

· 经济学与工商管理 ·

# 一种考虑行为特征的群体多准则分类方法



□ 王亮 杨颜青 王应明

**[摘要]** 针对现有群体多准则分类研究没有考虑专家的行为特征和参考轮廓共识达成复杂且耗时的问题,本文提出了一种新的群体多准则分类方法。首先,利用犹豫模糊集和犹豫模糊语言术语集刻画专家给出参考轮廓时的犹豫行为;接着,在考虑不同专家不同调整量的基础上使用基于数学规划的方法对参考轮廓达成共识;然后,利用前景理论刻画专家的有限理性行为,根据备选方案相较于群体参考轮廓的综合前景价值确定类别;最后,将本文方法应用于具体案例,通过对比分析验证了本文方法的有效性与优越性。本文方法考虑了分类过程中专家的行为特征,更接近分类问题的实际情况;另外,使用达成共识的参考轮廓进行分类,有助于得到更加合理可靠的分类结果。

**[关键词]** 群体多准则分类;有限理性行为;犹豫行为;群体共识

**[中图分类号]** C934

**[文献标识码]** A

**[DOI]** 10.14071/j.1008-8105(2024)-3024

## 引言

现实生活中,个人、企业、政府乃至国家的生存发展都与决策息息相关。随着科学技术的进步,根据单一准则来进行决策已经无法满足人类的决策需求。因此,需要考虑多个相关准则来做出更加全面合理的决策,这一类问题称为多准则决策问题(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)。现有的MCDM问题可以分为四类<sup>[1]</sup>:选择(Choice)、排序(Ordering)、分类(Sorting)、描述(Description)。选择问题的目的是帮助专家(Decision Maker, DM)选择一个最佳备选方案;排序问题的目的是帮助DM给出一个关于备选方案从好到坏的偏好排序。分类问题的目的是将备选方案分为预定义的有序类别(例如,良好、优秀或非常优秀)。描述问题的目的是帮助DM系统地描述备选方案。

多准则分类(Multi-Criteria Sorting, MCS)是多准则决策分析的一个重要部分。在多准则分类问题中,专家只需比较备选方案与预先定义的参考轮廓,就可以将备选方案分入有序类别<sup>[2]</sup>,提高了决策效率;此外,对所有方案进行分类可以帮助专家做出更加全面和灵活的决策。鉴于多准则分类的高效灵活等诸多优点,得到了国内外学者的广泛关注和研究<sup>[3-5]</sup>,且被应用于许多实际问题,如供应商分类问题<sup>[6-7]</sup>、信用分级问题<sup>[8]</sup>、市场分类管理问题<sup>[9]</sup>、港口能力分类问题<sup>[10]</sup>等。

然而,上述研究大多都是单个专家进行分类,分类结果可能存在主观性,群体决策方式可以集中不同领域专家的智慧、提高分类结果的准确性和合理性,已有许多学者提出用群体决策的方式来确定多准则分类问题。其中,学者们在AHPSort<sup>[11]</sup>的基础上提出了由多位专家分别给出参考轮廓,最后

**[收稿日期]** 2024-11-06

**[基金项目]** 国家自然科学基金(71901071);教育部人文社科基金(23YJA630096);福建省社会科学基金(FJ2023B048);福建省自然科学基金(2021J01569)。

**[作者简介]** 王亮,福州大学经济与管理学院副教授、硕士生导师;杨颜青,福州大学经济与管理学院硕士研究生;王应明,福州大学经济与管理学院教授、博士生导师。

**[引用格式]** 王亮,杨颜青,王应明.一种考虑行为特征的群体多准则分类方法[J].电子科技大学学报(社科版),2025,27(2):82-94. DOI: 10.14071/j.1008-8105(2024)-3024.

**[Citation Format]** WANG Liang, YANG Yan-qing, WANG Ying-ming. A group multi-criteria sorting method considering behavioral characteristics[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China(Social Sciences Edition), 2025, 27(2): 82-94. DOI: 10.14071/j.1008-8105(2024)-3024.

聚合分类结果的GAHPSort<sup>[12]</sup>、GAHPSortII<sup>[13]</sup>、GANPSortII<sup>[14]</sup>; Remadi等<sup>[15]</sup>提出了由个人分类结果得到汇总的群体分类结果的群体多准则分类方法; Moheimani等<sup>[16]</sup>利用多位专家类别参考轮廓取平均值的方法得到群体类别参考轮廓, 然后提出了一种新的多重标准群体多准则分类方法(G-ARASort); Labella等<sup>[17]</sup>从最小调整成本的角度确定群体参考轮廓, 然后利用GAHPSort对备选方案进行分类; Zhang等<sup>[18]</sup>从反馈调整的角度得到达成共识的群体参考轮廓, 然后利用TOPSISort<sup>[19]</sup>确定备选方案的类别。

这些研究为群体多准则分类方法提供了丰富的经验和积极的影响。但仍存在不足, 主要体现在以下几个方面: (1) 现有的群体多准则分类方法大多没有考虑到专家的行为特征, 而在现实的分类过程中专家的自身行为特征会对最终的分类结果造成一定的影响。(2) 现有的群体多准则分类研究中, 已有文献在所有专家的参考轮廓意见未达成共识的情况下, 由个人分类结果汇总得到群体分类结果<sup>[13-16]</sup>, 这会造成有些专家的参考轮廓意见没有得到充分考虑和尊重。因此有必要在分类之前使所有专家的参考轮廓意见达成共识, 这样可以使得确定的参考轮廓具有更高的接受性, 进而使得最终的分类结果具有代表性; 虽然少数文献在分类之前通过反馈调整的方法对参考轮廓达成了共识, 但是这些共识达成方法较为复杂且耗时<sup>[17-18]</sup>。因此, 如何快速高效地使各位专家的参考轮廓信息达成共识是值得探讨的实际问题。

