

基于二元语义一致性的混合多属性灰关联决策

郭欢¹, 肖新平¹, Jeffrey Forrest², 刘勇³

(1. 武汉理工大学理学院, 武汉 430063; 2. 宾州州立SR大学数学系,
PA 16057; 3. 南京航空航天大学经济与管理学院, 南京 211106)

摘要: 为了解决指标权重未知的混合型多属性决策问题, 提出基于二元语义一致性的灰关联决策方法. 首先, 针对异质决策信息问题, 提出了使所有决策信息转化为二元语义变量的一致化方法; 然后根据离差最大化原理, 客观确定属性的指标权重, 利用灰关联分析对决策方案进行排序; 最后以某供应链中供应商的绩效评估作为算例, 用所提出方法对混合型多属性决策问题进行求解, 结果表明该方法易于操作且可为决策者提供丰富的决策信息.

关键词: 混合多属性决策; 二元语义; 离差最大化; 灰关联分析

中图分类号: N94

文献标志码: A

Method of grey relational analysis based on two-tuple linguistic consistency for hybrid multi-attribute decision-making

GUO Huan¹, XIAO Xin-ping¹, Jeffrey Forrest², LIU Yong³

(1. School of Science, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 2. Mathematics Department, Slippery Rock University of Pennsylvania, PA 16057, USA; 3. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China. Correspondent: GUO Huan, E-mail: guohuan.2007@163.com)

Abstract: To deal with the hybrid multi-attribute decision-making problem with attribute weight information unknown, a grey relation analysis method based on two-tuple linguistic consistency is proposed. Firstly, aiming at the problem of heterogeneous decision information, a unifier method is proposed to switch all the decision information to 2-tuple linguistic information. Then, according to the maximizing deviation, the index weight can be objectively determined, and the optimal alternative is determined by calculating the linguistic degree of grey relation of every alternative and ideal solution. Finally, a numerical example of the performance evaluation of the suppliers in one supply chains is given to carry on the confirmation to the practicable method which can provide more valuable information on decision-making.

Key words: hybrid multi-attribute decision-making; two-tuple linguistic; maximizing deviation; grey relational analysis

0 引言

多属性决策问题在社会、工程、管理等领域普遍存在, 已有很多研究成果用于解决确定型属性值的多属性决策问题^[1-3], 也有一些学者对不确定型多属性决策问题进行了研究. 文献[4-7]针对属性值为区间数的多属性决策问题寻找方法; 文献[8-10]对二元语义型属性值的多属性决策问题进行了研究. 然而, 在实际问题中, 属性值为混合型的多属性决策是大量存在的, 如在供应商的综合绩效评估中^[11], 有必要全面考虑供应商在供应链中供应行为的多个指标. 其中一

些指标值为实数型, 能够精确度量, 如质量控制能力即产品的合格率; 有些为区间型, 指标值在一定范围内波动, 如更改订单后送货需要的反应时间; 还有些指标更适合用定性的语言来描述, 如原料质量控制能力和产品售后服务水平等. 这对决策方法提出了更高的要求, 需要能整合不同形态和语义的度量信息.

目前, 也有学者对属性值为混合型的决策问题进行了有益探索, 但不完善. 文献[12]将确定数、区间数各类型数据间的距离统一转化成实数, 可以解决混合型属性值的决策问题, 然而在计算各方案不同类型

收稿日期: 2013-01-28; 修回日期: 2013-04-29.

基金项目: 教育部高等学校博士学科专项科研基金项目(20120143110001); 武汉理工大学国际交流预研项目(2012-JL-06).

作者简介: 郭欢(1984—), 女, 博士生, 从事系统控制与优化的研究; 肖新平(1965—), 男, 教授, 从事运筹与管理、预测理论与技术、不确定系统分析与决策等研究.

属性值到理想方案距离时的方法完全不相同, 这存在一定的缺陷; 文献[13]将模糊数和区间数转化成确定的实数, 这种处理方式会造成信息丢失. 文献[14]提出的方法无法解决属性值为语义型的决策问题; 文献[15]提出了针对模糊区间数与二元语义转化的多属性决策, 但是没有考虑不同级数二元语义之间的转化问题. 为此, 本文针对属性权重未知, 属性值为实数型、区间型和不同级数语义型的混合型多属性决策问题进行研究. 首先将不同类型不同级数的指标数据转化为一致的二元语义信息, 接着根据离差最大化确定属性的指标权重; 然后利用灰关联分析方法计算各决策方案与理想方案的关联度并对方案进行排序; 最后以某供应链中供应商的绩效评估为例对该方法进行验证.

