

一种多属性和准则定序分类模型

朱颢东^{1,2}, 钟 勇^{1,2}

(1. 中国科学院 成都计算机应用研究所, 成都 610041, zhuhaodong80@163.com; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 针对经典粗糙集理论在解决定性属性、定量属性以及准则属性同时出现的定序分类问题时能力较弱的这种情况, 对经典粗糙集理论进行扩展, 并给出了一个基于扩展粗糙集的决策分析方法. 该方法使用“不可区分-相似-优势”关系来代替经典粗糙集理论中的不可区分关系来获取知识的粗糙近似. 实例验证表明该方法不但能够解决上述问题而且还能处理决策表中可能存在的 inconsistency 现象, 具有较好的有效性与优越性.

关键词: 粗糙集理论; 不可区分关系; 定序分类问题; 不可区分-相似-优势关系

中图分类号: TP301

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)03-0500-05

Sequencing classification model on multiple attributes and criterias

ZHU Hao-dong^{1,2}, ZHONG Yong^{1,2}

(1. Chengdu Institute of Computer Applications, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China, zhuhaodong80@163.com;

2. The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Classic rough set theory solves problems by means of indiscernibility relation, but it is powerless to resolve the sequencing classification problems in which qualitative attributes, quantitative attributes and criteria exist at the same time. In view of this situation, classic rough set theory is extended, and then a decision analysis method based on the extended rough set theory is proposed. This method replaces the indiscernibility relation in original rough set theory with the indiscernibility-similarity-dominance relation and achieves rough approximation of knowledge. An example study shows that the method can effectively resolve the above mentioned problems and can deal with inconsistency in decision table.

Key words: rough set theory; indiscernibility relation; sequencing classification problem; indiscernibility-similarity-dominance relation

多属性和准则定序分类是现实生活中一类重要的决策问题^[1-2], 对于该问题的现有解决方法在获取决策者的偏好信息方面都存在困难. 关系模型和函数模型是解决该方法的主要模型, 但是这两个模型需要事先给出较多的偏好信息, 例如准则权重、满意度等^[3-4], 这为那些不熟悉这两个模型的用户增加了难度. 粗糙集理论的出现为这类问题提供了较为可行的解决办法^[5]. 但是粗糙集理论是利用不可区分关系来解决问题的, 但它

在解决多属性和准则定序分类问题时能力较弱. Greco 等^[6-9]学者使用优势关系来代替不可区分关系以增强粗糙集解决多属性和准则定序分类问题的能力, 但也存在一定的局限性. 本文在这些文献的基础上, 对经典粗糙集理论进行了扩展, 并给出了一个基于扩展粗糙集的决策分析方法. 该方法使用“不可区分-相似-优势”关系来代替经典粗糙集理论中的不可区分关系来获取知识的粗糙近似.

1 一种新的不一致问题

经典粗糙集方法是通过不可区分关系来实现知识的获取, 每个非空的属性子集 P 都对应着 U 上的一个不可区分关系, 记作 $I_P: I_P = \{(x, y) \in$

收稿日期: 2008-10-08.

基金项目: 四川省科技计划资助项目(2008GZ0003); 四川省科技攻关资助项目(07GG006-019).

作者简介: 朱颢东(1980—), 男, 博士;

钟 勇(1966—), 男, 研究员, 博士生导师.

$U \times U: q(x) = q(y), \forall q \in P\}$, 如果 $(x, y) \in I_p$, 则称 x 和 y 是 p 不可区分的, 这样定义的不可区分关系是一种等价关系, 即满足自反性、对称性、传递性. 关系 I_p 的所有等价类的集合记作 U/I_p (形成 U 上的一个划分). 关系 I_p 中的等价类称为 P 初等集. 对于由信息粒度引起的不一致问题, 经典粗糙集理论是可以解决的, 但是有准则属性出现时, 需要在数据分析时考虑优势关系.

以公司进行破产风险评估作为例子. 其中, 用一个准则(投资回报) 和一个属性(所在城市) 来描述该公司.