由于前景理论描述了人类的有限理性行为并且被广泛用于解决考虑人类心理行为的各种决策问题, 故本文使用前景理论来刻画专家在进行分类时的有限理性行为<sup>[20]</sup>。由于具体问题的复杂性和时间的紧迫性, 专家对问题不太熟悉的情况下, 给出个人意见时可能会产生犹豫, 已有研究表明当人们对某个事物的判断犹豫不决时, 通常倾向于使用犹豫模糊集对定量犹豫信息进行描述或使用犹豫模糊语言术语集对定性犹豫信息进行描述<sup>[18, 21]</sup>。故本文使用犹豫模糊集和犹豫模糊语言术语集刻画专家在分类过程中的犹豫行为。另外, 本文提出一种可以快速对参考轮廓达成共识的方法, 该方法考虑了不同专家对不同准则的调整量, 每位专家在自己的调整范围内对参考轮廓进行调整, 直到达成共识, 该方法可以提高群体参考轮廓的接受性, 进而确保分类结果更加合理可靠。

综上, 本文提出的群体多准则分类方法不仅考虑专家在分类过程中的犹豫行为, 而且考虑专家的有限理性行为。此外, 还提出一种可以快速对参考轮廓达成共识的方法来确定群体参考轮廓。最后, 将本文方法应用于具体的案例, 并通过对比分析验证本文方法的合理性与优越性。

## 一、理论基础

### (一) 前景理论

前景理论(Prospect Theory), 最早是由Kahneman和Tversky在1979年提出, 它描述了人类的有限理性行为特征, 被广泛用于解决考虑人类心理行为的各种决策问题<sup>[20]</sup>。在前景理论中, 人们对收益和损失的敏感性不同, 因此, 收益和损失对应的价值也不同。Kahneman和Tversky给出了价值函数的表示形式, 如式(1)所示:

$$f(x) = \begin{cases} x^\alpha, & x > 0 \\ -\lambda(-x)^\beta, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $x > 0$  代表收益,  $x < 0$  代表损失,  $\alpha$  代表相对于收益的参数,  $\beta$  代表相对于损失的参数,  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ 。  $\lambda$  表示风险规避系数,  $\lambda > 1$  表示相对于收益而言专家对于损失更加敏感, 反之,  $\lambda < 1$  表示相对于损失而言专家对于收益更加敏感。已有文献对参数  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\lambda$  的取值进行了研究, Tversky和Kahneman建议  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\lambda$  的取值分别为  $\alpha = 0.89$ ,  $\beta = 0.92$ ,  $\lambda = 2.25$ 。

### (二) 犹豫模糊集

犹豫模糊集(Hesitant Fuzzy Sets, HFS)由Torra提出<sup>[21]</sup>, 作为模糊集的扩展, 用于刻画定量决策环

境中专家的犹豫行为。

**定义 1**<sup>[21]</sup>: 假设  $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$  是  $n$  个隶属函数的集合。与  $M$  相关的 HFS 定义为:

$$\begin{aligned} h_M &: X \rightarrow \wp([0, 1]) \\ h_M(x) &\rightarrow \bigcup_{\mu \in M} \{\mu(x)\} \end{aligned}$$

其中,  $X$  是参考集,  $x \in X$ 。

Xia 和 Xu<sup>[22]</sup> 用犹豫模糊元素 (HFE) 的概念对这一定义进行了扩展和形式化。在他们的提议中, HFS 用以下数学形式表示:

$$E = \{ \langle x, h_E(x) \rangle : x \in X \}$$

其中,  $h_E(x)$  是数值在 0 到 1 之间的一个集合, 表示元素  $x \in E$  可能隶属度。为方便起见, 他们将  $h = h_E(x)$  定义为犹豫模糊元素, 将  $H = \cup h(x)$  定义为犹豫模糊集, 犹豫模糊数是犹豫模糊集的子集。

Torra 在文献[23]中引入了 HFE 包络的概念, 并根据定义 2 证明了它是一个直觉模糊数 (IFV):

**定义 2**<sup>[23]</sup>: 假设  $h$  是一个犹豫模糊数, 可以将犹豫模糊数  $h$  封装为直觉模糊数  $(h^-, 1 - h^+)$ , 其中  $h^- = \min\{\sigma | \sigma \in h\}$ ,  $h^+ = \max\{\sigma | \sigma \in h\}$ 。

Herrera 认为可以将犹豫模糊数  $h$  和直觉模糊数封装成  $(h^-, h^+)$  区间数  $(h^-, 1 - h^+)$ <sup>[24]</sup>, 这样即可以考虑专家的犹豫行为, 又可以保留更多的信息和减少信息的丢失。

$$\text{Aenv}(h) = (h^-, h^+), \quad h^- = \min\{\sigma | \sigma \in h\}, \quad h^+ = \max\{\sigma | \sigma \in h\} \quad (2)$$

### (三) 犹豫模糊语言术语集

犹豫模糊语言术语集 (Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets, HFLTS) 是西班牙学者 Rodríguez 等<sup>[25]</sup> 在语言术语集的基础上提出来的, 由于其灵活性和贴近自然语言, 被广泛地用来刻画定性决策问题中专家的犹豫行为。以下为犹豫模糊语言术语集的简单介绍。

**定义 3**<sup>[18]</sup>: 令  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  为语言术语集, 犹豫模糊语言术语集  $H_S$  为  $S$  上的连续的有序有限子集:

$$H_S = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}, \quad s_\tau \in S, \tau \in \{i, \dots, j\}$$

例, 令  $S = \{s_0: \text{none}, s_1: \text{verylow}, s_2: \text{low}, s_3: \text{medium}, s_4: \text{high}, s_5: \text{veryhigh}, s_6: \text{perfect}\}$  为语言术语集,  $H_S^1 = \{s_1, s_2\}$  为  $S$  上的一个犹豫模糊语言术语集。

**定义 4**<sup>[26]</sup>: 令  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  为语言术语集, 负算子为:

$$\text{Neg}(s_\tau) = \tilde{s}_\tau, \quad \tilde{s}_\tau = g - \tau, \tau = \{0, \dots, g\} \quad (3)$$

**定义 5**: 令  $H_S = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}$  为犹豫模糊语言术语集, 负算子为:

$$\text{Neg}(H_S : \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}) = \tilde{H}_S : \{s_{g-j}, \dots, s_{g-(i+1)}, s_{g-i}\} \quad (4)$$

接上例, 根据公式可得  $\text{Neg}(s_1) = s_5$ ,  $\text{Neg}(s_2) = s_4$ , 那么可以认为  $\text{Neg}(H_S^1) = \{s_4, s_5\}$ 。

