

考虑社会网络信任关系的多属性群决策方法

陈宏晨, 伊长生

安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032

摘 要:针对社会网络环境下决策者存在信任关系导致的信任风险,以及方案属性间存在关联性的问题,提出了一种考虑社会网络信任关系的多属性群决策(MAGDM)方法;首先根据决策者的社会网络关系进行聚类从而获得若干个子社区,并通过度中心性和特征向量中心性计算出决策者的权重与子社区权重;接着根据信任关系分别确定决策者个人与子社区的信任度,并针对信任度较低的子社区衡量出其信任风险系数与评价风险系数,然后对该子社区进行相应的意见调整;其次针对备选方案的多个属性具有关联性的问题采用 Choquet 积分算子获取备选方案的综合评价值,并通过得分函数对备选方案进行相应排序以获取最优决策方案;最后将所提决策方法应用于一个算例中,说明方法的可行性。

关键词:社会网络;信任关系;风险;属性关联;多属性群决策

中图分类号:C934 **文献标识码:**A **doi:**10.16055/j.issn.1672-058X.2023.0003.010

A Multi-attribute Group Decision-making Method Considering Trust Relationship in Social Network

CHEN Hongchen, YI Changsheng

School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Anhui Ma' anshan 243032, China

Abstract: A multi-attribute group decision making (MAGDM) method considering trust relationships in social networks was proposed to address the trust risk caused by the trust relationships among decision makers in social networks and the problem of correlation between solution attributes. Firstly, several sub-groups were obtained by clustering according to the social network relationships of decision makers, and the weights of decision makers and the weights of sub-groups were calculated by degree centrality and eigenvector centrality. Then, the trust degrees of individual decision makers and sub-communities were determined separately according to the trust relationship. The trust risk coefficient and evaluation risk coefficient were measured for the sub-group with a low trust degree. The evaluation values of the sub-group were adjusted accordingly. Secondly, the Choquet integral operator was used to obtain the collective evaluation value of the alternatives for a problem where multiple attributes of the alternatives were correlated, and the alternatives were ranked accordingly by the score function to obtain the optimal decision. Finally, the proposed decision making method was applied to an arithmetic example to illustrate the feasibility of the method.

Keywords: social network; trust relationship; risk; attribute association; multi-attribute group decision making

1 引言

多属性群决策(MAGDM)是指一群决策者针对具

有共同属性的多个备选方案提供各自的决策矩阵,通过评价选择出群体均满意的备选方案^[1]。目前,

收稿日期:2022-02-26 修回日期:2022-05-18 文章编号:1672-058X(2023)03-0071-07

基金项目::国家自然科学基金项目(71772002);安徽省高校人文社科研究重大项目(SK2014ZD018)。

作者简介:陈宏晨(1997—),女,安徽合肥人,硕士,从事决策分析研究。

作者简介:伊长生(1975—),男,副教授,硕士生导师,从事工程项目管理研究。Email:yics2005@163.com。

引用格式:陈宏晨,伊长生.考虑社会网络信任关系的多属性群决策方法[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2023,40(3):71—77.

CHEN Hongchen, YI Changsheng. A multi-attribute group decision-making method considering trust relationship in social network [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2023, 40(3): 71—77.

MAGDM 广泛用于管理科学、经济学等多个研究领域,成为解决实际问题的有效工具。

国内外对 MAGDM 问题已有大量研究, Lin 等^[2]认为在多属性群决策问题使用 TOPSIS 法对方案进行排序时会导致属性权重过度加权,提出一种采用 Minkowski 距离公式解决该方法的问题。姚远^[3]针对属性值为不确定语言信息的群决策问题,提出将其转化成正态云模型,并在此基础上利用正态云模型的模糊性与随机性确定属性权重。梁昌勇等^[4]提出一种基于 TOPSIS 的 MAGDM 方法用于解决方案属性的评价信息为不同粒度语言信息与直觉模糊数两种形式时,如何将不同粒度语言信息转化为直觉模糊数,使决策问题中的评价信息形式趋于一致。