1 基于二元语义一致性的混合多属性灰关联决策方法

1.1 二元语义变量

二元语义^[16]是一种用二元参数描述语义变量的方法, 用 $L = (s, \alpha)$ 标记. 这里 s 为语义表示, 如 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$; $\alpha \in [-0.5, 0.5]$ 为某个语义变量距离指标中心值的距离. 若 $L_k = (s_k, \alpha_k)$ 和 $L_l = (s_l, \alpha_l)$ 是两个二元语义变量, 则其代数运算关系如下:

$$L_k \oplus L_l = (s_k, \alpha_k) \oplus (s_l, \alpha_l) = (s_k + s_l, \alpha_k + \alpha_l), \quad (1)$$

$$L_k \otimes L_l = (s_k, \alpha_k) \otimes (s_l, \alpha_l) = (s_k s_l, \alpha_k \alpha_l), \quad (2)$$

其中 \oplus 和 \otimes 分别代表加法和乘法运算. 它们之间的距离为

$$d((s_k, \alpha_k), (s_l, \alpha_l)) = \Delta(|\Delta^{-1}(s_k, \alpha_k) - \Delta^{-1}(s_l, \alpha_l)|). \quad (3)$$

关于二元语义的比较运算有如下规定:

- 1) 如果 $s_k < s_l$, 则 $(s_k, \alpha_k) < (s_l, \alpha_l)$;
- 2) 如果 $s_k = s_l$ 且 $\alpha_k = \alpha_l$, 则 $(s_k, \alpha_k) = (s_l, \alpha_l)$;
- 3) 如果 $s_k = s_l$ 且 $\alpha_k > \alpha_l$, 则 $(s_k, \alpha_k) > (s_l, \alpha_l)$;
- 4) 如果 $s_k = s_l$ 且 $\alpha_k < \alpha_l$, 则 $(s_k, \alpha_k) < (s_l, \alpha_l)$.

负向运算为

$$\text{Neg}(\Delta(\theta)) = \Delta(g - \theta). \quad (4)$$

其中: $\Delta(\theta)$ 为 $L = (s_k, \alpha_k)$ 的特征值表示, $\theta = t + \alpha_k$ 且 $\theta \in [0, g]$. 不是所有的指标均为效益型, 因此需要将成本型属性指标的二元语义变量进行负向运算处理成正向, 才能进行一致性转化.

1.2 二元语义变量一致性转化

假设所有属性指标都已转化成效益型(对于成本型指标可以用负向运算转化成效益型), 对实数值通过线性变换转换到 $[0, 1]$ 区间.

1.2.1 精确值与二元语义变量的转化

设语义变量集 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ 且 $s_0 = 0, s_g = 1$. 实数值 $\beta \in [0, 1]$ 转化成二元语义变量的算子为

$$\Delta(\beta) = (s_k, \alpha_k). \quad (5)$$

其中

$$\begin{cases} s_k, k = \text{round}(\beta \cdot g), \\ \alpha_k = \beta \cdot g - k, \alpha_k \in [-0.5, 0.5]. \end{cases}$$

转化二元语义变量为实数值 β 的公式为

$$\beta = \Delta^{-1}(s_k, \alpha_k) = \frac{(k + \alpha_k)}{g}. \quad (6)$$

其中: round 为取整算子, Δ^{-1} 为二元语义变量转化成实数值 β 的算子符号, $\beta \in [0, 1]$.

1.2.2 区间值与二元语义变量之间的转化

若一区间值为 $I = [a, b]$, 其隶属函数为

$$\mu_I(x) = \begin{cases} 1, a \leq x \leq b; \\ 0, \text{else.} \end{cases} \quad (7)$$

计算区间值与标准语义变量集 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ 中每个语义变量的交集如下:

$$r_k = \max_x \min\{\mu_I(x), \mu_{s_k}(x)\}, k \in \{0, 1, \dots, g\}. \quad (8)$$

将其转化为实数值为

$$I_\beta = \frac{\sum_{i=0}^g i \cdot r_i}{\sum_{i=0}^g r_i}. \quad (9)$$

再利用式(5), 将 I_β 转化为二元语义变量.

