

文章编号: 1004-4353(2022)02-0123-09

基于概率语言组合赋权与 MULTIMOORA 的多准则决策方法

曾凡龙¹, 倪静², 阮俊华³, 王耀燕¹

(1. 义乌工商职业技术学院, 浙江 义乌 322000; 2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093;
3. 马来亚大学 工程学院, 吉隆坡 50603)

摘要: 针对传统的全乘比例多目标优化法(MULTIMOORA)存在的难以表征评价信息的模糊性和不确定性以及评价准则的权重需要从外部获取等问题,提出了一种改进的全乘比例多目标优化法,即基于概率语言组合赋权与 MULTIMOORA 的多准则决策方法.该方法采用概率语言(PLTS)处理决策者的评价信息,并引入改进的 G1 和 CRITIC 法构建组合优化赋权模型以计算评价准则的组合权重.实例对比实验结果表明,改进后的 MULTIMOORA 决策方法不仅赋权合理,而且具有更高的决策效率和鲁棒性,因此该方法对多准则决策问题具有良好的实际应用价值.

关键词: 概率语言; 多准则决策; MULTIMOORA; 组合优化赋权

中图分类号: C934

文献标识码: A

Multi-criteria decision making method based on probabilistic linguistic combination weighting and MULTIMOORA

ZENG Fanlong¹, NI Jing², YUEN Choon Wah³, WANG Yaoyan¹

(1. Yiwu Industrial & Commercial College, Yiwu 322000, China; 2. Business School,
University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
3. Faculty of Engineering, University Malaya, Kuala Lumpur 50603, Malaysia)

Abstract: Aiming at the problems that the traditional method of Multiplicative and Multi-Objective Ratio Analysis (MULTIMOORA) is difficult to characterize the fuzziness and uncertainty of evaluation information, and the weight of evaluation criteria needs to be obtained from the outside, an improved method of MULTIMOORA based on Probability Language Set (PLTS) and combined weighting model is proposed. This method uses PLTS to process the evaluation information of decision makers, constructs the combination optimization weighting model by introducing the improved G1 and CRITIC method, and calculates the combination weight of the evaluation criteria. Comparative experiments with examples show that the improved MULTIMOORA decision-making method has reasonable weight, higher decision-making efficiency and stronger robustness. Therefore, this method has practical application value for multi criteria decision making problems.

Keywords: PLTS; multi-criteria decision making; MULTIMOORA; the combined optimization weighting model

收稿日期: 2022-04-15

基金项目: 教育部人文社会科学基金(19YJAZH064)

第一作者: 曾凡龙(1995—),男,硕士,助教,研究方向为模糊决策、智慧物流.

通信作者: 倪静(1972—),女,博士,副教授,研究方向为模糊决策、智能优化算法.

0 引言

2010 年, Brauers 等^[1]以比例分析多目标优化法(MOORA)为基础,通过增加全乘模型和借鉴占优理论提出了 MULTIMOORA 法. 由于该方法具有运算时间短、决策复杂度低、鲁棒性强等优点,因此被应用于多个领域中,如食品废弃物处理方案选择^[2]、应急救援方案搜索^[3]、高强混凝土性能评价^[4]等. 但目前为止采用 MULTIMOORA 方法进行多准则决策时大多是针对定量信息进行的,缺乏对评价信息的模糊性和不确定性的探讨. 对此, Arian 等^[5]采用模糊集方法研究了 MULTIMOORA 中的评价信息,但该方法无法表征集合中元素的模糊性. Zhang 等^[6]和周文财等^[7]分别采用单一的三角模糊数和直觉模糊数研究了 MULTIMOORA 中的评价信息,该方法虽然可以处理决策信息的不确定问题,但单一的模糊数难以全面表征决策者的意见. Liang 等^[8]使用犹豫语言模糊集(HFLTS)研究了 MULTIMOORA 中的评价信息,该方法虽然能够体现决策者的犹豫性,但无法表征决策者对语义集的不同偏好. Pang 等^[9]基于 HFLTS 提出了概率语言术语集(PLTS),研究显示利用 PLTS 对语义集赋予相应的概率可较好地体现决策者的犹豫度以及偏好度,进而可较为准确地表征评价信息中的模糊性和不确定性.

