

基于前景理论的直觉模糊三支决策模型

薛占熬, 庞文莉, 姚守倩, 范黎林

(河南师范大学 计算机与信息工程学院;“智慧商务与物联网技术”河南省工程实验室,河南 新乡 453007)

摘要:针对直觉模糊环境下的三支决策建模问题,综合考虑决策者的不同风险偏好所引起的阈值变化,提出了一种基于前景理论的直觉模糊三支决策模型.首先,给出了一种新的直觉模糊事件概率的计算方法,并对其性质进行证明.然后,在直觉模糊信息表中,利用直觉模糊可能性测度(Intuitionistic Fuzzy Probability Measure, IFPM)计算理想参照点,根据理想参照点前景均值和论域对象综合前景值的关系,给出三支决策划分规则.最后,为减少边界冗余信息,对边界域对象进行二次划分,给出相关算法,并用实例验证了该模型的有效性.

关键词:前景理论;IFPM;直觉模糊熵;直觉模糊三支决策

中图分类号:TP191

文献标志码:A

目前,不确定性是人工智能领域所面临的主要问题之一.为了探求更好的策略,学者们提出了不同的方法和理论.文献[1-2]将心理学研究融入不确定条件决策中,通过主观概率反应决策者对风险的规避程度,提出了前景理论.前景理论利用价值函数和决策权重函数代替完全理性的效用值,更具有实用性,学者们对其展开了深入的研究.王亮等^[3]针对突发事件信息的不确定性特征,提出了基于前景理论的应急方案动态调整方法;SUN 等^[4]探讨了两种基于前景理论的多属性决策方法,并用于解决医师选择问题;LI 等^[5]研究了多参考点对决策的影响,并给出了一种在梯形直觉模糊环境的前景值确定方法;文献[6]在模糊集^[7]的基础上,提出了直觉模糊集理论,它利用隶属度和非隶属度描述不确定性问题,具有良好表现力和灵活性,引起了学者们的广泛关注^[8-10].例如,COUSO 等^[9]从模糊集背景下的实值测量中推导出了直觉模糊集的相应扩展和特定结构;XUE 等^[10]利用 IFPM 分析和讨论了在不完备信息表中缺失值的填补方法和三支决策分类.这些研究为三支决策与直觉模糊集理论的深度融合提供了新的思路 and 方向.

粗糙集^[11]也是处理不确定信息的经典理论,但由于其严格的等价关系限制了该理论的进一步发展.YAO^[12]为克服粗糙集容噪能力较差等问题,提出了三支决策理论.由于该理论更符合人们的认知,处理问题更加便捷,使其成了一个新的研究热点.LIU 等^[13]综合考虑决策者的心理态度,提出了一种基于前景理论的三支群决策方法;ZHANG 等^[14]综合考虑了属性值的不确定性和成本更新问题,建立了一种动态三支决策模型.然而,将前景理论与直觉模糊集结合,构造直觉模糊三支决策模型的研究还比较少.

本文在前景理论的基础上,针对不同风险偏好引起的决策阈值的变化问题,构造了基于不同置信水平的价值函数,结合 IFPM,给出理想参照点的计算方法.在直觉模糊信息表下,根据理想参照点前景均值和论域对象综合前景值的关系,构建了基于前景理论的直觉模糊三支决策模型.并对边界域中的冗余信息进行分析和二次决策,给出相关算法.最后,通过实例验证了本文模型的有效性.本研究对直觉模糊环境下的三支决策建模问题提供了一个新的方法.

1 基本概念

定义 1^[6] 设 U 为论域, $\mu_A(x):U \rightarrow [0,1]$ 和 $\nu_A(x):U \rightarrow [0,1]$ 是论域 U 上的两个映射,使得对任意

收稿日期:2019-06-05;修回日期:2019-12-21.

基金项目:国家自然科学基金(61772176);河南省科技攻关项目(182102210078;182102210362).

作者简介(通信作者):薛占熬(1963—),男,河南陕县人,河南师范大学教授,博士,研究方向为人工智能基础理论、智能决策和粗糙集理论, E-mail: xuezhanao@163.com.

的 $x \in U$, 满足: $\mu_A(x) \in [0, 1], \nu_A(x) \in [0, 1], 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. 则记 $A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in U\}$ 为论域 U 上的一个直觉模糊集. 其中, $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 分别表示元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度, X 上所有直觉模糊集组成的集合记为 $IF(U)$.

