

考虑指标关联的直觉不确定 语言型多指标群决策方法

陈曦, 刘云志, 樊治平

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 提出了指标关联且指标值为直觉不确定语言变量的多指标群决策方法. 首先给出了关于直觉不确定语言变量的相关概念及直觉不确定语言变量间的距离计算公式, 然后, 依据各专家针对指标集所给出的直接关系矩阵, 运用 DEMATEL 方法确定各指标权重, 并将各专家给出的决策矩阵集结为群体决策矩阵. 进一步地, 构建正负理想点向量, 并计算各方案与正负理想点向量间的加权距离; 在此基础上计算各方案的相似系数, 并据此对所有方案进行排序. 最后, 通过一个项目风险应对策略选择的实例分析说明了本文方法的可行性和潜在应用.

关 键 词: 多指标群决策; 指标关联; 直觉不确定语言变量; DEMATEL; 方案排序

中图分类号: C 934 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2016)02-0285-06

Method for Intuitionistic Uncertain Linguistic Multi-attribute Group Decision Making: Based on Attribute Correlation

CHEN Xi, LIU Yun-zhi, FAN Zhi-ping

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: LIU Yun-zhi, E-mail: yunzhi_liu@126.com)

Abstract: A method for intuitionistic uncertain linguistic multi-attribute group decision making is proposed in consideration of attribute correlations. First, some basic concepts and terminologies of intuitionistic uncertain linguistic variables are introduced, and the distance formula for intuitionistic uncertain linguistic variables is given. Then, based on the direct relationship matrices of the attribute sets, the weight of each attribute is determined by using DEMATEL method. And the experts' decision matrices are aggregated into the group decision matrix. Furthermore, the positive (negative) ideal point vector is constructed, and the weighted distance between each alternative and the positive (negative) ideal point vector is calculated based on the proposed distance formula. On this basis, the similarity coefficient of each alternative is calculated. The ranking of alternatives is obtained. Finally, to illustrate the feasibility and potential application of the proposed method, an empirical analysis of selecting the risk response strategy for a project is given.

Key words: multi-attribute group decision making; attribute correlation; intuitionistic uncertain linguistic variable; DEMATEL; ranking of alternative

多指标群决策是指由多个专家针对多个指标均给出评价信息, 并通过将各专家的评价信息集结为群体评价信息, 进而进行有限方案的排序或优选^[1]. 由于这类决策问题在诸多领域具有广泛的实际背景, 所以有关多指标群决策方法的研究

得到了许多学者的关注^[2-4]. 在早期的多指标群决策方法的研究中, 大多要求专家使用精确数来表示其偏好信息或评价信息, 但由于现实决策环境的复杂性与不确定性, 专家们更多的是使用区间数和模糊数等来表示其偏好信息, 并且针对定

收稿日期: 2015-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71271051); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N130606001, N140607001).

作者简介: 陈曦(1978-), 男, 北京人, 东北大学博士研究生; 樊治平(1961-), 男, 江苏镇江人, 东北大学教授, 博士生导师.

性指标,专家往往以语言信息形式给出其偏好信息.例如,专家在对诸如汽车性能等定性指标进行评价时,一般会给出相应的语言评估信息(如:差、一般、好等形式).因此,针对具有语言信息的多指标群决策方法的研究也越来越受到学术界的关注^[5-12].需要指出的是,目前已有的多指标群决策方法大多假设指标之间是相互独立的,而在现实中一些指标之间往往是相互关联的;此外,文献[7]虽给出了直觉不确定语言变量的概念及其相关性质,并说明了直觉不确定语言变量在刻画不确定信息上的优势,但未进一步给出直觉不确定语言变量之间的距离计算公式.本文则是针对已有研究存在的不足之处,着重研究指标之间存在关联且指标值为直觉不确定语言变量的多指标群决策问题,提出一种新的直觉不确定语言型多指标群决策方法,并给出该方法在项目风险应对策略选择方面的潜在应用.