为了更好地获得 MULTIMOORA 方法中各评价准则的权重, Baidya 等^[10]将 CRITIC 客观赋权法引入到 MULTIMOORA 中,该方法虽然计算简便,但缺乏对评价者的主观意愿评价. Fattahi 等^[11]采用 AHP 法改进了 MULTIMOORA 方法的权重确定准则,该方法虽然考虑了决策者的主观意愿,但当评价准则较多时存在评价过于繁琐的问题,且难以满足一致性检验. 翟强等提出了 G1 法,该方法不仅能保证评价结果的可靠性,而且过程简单,同时还可解决 AHP 方法难以构造一致性判断矩阵的问题^[12]. 基于上述研究,本文在引入概率语言的基础上,结合主观和客观赋权法的优势构建了一种 G1-CRITIC 组合优化赋权模型,并利用该模型对 MULTIMOORA 法进行了改进,同时采用案例验证了改进方法的有效性.

1 PLTS 的基本概念

PLTS 是由语义集及其对应的概率组成的语义集合,它不仅可描述决策者在评价方案时的犹豫情形,而且还可表达决策者的偏好程度.

定义 1^[13] 设 $S = \{s_0, \dots, s_a\}$ 为一个 LTS, 则一个 PLTS 可以被定义为:

$$L(P) = \{L^{(x)}(p^{(x)}) \mid L^{(x)} \in S, x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}. \quad (1)$$

其中: $L^{(x)}(p^{(x)})$ 表示语义集 $L^{(x)}$ 的概率为 $p^{(x)}$, 满足 $p^{(x)} \geq 0, \sum_{x=1}^{\#L(p)} p^{(x)} \leq 1$; $\#L(p)$ 是所有 $L(p)$ 中包含的语义集的个数.

如: 设 LTS 是一个 5 个粒度的语言术语集, $S^5 = \{S_0 = VL, S_1 = L, S_2 = M, S_3 = H, S_4 = VH\}$. 当准则为立体仓库智能化设计方案的高效性(C_1)时, 决策者认为该准则为“绝大多数时候对选择结果有很大影响, 仅偶尔会有一般影响”, 则此时记“绝大多数时候对选择结果有很大影响”为 S_4 , 其概率为 0.8, 记“仅偶尔有一般影响”为 S_2 , 其概率为 0.1, 此时的 $L(p) = \{(S_4, 0.8), (S_2, 0.1)\}$.

设 $L(p)_1 (L(p)_1 = \{L_1^{(x)}(p_1^{(x)}) \mid x = 1, 2, \dots, \#L(p)_1\})$ 和 $L(p)_2 (L(p)_2 = \{L_2^{(x)}(p_2^{(x)}) \mid x = 1, 2, \dots, \#L(p)_2\})$ 是两个不同的概率语言术语集, 若 $\#L(p)_1 > \#L(p)_2$, 则可在 $L(p)_2$ 中增加 $\#L(p)_1 - \#L(p)_2$ 个语义集, 增加的语义集为 $L(p)_2$ 中最小的语义集, 且其概率为 0.

定义 2^[13] 设一个 PLTS 的 $\sum_{x=1}^{\#L(p)} p^{(x)} < 1$, 则将该 PLTS 标准化可得:

$$\bar{L}(p) = \{L^{(x)}(\bar{p}^{(x)}) \mid x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}. \quad (2)$$

其中: $\bar{p}^{(x)} = p^{(x)} / \sum_{x=1}^{\#L(p)} p^{(x)}$, 语义集 $L^{(x)}(\bar{p}^{(x)})$ 由小到大有序排列.

定义 3^[14] 设 $L(p) = \{L^{(x)}(p^{(x)}) | x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}$ 为一个 PLTS, $r^{(x)}$ 为语义集 $L^{(x)}$ 的下标, 则 $L(p)$ 的得分函数为:

$$G(L(p)) = S_{\bar{\alpha}}, \quad (3)$$

其中 $\bar{\alpha} = \sum_{x=1}^{\#L(p)} r^{(x)} p^{(x)} / \sum_{x=1}^{\#L(p)} p^{(x)}$. 对于概率语言术语集 $L(p)_1$ 和 $L(p)_2$, 若 $G(L(p)_1) > G(L(p)_2)$, 则 $L(p)_1 > L(p)_2$.