尽管文献[1-4]中的群决策研究对属性问题加以考虑,但均默认属性是完全独立的。然而随着决策环境的复杂程度加大,属性之间也可能存在一定的关联性。针对这类问题,文献[5-6]的相关研究表明属性之间的关联性问题可用 Choquet 积分算子来计算。

此外,与传统的群决策问题^[7-9]中默认决策者之间相互独立不同,互联网与社交媒介的发展使得人与人之间因信任关系、知识情感等方面产生了更多的社会联系,从而形成社会网络。诸多学者从不同的角度针对社会网络与群决策的问题进行了大量研究^[10-12]。李胜利等^[13]认为决策者的社会关系可以提高决策者的决策能力,于是将由社会关系、知识能力与身份地位融合而成的信任关系用于共识模型中调整与修正共识度最低的决策者的意见,从而提高共识效果。Zhang 等^[14]提出了一种采用社会网络解决群决策过程中决策者之间出现的不合作行为,即通过计算决策者之间完整的信任关系获取权重大小并用于共识。Wu 等^[15]则针对社会网络环境下信任关系的传播与聚合如何影响群决策的问题,提出了一种新的算子(UTWA 算子)计算完整的信任关系从而获取权重信息。由此可见,信任关系的研究逐步趋于完善。然而,信任与风险是并存的^[16],研究发现,决策主体在知识背景等方面的差异性会影响其信任判断,从而导致决策失误^[17]。

根据上述分析,针对属性之间具有关联性以及决策者之间可能存在信任风险的决策情况,提出了一种考虑社会网络信任关系的多属性群决策方法。首先,根据社会网络关系对决策者进行聚类并获取相关权

重;其次通过信任关系得出信任风险、评价风险的大小,并进行相应的意见调整;然后采用 Choquet 积分算子解决属性关联性的问题,并在得出方案的综合评价后对其进行排序获取最优方案;最后将其应用于一个算例中验证其具有可行性。

2 基本知识

2.1 社会网络分析

社会网络分析是一种研究社会成员关系并通过揭示成员内在联系来解释社会现象的有效工具^[10-12]。其基本表示方法有图示,代数和邻接矩阵 3 种。例如,邻接矩阵 A 表示如下:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

其中,1 表示决策者 e_i 与 e_j 存在社会联系,0 表示两者不存在社会联系。

定义 1^[12] 度中心性表示社会网络中决策者 e_i 直接连接其他决策者的数量。度中心性越大,其直接影响力越高。

$$C_D(e_i) = \sum_j A_{ij}$$

定义 2^[12] 特征向量中心性表示决策者 e_i 与社会网络中其他决策者的通信能力,反映其间接影响力。

$$C_E(e_i) \propto \sum_j A_{ij} C_E, i \neq j, j = 1, 2, \dots, n$$

2.2 信任关系

定义 3^[15] 设 (t, d) 为集合 $[0, 1]^2$ 中的元素,称 (t, d) 为信任得分, t 为信任值, d 为非信任值,此时信任度 TS 定义为

$$TS = \frac{t-d+1}{2} \quad (1)$$

定义 4^[15] 信任关系矩阵为 $TD = [(t_{ij}, d_{ij})]_{m \times m}$ 即

$$TD = \begin{pmatrix} (1, 0) & (t_{12}, d_{12}) & \cdots & (t_{1m}, d_{1m}) \\ (t_{21}, d_{21}) & (1, 0) & \cdots & (t_{2m}, d_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (t_{m1}, d_{m1}) & (t_{m2}, d_{m2}) & \cdots & (1, 0) \end{pmatrix}$$

2.3 直觉模糊数

定义 5^[9] 设 $A = \{(x, \mu_A(x), v_A(x)) \mid x \in X\}$ 为直觉模糊集。其中 $\mu_A(x)$, $v_A(x)$ 与 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - v_A(x)$ 分别表示为隶属度、非隶属和犹豫度,并满足条件:

$$\forall x \in X, \mu_A(x) \geq 0, v_A(x) \geq 0, 0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$$

定义 6^[9] 令 n 个直觉模糊数构成数组 $a_j = (\mu_{a_j}, v_{a_j}) (j=1, 2, \dots, n)$, 其权重向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, 则直觉模糊加权平均算子 $IFWA$ 为

$$IFWA_w(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j a_j = (1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{a_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n v_{a_j}^{w_j})$$

