

文章编号: 1001-0920(2008)11-1296-05

一种基于多粒度语言偏好矩阵的多属性群决策方法

张园林, 匡兴华

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘要: 针对决策专家以多粒度语言偏好矩阵形式给出偏好信息的多属性群决策问题, 提出一种基于二元语义一致化的多属性群决策方法. 首先, 构建一个基本语言偏好集作为多粒度语言一致化的参考集合; 然后, 采用基于二元语义的一致化处理方法将不同粒度的语言偏好信息均统一转化为相同粒度的二元语义形式, 再通过二元语义的相关集结算子, 对各决策专家给出的偏好信息进行集结并进行方案优选, 得到满意结果; 最后, 通过算例说明了该方法的有效性.

关键词: 多粒度语言; 二元语义; 偏好矩阵; 群决策

中图分类号: C954 **文献标识码:** A

Approach for multi-attribute group decision-making with multi-granular linguistic preference matrices

ZHANG Yuan-lin, KUANG Xing-hua

(School of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China. Correspondent: ZHANG Yuan-lin, E-mail: ylzhang@nudt.edu.cn)

Abstract: An approach based on two-puple linguistic to deal with multi-attribute group decision-making problem with multi-granular linguistic preference matrices is presented. In this approach, firstly, the basic linguistic term set is constructed and the computational formulae are given to uniform the multi-granular linguistic preference matrixes into the normalized representation of the two-puple linguistic. Then, based on the two-tuple order weighter averaging (T-OWA) and other aggregation operators, every individual's preference information is aggregated into the group preference information and the most desirable alternative is selected. Finally, a numerical example illustrates the effectiveness of the proposed approach.

Key words: Multi-granular linguistic; Two-tuple linguistic; Preference matrix; Group decision-making

1 引言

在现实生活中, 由于信息的模糊性和不确定性的存在, 有大量的决策活动很难用定量化的方法描述. 在这些情况下, 用模糊语言表达偏好信息要比用精确的数值更符合实际. 在多个专家进行的群决策问题中, 每个专家根据其评估偏好提出不同语言格式的评估信息, 这一类决策信息称为多粒度语言信息^[1]. 近年来, 基于不同粒度语言信息的群决策问题已成为一个新的研究课题, 引起了国内外学者的重视. 文献[2, 3]分别采用基于二元语义的一致化融合方法研究了具有不同粒度语言评价矩阵形式偏好信息的群集结问题. [4]在此基础上提出了一种多

粒度语言环境下基于二元语义的群决策模型. [5-7]通过使用基本语言转换函数将多粒度语言评价信息转换为基本语言评价集来完成多粒度语言的一致化处理. 但[4-7]没有考虑这种转换过程中可能出现的信息扭曲问题. [8]通过变量转换关系将语言判断矩阵转换为互补判断矩阵, 实现了对多粒度语言信息的量化. 但该方法对语言判断矩阵的次序一致性要求过于苛刻, 从而限制了该方法的应用. [9-11]给出了基于模糊三角数的多粒度语言偏好信息的一致化处理方法, 并在此基础上给出了群集结与方案优选的群决策方法, 为解决这类群决策问题提供了一个可行的方法. 但由于该方法需将决策专家给出的语

收稿日期: 2007-09-17; 修回日期: 2007-11-30.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70272002).

作者简介: 张园林(1980—), 男, 江西九江人, 博士生, 从事决策分析、项目管理的研究; 匡兴华(1945—), 男, 湖南衡阳人, 教授, 博士生导师, 从事管理理论与方法的研究.

言偏好信息先转化为模糊三角数形式,即需知道语言偏好信息的隶属函数,而事实上隶属函数在实践中并不总是能获得,因而该方法的实际应用也存在一定的困难.

本文在上述研究成果的基础上,采用 Herrera 等^[2,3]提出的二元语义信息处理方法,提出一种新的基于多粒度语言偏好矩阵的多属性群决策方法.具体方法是:首先,构建一个基本语言偏好集作为信息一致化的参考集合;然后,采用基于二元语义的一致化处理方法将不同粒度的语言偏好信息均统一转化为相同粒度的二元语义形式;再通过二元语义的相关集结算子对各决策专家给出的偏好信息进行集结和方案优选.

