

# 基于梯形模糊合作伙伴选择的群体决策方法

陈嘉鑫<sup>1</sup>, 李梅<sup>1,2</sup>, 陈洋<sup>3</sup>, 刘鹂园<sup>1</sup>

(1. 南宁师范大学 物流管理与工程学院, 南宁 530100; 2. 南宁师范大学 广西人机交互与智能决策重点实验室, 南宁 530100; 3. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 南宁 530100)

**摘要:**针对复杂多变的选择合作伙伴的决策环境,提出基于梯形模糊数的 TODIM-PROMETHEE 的多属性群体决策框架。首先,将 TODIM 模型的应用空间拓展到直觉梯形模糊数,利用 TODIM 中考虑决策者风险偏好的优势增强决策方法中决策者的参与度。其次,结合 PROMETHEE II 法,运用优先函数来逐步比较两个对象的优劣关系,解决属性之间的互补性问题,并采用净流量的大小来确定所有对象的排序关系。最后,结合实例,证明此方法的可行性,为选择合作伙伴问题提出一种新的方法。

**关键词:**直觉梯形模糊数;交互式多准则决策(TODIM);偏好顺序结构评估方法(PROMETHEE II);多属性群体决策;合作伙伴选择

**中图分类号:**F279.2;C934 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)14-0021-06

随着市场经济竞争越发激烈,企业的发展也离不开合作伙伴的选择,尤其是第三方物流、服务外包等产业的发展都证明了市场竞争是综合性的。华东和史安娜<sup>[1]</sup>利用演化博弈论的思想分析了合作伙伴选择的过程;刘吉成和鲍红焉<sup>[2]</sup>利用 Gale-Shapley 算法提出了一种合作伙伴双向选择的决策方法;胡丽辉和王忠伟<sup>[3]</sup>将熵权法与 TOPSIS 法相结合并运用到供应链合作伙伴选择模型中;吉慧等<sup>[4]</sup>对 TOPSIS 等 7 种多属性决策方法进行了分析并应用于选择决策领域。目前,关于选择合作伙伴的研究,大多数学者都默认决策者是单一的,但在实际决策问题中,合作伙伴的选择是企业战略发展的关键环节,一般需要多位专家共同商议决策。

直觉梯形模糊数是直觉模糊数的进一步延伸,其更符合现实世界中模糊数的本质,因而得到更多学者的研究。王坚强和张忠<sup>[5]</sup>通过综合方案的直觉梯形模糊数与正负理想解的距离模型,求得其最优权系数,并通过计算贴和度对方案进行排序。在进行决策过程中,为了更贴合实际情况,决策者会带有自己的情绪和偏好。陆忠鹏<sup>[6]</sup>在直觉梯形模糊数的数据下采用了累积前景理论。TODIM(交互式准

则决策)法是对前景理论的延伸,该方法考虑到了决策者的心理行为,将决策者的损失规避度作为参数直接反映在决策框架之中<sup>[7]</sup>。吴良刚和文丽<sup>[8]</sup>将 TODIM 法扩展到二维二元语义环境以获取低碳供应商的排序结果。张燕和杨威<sup>[9]</sup>将 TODIM 法扩展到了犹豫毕达哥拉斯环境中,不仅可以从正面和反面反映不确定性,还可以描述决策者的犹豫程度。根据对现有的 TODIM 法进行分析可以发现,目前的 TODIM 法并没有运用到群体决策和直觉模糊集理论中,且存在补偿性问题,也就是在一个方案中,一个属性值的优异表现可以弥补该方案中其他属性的不足,但是在一些现实情况中,这种现象并不存在。PROMETHEE II 法能够很好地避免补偿性的问题,因此被广泛地运用于农村实用人才区域发展<sup>[10]</sup>、小企业信用风险评价<sup>[11]</sup>、网络谣言管控方案<sup>[12]</sup>等,但是其单一的决策者会使得最终结果受到决策者个人偏好的影响,从而导致结果存在主观性。汪新凡和杨小娟<sup>[13]</sup>采用 IVITFNWAA 算子和 IVITFNHA 算子来对信息进行集合,并基于此,在权重已知的条件下提出了一种以区间直觉梯形模糊数为属性值群决策方法。刘欢等<sup>[14]</sup>通过相识度