1 预备知识

设 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{l-1}\}$ 为一个有限离散语言标度集,其中 l 为奇数.对于任意的离散语言标度集 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{l-1}\}$,其元素 s_i 关于下标 i 是严格单调递增的^[12],故可定义函数 $f: s_i = f(i)$.显然,函数 $f(i)$ 关于 i 是严格单调递增的.从而,离散语言标度集 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_{l-1}\}$ 可被推广为一个连续语言标度集 $\bar{S} = \{s_\alpha | \alpha \in \mathbf{R}\}$ ^[12].

依据文献[7-8,12],给出如下定义与定理.

定义 1 设 $\tilde{s} = [s_a, s_b]$, 其中 $s_a, s_b \in \bar{S}$ 且 $a \leq b$, s_a 和 s_b 分别为 \tilde{s} 的下限和上限,则称 \tilde{s} 为一个不确定语言变量,并记全体不确定语言变量为 \tilde{S} .

定义 2 设 X 为一给定的论域, $[s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}] \in \tilde{S}$, 记 $A = \{ \langle x [[s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}], (u_A(x), v_A(x)) \rangle | x \in X \}$, 则 A 被称为一个直觉不确定语言集,并记全体直觉不确定语言集为 IULS, 其中 $s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)} \in \bar{S}, u_A: X \rightarrow [0, 1]$ 且 $v_A: X \rightarrow [0, 1]$, 满足 $0 \leq u_A(x) + v_A(x) \leq 1, \forall x \in X$. $u_A(x)$ 与 $v_A(x)$ 分别表示不确定语言变量 $[s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}]$ 的隶属度与非隶属度.

对于论域 X 上的任意直觉不确定语言集,若 $\pi(x) = 1 - u_A(x) - v_A(x), \forall x \in X$, 则 $\pi(x)$ 被称为不确定语言变量 $[s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}]$ 的不确定度.显然, $0 \leq \pi(x) \leq 1, \forall x \in X$.

定义 3 设 $A = \{ \langle x [[s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}], (u_A(x), v_A(x)) \rangle | x \in X \} \in \text{IULS}$, 四元组 $\langle [s_{\theta(x)}, s_{\tau(x)}], (u_A(x), v_A(x)) \rangle$ 则被称为一个直觉不确定语言

变量.

此外, $\pi(x) = 1 - u_A(x) - v_A(x)$ 表示直觉不确定语言变量的一种不确定程度,因此其被称为直觉不确定语言模糊度.

若任意给定两个直觉不确定语言变量为 $\tilde{a}_1 = \langle [s_{\theta(a_1)}, s_{\tau(a_1)}], (u(a_1), v(a_1)) \rangle$ 和 $\tilde{a}_2 = \langle [s_{\theta(a_2)}, s_{\tau(a_2)}], (u(a_2), v(a_2)) \rangle$, 且 $\lambda \geq 0$, 则

$$\begin{aligned} \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 &= \langle [s_{\theta(a_1) + \theta(a_2)}, s_{\tau(a_1) + \tau(a_2)}], \\ &\quad (1 - (1 - u(a_1))(1 - u(a_2)), \\ &\quad v(a_1)v(a_2)) \rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 &= \langle [s_{\theta(a_1) \times \theta(a_2)}, s_{\tau(a_1) \times \tau(a_2)}], \\ &\quad (u(a_1)u(a_2), v(a_1) + v(a_2) - \\ &\quad v(a_1)v(a_2)) \rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda \tilde{a}_1 &= \langle [s_{\lambda \times \theta(a_1)}, s_{\lambda \times \tau(a_1)}], (1 - (1 - \\ &\quad u(a_1))^\lambda, (v(a_1))^\lambda) \rangle; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{a}_1^\lambda &= \langle [s_{(\theta(a_1))^\lambda}, s_{(\tau(a_1))^\lambda}], ((u(a_1))^\lambda, \\ &\quad 1 - (1 - v(a_1))^\lambda) \rangle. \end{aligned}$$