2 问题描述

考虑一个从多个备选方案中选出的最优方案或对方案进行排序的多属性群决策问题.假设有 p 个不同粒度的语言变量集合分别为 $S^1, S^2, \dots, S^p, S^m$ 表示第 m 个语言变量集合, $m \in \{1, 2, \dots, p\}$, 记 $S^m = \{s_i^m \mid i \in \{0, 1, \dots, T_m\}\}$. 其中: s_i^m 表示集合 S^m 中第 i 个元素; $T_m + 1$ 为集合 S^m 中元素的个数, 也称为集合 S^m 的粒度. 设 n 个有限方案集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. 其中: $n \geq 2$; x_i 表示第 i 个决策方案, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$. 指标集为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$. 其中: $q \geq 2$, c_j 表示第 j 个指标, w_j 是指标 c_j 对应的权重, $j \in \{1, 2, \dots, q\}$. 决策专家集为 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_r\}$. 其中: $r \geq 2$; e_k 表示第 k 个决策专家, $k \in \{1, 2, \dots, r\}$. 决策专家 e_k 从语言变量集合 S^m 中选一个元素作为指标 c_j 下的方案 x_i 的评价值, 记为 $p_{ij}^k \in S^m$, $P^k = (p_{ij}^k)_{n \times q}$ 是决策专家 e_k 对于所有方案在所有指标下的语言评价矩阵.

为了对上述具有不同粒度的语言变量集合进行有序整合,可引入语言变量层次结构模型表示.语言变量层次结构是由不同等级粒度水平的语言变量集合所构成的,每个层级的粒度水平都不同.因此,可将语言变量层次结构模型理解为是上述不同粒度语言变量集合的集合.设共有 q 个处于不同等级的语言变量集合,每个层级的语言变量表示为: $l(t, n(t))$. 其中: t 表示语言变量所处的层级, $n(t)$ 表示所处层级 t 的语言变量集合的粒度, $t \in \{1, 2, \dots, q\}$. 不同的语言变量层级根据其语言粒度值的大小排序,对于两个相邻的层级 t 和 $t + 1$, 其粒度值 $n(t + 1) > n(t)$. 这就是说,随着语言变量不确定性粒度的增大,语言变量的表示趋向精确化.对于处于层级 t 语言粒度为 $n(t)$ 的语言变量集合 $S, S = \{s_0, s_1, \dots, s_{n(t)-1}\}$, 要建立语言变量层次结构,就是将语言变量集合 S 的定义扩展为 $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, s_1^{n(t)}, \dots,$

$s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$. 一个语言变量层次结构可用下式表示:

$$LH = \prod_{t=1}^q l(t, n(t)).$$

本文针对具有多粒度语言偏好信息的群决策问题,给出多粒度语言偏好信息的基于二元语义的一致化处理方法,并给出相应的群集结和方案优选方法.

3 多粒度语言偏好信息的一致化处理

为了对决策者给出的不同粒度语言的偏好信息进行群集结,需将不同粒度语言偏好信息的形式进行一致化,即将不同粒度语言偏好信息用同一粒度语言变量集合当中的元素表示.引入转换函数,可将多粒度语言信息转换为同一种表达格式.统一化的语言变量信息集合称为基本语言变量集 S_T (BL TS), 有时也称作标准语言变量集合 S_D (SL TS), S_T 作为多粒度语言偏好信息一致化的基准集合.一般选 BL TS 尽可能高,用尽可能高的语言粒度将不确定性降至最小.在多粒度语言条件下,通常按以下标准选择 BL TS^[2,3]:若只有一个语言变量集合,且具有最大的语言粒度,则选该集合为 BL TS, 即 S_T ; 若有两个或两个以上的语言变量集合,且具有最大的语言粒度,则 S_T 的确定取决于: 1) 若语言变量具有相同的含义,则任一集合都可作为 S_T ; 2) 若集合的语言变量具有不同的含义,则 S_T 通常被定义为评估专家不能再区分的变量数集合.

本文采用的一致化方法是在选定 BL TS 后,通过语言变量转换函数,将不同粒度语言偏好矩阵统一转化为二元语义的形式.

