

粗糙决策理论

与应用

4

胡寿松 何亚群 著

 北京航空航天大学出版社

C934
39

粗糙决策理论与应用

胡寿松 何亚群 著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书在介绍粗糙集基本概念的基础上,对粗糙决策中的基本问题、粗糙集的扩展、粗糙集与其他方法的集成等粗糙决策分析方法及粗糙决策理论的应用进行了论述。全书在介绍国内外已有成果的基础上,力图概括近年来作者所做的最新工作。

书中粗糙决策的基本问题包括粗糙集的离散化问题、属性约简问题和粗糙集中不确定性与模糊性的测量;粗糙集的扩展包括变精度粗糙集,基于相近关系、广义近邻关系、相容关系、优势关系、扩展优势关系等的粗糙决策方法以及实数粗糙集;粗糙集与其他方法的集成包括粗糙集与神经网络的集成以及粗糙集与模糊集的集成。全书对粗糙决策理论在歼击机的故障诊断、飞机空调车的故障诊断、系统预测和优化选址等方面的实际应用进行了介绍。

全书的主要内容是在国家自然科学基金重点项目及航空科学基金项目资助下完成的。本书可作为自动控制、系统工程和管理科学等专业的研究生教材,也可作为从事智能决策、模式识别及粗糙集理论与应用的研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

粗糙决策理论与应用/胡寿松等著. —北京:北京航空航天大学出版社,2006.4

ISBN 7-81077-708-4

I. 粗… II. 胡… III. 决策学 IV. C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 136630 号

粗糙决策理论与应用

胡寿松 何亚群 著

责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印制 各地书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:8.5 字数:229 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 7-81077-708-4 定价:23.00 元

前 言

决策分析是人类最自然的一种行为。决策需要信息,信息是决策者进行决策的基础。传统的决策分析是利用已有的信息建立函数或关系模型来进行的。而在信息爆炸的今天,决策者面临的是大量的、动态的、不确定的、模糊的甚至是有噪声的信息,决策者企图通过建立函数或数学模型来进行决策显然是不可能的,也难以满足实际的需要。为此,基于知识的智能决策分析便应运而生,它不需要定量的数学模型,而是基于知识进行决策。这些知识隐含在大量的原始数据中。于是,如何从大量的数据中挖掘出有用的知识,就成为当前决策领域的一个热点问题。

由波兰数学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出的粗糙集方法,为处理不精确、不确定与不完全数据并从数据中挖掘出需要的知识,提供了一种有效的途径。

同处理不确定性 with 模糊信息的模糊集理论及证据理论相比,粗糙集理论的最大优势是无须提供除问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息。此外,粗糙集另一个优势是能够有效地去除冗余。因此粗糙集理论可以克服传统不确定处理方法的不足,为处理不精确、不完全数据的决策问题提供了更接近人类认知的数学工具。

本书系统地总结了粗糙决策理论及应用的研究成果,按照基本概念、相关知识、度量方法、扩展理论和集成方法等顺序展开,并与方法的技术应用紧密结合。

本书在介绍粗糙集理论基本概念的基础上,对国内外学者最新的研究成果进行了一定的介绍,主要对近几年来作者所做的有关粗糙决策理论与应用方面的工作进行了总结。全书的主要内容为作者近几年来在完成国家自然科学基金重点项目(60234010)及航空科学基金项目(02E52025)中所取得的最新的研究结果。全书共分8章,具体的内容安排如下:

第1章主要介绍粗糙集的基本概念;第2章讨论了粗糙集的几种离散化方法及应用;第3章论述了粗糙集中各种约简算法;第4章阐明了粗糙集中不确定性与模糊性测量的方法;第5章论证了实数粗糙集;第6章表述了基于不同二元关系的粗糙集的扩展及应用;第7章介绍了粗糙集与神经网络的集成及应用;第8章介绍了粗糙集与模糊集的集成及应用。

本书作者特别感谢国家自然科学基金项目组成员肖迪博士、徐德友博士、侯霞博士、刘亚博士及朱押红硕士等,他们在作者指导下的研究工作中,付出了辛勤劳动,取得了部分有益的研究成果。