1.2.3 不同二元语义变量之间的转化

根据定义, 从 t 级二元语义到 $t+1$ 级二元语义的转化公式为

$$\begin{cases} \text{TF}_{t+1}^t : l(t, n(t)) \rightarrow l(t+1, n(t+1)), \\ \text{TF}_{t+1}^t(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) = \\ \Delta\left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) \cdot (n(t+1) - 1)}{n(t) - 1}\right). \end{cases} \quad (10)$$

从 t 级二元语义到 $t-1$ 级二元语义的转化公式为

$$\begin{cases} \text{TF}_{t-1}^t : l(t, n(t)) \rightarrow l(t-1, n(t-1)), \\ \text{TF}_{t-1}^t(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) = \\ \Delta\left(\frac{\Delta^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) \cdot (n(t-1) - 1)}{n(t) - 1}\right). \end{cases} \quad (11)$$

其中: t 为二元语义的级数, $n(t)$ 为 t 级语义变量的个数, $(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)})$ 为第 t 级第 i 个二元语义变量.

在初始的同一域值中无法进行语义变量的转化, 这是因为语义变量的值域随语义变量个数的增加而变大, 因此, 有必要使其先在 $[0, 1]$ 之间进行转化. 第 t 级第 i 个二元语义变量与实数值 $\beta (\beta \in [0, 1])$ 相

互转化的算子为

$$\Delta_t(\beta) = (s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}), \quad (12)$$

$$\beta = \Delta_t^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) = \frac{(i + \alpha_i^{n(t)})}{g_t}. \quad (13)$$

其中

$$\begin{cases} s_i^{n(t)}, i = \text{round}(\beta \cdot g_t)g_t = n(t) - 1, \\ \alpha_i^{n(t)} = \beta \cdot g_t - i, \alpha_i^{n(t)} \in [-0.5, 0.5]. \end{cases}$$

在 $[0,1]$ 中, 从 t 级第 i 个二元语义变量 $(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)})$ 到 $t+1$ 级第 k 个二元语义变量的转化算子为

$$\begin{aligned} \text{TF}_{t+1}^t(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)}) = \\ \Delta_{t+1}(\Delta_t^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha_i^{n(t)})) = (s_k^{n(t+1)}, \alpha_k^{n(t+1)}). \end{aligned} \quad (14)$$

其中: $g_t = n(t+1) - 1, \alpha_k^{n(t+1)} \in [-0.5, 0.5]$.

1.3 基于离差最大化的权重向量确定

设决策问题中有 m 个备选方案 $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$, n 个决策指标 $G_j (j = 1, 2, \dots, n)$. 利用 1.2 节中所述转化方法, 可得决策者针对备选方案 A_i 在决策指标 G_j 下的属性值 r_{ij} . 设一致化后的决策矩阵为标准语义矩阵 $R = [(s^{ij}, \alpha^{ij})]_{m \times n}$.

属性权重的确定是多属性决策的重要部分, 然而对于客观存在的不确定性及人类思维的主观性, 若要决策者给出合理的属性权重往往是很困难的, 属性权重完全未知的情形也是可能出现的. 针对转化后的二元语义决策矩阵, 若所有方案在指标 G_j 的指标值差异越大, 则其对方案排序起到的作用越大; 若所有方案在指标 G_j 的指标值差异越小, 则该指标对方案决策排序起到的作用越小. 从进行排序来优选决策方案考虑, 离差大的指标应该赋予大的权重. 依据此原理, 对指标 G_j 用 $D_{ij}(w)$ 表示方案 A_i 与其他方案间的离差, 有

$$D_{ij}(w) = \Delta \left\{ \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] w_j \right\}. \quad (15)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$.

$$\begin{aligned} D_j(w) = \Delta \left[\sum_{i=1}^m \Delta^{-1} D_{ij}(w) \right] = \\ \Delta \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] w_j \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

表示所有方案与其他方案对指标 G_j 的总离差. 确定指标权重向量 w 使所有方案的总离差最大, 构造目标函数

$$\begin{aligned} \max D(w) = \Delta \left[\sum_{j=1}^n \Delta^{-1} D_j(w) \right] = \\ \Delta \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] w_j \right\}. \end{aligned} \quad (17)$$