**收稿日期:**2023-03-27

**基金项目:**广西高等学校千名中青年骨干教师培育计划资助项目(2021QGRW043);广西哲学社会科学规划研究课题(22FGL036);四川省高校人文社会科学重点研究基地科研项目(DSWL19-3)。

**作者简介:**陈嘉鑫(1998—),男,贵州六盘水人,南宁师范大学物流管理与工程学院,硕士研究生,研究方向为模糊决策理论与方法;通信作者李梅(1981—),女,黑龙江大庆人,南宁师范大学物流管理与工程学院,研究员,博士,研究方向为模糊决策理论与方法。

和可能性,分别计算出专家和属性权重,利用求出来的权重得到各方案的综合值,然后进行比较,从而得到可能性矩阵的排序向量并进行排序。李鹏宇和吴冲<sup>[15]</sup>利用连续区间有序加权平均算子简化了直觉梯形模糊数,并通过考虑隶属度、非隶属度和犹豫度的得分函数对其进行排序。

基于上述分析,为了更好地帮助企业选择最佳合作伙伴,首先采用直觉梯形模糊数来表示各合作伙伴属性值,从而更加贴合决策环境和决策信息的模糊性和犹豫程度;其次通过改进的 TODIM 法来计算各专家对各合作伙伴的综合评价,利用改进的 PROMETHEE II 法来对各合作伙伴进行排序,并运用于群体决策环境,更符合现实情况;最后通过某摩托公司选择合作伙伴的例子验证此方法的可行性和有效性。

### 1 直觉梯形模糊数

**定义 1**<sup>[16]</sup> 设  $\bar{a} = [(a, b, c, d), (a_1, b_1, c_1, d_1); \mu_a^-, v_a^-]$  是一个直觉梯形模糊数,已知  $a, b, c, d, a_1, b_1, c_1, d_1 \in R$ ,且  $a_1 \leq a \leq b_1 \leq b \leq c \leq c_1 \leq d \leq d_1$ 。隶属度函数和非隶属度函数的定义如下。

$$\mu_a^-(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \mu_a^-, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$v_a^-(x) = \begin{cases} \frac{b_1-x+v_a^-(x-a_1)}{b_1-a_1}, & a_1 \leq x \leq b_1 \\ v_a^-, & b_1 \leq x \leq c_1 \\ \frac{x-c_1+v_a^-(d_1-x)}{d_1-c_1}, & c_1 \leq x \leq d_1 \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $0 \leq \mu_a^- \leq 1, 0 \leq v_a^- \leq 1, \mu_a^- + v_a^- \leq 1$ 。当  $b=c$  时,梯形直觉模糊数变成直觉三角模糊数,一般地,在直觉梯形模糊数中有  $(a, b, c, d) = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ ,所以可以将直觉梯形模糊数简化为  $\bar{a} = [(a, b, c, d); \mu_a^-, v_a^-]$ ,本文中均采用这类的模糊数。特别地,当  $a=b, c=d$ ,且  $a \neq c$  时,将变成区间直觉模糊数。另  $\pi_a^-(x) = 1 - \mu_a^-(x) - v_a^-(x)$  为犹豫函数,其值越小,则模糊数越确定。

**定义 2**<sup>[17]</sup> 设  $\bar{a} = [(a, b, c, d); \mu_a^-, v_a^-], \bar{b} = [(a_1, b_1, c_1, d_1); \mu_b^-, v_b^-]$  是 2 个直觉梯形模糊数,其中  $b_1, c_1$  分别为模糊量  $\bar{b}$  最有可能的的最小值和最大值,  $a_1$  和  $d_1$  分别为模糊量  $\bar{b}$  的最小值和最大值;  $\gamma \geq 0$ ,则直觉梯形模糊数的运算法则如下。

$$\bar{a} + \bar{b} = [(a+a_1, b+b_1, c+c_1, d+d_1); (\mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-)] \quad (3)$$

$$\bar{a} - \bar{b} = [(a-a_1, b-b_1, c-c_1, d-d_1); (\mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-)] \quad (4)$$