定理 1 设 $\tilde{a}_1 = \langle [s_{\theta(a_1)}, s_{\tau(a_1)}], (u_A(a_1), v_A(a_1)) \rangle$ 和 $\tilde{a}_2 = \langle [s_{\theta(a_2)}, s_{\tau(a_2)}], (u_A(a_2), v_A(a_2)) \rangle$ 为两个直觉不确定语言变量,则

$$\tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 = \tilde{a}_2 + \tilde{a}_1; \tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 = \tilde{a}_2 \otimes \tilde{a}_1;$$

$$\lambda(\tilde{a}_1 + \tilde{a}_2) = \lambda\tilde{a}_1 + \lambda\tilde{a}_2, \lambda \geq 0;$$

$$\lambda_1\tilde{a}_1 + \lambda_2\tilde{a}_1 = (\lambda_1 + \lambda_2)\tilde{a}_1, \lambda_1, \lambda_2 \geq 0;$$

$$\tilde{a}_1^{\lambda_1} \otimes \tilde{a}_1^{\lambda_2} = (\tilde{a}_1)^{\lambda_1 + \lambda_2}, \lambda_1, \lambda_2 \geq 0;$$

$$\tilde{a}_1^{\lambda_1} \otimes \tilde{a}_2^{\lambda_1} = (\tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2)^{\lambda_1}, \lambda_1 \geq 0.$$

定义 4 设 $\tilde{a}_i = \langle [s_{\theta(a_i)}, s_{\tau(a_i)}], (u_A(a_i), v_A(a_i)) \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 为一组直觉不确定语言变量,且 $\text{IULWGA}: \Omega^n \rightarrow \Omega$, 即

$$\text{IULWGA}_\omega(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = \bigoplus_{j=1}^n (\tilde{a}_j)^{\omega_j}, \quad (1)$$

则称 IULWGA 为直觉不确定语言加权几何平均算子. 其中, Ω 为全体直觉不确定语言变量集, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 为权重向量, 满足 $\omega_j \in [0, 1], \sum_{j=1}^n \omega_j = 1$.

定理 2 设 $\tilde{a}_i = \langle [s_{\theta(a_i)}, s_{\tau(a_i)}], (u_A(a_i), v_A(a_i)) \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 为一组直觉不确定语言变量, 则通过 IULWGA 集结后的结果 $\text{IULWGA}_\omega(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n)$ 仍为一个直觉不确定语言变量, 且有

$$\begin{aligned} \text{IULWGA}_\omega(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) &= \langle [s_{\prod_{j=1}^n (\theta(a_j))^{\omega_j}}, \\ &\quad s_{\prod_{j=1}^n (\tau(a_j))^{\omega_j}}], (\prod_{j=1}^n (u(a_j))^{\omega_j}, \\ &\quad (1 - \prod_{j=1}^n (v(a_j))^{\omega_j})) \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$ 是权重向量, 满足

$$\omega_j \in [0, 1], \sum_{j=1}^n \omega_j = 1.$$

下面针对直觉不确定语言变量之间的距离进行讨论.

定义 5 设 $\tilde{a}_1 = \langle [s_{\theta(a_1)}, s_{\tau(a_1)}], (u_A(a_1), v_A(a_1)) \rangle$ 和 $\tilde{a}_2 = \langle [s_{\theta(a_2)}, s_{\tau(a_2)}], (u_A(a_2), v_A(a_2)) \rangle$ 为两个直觉不确定语言变量, 则 \tilde{a}_1 与 \tilde{a}_2 之间的距离定义为

$$D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = |\gamma(a_1)(\theta(a_1) + \tau(a_1)) - \gamma(a_2)(\theta(a_2) + \tau(a_2))|, \quad (3)$$

$$\text{其中 } \gamma(\cdot) = \frac{u(\cdot) + (1 - v(\cdot))}{2}.$$

由定义 5 可以看出, 式(3)不仅考虑了两个直觉不确定语言变量各自所对应的不确定语言变量的取值, 而且考虑了各自不确定语言变量所对应的隶属度与非隶属度的取值. 同时, 不难推出 $D(\cdot, \cdot)$ 满足如下性质.

性质 1 任意给定直觉不确定语言变 $\tilde{a}_1 = \langle [s_{\theta(a_1)}, s_{\tau(a_1)}], (u(a_1), v(a_1)) \rangle$, $\tilde{a}_2 = \langle [s_{\theta(a_2)}, s_{\tau(a_2)}], (u(a_2), v(a_2)) \rangle$ 和 $\tilde{a}_3 = \langle [s_{\theta(a_3)}, s_{\tau(a_3)}], (u(a_3), v(a_3)) \rangle$, 则

- 1) $D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) \geq 0, D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = 0$ 当且仅当 $\gamma(a_1)(\theta(a_1) + \tau(a_1)) = \gamma(a_2)(\theta(a_2) + \tau(a_2))$;
- 2) $D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = D(\tilde{a}_2, \tilde{a}_1)$;
- 3) $D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) + D(\tilde{a}_2, \tilde{a}_3) \geq D(\tilde{a}_1, \tilde{a}_3)$.