表1 破产风险评估表

公司	投资回报/%	所在城市	破产风险
A	7	X	中等
B	5	X	高
C	3	X	中等
D	3	Y	中等

表1表明: 因为 A 的投资回报高于 B 的投资回报, 而 A 的风险低于 B 的风险, 并且它们所在城市相同, 因此 A 的评估结果比 B 的评估结果好, 这是合理的. D 的评估结果也比 B 的评估结果好, 虽然 B 的投资回报较高, 但是 B 和 D 位于不同的城市, 其投资条件可能不同, 此结果并不违背优势原理. C 的评估结果好于 B 的评估结果, 虽然 B 的投资回报较高, 但是 C 和 B 处在相同的城市, 评估结果违背了优势原理, 使得 B 和 C 是一对不一致样本.

2 对经典粗糙集的扩展

2.1 对优势关系的扩展

已知 $S = (U, C \cup D, V, \rho)$, 其中, C^- 为定量属性子集, $C^=$ 为定性属性子集, $C^>$ 为准则子集, 则 $C^- \cup C^> \cup C^= = C$ 且 $C^> \cap C^= = \phi, C^> \cap C^- = \phi, C^= \cap C^- = \phi$. 此外, 对任意的 $P \subseteq C$, 记 $P^> = P \cap C^>, P^= = P \cap C^=, P^- = P \cap C^-$.

1) 对 $\forall q \in C^-, R_q$ 为 U 上一个相似关系, xR_qy 为在定量属性 q 上 x 相似于 y ($\frac{|f(x,q) - f(y,q)|}{|f(y,q)|} \leq \alpha, \alpha$ 为给定的阈值). 若 $\forall x, y \in U, \forall q \in P^- \subseteq C^-$, 有 xR_qy , 则在 P^- 上 x 相似于 y .

2) 对 $\forall q \in C^>, S_q$ 为 U 上一个优势关系, xS_qy 在准则属性 q 上 x 至少同 y 一样好 ($f(x,q) \geq f(y,q)$). 若 $\forall x, y \in U, \forall q \in P^> \subseteq C^>$, 有 xS_qy , 则在 $P^>$ 上 x 优于 y .

3) 对 $\forall q \in C^=, I_q$ 为 U 上一个不可区分关系, xI_qy 为在定性属性 q 上 x 同 y 不可区分 ($f(x,q) = f(y,q)$). 若 $\forall x, y \in U, \forall q \in P^= \subseteq C^=$, 有 xI_qy , 则在 $P^=$ 上 x 和 y 不可区分.

另外, 如果决策属性集 D 把论域 U 划分为若干个决策类, 令 $cl = \{cl_t | t \in T, T = 1, 2, \dots, n\}$, 为决策类集合, 那么 $\forall x \in U$ 且仅属于一个 $cl_t \in cl$, 而且 $\forall r, s \in T$, 若 $r > s$, 则 cl_r 中的对象(严格地或弱地) 优于 cl_s 的对象. 定义 $[x \in cl_r, y \in cl_s, r > s] \Rightarrow [xSy]$, 其中, xSy 为 x 不劣于 y . 由于决策类的这种偏好序关系, 令 $cl_i^{\geq} = \{x | (x \in cl_i) \vee (\forall y \in cl_t \wedge xSy)\}$ 称为决策类 cl_i 的向上并集, $cl_i^{\leq} = \{x | (x \in cl_i) \vee (\forall y \in cl_t \wedge ySx)\}$ 称为决策类 cl_i 的向下并集, 即 $cl_i^{\geq} = \bigcup_{s \geq i} cl_s, cl_i^{\leq} = \bigcup_{s \leq i} cl_s, t = 1, 2, \dots, n$. 显然, $cl_1^{\geq} = cl_n^{\leq} = U, cl_n^{\geq} = cl_1^{\leq}, cl_1^{\leq} = cl_1$.