$$\bar{a}\bar{b} = \begin{cases} [(a a_1, b b_1, c c_1, d d_1); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} > 0, \bar{b} > 0 \\ [(a d_1, b c_1, c b_1, d a_1); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} < 0, \bar{b} > 0 \\ [(d d_1, c c_1, b b_1, a a_1); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} < 0, \bar{b} < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\bar{a}/\bar{b} = \begin{cases} [(a/d_1, b/c_1, c/b_1, d/a_1); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} > 0, \bar{b} > 0 \\ [(\frac{d}{d_1}, \frac{c}{c_1}, \frac{b}{b_1}, \frac{a}{a_1}); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} < 0, \bar{b} > 0 \\ [(d/a_1, c/b_1, b/c_1, a/d_1); \mu_a^- \wedge \mu_b^-, v_a^- \vee v_b^-], & \bar{a} < 0, \bar{b} < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\gamma \bar{a} = [(\gamma a, \gamma b, \gamma c, \gamma d); \mu_a^-, v_a^-] \quad (7)$$

$$\bar{a}^\gamma = [(a^\gamma, b^\gamma, c^\gamma, d^\gamma); \mu_a^-, v_a^-] \quad (8)$$

式中:  $\vee, \wedge$  分别表示进行取小,取大运算;  $\gamma$  为决策者的偏好程度。

**定义 3**<sup>[18]</sup> 设  $\bar{a} = [(a, b, c, d); \mu_a^-, v_a^-], \bar{b} = [(a_1, b_1, c_1, d_1); \mu_b^-, v_b^-]$  是 2 个直觉梯形模糊数,则直觉梯形模糊数  $\bar{a}, \bar{b}$  之间的 Hamming 距离为

$$D(\bar{a}, \bar{b}) = \frac{1}{8} \{ |(1+\mu_a^- - v_a^-)a - (1+\mu_b^- - v_b^-)a_1| + |(1+\mu_a^- - v_a^-)b - (1+\mu_b^- - v_b^-)b_1| + |(1+\mu_a^- - v_a^-)c - (1+\mu_b^- - v_b^-)c_1| + |(1+\mu_a^- - v_a^-)d - (1+\mu_b^- - v_b^-)d_1| \} \quad (9)$$

式中:当  $D(\bar{a}, \bar{b})$  趋近于 0 时,模糊数  $\bar{a}$  接近模糊数  $\bar{b}$ ;当  $\bar{c}$  也是直觉梯形模糊数时,模糊数  $\bar{a}$  比模糊数  $\bar{b}$  更接近模糊数  $\bar{c}$  的充要条件是  $D(\bar{a}, \bar{c}) < D(\bar{b}, \bar{c})$ 。

**定义 4** 通过对孙红霞和李煜<sup>[19]</sup>的延伸,得出直觉梯形模糊数  $\bar{a}$  的隶属度和非隶属度的排序值标  $O_{\bar{a}; \mu_a^-}(\lambda), O_{\bar{a}; v_a^-}(\lambda)$  可以定义为

$$O_{\bar{a}; \mu_a^-}(\lambda) = \frac{\mu_a^- [a(1-\lambda) + d\lambda + (b+c)/2]}{2} \quad (10)$$

$$O_{\bar{a}; v_a^-}(\lambda) = \frac{(1-v_a^-) [a(1-\lambda) + d\lambda + (b+c)/2]}{2} \quad (11)$$

式中:  $\lambda$  为决策者的偏好程度 ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ),随着  $\lambda$  越小,其决策者的规避倾向也就越强。

**定义 5** 根据以上定义,给出直觉梯形模糊数  $\bar{a}$  和  $\bar{b}$  的排序值  $R_{\bar{a}}(\lambda), R_{\bar{b}}(\lambda)$  为

$$R_{\bar{a}}(\lambda) = (1-\lambda)O_{\bar{a};v_a^-}(\lambda) + \lambda O_{\bar{a};v_a^+}(\lambda) \quad (12)$$

$$R_{\bar{b}}(\lambda) = (1-\lambda)O_{\bar{b};v_b^-}(\lambda) + \lambda O_{\bar{b};v_b^+}(\lambda) \quad (13)$$