2 决策方法

2.1 问题描述

为便于分析, 记 $M = \{1, 2, \dots, m\}, N = \{1, 2, \dots, n\}, K = \{1, 2, \dots, k\}. A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 为 m 个备选方案的集合, 其中 A_i 为第 i 个备选方案, $i \in M; D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ 为参与群决策的 k 个专家的集合, 其中 D_t 为第 t 个专家, $t \in K; C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为 n 个指标的集合, 其中 C_j 为第 j 个指标, 且指标之间是相互关联的, $j \in N$. 不失一般性, 这里假定各指标均为效益型指标; $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ 为专家针对指标集所给出的直接关系矩阵集, 其中 $R_t = [r_{ij}^t]_{n \times n}$ 为专家 D_t 针对指标集 C 所给出的直接关系矩阵, $t \in K; w = [w_1, w_2, \dots, w_k]^T$ 为专家的权重向量, 其中 w_t 为专家 D_t 的权重, 且满足 $w_t \geq 0, \sum_{t=1}^k w_t = 1; \bar{w} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n]^T$ 为决策者给出的“主观”指标权重向量, 其中 \bar{w}_j 为决策者针对指标 C_j 所给出的权重,

且满足 $\bar{w}_j \geq 0, \sum_{j=1}^n \bar{w}_j = 1; S = \{s_0, s_1, \dots, s_{l-1}\}$ 为给定的离散语言标度集, $\bar{S} = \{s_\alpha | \alpha \in [0, \dots, l-1]\}$ 为由离散语言标度集 S 推广得到的连续语言标度集, 其中 l 为奇数; $P_t = [\tilde{p}_{ij}^t]_{m \times n}$ 为专家 D_t 的决策矩阵, 其中 \tilde{p}_{ij}^t 为专家 D_t 给出的方案 A_i 针对指标 C_j 的评价值, 且 $\tilde{p}_{ij}^t = \langle [s_{\theta(\tilde{p}_{ij}^t)}, s_{\tau(\tilde{p}_{ij}^t)}], (u(\tilde{p}_{ij}^t), v(\tilde{p}_{ij}^t)) \rangle$ 为直觉不确定语言变量, $i \in M, j \in N, t \in K$.

2.2 指标权重的确定

依据专家针对指标集所给出的直接关系矩阵集 R 和专家权重向量 w , 首先运用 DEMATEL 方法^[13]确定“客观”指标权重向量 \underline{w} , 然后将其与“主观”指标权重向量 \bar{w} 进行融合, 进而得到综合指标权重向量 ω . 确定综合指标权重的具体计算过程如下.

- 1) 依据 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ 和 $w = [w_1, w_2, \dots, w_k]^T$, 得到群体直接关系矩阵, 即

$$R = w_1 R_1 + w_2 R_2 + \dots + w_k R_k = \left[\sum_{t=1}^k w_t r_{ij}^t \right]_{n \times n} = [r_{ij}]_{n \times n}. \quad (4)$$

- 2) 将 $R = [r_{ij}]_{n \times n}$ 规范化为

$$Z = lR = [l r_{ij}]_{n \times n} = [z_{ij}]_{n \times n}, \quad (5)$$

其中, $l = 1 / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n r_{ij}, i, j \in N$.

- 3) 依据 $Z = [z_{ij}]_{n \times n}$, 得到总体关系矩阵, 即

$$Z = Z(I - Z)^{-1} = [z_{ij}]_{n \times n}, \quad (6)$$

其中 I 为单位矩阵.