对 $\forall A \in IF(U)$, 称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ 为直觉模糊集 A 的犹豫度, 显然有 $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$.

定义 2^[6] 设 $A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in U\}$ 和 $B = \{\langle x, \mu_B(x), \nu_B(x) \rangle \mid x \in U\}$ 是两个直觉模糊集, 则直觉模糊集合 A 和 B 上的运算有:

(1) $A \cup B = \{\langle x, \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \nu_A(x) \wedge \nu_B(x) \rangle \mid \forall x \in U\}$; (2) $A \cap B = \{\langle x, \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \nu_A(x) \vee \nu_B(x) \rangle \mid \forall x \in U\}$; (3) $A^c = \{\langle x, \nu_A(x), \mu_A(x) \rangle \mid \forall x \in U\}$.

定义 3^[15] 设 U 为论域, 定义在直觉模糊备域空间上的两对集函数分别为 $Ps: x \rightarrow [0, 1]$ 和 $Ng: x \rightarrow [0, 1], Cp: x \rightarrow [0, 1]$ 和 $Cn: x \rightarrow [0, 1]$. 对任意的 $A \in IF(U)$, 有 $\{U_i \mid U_i \in U\}, i = 1, 2, \dots, n$, 则直觉模糊可能性测度 (Ps, Ng) 可表示为:

$$(a) Ps(\mu(x)) = 1, Ng(\nu(x)) = 0, (b) \begin{cases} Ps(\bigcap_{U_i \in U} U_i(\mu(x))) = \inf_{U_i \in U} Ps(\mu_{U_i}(x)), \\ Ng(\bigcup_{U_i \in U} U_i(\nu(x))) = \sup_{U_i \in U} Ng(\nu_{U_i}(x)). \end{cases}$$

类似地, 直觉模糊可信度 (Cp, Cn) 可表示为:

$$(c) Cp(A) = 1, Cn(A) = 0, (d) \begin{cases} Cp(A) = \frac{1}{2}(0.5 + \mu_A(x) - Ps(\mu_{A^c}(x))), \\ Cn(A) = \frac{1}{2}(0.5 - \nu_A(x) + Ng(\nu_{A^c}(x))). \end{cases}$$

定义 4^[16] 设直觉模糊集 $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和 $B = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 之间的标准化欧几里得距离为:

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (\nu_A(x_i) - \nu_B(x_i))^2 + (\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2)}. \quad (1)$$

定义 5^[17] 设 $U = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为论域, 直觉模糊集 $A = \sum_{i=1}^n \{\langle x_i, \mu_A(x_i), \nu_A(x_i) \rangle\}$ 的直觉模糊熵为:

$$E(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min\{\mu_A(x_i), \nu_A(x_i)\} + \pi_A(x_i)}{\max\{\mu_A(x_i), \nu_A(x_i)\} + \pi_A(x_i)}. \quad (2)$$

定义 6^[12] 设 U 为有限非空论域, 阈值为 $(\alpha, \beta) (0 \leq \beta < \alpha \leq 1)$, 关于阈值 (α, β) -正域 POS 、负域 NEG 和边界域 BND 分别可定义为: $POS_{(\alpha, \beta)}(\mu(x), \nu(x)) = \{\mu(x) \geq \alpha \wedge (\nu(x) < \beta) \mid \forall x \in U\}$, $NEG_{(\alpha, \beta)}(\mu(x), \nu(x)) = \{\mu(x) < \alpha \wedge (\nu(x) \geq \beta) \mid \forall x \in U\}$, $BND_{(\alpha, \beta)}(\mu(x), \nu(x)) = (POS_{(\alpha, \beta)}(U) \cup NEG_{(\alpha, \beta)}(U))^c$.

若 $[x]$ 是论域 U 上的等价类, 对任意的 $x \in U$, 三支决策划分规则可进行如下简化.

接受决策规则: $POS_{(\alpha, \beta)}(X) = \{x \in U \mid P(X \mid [x]) \geq \alpha\}$;

拒绝决策规则: $BND_{(\alpha, \beta)}(X) = \{x \in U \mid \beta < P(X \mid [x]) < \alpha\}$;

延迟决策规则: $NEG_{(\alpha, \beta)}(X) = \{x \in U \mid P(X \mid [x]) \leq \beta\}$,

其中, $P(X \mid [x]) = \frac{|[x] \cap X|}{|[x]|}$ 表示对象 x 属于 X 的条件概率, $|\cdot|$ 表示基数.