定义 7^[9] $\alpha = (\mu_\alpha, v_\alpha), \beta = (\mu_\beta, v_\beta)$ 为两个直觉模糊数, 令 $S(\alpha) = \mu_\alpha - v_\alpha$ 为得分函数, $H(\alpha) = \mu_\alpha + v_\alpha$ 为精确函数, 则 α 与 β 的比较方法如下:

(1) 当 $S(\alpha) > S(\beta)$ 时, 则 $\alpha > \beta$;

(2) 当 $S(\alpha) > S(\beta)$ 时, 若 $H(\alpha) = H(\beta)$, 则 $\alpha = \beta$;
若 $H(\alpha) > H(\beta)$ 则 $\alpha > \beta$.

定义 8^[9] 设 $A = (\mu_A(x_i), v_A(x_i))$ 和 $B = (\mu_B(x_i), v_B(x_i))$, $i=1, 2, \dots, n$ 为两个直觉模糊集, 则 A 与 B 之间的 Hamming 距离为

$$d = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| + |v_A(x_i) - v_B(x_i)| + |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|)$$

其中, Hamming 距离越大, A 与 B 之间的差异性越大。

2.4 Choquet 积分算子

定义 9^[6] 设 $\tilde{a}_i = (t_{\tilde{a}_i}, f_{\tilde{a}_i})$, $i=1, 2, \dots, n$ 是 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 上的一组直觉模糊集, ε 是 X 上的一个模糊测度, 定义 $\tilde{a}_i$ 关于 ε 的 Choquet 积分算子为

$$IFC_{(\varepsilon)}(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = (1 - \prod_{i=1}^n (1 - t_{\tilde{a}_i})^{\varepsilon(A_{(i)}) - \varepsilon(A_{(i+1)})}, \prod_{i=1}^n (f_{\tilde{a}_i})^{\varepsilon(A_{(i)}) - \varepsilon(A_{(i+1)})}) \quad (2)$$

其中, $\tilde{a}_{(1)} \leq \tilde{a}_{(2)} \leq \dots \leq \tilde{a}_{(n)}$, $A_{(i)} = (i=1, 2, \dots, n)$, $A_{(i+1)} = \varphi$.

3 基于信任关系的多属性群决策模型

3.1 问题描述

在考虑社会网络信任关系的 MAGDM 中, 将 p 个备选方案的集合记为 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_p\}$, 方案的属性集合记为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_q\}$, 其中属性的权重向量为 $f = (f_1, f_2, \dots, f_q)^T$. 该决策群体 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 由 m 位决策者构成, 其权重向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$. 令 $R^m = (r_{ij}^m)_{p \times q}$ 为决策者 e_m 的评价矩阵, 其中 r_{ij}^m 表示 e_m 对 X_i 下 C_j 的评价值。

3.2 权重计算与评价值的集结

3.2.1 权重计算

利用 Gephi 将决策者划分为若干个子社区, 记为

$\{T_k | k=1, 2, \dots, l\}$, 其权重向量记为 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T$, 且子社区内的决策者数量为 $n_k, 1 \leq n_k \leq m$. 根据度中心性与特征向量中心性得到混合中心性 $C(e_i)$:

$$C(e_i) = \frac{1}{2} \left(\frac{C_B(e_i)}{\sum_{i=1}^{n_k} C_B(e_i)} + \frac{C_E(e_i)}{\sum_{i=1}^{n_k} C_E(e_i)} \right) \quad (3)$$

此时决策者 e_i 的权重 w_i 为

$$w_i = \frac{C(e_i)}{\sum_{i=1}^{n_k} C(e_i)} \quad (4)$$

子社区的权重是由子社区与整个群体的混合中心之间的距离确定的, 即

$$\lambda'_k = \left(\left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C(e_i) - \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} C(e_i) \right| \right)^{-1} \quad (5)$$

经归一化处理得到子社区权重 λ_k 为

$$\lambda_k = \frac{\lambda'_k}{\sum_{i=1}^l \lambda'_i} \quad (6)$$

3.2.2 评价矩阵的集结

子社区评价矩阵 R_k 是由子社区内决策者的评价矩阵集结而成:

$$R_k = \sum_{i=1}^{n_k} w_i R^i \quad (7)$$

其中, $w_i \in [0, 1], \sum w_i = 1, i=1, 2, \dots, n_k$.