- 4) 依据 $Z = [z_{ij}]_{n \times n}$, 分别计算行和矩阵 $O = [z'_i]_{n \times 1}$ 与列和矩阵 $S = [z''_j]_{1 \times n}$, 即

$$O = \left[\sum_{j=1}^n z_{ij} \right]_{n \times 1} = [z'_i]_{n \times 1}; \quad (7)$$

$$S = \left[\sum_{i=1}^n z_{ij} \right]_{1 \times n} = [z''_j]_{1 \times n}. \quad (8)$$

进一步地, 依据式(7)和式(8), 计算得到中心度矩阵 $Q = O^T + S = [z'_j + z''_j]_{1 \times n}$.

- 5) 依据 $Q = [z'_j + z''_j]_{1 \times n}$, 计算“客观”指标权重向量 $\underline{w} = [\underline{w}_1, \underline{w}_2, \dots, \underline{w}_n]^T$, 其中 \underline{w}_j 的计算公式为

$$\underline{w}_j = \frac{z'_j + z''_j}{\sum_{j=1}^n (z'_j + z''_j)}, j \in N. \quad (9)$$

- 6) 将 $\underline{w} = [\underline{w}_1, \underline{w}_2, \dots, \underline{w}_n]^T$ 与 $\bar{w} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n]^T$ 进行融合, 得到综合指标权重向量 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$, 其中 ω_j 的计算公式为

$$\omega_j = \frac{\omega_j \bar{\omega}_j}{\sum_{j=1}^n \omega_j \bar{\omega}_j}, j \in N. \quad (10)$$

2.3 个体决策信息的集结及方案排序

依据式(1)和 $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_k]^T$, 得到群体决策矩阵 $\mathbf{P} = [\tilde{p}_{ij}]_{m \times n}$, 其中 \tilde{p}_{ij} 的计算公式为

$$\tilde{p}_{ij} = \text{IULWGA}_w(\tilde{p}_{ij}^1, \tilde{p}_{ij}^2, \dots, \tilde{p}_{ij}^k) = \prod_{t=1}^k (\tilde{p}_{ij}^t)^{w_t}, \quad i \in M, j \in N. \quad (11)$$

依据式(2), 式(11)可进一步表示为

$$\begin{aligned} \tilde{p}_{ij} &= \text{IULWGA}_w(\tilde{p}_{ij}^1, \tilde{p}_{ij}^2, \dots, \tilde{p}_{ij}^k) = \\ &\langle [s_{\theta(\tilde{p}_{ij})}, s_{\tau(\tilde{p}_{ij})}], (u(\tilde{p}_{ij}), v(\tilde{p}_{ij})) \rangle = \\ &\langle [s_{\prod_{t=1}^k (\theta(\tilde{p}_{ij}^t))^{w_t}}, s_{\prod_{t=1}^k (\tau(\tilde{p}_{ij}^t))^{w_t}}], \\ &(\prod_{t=1}^k (u(\tilde{p}_{ij}^t))^{w_t}, (1 - \prod_{t=1}^k (1 - v(\tilde{p}_{ij}^t))^{w_t})) \rangle, \\ &i \in M, j \in N. \end{aligned} \quad (12)$$

进一步地, 构建正理想点向量 $\mathbf{I}^+ = [I_1^+, I_2^+, \dots, I_n^+]^T$ 和负理想点向量 $\mathbf{I}^- = [I_1^-, I_2^-, \dots, I_n^-]^T$, 其中 I_j^+ 和 I_j^- 的计算公式分别为

$$I_j^+ = \langle [s_{\sigma^+}, s_{\sigma^+}], (1, 0) \rangle, i \in M, j \in N; \quad (13)$$

$$I_j^- = \langle [s_{\sigma^-}, s_{\sigma^-}], (1, 0) \rangle, i \in M, j \in N; \quad (14)$$

其中, $\sigma^- = 0, \sigma^+ = l - 1$.

