析方法, 该文针对有偏好信息但信息不完全的多属性决策问题, 给出了一种基于拓展粗集的决策分析方法; 李红启 (2004) 将粗集理论应用到铁路货运量的预测上; 黄定轩等 (2004) 用粗集理论对多属性客观权重分配方法进行了一定的研究; 蒙祖强和蔡自兴 (2004) 利用粗集理论设计了个性化的决策规则挖掘算法; 蒋朝哲 (2005) 提出了基于 DNA 计算机机理的粗集属性约简算法构想, 为约简算法的研究提供了一条新思路; 2006 年也出现了一些另外很重要的研究成果; 在 2004 年、2005 年召开的第四届、第五届粗集与软计算学术研讨会上也有一些在工业中将粗集理论运用到多属性决策中的研究成果.

综述之, 鉴于粗集理论的快速发展及作为新型工具对决策研究的支撑作用, 系统地、体系化地研究两者融合的条件和时机都已成熟, 且前者的特点又能弥补诸多多属性决策现时的缺陷与难点问题, 因而就此展开深入而系统的研究, 学术和应用价值重大.

1.2 粗集多属性决策理论的提出

不确定性问题，一直是现实世界中最为普遍的现象，也是多属性决策中研究的前沿和难点问题。我们认为，事物的不确定性主要表现在三个方面：首先，表现为对事物未来和未知世界的不可预知上；其次，表现在现实世界中许多事物的内在运行机理和运动规律的难以把握上；最后，由于环境的动态性和事物自身的不断发展运动，不同的时间和条件，都可能使得事物自身的状态发生变化，从而导致不确定性的产生。对于最后一类不确定性现象，人们通常称之为动态性问题。

多属性决策是在实际中使用较多的一类决策模式，这一类决策的变量是离散型的，备选方案的数量是有限的，所以也称为有限方案多目标决策。多属性决策在处理带有不确定性和动态性因素的问题时，最常见的方法是，要么事先设定某些规则，根据这些事先设定的规则设置模型，再去推断或度量事物的不确定性；要么使用专家测评的方法，利用专家的知识和经验来对事物作出判断。当然，这两种方法也常结合使用。

对于前一类方法，虽然有其合理性，但在实际应用中却有一定的局限性，这是因为规则的事先设定带有较强的人为因素，而且，其决策过程与实际中人们通常的心智活动过程有一定的差异。人类的日常推理活动更多是基于过去的实际经验或经历来推理：当决策问题与以往的经验重复时，直接利用以往的成功经验；当决策问题与以往的经验有差异时，对类似的经验进行修正以得到新的结果，即人类的实际决策过程更多的不是链式推理（Heit.E, 1992）而是事实推理（Schank.R, 1977）。这也是一些定量分析方法较少在实际中得到应用的主要原因之一。能否将链式推理与事实推理结合而形成一类新的决策方法，是值得认真考虑的问题。

对于后一类方法，虽然采用的专家判断法（评估决策——多

属性决策的主要方式之一)利用了各个专家的经验,有其合理性、有效性和可操作性,也含有事实推理的成分,在实际中使用也较多,但仅就其局限性而言,专家判断法只是不充分的事实推理,因为使用的专家人数不会太多,否则会带来成本的大量增加.另外,不同专家有不同的知识结构、经验集成和偏好,这必然会导致不同专家预测结果的差异;即使使用多个专家并将其评判结果进行综合,将多个个体偏好集结为群体偏好,由于这类集结方法大都采用各种算法来进行,寻找合理的集结算法又增加了问题的复杂性和人为规定性,如若采用简单的投票方式,又可能与 Arrow (1951) 用偏好关系研究公共选择问题相似,即将面临 Arrow 的不可能性定理,因此,专家判断法不可避免地或多或少会有一些的主观随意性.

于 20 世纪末在欧美兴起并成为热点的归纳学习方法,是人类经验的概括与延伸,是基于事实推理的方法,它无需事前设定规则,而是从各种所发生的事实信息中去伪存真地提取规则.作为管理决策规则的生成方法,归纳学习方法有更多的客观性和捕捉信息的能力,一经传世就引起了广泛的关注.同时,兴起的信息融合方法作为决策规则的使用方法,通过计算机来进行归类研究,比较不同类的优劣关系并给出恰当的选择,该方法具有更强的信息综合能力和偏好归类、集结能力.如能将这两种更具客观性、信息化和智能化的新兴方法引入多属性决策中来,无疑将使其发生质的飞跃,也为解决不确定性问题提供了新的思路.

波兰数学家 Z.Pawlak (1982) 提出的粗集理论(也称为 Rough 集理论)是基于数据驱动的理论,是近年来处理不确定性问题的又一新兴数学方法.由于它将归纳学习方法与信息融合方法有机地结合起来,且又具有弥补模糊数学在隶属函数选取时人为因素的缺陷,因而一经问世就得到了快速的发展和广泛的应用.我们认为,如能将粗集理论引入多属性决策中,将会产生许多优越性,如在属性集的确定和对方案进行排序时,就可通过其中事实推理

的归纳学习方法提取出决策规则，又可通过信息融合的方法将归纳学习方法产生出的决策规则进行信息融解与集成，从而提炼出新的决策规则。归纳学习方法与信息融合方法的配合使用，具有通过信息系统的属性集产生决策规则和融合这些决策规则形成新决策规则的特点，既保留了事实推理的实践性特征，使得相似性度量和适应性修改得到极大提高，适应了社会经济、管理的复杂性和多变性，可以克服主观随意性等问题，又具有计算机智能化的特点，因而对于知识管理时代的管理决策有着重要意义。