定义 7^[1] 设 $f = (x_1, p_1; x_2, p_2; \dots, x_n, p_n)$ 表示前景, x_i 为前景的第 i 个可能性结果, p_i 为前景对应的概率, $0 \leq i \leq n$. 则前景值可表示为:

$$V_i(x_1, p_1; x_2, p_2; \dots, x_n, p_n) = \sum_{i=1}^n \omega(p_i) \cdot \delta(x_i), \quad (3)$$

其中, $\delta(x_i) = \begin{cases} (\Delta x)^\sigma, & x \geq 0 \\ -\lambda(\Delta x)^\eta, & x < 0 \end{cases}$ 为价值函数, $(\sigma, \eta \in (0, 1))$ 表示风险偏好参数, Δx 表示与理想参照点间的差值; $\omega^1(p_i) = \frac{p_i^\gamma}{(p_i^\gamma + (1 - p_i^\gamma))^{1/\gamma}}, \omega^2(p_i) = \frac{p_i^k}{(p_i^k + (1 - p_i^k))^{1/k}}$ 分别表示收益和损失时的决策权重函数, 参数 γ 和 k 表示对概率 P_i 的修正.

2 基于前景理论的直觉模糊三支决策模型

在传统的三支决策模型中, (α, β) 决策阈值和损失函数大多由领域专家凭经验给出, 并结合合理的假设: $\lambda_{PP} \leq \lambda_{BP} < \lambda_{NP}, \lambda_{NN} \leq \lambda_{BN} < \lambda_{PN}$, 进行期望效用计算, 即风险代价, 具有很大的主观性, 传统的风险代价函数如表 1 所示.

状态集 $\Phi = \{X, \neg X\}$ 表示某事件 x 属于 X 和不属于 X 的集合, 行动集 $Z = \{a_P, a_B, a_N\}$ 表示采取接受行动、延迟行动和拒绝行动的集合. $\lambda_{PP}, \lambda_{BP}, \lambda_{NP}$ 表示当 $x \in X$ 时, 采取 3 种行动时的代价损失; $\lambda_{PN}, \lambda_{BN}, \lambda_{NN}$ 表示当 $x \notin X$ 时, 采取 3 种行动时的代价损失.

根据前景理论, 相对于收益, 人们对损失更加敏感, 即在收益面前, 人们表示为风险规避; 在损失面前, 人们则偏向于风险追求. 例如生活中常见的购买刮刮乐彩票, 若购买需支出 100 元, 情形 A: 100% 概率中 800 元; 情形 B: 90% 概率中 1000 元, 10% 概率未中奖. 可得到情形 A 的效用期望: $E(A) = 800 - 100 = 700$; 情形 B 的效用期望: $E(B) = (1000 - 100) \times 0.9 + (0 - 100) \times 0.1 = 800 > E(A)$. 根据传统期望效用理论, 应选择情形 B, 而在实际生活中人们通常会选择情形 A. 可见, 在不确定条件决策下, 前景理论更符合生活实际. 本文模型正是基于上述考虑, 将前景理论融入直觉模糊环境下的三支决策建模过程, 构造了基于前景理论的直觉模糊三支决策模型.

2.1 直觉模糊事件概率

定义 8 设 $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是样本空间, 存在映射 $p: f(\Omega) \rightarrow [0, 1]$, $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 表示基本事件概率的集合, A 的直觉模糊概率率为:

$$P(A) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \mu_A^i(x) p_i - \nu_A^i(x) (1 - p_i)).$$

(4)

性质 1 根据定义 8, 有如下性质.

- (1) $\forall A \in F, 0 \leq P(A) \leq 1$;
- (2) $P(A \cup B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \max\{\mu_A^i(x_i), \mu_B^i(x_i)\} p_i - \min\{\nu_A^i(x_i), \nu_B^i(x_i)\} (1 - p_i))$;
- (3) $P(A \cap B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \min\{\mu_A^i(x_i), \mu_B^i(x_i)\} p_i - \max\{\nu_A^i(x_i), \nu_B^i(x_i)\} (1 - p_i))$.

证明 (1) 显然成立. 下面证明 (2) 和 (3).

(2) 对任意独立的 A 和 B , 由定义 2 和定义 8, 有

$$P(A \cup B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \max\{\mu_A^i(x_i), \mu_B^i(x_i)\} p_i - \min\{\nu_A^i(x_i), \nu_B^i(x_i)\} (1 - p_i)).$$

性质 (3) 同理可证.

