

文章编号: 1001-0920(2011)12-1881-05

一种基于二元语义信息处理的多属性群决策方法

张震, 郭崇慧

(大连理工大学 系统工程研究所, 辽宁 大连 116024)

摘要: 为了解决评价信息为语言信息的多属性群决策问题, 结合VIKOR方法, 提出一种基于二元语义信息处理的多属性群决策方法. 该方法使用二元语义信息集结算子获得决策群组的决策信息, 通过最大化群效用和最小化个体遗憾来获得决策者满意的折衷方案. 该方法计算简单, 便于理解, 可有效避免信息的丢失和扭曲, 并可克服理想解方法不能反映出各方案与正负理想解的接近程度的不足. 最后, 算例计算结果表明了该方法的有效性.

关键词: 多属性群决策; 语言评价信息; 二元语义; VIKOR方法

中图分类号: C934

文献标识码: A

Multiple attributes group decision making method based on two-tuple linguistic information processing

ZHANG Zhen, GUO Chong-hui

(Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China. Correspondent: ZHANG Zhen, E-mail: zhangzhen@mail.dlut.edu.cn)

Abstract: To deal with multiple attributes group decision making problems with linguistic assessment information, a two-tuple linguistic multiple attributes group decision making method based on VIKOR method is proposed. This method aggregates single users' decision information to get group's decision information, and obtain the best compromise solution by maximizing group utility for the majority and minimizing individual regret for the opponent. This method is easy to implement and interpret, and can avoid the loss and distortion of assessment information effectively. Moreover, the proposed method can overcome the shortcomings of the ideal solution method, which cannot reflect the relative importance of distances from the alternative to the positive ideal solution and negative ideal solution. Finally, the result of the numerical example shows the effectiveness of the proposed method.

Key words: multiple attributes group decision making; linguistic assessment information; two-tuple linguistic; VIKOR method

1 引言

由于现实世界的复杂性, 决策问题往往需要由多个专家来完成, 由此产生了群决策问题. 通常情况下, 决策者对决策对象进行评价判断时更倾向于用自然语言(如: 好、一般、差)的形式来表达自己的偏好^[1], 因此基于语言评价信息的群决策方法的研究越来越受到人们关注. 对于此类评价信息的处理, 早期的方法主要是基于扩展原理的分析方法^[2-3]和基于符号转移的方法^[1, 4]. 但基于扩展原理的分析方法需要决策者确定评价语言集的隶属度函数, 在进行分析时, 往往会造成信息的丢失和扭曲, 而且决策者对决策结果的含义往往难以理解; 基于符号转移的方法直接处理

语言评价信息, 但所得评价结果与最初的评价信息集会存在不一致的现象, 只能得到近似的评价结果.

为了克服这两类方法的缺陷, 西班牙学者 Herrera 和 Martinez^[5]提出了二元语义分析方法, 先将决策者的评价信息转化为二元语义符号, 再进一步处理. 近年来, 关于此方面的研究也取得了一定的研究成果. 相关的研究主要集中在以下两方面: 一方面是研究二元语义信息的集结算子^[5-10], 如提出了 TAA 算子, TWA 算子, TOWA 算子, ET-WA 算子^[5]和 ELOWA 算子^[10]等, 通过这些算子对决策群组的评价信息进行集结; 另一方面是考虑将现有的多属性决策方法与二元语义方法进行集成, 求得群组的评价结

收稿日期: 2010-08-12; 修回日期: 2010-11-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70871015, 71031002).

作者简介: 张震(1986—), 男, 博士生, 从事管理决策分析与数据挖掘的研究; 郭崇慧(1973—), 男, 教授, 博士生导师, 从事系统优化方法、数据挖掘与机器学习的研究.

果^[11-14]. 文献[11]对具有语言评价信息的多属性群决策问题, 使用目标规划的方法, 获得相应的属性权重, 然后进行评价信息的集结; [12]依据传统理想点法的基本思想, 提出了一种基于二元语义信息处理的群决策方法; 在[12]的基础上, [13]依据传统灰色关联分析方法的基本思想, 提出了一种基于二元语义信息处理的群决策的灰色关联分析方法; [14]依据传统投影分析方法的基本思想, 通过计算备选方案对正理想方案和负理想方案的投影值, 进而计算备选方案对正理想方案相对贴近度, 最终确定最优方案.