定义 4^[14] 设 $L(p) = \{L^{(x)}(p^{(x)}) | x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}$ 为一个 PLTS, $r^{(x)}$ 为语义集 $L^{(x)}$ 的下标, $L(p)$ 的得分函数为 $G(L(p)) = S_{\bar{\alpha}}$, 则 $L(p)$ 的偏差度计算公式为:

$$\sigma(L(p)) = \left(\sum_{x=1}^{\#L(p)} (p^{(x)} (r^{(x)} - \bar{\alpha}))^2 \right)^{1/2} / \sum_{x=1}^{\#L(p)} p^{(x)}. \quad (4)$$

设概率语言术语集 $L(p)_1$ 和 $L(p)_2$ 的得分函数分别为 $G(L(p)_1)$ 和 $G(L(p)_2)$, 且其偏差度分别为 $\sigma(L(p)_1)$ 和 $\sigma(L(p)_2)$. 当 $G(L(p)_1) = G(L(p)_2)$ 时, 若 $\sigma(L(p)_1) < \sigma(L(p)_2)$, 则 $L(p)_1 > L(p)_2$; 若 $\sigma(L(p)_1) = \sigma(L(p)_2)$, 则 $L(p)_1 = L(p)_2$; 若 $\sigma(L(p)_1) > \sigma(L(p)_2)$, 则 $L(p)_1 < L(p)_2$.

定义 5^[14] 设 $S = \{s_0, \dots, s_a\}$ 为一个 LTS, $L(p) = \{L^{(x)}(p^{(x)}) | x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}$ 为一个 PLTS, 语义集 $L^{(x)}$ 的下标是 $r^{(x)}$, $L(p)$ 中语义集 $L^{(x)}$ 的粒度越大表示评价时越犹豫, 则 $L(p)$ 的犹豫度为:

$$H(L(p)) = \left[\frac{1}{\#L(p)} \sum_{x=1}^{\#L(p)} (p^{(x)} (r^{(x)} - \bar{\alpha}))^2 \right] / (\alpha + 1). \quad (5)$$

定义 6^[14] 设 $L(p) = \{L^{(x)}(p^{(x)}) | x = 1, 2, \dots, \#L(p)\}$ 为一个 PLTS, 则将 $L(p)$ 转化为精确数值的转化函数为:

$$G^*(L(p)) = \bar{\alpha} - \sigma(L(p)) - H(L(p)). \quad (6)$$

其中 $\bar{\alpha}$ 越大偏差度越小, 犹豫度越小概率语言术语集 $L(p)$ 越优.

2 指标权重的确定及备选方案的排序

2.1 基于概率语言的主客观组合赋权法

2.1.1 基于概率语言 G1 法的主观权重确定

传统 G1 法是通过决策者对相邻指标间的相对重要性进行 9 个刻度 (1.0 ~ 1.8) 的理性判断来确定指标的主观权重. 为改进该方法未考虑评价信息中的犹豫性、不确定性以及概率性的问题, 本文采用概率语言对 G1 法进行改进, 以此保证评价信息的准确性. 如: 设 PLTS 为 10 粒度的术语集 (粒度含义如表 1 所示), $L(p) = \{(S_{1.6}, 0.8), (S_{1.8}, 0.1)\}$ 表示“绝大多数时准则 C_{k-1}^* 强烈重要于准则 C_k^* , 仅偶尔时准则 C_{k-1}^* 极其重要于准则 C_k^* ”.

采用概率语言改进 G1 法求解各准则主观权重的步骤为:

1) 确定序关系. 首先咨询决策者意见, 并从评价准则集 $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ 中选择最重要的一个准则 (标记为 C_1^*); 然后从剩余 $n-1$ 个准则中再选出其中最重要的准则 (标记为 C_2^*). 以此类推即可得到所有评价准则的排序关系.

表 1 G1 中的概率语言粒度含义

粒度	含义
1.0	准则 C_{k-1}^* 与准则 C_k^* 同样重要
1.2	准则 C_{k-1}^* 比准则 C_k^* 稍微重要
1.4	准则 C_{k-1}^* 比准则 C_k^* 明显重要
1.6	准则 C_{k-1}^* 比准则 C_k^* 强烈重要
1.8	准则 C_{k-1}^* 比准则 C_k^* 极其重要
1.3, 1.5, 1.7, 1.9	介于上述情况之间

2) 相邻准则的重要性判断. 首先由决策者采用概率语言对相邻评价准则的重要程度之比进行判断, 然后采用式(3)—(6) 将概率语言术语转化为精确值 γ_k (γ_k 为经过概率语言转换的相邻准则的重要性程度的比值):

$$\gamma_k = \frac{\omega_{k-1}^*}{\omega_k^*}, k = n, n-1, \dots, 3, 2. \quad (7)$$

式中 $\omega_{k-1}^*, \omega_k^*$ 表示 C_{k-1}^* 和 C_k^* 的权重系数.