综合评价矩阵 R 由子社区评价矩阵 R_k 集结而成:

$$R = \sum_{k=1}^l \lambda_k R_k \quad (8)$$

其中, $\lambda_k \in [0, 1], \sum \lambda_k = 1, k=1, 2, \dots, l$.

3.3 风险计算

3.3.1 信任风险系数

依据 TD 确定 e_i 的信任度 TS_i :

$$TS_i = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(\frac{t_{ij} - d_{ij} + 1}{2} \right) \quad (9)$$

子社区信任度 TS_{T_k} 为

$$TS_{T_k} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} TS_i}{n_k} \quad (10)$$

在信任度较小的子社区内, 决策者会因信任程度较低而存在非理智决策的风险。令该子社区的信任风险系数为 φ_1 , 则

$$\varphi_1 = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (1 - TS_i) \quad (11)$$

3.3.2 评价风险系数

在直觉模糊数 (μ, v) 中 $\mu \in [\mu, \mu + \pi], v \in [v, v + \pi], \pi$ 表示犹豫度。如图 1 所示。

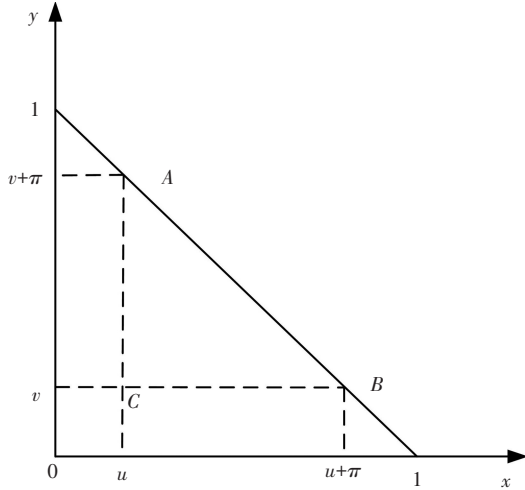


图 1 (μ, v) 的几何示意

Fig. 1 Geometrical interpretation of (μ, v)

其中, $S_{\Delta XOY} = \frac{1}{2}$ 表示 (μ, v) 的几何面积; $S_{\Delta ABX} = \frac{1}{2}\pi^2$ 表示犹豫度的几何面积。两者面积之比 π^2 表示决策者在决策时的不确定程度。令子社区的评价风险系数 φ_2 为

$$\varphi_2 = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^q \pi_{ij}^2 \quad (12)$$

3.3.3 综合风险系数

综合风险系数 φ 是由 φ_1 与 φ_2 组成, 即

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2) \quad (13)$$

此时, 信任度较低的子社区在考虑综合风险并进行意见修正后得到新的子社区评价矩阵为 R'_k , 即

$$R'_k = (1 - \varphi)R_k + \varphi R \quad (14)$$

3.4 方法步骤

步骤 1 获取决策者的评价矩阵与 TD 等。

步骤 2 通过 Gephi 获得子社区。利用等式(3)一式(6)分别确定决策者和子社区的权重, 利用等式(7)一式(8)计算子社区评价矩阵与综合评价矩阵。利用等式(9)一式(10)分别确定决策者与子社区的信任度。

步骤 3 利用等式(11)一式(13)得出最小信任度的子社区及其风险系数。

步骤 4 通过等式(14)得到新的社区评价矩阵以及综合评价矩阵。

步骤 5 利用 Choquet 积分算子确定备选方案的综合

评价值, 通过得分函数对方案进行排序后筛选最优方案。

4 算例分析

4.1 算例背景

某相关部门针对城市黑臭水治理问题组织了 16 名决策者进行多属性群决策。通过对时间 (C_1)、成本 (C_2)、技术 (C_3) 与环保 (C_4) 这 4 项属性进行讨论后得出 3 种备选方案 $X = \{X_1, X_2, X_3\}$, 分别为: X_1 表示控源截污以防止外来污染物进一步污染; X_2 表示清淤疏浚避免出现污染物淤积; X_3 表示水体置换以增加城市内水体流动性。