B 发生的条件下 A 发生的直觉模糊事件概率为:

$$P = (A \mid B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \min\{\mu_A^i(x_i), \mu_B^i(x_i)\} p_i - \max\{\nu_A^i(x_i), \nu_B^i(x_i)\} (1 - p_i))}{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (1 + \mu_B^i(x) p_i - \nu_B^i(x) (1 - p_i))},$$

其中, $P(B) > 0$.

2.2 直觉模糊三支决策模型

定义 9 设 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为非空有限论域, $S \subseteq U, A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 为属性的集合, 对象 x_i 在属性 a_j 下的值可表示为 $M = (x_a^j(\mu(x_i), \nu(x_i)))_{m \times n} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$.

利用 IFPM 求解该矩阵的正、负理想参照点分别为:

表 1 传统风险代价函数

Tab.1 Traditional risk cost function

决策行动	代价函数	
	X	X^C
a_P	λ_{PP}	λ_{PN}
a_B	λ_{BP}	λ_{BN}
a_N	λ_{NP}	λ_{NN}

$$(\mu^+(x), \nu^+(x)) = (Ps(\mu_a^j(x_i)), Ng(\nu_a^j(x_i))), \quad (5)$$

$$(\mu^-(x), \nu^-(x)) = (Cp(\mu_a^j(x_i)), Cn(\nu_a^j(x_i))). \quad (6)$$

定义 10 设在论域 U 下, 正理想、负理想参照点的下的决策权重均值为:

$$\omega^\pm(p) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\mu^\pm(x)}{\bar{\mu}(x) + \bar{\nu}(x)} \cdot \frac{\nu^\pm(x)}{\bar{\mu}(x) + \bar{\nu}(x)}, \quad (7)$$

前景均值为:

$$V^\pm(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega^\pm(p) \delta(x), \quad (8)$$

其中 $\bar{\nu}(x) = \min \frac{1}{2} \{ \mu_a^j(x_i) + \mu(x) - \nu_a^j(x_i) \cdot \nu(x) \}$, $\bar{\mu}(x) = \min \{ \mu_a^j(x_i), \mu(x) \}$, $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$.

为使直觉模糊事件概率单调递增, 论域对象的决策权重函数采用文献[2] 中的形式: $\omega(p) = \exp[-(-\ln p)^\gamma]$ ($0 \leq \gamma \leq 1$), 则对象 x_i 在属性 A 下的价值函数为:

$$\delta(x_i) = \begin{cases} (D(\mu_a^j(x_i), \mu^\pm(x_i)))^{\mu_a^j(x_i)}, & \mu_a^j(x_i) \geq \mu^\pm(x), \\ -\nu_a^j(x_i)(D(\nu_a^j(x_i), \nu^\pm(x_i)))^{\nu_a^j(x_i)}, & \nu_a^j(x_i) < \nu^\pm(x). \end{cases} \quad (9)$$

当 $\mu_a^j(x_i) \geq \mu^\pm(x)$ 时, 表示收益; 当 $\nu_a^j(x_i) < \nu^\pm(x)$ 时, 表示损失. 其中, $D(\mu_a^j(x_i), \mu^+(x_i))$ 和 $D(\nu_a^j(x_i), \nu^+(x_i))$ 表示对象 x_i 到正理想参照点的偏差; $D(\mu_a^j(x_i), \mu^-(x_i))$ 和 $D(\nu_a^j(x_i), \nu^-(x_i))$ 表示对象 x_i 到负理想参照点的偏差. 论域对象 x_i 的价值如下.

相对于正、负理想的参照点分别为:

$$\delta^+(x_i) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n D_{ij}^\sigma, \delta^-(x_i) = -\lambda \delta^-(x_i) = -\lambda \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n D_{ij}^\eta, \quad (10)$$

其中, $\sigma = \max \{ \mu_a^j(x_i) \}$, $\eta = \max \{ \nu_a^j(x_i) \}$.

每个论域对象 x_i 关于理想参照点下的综合前景值为:

$$\tilde{V}^\pm(x_i) = \sum_{j=1}^m \exp[-(-\ln(p))^\gamma] \cdot \delta^\pm(x_i), \quad (11)$$

其中, 令修正指数 $\gamma = \mu_a^j(x_i)$, 当 $\mu_a^j(x_i) = 0$ 时, $\omega(p) = 0$; 当 $\mu_a^j(x_i) = 1$ 时, $\omega(p) = 1$.