本书可作为自动控制、系统工程和管理科学等专业的研究生教材,也可作为从事智能决策、模式识别及粗糙集理论与应用的研究人员的参考书。

由于作者水平有限,对于书中的错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2005年10月

本书相关研究及出版得到国家自然科学基金重点项目(60234010)和南京航空航天大学资助。

目 录

第 1 章 粗糙集理论的基本概念

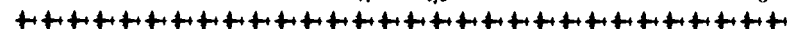
1.1 知识的含义与表示方法	1
1.1.1 知识的含义	1
1.1.2 不可分辨关系	2
1.1.3 知识的表示	2
1.2 粗糙集	4
1.2.1 粗糙集的下近似、上近似及边界区	4
1.2.2 近似精度与粗糙度	7
1.2.3 粗糙隶属函数	8
1.3 属性约简	9
1.3.1 属性的依赖性	9
1.3.2 属性的重要性	10
1.3.3 约简与核	11
1.4 决策规则	12
1.4.1 决策规则和算法	12
1.4.2 规则的度量标准	12
1.4.3 规则的应用	14
1.5 粗糙集的应用	14
1.5.1 飞机空调车的故障诊断	14
1.5.2 歼击机的结构故障诊断	19

第 2 章 粗糙集中的离散化方法

2.1 连续属性的离散化	27
2.1.1 离散化问题的描述	27
2.1.2 离散化方法的分类	28



2.2	连续属性的无监督离散化方法	28
2.2.1	等宽度离散化方法	29
2.2.2	等频率离散化方法	29
2.3	连续属性的有监督直接离散化方法	29
2.3.1	单规则离散化方法	29
2.3.2	最小信息熵离散化方法	30
2.3.3	NaiveScaler 离散化方法	31
2.3.4	SemiNaiveScaler 离散化方法	31
2.3.5	粗糙集与布尔逻辑相结合的离散化方法	32
2.3.6	S. H. Nguyen , H. S. Nguyen 改进的贪心 算法	33
2.4	连续属性的有监督间接离散化方法	34
2.4.1	超平面离散化方法	34
2.4.2	超曲面离散化方法	36
2.4.3	间接离散化方法在空军器材保障中的应用	40
第3章 粗糙集中的属性约简算法		
3.1	常见约简算法	45
3.2	基于属性重要性的启发式约简算法	46
3.2.1	属性重要性的计算	46
3.2.2	约简算法	48
3.3	基于差别矩阵的约简算法	49
3.3.1	差别矩阵	49
3.3.2	约简算法	50
3.4	基于集合近似质量的属性约简算法	51
3.4.1	约简算法	51
3.4.2	算例	55
第4章 粗糙集中不确定性与模糊性的测量		
4.1	粗糙集中不确定性的测量	57



4.1.1	基于粗糙度的不确定性测量	57
4.1.2	基于粗糙熵的不确定性测量	58
4.1.3	基于修正粗糙熵的不确定性测量	59
4.2	粗糙集中模糊性的测量	64
4.2.1	模糊熵的基本概念	64
4.2.2	等价关系下粗糙集模糊性的测量	65
4.2.3	一般二元关系下粗糙集模糊性的测量	68
第 5 章	基于实数粗糙集空间的自组织映射方法	
5.1	实数粗糙空间的概念	70
5.1.1	实数粗糙空间	70
5.1.2	Pawlak 粗糙集与实数粗糙集的比较	72
5.2	自组织映射方法的改进	72
5.2.1	自组织映射原理	72
5.2.2	菱形邻域的设计	74
5.2.3	基于实数粗糙集空间的改进邻域的自组织映射方法	76
5.2.4	拓扑特性保持	78
5.3	歼击机故障识别的实数粗糙集自组织映射方法	79
第 6 章	粗糙集模型的扩展及应用	
6.1	可变精度粗糙集	82
6.2	基于相近关系的粗糙集扩展及应用	84
6.2.1	相近关系及相近度	84
6.2.2	基于相近关系的相近粗糙集	86
6.2.3	相近粗糙集的属性约简	88
6.2.4	相近粗糙集的隶属函数	89
6.2.5	基于相近粗糙集的歼击机故障决策分类	90
6.3	基于广义近邻关系的粗糙集扩展及应用	95
6.3.1	属性的广义重要度	96
6.3.2	空间的属性广义重要度欧氏距离	102



