

基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法

王坚强, 吴佳亭

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 犹豫模糊语言集是语言集和犹豫模糊集的扩展, 受传统 Electre 方法的启发, 构建基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法. 首先, 给出犹豫模糊语言数的 Hausdorff 距离公式; 然后, 基于每一准则下方案评价的对比, 建立犹豫模糊语言数的优序关系, 并在此基础上, 提出一种基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法; 最后, 通过算例表明了所提出方法的有效性和可行性.

关键词: 多准则决策; 犹豫模糊语言集; Electre 方法; 优序关系

中图分类号: C934

文献标志码: A

Method for multi-criteria decision-making with hesitant fuzzy linguistic based on outranking relation

WANG Jian-qiang, WU Jia-ting

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China. Correspondent: WANG Jian-qiang, E-mail: jqwangcsu@126.com)

Abstract: Hesitant fuzzy linguistic sets is an extension of both linguistic term sets and hesitant fuzzy sets. Motivated by the idea of traditional Electre methods, an Electre method for hesitant fuzzy linguistic information is introduced. Firstly, the Hausdorff distance of hesitant fuzzy linguistic numbers are proposed. Then, the outranking relation for hesitant fuzzy linguistic numbers under each criterion is developed, based on which, a method for hesitant fuzzy linguistic multi-criteria decision-making based on the outranking relation is proposed. Finally, a numerical example is given to illustrate the effectiveness and feasibility of the proposed method.

Keywords: multi-criteria decision-making; hesitant fuzzy linguistic sets; Electre method; outranking relation

0 引言

多准则决策方法已广泛应用于许多领域, 在经典的多准则决策方法中, 方案的评价都是完全确定的^[1-2]. 然而, 由于客观世界的复杂性和人类思维的模糊性, 决策者要想对方案做出精确的数值评价较为困难, 利用语言评价代替数值评价是一种更加现实的方法^[3]. 近年来, 基于语言的多准则决策方法已受到广泛关注^[4-5], 人们在事物进行决策时, 常常在多个决策信息之间犹豫, 同时决策者之间不愿相互妥协, 使得最终决策结果难以达成一致. 鉴于此, Torra^[6]提出了模糊集的另一种广义形式, 即犹豫模糊集, 犹豫模糊集的隶属度是几个可能值的集合, 更能表现出决策的实际情境.

Outranking 方法是广泛使用的一类多准则决策

方法^[7]. 这类方法在每一准则下, 对所有方案进行两两对比, 进而决定出更优方案. Outranking 方法准许偏好之间存在不可比性和非传递性^[8], 而且可以使用不完整的评价信息. 事实上, Outranking 方法一个最重要的优点是, 无需将数据进行转换, 从而保留了原始评价信息^[9]. 另外, 在构建不完整知识体系时可以将阈值考虑在内^[10]. Electre 方法^[11]作为 Outranking 方法的典型代表, 有了不少改进, 并凭借其良好的实际应用能力, 广泛且成功地应用于许多领域^[12-16]. 文献[15]运用 Electre 方法中优序关系的概念, 结合正负理想点的思想, 提出了一种新的 Electre 多准则决策方法.

语言变量的使用通常存在一个隐含的假设, 即假设一个元素隶属于某一语言术语的程度为1. 例如, 某

收稿日期: 2014-02-20; 修回日期: 2014-09-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71271218); 湖南省自然科学基金项目(14JJ2009).

作者简介: 王坚强(1963—), 男, 教授, 博士, 从事决策理论与应用、风险管理与控制、物流管理等研究; 吴佳亭(1990—), 女, 硕士生, 从事决策理论与应用、信息管理的研究.