3) 计算权重系数. 首先根据 γ_k 的定义计算权重系数 ω_k^* :

$$\omega_k^* = \frac{1}{1 + \sum_{k=2}^n (\prod_{i=k}^n \gamma_i)}, \quad (8)$$

然后根据 $\omega_{k-1}^* = \gamma_k \omega_k^* (k = n, n-1, \dots, 3, 2)$ 依次计算所有准则的主客观权重值.

2.1.2 基于概率语言 CRITIC 法的客观权重确定

CRITIC 法是一种考虑了样本的对比强度和指标间冲突性的客观赋权方法, 但其权重计算缺乏灵活性, 且过于依赖样本数据; 因此, 本文采用概率语言对 CRITIC 法进行改进, 以此确定概率语言在 CRITIC 法下的粒度. 如: 设 PLTS 为一个 9 粒度的术语集 (粒度含义如表 2 所示), $L(p) = \{(S_7, 0.8), (S_6, 0.2)\}$ 表示为“绝大多数时备选方案 A_i 在准则 C_j 中评价价值高, 仅偶尔时评价价值稍高”.

表 2 CRITIC 中的不同概率语言粒度的含义

粒度	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
含义	超低	很低	低	稍低	一般	稍高	高	很高	超高

本文基于概率语言 CRITIC 法计算评价准则客观权重的步骤如下:

1) 假设有 m 个备选方案、 n 个评价准则. 首先由决策团队讨论得到方案 A_i 在准则 C_j 下的评价价值 (用概率语言表示), 然后利用式(3)—(6) 将概率语言术语转化为精确值, 并得到如下初始决策矩阵:

$$\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}.$$

2) 按照式 $d_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j(x_{ij})}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})}$ (效益型准则) 和 $d_{ij} = \frac{\max_j(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})}$ (成本型准则) 对决策矩阵 \mathbf{X} 进行标准化, 由此得到标准化决策矩阵 $\mathbf{D} = (d_{ij})_{m \times n}$.

3) 利用标准化数据计算变异系数 v_j , 其计算公式为 $v_j = \frac{s_j}{\bar{y}_j} = \frac{s_j}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d_{ij} - \bar{d}_j)^2} / \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{ij} \right)}$, 式中 \bar{y}_j 为均值, s_j 为标准差.

4) 利用标准化数据计算评价准则所包含的信息量, 其计算公式为 $\eta_j = v_j \sum_{j'=1}^n (1 - \rho_{ij})$, 式中 ρ_{ij} 为准则 i 和准则 j 之间的相关系数.

5) 确定评价准则的客观权重, 其计算公式为 $\omega_j' = \eta_j / \sum_{j=1}^n \eta_j, j = 1, 2, \dots, n$.

2.1.3 组合优化赋权

由于单一的 G1 法赋权过于主观, CRITIC 法赋权又过于依赖样本数据, 因此本文根据最小相对信息熵原理对主客观权重进行组合优化. 首先通过 G1 法和公式 CRITIC 法分别计算得到各评价准则的主客观权重(ω_i^*)和客观权重(ω_i'), 然后利用最小相对信息熵原理构建主客观组合优化赋权数学模型. 按上述构建的模型为:

$$\begin{aligned} \min &= \sum_{i=1}^n \omega_i \left[\ln \frac{\omega_i}{\omega_i^*} \right] + \sum_{i=1}^n \omega_i \left[\ln \frac{\omega_i}{\omega_i'} \right], \\ \text{s. t. } &\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \omega_i > 0. \end{aligned} \quad (9)$$

求解上述模型可得:

$$\omega_i = [\omega_i^* \times \omega_i']^{1/2} / \sum_{i=1}^n [\omega_i^* \times \omega_i']^{1/2}. \quad (10)$$

利用式(10)即可计算得到组合赋权结果.

2.2 基于概率语言的 MULTIMOORA 排序法

基于概率语言的 MULTIMOORA 排序法的排序步骤为:

1) 根据 CRITIC 客观赋权法的第 1 步获得初始决策矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$, 并利用公式($x_{ij}^* = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$)计算适用于 MULTIMOORA 方法的标准化决策矩阵 $\mathbf{X}^* = (x_{ij}^*)_{m \times n}$.