6.3.3	基于广义近邻关系的实域粗糙集	102
6.3.4	实域粗糙集属性约简的定义及贪心算法 ..	106
6.3.5	算 例	108
6.4	基于相容关系的粗糙集扩展及应用	109
6.4.1	多值决策系统和不完全决策系统	110
6.4.2	基于相容关系的相容粗糙集	110
6.4.3	属性的约简及规则的获取	114
6.4.4	军机备件需求量修正的相容粗糙集方法 ..	115
6.5	基于优势关系的粗糙集扩展及应用	122
6.5.1	具有偏好信息的多属性排序问题	122
6.5.2	优势属性集	122
6.5.3	基于优势关系的优势粗糙集	124
6.5.4	基于优势粗糙集的方案排序	125
6.5.5	基于优势粗糙集的空军航材供应点的偏好 选址	126
6.6	基于扩展优势关系的粗糙集扩展及应用	130
6.6.1	不完全信息的多属性分类问题	130
6.6.2	扩展优势关系与扩展优势集	131
6.6.3	基于扩展优势关系的扩展优势粗糙集	132
6.6.4	实 例	134
第 7 章 粗糙集与神经网络的集成		
7.1	粗糙集方法与神经网络方法的特点	136
7.1.1	粗糙集方法的特点	136
7.1.2	神经网络方法的特点	137
7.1.3	粗糙神经网络方法的优点	138
7.2	粗糙神经网络的集成方式	138
7.2.1	粗糙集作为神经网络的前端处理器	138
7.2.2	利用粗糙神经元构造粗糙元神经网络	139
7.3	基于粗糙神经网络的空军航材消耗预测	142



7.3.1	影响航材消耗的因素	143
7.3.2	预测信息表的确定	144
7.3.3	预测信息表的约简	145
7.3.4	基于粗糙神经网络的航材消耗预测	146
7.4	基于粗糙神经网络的模糊控制系统的设计	147
7.4.1	粗糙神经网络模糊控制系统的构造	148
7.4.2	实 例	151
7.5	基于粗糙神经网络的歼击机结构故障诊断	153
7.5.1	基于粗糙神经网络进行故障诊断的一般结构 及步骤	153
7.5.2	基于粗糙集方法的特征提取	154
7.5.3	分类神经网络及其算法	155
7.5.4	神经网络辨识器	156
7.5.5	实 例	158
7.6	具有区间数的粗糙元神经网络决策分析方法	167
7.6.1	具有区间数的决策信息系统	167
7.6.2	具有区间数的粗糙元神经网络	168
7.6.3	基于粗糙元神经网络的歼击机故障认定	172
7.7	基于相近关系的粗糙因子神经网络及其模式识别 方法	180
7.7.1	基于粗糙因子的神经网络设计	180
7.7.2	粗糙因子神经网络算法的收敛说明	181
7.7.3	粗糙因子神经网络的模式识别仿真实验	182
7.8	基于支持向量机的粗糙元神经网络的构造与分类 决策	185
7.8.1	支持向量机粗糙元神经网络的基本思想	185
7.8.2	支持向量机的多分类问题	186
7.8.3	支持向量机输出与粗糙近似集的关系	191
7.8.4	支持向量机粗糙神经网络的构造	191