再从对不确定性问题的度量工具来看，人们总是试图对事物的不确定性进行测定和量化分析，较早的理论解决不确定性问题的数学工具是概率统计分析。它假定决策中的不确定性事件，不论其性质与表现形式如何，都是某种随机因素影响的结果，对其描述的数学形式为不确定性事件发生的概率，反映了只有真假二值的经典逻辑（1979）。为了从根本上揭示不确定性的内涵，著名的美国控制论专家 L.A. Zadeh（1965）提出了模糊（用 Fuzzy 翻译德文 Vague）集合的概念，通过使用隶属函数来刻画元素对集合属于程度的连续过渡性，即元素从完全不属于集合到完全属于集合的渐变过程，提供了对不确定性的模糊现象进行定量描述和分析运算的方法。模糊集合论确实将对不确定性问题的研究向前推进了一大步，但模糊集合论中对模糊概念的定义不是通过数学公式来描述的，因而只能给出元素属于集合的隶属程度，无法计算模糊集上具体和含糊的元素数目。另外，判断模糊集中心度量元素含糊程度的隶属函数也需要通过主观评判来确定，对专家技能要求较高，且不同隶属函数的选取可能产生不同的结果，到目前为止还没有隶属函数选取的一定之规，由此人为因素的作用就难以避免。

Z.Pawlak（1982）从度量方法的角度，针对 G.Frege（1904）的边界线区域思想提出了 Rough（波兰人对 Vague 的译文）集，他把那些无法确认的个体都归属于边界线区域，而这种边界线区

域被定义为上近似集和下近似集之差集。由于上近似集和下近似集都可以通过等价关系给出确定的数学公式,所以含糊元素数目可以被计算出来,且各含糊元素在真假二值之间的含糊程度也可以直接计算,从而实现了 G.Frege 的边界线思想。更为重要的是,粗集理论为我们处理不确定性的多属性决策问题提供了新的数学工具和度量模式,特别是最近发展出来的扩展粗集模型 (Slowinski R, 1992) 已将严格的等价关系弱化,若将其深化与改进并引入到多属性决策中,有望建立一种新的测度不确定性问题的更为宽松且依据事实推理的度量关系。

最后,对于不确定性中的动态性问题,多属性决策研究中往往只关注于对某一个时点的静止状态的研究,封闭系统边界,截断时空联系,从而将问题简化。这种“非此即彼”的判别模式,忽略了在一定条件下,“此”可以转化成“彼”、甚至转化成“既非此又非彼”的情况。换言之,传统理论主要研究静态的决策问题,对于由于时间迁移、环境改变和事物自身发展而形成的动态性研究较少。决策环境的可变性、决策要素的可变性等动态特征,如决策的时效性、决策属性、方案或准则的变化等,是当今决策问题的常见特征。而目前多属性决策中基本上还没有通常的方法去解决动态性问题。最新提出的粗集理论中的奇异 S-粗集 (史开泉, 2002) 具有处理一般权变问题的特性,将多属性决策问题映射到奇异 S-粗集近似空间,有望形成一类处理动态问题的权变决策模式。

还值得一提的是,在多属性决策中,对于属性集的冗余性 (各属性的重复或交叉,其中属性可以是要素特性、决策准则等) 问题,也是棘手而久攻不决的难点。冗余性常常干扰和影响决策的质量和结果的准确性,目前基本上还没有办法去定义和检验属性集的非冗余性。粗集理论的另一特点是它的属性约简原理,即在信息融合的过程中具有对冗余信息进行筛选剔除、组合归类的功能和特性。将其与多属性决策相融合,有利于冗余性问题的解决。

在经典的多属性决策中,还要求属性值是可以运算的。但在

日常的多属性决策问题中,许多属性值是无法直接运算的逻辑值,而在粗集理论中的属性约简算法中可以通过析取与合取范式进行逻辑运算,从而解决不可直接运算的多属性决策问题。

综上所述,由于粗集理论本身所具有的归纳学习、融合推导、规则提炼、属性约简、对不确定元素的可直接计算性、奇异粗集的动态性等特点,有望在较大程度上解决经典多属性决策理论和方法存在的上述局限。将两者融合建立起一门新的粗集多属性决策理论和方法,即将多属性决策的专家评判、模型推理与粗集理论的归纳学习和信息融合方法进行集成,既可融合两者的优势,在方法论上取得突破,又可在实际应用中开辟一条决策科学的新路径,其学术价值和实际意义重大而深远。

1.3 研究思路和本书的结构安排

根据 H.A.Simon 的观点,决策是一个连续的过程,而管理就是决策。本书采用系统的研究思路,分别从三个角度进行分析,即从一般到扩展;从静态到动态;从理论到实践,着重研究粗糙集理论与方法在经典多属性决策中的应用。

在上述研究思路的指导下,笔者选取了经典多属性决策中的几个方法进行研究,于是有了如下的结构安排:第一章,重点分析了国内外现代决策、粗糙集理论以及粗糙集在多属性决策中的应用等研究现状;第二章,简单介绍粗糙集理论及其分类机理;第三章,研究基于等价关系的一般粗集多属性决策模型;第四章,研究基于级别高于关系(经典多属性决策 ELECTRE 原理)的粗集多属性决策模型;第五章,研究基于奇异粗集的 TOPSIS 决策模型,奇异粗集的引入将本文的研究从静态过渡到了动态;第六