2) 利用比率系统法计算方案排序. 首先, 根据公式($y_i = \sum_{j=1}^g \omega_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n \omega_j x_{ij}^*$)计算方案 A_i 的评价值, 式中 g 表示效益型准则的数量, $n-g$ 表示成本性准则的数量. 其次, 根据公式($A_{RS}^* = \{A_i | \max_i y_i\}$)计算比率系统法下的最优方案.

3) 利用参考点法计算方案排序. 首先根据公式($r_j = \begin{cases} \max_i x_{ij}^*, j \leq g \\ \min_i x_{ij}^*, j > g \end{cases}$)确定每个准则的最优参考点,

其次根据公式($z_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \omega_j (r_j - x_{ij}^*)^2}$)确定参考点法下方案 A_i 的评价值, 最后根据公式($A_{RP}^* = \{A_i | \min_i z_i\}$)确定参考点法下的最优方案.

4) 利用全乘法计算方案排序. 首先, 根据公式($u_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}^* / \prod_{j=g+1}^n x_{ij}^*$)计算全乘法下方案 A_i 的评价值, 式中 $\prod_{j=1}^g x_{ij}^*$ 表示方案 A_i 中效益型准则值的乘积, $\prod_{j=g+1}^n x_{ij}^*$ 表示方案 A_i 中成本型准则值的乘积; 然后, 根据公式($A_{MF}^* = \{A_i | \max_i u_i\}$)确定全乘法下的最优方案.

5) 利用优势理论将比率系统法、参考点法、全乘法得到的排序结果整合为最终的排序结果, 该结果即为基于概率语言组合赋权与 MULTIMOORA 的多准则决策结果.

3 算例分析

3.1 算例计算

某仓储型物流企业拟对立体仓库进行智能化升级改造, 假设现有 4 套改造设计方案 $U_k (k=1, 2, 3, 4)$ 可供选择. 该企业首先组织决策团队确定智能仓库设计方案的评价准则(得到 7 个评价准则), 然后拟采用本文方法对备选方案进行评估排序. 智能仓库的评价准则及其内涵如表 3 所示.

表 3 智能仓库的评价准则及其内涵

准则	内涵
高效性 C_1	能提高原有的作业效率,包括空间利用率
智能化 C_2	数据方便提取、分析,可优化储位
安全性 C_3	作业的人身安全与货物、设备安全
协调性 C_4	相关作业的协调性
稳定性 C_5	程序运行稳定,硬件可缩、可扩,遇断电等数据不丢失
易监控 C_6	货物的数量、质量存储状态可查可控
设计成本 C_7	完成立体仓库智能化设计升级所需成本投入

使用本文决策方法的具体过程为:

1) 获取决策信息. 首先由决策团队讨论得到所有评价准则的序关系($C_1 > C_5 > C_7 > C_4 > C_2 > C_6 > C_3$), 然后采用概率语言对相邻评价准则进行比较(结果见表 4), 最后再由决策团队讨论得到每个方案在每个准则上的概率语言评价信息(结果见表 5).

表 4 相邻准则的重要性评价

C_1, C_5	C_5, C_7	C_7, C_4	C_4, C_2	C_2, C_6	C_6, C_3
$\{S_{1.3}(0.2), S_{1.6}(0.6)\}$	$\{S_{1.1}(0.1), S_{1.8}(0.8)\}$	$\{S_{1.3}(0.3), S_{1.8}(0.6)\}$	$\{S_1(0.4), S_{1.4}(0.5)\}$	$\{S_1(0.3), S_{1.5}(0.6)\}$	$\{S_{1.2}(0.2), S_{1.4}(0.8)\}$