7.8.5 实例	192
7.9 基于粗糙 K -均值的椭球基函数神经网络及其模式识别应用	195
7.9.1 椭球单元神经网络	196
7.9.2 粗糙 K -均值方法	198
7.9.3 椭球基函数神经网络	200
7.9.4 椭球基函数神经网络的函数逼近性能分析	202
7.9.5 椭球基函数神经网络与 RBF 神经网络的比较	205
7.9.6 实例	208
7.10 实域粗糙中心的 RBF 神经网络的集成	212
7.10.1 神经网络的集成思想和方法	212
7.10.2 一种动态的聚类算法	215
7.10.3 实域粗糙中心的基函数神经网络的集成方法	218
7.10.4 实例	218
第 8 章 粗糙集与模糊集的集成	
8.1 具有连续属性值决策系统的粗糙-模糊集集成方法	221
8.1.1 属性值连续的决策系统	221
8.1.2 利用模糊集将连续属性值转化为模糊属性值	221
8.1.3 模糊相容关系下的粗糙近似	222
8.1.4 模糊相容关系下的属性约简	224
8.2 模糊决策信息系统	225
8.3 粗糙-模糊集	225
8.4 相容粗糙-模糊集	226
8.4.1 相容关系及相容类	226



8.4.2	相容粗糙-模糊集	227
8.4.3	相容粗糙-模糊隶属函数及其性质	227
8.4.4	算 例	228
8.5	模糊-粗糙集	231
8.6	相容模糊-粗糙集	232
8.6.1	模糊相容关系及模糊相容类	232
8.6.2	相容模糊-粗糙集	233
8.6.3	相容模糊-粗糙隶属函数及其性质	234
8.6.4	算 例	235
8.7	自修复飞行控制系统效能评估的粗糙集与模糊集集成方法	239
8.7.1	自修复飞行控制效能评估系统	240
8.7.2	自修复飞行控制效能评估的粗糙-模糊集集成方法	242
8.7.3	自修复飞行控制系统效能评估的相容粗糙-模糊集方法	245

参考文献

第 1 章 粗糙集理论的基本概念

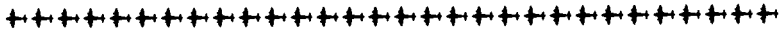
信息是决策的基础,如何从大量的、不确定的、模糊的甚至是不完整的信息中获得有用的信息,即知识,是当前人工智能、数据挖掘及智能决策等领域研究的热点。由波兰科学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出的粗糙集理论为处理此类问题提供了有力的数学工具。它能有效地对这些信息进行分析与处理,并从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律。近几年来,粗糙集理论已越来越受到人们的重视,并已在控制理论、知识发现、决策支持与分析以及故障诊断等方面得到了广泛的应用。

1.1 知识的含义与表示方法

1.1.1 知识的含义

知识是人工智能中一个非常重要的概念,解决复杂问题需要大量的知识以及处理这些知识的机构。知识在不同的范畴中有不同的含义。在粗糙集理论中,知识被看作是关于论域的划分,是一种对对象进行分类的能力。例如医生给病人看病,可以依据病人的征兆判断出属于哪一类病情。这种根据事物的特征将其分门别类的能力,就是“知识”。

定义 1-1 设 $U \neq \phi$ 是给定研究对象的有限集合,称为论域。 $\forall X \subseteq U$, 称为 U 中的一个概念 (concept) 或范畴 (category)。 U 中的一个概念族 $F = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 称为关于 U 的知识。其中 $X_i \subseteq U, X_i \neq \phi, X_i \cap X_j = \phi, i \neq j$, 且 $i, j = 1, 2, \dots, n, \bigcup_i X_i = U$ 。为规范起见,空集也认为是一个概念。



定义 1-2 设 R 是 U 上的一个等价关系 (equivalence relation), $U/R = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 表示 R 产生的分类, 称为关于 U 的一个知识。 $[x]_R = \{y \in U | xRy\}$ 表示关系 R 下包含元素 x 的等价类。 (U, R) 称为近似空间 (approximation space)。

设 W 是 U 上的等价关系族。它组成了 U 上的一族划分, 称为关于 U 的知识库。知识库用 $K = (U, W)$ 来表示。

1.1.2 不可分辨关系

定义 1-3 若 $P \subseteq W$, 且 $P \neq \phi$, 则 P 中的全部等价关系的交集称为 P 上的不可分辨关系 (indiscernibility relation), 记为 $IND(P)$:

$$IND(P) = \{(x, y) \in U \times U, \forall a \in P, f(x, a) = f(y, a)\} \quad (1-1)$$