**定义 6**<sup>[27]</sup>: 模糊封装函数  $\text{env}(\bullet)$  可以将犹豫模糊语言术语集  $H_S$  转化为梯形模糊数。

$$\text{env}(H_S) = T(a, b, c, d) \quad (5)$$

## 二、本文方法

针对现有研究中的不足, 本节将采用犹豫模糊集和犹豫模糊语言术语集对专家的犹豫行为进行考虑, 并采用前景理论对专家的有限理性行为进行考虑。此外, 本节还构建了一个可以高效集结多位专家参考轮廓意见的群体共识模型。

(一) 问题构建

为方便问题的描述,下面对本文将要用到的相关符号做出解释。

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ : 表示备选方案的集合, 其中  $A_m$  表示第  $m$  个待分配对象,  $m = 1, 2, \dots, M$ 。

$G = \{G_1, G_2, \dots, G_N\}$ : 表示准则的集合, 其中  $G_n$  表示第  $n$  个准则,  $n = 1, 2, \dots, N$ 。

$X = (x_{mn})_{M \times N}$ : 表示第  $m$  个待分配对象在第  $n$  个准则的表现值。

$W_c = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ : 表示准则的权重, 其中  $w_n$  表示第  $n$  个准则的权重, 其满足  $w_n \in [0, 1], n = 1, 2, \dots, N$

且  $\sum_{n=1}^N w_n = 1$ 。

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_Z\}$ : 表示专家集合, 其中  $e_z$  表示第  $z$  个专家,  $z = 1, 2, \dots, Z$ 。

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ : 表示类别的集合, 其中  $C_k$  表示第  $k$  个类别,  $k = 1, 2, \dots, K$ 。类别之间满足一定的优劣关系, 即  $C_k > C_{k+1}$ 。类别  $C_1$  最优, 类别  $C_K$  最劣。

$LP_z = (lp_{kn}^z)_{K \times N}$ :  $LP_z$  表示第  $z$  个专家给出的类别极限参考轮廓矩阵, 其中  $lp_{kn}^z$  表示针对第  $k$  个类别和第  $n$  个准则, 第  $z$  个专家的类别极限参考轮廓意见。

$CP_z = (cp_{kn}^z)_{K \times N}$ :  $CP_z$  表示第  $z$  个专家给出的类别中心参考轮廓矩阵, 其中  $cp_{kn}^z$  表示针对第  $k$  个类别和第  $n$  个准则, 第  $z$  个专家的类别中心参考轮廓意见

$LP^* = (lp_{kn}^*)_{K \times N}$ :  $LP^*$  表示群体极限参考轮廓矩阵, 其中  $lp_{kn}^*$  表示针对第  $k$  个类别和第  $n$  个准则, 所有专家都接受的类别极限参考轮廓意见。

$CP^* = (cp_{kn}^*)_{K \times N}$ :  $CP^*$  表示群体中心参考轮廓矩阵, 其中  $cp_{kn}^*$  表示针对第  $k$  个类别和第  $n$  个准则, 所有专家都接受的类别中心参考轮廓意见。

(二) 信息收集

在分类过程中, 专家扮演确定类别参考轮廓的角色, 由于分类问题的复杂性以及个人认知的不充分性, 专家在确定类别参考轮廓时会产生犹豫行为。为了刻画专家在给参考轮廓意见时的犹豫行为, 假设各位决策专家以犹豫模糊集的形式表达自己的参考意见。为了书写美观, 将专家  $e_z$  的极限参考轮廓意见转化为矩阵形式。假设  $LP_z = (lp_{kn}^z)_{K \times N}$  是第  $z$  个专家给出的参考轮廓矩阵。其中  $lp_{kn}^z$  为犹豫模糊数, 代表第  $z$  个专家针对第  $k$  个类别和第  $n$  个准则的参考轮廓意见,  $z = 1, 2, \dots, Z, k = 1, 2, \dots, K, n = 1, 2, \dots, N$ 。根据定义 2, 可以将犹豫模糊数  $lp_{kn}^z$  封装为相应的犹豫区间  $(lp_{kn}^{z-}, lp_{kn}^{z+})$ 。

$$LP_1 = \begin{matrix} & & G_1 & G_2 & \dots & G_N \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_K \end{matrix} & \left[ \begin{array}{cccc} (lp_{11}^1, lp_{11}^1) & (lp_{12}^1, lp_{12}^1) & \dots & (lp_{1N}^1, lp_{1N}^1) \\ (lp_{21}^1, lp_{21}^1) & (lp_{22}^1, lp_{22}^1) & \dots & (lp_{2N}^1, lp_{2N}^1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (lp_{K1}^1, lp_{K1}^1) & (lp_{K2}^1, lp_{K2}^1) & \dots & (lp_{KN}^1, lp_{KN}^1) \end{array} \right] \end{matrix}$$

(三) 群体参考轮廓的确定

现有的群体多准则分类方法中, 通过反馈共识确定群体参考轮廓的方法较为复杂且耗时, 且认为专家可以给出精确的参考轮廓, 没有考虑专家给参考轮廓时的犹豫行为。本文将采用能够处理专家犹豫信息且耗时较低的基于数学规划的共识模型来得到所有专家都满意的群体参考轮廓  $LP^* = (lp_{kn}^*)_{K \times N}$ 。

1. 共识模型的构建

定义: 令  $P = [p_1, p_2]$  和  $\bar{P} = [\bar{p}_1, \bar{p}_2]$  分别为两个区间数。  $P$  和  $\bar{P}$  之间的距离可以由公式(6)得到:

$$d_q(B, \bar{B}) = \left( \sum_{i=1}^2 (|p_i - \bar{p}_i|)^q \right)^{1/q} \tag{6}$$

其中,  $q$  为大于等于 1 的整数。令  $U$  为全局论域,  $u = \max(U) - \min(U)$ , 则  $P$  和  $\bar{P}$  之间的相似度可以

由以下公式得到:

$$S_q(B, \bar{B}) = 1 - \frac{1}{2u^q} (d_q(B, \bar{B}))^q \quad (7)$$

$P$  和  $\bar{P}$  之间的非相似度可以定义为:  $c - S_q(B, \bar{B})$ , 其中  $c$  为大于 1 的正数。

采用本文的符号, 极限参考轮廓共识模型如下所示:

$$\min \sum_{z=1}^z \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (w_z)^\chi (c - S_q(\text{lp}_{kn}^z, \text{lp}_{kn}^*)) \quad (8)$$

$$\begin{cases} d_q(\text{lp}_{kn}^z, \text{lp}_{kn}^*) \leq \epsilon_n^z \\ z = 1, 2, \dots, z \\ k = 1, 2, \dots, K \\ n = 1, 2, \dots, N \end{cases}$$