品牌汽车的性能评价为“很好”，不能推测出不同决策者给出评价“很好”的具体犹豫隶属程度分别是多少。为了解决这一问题，文献[17]结合语言评价价值和犹豫模糊集各自的优点定义了犹豫模糊语言集。犹豫模糊语言集中的一个元素(犹豫模糊语言数)包含一个语言术语^[18]和一个犹豫模糊元素^[6]，前者描述某一准则下的评价价值，后者描述给出这个评价的自信程度。文献[17]首先定义了犹豫模糊语言数的运算，进而运用加权算子进行集成，并对备选方案进行排序。然而，加权算子是建立在准则间完全可补偿假设条件上的，因此该方法具有一定的局限性。在一些实际应用中，某些准则评价价值的减少不能通过其他准则评价价值的增加得到补偿，例如，如果某自行车的安全性能很差，则无论其价格有多么优惠都不能完全弥补前者的不足。Electre方法建立了元素之间的二元优序关系，具有非完全补偿性，可以避免完全补偿性产生的缺陷。

为了克服上述缺点，本文定义了犹豫模糊语言数的距离和优序关系，并在此基础上以文献[15]中的方法为理论依据，提出一种基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法。该方法将决策者的偏好考虑进去，添加了非完全可补偿性假设，从而使得决策结果更具真实性和可靠性。

1 犹豫模糊语言集及其距离测度

1.1 语言术语集

定义 1^[18] 设 $S = \{S_i | i = 0, 1, \dots, 2t\}$ 是由奇数个语言术语组成的集合，若满足以下特征：1) 有序性， $s_i > s_j, i > j$ ；2) 逆运算， $s_i = \text{neg}(s_j), i + j = 2t$ 。则称为语言术语集，其中术语的个数 $2t + 1$ 称为该语言术语集的粒度。

通常情况下，语言术语集的中点(s_t)是一个中性评价价值，其他评价价值以该点为中心，分别向两端(“好”与“差”两个方向)对称扩展。因此，语言术语集中的元素个数通常为奇数个。

为了保留所有已知信息，避免语言信息运算过程中信息损失，徐泽水^[19]将离散的语言术语集 S 拓展到连续的语言术语集 $\tilde{S} = \{s_i | i \in [0, 1]\}$ ($l > 2t$)。当 $s_i \in S$ 时，称为原始术语，否则，称为虚拟术语。通常，决策者用原始术语表达偏好，虚拟术语仅出现在运算过程中。

1.2 犹豫模糊集

定义 2^[6] 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为给定的对象集，则 X 上的一个犹豫模糊集 H 可以表示为

$$H = \{\langle x, h(x) \rangle | x \in X\},$$

其中 $h(x)$ 为 $[0, 1]$ 上的一个非空有限子集，称为犹豫模糊元素^[20]，表示 x 隶属于 H 的可能程度。当 X 中仅

含有一个元素 x_i 时，犹豫模糊集 H 退化为一个犹豫模糊元素 $h(x_i)$ ，即犹豫模糊元素属于犹豫模糊集，且是犹豫模糊集的一种特殊形式。另外，当 $h(x_i)$ 中仅含有一个隶属度时， $h(x_i)$ 退化为模糊数。

定义 3^[20] 对于犹豫模糊元素 h ，设 $\|h\|$ 代表犹豫模糊元素 h 中隶属度的个数， $e(h) = \frac{1}{\|h\|} \sum_{\gamma \in h} \gamma$ 表示 h 的得分函数。对于任意两个犹豫模糊数 h_1 和 h_2 ，如果 $e(h_1) > e(h_2)$ ，则 $h_1 > h_2$ ；如果 $e(h_1) = e(h_2)$ ，则 $h_1 = h_2$ 。

1.3 犹豫模糊语言集

犹豫模糊语言集结合了语言集与犹豫模糊集两者的优点。与语言集相比，犹豫模糊语言集可以表达出某一语言评价价值的可能隶属度；与犹豫模糊集相比，犹豫模糊语言集可以使得给出的犹豫隶属度指向某一具体的语言评价价值。因此，犹豫模糊语言集包含的评价信息更加全面。