为得到权重向量 w , 式 (17) 等价于求解下面的优

化模型:

$$\begin{aligned} \max \Delta^{-1} D(w) = \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] w_j; \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n w_j^2 = 1, w_j \geq 0. \end{aligned} \quad (18)$$

构造拉格朗日函数

$$\begin{aligned} L(w, \xi) = \frac{1}{2} \xi \left(\sum_{j=1}^n w_j^2 - 1 \right) + \\ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] w_j, \end{aligned} \quad (19)$$

对其求偏导, 有

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial w_j} = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] + \xi w_j = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \xi} = \sum_{j=1}^n w_j^2 - 1 = 0. \end{cases} \quad (20)$$

可得最优权重

$$w_j^* = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})] \right\}}}. \quad (21)$$

对权重 $w_j^* (j = 1, 2, \dots, n)$ 进行归一化处理, 有

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})]}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^m \Delta^{-1} d[(s^{ij}, \alpha^{ij}), (s^{lj}, \alpha^{lj})]}. \quad (22)$$

1.4 基于二元语义一致性的混合多属性灰关联决策方法的步骤

灰关联分析是基于灰关联空间而建立的一种分析方法, 较好地融合了距离空间与拓扑空间的特点, 它的基本思想是根据曲线间变化大小的接近性和相似程度来判断因素(或方案)间的关联程度^[17]. 灰关联分析方法先确定理想方案, 再计算各方案与理想方案间的灰色关联度, 关联度越大, 该方案与理想方案越接近, 也就越优. 本文利用灰关联度对备选决策方案进行优劣排序.

基于灰关联方法的基本思想, 处理异质决策信息的混合多属性决策问题. 对于异质决策信息, 运用二元语义的一致性进行处理; 对于未知的属性权重值, 运用离差最大化求得. 下面给出混合多属性决策问题的灰关联决策方法的具体步骤.

Step 1: 针对混合多属性决策问题, 决策者关于属

性 $G_j(j = 1, 2, \dots, n)$ 对方案 $A_i(i = 1, 2, \dots, m)$ 进行评价, 得到方案 A_i 在评估指标 G_j 下的决策值 \tilde{r}_{ij} , 于是决策矩阵 $R = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$. 经二元语义一致化处理, 决策矩阵转化成标准二元语义矩阵 $\tilde{R} = [(r_{ij}, \alpha_{ij})]_{m \times n}$.

Step 2: 根据离差最大化原理确定属性权重值.

Step 3: 确定理想方案

$$A^+ = \{(r_1^+, a_1^+), (r_2^+, a_2^+), \dots, (r_n^+, a_n^+)\}, \quad (23)$$

其中

$$(r_j^+, a_j^+) = \max_i (r_{ij}, \alpha_{ij}) = \max\{(r_{ij}, \alpha_{ij}) | 1 \leq i \leq m\}. \quad (24)$$

Step 4: 求各方案对理想方案的关联系数. 由二元语义距离计算公式可知, 各方案对理想方案的关联系数为

$$(\xi_{ij}, \delta_{ij}) = \Delta\left(\frac{\min_i \min_j d_{ij} + \rho \min_i \min_j d_{ij}}{d_{ij} + \rho \min_i \min_j d_{ij}}\right), \quad (25)$$

其中 ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 通常取 $\rho = 0.5$.

Step 5: 求每个备选方案与理想方案的关联度

$$\gamma_i = \Delta\left(\sum_{j=1}^n w_j \cdot \Delta^{-1}(\xi_{ij}, \delta_{ij})\right). \quad (26)$$

Step 6: 进行方案排序. 依据各方案关联度的大小进行排序, 即 γ_i 越大, 被评价对象(决策方案) A_i 与理想方案 A^+ 越接近, 方案越佳.

2 计算实例

在某供应链中有3个供应商备选, 分别为 $A_i(i = 1, 2, 3)$. 通过对各供应商进行综合评估来选择最优的供应商, 评估指标为: G_1 成本控制能力, G_2 质量控制能力, G_3 服务能力, G_4 供货反应时间和 G_5 技术支撑能力. 其中: 成本控制能力(即产品成本价)为数值型, 质量控制能力(即产品合格率)也为数值型, 服务能力及售后服务水平为语义型, 供货反应时间(即更改设计供货需要的时间)为区间型, 技术支撑能力(即研发设计能力)为语义型, 这里采用文献[18]的数据, 见表1.