表 5 决策团队给出的不同方案的概率语言评价信息

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
U_1	$\{S_2(0.8)\}$	$\{S_4(0.9)\}$	$\{S_5(0.4), S_6(0.6)\}$	$\{S_8(0.2), S_9(0.8)\}$	$\{S_7(0.7)\}$	$\{S_5(0.8)\}$	$\{S_5(0.7)\}$
U_2	$\{S_3(0.3), S_5(0.7)\}$	$\{S_5(0.2), S_6(0.8)\}$	$\{S_6(0.8)\}$	$\{S_7(0.8)\}$	$\{S_2(0.4), S_3(0.6)\}$	$\{S_8(0.2), S_9(0.7)\}$	$\{S_2(0.9)\}$
U_3	$\{S_1(0.8)\}$	$\{S_5(0.2), S_6(0.7)\}$	$\{S_7(0.9)\}$	$\{S_4(0.9)\}$	$\{S_5(0.8)\}$	$\{S_5(0.8)\}$	$\{S_5(0.8)\}$
U_4	$\{S_1(0.8)\}$	$\{S_3(0.8)\}$	$\{S_4(0.9)\}$	$\{S_5(0.7)\}$	$\{S_7(0.8)\}$	$\{S_8(0.2), S_9(0.8)\}$	$\{S_4(0.9)\}$

2) 转换概率语言评价信息. 利用公式(3)—(6) 分别将表 4 和表 5 的概率语言评价信息转换为精确值, 结果如表 6 和表 7 所示.

表 6 将表 4 中的概率语言评价转换为精确值的结果

C_1, C_5	C_5, C_7	C_7, C_4	C_4, C_2	C_2, C_6	C_6, C_3
1.444 8	1.623 2	1.472 9	1.079 9	1.172 9	1.314 4

表 7 将表 5 中各方案的概率语言评价信息转换为精确值的结果

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
U_1	2	4	5.241 4	8.565 2	7	6	5
U_2	3.747 2	5.565 2	6	7	2.241 4	8.525 3	2
U_3	1	5.525 3	7	4	5	6	5
U_4	1	3	4	5	7	8.565 2	4

3) 确定准则权重. 首先根据表 6 中的数据以及公式(7)—(8) 求出各评价准则的主观权重, 然后根据表 7 中的数据以及 2.1.2 中的公式求得各评价准则的客观权重, 最后利用公式(10) 求出融合主客观的优化权重. 上述计算结果如表 8 所示.

表 8 各准则的权重计算结果

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
主观	0.324 8	0.087 1	0.056 5	0.094 0	0.224 8	0.074 2	0.138 5
客观	0.159 4	0.149 0	0.128 9	0.156 7	0.112 3	0.184 6	0.109 1
组合	0.240 3	0.120 3	0.090 1	0.128 2	0.167 8	0.123 6	0.129 8

4) 确定排序结果. 首先利用表 7 中的评价数据和表 8 中的组合权重以及 2.2 中的公式分别求出比率系统法、参考点法、全乘法下的所有备选方案的排序结果, 然后根据优势理论将上述 3 个排序结果进行整合. 整合后得到 MULTIMOORA 排序的最终结果为 $U_2 > U_1 > U_3 > U_4$, 如表 9 所示.

表 9 不同排序方法的排序结果

	比率系统法	参考点法	全乘法	MULTIMOORA 法
U_1	2	1	2	2
U_2	1	2	1	1
U_3	3	4	3	3
U_4	4	3	4	4

3.2 对比分析

为验证本文方法的有效性和实用性, 基于本文案例数据对本文方法、AHP-MULTIMOORA 方法^[11]、熵权 TOPSIS 方法^[15]进行对比分析.

3.2.1 与 AHP-MULTIMOORA 方法的对比

AHP-MULTIMOORA 方法是一种基于单一主观赋权的多准则决策方法. 将本文 10 粒度的概率语言术语集与 AHP-MULTIMOORA 结合所构建的决策者决策矩阵如表 10 所示.

表 10 AHP 决策者决策矩阵

	C_1	C_2	C_3	...	C_7
C_1	$\{S_1(1)\}$	$\{S_{1.7}(0.8)\}$	$\{S_{1.9}(0.7)\}$	...	$\{S_{1.3}(0.3), S_{1.8}(0.6)\}$
C_2	$1/\{S_{1.7}(0.8)\}$	$\{S_1(1)\}$	$\{S_{1.2}(0.9)\}$	...	$1/\{S_{1.5}(0.7)\}$
C_3	$1/\{S_{1.9}(0.7)\}$	$1/\{S_{1.2}(0.9)\}$	$\{S_1(1)\}$	...	$1/\{S_{1.7}(0.8)\}$
C_4	$1/\{S_{1.1}(0.1), S_{1.8}(0.8)\}$	$\{S_{1.1}(0.7)\}$	$\{S_{1.3}(0.9)\}$	...	$1/\{S_{1.4}(0.9)\}$
C_5	$1/\{S_{1.3}(0.2), S_{1.6}(0.6)\}$	$\{S_{1.1}(0.1), S_{1.8}(0.8)\}$	$\{S_{1.8}(0.8)\}$	...	$\{S_{1.4}(0.7)\}$
C_6	$1/\{S_{1.8}(0.8)\}$	$1/\{S_{1.1}(0.8)\}$	$\{S_1(0.4), S_{1.4}(0.5)\}$	...	$1/\{S_{1.1}(0.1), S_{1.8}(0.8)\}$
C_7	$1/\{S_{1.3}(0.3), S_{1.8}(0.6)\}$	$\{S_{1.5}(0.7)\}$	$\{S_{1.7}(0.8)\}$	...	$\{S_1(1)\}$