定义 11 设 U 为非空有限论域, $S \subseteq U$, 属性集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. 论域 U 在属性 A 下的正理想、负理想参照点分别为 $(\mu^+(x), \nu^+(x))$ 和 $(\mu^-(x), \nu^-(x))$, 与其对应的前景均值为 V^+ 和 V^- . 论域对象 x_i 在正理想、负理想参照点下的综合前景值为 $\tilde{V}^+(x_i)$ 和 $\tilde{V}^-(x_i)$, 则生成的直觉模糊三支决策划分规则正域($POS(x)$) (接受决策规则)、负域($NEG(x)$) (拒绝决策规则)、边界域($BND(x)$) (延迟决策规则) 可分别表示为:

$$\tilde{V}^+(x_i) > V^+, \tilde{V}^- < V^-; \tilde{V}^+(x_i) < V^+, \tilde{V}^- > V^-; \tilde{V}^+(x_i) \geq V^+, \tilde{V}^- \geq V^- \text{ 或 } \tilde{V}^+(x_i) \leq V^+, \tilde{V}^- \leq V^-. \quad (12)$$

定义 12 设 U 为论域, $S \subseteq U$, 属性集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. 对象 x_i 在 A 下的参照值为:

$$\hat{x}_i(\hat{\mu}(x_i), \hat{\nu}(x_i)) = \sum_{j=1}^m \{Ps(\mu_a^j(x_i)), Ng(\nu_a^j(x_i))\}, \quad (13)$$

其中, $1 \leq i \leq n$, 则对象 x_i 的直觉模糊熵为:

$$E(\hat{x}_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min\{(\hat{\mu}(x_i), \hat{\nu}(x_i)) + \pi(x_i)\}}{\max\{(\hat{\mu}(x_i), \hat{\nu}(x_i)) + \pi(x_i)\}}. \quad (14)$$

根据直觉模糊熵的定义可知隶属度和非隶属绝对差值 $|\mu(x_i) - \nu(x_i)|$ 和熵 $E(\hat{x}_i)$ 间关系为负相关. 下面给出边界对象 x_i 的二次决策规则: $E(\hat{x}_i) > h^+(x)$, $E(\hat{x}_i) < h^-(x)$, 其中, $h^\pm(x)$ 表示正理想、负理想参照点下的直觉模糊熵, 当且仅当 $E(\hat{x}_i) > h^+(x)$, $E(\hat{x}_i) < h^-(x)$ 时, x_i 最终将被划分到正域 $POS(x)$, 即执行接受决策; 否则 x_i 将最终被划分到负域 $NEG(x)$, 即执行拒绝决策.

2.3 算法

综上所述, 本节将给出基于前景理论的直觉模糊三支决策模型的算法描述. 首先初始化价值函数、决策权重函数和直觉模糊熵函数, 并计算关于论域 U 的理想参照点及其前景值. 然后, 根据理想参照点前景值和

论域对象综合前景值之间的关系进行三支决策划分.最后,利用直觉模糊熵对边界域中的对象进行二次决策,得到最终结果.算法如下:

算法 基于前景理论的直觉模糊三支决策划分算法

输入 论域 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; 论域对象 x_i if $\tilde{V}^+(x_i) < V^+, \tilde{V}^- > V^-$, then x_i 在不同属性 a_j 下的值; 划分到负域;

初始化函数: $\delta(x), w(p), E(\hat{x}), h(x)$; else x_i 划分到边界域;

输出 关于论域 U 的决策划分结果. while x_i 在边界域 do

for 计算论域 U 的理想参照点及对应的前景值 $V^\pm$ do for 计算理想参照点的直觉模糊熵 $h^\pm(x)$ 和边界对象的直觉模糊熵 $E(\hat{x}_i)$ do

for 计算每个论域对象的综合前景值 $\tilde{V}^\pm(x_i)$ do if $E(\hat{x}_i) < h^-(x), E(\hat{x}_i) > h^+(x)$, then 更新对象 x_i 到正域;

if $\tilde{V}^+(x_i) > V^+, \tilde{V}^- < V^-$, then x_i else 更新对象 x_i 到负域.

划分到正域;

3 实例分析

下面通过文献[18]中的安全审计风险评估实例验证本文模型的有效性.