3.1 二元语义及其集结算子

二元语义是一种基于符号平移的概念,采用一个二元组 $(s,)$ 表示语言评价信息的方法.其中: s 是预先定义好的语言评价信息集合中的语言短语; $()$ 表示由计算得到的语言信息与初始语言评价集中最贴近语言短语之间的差别,该差别是区间 $[-0.5, 0.5)$ 内的一个数值,这也就是符号平移的概念.下面给出二元语义的相关定义^[2,3].

定义 1 设 $s_i \in S$ 为语言短语,则其相应的二元语义可通过下面的转换函数 得到:

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

定义 2 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ 为预先定义好的语言短语集合, $[-0, g]$ 为符号集成运算结果,则可用以下符号转换函数表示二元语义的信息:

$$\begin{aligned} :[-0, g] & \rightarrow S \times [-0.5, 0.5), \\ () & = (s_i,) = \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(); \\ = -i, & [-0.5, 0.5); \end{cases} \end{aligned} \tag{2}$$



其中 $\text{round}(\cdot)$ 表示“四舍五入”取整运算.

定义 3 设 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ 为用模糊语言表示的语言变量集合, (s_i, i) 为二元语义信息, 则存在反函数 $^{-1}$, 可从二元语义信息 (s_i, i) 中求出对应的数值 $[0, g] \subset \mathbb{R}$, 即

$$\begin{aligned} &^{-1} : S \times [-0.5, 0.5] \rightarrow [0, g], \\ &^{-1} : (s_i, i) = i + \end{aligned} \quad (4)$$

设 (s_i, i) 和 (s_j, j) 为任意两个二元语义, 可证明二元语义具有以下性质:

- 1) 若 $i < j$, 则 $(s_i, i) \text{“} < \text{”} (s_j, j)$ 或 $(s_j, j) \text{“} > \text{”} (s_i, i)$, 这里“ $<$ ”表示劣于, “ $>$ ”表示优于.
- 2) 若 $i = j$, 分以下 3 种情况讨论: 若 $i = j$, 则 (s_i, i) 为 (s_j, j) 等价的语言信息; 若 $i < j$, 则 $(s_i, i) \text{“} < \text{”} (s_j, j)$; 若 $i > j$, 则 $(s_i, i) \text{“} > \text{”} (s_j, j)$.
- 3) 二元语义存在逆算子

$$\text{Neg}((s_i, i)) = (g - (^{-1}(s_i, i))), \quad (5)$$

其中 $g + 1$ 是语言集合 S 中元素的个数.

二元语义的集结算子有很多^[12], 为便于讨论, 本文仅使用其中两种, 即 T-OWA 算子和二元语义加权平均算子.

定义 4 设 $S = \{(s_1, 1), (s_2, 2), \dots, (s_l, l)\}$ 是一个二元语义信息集合, 则 T-OWA 算子 定义为

$$\begin{aligned} (s, i) = & ((s_1, 1), (s_2, 2), \dots, (s_l, l)) = \\ & \left(\sum_{i=1}^l h_i r_i \right), s \in S, \quad [0.5, 0.5], \end{aligned} \quad (6)$$

其中向量 $R = (r_1, r_2, \dots, r_l)^T$ 中的元素 r_i 是集合 $\{^{-1}(s_i, i) \mid i = 1, 2, \dots, l\}$ 中第 i 个大的元素. 向量 $H = (h_1, h_2, \dots, h_l)^T$ 是一个权重向量, $h_i \in [0, 1]$, 且 $\sum_{i=1}^l h_i = 1$,

$$h_i = Q(i/l) - Q((i-1)/l), \quad i = 1, 2, \dots, l. \quad (7)$$

这里 Q 是模糊量化算子, 即

$$Q(z) = \begin{cases} 0, & z < a; \\ \frac{z-a}{b-a}, & a \leq z \leq b; \\ 1, & z > b. \end{cases} \quad (8)$$

式中: $a, b, z \in [0, 1]$; 在“至少一半”、“模糊多数”和“尽可能多”的原则下, 模糊量化算子 Q 对应的参数 (a, b) 分别为 $(0, 0.5)$, $(0.3, 0.8)$ 和 $(0.5, 1)$.