4.2 决策过程

步骤 1 利用 Gephi 将获取到的社会网络关系可视化后见图 2。决策者的评价值见表 1。

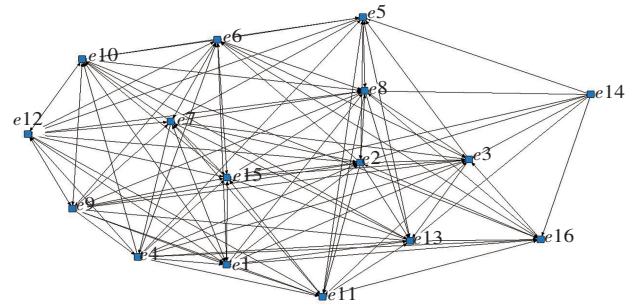


图 2 社会网络

Fig. 2 The social network

表 1 决策者的评价值

Table 1 The evaluation values of decision makers

		C_1	C_2	C_3	C_4
e_1	X_1	(0.4, 0.3)	(0.5, 0.3)	(0.45, 0.4)	(0.25, 0.6)
	X_2	(0.6, 0.1)	(0.65, 0.3)	(0.5, 0.2)	(0.45, 0.5)
	X_3	(0.8, 0.2)	(0.7, 0.2)	(0.55, 0.3)	(0.6, 0.25)
e_2	X_1	(0.3, 0.65)	(0.6, 0.25)	(0.5, 0.2)	(0.65, 0.25)
	X_2	(0.55, 0.35)	(0.2, 0.6)	(0.7, 0.1)	(0.6, 0.3)
	X_3	(0.6, 0.1)	(0.75, 0.1)	(0.55, 0.3)	(0.8, 0.1)
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
e_{15}	X_1	(0.35, 0.5)	(0.5, 0.3)	(0.45, 0.25)	(0.2, 0.6)
	X_2	(0.5, 0.3)	(0.7, 0.2)	(0.7, 0.2)	(0.65, 0.3)
	X_3	(0.7, 0.1)	(0.65, 0.2)	(0.55, 0.3)	(0.8, 0.1)
e_{16}	X_1	(0.8, 0.2)	(0.45, 0.2)	(0.6, 0.1)	(0.5, 0.2)
	X_2	(0.6, 0.1)	(0.7, 0.2)	(0.5, 0.4)	(0.8, 0.1)
	X_3	(0.7, 0.2)	(0.6, 0.2)	(0.7, 0.25)	(0.4, 0.5)

信任关系矩阵为

$$TD = \begin{pmatrix} (1, 0) & (0.6, 0.3) & \cdots & (0.56, 0.35) \\ (0.7, 0.2) & (1, 0) & \cdots & (0.8, 0.2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (0.8, 0.1) & (0.78, 0.1) & \cdots & (1, 0) \end{pmatrix}$$

步骤 2 利用 Gephi 划分出 4 个子社区,见图 3。

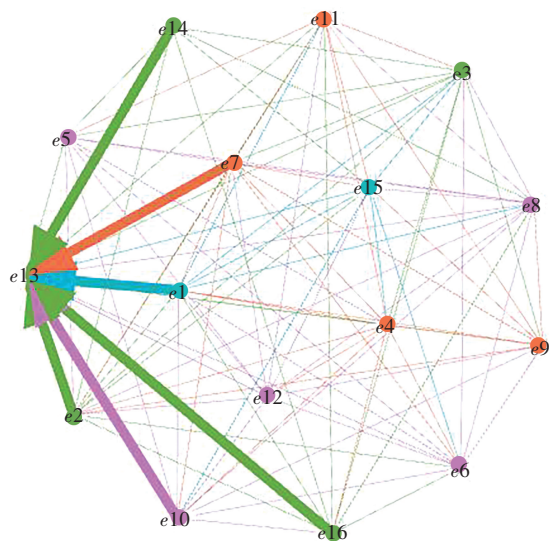


图 3 社会网络分区

Fig. 3 The social network partition

通过等式(3)一式(6)计算出决策者与子社区的权重,结果见表 2。根据等式(7)一式(8)得到子社区评价矩阵与综合评价矩阵,分别见表 3 和表 4。利用等式(9)一式(10)计算出决策者与子社区的信任度,结果见表 5。