文献[12-14]所提出的方法基于逼近理想解的原理, 认为最优方案应当离正理想解最近, 离负理想解最远, 但此类方法并不能反映出各方案与正负理想解的接近程度. 而由 Opricovic^[15-16]提出的 VIKOR 方法可克服这一不足. 该方法基于折衷规划的思想, 同时考虑群效用的最大化和个体遗憾的最小化, 并融合决策者的主观偏好, 得到合理的决策结果. 由此本文尝试将 VIKOR 方法的思想引入基于二元语义信息处理的多属性群决策问题中, 并提出一种新的求解评价信息为语言信息的多属性群决策方法.

2 二元语义及集结算子

二元语义基于符号转移的概念, 采用一个二元组 (s_k, α_k) 来表示语言评价信息, s_k 和 α_k 的具体含义可描述如下:

设 S 为一个预先定义好的由奇数个元素构成的有序集合, 即 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_T\}$, 其中 $s_k \in S$ 为第 k 个语言短语, $k \in \{0, 1, \dots, T\}$. S 满足以下性质^[5]:

- 1) 有序性: 当 $i < j$ 时, 有 $s_i < s_j$;
 - 2) 存在逆运算“neg”: $\text{neg}(s_i) = s_j, j = T - i$, 其中 $T + 1$ 表示集合 S 中元素的个数;
 - 3) 极大化运算: 当 $s_i \geq s_j$ 时, 有 $\max\{s_i, s_j\} = s_i$;
 - 4) 极小化运算: 当 $s_i \leq s_j$ 时, 有 $\min\{s_i, s_j\} = s_i$.
- α_k 称作符号转移值, 且 $\alpha_k \in [-0.5, 0.5]$, 表示评价结果与 s_k 的偏差.

下面对二元语义进行具体定义, 并给出与之相关的运算算子的定义^[5].

定义 1 设 $s_k \in S$ 是一个语言短语, 则其对应的二元语义形式可通过以下函数得到:

$$\begin{aligned} \theta: S &\rightarrow S \times [-0.5, 0.5], \\ \theta(s_k) &= (s_k, 0), s_k \in S. \end{aligned} \quad (1)$$

定义 2 设实数 $\beta \in [0, T]$ 表示语言信息集结运算的结果, 其中 $T + 1$ 表示集合 S 中元素的个数, 则称 (s_k, α_k) 为与 β 对应的二元语义形式, 可由以下函

数得到:

$$\begin{aligned} \Delta: [0, T] &\rightarrow S \times [-0.5, 0.5], \\ \Delta(\beta) &= (s_k, \alpha_k). \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $k = \text{round}(\beta)$, round 表示四舍五入取整算子; $\alpha_k = \beta - k, \alpha_k \in [-0.5, 0.5]$.

定义 3 若 (s_k, α_k) 为一个二元语义, $\alpha_k \in [-0.5, 0.5]$, 则存在一个逆函数 Δ^{-1} , 可将此二元语义转化为对应的数值 $\beta \in [0, T]$, 即

$$\begin{aligned} \Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5] &\rightarrow [0, T], \\ \Delta^{-1}(s_k, \alpha_k) &= k + \alpha_k = \beta. \end{aligned} \quad (3)$$

同样, 二元语义也满足有序性、逆运算、最大化和最小化算子等性质, 在此不再赘述.

定义 4 设 $\{(r_1, \alpha_1), (r_2, \alpha_2), \dots, (r_m, \alpha_m)\}$ 表示一组二元语义信息, 则该组二元语义信息的算术平均算子可定义为

$$(\bar{r}, \bar{\alpha}) = \Delta\left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \Delta^{-1}(r_k, \alpha_k)\right). \quad (4)$$

定义 5 设 $\{(r_1, \alpha_1), (r_2, \alpha_2), \dots, (r_m, \alpha_m)\}$ 表示一组二元语义信息, 用 $((w_1, \beta_1), (w_2, \beta_2), \dots, (w_m, \beta_m))^T$ 表示该组二元语义信息对应的权重向量, 则该组二元语义信息的加权算术平均算子可定义为

$$(\tilde{r}, \tilde{\alpha}) = \Delta\left[\frac{\sum_{k=1}^m (\Delta^{-1}(r_k, \alpha_k) \times \Delta^{-1}(w_k, \beta_k))}{\sum_{k=1}^m \Delta^{-1}(w_k, \beta_k)}\right]. \quad (5)$$