2.2 新的粗糙近似

经典粗糙集是用一种知识近似另一种知识, 其中被近似的知识是决策属性集 D 划分 U 所形成的决策类, 用于近似的知识是条件属性集 C 划分 U 所形成的基本集. 但对定序分类而言, 不但决策类具有偏好序, 而且条件属性集含有准则, 此时被近似的知识是决策类的向上并集和向下并集, 用于近似的知识不再是仅由不可区分关系定义的对象集, 而是由相似、优势和不可区分关系共通定义的对象集, 这也是扩展方法与经典方法的主要区别.

对于 $\forall P \subseteq C$, 定义 D_P 和 D_P^* 为 U 上的两个自反二元关系, 称为“不可区分 - 相似 - 优势”关系, 对 $\forall x, y \in U$: ① $x D_P y$ iff $\forall q \in P^>, x S_q y; \forall q \in P^=, x I_q y \wedge \forall q \in P^-, y R_q x$. ② $x D_P^* y$ iff $\forall q \in P^>, x S_q y; \forall q \in P^=, x I_q y \wedge \forall q \in P^-, x R_q y$.

给定 $P \subseteq C, x \in U$, 扩展方法中, 用于近似的“知识粒”为:

- 1) 在 $P^>$ 上, y 优于 x ; 在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区分; 在 P^- 上, x 相似于 y 的对象 y 的集合: $D_P^{L+}(x) = \{y \in U: y D_P x\}$.
- 2) 在 $P^>$ 上, y 优于 x ; 在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区分; 在 P^- 上, y 相似于 x 的对象 y 的集合: $D_P^{U+}(x) = \{y \in U: y D_P^* x\}$.
- 3) 在 $P^>$ 上, y 劣于 x ; 在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区分; 在 P^- 上, x 相似于 y 的对象 y 的集合: $D_P^{L-}(x) = \{y \in U: x D_P^* y\}$.
- 4) 在 $P^>$ 上, y 劣于 x ; 在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区

分;在 P^- 上, y 相似于 x 的对象 y 的集合: $D_p^{u-}(x) = \{y \in U: xD_p y\}$.

集合 $D_p^{L+}(x)$ 和 $D_p^{U+}(x)$ 称为不可区分-相似-优势集,集合 $D_p^{L-}(x)$ 和 $D_p^{U-}(x)$ 称为不可区分-相似-劣势集.

$\forall P \subseteq C$,即 $x \in U$ 肯定属于 $cl_t^{\geq}$,如果 $x \in cl_t^{\geq}$ 且对每个满足在 $P^>$ 上, y 优于 x ;在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区分;在 P^- 上, x 相似于 y 的对象 y 也有 $y \in cl_t^{\geq}$,即 $D_p^{L+}(x) \subseteq cl_t^{\geq}$.此外, $y \in U$ 可能属于 $cl_t^{\geq}$,如果至少存在一个对象 $x \in cl_t^{\geq}$,使得在 $P^>$ 上, y 优于 x ;在 $P^=$ 上, y 和 x 不可区分;在 P^- 上, y 相似于 x ,即 $y \in D_p^{U+}(x)$.

所以, $\forall P \subseteq C$,必定属于 $cl_t^{\geq}$ 的全部对象形成了 $cl_t^{\geq}$ 的 P -下近似,记作 $\underline{P}(cl_t^{\geq}) = \{x \in U: D_p^{L+}(x) \subseteq cl_t^{\geq}\}$;可能属于 $cl_t^{\geq}$ 的全部对象形成了 $cl_t^{\geq}$ 的 P -上近似,记作 $\bar{P}(cl_t^{\geq}) = \cup_{x \in cl_t^{\geq}} D_p^{U+}(x)$, $t = 1, 2, \dots, n$.类似地,可以定义 $cl_t^{\leq}$ 的 P -下近似 $\underline{P}(cl_t^{\leq}) = \{x \in U: D_p^{L-}(x) \subseteq cl_t^{\leq}\}$ 和 P -上近似 $\bar{P}(cl_t^{\leq}) = \cup_{x \in cl_t^{\leq}} D_p^{U-}(x)$, $t = 1, 2, \dots, n$.因此,决策类的边界为: $Bn_P(cl_t^{\geq}) = \bar{P}(cl_t^{\geq}) - \underline{P}(cl_t^{\geq})$, $Bn_P(cl_t^{\leq}) = \bar{P}(cl_t^{\leq}) - \underline{P}(cl_t^{\leq})$. $\forall P \subseteq C$,定义 $cl_t^{\geq}$ 和 $cl_t^{\leq}$ 的关于 P 的近似精度为