其中,  $\chi$  为大于等于 1 的整数,  $w_z$  为第  $z$  个专家的相对权重,  $d_q(\text{lp}_{kn}^z, \text{lp}_{kn}^*)$  为个体极限参考轮廓  $\text{lp}_{kn}^z$  与群体极限参考轮廓  $\text{lp}_{kn}^*$  之间的距离,  $\epsilon_n^z$  为第  $z$  个专家针对准则  $G_n$  的参考轮廓可以做的最大改变量。

同理, 中心参考轮廓共识模型与极限参考轮廓共识模型类似。

## 2. 改变量的确定

在已有关于改变量的研究中, 主要是专家直接给出精确的改变量, 然而, 当专家对问题不充分了解时, 很难给出精确的改变量, 这种方法具有很大的难度。考虑到语言术语具有很高的灵活性以及专家在这时也会产生犹豫行为, 本文提出了一种专家通过使用犹豫模糊语言术语集来表示自己对准则  $G_n$  的熟悉程度进而确定改变量的方法, 即如果专家对某一准则越熟悉, 那么对该准则的改变量越小。具体方法如下:

首先假设专家  $e_z$  以犹豫模糊语言术语集  $S_n^z$  的形式来表达对准则  $G_n$  的熟悉程度  $s_n^z$ , 根据定义 5 可以得到一个表达改变程度  $\bar{s}_n^z$  的犹豫模糊语言术语集  $\bar{S}_n^z$ 。然后根据定义 6 将表达改变程度的犹豫模糊语言术语集  $\bar{S}_n^z$  转换为梯形模糊数  $T_n^z = (a, b, c, d)$ 。接着根据 COG 法<sup>[28]</sup> (Center of Gravity) 确定的梯形模糊数的重心进而确定专家对于不同准则的改变量  $\epsilon_n^z$ , 即:

$$\epsilon_n^z = \text{COG}(T_n^z) \quad (9)$$

## (四) 准则权重的确定

### 1. 个体准则重要性的确定

各位专家  $e_z$  根据自己的认知给出各准则  $G_n$  的重要性意见  $w_n^z$ ,  $z = 1, 2, \dots, Z, n = 1, 2, \dots, N$ 。

### 2. 群体准则重要性的确定

为了充分利用各位专家提供的不同意见, 本文采用均值的方法来确定群体准则重要性, 即:

$$w_n^* = \frac{1}{z} \sum_{z=1}^z w_n^z, z = 1, 2, \dots, z \quad (10)$$

### 3. 规范化

得到群体准则权重  $w_n^*$  后, 通过归一化的方法得到标准的准则权重  $w_n$ :

$$w_n = w_n^* / \sum_{n=1}^N w_n^* \quad (11)$$

其中,  $\sum_{n=1}^N w_n = 1, w_n \in [0, 1], n = 1, 2, \dots, N$ 。

## (五) 综合前景价值的确定

将上文确定群体极限参考轮廓  $\text{lp}_{kn}^* = [\text{lp}_{kn}^-, \text{lp}_{kn}^+]$  或群体中心参考轮廓  $\text{cp}_{kn}^* = [\text{cp}_{kn}^-, \text{cp}_{kn}^+]$  作为前景理

论中的参考点, 计算备选方案在各准则下的前景价值  $v_{mn-k}$ 。

$$v_{mn-k} = \begin{cases} (x_{mn} - lp_{kn}^{*+})^\alpha, & x_{mn} \geq lp_{kn}^{*+} \\ 0, & lp_{kn}^{*-} < x_{mn} < lp_{kn}^{*+}, \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad n = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \\ -\lambda(-(x_{mn} - lp_{kn}^{*-}))^\beta, & x_{mn} < lp_{kn}^{*-} \end{cases} \quad (12)$$

同理, 以中心参考轮廓为参考点计算前景价值的公式与以极限参考轮廓为参考点计算前景价值的公式类似。

当确定准则权重  $w_n$  和前景价值  $v_{mn-k}$  之后, 备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k}$  可以由下式得到:

$$OV_{m-k} = \sum_{n=1}^N v_{mn-k} \times w_n, \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad n = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (13)$$

若备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k} \geq 0$ , 则表明专家的综合心理感知为收益; 若备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k} < 0$ , 则表明专家的综合心理感知为损失。

### (六) 类别确定

考虑到本文研究的是分类问题, 与传统排序问题只需考虑备选方案综合前景价值的大小不同, 备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k}$  具有了不同的意义, 具体如下:

1. 相较于群体极限参考轮廓来说, 若备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k} \geq 0$ , 则表明备选方案  $m$  优于类别  $C_k$  的群体极限参考轮廓  $lp_k^* = (lp_{k1}^*, lp_{k2}^*, \dots, lp_{kN}^*)$ ; 若备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k} < 0$ , 则表明备选方案  $m$  劣于类别  $C_k$  的群体极限参考轮廓  $lp_k^*$ 。基于这一思想, 按照从最优类别到最劣类别的顺序 (即  $k = 1, 2, \dots, K$ ), 比较  $OV_{m-k}$  与 0 的关系, 制定了如下分类规则:

若  $OV_{m-1} \geq 0$ , 则该备选方案  $m$  被划分为  $C_1$  类。

若  $OV_{m-1} < 0, \dots, OV_{m-k} \geq 0$ , 则该备选方案  $m$  被划分为  $C_k$  类 ( $2 \leq k \leq K-1$ )。

若对于任意  $k$ , 均无  $OV_{m-k} > 0$ , 则该备选方案  $m$  被划分为最差类, 即  $C_K$  类。

2. 相较于群体中心参考轮廓来说, 若备选方案的综合前景价值  $OV_{m-k}$  越接近 0, 则表明备选方案  $m$  与类别  $C_k$  的群体中心参考轮廓  $cp_k^*$  越相似。基于这一思想, 制定了如下分类规则:

若  $OV_{m-k}$  的绝对值是  $OV_{m-1}, OV_{m-2}, \dots, OV_{m-k}$  中最小的, 那么该备选方案  $m$  被划分为  $C_k$  类 ( $1 \leq k \leq K$ )。