依据式(3), 计算各方案针对指标 C_j 的评价值与正理想点 I_j^+ 的距离 $D^+(\tilde{p}_{ij}, I_j^+)$ 和负理想点 I_j^- 的距离 $D^-(\tilde{p}_{ij}, I_j^-)$, 即

$$D^+(\tilde{p}_{ij}, I_j^+) = |\gamma(\tilde{p}_{ij})(\theta(\tilde{p}_{ij}) + \tau(\tilde{p}_{ij})) - \gamma(I^+)(\theta(I^+) + \tau(I^+))|; \quad (15)$$

$$D^-(\tilde{p}_{ij}, I_j^-) = |\gamma(\tilde{p}_{ij})(\theta(\tilde{p}_{ij}) + \tau(\tilde{p}_{ij})) - \gamma(I^-)(\theta(I^-) + \tau(I^-))|. \quad (16)$$

依据 $\boldsymbol{\omega} = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$, 分别计算各方案与正理想点向量 \mathbf{I}^+ 的加权距离 d_i^+ 和各方案与负理想点向量 \mathbf{I}^- 的加权距离 d_i^- , 即

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n \omega_j D^+(\tilde{p}_{ij}, I_j^+), i \in M; \quad (17)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n \omega_j D^-(\tilde{p}_{ij}, I_j^-), i \in M. \quad (18)$$

最后, 计算各方案的相似系数, 即

$$\text{CC}_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i \in M. \quad (19)$$

显然, CC_i 愈大, 方案 A_i 愈优. 因此, 依据 CC_i 的大小, 可对所有备选方案进行排序或优选.

综上所述, 考虑指标关联的直觉不确定语言型多指标群决策方法的计算步骤如下.

① 据式(4)~式(10)、专家给出的关于指标

集的直接关系矩阵集 \mathbf{R} 、专家权重向量 \mathbf{w} 和决策者给出的“主观”指标权重向量 $\bar{\boldsymbol{\omega}}$, 确定综合指标权重向量 $\boldsymbol{\omega}$.

② 依据式(11)、式(12)和专家权重向量 \mathbf{w} , 得到群体决策矩阵 \mathbf{P} .

③ 依据式(13)和式(14), 构建正理想点向量 \mathbf{I}^+ 和负理想点向量 \mathbf{I}^- .

④ 依据式(15)~式(18)和综合指标权重向量 $\boldsymbol{\omega}$, 分别计算各方案与正理想点向量 \mathbf{I}^+ 的加权距离 d_i^+ 及各方案与负理想点向量 \mathbf{I}^- 的加权距离 d_i^- .

⑤ 依据式(19), 计算各方案的相似系数 CC_i , 并依据 CC_i 的大小对所有备选方案进行排序或选择最优方案.

3 实例分析

为说明上文给出决策方法的可行性及其潜在应用, 下面考虑一个项目风险应对策略选择问题. DR 公司计划实施一个信息系统项目. 经分析, 该信息系统项目在研发过程中主要面临 4 种风险(指标), 即研发过程中的管理有效性(C_1)、现实用户的参与程度(C_2)、现实需求分析的充分性(C_3)和现实用户的期望预期满意程度(C_4), 且这 4 项风险之间存在关联性. 该公司项目管理小组针对这 4 种风险提出了 5 个备选的项目风险应对策略(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5). 同时, 该公司聘请了两名资深的项目风险管理专家(D_1, D_2) 分别对 4 个指标的关联性及 5 个备选的项目风险应对策略进行评价, 其中, 采用的指标关联标度评价集为 $E = \{0 \text{ (没有影响)}, 1 \text{ (影响极小)}, 2 \text{ (稍微有影响)}, 3 \text{ (有影响)}, 4 \text{ (影响很大)}\}$, 针对 4 个指标(C_1, C_2, C_3, C_4)的评价值均为直觉不确定语言变量的形式, 且已知语言标度集为 $S = (s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6) = (\text{非常差}, \text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}, \text{非常好})$. 假设该公司的项目管理小组针对 4 个指标给出的“主观”指标权重向量为 $\bar{\boldsymbol{\omega}} = [0.25, 0.25, 0.25, 0.25]^T$, 项目风险管理专家(D_1, D_2)的权重向量为 $\mathbf{w} = [0.4, 0.6]^T$, 且两位项目风险管理专家针对 4 个指标给出的直接关系矩阵集为 $\mathbf{R} = \{\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2\}$, 其中, \mathbf{R}_1 和 \mathbf{R}_2 分别表示专家 D_1 和专家 D_2 针对 4 个指标给出的直接关系矩阵, 即

$$\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 4 \\ 2 & 0 & 1 & 3 \\ 4 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}.$$