例 1 表 2 给出了一个关于安全审计风险评估的直觉模糊目标决策系统,论域为 $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, x_i 表示不同的被审计对象;条件属性为 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$,分别表示“优良的系统环境”、“较好的系统控制”、“可靠的财务数据”、“可信的审计软件”、“规范运作”,决策属性 a_6 表示“可信的审计软件”.被审计对象 x_i 在属性 $a_j \in A$ 下的数据由审计专家根据审计调查结果等得出.下面采用本文模型确定被审计对象 x_i 的安全性.

步骤 1 计算对象 x_i 的正理想与负理想参照点及其前景值:

①由(5)~(6)式可得: $(\mu^+(x), \nu^+(x)) = (0.8, 0.2), (\mu^-(x), \nu^-(x)) = (0.3, 0.25)$.

②由(1)式和(7)~(8)式计算前景值: $V^+(x) = 0.38, V^-(x) = -0.09$.

步骤 2 由(9)~(11)式计算论域对象 x_i 的综合前景值:

$\tilde{V}^+(x_1) = 0.68, \tilde{V}^+(x_2) = 0.78, \tilde{V}^+(x_3) = 0.75, \tilde{V}^+(x_4) = 0.80$;

$\tilde{V}^-(x_1) = -0.27, \tilde{V}^-(x_2) = -0.14, \tilde{V}^-(x_3) = -0.36, \tilde{V}^-(x_4) = -0.08$.

步骤 3 由(12)式进行三支决策分类:

正域 $D_{Pos} : \{x_1, x_2, x_3\}$; 负域 $D_{Neg} : \emptyset$; 边界域 $D_{Bnd} : \{x_4\}$.

步骤 4 由(13)~(14)式对边界域对象进行二次决策:

$E(\hat{x}_4) = 0.11, h^+(x) = 0.25, h^-(x) = 0.93$.

表 2 基于安全审计风险评估的直觉模糊系统

Tab.2 Safety audit risk assessment based intuitionistic fuzzy information system

对象	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
x_1	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.3)	(0.6, 0.3)	(0.5, 0.5)	(0.7, 0.2)	(0.7, 0.3)
x_2	(0.7, 0.2)	(0.6, 0.4)	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.3)	(0.5, 0.5)	(0.6, 0.4)
x_3	(0.6, 0.4)	(0.9, 0.1)	(0.8, 0.2)	(0.4, 0.6)	(0.7, 0.3)	(0.7, 0.3)
x_4	(0.9, 0.1)	(0.4, 0.2)	(0.6, 0.3)	(0.7, 0.1)	(0.6, 0.4)	(0.8, 0.2)

由(18)式可得对象 x_4 应被划分到负域,即执行拒绝决策.所以,最终的三支决策结果为正域 $D_{Pos} : \{x_1, x_2, x_3\}$ 、负域 $D_{Neg} : \{x_4\}$.

综上,通过使用前景值代替传统的代价函数,获得的决策结果与文献[18]一致,但还有区别.本文模型的初次三支决策结果与文献[18]均认为对象 x_1, x_2, x_3 的审计风险是安全的,对象 x_4 的审计风险还需要进一步确定.由于本文模型考虑到边界冗余信息的优化问题,对边界域对象 x_4 进行了二次决策,最终将其划分到负域,而文献[18]针对边界信息没有进一步细分,从而导致了边界对象的最终决策不同.进一步分析,若要

在正域的安全审计对象中进行最优选择或决策,可采用文献[10]中的方法,利用(9)式的结果计算安全审计对象 x_i 与正理想点、负理想点之间的拟合差距 d . 可得, $d(x_1) = 0.77, d(x_2) = 0.9, d(x_3) = 0.9, d(x_2) = d(x_3) > d(x_1)$. 因此,在所有安全审计对象中,对象 x_1 的审计风险是最低的.

4 结 论

为使三支决策模型趋于多元化,反映出现实生活中人们的决策认知、习惯和风险偏好.本文结合前景理论,给出了不同置信水平下的价值函数,并利用 IFPM 求解理想参照点及前景均值,提出了基于前景理论的直觉模糊三支决策模型,并用实例验证了本文模型的有效性.由于现实世界事物的不确定性,导致不能对模糊性问题进行精确分析,下一步将深入研究不同设计模式对决策的影响,为能更加客观地分析模糊性问题和构建直觉模糊三支决策模型提供新的思路和方法.