且满足:若  $R_{\bar{a}}(\lambda) < R_{\bar{b}}(\lambda)$ , 则  $\bar{b} < \bar{a}$ ; 若  $R_{\bar{a}}(\lambda) = R_{\bar{b}}(\lambda)$ , 则  $\bar{b} = \bar{a}$ 。

**定义 6** 不同的属性具有不同的性质,采用规范化处理可以很好地规避性质不同带来的影响,当要对决策矩阵  $\mathbf{A} = (x_{ij})_{m \times n}$  进行规范化生成  $\mathbf{R} = (r_{ij})_{m \times n}$  时。其中,  $x_{ij} = [x_{ij}^a, x_{ij}^b, x_{ij}^c, x_{ij}^d]$ ,  $r_{ij} = [r_{ij}^a, r_{ij}^b, r_{ij}^c, r_{ij}^d]$

对于成本型:

$$r_{ij}^k = \frac{\max_j(x_{ij}^d) - x_{ij}^k}{\max_j(x_{ij}^d) - \min_j(x_{ij}^a)} \quad (14)$$

式中:  $k = a, b, c, d; 1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n$ 。

对于效益型:

$$r_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k - \min_j(x_{ij}^a)}{\max_j(x_{ij}^d) - \min_j(x_{ij}^a)} \quad (15)$$

式中:  $k = a, b, c, d; 1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n$ 。

## 2 TODIM 法

TODIM 法是通过对各属性进行一一比较,从而尽可能地避免消除过程中产生的偏差,基于 Wu 等<sup>[20]</sup> 和 Wang 等<sup>[21]</sup> 得到改进的 TODIM 法。

**步骤 1:** 计算属性  $b_j$  对属性  $b_r$  的相对权重  $\bar{\omega}_{jr}$ 。

$$\bar{\omega}_{jr} = \frac{\omega_r}{\omega_j} \quad (16)$$

式中:  $j = 1, 2, \dots, m; \omega_r = \max\{\omega_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 。

**步骤 2:** 设一共有  $L$  种备选方案,计算属性  $j(j = 1, 2, \dots, m)$  在第  $h(0 < h \leq L)$  个方案  $P_h$  对第  $q(0 < q \leq L)$  个方案  $P_q$  的优势度  $\varphi_j$  为

$$\varphi_j(P_h, P_q) = \begin{cases} \sqrt{\frac{D(r_{hj}, r_{qj}) \omega_{jr}}{\sum_{j=1}^m \bar{\omega}_{jr}}}, & r_{hj} - r_{qj} > 0 \\ 0, & r_{hj} - r_{qj} = 0 \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{D(r_{hj}, r_{qj}) \omega_{jr}}{\sum_{j=1}^m \bar{\omega}_{jr}}}, & r_{hj} - r_{qj} < 0 \end{cases} \quad (17)$$

式中:  $D(r_{hj}, r_{qj})$  为直觉梯形模糊数  $r_{hj}$  与直觉梯形模糊数  $r_{qj}$  之间的距离;  $\theta$  为损失规避数。

**步骤 3:** 计算方案  $P_h$  对于方案  $P_q$  的总体优势度  $\sigma$ 。

$$\sigma(P_h, P_q) = \sum_{j=1}^m \varphi_j(P_h, P_q) \quad (18)$$

**步骤 4:** 计算方案排序值。

$$\rho_h = \frac{\sum_{q=1}^n \sigma(P_h, P_q) - \min_h \sum_{q=1}^n \sigma(P_h, P_q)}{\max_h \sum_{q=1}^n \sigma(P_h, P_q) - \min_h \sum_{q=1}^n \sigma(P_h, P_q)} \quad (19)$$

**步骤 5:** 进行排序,  $\rho$  越大则该方案越优。

## 3 PROMETHEE II 评估方法

PROMETHEE II 法可以利用优先函数来比较两个对象的优劣关系,最后采用净流量来确定所有对象的排序关系。在现实生活中,一共有 6 种优先函数,由于高斯准则函数就有非线性特征,与现实中的决策环境更为贴合,本文以其为例,其定义如下所示。

$$P(d) = \begin{cases} 1 - e^{(-d^2/2\epsilon^2)}, & d > 0 \\ 0, & d \leq 0 \end{cases} \quad (20)$$