AHP-MULTIMOORA 方法的具体计算过程为: 首先采用公式(3)–(6) 将表 10 转化为精确值决策矩阵(见表 11), 然后将该决策矩阵输入到 Matlab 程序中以计算 AHP 法下各评价准则的权重值. 经计算, 各权重值分别为: $\omega_1=0.2121$, $\omega_2=0.1151$, $\omega_3=0.0992$, $\omega_4=0.1245$, $\omega_5=0.1832$, $\omega_6=0.1062$, $\omega_7=0.1598$. 该结果与本文采用 G1 法求得的结果一致. 最后, 根据表 7 和 2.2 中的公式得 AHP-MULTIMOORA 方法的各方案最终排序结果与本文方法一致, 即均为 $U_2 > U_1 > U_3 > U_4$. 上述结果表明, 本文方法是有效的.

由表 10 和表 4 可知, AHP-MULTIMOORA 方法对各准则一共进行了 49 次比较, 而本文方法只进行了 6 次比较, 这说明本文决策方法具有更高的决策效率. 此外, 由于本文方法对客观权重进行了考量, 因此本文方法还能够避免单一主观赋权法的主观绝对性.

表 11 将 AHP 决策矩阵中的概率语言转化为精确值的结果

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	1	1.7	1.9	1.623 2	1.444 8	1.8	1.472 9
C_2	1/1.7	1	1.2	1/1.1	1/1.623 2	1.1	1/1.5
C_3	1/1.9	1/1.2	1	1/1.3	1/1.8	1/1.079 9	1/1.7
C_4	1/1.623 2	1.1	1.3	1	1/1.5	1.2	1/1.4
C_5	1/1.444 8	1.623 2	1.8	1.5	1	1.7	1.4
C_6	1/1.8	1/1.1	1.079 9	1/1.2	1/1.7	1	1/1.623 2
C_7	1/1.472 9	1.5	1.7	1.4	1/1.4	1.623 2	1

3.2.2 与熵权 TOPSIS 方法的对比

熵权 TOPSIS 方法是一种经典的基于单一客观赋权法的多准则决策方法. 本文参考文献[15] 的方法计算本案例, 步骤如下:

1) 采用公式($\mathbf{X}=(x_{ij})_{m \times n}$, $x_{ij}^* = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$) 对表 7 数据进行标准化, 由此得到的标准化决策矩阵如表 12 所示.

表 12 标准化决策矩阵

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
U_1	0.364 0	0.389 8	0.413 8	1.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0
U_2	1.000 0	1.000 0	0.666 7	0.657 1	0.000 0	0.984 4	1.000 0
U_3	0.000 0	0.984 4	1.000 0	0.000 0	0.579 7	0.000 0	0.000 0
U_4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.219 0	1.000 0	1.000 0	0.333 3

2) 采用熵权法计算各评价准则的权重, 得 $\omega_1 = 0.213 2$, $\omega_2 = 0.095 3$, $\omega_3 = 0.092 1$, $\omega_4 = 0.114 5$, $\omega_5 = 0.083 6$, $\omega_6 = 0.183 3$, $\omega_7 = 0.217 9$. 根据该计算结果及表 12 中的数据即可得加权标准化决策矩阵, 如表 13 所示.