参 考 文 献

- [1] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: An analysis of decisions under risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47(2): 263-292.
- [2] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 5(4): 297-323.
- [3] 王亮, 王应明, 胡勃兴. 基于前景理论的应急方案动态调整方法[J]. *控制与决策*, 2016, 31(1): 99-104.
WANG L, WANG Y M, HU B X. Dynamic adjusting method of emergency alternatives based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(1): 99-104.
- [4] SUN R X, HU J H, CHEN X H. Novel single-valued neuromorphic decision-making approaches based on prospect theory and their applications in physician selection[J]. *Soft Computing*, 2019, 23(1): 211-225.
- [5] LI X H, CHEN X H. Value determination method based on multiple reference points under a trapezoidal intuitionistic fuzzy environment[J]. *Applied Soft Computing*, 2018, 63: 39-49.
- [6] ATANASSOV K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(1): 87-96.
- [7] ZADEH L A. Fuzzy sets[J]. *Information & Control*, 1965, 8(65): 338-353.
- [8] 林晓宁, 蔡金铤. 基于粗糙集理论的变压器油纸绝缘状态评估[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(7): 22-29.
LIN X N, CAI J D. Evaluation of transformer oil-paper insulation based on rough set theory[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(7): 22-29.
- [9] COUSO I, BUSTINCE H. From fuzzy sets to interval-valued and Atanassov intuitionistic fuzzy sets: A Unified View of Different Axiomatic Measures[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2019, 27(2): 362-371.
- [10] XUE Z A, XIN X W, YUAN Y L, et al. Intuitionistic fuzzy possibility measure-based three-way decisions for incomplete data[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2018, 35(5): 5657-5666.
- [11] PAWLAK Z. Rough sets[J]. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 1982, 11(5): 341-356.
- [12] YAO Y Y. Three-way decisions with probabilistic rough sets[J]. *Information Sciences*, 2010, 180(3): 341-353.
- [13] LIU S L, LIUX W, QIN J D. Three-way group decisions based on prospect theory[J]. *Journal of the operational research society*, 2018, 69(1): 25-35.
- [14] ZHANG Q H, LYU G X, CHEN Y H, et al. A dynamic three-way decision model based on the updating of attribute values[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 142: 71-84.
- [15] 薛占熬, 辛现伟, 袁艺林, 等. 基于直觉模糊可能性测度的三支决策模型的研究[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(6): 1065-1074.
XUE Z A, XIN X W, YUAN Y L, et al. Research on the Three-way Decisions model based on intuitionistic fuzzy possibility measures[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2016, 52(6): 1065-1074.
- [16] SZMIDT E, KACPRZYK J. Distances between intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 114(3): 505-518.
- [17] 王毅, 雷英杰. 一种直觉模糊熵的构造方法[J]. *控制与决策*, 2007, 22(12): 1390-1394.
WANG Y, LEI Y J. A technique for constructing intuitionistic fuzzy entropy[J]. *Control and Decision*, 2007, 22(12): 1390-1394.
- [18] 刘久兵, 张里博, 周献中, 等. 直觉模糊信息系统下的三支决策模型[J]. *小型微型计算机系统*, 2018, 39(6): 163-167.
LIU J B, ZHANG L B, ZHOU X Z, et al. Three-way Decision Model Under Intuitionistic Fuzzy Information System Environment[J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2018, 39(6): 163-167.

Rapid determination of four components in Jiangzhining granules by UPLC-MS/MS

Liu Man¹, Yu Wenjie¹, Zhao Xinna², Chen Yuan¹, Zhao Tian¹, Zhang Xiaofan^{1,3}

(1.Henan Key Laboratory of Nanocomposites and Applications,Huanghe Science and Technology College,Zhengzhou 450052,China;2.Henan Environment Monitoring Center,Zhengzhou 450004,China;3.School of Materials Science and Engineering,Dongguan University of Technology,Dongguan 523808,China)

Abstract:Developing a rapid and sensitive method for determining Hyperoside,Tetrahydroxystilbene glucoside,Nuciferine and Aurantio-obtusin in Jiangzhining granules with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry(UPLC-MS/MS). The four components of Jiangzhining granules were separated into Agilent Eclipse Plus C₁₈ column (2.1 mm×50 mm,1.7 μm) using 0.05% (volume fraction)formic acid-water(A)and 0.05% (volume fraction)formic acid-Acetonitrile(B)as the mobile phase with gradient elution.The flow rate was 0.3 mL/min and the column temperature was set at 40 °C.The injection volume was 5 μL,and analysis time was 5 min.The method we used is Electron Spray Ionization(ESI)with positive ion scanning and multiple reaction monitoring(MRM) mode for quantification.Under the optimized chromatographic conditions,four components of the Jiangzhining granules were quantitative analysis within 5 min,and showed a good linear relationship in the range of the study($r\geq 0.993\ 6$).It is worth noting that the RSDs of precision,stability and repeatability tests were all no more than 4.0%.The recoveries of four components ranged from 98.0% to 126.9% and RSDs were between 0.3%-2.4%. This method was simple,rapid,specific and accurate within 5 min for the determination of four components in Jiangzhining granules.The current method can be used for the quality control of Jiangzhining granules.