定义 4^[17] 设 X 为对象集，且 $s_{\theta(x)} \in S$ ，则 X 上的一个犹豫模糊语言集 A 可以表示为

$$A = \{\langle x, s_{\theta(x)}, h(x) \rangle | x \in X\}.$$

其中： $s_{\theta(x)}$ 为一个语言术语，表示元素 x 的语言评价价值； $\theta(x)$ 为该语言评价价值对应的脚标值； $h(x)$ 为 $[0, 1]$ 上的一个非空有限子集，描述语言评价价值的自信程度。

当 X 中仅含有一个元素时，犹豫模糊语言集 A 退化为 $\langle s_{\theta(x)}, h(x) \rangle$ 。为计算方便，称 $\alpha = \langle s_{\theta(\alpha)}, h(\alpha) \rangle$ 为一个犹豫模糊语言数。

例 1 设 $X = \{x_1, x_2\}$ 为给定的对象集，如果一个犹豫模糊语言集

$$A = \{\langle x_1, s_1, \{0.5, 0.6\} \rangle, \langle x_2, s_5, \{0.7, 0.9\} \rangle\},$$

则 0.5 和 0.6 表示 x_1 属于 s_1 的可能隶属度，0.7 和 0.9 表示 x_2 属于 s_5 的可能隶属度。

距离是决策方法中的重要工具，Hausdorff 距离用来测量两个集合之间的距离。下面给出犹豫模糊语言数的 Hausdorff 距离公式及其相关性质。

定义 5 设 $S = \{s_i | i = 0, 1, \dots, 2t\}$ 为给定的语言术语集， $A = \langle s_A, h_A \rangle$ 和 $B = \langle s_B, h_B \rangle$ 是两个犹豫模糊语言数，则 A 与 B 之间的 Hausdorff 距离定义为

$$D(A, B) = \max\{D^*(A, B), D^*(B, A)\}.$$

其中

$$D^*(A, B) = \max_{a_i \in h_A} \min_{b_j \in h_B} \left| a_i \frac{I(s_A)}{2t} - b_j \frac{I(s_B)}{2t} \right|$$

为 A 到 B 的 Hausdorff 距离， $I(s_{\theta(x)}) = \theta(x)$ 为语言脚标函数。

性质 1 犹豫模糊语言数 A 与 B 间的 Hausdorff 距离满足以下条件：

- 1) $0 \leq D(A, B) \leq 1$;
- 2) $D(A, B) = 0$;
- 3) $D(A, B) = D(B, A)$.

2 犹豫模糊语言的优序关系

定义6 设 $a = \langle s_a, h_a \rangle$ 和 $b = \langle s_b, h_b \rangle$ 为任意两个犹豫模糊语言数, 定义以下4种二元关系:

- 1) 强占优, 如果 $s_a < s_b$ 且 $\delta < e(h_a) - e(h_b)$, 则称 b 强占优 a (a 被 b 强占优), 记为 $b >_s a$ 或者 $a <_s b$;
- 2) 弱占优, 如果 $s_a < s_b$ 且 $0 < e(h_a) - e(h_b) \leq \delta$ (δ 为否决阈值), 或者 $s_a = s_b$ 且 $e(h_a) < e(h_b)$, 则称 b 弱占优 a (a 被 b 弱占优), 记为 $b >_w a$ 或者 $a <_w b$;
- 3) 无差异, 如果 $s_a = s_b$ 且 $e(h_a) = e(h_b)$, 则称 b 与 a 无差异, 记为 $b \sim a$;
- 4) 不可比, 如果 $s_a < s_b$ 且 $e(h_a) - e(h_b) > \delta$ (δ 为否决阈值), 则称 a 与 b 不可比, 记为 $b \vdash a$.

例2 已知犹豫模糊语言数 $a = \langle s_1, \{0.3, 0.5\} \rangle$, $b = \langle s_5, \{0.3, 0.5, 0.7\} \rangle$ 和 $c = \langle s_1, \{0.6, 0.8\} \rangle$, $\delta = 0.5$, 则由定义6可得 $b >_s a$, $c >_w a$, $b >_w c$.