即: 如果  $\min\{|OV_{m-1}|, |OV_{m-2}|, \dots, |OV_{m-k}|\} = |OV_{m-k}|$ , 那么  $A_m \in C_k (1 \leq k \leq K)$ 。

综上, 本文提出的考虑行为特征的群体多准则分类方法可以总结为以下步骤:

Step 1: 问题构建。这确定了群体多准则分类问题的准则、备选方案数量、专家数量和类别数量等。

Step 2: 信息收集。首先收集备选方案在不同准则上的表现值形成决策矩阵, 并使用式(14)对决策矩阵进行规范化处理。接着收集各个专家对不同类别的参考轮廓意见, 利用式(2)将收集到的各位专家的参考轮廓意见封装为犹豫区间。最后收集各个专家对不同准则的熟悉程度以及专家认为的不同准则的重要性。

$$\bar{X} = (\bar{x}_{mn})_{M \times N} = \begin{cases} \frac{x_{mn} - \min_n x_{mn}}{\max_n x_{mn} - \min_n x_{mn}}, & \text{效益指标} \\ \frac{\max_n x_{mn} - x_{mn}}{\max_n x_{mn} - \min_n x_{mn}}, & \text{成本指标} \end{cases} \quad (14)$$

Step 3: 群体参考轮廓的确定。首先根据式(3)、(4)、(5)、(9)和各位专家对不同准则的熟悉程度确定各位专家对不同准则的改变量; 然后根据不同专家的参考轮廓意见和式(6)、(7)、(8)得到群体参考轮廓。

Step 4: 准则权重的确定。根据收集到的各位专家的准则重要性, 通过式(10)和(11)得到群体准

则重要性。

Step 5: 综合前景价值的确定。首先利用式(12)计算各备选方案以群体参考轮廓为参考点时的前景价值, 然后根据式(13)计算各备选方案相较于极限参考轮廓的综合前景价值。

Step 6: 类别确定。根据备选方案的综合前景价值和本文制定的分类规则对备选方案进行分类。

### 三、案例研究与比较分析

#### (一) 案例研究

本节将采用文献[18]中介绍的环境质量分类问题对本文方法进行介绍。

##### 1. 问题构建

德黑兰是伊朗的首都, 被划分为22个区, 22个地区  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{22}\}$  可分为四个类别: 高适宜 ( $C_1$ )、适宜 ( $C_2$ )、中等适宜 ( $C_3$ ) 和低适宜 ( $C_4$ )。高适宜 ( $C_1$ ) 是最好的类别, 低适宜 ( $C_4$ ) 是最差的类别。根据当地的年度报告, 确定了五个准则  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_5\}$  对各区的环境质量进行分类, 分别是: 人均绿地面积 ( $G_1$ )、废物和土壤污染管理 ( $G_2$ )、水和废水管理质量 ( $G_3$ )、空气污染管理 ( $G_4$ )、事故发生比率 ( $G_5$ )。其中,  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  和  $G_4$  是效益型标准;  $G_5$  是成本型标准。本文拟邀请三位专家  $E = \{e_1, e_2, e_3\}$  共同完成对22个地区的环境质量分类。

##### 2. 信息收集

首先收集22个地区在五个准则上的决策矩阵, 详见文献[18], 并将其标准化。然后收集每位专家用犹豫模糊集给出的个人参考轮廓意见。为了展示美观, 三位专家给出的不同类别在不同准则下的参考轮廓矩阵 ( $LP_z = (lp_{kn}^z)_{K \times N}, z = 1, 2, 3$ ) 以表格的形式呈现, 如表1所示。利用式(2)将各专家关于参考轮廓的犹豫模糊数  $lp_{kn}^z$  转换为相应的犹豫区间  $(lp_{kn}^z, lp_{kn}^z)$ , 具体数据见表2。

表 1 各专家提供的参考轮廓信息

		$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$e_1$	$lp_1$	{0.78, 0.80, 0.83}	{0.88, 0.90, 0.91}	{0.80, 0.82}	{0.75, 0.76, 0.77}	{0.88, 0.89}
	$lp_2$	{0.55, 0.58}	{0.75, 0.76}	{0.65, 0.66}	{0.55, 0.56}	{0.75, 0.76}
	$lp_3$	{0.20, 0.22, 0.25}	{0.40, 0.42, 0.44}	{0.40, 0.42, 0.44}	{0.25, 0.26}	{0.35, 0.36}
$e_2$	$lp_1$	{0.70, 0.72}	{0.75, 0.76}	{0.70, 0.71, 0.72}	{0.88, 0.90, 0.91}	{0.85, 0.86}
	$lp_2$	{0.50, 0.52, 0.56}	{0.60, 0.62}	{0.50, 0.51}	{0.65, 0.66}	{0.60, 0.64}
	$lp_3$	{0.25, 0.26}	{0.30, 0.32, 0.34}	{0.20, 0.22, 0.24}	{0.40, 0.42}	{0.40, 0.42, 0.44}
$e_3$	$lp_1$	{0.72, 0.75}	{0.70, 0.72}	{0.75, 0.76}	{0.70, 0.71, 0.72}	{0.80, 0.82, 0.84}
	$lp_2$	{0.52, 0.55}	{0.55, 0.56, 0.58}	{0.48, 0.50}	{0.50, 0.51}	{0.65, 0.66}
	$lp_3$	{0.20, 0.30}	{0.25, 0.26}	{0.25, 0.26}	{0.20, 0.22, 0.24}	{0.30, 0.32, 0.34}

表 2 转换为犹豫区间后的参考轮廓

		$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$e_1$	$lp_1$	[0.78, 0.83]	[0.88, 0.91]	[0.80, 0.82]	[0.75, 0.77]	[0.88, 0.89]
	$lp_2$	[0.55, 0.58]	[0.75, 0.76]	[0.65, 0.66]	[0.55, 0.56]	[0.75, 0.76]
	$lp_3$	[0.20, 0.25]	[0.40, 0.44]	[0.40, 0.44]	[0.25, 0.26]	[0.35, 0.36]
$e_2$	$lp_1$	[0.70, 0.72]	[0.75, 0.76]	[0.70, 0.72]	[0.88, 0.91]	[0.85, 0.86]
	$lp_2$	[0.50, 0.56]	[0.60, 0.62]	[0.50, 0.51]	[0.65, 0.66]	[0.60, 0.64]
	$lp_3$	[0.25, 0.26]	[0.30, 0.34]	[0.20, 0.24]	[0.40, 0.42]	[0.40, 0.44]
$e_3$	$lp_1$	[0.72, 0.75]	[0.70, 0.72]	[0.75, 0.76]	[0.70, 0.72]	[0.80, 0.84]
	$lp_2$	[0.52, 0.55]	[0.55, 0.58]	[0.48, 0.50]	[0.50, 0.51]	[0.65, 0.66]
	$lp_3$	[0.20, 0.30]	[0.25, 0.26]	[0.25, 0.26]	[0.20, 0.24]	[0.30, 0.34]