表1 备选供应商的评价指标值

供应商	G_1	$G_2/\%$	G_3	$G_4/\text{周}$	G_5
A_1	10	92	好	2~10	强
A_2	6.5	93	好	2~8	一般
A_3	6	90	一般	1~12	一般

由备选供应商的评价指标值构成的决策矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 10 & 0.92 & s_6 & [2, 10] & h_5 \\ 6.5 & 0.93 & s_6 & [2, 8] & h_4 \\ 6 & 0.90 & s_5 & [1, 12] & h_4 \end{bmatrix}.$$

具体决策步骤如下:

1) 将混合数据决策矩阵转化成二元语义矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} (s_4, 0) & (s_5, -0.2) & (s_6, 0) \\ (s_5, 0.4) & (s_5, 0.2) & (s_6, 0) \\ (s_6, -0.4) & (s_4, 0) & (s_5, 0) \\ (s_4, 0) & (s_7, 0.2) \\ \leftarrow (s_5, -0.336) & (s_6, -0.4) \\ (s_4, -0.336) & (s_6, -0.4) \end{bmatrix}.$$

2) 由离差最大化求指标权重

$$w = (0.2500 \ 0.1875 \ 0.1563 \ 0.1562 \ 0.2500).$$

3) 确定理想方案

$$A^+ = \{(s_6, -0.4), (s_5, 0.2), (s_6, 0), (s_5, -0.336), (s_7, 0.2)\}.$$

4) 计算各备选方案对理想方案的关联度

$$\gamma_1 = \Delta(0.7090) = (s_6, -0.3274),$$

$$\gamma_2 = \Delta(0.7356) = (s_6, -0.1152),$$

$$\gamma_3 = \Delta(0.5842) = (s_5, -0.3260).$$

计算结果如表2所示, 可知供应商 A_2 的供应绩效较高, 其次是供应商 A_1 和 A_3 , 方法有效.

表2 备选供应商产品的二元语义一致性多属性评价结果

备选供应商	供应商 A_1	供应商 A_2	供应商 A_3
整体供应绩效	$(s_6, -0.3276)$	$(s_6, -0.1152)$	$(s_5, -0.3260)$
优选排序	2	1	3

表3所示是文献[18]用单语义变量信息的评估结果, 虽然也可以给出绩效评估结果, 但评估信息明显出现打结情形. 这说明使用模糊程度较高的单语义变量进行评估, 会缩减不同方案在最终决策结果的差距.

表3 备选供应商产品的单一语义多属性评价结果

备选供应商	供应商 A_1	供应商 A_2	供应商 A_3
整体供应绩效	h_5	h_5	h_4
优选排序	1	1	2

3 结论

为解决具有异质评价信息的多属性决策问题, 本文提出了一种基于二元语义信息处理、指标权重未知的混合型多属性决策方法. 通过将不同类型不同级数的指标数据转化到一致的二元语义, 充分利用二元语义的优点, 有效地避免了语言信息处理过程中信息的丢失与扭曲, 利用离差最大化确定属性的指标权重, 并采用灰色关联方法进行排序. 由此既可以较清晰地呈现决策者的主观认识程度, 又能客观地分辨各个方案的差异. 同时应用本文方法, 决策者可以根据自身的主观判断以及对某些方案的实际了解程度, 自主选择适当的决策语义, 以此避免固定决策语义造成决策

者难以评估的困扰. 本文所提出的方法, 兼顾主观与客观的需要, 且计算简单易行, 便于推广.