式中:  $d$  为在属性  $b_j$  下,方案  $P_h$  和方案  $P_q$  的属性值差值,那么这个函数表示的就是方案  $P_h$  相对于方案  $P_q$  在属性  $b_j$  下的高斯形式的偏好函数;参数  $\epsilon$  一般取 0.2。

由此可以求出方案  $P_h$  相对于方案  $P_q$  的优先指数为

$$\Pi(P_h, P_q) = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_j P(P_h, P_q)}{\sum_{j=1}^m \omega_j} \quad (21)$$

式中:  $P(P_h, P_q)$  为方案  $P_q$  的高斯准则函数;  $\omega_j$  为各属性的权重;  $j = 1, 2, \dots, m$ 。

基于以上公式,计算出方案  $P_h$  的流入量

$$\Phi^-(P_h) = \sum_{i=1}^m \Pi(P_i, P_h), \text{ 流出量 } \Phi^+(P_h) =$$

$$\sum_{i=1}^m \Pi(P_h, P_i), \text{ 净流量 } (P_h) = \Phi^+(P_h) - \Phi^-(P_h),$$

并依据净流量最大则为优的原则进行排序。

## 4 基于直觉梯形模糊数的 TODIM-PROMETHEE II 群体决策方法

将 TODIM 法和 PROMETHEE II 法结合并应用于群体多属性决策中。设专家集  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ , 方案集  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , 属性集  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。第  $s$  名专家的对于不同属性和不同方案给出的直觉梯形模糊数评价矩阵为  $\mathbf{D}^s = (d_{ij}^s)_{m \times n}$  ( $s = 1, 2, \dots, k$ )。其中  $d_{ij}^s$  表示第  $s$  个专家对于第  $i$  个方案中关于属性  $j$  的评价结果,其表示方式是直觉梯形模糊数:  $d_{ij}^s = [(d_{ij1}^s, d_{ij2}^s, d_{ij3}^s, d_{ij4}^s); \mu_{ij}^s, v_{ij}^s]$ , ( $s = 1, 2, \dots, k; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ); 专家权重为  $L = (l_1, l_2, \dots, l_k)$ , 且满足  $l_s \geq 0, \sum_{s=1}^k l_s =$

1, 属性权重  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$  且满足  $\omega_j \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ .

**步骤 1:** 根据定义 6 先对各专家对于不同方案和属性的评估矩阵  $D^s = (d_{ij}^s)_{m \times n} (s=1, 2, \dots, k)$  进行规范化处理, 得到规范化模糊决策矩阵  $\bar{D}^s = (\bar{d}_{ij}^s)_{m \times n} (s=1, 2, \dots, k)$ .

**步骤 2:** 根据定义 3, 计算出第  $s$  个专家规范化后的决策矩阵中, 第  $j$  个属性下方案  $C_h$  的属性值  $\bar{d}_{hj}^s$  的与方案  $C_q$  的属性值  $\bar{d}_{qj}^s$  之间的 Hamming 距离  $T^s(\bar{d}_{hj}^s, \bar{d}_{qj}^s)$ .

**步骤 3:** 根据公式(17), 计算出专家  $s$ , 在属性  $j$  下, 方案  $C_h$  相对于方案  $C_q$  的优势度  $\varphi_j^s(P_h, P_q)$

**步骤 4:** 根据公式(21), 计算出专家  $s$  方案  $P_h$  相对于方案  $P_q$  的优先指数  $\Pi^s(P_h, P_q)$ . 在将专家权重乘以其对应的优先指数  $[\Pi(P_h, P_q)] = \sum_{s=1}^k l_s \Pi^s(P_h, P_q)$ , 得到综合方案优先指数  $\Pi(P_h, P_q)$ .