不可分辨关系也称为等价关系。它把 U 划分为有限个集合, 称为等价类。在每一个等价集合中, 对象间是不可分辨的。对于 $\forall x \in U$, 它的 P 等价类定义为

$$[x]_P = \{y \in U | (x, y) \in IND(P)\} \quad (1-2)$$

$IND(P)$ 的所有等价类族 $U/IND(P)$ 定义为与等价关系 P 的族相关的知识, 称为 P 基本知识或基本集合, 记为 U/P 。

从定义 1-3 可以知道, U/P 实际上是由论域中相互不可分辨的对象组成的集合, 是组成知识的颗粒。它表明在已有的信息条件下, 某些对象间是不分明的。

1.1.3 知识的表示

知识的表示通过知识表达系统来完成。知识表达系统的基本成分是被研究对象的集合, 关于这些对象的知识是通过指定对象的属性和它们的属性值来描述的。因此, 可以用信息系统来表示知识。

定义 1-4 信息系统被定义为如下的四元组: $S = (U, A,$

+++++
 $V, f)$ 。其中 S 为知识表达系统; $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为对象的非空有限集合, 也称论域; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 为属性的非空有限集合; V 为属性值域, $V = \bigcup_{a \in A} V_a$; $f: U \times A \rightarrow V$ 为一信息函数, 表示对每一个 $a \in A, x \in U, f(x, a) \in V_a$ 。当信息系统中属性 $A = C \cup D$, 其中 C 为条件属性集, D 为决策属性集时, 信息系统也称为决策系统。决策系统是最为常见的信息系统。

例 1-1 设信息系统如表 1-1 所列, 对象为 8 部汽车, 条件属性分别为颜色、排放量和价格, 决策属性为销售量。

表 1-1 信息系统

对象 \ 属性	条件属性			决策属性
	颜色(a_1)	排放量(a_2)/L	价格(a_3)	销售量(d)
x_1	红色	1.8	中	中
x_2	黑色	1.6	低	大
x_3	银灰	1.6	中	大
x_4	银灰	1.8	高	中
x_5	黑色	2.0	中	小
x_6	红色	1.6	低	小
x_7	银灰	1.6	中	大
x_8	黑色	2.0	中	小

此表为一个知识表示系统。由于信息系统中属性值分为条件属性和决策属性, 故此信息系统为决策系统。在此决策系统中, 每一个属性相当于一个等价关系, 由等价关系得到的分类为

$$U/a_1 = \{\{x_1, x_6\}, \{x_2, x_5, x_8\}, \{x_3, x_4, x_7\}\}$$

$$U/a_2 = \{\{x_1, x_4\}, \{x_2, x_3, x_6, x_7\}, \{x_5, x_8\}\}$$

$$U/a_3 = \{\{x_1, x_3, x_5, x_7, x_8\}, \{x_2, x_6\}, \{x_4\}\}$$

$$U/C = \{\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3, x_7\}, \{x_4\}, \{x_5, x_8\}, \{x_6\}\}$$

$$U/d = \{\{x_1, x_4\}, \{x_2, x_3, x_7\}, \{x_4\}, \{x_5, x_6, x_8\}\}$$

由上面的分析可知,在每一个等价类中,按现有的信息无法再区别开来。例如,由所有的条件属性获得的信息无法区分 x_3 与 x_7 ,也无法区分 x_5 与 x_8 ,因而这种知识是有粒度的。

容易看出,一个属性对应一个等价关系,一个信息系统可以看作是定义的一族等价关系,即知识库。

1.2 粗糙集

1.2.1 粗糙集的下近似、上近似及边界区

对于集合 X ,一个对象 x 是否属于集合 X ,需根据现有的知识来判断,可分为三种情况:①对象 x 肯定属于集合 X ;②对象 x 肯定不属于集合 X ;③对象 x 可能属于也可能不属于集合 X 。