$$\alpha_P(cl_t^{\geq}) = \frac{|\underline{P}(cl_t^{\geq})|}{|\bar{P}(cl_t^{\geq})|}, \quad \alpha_P(cl_t^{\leq}) = \frac{|\underline{P}(cl_t^{\leq})|}{|\bar{P}(cl_t^{\leq})|}.$$

此近似精度描述的是利用 P 对对象分类时可能决策中正确决策的百分比.

定义 划分 cl 关于 P 的近似分类质量为 $\gamma_P(cl) = \frac{|U - ((\cup_{t \in T} Bn_P(cl_t^{\leq})) \cup (\cup_{t \in T} Bn_P(cl_t^{\geq})))|}{|U|}$.

式中: P 能确切地划入 cl 类的对象的百分比.

条件属性集 C 的最小子集 $P \subseteq C$ 称为决策表的一个约简,当且仅当 $\gamma_P(cl) = \gamma_C(cl)$.一个决

策表可能有多约简.

2.3 提取决策规则

由决策类的向上和向下并集的粗糙近似,可以获得3类决策规则:

1) $D_{\geq}$ -决策规则,由 $\underline{P}(cl_t^{\geq})$ 形成:若 $f(x, q_1) \geq r_{q_1}, \dots, f(x, q_u) \geq r_{q_u}$ 且 $f(x, q_{u+1}) = r_{q_{u+1}}, \dots, f(x, q_v) = r_{q_v}$ 且 $f(x, q_{v+1})$ 相似于 $r_{q_{v+1}}, \dots, f(x, q_z)$ 相似于 r_{q_z} ,则 $x \in cl_t^{\geq}$;其中, $P = \{q_1, \dots, q_z\} \subseteq C, P^> = \{q_1, \dots, q_u\}, P^= = \{q_{u+1}, \dots, q_v\}, P^- = \{q_{v+1}, \dots, q_z\}, \{r_{q_1}, \dots, r_{q_z}\} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_z}, t \in T$;

2) $D_{\leq}$ -决策规则,由 $\underline{P}(cl_t^{\leq})$ 形成:若 $f(x, q_1) \leq r_{q_1}, \dots, f(x, q_u) \leq r_{q_u}$ 且 $f(x, q_{u+1}) = r_{q_{u+1}}, \dots, f(x, q_v) = r_{q_v}$ 且 $f(x, q_{v+1})$ 相似于 $r_{q_{v+1}}, \dots, f(x, q_z)$ 相似于 r_{q_z} ,则 $x \in cl_t^{\leq}$;其中, $P = \{q_1, \dots, q_z\} \subseteq C, P^> = \{q_1, \dots, q_u\}, P^= = \{q_{u+1}, \dots, q_v\}, P^- = \{q_{v+1}, \dots, q_z\}, \{r_{q_1}, \dots, r_{q_z}\} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_z}, t \in T$;

3) $D_{\approx}$ -决策规则,由 $\bar{P}(cl_t^{\geq}) \cap \bar{P}(cl_t^{\leq})$ 形成:若 $f(x, q_1) \geq r_{q_1}, \dots, f(x, q_u) \geq r_{q_u}$ 且 $f(x, q_{u+1}) \leq r_{q_{u+1}}, \dots, f(x, q_v) \leq r_{q_v}, \dots, f(x, q_v) = r_{q_v}$ 且 $f(x, q_{v+1}) = r_{q_{v+1}}, \dots, f(x, q_w) = r_{q_w}$ 且 $f(x, q_{w+1})$ 相似于 $r_{q_{w+1}}, \dots, f(x, q_z)$ 相似于 r_{q_z} ,则 $x \in cl_s \cup cl_{s+1} \cup \dots \cup cl_t$;其中, $P = \{q_1, \dots, q_z\} \subseteq C, P^> = \{q_1, \dots, q_u\} \cup \{q_{u+1}, \dots, q_v\}, P^= = \{q_{v+1}, \dots, q_w\}, P^- = \{q_{w+1}, \dots, q_z\}, \{r_{q_1}, \dots, r_{q_z}\} \in V_{q_1} \times V_{q_2} \times \dots \times V_{q_z}, s, t \in T, s < t, \{q_1, \dots, q_u\}$ 和 $\{q_{u+1}, \dots, q_v\}$ 能够相交.