接着, 假设  $S_1 = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$  为专家表达对不同准则熟悉程度的语言术语集, 各个语言术语的含义和对应的模糊数如表3所示。收集三位专家对不同准则的熟悉程度(表4)和认为的准则重要性(表5)。

表 3 语言术语对应的模糊数

语言术语	含义	模糊数
$s_0$	完全不确定	(0,0,0.17)
$s_1$	非常不确定	(0,0.17,0.33)
$s_2$	不确定	(0.17,0.33,0.5)
$s_3$	中度确定	(0.33,0.5,0.67)
$s_4$	确定	(0.5,0.67,0.83)
$s_5$	非常确定	(0.67,0.83,1)
$s_6$	完全确定	(0.83,1,1)

表 4 各专家对准则的熟悉程度

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$e_1$	$\{s_5, s_6\}$	$\{s_3, s_4\}$	$\{s_5, s_6\}$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_2, s_3\}$
$e_2$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_1, s_2\}$	$\{s_3, s_4\}$	$\{s_5, s_6\}$	$\{s_5, s_6\}$
$e_3$	$\{s_0, s_1, s_2\}$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_5, s_6\}$	$\{s_3, s_4\}$	$\{s_0, s_1\}$

表 5 各专家认为的准则重要性

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$e_1$	0.75	0.33	0.42	0.92	0.59
$e_2$	0.83	0.25	0.25	0.75	0.83
$e_3$	0.92	0.59	0.17	0.92	0.59

### 3. 群体参考轮廓的确定

首先利用负算子运算法则将专家对准则的熟悉程度转化为改变程度, 再将其封装为梯形模糊数。接着利用式(9)计算各专家对各准则允许的最大改变量, 如表6所示。最后求解模型(8)得到群体参考轮廓, 其中假设三位专家具有相同的权重  $w_z = 1/3, z = 1, 2, 3, q = 2, \chi = 2, c = 1.5$ 。为了展示美观, 群体参考轮廓( $LP^* = (lp_{kn}^*)_{K \times N}$ )以表格的形式呈现(表7)。

表 6 各专家对准则的改变量

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$e_1$	0.1315	0.4181	0.1315	0.1315	0.5819
$e_2$	0.5819	0.7500	0.4181	0.1315	0.1315
$e_3$	0.7877	0.5819	0.1315	0.4181	0.8685

表 7 求解模型得到的群体参考轮廓

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$lp_1$	[0.733,0.767]	[0.776,0.797]	[0.750,0.767]	[0.790,0.814]	[0.843,0.863]
$lp_2$	[0.523,0.563]	[0.633,0.653]	[0.555,0.569]	[0.567,0.577]	[0.667,0.687]
$lp_3$	[0.217,0.270]	[0.317,0.347]	[0.311,0.343]	[0.306,0.328]	[0.350,0.380]

### 4. 准则权重的确定

根据三位专家给出关于各个准则重要性的信息, 利用式(10)和(11)求出群体准则权重  $\mathbf{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_5\}$ , 群体准则权重如表8所示。

表 8 群体准则权重

	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$
$w$	0.27	0.13	0.09	0.28	0.23

### 5. 综合前景价值的确定

确定好群体参考轮廓之后, 将其作为参考点, 利用式(12)计算备选方案相对于参考轮廓的前景价值, 并根据式(13)和准则权重计算综合前景值。

### 6. 类别的确定

根据备选方案的综合前景价值和本文的分类规则确定备选方案的类别。各备选方案的综合前景值和类别如表9所示。

表 9 各备选方案的综合前景值以及分类结果

备选方案	$OV_{m-1}$	$OV_{m-2}$	$OV_{m-3}$	类别	备选方案	$OV_{m-1}$	$OV_{m-2}$	$OV_{m-3}$	类别
1	-0.632	-0.222	0.226	$C_3$	12	-0.732	-0.374	0.104	$C_3$
2	-0.443	-0.144	0.277	$C_3$	13	-0.310	0.029	0.359	$C_2$
3	-0.725	-0.307	0.151	$C_3$	14	-0.731	-0.353	0.119	$C_3$
4	-0.231	0.112	0.425	$C_2$	15	-0.475	-0.128	0.287	$C_3$
5	-0.715	-0.343	0.100	$C_3$	16	-0.76	-0.355	0.146	$C_3$
6	-0.951	-0.555	0.012	$C_3$	17	-0.924	-0.526	-0.039	$C_4$
7	-0.894	-0.496	0.017	$C_3$	18	-0.763	-0.38	0.102	$C_3$
8	-0.962	-0.569	-0.053	$C_4$	19	-0.560	-0.169	0.244	$C_3$
9	-0.645	-0.330	0.141	$C_3$	20	-1.051	-0.661	-0.120	$C_4$
10	-0.715	-0.397	0.074	$C_3$	21	-0.538	-0.201	0.179	$C_3$
11	-0.915	-0.515	-0.031	$C_4$	22	0.025	0.281	0.573	$C_1$

分配到各个类别的备选方案数量如图1所示。

从图1可以看出, 有1个备选方案被分配到类别1, 有2个备选方案被分配到类别2, 有15个备选方案被分配到类别3, 有4个备选方案被分配到类别4。

### (二) 比较分析

为了凸显本文所提方法的合理性和优越性, 本文将从两个方面分析: (1)与未考虑群体分类的方法进行对比, 凸显本文考虑群体分类的优势; (2)与已有的群体多准则分类方法进行描述性分析, 凸显本文考虑行为特征的优势。

#### 1. 与未考虑群体决策方式的分类方法比较

为了展示本文群体分类方法在分类问题中的合理性与优越性, 假设将受邀的三位专家分别当作该分类问题的单个决策者, 根据每位专家提供的不同类别的参考轮廓, 运用本文方法对备选方案分类, 并将获得的各位专家的分类结果与本文方法获得的群体分类结果进行比较。