定义 1-5 令 $X \subseteq U$, R 是 U 上的一个等价关系。当 X 为 R 的某些等价类的并时,称 X 是 R 可定义的(R -definable),否则称 X 是 R 不可定义的(R -undefinable)。 R 可定义集称为 R 精确集, R 不可定义集称为 R 粗糙集。粗糙集可以用两个精确集,即粗糙集的下近似和上近似来描述。

定义 1-6 包含在 X 中的最大可定义集称为 X 的 R 下近似(lower approximation):

$$\underline{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \subseteq X\} \quad (1-3)$$

包含 X 的最小可定义集称为 X 的 R 上近似(upper approximation):

$$\bar{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \cap X \neq \emptyset\} \quad (1-4)$$

集合的下近似与上近似也可以用下面的等式来表示,即

$$\underline{R}(X) = \bigcup \{Y \subseteq U/R \mid Y \subseteq X\} \quad (1-5)$$

$$\bar{R}(X) = \bigcup \{Y \subseteq U/R \mid Y \cap X \neq \emptyset\} \quad (1-6)$$

定义 1-7 X 的 R 边界域(boundary region)定义为

$$BN_R(X) = \bar{R}(X) - \underline{R}(X) \quad (1-7)$$



定义 1-8 集合 $POS_R(X) = \underline{R}(X)$ 称为 X 的 R 正域 (positive region), $NEG_R(X) = U - \bar{R}(X)$ 称为 X 的 R 负域 (negative region)。

$\underline{R}(X)$ 表示在知识 R 下 U 中所有一定能归入 X 的元素的集合, $\bar{R}(X)$ 表示在知识 R 下 U 中可能归入 X 的元素的集合。 $BN_R(X)$ 表示在知识 R 下 U 中既不能肯定归入 X 也不能肯定归入 $\neg X$ 的元素的集合。

性质 1-1 设 $X \subseteq U$, 其下近似与上近似具有如下性质:

- ① $\underline{R}(X) \subseteq X \subseteq \bar{R}(X)$;
- ② $\underline{R}(\phi) = \bar{R}(\phi) = \phi$, $\underline{R}(U) = \bar{R}(U) = U$;
- ③ 若 $Y \subseteq U$, 则 $\underline{R}(X \cap Y) = \underline{R}(X) \cap \underline{R}(Y)$, $\bar{R}(X) \cup \bar{R}(Y) = \bar{R}(X \cup Y)$;
- ④ 若 $Y \subseteq U$, 则 $\underline{R}(X) \cup \underline{R}(Y) \subseteq \underline{R}(X \cup Y)$, $\bar{R}(X \cap Y) \subseteq \bar{R}(X) \cap \bar{R}(Y)$;
- ⑤ 若 $X \subseteq Y \subseteq U$, 则 $\underline{R}(X) \subseteq \underline{R}(Y)$, $\bar{R}(X) \subseteq \bar{R}(Y)$ 。

当 $\underline{R}(X) = \bar{R}(X)$ 时, 称集合 X 关于 R 是清晰的 (crisp); 当 $\underline{R}(X) \neq \bar{R}(X)$ 时, 称集合 X 关于 R 是粗糙的, 这时也称集合 X 为关于 R 的粗糙集 (rough set)。这可用集合对 $(\underline{R}(X), \bar{R}(X))$ 来近似表示。

粗糙集的概念可以用图 1-1 来示意表示。

例 1-2 在航空兵部队中, 飞机备件一般分为初始备件和后续备件。初始备件与后续备件的筹措与管理均有所不同, 因此确定哪些备件为初始备件是很重要的一项工作。表 1-2 为飞机备件是否为初始备件的决策信息表, 其中对象为飞机器材, 条件属性 $C = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ 分别为器材的关键性、故障修理间隔时间 (MTBF)、故障发生间隔时间 (MTTR) 及费用; 决策属性 $d = \{\text{是}, \text{否}\}$ 分别表示此器材是否确定为初始备件。

在表 1-2 中, 条件属性 $C = \{\text{关键性}, \text{MTBF}, \text{MTTR}, \text{费用}\}$, 决策属性 $d = \{\text{初始备件}\}$, 则