3 实例验证

表2是一个决策表,其中有8家商场作为决策对象,其中, A_1 为交通条件, A_2 为位置, A_3 为面积, m^2 , A_4 为商场内环境, A_5 为同类商品平均价格, A_6 为服务态度, A_7 为客流量, d 为决策属性.表2中 d 把论域划分为赢利、盈亏平衡、亏损3类.

表 2 一个具有多属性和准则的决策表

商场	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	d
1	一般	郊区	510	差	一般	中	中	亏损
2	方便	郊区	400	良	低	中	高	赢利
3	一般	郊区	450	中	一般	中	中	盈亏平衡
4	方便	市区	400	差	高	良	高	亏损
5	方便	市区	475	中	低	良	高	赢利
6	一般	市区	425	中	一般	良	中	盈亏平衡
7	一般	市区	350	良	高	良	中	赢利
8	一般	市区	350	良	高	良	中	亏损

3.1 经典粗糙集方法的结果

显然, $C = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7\}$, $D = \{d\}$. 其中, cl_1 为亏损的商场类, cl_2 为盈亏平衡的商场类, cl_3 为赢利的商场类. $cl_1 = \{1, 4, 8\}$, $cl_2 = \{3, 6\}$, $cl_3 = \{2, 5, 7\}$. cl_1, cl_2, cl_3 的 C -下近似、 C -上近似、 C -边界分别为: $\underline{C}(cl_1) = \{1, 4\}$, $\overline{C}(cl_1) = \{1, 4, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_1) = \{7, 8\}$, $\underline{C}(cl_2) = \{3, 6\}$, $\overline{C}(cl_2) = \{3, 6\}$, $Bn_C(cl_2) = \phi$, $\underline{C}(cl_3) = \{2, 5\}$, $\overline{C}(cl_3) = \{2, 5, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_3) = \{7, 8\}$.

因此, cl_1, cl_2, cl_3 的近似精度分别为 0.5, 1, 0.5. 分类质量为 0.75. 存在约简 $\{A_2, A_3\}$ 或 $\{A_3, A_6\}$.

以约简集 $\{A_3, A_6\}$ 为例, 可以得到的最小决策规则集为 (其中: $(x, A_3), (x, A_6)$ 为支持对应规则的对象, $(1, \dots, 8)$ 为所对应的商场):

- 1) 若 $f(x, A_3) = 510$, 则 $x \in cl_1(1)$.
- 2) 若 $f(x, A_3) = 450$, 则 $x \in cl_2(3)$.
- 3) 若 $f(x, A_3) = 475$, 则 $x \in cl_3(5)$.
- 4) 若 $f(x, A_3) = 425$, 则 $x \in cl_2(6)$.
- 5) 若 $f(x, A_3) = 400, f(x, A_6) = \text{“中”}$, 则 $x \in cl_3(2)$.
- 6) 若 $f(x, A_3) = 400, f(x, A_6) = \text{“良”}$, 则 $x \in cl_1(4)$.
- 7) 若 $f(x, A_3) = 350$, 则 $x \in cl_1$ 或 $x \in cl_3(7, 8)$.