两位项目风险管理专家给出的决策矩阵分别为 P_1 和 P_2 , 即

$$P_1 = \begin{bmatrix} \langle [s_0, s_1], (0.4, 0.5) \rangle & \langle [s_5, s_6], (0.8, 0.1) \rangle & \langle [s_2, s_4], (0.4, 0.3) \rangle & \langle [s_3, s_5], (0.5, 0.2) \rangle \\ \langle [s_4, s_6], (0.3, 0.3) \rangle & \langle [s_0, s_3], (0.7, 0.2) \rangle & \langle [s_3, s_5], (0.3, 0.4) \rangle & \langle [s_1, s_4], (0.6, 0.3) \rangle \\ \langle [s_1, s_2], (0.6, 0.2) \rangle & \langle [s_5, s_6], (0.7, 0) \rangle & \langle [s_4, s_5], (0.4, 0.3) \rangle & \langle [s_2, s_4], (0.8, 0.1) \rangle \\ \langle [s_3, s_5], (0.6, 0.3) \rangle & \langle [s_2, s_3], (0.6, 0.2) \rangle & \langle [s_4, s_6], (0.4, 0.2) \rangle & \langle [s_2, s_3], (0.7, 0) \rangle \\ \langle [s_0, s_2], (0.4, 0.2) \rangle & \langle [s_4, s_6], (1, 0) \rangle & \langle [s_1, s_4], (0.5, 0.2) \rangle & \langle [s_4, s_6], (0.3, 0.6) \rangle \end{bmatrix},$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} \langle [s_2, s_4], (0.5, 0.3) \rangle & \langle [s_3, s_5], (0.7, 0.1) \rangle & \langle [s_3, s_4], (0.5, 0.3) \rangle & \langle [s_5, s_5], (0.4, 0.5) \rangle \\ \langle [s_3, s_5], (0.4, 0.4) \rangle & \langle [s_3, s_3], (0.6, 0) \rangle & \langle [s_5, s_6], (0.2, 0.6) \rangle & \langle [s_2, s_4], (0.7, 0.1) \rangle \\ \langle [s_0, s_2], (0.5, 0.3) \rangle & \langle [s_4, s_5], (0.7, 0.2) \rangle & \langle [s_3, s_5], (1, 0) \rangle & \langle [s_4, s_4], (0.9, 0) \rangle \\ \langle [s_5, s_6], (0.6, 0.3) \rangle & \langle [s_2, s_2], (0.3, 0.6) \rangle & \langle [s_3, s_5], (0.6, 0) \rangle & \langle [s_0, s_3], (0.7, 0.1) \rangle \\ \langle [s_0, s_3], (0.3, 0) \rangle & \langle [s_5, s_6], (0.8, 0.1) \rangle & \langle [s_3, s_5], (0.4, 0.6) \rangle & \langle [s_5, s_6], (0.5, 0.2) \rangle \end{bmatrix}.$$

为选择适合的信息系统项目风险应对策略, 下面简要说明采用上文给出方法的计算过程.

首先, 确定综合指标权重向量 ω , 且 ω 的具体计算过程如下.

1) 依据式(4), 计算得到群体直接关系矩阵 $R = [r_{ij}]_{n \times n}$, 并依据式(5), 得到规范化群体直接关系矩阵 $Z = [z_{ij}]_{n \times n}$, 即

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 0.14 & 0.32 & 0.54 \\ 0.22 & 0 & 0.19 & 0.41 \\ 0.49 & 0.05 & 0 & 0.27 \\ 0.19 & 0.05 & 0.22 & 0 \end{bmatrix}.$$

2) 依据式(6), 计算得到总体关系矩阵 $Z =$

$$[z_{ij}]_{n \times n}, \text{ 即 } Z = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.37 & 0.96 & 1.39 \\ 0.85 & 0.22 & 0.76 & 1.16 \\ 1.09 & 0.30 & 0.66 & 1.16 \\ 0.62 & 0.20 & 0.58 & 0.58 \end{bmatrix}.$$

3) 依据式(7)和式(8), 计算得到行和矩阵与列和矩阵, 进而计算得到中心度矩阵为 $Q = O^T + S = [6.90 \ 4.05 \ 6.18 \ 6.27]$.