由图2可知, 各个专家的分类趋势与群体的分类趋势相同, 都是分入类别3的备选方案数量最多,

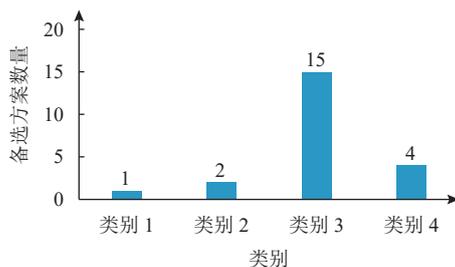


图 1 各类别中的备选方案数量

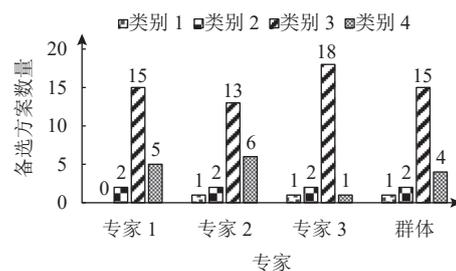


图 2 不同专家的每个类别的备选方案数量

分入类别1的备选方案数量最少,群体的分类结果与个体的分类结果具有高度相似性,说明了本文提出的群体多准则分类方法的合理性与有效性。

从表10中的分类结果中也可以看出,每个专家的分类结果不尽相同,与本文的群体分类结果也不同。这是因为每位专家都有自己的个人偏好和判断。而单个专家对分类问题的偏好或判断可能存在一定的局限性,从而会使分类结果存在一定差异。

表 10 不同专家 and 不同方法的分类结果

备选方案	专家1	专家2	专家3	多数规则	本文方法	备选方案	专家1	专家2	专家3	多数规则	本文方法
1	C <sub>3</sub>	12	C <sub>3</sub>								
2	C <sub>3</sub>	13	C <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>				
3	C <sub>3</sub>	14	C <sub>3</sub>								
4	C <sub>2</sub>	15	C <sub>3</sub>								
5	C <sub>3</sub>	16	C <sub>3</sub>								
6	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	17	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>
7	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	18	C <sub>3</sub>				
8	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	19	C <sub>3</sub>				
9	C <sub>3</sub>	20	C <sub>4</sub>								
10	C <sub>3</sub>	21	C <sub>3</sub>								
11	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	22	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>

针对该问题,通常为了获得更加合理可靠的分类结果,会通过集结多位专家的意见对分类问题进行分析,这样群体多准则分类方法不仅将专家的个人智慧汇集成群体智慧,而且也最大可能地弱化了个别专家的极端偏好和判断,使得分类结果更加合理可靠。

此外,为了进一步说明本文方法得到的分类结果更加合理可靠,本文将基于多数原则的分类方法<sup>[29]</sup>应用于表10所示的各专家的分类结果,得到了与本文方法相同的分类结果,这说明本文方法获得的分类结果可以反映大多数专家的意见,具有一定代表性,再次验证了本文方法的合理性与可靠性。虽然单个专家的个人主观性在分类过程中无法避免,但是群体分类可以减弱个人的主观判断或偏见对分类结果的影响,使得分类结果更加合理可靠,这是群体分类最为显著的优势之一,同时也间接验证本文方法的优越性。

## 2. 描述性分析

在现实问题中,由于决策环境的复杂性和个人认知的不充分性,专家自身不可避免地产生犹豫行为。因此,考虑专家在分类问题中的犹豫行为是必要且更符合实际情况的。另外,许多文献<sup>[2,20]</sup>已经证实考虑心理行为的必要性。但是通过对现有群体多准则分类研究的比较可知(表11),尚未有研究考虑到专家群体在分类过程中的犹豫行为和有限理性行为,这间接体现了本文所提方法的优越性。

表 11 现有群体多准则分类方法的描述性分析

文献	决策方式	犹豫行为	有限理性行为
文献[11]	多个专家	No	No
文献[14]	多个专家	No	No
文献[15]	多个专家	No	No
文献[16]	多个专家	No	No
文献[17]	多个专家	No	No
本文方法	多个专家	Yes	Yes

通过案例分析与比较分析,本文群体多准则分类方法具有以下几个优势:

1. 在群体多准则分类领域内,提出了一个可以快速高效集结各位专家参考轮廓的共识模型,该

模型充分考虑了每位专家的调整意见,最后得到的群体参考轮廓可以被所有专家接受,可以使得分类结果更加合理可靠,丰富了现有的群体多准则分类研究。

2. 考虑了专家的犹豫行为。在确定参考轮廓时考虑了各个专家的犹豫行为,允许专家以犹豫模糊集的形式给出多个参考轮廓意见。这样不仅可以更加符合实际情况,而且可以减少专家的认知困难。

3. 考虑了专家的有限理性行为。有研究<sup>[20]</sup>已经表明人是有限理性的,然而现有群体多准则分类研究没有考虑到这一特点,本文提出的群体多准则分类方法填补了这一研究领域上的空白。

#### 四、结束语

面对复杂的多准则分类问题,一方面专家不可避免会受到自身犹豫行为和有限理性行为的影响,进而影响分类结果的准确性,另一方面单个专家对分类问题的偏好或判断可能存在一定的局限性,从而会使分类结果存在一定差异。因此,本文提出一种考虑专家行为特征的群体多准则分类方法。与以往研究相比,本文方法不仅创新性地考虑了专家在分类过程中的犹豫行为和有限理性行为,研究方法更接近现实情况,弥补了现有群体多准则研究没有考虑专家行为特征的不足;而且提出了一个可以快速高效集结专家参考轮廓的群体共识模型,该模型充分考虑了每位专家的意见,使得群体参考轮廓具有更高的接受性,确保分类结果更加合理可靠。然而,本文所提方法仍存在一些局限性。例如,本文提出的考虑专家行为特征的多准则分类方法是静态的,未涉及动态变化。为了进一步提高方法的实用性,未来的研究可以探讨考虑专家行为特征的动态群体多准则分类方法,从而使群体多准则分类方法更加贴近实际应用。