定义 5 设 $S = \{(s_1, 1), (s_2, 2), \dots, (s_l, l)\}$ 是一个二元语义信息集合, $W = ((w_1, 1), (w_2, 2), \dots, (w_l, l))^T$ 是与其对应的二元语义权重向量, 则基于二元语义的加权平均算子 定义为^[13]

$$\begin{aligned} (\tilde{s}, \tilde{i}) = & \\ & [((s_1, 1), \dots, (s_l, l)), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & ((w_1, 1), \dots, (w_l, l))^T] = \\ & \left[\frac{\sum_{i=1}^l [^{-1}(w_i, i) \times ^{-1}(s_i, i)]}{\sum_{i=1}^l ^{-1}(w_i, i)} \right], \\ & \tilde{s} \in S, \tilde{i} \in [0.5, 0.5]. \end{aligned} \quad (9)$$

3.2 基于二元语义的一致化处理

设 $LH = \sum_{t=1}^q l(t, n(t))$ 是一个语言变量层次结构, $S^{n(t)} = \{s_0^{n(t)}, s_1^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ 为其中第 t 层的语言变量集合 $l(t, n(t))$. 定义一个语言变量转换函数 TF, 可实现不同层级之间的语言变量集合的映射, 即

$$\text{TF}_t^l : l(t, n(t)) \rightarrow l(t, (n(t))).$$

结合二元语义, 可给出语言变量转换函数 TF_t^l 的具体形式^[2,3], 即

$$\text{TF}_t^l (s_i^{n(t)}, n(t)) = \left[\frac{^{-1}(s_i^{n(t)}, n(t)) (n(t) - 1)}{n(t) - 1} \right]. \quad (10)$$

定理 1 语言变量层级结构中各层变量之间的转换函数都是一种双映射, 即

$$\text{TF}_t^l (\text{TF}_t^l (s_i^{n(t)}, n(t))) = (s_i^{n(t)}, n(t)).$$

证明 由于

$$\text{TF}_t^l (s_i^{n(t)}, n(t)) = \left[\frac{^{-1}(s_i^{n(t)}, n(t)) (n(t) - 1)}{n(t) - 1} \right],$$

有

$$\begin{aligned} \text{TF}_t^l \left(\left[\frac{^{-1}(s_i^{n(t)}, n(t)) (n(t) - 1)}{n(t) - 1} \right] \right) = & \\ \left[^{-1} \left(\left[\frac{^{-1}(s_i^{n(t)}, n(t)) (n(t) - 1)}{n(t) - 1} \right] (n(t) - 1) \right) \right] = & \\ \left[\frac{^{-1}(s_i^{n(t)}, n(t)) (n(t) - 1) (n(t) - 1)}{(n(t) - 1) (n(t) - 1)} \right] = & \\ (s_i^{n(t)}, n(t)). & \end{aligned}$$

由定理 1 可知, 转换函数保证了语言变量在各层级之间转换的过程中无信息丢失. 在选定 BLTS 后, 根据上面所定义的语言变量转换函数, 即可将不同粒度的语言偏好信息统一转化为二元语义的形式, 从而完成多粒度语言偏好信息的一致化处理.

4 群集结与方案优选的步骤

根据上面给出的多粒度语言偏好信息的一致化处理方法, 给出一个求解基于多粒度语言偏好矩阵的多属性群决策问题的具体执行步骤如下:

Step 1: 将每个决策专家给出的语言评价信息和指标权重信息转化为二元语义信息的形式. 根据式(1)~(3), 利用转换函数 将语言评价信息转换成二元语义.

Step 2: 多粒度语言变量的一致化处理. 首先根

据 BL TS 选择原则,从多个语言变量集合中选一个 S_T 作为 BL TS;然后在此基础上根据式(4),(5)和(10)对处于不同层级的多粒度语言变量到 BL TS 的转换,实现多粒度语言变量的一致化处理.

Step3: 将所有决策专家的偏好矩阵和指标权重向量集结为群的偏好矩阵和群的权重向量. 利用 T-OWA 算子,根据式(6)~(8)计算出群的综合评价矩阵 P 和 $W = ((w_1, 1), (w_2, 2), \dots, (w_q, q))^T$.

Step4: 计算每个备选方案在所有指标下的群体综合评价值. 在 Step2 的基础上,利用二元语义加权平均算子根据式(9)对每个备选方案在不同属性下的群体评价价值进行二元语义加权平均集结,最终得到每个备选方案的综合评价值向量 P^* ,这些综合评价值以二元语义的形式表示.