**步骤 5:** 利用 PROMETHEEII 评估方法计算出  $P_h$  的流入量、流出量、净流量, 并依据净流量最大则为优的原则进行排序。

### 5 案例分析

采用万树平和董九英<sup>[22]</sup>的实例进行分析, 某摩托车公司为了提升自己的市场竞争力, 拟定 3 个同行企业  $\{C_1, C_2, C_3\}$ , 打算从中选择一家最佳企业合作, 该公司聘请了 3 位专家  $\{E_1, E_2, E_3\}$  组成决策小组, 分别对各企业的 3 个属性(生产能力  $a_1$ , 研发能力  $a_2$ , 资金周转能力  $a_3$ ) 进行评估。这些指标都是效益型指标。属性权重向量  $\omega = (0.45, 0.2, 0.35)$ , 专家权重向量  $L = (0.35, 0.35, 0.3)$ 。各专家给出的各方案的评价值如表 1~表 3 所示, 求出最佳合作企业。

**步骤 1:** 利用式(15)对各专家的评估矩阵进行规范化处理, 得到规范后的决策矩阵。

**步骤 2:** 利用式(9)计算各专家规范化后的决策矩阵中, 在属性  $j$  下, 各方案属性值之间的 Hamming 距离。如表 4 所示(本文以专家 1 为例)。

表 1 专家  $E_1$  给出的各方案的直觉梯形模糊数评价信息

评价值	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$C_1$	$[(1, 2, 3, 4); (0.7, 0.2)]$	$[(2, 3, 4, 5); (0.5, 0.4)]$	$[(3, 4, 6, 7); (0.7, 0.2)]$
$C_2$	$[(4, 5, 6, 7); (0.6, 0.3)]$	$[(1, 3, 5, 6); (0.6, 0.3)]$	$[(4, 6, 7, 9); (0.5, 0.4)]$
$C_3$	$[(2, 4, 5, 8); (0.5, 0.4)]$	$[(2, 3, 4, 5); (0.8, 0.2)]$	$[(1, 3, 6, 7); (0.6, 0.4)]$

**步骤 3:** 先利用定义 4 和定义 5 求出直觉梯形模糊数之间的距离, 在利用公式(17)计算出方案之间的优势度, 这里  $\lambda$  和  $\theta$  设置成 0.5。所得优势度矩阵如表 5 所示。

**步骤 4:** 在步骤 3 的基础上计算出根据 PROMETHEE II 方法的算法规则计算各方案间的优先指数, 如表 6 所示。

在将专家权重乘以其对应的优先指数, 得到综合方案优先指数, 如表 7 所示。

**步骤 5:** 计算各方案的流入量、流出量, 进而求

表 2 专家  $E_2$  给出的各方案的直觉梯形模糊数评价信息

评价值	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$C_1$	$[(3, 5, 6, 8); (0.5, 0.4)]$	$[(2, 3, 4, 5); (0.8, 0.2)]$	$[(2, 4, 5, 7); (0.7, 0.1)]$
$C_2$	$[(1, 2, 3, 4); (0.8, 0.0)]$	$[(3, 4, 5, 8); (0.5, 0.4)]$	$[(3, 4, 6, 7); (0.7, 0.2)]$
$C_3$	$[(2, 3, 4, 6); (0.7, 0.2)]$	$[(1, 3, 5, 8); (0.6, 0.2)]$	$[(1, 2, 4, 6); (0.7, 0.2)]$

表 3 专家  $E_3$  给出的各方案的直觉梯形模糊数评价信息

评价值	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$C_1$	$[(5, 6, 7, 8); (0.5, 0.2)]$	$[(2, 4, 6, 7); (0.6, 0.3)]$	$[(2, 4, 6, 7); (0.8, 0.1)]$
$C_2$	$[(1, 2, 3, 4); (0.8, 0.1)]$	$[(4, 5, 6, 8); (0.7, 0.2)]$	$[(1, 4, 5, 6); (0.5, 0.4)]$
$C_3$	$[(2, 3, 4, 5); (0.7, 0.0)]$	$[(2, 4, 5, 7); (0.5, 0.4)]$	$[(3, 4, 6, 8); (0.7, 0.2)]$

表 4 专家 1 决策矩阵的 Hamming 距离

距离	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$T(C_1, C_2)$	0.542 9	0.442 5	0.243 8
$T(C_1, C_3)$	0.482 1	0.575 0	0.343 8
$T(C_2, C_3)$	0.228 6	0.492 5	0.340 6