#### 参考文献

- [1] ROY B. The optimisation problem formulation: criticism and overstepping[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2017, 32(6): 427-436.
- [2] WANG L, ZHANG Z X, ISHIZAKA A, et al. TODIMSort: a TODIM based method for sorting problems[J]. *Omega*, 2023, 115: 102771.
- [3] YATSALO B, RADAIEV A, HAKTANIR E, et al. A family of fuzzy multi-criteria sorting models FTOPSIS-Sort: Features, case study analysis, and the statistics of distinctions[J]. *Expert Systems with Applications*, 2024, 237: 121486.
- [4] LIAO H C, XIAO Y L, WU X, et al. Z-DNMA Sort: a double normalization-based multiple aggregation sorting method with Z-numbers for multi-criterion sorting problems[J]. *Information Sciences*, 2024, 653: 119782.
- [5] WEN Z, LIAO H C. PL-MACONT-I: a probabilistic linguistic MACONT-I method for multi-criterion sorting[J]. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2023: 1-20.
- [6] EMAMAT M S M M, AMIRI M, MEHREGAN M R, et al. A novel hybrid simplified group BWM and multi-criteria sorting approach for stock portfolio selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2023, 215: 119332.
- [7] BARRERA F, SEGURA M, MAROTO C. Multicriteria sorting method based on global and local search for supplier segmentation[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2023, 31(5): 3108-3134.
- [8] ROY P K, SHAW K. An integrated fuzzy credit rating model using fuzzy-BWM and new fuzzy-TOPSIS-Sort-C[J]. *Complex & Intelligent Systems*, 2023, 9(4): 3581-3600.
- [9] BARRERA F, SEGURA M, MAROTO C. Multiple criteria decision support system for customer segmentation using a sorting outranking method[J]. *Expert Systems with Applications*, 2024, 238: 122310.
- [10] QIN J D, LIANG Y Y, MARTINEZ L, et al. ORESTE-SORT: A novel multiple criteria sorting method for sorting port group competitiveness[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 325(2): 875-909.
- [11] ISHIZAKA A, PEARMAN C, NEMERY P. AHPSort: an AHP-based method for sorting problems[J]. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(17): 4767-4784.
- [12] LÓPEZ C, ISHIZAKA A. GAHPSort: a new group multi-criteria decision method for sorting a large number of the cloud-based ERP solutions[J]. *Computers in Industry*, 2017, 92-93: 12-25.

- [13] ASSUMMA V, BOTTERO M, ISHIZAKA A, et al. Group analytic hierarchy process sorting II method: an application to evaluate the economic value of a wine region landscape[J]. *Environmental Modeling & Assessment*, 2021, 26(3): 355-369.
- [14] ASSUMMA V, BOTTERO M, ISHIZAKA A. Enhancing territorial resilience assessment with a decision-aiding model in regional planning of socio-ecological systems[J]. *Environmental Science & Policy*, 2024, 154: 103691.
- [15] REMADI F D, FRIKHA H M. The multi-criteria group decision-making FlowSort method using the output aggregation[J]. *International Journal of Applied Management Science*, 2023, 15(4): 277-295.
- [16] MOHEIMANI A, ISHIZAKA A, HOSSEINI S M H, et al. Sorting radiology departments in a disaster management assessment with G-ARASort[J]. *International Journal of Production Research*, 2023: 1-24.
- [17] LABELLA Á, ISHIZAKA A, MARTÍNEZ L. Consensual Group-AHPSort: applying consensus to GAHPSort in sustainable development and industrial engineering[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 152: 107013.
- [18] ZHANG Z, LI Z L. Consensus-based TOPSIS-Sort-B for multi-criteria sorting in the context of group decision-making[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 325(2): 911-938.
- [19] SABOKBAR H F, HOSSEINI A, BANAITIS A, et al. A novel sorting method topsis-sort: an application for tehran environmental quality evaluation[J]. *E & M Ekonomie a Management*, 2016, 19(2): 87-104.
- [20] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: an analysis of decision under risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47(2): 263-291.
- [21] TORRA V, NARUKAWA Y. On hesitant fuzzy sets and decision[C]//In: The 18th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Jeju Island, Korea: [s.n.], 2009: 1378-1382.
- [22] XIA M M, XU Z S, CHEN N. Induced aggregation under confidence levels[J]. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2011, 19(2): 201-227.
- [23] TORRA V. Hesitant fuzzy sets[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2010, 25(6): 529-539.
- [24] HERRERA F, MARTÍNEZ L, SÁNCHEZ P J. Managing non-homogeneous information in group decision making[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 166(1): 115-132.
- [25] RODRIGUEZ R M, MARTINEZ L, HERRERA F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, 20(1): 109-119.
- [26] WANG L, LABELLA Á, RODRÍGUEZ R M, et al. Managing non-homogeneous information and experts' psychological behavior in group emergency decision making[J]. *Symmetry*, 2017, 9(10): 234.
- [27] LIU H D, RODRÍGUEZ R M. A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making[J]. *Information Sciences*, 2014, 258: 220-238.
- [28] CHEN S J, CHEN S M. Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers[J]. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, 2003, 11(1): 45-56.
- [29] PÉREZ-ASURMENDI P, CHICLANA F. Linguistic majorities with difference in support[J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 18: 196-208.

## A Group Multi-Criteria Sorting Method Considering Behavioral Characteristics

WANG Liang YANG Yan-qing WANG Ying-ming

**Abstract** Aiming at the existing group multi-criteria sorting studies that do not consider the behavioral characteristics of experts and the complexity and time-consuming of reaching consensus on group reference profiles, this paper proposes a new group multi-criteria sorting method. Firstly, the hesitant fuzzy sets and the hesitant fuzzy linguistic term sets are used to portray the hesitant behavior of experts in giving reference profiles. Secondly, a mathematical planning-based method is used to reach consensus on group reference profiles based on the consideration of different adjustment amounts of different experts. Thirdly, the prospect theory is used to portray the bounded rational behavior of experts, and the alternatives' classes are determined based on the comprehensive prospect value compared to group reference profiles. Finally, this method is applied to specific cases, and the effectiveness and superiority of this method are verified through comparative analysis. This method considers the behavioral characteristics of the experts in the sorting process, which is closer to the actual situation; in addition, using group reference profiles which are reached consensus to sort helps to obtain more reasonable and reliable sorting results.

**Key words** group multi-criteria sorting; bounded rational behavior; hesitant behavior; group consensus

编辑 邓婧