性质2 设 a 、 b 和 c 是3个犹豫模糊语言数, 则强占优关系具有的性质如下:

- 1) 非自反性, 任意的犹豫模糊语言数 a , $a \not>_s a$, $\not>_s$ 表示非强占优;
- 2) 非对称性, 任意的犹豫模糊语言数 a 和 b , $a >_s b \not\Rightarrow b >_s a$;
- 3) 传递性, 任意的犹豫模糊语言数 a 、 b 和 c , $a >_s b$, $b >_s c \Rightarrow a >_s c$.

弱占优关系具有的性质如下:

- 1) 非自反性, 任意的犹豫模糊语言数 a , $a \not>_w a$, $\not>_w$ 表示非弱占优;
- 2) 非对称性, 任意的犹豫模糊语言数 a 和 b , $a >_w b \not\Rightarrow b >_w a$;
- 3) 非传递性, 存在犹豫模糊语言数 a 、 b 和 c , $a >_w b$, $b >_w c \not\Rightarrow a >_w c$.

无差异关系具有的性质如下:

- 1) 自反性, 任意的犹豫模糊语言数 a , $a \sim a$;
- 2) 对称性, 任意的犹豫模糊语言数 a 和 b , $a \sim b \Rightarrow b \sim a$;
- 3) 传递性, 任意的犹豫模糊语言数 a 、 b 和 c , $a \sim b$, $b \sim c \Rightarrow a \sim c$.

不可比关系具有的性质如下:

- 1) 非自反性, 任意的犹豫模糊语言数 a , $a \not\vdash a$, $\not\vdash$ 表示不具有不可比关系;
- 2) 对称性, 任意的犹豫模糊语言数 a 和 b , $a \vdash b \Rightarrow b \vdash a$;

- 3) 非传递性, 存在犹豫模糊语言数 a 、 b 和 c , $a \vdash b$, $b \vdash c \not\Rightarrow a \vdash c$.

3 基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法

设某一多准则决策问题的方案集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 准则集 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, 准则间相互独立, a_{ij} 为方案 a_i 在准则 z_j 下的评价值, 用犹豫模糊语言数表示, 即 $a_{ij} = \langle s_{\theta_{ij}}, h_{a_{ij}} \rangle$, 准则权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, 且完全确定, 试对方案进行排序.

定义7 设所有准则的脚标集合为 $J = \{j | j = 1, 2, \dots, n\}$, 根据方案 a_i 和 a_j 的关系, 定义以下集合:

- 1) 满足条件 $a_{ij} >_s a_{kj}$ 的所有准则脚标的集合 $C_S(a_i, a_k) = \{j | 1 \leq j \leq n, a_{ij} >_s a_{kj}\}$;
- 2) 满足条件 $a_{ij} >_w a_{kj}$ 的所有准则脚标的集合 $C_W(a_i, a_k) = \{j | 1 \leq j \leq n, a_{ij} >_w a_{kj}\}$;
- 3) 满足条件 $a_{ij} <_s a_{kj}$ 的所有准则脚标的集合 $D_S(a_i, a_k) = \{j | 1 \leq j \leq n, a_{ij} <_s a_{kj}\}$;
- 4) 满足条件 $a_{ij} <_w a_{kj}$ 的所有准则脚标的集合 $D_W(a_i, a_k) = \{j | 1 \leq j \leq n, a_{ij} <_w a_{kj}\}$.

方案 a_i 与 a_k 之间的一致性指数 c_{ik} 定义为

$$c_{ik} = \omega_{CS} \sum_{j \in C_S(a_i, a_k)} w_j + \omega_{CW} \sum_{j \in C_W(a_i, a_k)} w_j,$$

非一致性指数 d_{ik} 定义为

$$d_{ik} = \frac{\max_{j \in D_S(a_i, a_k) \cup D_W(a_i, a_k)} \omega_D^* D(a_{kj}, a_{ij})}{\max_{j \in J} D(a_{kj}, a_{ij})}.$$