表 5 专家 1 的属性  $a_1$  至属性  $a_3$  的优先度

属性	方案	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$a_1$	$C_1$	0	-0.691 8	-0.651 9
	$C_2$	0.345 9	0	0.224 5
	$C_3$	0.326 0	-0.448 9	0
$a_2$	$C_1$	0	-0.936 9	0
	$C_2$	0.468 4	0	0.494 2
	$C_3$	0	-0.988 4	0
$a_3$	$C_1$	0	-0.525 7	0.312 1
	$C_2$	0.262 8	0	0.310 7
	$C_3$	-0.624 3	-0.621 3	0

表 6 专家 1 的方案总体优先指数

指数	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$C_1$	0	-0.682 7	-0.184 1
$C_2$	0.341 3	0	0.308 6
$C_3$	-0.071 8	-0.617 1	0

得各方案的净流,并依据净流数值的大小进行排序,排序结果如表 8 所示。

表 7 方案综合总体优先指数

指数	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$C_1$	0	-0.310 0	-0.044 6
$C_2$	-0.029 1	0	-0.106 1
$C_3$	-0.251 0	-0.2541	0

表 8 方案排序

评价值	$C_1$	$C_2$	$C_3$
净量	-0.074 6	0.428 9	-0.354 2
排序	2	1	3

根据上述计算过程和规则,最终得到的决策结果为 $C_3 < C_1 < C_2$ ,因此最佳合作伙伴是 $C_2$ 。而在万树平和董九英<sup>[22]</sup>的文中,排名为 $C_3 < C_2 < C_1$ ,最佳合作伙伴是 $C_1$ 。原文献中采用的是通过混合集成算子得到方案的群体综合评估值,根据期望值和预期得分给出群决策结果,并没有考虑决策者的风险偏好,且存在属性互补的不足。本文采取了TODIM-PROMETHEE法正好弥补了这一不足。首先,在计算专家相关属性的优先度时,本文设置专家的风险偏好参数都为0.5,可以看出专家1认为方案2在各属性的对比下基本都优于方案1;专家2认为除了在属性值 $a_1$ 下,方案2劣于方案1,其余与专家1一样;在计算总体优势度时,虽方案1在属性 $a_1$ 下远远优于方案2,且 $a_1$ 属性权重最高,但其总体优势度并没有优于方案2,这恰好说明了PROMETHEE法消除了属性之间存在弥补的情况。其次,万树平和董九英<sup>[22]</sup>采用的是“大多数”准则,求得加权向量为(0.067, 0.667, 0.267),这大大减少了专家1在整个决策过程中的权重,从而改变了最终结果,从加权向量的比例可以看出,这样的权重分配是不合理的,专家1只占整个权重的6%,这与一开始给定的专家权重不符,也与实际情况相违背,本文将专家权重进行集合,因此更符合题目中的条件。

## 6 结论

针对选择合作伙伴的决策问题,提出一种基于直觉模糊的群体决策方法,并应用于某摩托车选择合作伙伴案例,相比于原方法,其结果如下。

1)该方法充分考虑了决策者的风险偏好,通过TODIM法中设置风险偏好参数来描述不同决策者对待风险的态度,并将决策环境拓展到梯形模糊空间,从而更加符合决策者的内心想法,其决策结果

也更具说服力。

2)该方法解决了属性之间存在互补性的问题,利用PROMETHEE法避免了当某属性值过高从而影响整个决策结果的问题,避免了“长板长就选”的不综合性问题的出现,并通过选择最佳合作伙伴的案例,证明此方法的可行性和有效性,为选择合作伙伴问题提出一种新的方法,具有一定的参考价值。