3 基于VIKOR的多属性群决策方法

3.1 决策问题

考虑如下决策问题: 由多个决策者基于备选方案的多个属性给出评价信息和每个决策者对属性的权重向量, 依据这些信息, 找出最优的决策方案. 具体描述如下:

设一个有限的决策方案集为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 其中 A_i 表示第 i 个决策方案; 决策方案的属性集合为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, 其中 C_j 表示第 j 个决策属性; 决策群组集合为 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_q\}$, 其中 E_l 表示第 l 个决策者. 则第 l 个决策者的评价信息可表示为

$$X^l = \begin{bmatrix} x_{11}^l & x_{12}^l & \cdots & x_{1m}^l \\ x_{21}^l & x_{22}^l & \cdots & x_{2m}^l \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^l & x_{n2}^l & \cdots & x_{nm}^l \end{bmatrix}.$$

设第 l 个决策者给出的属性的权重向量为 $w^l = (w_1^l, w_2^l, \dots, w_m^l)^T$, 在这里, 所有的评价信息及权重信息均用语言短语给出.

3.2 决策方法

基于前文描述, 借鉴 VIKOR 方法的思想, 提出一种解决语言评价信息的多属性群决策方法. 具体步骤如下:

Step 1: 将决策者给出的语言评价信息及权重信息转换为二元语义形式, 通过变化, 第 l 个决策者的评价信息可表示为

$$X^l = \begin{bmatrix} (x_{11}^l, 0) & (x_{12}^l, 0) & \cdots & (x_{1m}^l, 0) \\ (x_{21}^l, 0) & (x_{22}^l, 0) & \cdots & (x_{2m}^l, 0) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_{n1}^l, 0) & (x_{n2}^l, 0) & \cdots & (x_{nm}^l, 0) \end{bmatrix}.$$

第 l 个决策者的权重向量可表示为

$$w^l = ((w_1^l, 0), (w_2^l, 0), \dots, (w_m^l, 0))^T.$$

Step 2: 使用二元语义信息的算术平均算子对决策者的语言评价信息及权重信息进行集结, 求得群组的语言评价矩阵 $X = ((x_{ij}, \alpha_{ij}))_{n \times m}$ 和权重向量 $w = ((w_1, \beta_1), (w_2, \beta_2), \dots, (w_m, \beta_m))^T$. 其中

$$(x_{ij}, \alpha_{ij}) = \Delta \left(\sum_{l=1}^q \frac{1}{q} \Delta^{-1}(x_{ij}^l, \alpha_{ij}^l) \right),$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

$$(w_j, \beta_j) = \Delta \left(\sum_{l=1}^q \frac{1}{q} \Delta^{-1}(w_j^l, \beta_j^l) \right),$$

$$j = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Step 3: 对群组语言评价矩阵作如下处理:

$$(f_{ij}, \gamma_{ij}) = \Delta \left[\frac{\max_{1 \leq i \leq n} \{\Delta^{-1}(x_{ij}, \alpha_{ij})\} - \Delta^{-1}(x_{ij}, \alpha_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq n} \{\Delta^{-1}(x_{ij}, \alpha_{ij})\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{\Delta^{-1}(x_{ij}, \alpha_{ij})\}} \right]. \quad (8)$$

Step 4: 基于 VIKOR 方法^[16]的思想, 首先使用二元语义信息的加权算术平均算子, 计算每个决策方案的群效用值 (p_i, γ_i) 和个体遗憾值 (h_i, δ_i) , 即

$$(p_i, \gamma_i) = \Delta \left[\frac{\sum_{j=1}^m (\Delta^{-1}(w_j, \beta_j) \times \Delta^{-1}(f_{ij}, \gamma_{ij}))}{\sum_{j=1}^m \Delta^{-1}(w_j, \beta_j)} \right],$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad (9)$$