参考文献(References)

- [1] Bryson N, Mobolurin A. An action learning evaluation procedure for multiple criteria decision making problems[J]. *European J of Operational Research*, 1996, 96(2): 379-386.
- [2] 刘树林, 邱苑华. 多属性决策的 TOPSIS 夹角度量评价法[J]. *系统工程理论与实践*, 1996, 16(7): 12-16.
(Liu S L, Qiu W H. The TOPSIS angle measure evaluation method for MADM[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1996, 16(7): 12-16.)
- [3] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 225-227.
(Yue C Y. *Decision theory and method*[M]. Beijing: China Science Press, 2003: 275-277.)
- [4] 达庆利, 徐泽水. 不确定多属性决策的单目标最优化模型[J]. *系统工程学报*, 2002, 17(1): 50-55.
(Da Q L, Xu Z S. Single-objective optimization model in uncertain multi-attribute decision-making[J]. *J of Systems Engineering*, 2002, 17(1): 50-55.)
- [5] 王坚强. 一种信息不完全确定的多准则语言群决策方法[J]. *控制与决策*, 2007, 22(4): 394-399.
(Wang J Q. Group multi-criteria linguistic decision-making method with incomplete certain information[J]. *Control and Decision*, 2007, 22(4): 394-399.)
- [6] 徐泽水, 达庆利. 区间型多属性决策的一种新方法[J]. *东南大学学报*, 2003, 33(4): 498-501.
(Xu Z S, Da Q L. New method for interval multi-attribute decision-making[J]. *J of Southeast University*, 2003, 33(4): 498-501.)
- [7] 卫贵武. 权重信息不完全的区间数多属性决策 GRA 方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2006, 28(12): 1834-1836.
(Wei G W. Grey relational analysis method for interval multiple attribute decision making with incomplete attribute weights[J]. *System Engineering and Electronics*, 2006, 28(12): 1834-1836.)
- [8] 姜艳萍, 樊治平. 二元语义信息集结算子的性质分析[J]. *控制与决策*, 2003, 18(6): 754-757.
(Jian Y P, Fan Z P. Property analysis of the aggregation operators for two-tuple linguistic information[J]. *Control and Decision*, 2003, 18(6): 754-757.)
- [9] 廖貅武, 李垣, 董广茂. 一种处理语言评价信息的多属性群决策方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(9): 90-98.
(Liao X W, Li Y, Dong G M. A multi-attribute group decision-making approach dealing with linguistic assessment information[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2006, 26(9): 90-98.)
- [10] 卫贵武. 权重信息不完全的二元语义多属性群决策方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2008, 30(21): 273-277.
(Wei G W. Two-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete attribute weight information[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2008, 30(21): 273-277.)
- [11] 姜红刚, 杨西龙, 王进. 基于供应链环境下的供应商评价体系的研究[J]. *物流技术*, 2006, 26(7): 180-182.
(Jiang H G, Yang X L, Wang J. Study on evaluation index system of supplier selection based on SCM[J]. *Logistics Technology*, 2006, 26(7): 180-182.)
- [12] 夏勇其, 吴祈宗. 一种混合型多属性决策问题的 TOPSIS 法[J]. *系统工程学报*, 2004, 19(6): 630-634.
(Xia Y Q, Wu Q Z. A technique of order preference by similarity to ideal solution for hybrid multiple attribute decision making problems[J]. *J of System Engineering*, 2004, 19(6): 630-634.)
- [13] 梁昌勇, 吴坚, 陆文星, 等. 一种新的混合型多属性决策方法及在供应商选择中的应用[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(6): 71-76.
(Liang C Y, Wu J, Lu W X. A new method on hybrid multiple attribute decision-making problem for choosing the supplier[J]. *Chinese J of Management Science*, 2006, 14(6): 71-76.)
- [14] 何峻, 赵宏钟, 肖立, 等. 混合型多属性决策问题的序关系求解方法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(4): 579-582.
(He J, Zhao H Z, Xiao L, et al. Preference method for solving hybrid multiple attribute decision making problems[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(4): 579-582.)
- [15] 刘培德, 关忠良. 一种基于二元语义的混合型多属性决策方法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(7): 1074-1078.
(Liu P D, Guan Z L. Hybrid multiple attribute decision making method based on 2-tuple[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(7): 1074-1078.)
- [16] Herrera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model based on a symbolic translation[C]. *Proc Euro-fuse-Science' 99 Conf. Budapest: Sogesci-BVWB*, 1999: 25-28.
- [17] Sifeng Liu, Jeffery Forrest. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer-Verlag, 2006: 7-8.
- [18] Zhang S L, Wang R S, Wang S Y. Applying fuzzy linguistic quantifier to select supply chain partners at different phases of product life cycles[J]. *Int J of Production Economics*, 2005, 100(2): 348-359.

(责任编辑: 孙艺红)