## 参考文献

- [1] 华东,史安娜. 中药产业协同创新组织合作伙伴选择的演化博弈分析[J]. 科技和产业, 2021, 21(10): 229-233.
- [2] 刘吉成,鲍红焉. 基于Gale-Shapley算法的风储供应链合作伙伴双向选择研究[J]. 智慧电力, 2021, 49(7): 58-65.
- [3] 胡丽辉,王忠伟. 基于熵值修正G1-TOPSIS的家具制造业绿色供应链合作伙伴选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(12): 129-135.
- [4] 吉慧,徐舸,沈光辉,等. 多属性决策法及其应用[J]. 科技和产业, 2015, 15(10): 80-86.
- [5] 王坚强,张忠. 基于直觉梯形模糊数的信息不完全确定的多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(2): 226-230.
- [6] 陆忠鹏. 基于累积前景理论的直觉梯形模糊数多属性决策[J]. 统计与管理, 2019(1): 69-72.
- [7] 俱鑫,刘尚科,肖艳利,等. 基于三角直觉模糊的交互式偏好顺序决策模型[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(34): 14570-14575.
- [8] 吴良刚,文丽. 基于二维二元语义和模糊AHP-TODIM的低碳供应商选择方法[J]. 运筹与管理, 2017, 26(3): 7-16.
- [9] 张燕,杨威. 基于犹豫毕达哥拉斯模糊环境下的TODIM方法[J]. 模糊系统与数学, 2020, 34(2): 85-92.
- [10] 刘培德,王福滨,王鹏. 基于PROMETHEE方法的农村实用人才区域发展水平评价[J]. 经济与管理评论, 2022, 38(5): 36-48.
- [11] 程砚秋. 基于多边界偏好顺序结构评估法的小企业信用风险评价[J]. 征信, 2022, 40(9): 76-86.
- [12] 赵晓冬,张妮. 犹豫中智语言PROMETHEE方法在网络谣言管控方案评选中的应用[J]. 模糊系统与数学, 2021, 35(3): 78-90.
- [13] 汪新凡,杨小娟. 基于区间直觉梯形模糊数的群决策方法[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(3): 1-8, 51.
- [14] 刘欢,聂飞,蔡久顺. 基于可能度的直觉梯形模糊数多属性群决策方法[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(12): 80-83, 88.
- [15] 李鹏宇,吴冲. 基于改进得分函数的直觉梯形模糊数群体多属性决策方法[J]. 运筹与管理, 2021, 30(4): 76-80, 114.
- [16] 王坚强. 模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策, 2008(6): 601-606, 612.
- [17] 李登峰. 直觉模糊集决策与对策分析方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2012.
- [18] 周晓辉,姚俭,吴天魁. 基于梯形直觉模糊数的TOPSIS多属性决策方法[J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(3):

- 281-286.
- [19] 孙红霞,李煜. 三角直觉模糊数型 VIKOR 方法[J]. 运筹与管理,2015,24(4):288-294.
- [20] WU Y, WANG J, HU Y, et al. An extended TODIM-PROM ETHEE method for waste-to-energy plant site selection based on sustainability perspective[J]. Energy, 2018,156:1-16.
- [21] WANG X, WANG Y, ZHANG H, et al. An asymmetric trapezoidal cloud-based linguistic group decision-making method under unbalanced linguistic distribution assessments[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 160:107457.
- [22] 万树平,董九英. 多属性群决策的直觉梯形模糊数法[J]. 控制与决策,2010,25(5):773-776.

## Group Decision Method Based on Trapezoidal Fuzzy Partner Selection

CHEN Jiabin<sup>1</sup>, LI Mei<sup>1,2</sup>, CHEN Yang<sup>3</sup>, LIU Liyuan<sup>1</sup>

(1. School of Logistics Management and Engineering, Nanning Normal University, Nanning 530100, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Human-Computer Interaction and Intelligent Decision-Making, Nanning Normal University, Nanning 530100, China; 3. School of Geography Science and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530100, China)

**Abstract:** Aiming at the complex and changeable decision-making environment of selecting partners, a multi-attribute group decision-making framework of TODIM-PROMETHEE based on trapezoidal fuzzy number was proposed. Firstly, the application space of TODIM model was extended to intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers, and the advantage of considering the risk preference of decision makers in TODIM was used to enhance the participation of decision makers in decision-making methods. Secondly, combined with the PROMETHEE II method, the priority function was used to gradually compare the advantages and disadvantages of the two objects to solve the problem of complementarity between attributes, and the size of the net flow was used to determine the ranking relationship of all objects. Finally, the feasibility of the proposed method was proved by an example. A new method is proposed for selecting partners.

**Keywords:** intuitionistic trapezoidal fuzzy number; interactive multicriteria decision making; preference order structure evaluation method; multi-attribute group decision-making; partner selection