其中: ω_{CS} 和 ω_{CW} 分别为强占优和弱占优的权重值, ω_D^* 等于 ω_{DS} 或者 ω_{DW} (具体取值取决于非一致集合的类型), w_j 为准则 e_j 的权重值. 一致性矩阵 C 和非一致性矩阵 D 分别定义为

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1(m-1)} & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & \cdots & c_{2(m-1)} & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_{(m-1)1} & c_{(m-1)2} & c_{(m-1)3} & \cdots & - & c_{(m-1)m} \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdots & c_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \cdots & d_{2(m-1)} & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \ddots & \vdots & \vdots \\ d_{(m-1)1} & d_{(m-1)2} & d_{(m-1)3} & \cdots & - & d_{(m-1)m} \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \cdots & d_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}.$$

其中: c_{ik} 越大, 表示方案 a_i 优于 a_k 的程度越大, c_{ik} 的最大值记为 c^* ; d_{ik} 越大, 表示方案 a_i 劣于 a_k 的程度

越大, d_{ik} 的最大值记为 d^* . 一致性占优矩阵和非一致性占优矩阵分别定义为

$$G = \begin{bmatrix} - & g_{12} & g_{13} & \cdots & g_{1(m-1)} & g_{1m} \\ g_{21} & - & g_{23} & \cdots & g_{2(m-1)} & g_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \ddots & \vdots & \vdots \\ g_{(m-1)1} & g_{(m-1)2} & g_{(m-1)3} & \cdots & - & g_{(m-1)m} \\ g_{m1} & g_{m2} & g_{m3} & \cdots & g_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

$$L = \begin{bmatrix} - & l_{12} & l_{13} & \cdots & l_{1(m-1)} & l_{1m} \\ l_{21} & - & l_{23} & \cdots & l_{2(m-1)} & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \ddots & \vdots & \vdots \\ l_{(m-1)1} & l_{(m-1)2} & l_{(m-1)3} & \cdots & - & l_{(m-1)m} \\ l_{m1} & l_{m2} & l_{m3} & \cdots & l_{m(m-1)} & - \end{bmatrix}.$$

其中: $g_{ik} = c^* - c_{ik}$, g_{ik} 越大, 表示方案 a_i 优于 a_k 的程度越小; $l_{ik} = d^* - d_{ik}$, l_{ik} 越大, 表示方案 a_i 优于 a_k 的程度越大. 由一致性占优矩阵和非一致性占优矩阵可以推导出总占优矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} - & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1(m-1)} & r_{1m} \\ r_{21} & - & r_{23} & \cdots & r_{2(m-1)} & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & - & \ddots & \vdots & \vdots \\ r_{(m-1)1} & r_{(m-1)2} & r_{(m-1)3} & \cdots & - & r_{(m-1)m} \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \cdots & r_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

其中 $r_{ik} = \frac{l_{ik}}{g_{ik} + l_{ik}} \in [0, 1]$, r_{ik} 越大, 表示方案 a_i 优于方案 a_k 的程度越大.

定义 8 在选择最优方案过程中, 定义最终评价

$$\bar{T}_i = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1, k \neq i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

如果 $\bar{T}_i > \bar{T}_k$, 则表明方案 a_i 优于方案 a_k .

由以上的定义和分析可得到, 基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法具体决策步骤如下.

Step 1: 建立犹豫模糊语言决策矩阵

$$A = (a_{ij})_{m \times n}.$$

Step 2: 在每一准则 $z_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 下, 根据定义 6 评价出每一对方案 a_i 和 a_k 的优序关系, 并求出定义 7 中的 4 种相应脚标集.

Step 3: 计算一致性指数 $c_{ij} (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m)$ 和非一致性指数 $d_{ij} (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, m)$, 构建一致性矩阵 $C = (c_{ij})_{m \times n}$ 和非一致性矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$.

Step 4: 计算总决策矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 并求出每一方案的最终评价 $\bar{T}_i (i = 1, 2, \dots, m)$.

Step 5: 根据 $\bar{T}_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的值和定义 8, 对所有方案进行排序.