步骤 3 根据表 5 看出 T_1 的信任度为 0.495,相比其他 3 个子社区最低。因此根据等式(11)一式(13)得出 φ_1 为 0.505, φ_2 为 0.185, φ 为 0.345。

步骤 4 根据等式(14)得到 T_1 新的社区评价矩阵与综合评价矩阵,结果见表 6 和表 7。

步骤 5 利用 Choquet 积分算子确定备选方案的综合评价值。

$$\varepsilon(C_1)=0.45, \varepsilon(C_2)=0.25, \varepsilon(C_3)=0.42, \varepsilon(C_4)=0.3, \varepsilon(C_1, C_2)=0.75, \varepsilon(C_1, C_3)=0.68, \varepsilon(C_1, C_4)=0.55, \varepsilon(C_2, C_3)=0.5, \varepsilon(C_2, C_4)=0.38, \varepsilon(C_3, C_4)=0.39, \varepsilon(C_1, C_2, C_3)=0.87, \varepsilon(C_1, C_2, C_4)=0.75, \varepsilon(C_1, C_3, C_4)=0.83, \varepsilon(C_2, C_3, C_4)=0.64。$$

此时,方案 X_1 的属性顺序为

$$a_{1(1)}=(0.589,0.219), a_{1(2)}=(0.606,0.215), a_{1(3)}=(0.62,0.173), a_{1(4)}=(0.63,0.147)。$$

利用 IFWA 算子得到 $X_1=(0.617,0.174)$ 。同样地, $X_2=(0.608,0.198), X_3=(0.62,0.171)$ 。此时, $S(X_1)=0.443, S(X_2)=0.41, S(X_3)=0.449$,则 $X_3>X_1>X_2$ 。即方案 X_3 为黑臭水治理的最优方案。

表 2 决策者与子社区的权重

Table 2 The weights of decision makers and sub-groups

社 区	数 量	决策者	决策者权重	子社区权重
T_1	4	$e_4 \setminus e_7 \setminus e_9 \setminus e_{11}$	0.162,0.270,0.172,0.396	0.251
T_2	5	$e_5 \setminus e_6 \setminus e_8 \setminus e_{10} \setminus e_{12}$	0.138,0.224,0.225,0.207,0.206	0.265
T_3	5	$e_2 \setminus e_3 \setminus e_{13} \setminus e_{14} \setminus e_{16}$	0.175,0.219,0.275,0.079,0.253	0.326
T_4	2	$e_1 \setminus e_{15}$	0.5,0.5	0.170

表 3 子社区评价矩阵

Table 3 The evaluation matrix of sub-groups

		C_1	C_2	C_3	C_4
T_1	X_1	(0.528,0.131)	(0.469,0.272)	(0.537,0.121)	(0.488,0.255)
	X_2	(0.493,0.295)	(0.634,0.166)	(0.519,0.244)	(0.525,0.195)
	X_3	(0.604,0.175)	(0.532,0.158)	(0.532,0.248)	(0.604,0.161)
T_2	X_1	(0.668,0.127)	(0.641,0.174)	(0.530,0.237)	(0.51,0.288)
	X_2	(0.575,0.186)	(0.694,0.141)	(0.585,0.217)	(0.579,0.179)
	X_3	(0.630,0.127)	(0.570,0.184)	(0.585,0.224)	(0.672,0.148)
T_3	X_1	(0.62,0.229)	(0.657,0.189)	(0.697,0.139)	(0.637,0.174)
	X_2	(0.643,0.175)	(0.602,0.26)	(0.612,0.243)	(0.644,0.213)
	X_3	(0.58,0.212)	(0.582,0.144)	(0.625,0.149)	(0.573,0.228)
T_4	X_1	(0.553,0.13)	(0.531,0.346)	0.684,0.1	(0.637,0.174)
	X_2	(0.668,0.127)	(0.676,0.245)	(0.613,0.2)	(0.603,0.245)
	X_3	(0.755,0.141)	(0.676,0.141)	(0.55,0.3)	(0.717,0.158)