3.2 使用“不可区分-相似-优势”关系的近似结果

同样是 $C = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7\}$, $D = \{d\}$, 但观察到 A_1 或 A_7 是一个准则属性. 对 A_1 来讲, “方便” 优 “一般”. 而对 A_2, A_3 来讲, 它们再相关域上不存在优势关系. 对属性 A_2 而言, 使用经典的不可区分关系, 即 $\forall x, y \in U, xI_qy$, 则有 $f(x, A_2) = f(y, A_2)$. 对属性 A_3 来说, 定义一个相似关系, 使得 $\forall x, y \in U, xR_qy$, 则有 $\frac{|f(y, A_3) - f(x, A_3)|}{|f(y, A_3)|} \leq 10\%$. 因为考虑了 3 个决策类, 所以需要近似 $cl_1^{\leq}, cl_2^{\leq}, cl_2^{\geq}, cl_3^{\geq}$. $cl_1^{\leq} = cl_1 = \{1, 4, 8\}$, $cl_2^{\leq} = cl_1 \cup cl_2 = \{1, 3, 4, 6, 8\}$, $cl_2^{\geq} = cl_2 \cup cl_3 = \{2, 3, 5, 6, 7\}$, $cl_3^{\geq} = cl_3 = \{2, 5, 7\}$, 它们的 C -下近似、 C -上近似、 C -边界分别为 $\underline{C}(cl_1^{\leq}) = \{1\}$, $\overline{C}(cl_1^{\leq}) = \{1, 4, 6, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_1^{\leq}) = \{4, 6, 7, 8\}$, $\underline{C}(cl_2^{\leq}) = \{1, 3, 4, 6\}$, $\overline{C}(cl_2^{\leq}) = \{1, 3, 4, 6, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_2^{\leq}) = \{7, 8\}$, $\underline{C}(cl_2^{\geq}) = \{2, 3, 5\}$, $\overline{C}(cl_2^{\geq}) = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_2^{\geq}) = \{4, 6, 7, 8\}$, $\underline{C}(cl_3) = \{2, 5\}$, $\overline{C}(cl_3^{\geq}) = \{2, 5, 7, 8\}$, $Bn_C(cl_3^{\geq}) = \{7, 8\}$.

$cl_1^{\leq}, cl_2^{\leq}, cl_2^{\geq}, cl_3^{\geq}$ 的近似精度分别为 0.2、0.67、0.43、0.5, 而分类质量为 0.5. 存在约简 $\{A_2, A_3\}$ 或 $\{A_3, A_6\}$.

以 $\{A_3, A_6\}$ 和准则属性 A_1 为例, 则可获得最小决策规则集 (其中, $(x, A_3), (x, A_6)$ 为支持对应规则的对象, $(1, \dots, 8)$ 为所对应的商场):

- 1) 若 $f(x, A_3)$ 为 “中”, $f(x, A_3)$ 相似于 510, 则 $x \in cl_1^{\leq}(1)$.
- 2) 若 $f(x, A_1)$ 至少为 “方便”, $f(x, A_6)$ 为 “中”, 则 $x \in cl_3^{\geq}(2)$.
- 3) 若 $f(x, A_6)$ 为 “中”, $f(x, A_3)$ 相似于 450, 则 $x \in cl_2(3)$.
- 4) 若 $f(x, A_6)$ 为 “良”, $f(x, A_3)$ 相似于 400, 则 $x \in cl_1 \cup cl_2(4, 6)$.
- 5) 若 $f(x, A_1)$ 至少为 “方便”, $f(x, A_3)$ 相似于 475, 则 $x \in cl_3^{\geq}(5)$.
- 6) 若 $f(x, A_3)$ 相似于 350, 则 $x \in cl_1 \cup cl_2 \cup cl_3(7, 8)$.

3.3 结果对比

仅使用不可区分关系时, 近似分类质量为 0.75, 这是因为商场 7、8 是不可区分的却属于不同的决策类. 使用不可区分-相似-优势关系时, 近似分类质量为 0.5, 这是因为商场 4、6 存在不一致: 在准则属性 A_1 上, 商场 4 优于商场 6; 在属性 A_2 上, 商场 4 和商场 6 是不可区分的; 在属性 A_3 上, 商场 6 相似于商场 4, 因此有 $4D_c6$ (同时也因商场 4 相似于商场 6, 也有 $4D_c^*6$). 可是, 对商场 4 的综合评估为亏损, 对商场 6 的综合评估为盈亏平衡, 商场 4 劣于商场 6, 这明显不符合优势原理. 仅使用不可区分关系对这种不一致无能为力, 而利用 “不可区分-相似-优势” 关系却可以揭示这种不一致.