Step5: 进行方案优选. 根据二元语义自身的性质对所有的备选方案进行排序,即 (p_i^*, i^*) 越大,其相应的备选方案 x_i 排名越靠前. 根据方案排序情况,即可选出最优方案.

5 算 例

假设某一风险投资公司要选择一个项目进行投资,共有 3 个方案可供选择,即项目 x_1, x_2 和 x_3 . 在对这 3 个备选的项目进行排序和选优时,需考虑以下 4 个方面的因素,即评价属性分别为:市场环境因素(c_1),社会政治环境因素(c_2),项目成长性因素(c_3)以及项目风险因素(c_4). 设该公司有 3 位投资专家(即 e_1, e_2, e_3) 参与该项目投资优选的群决策分析. 不失一般性,本文考虑两个语言变量集合 S^1 和 S^2 ,分别由 3 条和 9 条语言短语构成,即语言粒度分别为 3 和 9. $S^1 = \{s_0 = C(\text{差}), s_1 = YB(\text{一般}), s_2 = H(\text{好})\}$, $S^2 = \{s_0 = FCC(\text{非常差}), s_1 = HC(\text{很差}), s_2 = C(\text{差}), s_3 = JC(\text{较差}), s_4 = YB(\text{一般}), s_5 = JH(\text{较好}), s_6 = H(\text{好}), s_7 = HH(\text{很好}), s_8 = FCH(\text{非常好})\}$. 专家 e_1 和 e_3 采用的语言变量集合为 S^2 ,专家 e_2 采用的语言变量集合为 S^1 . 假设决策时采用的是“至少一半”的模糊多数原则,且 3 位专家给出的评价矩阵和指标的权重向量为

$$P^1 = \begin{bmatrix} H & HH & HH & H \\ HH & JH & H & YB \\ C & H & YB & H \end{bmatrix},$$

$$P^2 = \begin{bmatrix} H & H & YB & YB \\ YB & H & H & C \\ C & H & H & C \end{bmatrix},$$

$$P^3 = \begin{bmatrix} YB & H & H & JH \\ YB & JH & YB & JC \\ YB & YB & JC & JH \end{bmatrix},$$

$$W^1 = (YB, HH, J, C, H)^T,$$

$$W^2 = (H, YB, H, C)^T,$$

$$W^3 = (H, J, C, YB, C)^T.$$

首先根据式(1)~(3),将上述的评价矩阵和属性权重向量表示为二元语义的形式,根据 BL TS 选择原则,选择 S^2 为 BL TS,再利用式(4),(5)和(10)对专家 e_3 的偏好矩阵 P^2 和指标权重向量 W^2 进行一致化处理. 利用式(6)~(8),计算可得用二元语义形式表示群的综合评价矩阵 P 和属性权重向量 W ,分别为

$$P = \begin{bmatrix} (H, -0.35) & (HH, -0.35) \\ (H, -0.19) & (JH, 0) \\ (JC, -0.17) & (H, 0) \\ (HH, -0.35) & (H, -0.35) \\ (H, 0) & (YB, -0.37) \\ (JH, -0.36) & (H, -0.35) \end{bmatrix},$$

$$W = ((H, -0.35), (H, -0.19), (H, -0.19), (YB, 0.16))^T.$$

根据式(9),利用二元语义加权平均算子,可计算出用二元语义表示的 3 个备选项目的群综合评价值分别为: $(H, 0.19), (JH, -0.06), (JH, -0.29)$, 根据二元语义的优劣比较方法,可得项目 x_1 最优.

6 结 论

本文在 Herrera 等^[2,3]提出的二元语义信息处理方法的基础上,提出一种新的基于多粒度语言偏好矩阵的多属性群决策方法. 该方法首先构建一个基本语言偏好集作为信息一致化的参考集合;然后,采用基于二元语义的一致化处理方法将不同粒度的语言偏好信息均统一转化为相同粒度的二元语义形式;再通过二元语义的相关集结算子对各决策专家给出的偏好信息进行集结与方案优选.