$$(h_i, \delta_i) = \Delta \left\{ \max_{1 \leq j \leq m} \left[\frac{\Delta^{-1}(w_j, \beta_j) \times \Delta^{-1}(f_{ij}, \gamma_{ij})}{\sum_{j=1}^m \Delta^{-1}(w_j, \beta_j)} \right] \right\},$$

$$i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Step 5: 计算群效用值和个体遗憾值的理想解, 即

$$\begin{cases} (p^*, \gamma^*) = \min_{1 \leq i \leq n} \{(p_i, \gamma_i)\}, \\ (p^-, \gamma^-) = \max_{1 \leq i \leq n} \{(p_i, \gamma_i)\}; \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} (h^*, \delta^*) = \min_{1 \leq i \leq n} \{(h_i, \delta_i)\}, \\ (h^-, \delta^-) = \max_{1 \leq i \leq n} \{(h_i, \delta_i)\}. \end{cases} \quad (12)$$

Step 6: 计算各方案的整体评价

$$v_i = \varepsilon \frac{\Delta^{-1}(p_i, \gamma_i) - \Delta^{-1}(p^*, \gamma^*)}{\Delta^{-1}(p^-, \gamma^-) - \Delta^{-1}(p^*, \gamma^*)} + (1 - \varepsilon) \frac{\Delta^{-1}(h_i, \delta_i) - \Delta^{-1}(h^*, \delta^*)}{\Delta^{-1}(h^-, \delta^-) - \Delta^{-1}(h^*, \delta^*)}. \quad (13)$$

其中: ε 为折衷系数, 且 $0 \leq \varepsilon \leq 1$. 如果 $\varepsilon > 0.5$, 则表示根据最大化群效用的决策机制进行决策; 如果 $\varepsilon < 0.5$, 则表示根据最小化个体遗憾的决策机制进行决策; 如果 $\varepsilon = 0.5$, 则表示根据决策者经协商达成共识的决策机制进行决策.

Step 7: 分别根据 (p_i, γ_i) , (h_i, δ_i) 和 v_i 对方案进行排序, 值小的方案排序靠前, 这样可以得到备选方案的 3 个排序.

Step 8: 确定折衷方案, 确定步骤如下:

如果 v_i 值最小的方案 (A_p) 同时满足以下两个条件, 则认为方案 A_p 为折衷方案.

条件 1 使用 (p_i, γ_i) , (h_i, δ_i) 排序, A_p 至少有一个排序为最优.

条件 2 $v_q - v_p \geq \frac{1}{n-1}$, 其中 A_q 为 v_i 第 2 小值对应的方案.

如果只有条件 1 不能满足, 则折衷方案集为 $\{A_p, A_q\}$; 如果条件 2 不能满足, 则求解不等式 $v_M - v_p < \frac{1}{n-1}$, 确定一个最大的 v_M 值, 折衷方案集为 v_i 取值在 v_p 和 v_M 之间的方案集合.

4 算例

考虑风险投资公司的项目投资问题^[14]. 现有 5 个备选方案 $A_1 \sim A_5$, 4 个评价属性为 $C_1 \sim C_4$ (分别为: 风险因素、成长因素、社会政治影响因素和环境影响因素). 现由 3 位专家进行决策分析, 使用的语言评价集 S 是由 7 条语言评价信息构成的集合, 即 $S = \{s_0 = EP(\text{非常差}), s_1 = VP(\text{很差}), s_2 = P(\text{差}), s_3 = M(\text{中等}), s_4 = G(\text{好}), s_5 = VG(\text{很好}), s_6 = EG(\text{非常好})\}$. 3 位专家给出的评价矩阵和属性权重向量分别为

$$X^1 = \begin{bmatrix} M & G & P & P \\ P & VP & M & P \\ G & M & G & EP \\ VG & P & P & G \\ EG & EP & VP & M \end{bmatrix},$$

$$X^2 = \begin{bmatrix} P & M & VP & VP \\ VP & EP & G & G \\ M & G & P & VP \\ EG & VP & VP & M \\ P & VP & M & VP \end{bmatrix},$$

$$X^3 = \begin{bmatrix} G & P & VP & VG \\ VP & G & P & G \\ VG & VP & G & P \\ G & VG & EG & VP \\ M & VP & M & EG \end{bmatrix}.$$

$$w^1 = (M, G, VP, P)^T,$$

$$w^2 = (VP, VG, P, G)^T,$$

$$w^3 = (G, P, M, G)^T.$$

下面使用本文给出的决策方法进行方案的优选.