表 13 加权标准化决策矩阵

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
U_1	0.077 6	0.037 1	0.038 1	0.114 5	0.083 6	0.000 0	0.000 0
U_2	0.213 2	0.095 3	0.061 4	0.075 2	0.000 0	0.180 4	0.217 9
U_3	0.000 0	0.093 8	0.092 1	0.000 0	0.048 5	0.000 0	0.000 0
U_4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.025 1	0.083 6	0.183 3	0.072 6

3) 根据表 13 中的数据和 TOPSIS 法计算设计方案 U_1 — U_4 到正理想解的相对贴近度, 得各方案的相对贴近度分别为: 0.533 8、0.565 6、0.458 8、0.474 7. 根据贴近度规则(越接近 1 方案越优) 可得熵权 TOPSIS 法计算的方案排序为: $U_2 > U_1 > U_4 > U_3$, 该结果与本文方法在 U_3 和 U_4 的排序上存在差异(本文为 $U_2 > U_1 > U_3 > U_4$). 在表 9 中, 根据占优理论得 MULTIMOORA 的最终排序结果为 $U_3 > U_4$. 由表 12 可知, 方案 U_3 比方案 U_4 在智能化、安全性、设计成本等 3 个准则上更具有优势; 因此, 本文方法比熵权 TOPSIS 法更加合理.

4 结束语

本文基于概率语言提出了一种改进的 MULTIMOORA 多准则决策方法, 经实验对比表明: 该方法比 AHP-MULTIMOORA 法具有更高的决策效率, 且避免决策结果过于主观; 比熵权 TOPSIS 法在赋

权问题上更为灵活,且排序结果具有更好的鲁棒性.因此该方法对于解决多准则决策过程中的赋权问题和方案排序问题具有较好的实际应用价值.在今后的研究中,我们将对多准则群决策问题或多准则匹配决策问题进行探讨.

参考文献:

- [1] BRAUERS W K M, ZAVADSKAS E K. Project management by multimoora as an instrument for transition economies[J]. Technological and Economic Development of Economy, 2010,16(1):5-24.
- [2] RANI P, MISHRA A R, KRISHANKUMAR R, et al. Multi-criteria food waste treatment method selection using single-valued neutrosophic-CRITIC-MULTIMOORA framework[J]. Applied Soft Computing Journal, 2021,111: 107657. DOI:10.1016/J. ASOC. 2021. 107657.
- [3] 左静,帅斌,黄文成.改进距离熵权 MULTIMOORA 的铁路应急救援方案搜索[J]. 吉林大学学报(工学版),2017,47(4):1068-1074.
- [4] 郭利霞,王明华,田园,等.基于改进 MULTIMOORA 的内养护高强混凝土性能评价[J]. 人民长江,2020,51(11): 167-172.
- [5] HAFEZALKOTOB A, HAFEZALKOTOB A. Fuzzy entropy-weighted MULTIMOORA method for materials selection[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2016,31(3):1211-1226.
- [6] ZHANG C H, CHEN C, STREIMIKIENE D, et al. Intuitionistic fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria assessment of the energy storage technologies[J]. Applied Soft Computing Journal, 2019,79:410-423.
- [7] 周文财,魏朗,邱兆文,等.模糊环境下汽车故障模式风险水平综合评价方法[J]. 机械科学与技术,2021,40(12): 1952-1960.
- [8] LIANG D C, ADJEI P D, XU Z S, et al. Aggregation of dual hesitant fuzzy heterogenous related information with extended Bonferroni mean and its application to MULTIMOORA[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 135:156-176.
- [9] PANG Q, WANG H, XU Z S. Probabilistic linguistic term sets in multi-attribute group decision making[J]. Information Sciences, 2016,369:128-143.
- [10] BAIDYA J, GARG H, SAHA A, et al. Selection of third party reverses logistic providers: an approach of BCF-CRITIC-MULTIMOORA using Archimedean power aggregation operators[J]. Complex & Intelligent Systems, 2021,7:2503-2530.
- [11] FATTAHI R, KHALILZADEH M. Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment[J]. Safety Science, 2018,102:290-300.
- [12] 翟强,顾伟红,赵映璿.基于未确知测度理论的隧道施工瓦斯灾害风险评价[J]. 铁道科学与工程学报,2021,18(3):803-812.
- [13] LIAO H C, JIANG L S, XU Z S, et al. A linear programming method for multiple criteria decision making with probabilistic linguistic information[J]. Information Sciences, 2017,415/416:341-355.
- [14] 耿秀丽,潘亚虹.考虑用户体验的产品服务系统模块重要度判定方法[J]. 计算机集成制造系统,2020,26(5):1295-1303.
- [15] 祝思佳,邱苑华.基于熵权 TOPSIS 的航空转包生产供应商风险评估[J]. 系统工程,2020,38(1):154-158.