4 结 论

- 1) 经典粗糙集中的不可区分关系对解决多属性和准则定序分类问题能力较弱.
- 2) 本文把经典粗糙集中的不可区分关系扩展为 “不可区分-相似-优势” 关系, 实例表明该关系不但能够解决此问题而且还能处理决策表中可能存在的 inconsistence 现象, 同经典粗糙集中的不可区分关系相比具有较好的有效性与优越性.

参考文献:

[1] GRECO S, MATARAZZO B, SLOWINSKI R. Rough sets theory for multicriteria decision analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129(1):

- 1 - 47.
- [2] GRECO S, MATARAZZO B, SLOWINSKI R. Rough sets methodology for problems in presence of multiple attributes and criteria[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 138(2): 247 - 259.
- [3] BELACEL N. Multicriteria assignment method: Methodology and medical applications[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 125(1): 175 - 183.
- [4] ZOPOUNIDIS C, DOUMPOS M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 138(2): 229 - 246.
- [5] 胡寿松, 何亚群. 粗糙决策理论与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006: 23 - 33.
- [6] GRECO S, SLOWINSKI R, STEFANOWSKI J, *et al.* Incremental versus non-incremental rule induction for multicriteria classification[C]//*Transactions on Rough Sets II*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004: 33 - 53.
- [7] DEMBCZYNSKI K, GRECO S, SLOWINSKI R. Second-order rough approximations in multi-criteria classification with imprecise e-valuations and assignments[C]//*RSFDGRC 2005*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005: 54 - 63.
- [8] BLASZCZYNSKI J, DEMBCZYNSKI K, SLOWINSKI R. Interactive analysis of preference-ordered data using dominance-based rough set approach [C]//*ICAISC 2006*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006: 489 - 498.
- [9] ZARAS K, THIBAUT J. Ranking by rough approximation of preferences for decision engineering applications [C]//*RSKT2007*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 142 - 148.
- [10] LI Ming, ZHANG Baowei, WANG Tong, *et al.* Approximation of class unions based dominance-matrix within dominance-based rough set approach [C]//*ACII2005*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005: 795 - 802.
- [11] ZARAS K. Rough approximation of a preference relation by a multi-attribute stochastic dominance for determinist and stochastic and fuzzy problems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 159(1): 196 - 206.
- [12] SHAO Mingwen, ZHANG Wenxiu. Dominance relation and rules in an incomplete ordered information system [J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2005, 20(1): 13 - 27.
- [13] JIA Xiuyi, SHANG Lin, JI Yangsheng, *et al.* An incremental updating algorithm for core computing in dominance-based rough set model [C]//*RSFDGrC2007*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 403 - 410.
- [14] YUE Chaoyuan, YAO Shengbao, ZHANG Peng, *et al.* Rough approximation of a preference relation for stochastic multi-attribute decision problems [C]//*FSKD 2005*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005: 242 - 245.
- [15] 桂现才. 优势关系下信息系统的信息量与粗糙熵[J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(24): 6340 - 6343.
- [16] 贾修一, 于绍越, 商琳, 等. 基于优势关系的粗糙集应用研究[J]. *计算机科学*, 2008, 35(8): 901 - 904.
- [17] 徐伟华, 张文修. 基于优势关系下信息系统分配约简的矩阵算法[J]. *计算机工程*, 2007, 33(14): 4 - 7.
- [18] 袁修久, 何华灿. 优势关系下的相容约简和下近似约简[J]. *西北工业大学学报*, 2006, 24(5): 604 - 608.
- [19] 赵越岭, 王建辉, 顾树生. 基于优势关系粗糙集的数据分类[J]. *控制工程*, 2007, 14(3): 51 - 54.

(编辑 张 红)