Keywords: UPLC-MS/MS;Jiangzhining granules;rapid determination;multiple reaction monitoring

[责任编辑 赵晓华 陈留院]

(上接第 36 页)

The prospect theory based intuitionistic fuzzy three-way decisions model

Xue Zhan'ao,Pang Wenli,Yao Shouqian,Fan Lilin

(College of Computer and Information Engineering;Engineering Lab of Intelligence Business and Internet of Things,Henan Province,Henan Normal University,Xinxiang 453007,China)

Abstract:Aiming at the problems of the three-way decisions model construction in the intuitionistic fuzzy environment and considering the threshold changes caused by different risk preferences of decision makers,the prospect theory based intuitionistic fuzzy three-way decisions model is proposed.Firstly,a new method for calculating the probability of intuitionistic fuzzy events is given,and its related properties are proved.Then,Intuitionistic Fuzzy Probability Measure(IFPM)is used to calculate the ideal reference points,and according to relationships between the prospect mean value of ideal reference points and comprehensive prospect value of domain objects,the three-way decisions rules are given under the intuitionistic fuzzy information table.Finally,in order to reduce redundant information of the boundary,the object in the boundary domain is secondary divided.At the same time,the related algorithm is given,and the validity of the model is validated by an example.

Keywords: prospect theory;IFPM;intuitionistic fuzzy entropy;intuitionistic fuzzy three-way decisions

[责任编辑 陈留院 赵晓华]



本期专家介绍



李用声,华南理工大学数学学院二级教授,博士生导师.主要从事非线性发展方程与无穷维动力系统的研究工作,涉及的方程有非线性色散方程和方程组(如 Schrödinger 方程及其方程组)、流体力学方程组等,研究内容包括这些方程和方程组的解的存在性、唯一性、爆破性、衰减性、整体吸引子的存在性及其分形维数估计等.在国内外重要学术刊物上发表论文 90 余篇,SCI 收录约 70 篇.先后主持 5 项国家自然科学基金,参加 1 项国家自然科学基金重点项目.曾被评为湖北省跨世纪学术骨干,作为主要完成人获得过国防科工委科技进步一等奖,曾获得全国优秀博士学位论文提名奖指导教师称号.

薛占熬,河南师范大学三级教授,博士,硕士生导师,全国模范教师,河南省高新技术企业认定技术专家,河南省中等职业教育师资培训专家库成员,河南省教师教育专家,河南省高级专家库成员,河南省院士专家工作促进会成员,中国人工智能基础专业委员会常务委员、副秘书长,中国粒计算与知识发现专业委员会委员,中国自动化学会粒计算与多尺度分析专业委员会委员.发表学术论文 50 余篇,其中,SCI 收录 12 篇,EI 收录 6 篇.参与完成国家自然科学基金 3 项,主持完成河南省重点科技攻关等省级项目 4 项.曾获得陕西省科技进步三等奖 1 项,河南省教育厅科学技术成果一等奖 2 项,河南省自然科学优秀学术论文二等奖 3 项、三等奖 5 项.



朱桂芬,河南师范大学环境学院教授,博士,博士生导师,河南省教育厅学术技术带头人,河南省高校科技创新团队带头人,河南省高等学校青年骨干教师,河南省化学学会理事.主要从事环境污染物分离分析研究工作,先后主持国家自然科学基金 2 项、河南省高校科技创新团队支持计划 1 项,河南省重点科技攻关计划等省级项目 5 项;在 *J Hazard Mater*, *Nanoscale*, *J Chromatogr A*, *Talanta*, *Sci Total Environ*, *J Alloy Compd*, *Dalton T*, *RSC Adv*, *Environ Sci Pollut R* 等国内外期刊上发表 SCI 收录论文 30 余篇,授权国家发明专利 8 件,获河南省科技进步二等奖 1 项,河南省自然科学优秀学术论文一、二等奖 3 项.