表 4 综合评价矩阵

Table 4 The comprehensive evaluation matrix

	C_1	C_2	C_3	C_4
X_1	(0.618,0.169)	(0.601,0.220)	(0.624,0.175)	(0.57,0.222)
X_2	(0.578,0.191)	(0.655,0.192)	(0.588,0.224)	(0.598,0.200)
X_3	(0.639,0.163)	(0.590,0.153)	(0.585,0.207)	(0.635,0.172)

表 5 决策者与子社区的信任度

Table 5 The trust degree of decision makers and sub-groups

	决策者信任度	子社区信任度
T_1	0.542,0.45,0.484,0.504	0.495
T_2	0.65,0.828,0.749,0.657,0.571	0.691
T_3	0.709,0.736,0.764,0.811,0.75	0.754
T_4	0.777,0.523	0.650

表 6 T_1 区新的评价矩阵

Table 6 The new evaluation matrix of T_1

	C_1	C_2	C_3	C_4
X_1	(0.561,0.143)	(0.517,0.252)	(0.569,0.137)	(0.517,0.243)
X_2	(0.524,0.253)	(0.641,0.174)	(0.544,0.236)	(0.551,0.196)
X_3	(0.616,0.17)	(0.552,0.156)	(0.551,0.233)	(0.616,0.164)

表 7 新的综合评价矩阵

Table 7 The new comprehensive evaluation matrix

	C_1	C_2	C_3	C_4
X_1	(0.62,0.173)	(0.606,0.215)	(0.63,0.137)	(0.589,0.219)
X_2	(0.587,0.184)	(0.654,0.194)	(0.593,0.222)	(0.603,0.200)
X_3	(0.641,0.16)	(0.593,0.152)	(0.589,0.204)	(0.642,0.172)

4.3 分析讨论

在 T_1 区,利用 Hamming 距离得出考虑风险前后的平均差异分别为 0.293 与 0.222,其精确程度提高了 0.071。为了解考虑 T_1 区风险因素的影响,对 φ 进行适当的敏感性分析,结果如表 8 所示。其中, $d(\varphi)$ 表示意见修正后的 Hamming 距离, $\Delta d(\varphi)$ 表示意见修正前后的差异值。

表 8 风险变化结果

Table 8 The results of risk changes

φ	0.145	0.245	0.345	0.445	0.545
$d(\varphi)$	0.274	0.247	0.222	0.196	0.172
$\Delta d(\varphi)$	0.019	0.046	0.071	0.097	0.121

(1) 将综合风险系数进行调节后得出:

$\varphi=0.145$ 时方案排序为 $X_3>X_1>X_2$; $\varphi=0.245$ 时方案排序为 $X_3>X_1>X_2$;

$\varphi=0.345$ 时方案排序为 $X_3>X_1>X_2$; $\varphi=0.445$ 时方案排序为 $X_3>X_1>X_2$;

$\varphi=0.545$ 时方案排序为 $X_3>X_1>X_2$ 。

由此可见,风险大小虽有不同,但 X_3 始终为最优方案。

(2) 随着 φ 的增大, $d(\varphi)$ 逐渐减小, $\Delta d(\varphi)$ 也逐渐增大。这说明在综合风险较大的情况下,模型对风险修正的效果也较好。

因此,从算例中可得出考虑风险能够提高决策结果的精确程度。

5 总 结

针对社会网络环境下决策者存在信任关系导致的信任风险,以及方案属性间存在关联性的问题,提出了一种考虑社会网络信任关系的多属性决策方法。一方面,通过社会网络关系将决策群体划分成多个子社区从而降低计算的复杂性。另一方面,通过决策者的信任关系衡量决策风险以提高了决策的精确度,同时又考虑了多个属性之间的关联性,进一步提高决策方案的准确性。并且算例部分也说明了所提方法的可行性。未来将会进一步在关于社会网络环境下信任关系对决策影响的问题上考虑两方面的内容:在所提方法的基础上,考虑信任关系进行传递与集合时如何有效进行多属性群决策;社会网络环境下因信任关系产生的意见领袖如何影响其余决策者进行群决策。

参考文献(References):

[1] ZHANG C, LI D, LIANG J, et al. MAGDM-oriented dual hesitant fuzzy multigranulation probabilistic models based on MULTIMOORA[J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2021, 12(5): 1219—1241.