与文献[4-7]中的方法相比,本文方法考虑了如何有效避免信息转化和运算中出现的损失和扭曲问题,从而使语言信息集结结果更精确. 由于该方法无需将决策专家给出的语言偏好信息转化为模糊三角数形式,且无需知道专家给出的语言偏好信息的隶属函数,从而比文献[9-11]中的方法更方便应用于实际决策问题中. 此外,文献[9-11]中给出的群决策方法是针对基于方案对两两比较偏好信息的群决策问题,而本文研究的群决策方法针对的是有评价指标条件下的群决策问题. 因此,本文是对文献[9-11]的扩展和补充,也为解决基于多粒度语言偏好矩阵的多属性群决策问题提供了一种新的方法.

参考文献(References)

[1] Herrera F, Herrera-Viedma E, Luis Martinez. A fusion

- approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 114 (1) : 43-58.
- [2] Herrera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words [J]. *IEEE Trans on Fuzzy systems*, 2000, 8(12) : 746-752.
- [3] Herrera F, Martinez L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multi-granular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 2001, 31(2) : 227-234.
- [4] Huynh V N, Cat Ho Nguyen, Nakamori Y. MEDM in general multi-granular hierarchical linguistic contexts based on the 2-tuples linguistic model [C]. *IEEE Int Conf on Granular Computing*. Beijing: The IEEE Computational Intelligence Society, 2005: 482-487.
- [5] 王良, 杨乃定. 战略联盟下基于模糊多粒度语言评价的项目合作成员选择[J]. *系统工程*, 2005, 23(10) : 53-57.
(Wang L, Yang N D. Selection of project cooperation members based on fuzzy multi-granularity under strategic alliance [J]. *Systems Engineering*, 2005, 23(10) : 53-57.)
- [6] Chang S L, Wang R C, Wang S Y. Applying a direct multi-granularity linguistic and strategy-oriented aggregation approach on the assessment of supply performance[J]. *European J of Operational Research*, 2007, 177(2) : 1013-1025.
- [7] Ben-Arieh D, Chen Z F. On the fusion of multi-granularity linguistic label sets in group decision making [J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2006, 51(3) : 526-541.
- [8] 陈岩, 樊治平, 陈侠. 一种基于不同粒度语言判断矩阵的群决策方法[J]. *东北大学学报*, 2007, 28(7) : 1057-1060.
(Chen Y, Fan Z P, Chen X. A method for group decision-making based on linguistic judgment matrices with different granularities [J]. *J of Northeastern University*, 2007, 28(7) : 1057-1060.)
- [9] 王欣荣. 多粒度语言评价信息的群决策问题研究与股指期货相关问题研究[D]. 上海:上海交通大学, 2005.
(Wang X R. The research of group decision problem with multi-granularity linguistic information and the research of stock index futures[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2005.)
- [10] 姜艳萍, 樊治平. 基于不同粒度语言判断矩阵的群决策方法[J]. *系统工程学报*, 2006, 21(3) : 249-253.
(Jiang Y P, Fan Z P. Approach to group decision making with multi-granularity linguistic comparison matrices[J]. *J of Systems Engineering*, 2006, 21(3) : 249-253.)
- [11] 姜艳萍, 樊治平. 一种具有不同粒度语言判断矩阵的群决策方法[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(6) : 104-108.
(Jiang Y P, Fan Z P. A method for group decision making with multi-granularity linguistic preference relations[J]. *Chinese J of Management Science*, 2006, 14(6) : 104-108.)
- [12] 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.
(Jiang 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.)
- [13] 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.)

(上接第 1295 页)

- [11] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法——支持向量机[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
(Deng N Y, Tian Y J. A new method of data mining — support vector machine [M]. Beijing: Science Publishing House, 2004.)
- [12] Suykens J A K, Van Gestel T, De Brabanter J, et al. Least squares support vector machines[M]. Singapore Island: World Scientific Publishing Co Pte Lte, 2002.
- [13] 董春曦, 饶鲜, 杨绍全, 等. 支持向量机参数选择方法研究[J]. *系统工程与电子技术*, 2004, 26(8) : 1117-1120.
(Dong C X, Rao X, Yang S Q, et al. Method for selecting the parameters of support vector machines [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2004, 26(8) : 1117-1120.)
- [14] Murphy P M, Aha Irvine D W. Department of information and computer science [EB/OL]. (2007). <http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html>.