首先,使用二元语义算术平均算子将评价信息矩阵和权重向量集结为群组的评价矩阵和权重向量,即

$$X = \begin{bmatrix} (M, 0) & (M, 0) & (VP, 0.33) & (M, -0.33) \\ (VP, 0.33) & (P, -0.33) & (M, 0) & (M, 0.33) \\ (G, 0) & (M, -0.33) & (M, 0.33) & (VP, 0) \\ (VG, 0) & (M, -0.33) & (M, 0) & (M, -0.33) \\ (G, -0.33) & (VP, -0.33) & (P, 0.33) & (M, 0.33) \end{bmatrix},$$

$$w = ((M, -0.33), (G, -0.33), (P, 0), (M, 0.33)).$$

令 $\varepsilon = 0.5$, 可以计算得到各方案的评价值为

$$(p_1, \gamma_1) = (EP, 0.38), (p_2, \gamma_2) = (EP, 0.44),$$

$$(p_3, \gamma_3) = (EP, 0.39), (p_4, \gamma_4) = (EP, 0.16),$$

$$(p_5, \gamma_5) = (EP, 0.48);$$

$$(h_1, \delta_1) = (EP, 0.17), (h_2, \delta_2) = (EP, 0.23),$$

$$(h_3, \delta_3) = (EP, 0.29), (h_4, \delta_4) = (EP, 0.08),$$

$$(h_5, \delta_5) = (EP, 0.31);$$

$$v_1 = 0.5323, v_2 = 0.7451,$$

$$v_3 = 0.8012, v_4 = 0, v_5 = 1.$$

使用 (p_i, γ_i) 值进行排序可得 $A_4 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_5$; 使用 (h_i, δ_i) 值进行排序可得 $A_4 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_5$; 使用 v_i 值进行排序可得 $A_4 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_5$.

根据 Step 8 的两个条件有

$$v_1 - v_4 = 0.5323 > 1/(5 - 1) = 0.25,$$

且使用 $(p_i, \gamma_i), (h_i, \delta_i)$ 排序, A_4 均排在首位, 因此可确定 A_4 为最优折衷方案.

作为对比, 分别使用文献 [12-13] 的方法对该问题进行决策. 使用 [12] 中的方法得到各方案的排序为

$A_4 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_2$; 使用 [13] 中的方法得到各方案的排序为 $A_4 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_5$. 虽然几种方法的排序结果存在一定差异, 但最优方案均为 A_4 , 从而也验证了本文方法的有效性.

5 结 论

针对决策者评价信息为语言信息的多属性群决策问题, 结合 VIKOR 方法的思想, 本文提出了一种基于二元语义信息处理的多属性群决策方法. 使用二元语义方法处理语言评价信息, 可有效地避免信息的丢失和扭曲, 从而得到符合决策者意愿的决策结果. 使用 VIKOR 方法, 可克服逼近理想解方法不能反映出各方案与正负理想解的接近程度的不足, 通过最大化群效用和最小化个体遗憾来获得折衷方案, 而且在决策过程中融入了决策者的主观偏好. 该方法计算简单, 便于理解, 为求解多属性群决策问题提供了一种新的途径.

未来的研究工作可将该方法扩展到语言评价信息集为不同粒度以及决策属性权重信息不完全条件下的决策问题. 此外, 本文在进行群组评价信息集结时, 选用了二元语义算术平均算子和二元语义加权算术平均算子. 考虑使用其他算子进行评价信息的集结也是未来研究方向之一.