- [2] LIN Y H, LEE P C, CHANG T P, et al. Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information[J]. *Automation in Construction*, 2008, 17 (6): 792—797.
- [3] 姚远. 基于后悔理论及云模型的多属性群决策方法[J]. *数学的实践与认识*, 2020, 50(17): 22—34.
YAO Yuan. Multi-attribute group decision making method based on regret theory and cloud model[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2020, 50 (17): 22—34.
- [4] 梁昌勇, 戚筱雯, 丁勇, 等. 一种基于 TOPSIS 的混合型多属性群决策方法[J]. *中国管理科学*, 2012, 20 (4): 109—117.
LIANG Chang-yong, QI Xiao-wen, DING Yong, et al. A hybrid multi-criteria group decision making with TOPSIS method[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2012, 20 (4): 109—117.
- [5] MARCHAL J L. An axiomatic approach of the discrete Choquet integral as a tool to aggregate inter-acting criteria[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6): 800—807.
- [6] MURIFUSHIT, SUGENO M. A theory of fuzzy measures: representations, the Choquet integral, and null sets[J]. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1991, 159 (2): 532—549.
- [7] WIBOWOS, DENG H. Consensus-based decision support for multicriteria group decision making [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 66(4): 625—633.
- [8] ZHAN J, ALCANTUD J C R. A novel type of soft rough covering and its application to multicriteria group decision making [J]. *Artificial Intelligence Review*, 2019, 52 (4): 2381—2410.
- [9] 徐泽水. 直觉模糊偏好信息下的多属性决策途径[J]. *系统工程理论与实践*, 2007(11): 62—71.
XU Ze-shui. Approaches to multiple attribute decision making with intuitionistic fuzzy preference information [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2007, 11: 62—71.
- [10] WU J, CAO M, CHICLANA F, et al. An optimal feedback model to prevent manipulation behavior in consensus under social network group decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2020, 29(7): 1750—1763.
- [11] LIU B S, ZHOU Q, DING R X, et al. Large-scale group decision making model based on social network analysis: trust relationship-based conflict detection and elimination [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 275 (2): 737—754.
- [12] WU T, LIU X, LIU F. An interval TYPE-2 fuzzy TOPSIS model for large scale group decision making problems with social network information [J]. *Information Sciences*, 2018, 432: 392—410.
- [13] 李胜利, 魏翠萍, 宋燕红. 基于信任关系和互补判断矩阵的群决策方法[J]. *控制与决策*, 2020, 35(5): 1240—1246.
LI Sheng-li, WEI Cui-ping, SONG Yan-hong. Group decision-making method based on trust relationship and complementary judgment matrix [J]. *Control and Decision*, 2020, 35 (5): 219—225.
- [14] ZHANG H, PALOMARES I, DONG Y, et al. Managing non-cooperative behaviors in consensus-based multiple attribute group decision making: an approach based on social network analysis [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 162 (15): 29—45.
- [15] WU J, XIONG R, CHICLANA F. Uninorm trust propagation and aggregation methods for group decision making in social network with four tuple information [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2016, 96(15): 29—39.
- [16] 邓天璐, 谭清美. 信任风险高估与社会信任危机: 一项制度信任的经典扎根研究[J]. *创新*, 2019, 13(5): 87—98.
DENG Tian-lu, TAN Qing-mei. Overestimate of trust risk and social trust crisis: a classical grounded study of institutional trust[J]. *Innovation*, 2019, 13(5): 87—98.
- [17] 辛自强, 辛素飞. 被信任者社会身份复杂性对其可信性的影响[J]. *心理学报*, 2014, 46(3): 415—426.
XIN Zi-qiang, XIN Su-fei. The influence of trustees' social identity complexity on their trustworthiness [J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2014, 46(3): 415—426.