4) 依据式(9), 计算得到“客观”指标权重向量为 $\omega = [0.30, 0.17, 0.26, 0.27]^T$, 并依据式(10), 计算得到综合指标权重向量为 $\omega = [0.30, 0.17, 0.26, 0.27]^T$.

然后, 依据式(11)、式(12)和专家权重向量 $w = [0.4, 0.6]^T$, 得到群体决策矩阵 P :

$$P = \begin{bmatrix} \langle [s_0, s_{2.30}], (0.46, 0.39) \rangle & \langle [s_{3.68}, s_{5.38}], (0.74, 0.10) \rangle & \langle [s_{2.55}, s_4], (0.46, 0.30) \rangle & \langle [s_{4.08}, s_5], (0.44, 0.40) \rangle \\ \langle [s_{3.37}, s_{5.38}], (0.36, 0.36) \rangle & \langle [s_0, s_3], (0.64, 0.09) \rangle & \langle [s_{4.08}, s_{5.58}], (0.24, 0.53) \rangle & \langle [s_{1.52}, s_4], (0.66, 0.19) \rangle \\ \langle [s_0, s_2], (0.54, 0.26) \rangle & \langle [s_{4.37}, s_{5.38}], (0.70, 0.13) \rangle & \langle [s_{3.37}, s_5], (0.69, 0.13) \rangle & \langle [s_{3.03}, s_4], (0.86, 0.04) \rangle \\ \langle [s_{4.08}, s_{5.58}], (0.60, 0.30) \rangle & \langle [s_2, s_{2.35}], (0.40, 0.47) \rangle & \langle [s_{3.37}, s_{5.38}], (0.51, 0.09) \rangle & \langle [s_0, s_3], (0.7, 0.06) \rangle \\ \langle [s_0, s_{2.55}], (0.34, 0.09) \rangle & \langle [s_{4.57}, s_6], (0.87, 0.06) \rangle & \langle [s_{1.93}, s_{4.57}], (0.44, 0.47) \rangle & \langle [s_{4.57}, s_6], (0.41, 0.39) \rangle \end{bmatrix}.$$

依据式(13)和式(14), 分别构建正理想点向量和负理想点向量, 即 $I^+ = [I_1^+, I_2^+, I_3^+, I_4^+]^T$ 和 $I^- = [I_1^-, I_2^-, I_3^-, I_4^-]^T$, 其中, $I_j^+ = \langle [s_6, s_6], (1, 0) \rangle$, $I_j^- = \langle [s_0, s_0], (1, 0) \rangle$, $j \in \{1, 2, 3, 4\}$.

进一步地, 依据式(15)~式(18)和综合指标权重向量 $\omega = [0.30, 0.17, 0.26, 0.27]^T$, 计算得到各备选项目风险应对策略与正理想点向量 I^+ 的加权距离 d_i^+ , 即 $d_1^+ = 8.11$, $d_2^+ = 9.24$, $d_3^+ = 6.84$, $d_4^+ = 7.56$, $d_5^+ = 7.68$; 同时, 计算得到各备选项目风险应对策略与负理想点向量 I^- 的加权距离 d_i^- , 即 $d_1^- = 3.89$, $d_2^- = 2.76$, $d_3^- = 5.16$, $d_4^- = 4.44$, $d_5^- = 4.32$.

最后, 依据式(19), 计算各备选项目风险应对策略的相似系数 CC_i , 即 $CC_1 = 0.32$, $CC_2 = 0.23$, $CC_3 = 0.43$, $CC_4 = 0.37$, $CC_5 = 0.36$. 显然

有 $CC_3 > CC_4 > CC_5 > CC_1 > CC_2$, 故备选项目风险应对策略的排序结果为 $A_3 > A_4 > A_5 > A_1 > A_2$, 即 A_3 是适合的项目风险应对策略.

4 结 语

本文给出了考虑指标关联且指标值为直觉不确定语言变量的多指标群决策方法, 并进一步给出了该方法在选择项目风险应对策略上的潜在应用. 与已有方法不同的是, 本文给出的方法着重考虑了直觉不确定语言型多指标群决策问题中指标之间存在关联的情形. 本文方法具有可操作性和实用价值, 可应用于解决许多领域的多指标群决策问题.

(下转第304页)