4 算例分析

为了表明所提出方法的有效性, 给出具体实例进行验证.

某零部件制造公司选择供应商, 有 3 个供应商 a_1, a_2, a_3 可供选择, 选取 4 个准则: 供应能力 (z_1)、交货能力 (z_2)、服务质量 (z_3) 和科研能力 (z_4). 每个供应商在各个准则下的取值用犹豫模糊语言数表示, 如表 1 所示. 准则权重向量

$$W = (0.3, 0.2, 0.4, 0.1),$$

设语言术语集

$$S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} = \{\text{非常差, 很差, 差, 一般, 好, 很好, 非常好}\}.$$

试对供应商排序并选择最优供应商.

Step 1: 建立犹豫模糊语言决策矩阵

$$A = \begin{bmatrix} \langle s_4, \{0.6, 0.7, 0.8\} \rangle & \langle s_5, \{0.5, 0.6\} \rangle \\ \langle s_2, \{0.6, 0.8\} \rangle & \langle s_3, \{0.2, 0.3, 0.5\} \rangle \\ \langle s_6, \{0.4, 0.5, 0.7\} \rangle & \langle s_3, \{0.5, 0.8\} \rangle \\ \langle s_2, \{0.4, 0.6, 0.7\} \rangle & \langle s_3, \{0.4, 0.5\} \rangle \\ \langle s_3, \{0.4, 0.6\} \rangle & \langle s_4, \{0.5, 0.7\} \rangle \\ \langle s_5, \{0.6, 0.7, 0.9\} \rangle & \langle s_2, \{0.5, 0.6\} \rangle \end{bmatrix},$$

$$W = (0.3, 0.2, 0.4, 0.1).$$

Step 2: 在每一准则下, 评价每一对供应商的优序关系, 并求出相应脚标集

$$\begin{aligned} C_S(a_1, a_2) &= \{1, 2\}, C_W(a_1, a_2) = \emptyset, \\ D_S(a_1, a_2) &= \{4\}, D_W(a_1, a_2) = \{3\}, \\ C_S(a_1, a_3) &= \emptyset, C_W(a_1, a_3) = \{4\}, \\ D_S(a_1, a_3) &= \{2, 3\}, D_W(a_1, a_3) = \{1\}, \\ C_S(a_2, a_3) &= \{4\}, C_W(a_2, a_3) = \emptyset, \\ D_S(a_2, a_3) &= \{3\}, D_W(a_2, a_3) = \{1, 2\}. \end{aligned}$$

表 1 每个供应商在各个准则下的取值

	z_1	z_2	z_3	z_4
a_1	$\langle s_4, \{0.6, 0.7, 0.8\} \rangle$	$\langle s_5, \{0.5, 0.6\} \rangle$	$\langle s_2, \{0.4, 0.6, 0.7\} \rangle$	$\langle s_3, \{0.4, 0.5\} \rangle$
a_2	$\langle s_2, \{0.6, 0.8\} \rangle$	$\langle s_3, \{0.2, 0.3, 0.5\} \rangle$	$\langle s_3, \{0.4, 0.6\} \rangle$	$\langle s_4, \{0.5, 0.7\} \rangle$
a_3	$\langle s_6, \{0.4, 0.5, 0.7\} \rangle$	$\langle s_3, \{0.5, 0.8\} \rangle$	$\langle s_5, \{0.6, 0.7, 0.9\} \rangle$	$\langle s_2, \{0.5, 0.6\} \rangle$

Step 3: 取

$$\omega_{CS} = \omega_{DS} = \frac{2}{3}, \omega_{CW} = \omega_{DW} = \frac{1}{3},$$

求得一致性矩阵和非一致性矩阵分别为

$$C = \begin{bmatrix} - & 0.333 & 0.067 \\ 0.2 & - & 0.067 \\ 0.5 & 0.433 & - \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} - & 0.456 & 0.667 \\ 0.667 & - & 0.667 \\ 0.032 & 0.395 & - \end{bmatrix}.$$

Step 4: 计算总决策矩阵, 并求出每一供应商的最终评价价值

$$R = \begin{bmatrix} - & 0.558 & 0 \\ 0 & - & 0 \\ 1 & 0.803 & - \end{bmatrix},$$

$$\bar{T}_1 = 0.279, \bar{T}_2 = 0, \bar{T}_3 = 0.901.$$

Step 5: 根据总评价价值和定义 8, 对供应商排序得到 $a_3 \succ a_1 \succ a_2$, 即 a_3 是最佳供应商.