参考文献(References)

- [1] Delgado M, Verdegay J L, Vila M A. On aggregation operations of linguistic labels[J]. Int J of Intelligent Systems, 1993, 8(3): 351-370.
- [2] Degani R, Bortolan G. The problem of linguistic approximation in clinical decision making[J]. Int J of Approximate Reasoning, 1988, 2(2): 143-162.
- [3] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay J L. A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach[J]. Information Sciences, 1995, 85(4): 223-239.
- [4] Herrera F, Herrera-Viedma E. Aggregation operators for linguistic weighted information[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 1997, 27(5): 646-656.
- [5] Herrera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2000, 8(6): 746-752.
- [6] Herrera F, Herrera-Viedma E. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115(1): 67-82.
- [7] Wei G. A method for multiple attribute group decision making based on the ET-WG and ET-OWG operators

- with 2-tuple linguistic information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(12): 7895-7900.
- [8] 姜艳萍, 樊治平. 基于二元语义符号运算的群决策方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2003, 25(11): 1373-1376. (Jiang Y P, Fan Z P. An approach to group decision making problems based on two-tuple linguistic symbol operation[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2003, 25(11): 1373-1376.)
- [9] 李洪燕, 樊治平. 一种基于二元语义的多指标群决策方法[J]. *东北大学学报: 自然科学版*, 2003, 24(5): 495-498. (Li H Y, Fan Z P. Multi-criteria group decision making method based on two-tuple linguistic information processing[J]. *J of Northeastern University: Natural Science*, 2003, 24(5): 495-498.)
- [10] 张尧, 樊治平. 一种基于语言集结算子的语言多指标决策方法[J]. *系统工程*, 2006, 24(12): 98-101. (Zhang Y, Fan Z P. An approach to linguistic multiple attribute decision making with linguistic information based on ELOWA operator[J]. *Systems Engineering*, 2006, 24(12): 98-101.)
- [11] 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(2): 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(2): 273-277.)
- [12] 王欣荣, 樊治平. 基于二元语义信息处理的一种语言群决策方法[J]. *管理科学学报*, 2003, 6(5): 1-5. (Wang X R, Fan Z P. Method for group decision making based on two-tuple linguistic information processing[J]. *J of Management Sciences in China*, 2003, 6(5): 1-5.)
- [13] 卫贵武, 林锐. 基于二元语义多属性群决策的灰色关联分析法[J]. *系统工程与电子技术*, 2008, 30(9): 1686-1689. (Wei G W, Lin Y. Method of grey relational analysis for multiple attribute group decision making in two-tuple linguistic setting[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2008, 30(9): 1686-1689.)
- [14] 卫贵武. 基于二元语义多属性群决策的投影法[J]. *运筹与管理*, 2009, 18(5): 59-63. (Wei G W. Project method for multiple attribute group decision making in two-tuple linguistic setting[J]. *Operations Research and Management Science*, 2009, 18(5): 59-63.)
- [15] Opricovic S. Multicriteria optimization of civil engineering systems[D]. Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 1998.
- [16] Opricovic S, Tzeng G. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS[J]. *European J of Operational Research*, 2004, 156(2): 445-455.

(上接第1880页)

- [2] Kim S H, Ahn B S. Interactive group decision making procedure under incomplete information[J]. *European J of Operational Research*, 1999, 116(3): 498-507.
- [3] Ching-Hsue Cheng, Yin Lin. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation[J]. *European J of Operational Research*, 2002, 142(1): 174-186.
- [4] 徐泽水, 达庆利. 基于模糊语言评估的多属性决策方法[J]. *东南大学学报*, 2002, 32(4): 656-658. (Xu Z S, Da Q L. Multi-attribute decision making based on fuzzy linguistic assessments[J]. *J of Southeast University*, 2002, 32(4): 656-658.)
- [5] 徐泽水. 对方案有偏好的三角模糊数型多属性决策方法研究[J]. *系统工程与电子技术*, 2002, 24(8): 9-12. (Xu Z S. Study on method for triangular fuzzy number-based multi-attribute decision making with preference information on alternatives[J]. *Engineering and Electronics*, 2002, 24(8): 9-12.)
- [6] 孙昭旭, 韩敏. 不完全信息下的样体多属性决策方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2007, 29(7): 1088-1101. (Sun Z X, Han M. Method of the multiple attributive group decision making under incomplete information[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2007, 29(7): 1088-1101.)
- [7] 杨静, 邱苑华. 基于投影技术的三角模糊数型多属性决策方法研究[J]. *控制与决策*, 2009, 24(4): 637-640. (Yang J, Qiu W H. Method for multi-attribute decision-making based on projection[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(4): 637-640.)