5 结 论

本文定义了犹豫模糊语言数的 Hausdorff 距离公式和优序关系. 在此基础上, 提出了一种基于优序关系的犹豫模糊语言多准则决策方法. 该方法的主要优势有: 1) 避免了不同运算法则会产生不同运算结果的缺陷; 2) Electre 方法添加非完全补偿性假设, 结果更具可靠性.

参考文献(References)

- [1] Dyer J S, Fishburn P C, Steuer R E, et al. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: The next ten years[J]. *Management Science*, 1992, 38(5): 645-654.
- [2] Stewart T J. A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice[J]. *Omega*, 1992, 20(5/6): 569-586.
- [3] Zadeh L. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I[J]. *Information Science*, 1975, 8(3): 199-249.
- [4] Carrasco R A, Villar P, Hornos M J. A linguistic multi-criteria decision making model applied to hotel service quality evaluation from web data sources[J]. *Int J of Intelligent Systems*, 2012, 27(7): 704-731.
- [5] Rodríguez R M, Martínez L, Herrera F. A multi-criteria linguistic decision making model dealing with comparative terms[M]. Berlin: Springer Heidelberg, 2012: 229-241.
- [6] Torra V. Hesitant fuzzy sets[J]. *Int J of Intelligent Systems*, 2010, 25(6): 529-539.
- [7] Zopounidis C, Doumpos M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review[J]. *European J of Operational Research*, 2002, 138(2): 229-246.
- [8] Roy B. The outranking approach and the foundations of Electre methods[J]. *Theory and Decision*, 1991, 31(1): 49-73.
- [9] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. Rough sets theory for multicriteria decision analysis[J]. *European J of Operational Research*, 2001, 129(1): 1-47.
- [10] Hatami-Marbini A, Tavana M. An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment[J]. *Omega*, 2011, 39(4): 373-386.
- [11] Bojković N, Anić I, Pejčić-Tarle S. One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified Electre method[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(5): 1176-1186.
- [12] Hartati S, Wardoyo R, Harjoko A. Electre methods in solving group decision support system bioinformatics on gene mutation detection simulation[J]. *Int J of Computer Science & Information Technology*, 2011, 3(1): 40-52.
- [13] Cavallaro F. A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the Electre III method[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 463-474.
- [14] Kaya T, Kahraman C. An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment[J]. *Expert Systems Applications*, 2011, 38(7): 8553-8562.
- [15] Wu M C, Chen T Y. The Electre multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets[J]. *Expert Systems Applications*, 2011, 38(10): 12318-12327.
- [16] Devi K, Yadav S P. A multicriteria intuitionistic fuzzy group decision making for plant location selection with Electre method [J]. *The Int J of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 66(9/10/11/12): 1219-1229.
- [17] Lin R, Zhao X F, Wei G W. Models for selecting an ERP system with hesitant fuzzy linguistic information[J]. *J of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, 26(5): 2155-2165.
- [18] Delgado M, Verdegay J L, Vila M A. Linguistic decision making models[J]. *Int J of Intelligent Systems*, 1992, 7(5): 479-492.
- [19] Xu Z S. A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations[J]. *Information Sciences*, 2004, 166(1/2/3/4): 19-30.
- [20] Xia M M, Xu Z S. Hesitant fuzzy information aggregation in decision making[J]. *Int J of Approximate Reasoning*, 2011, 52(3): 395-407.

(责任编辑: 郑晓蕾)