

文章编号: 1001-0920(2007)05-0545-04

一种多准则纯语言群决策方法

王 坚 强

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对权系数信息和方案的准则值为确定语言等级, 或位于两个语言等级之间, 甚至缺失的群决策问题, 提出一种新的决策方法. 该方法利用证据推理算法对准则权系数和方案值在准则下进行群体集成, 采用二元语义对方案进行语言集结, 并用方案与理想方案的二元语义间距离和群体集成信息等构建非线性规划模型, 使用遗传算法求解优化模型, 进而得到方案的排序. 最后通过实例说明该方法的可行性和有效性.

关键词: 群决策; 多准则决策; 证据推理; 二元语义; 语言评价

中图分类号: C934

文献标识码: A

Multi-criteria group decision-making approach with linguistic assessment information

WANG Jian-qiang

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China. E-mail: jqwang@csu.edu.cn)

Abstract: For group decision-making problems that the decision-makers' weights and the criteria's weights and the decision-makers' preference information are represented by the form of linguistic grade, or between two linguistic grade, or even default, a new approach based on evidential reasoning (ER) and two-tuple is proposed. Using the ER algorithm, the criteria's weights and the alternatives values are aggregated, and their belief degrees belonging to each linguistic grade are worked out and transformed into two-tuple. The nonlinear programming model is constructed based on the two-tuple distances between alternatives and ideal alternative, and the information of weights on decision-makers and criteria. By using genetic algorithms, the optimal weights on decision-makers and criteria is gained, and then the rank of the alternatives is obtained. Finally, an illustrative example shows the feasibility and the effectiveness of the method.

Key words: Group decision-making; Multi-criteria decision-making; Evidential reasoning; Two-tuple; Linguistic assessment

1 引 言

在群决策过程中, 决策者根据自己的知识和经验对方案的重要性进行评价. 由于决策问题本身的模糊性和不确定性, 决策者的最好表达方式是自然语言. 关于决策者的评价信息是自然语言的群决策, 已有许多研究成果^[1-11].

在这些研究中, 主要采用 3 类方法^[1]: 第 1 类方法是将语言评价信息转化成模糊数进行处理^[2], 但需要假设隶属函数, 而这种假设在实际应用中有一定难度. 第 2 类方法是利用语言评价集自身的顺序和性质对语言评价信息进行处理^[3-8], 并用 OWA 和 LOWA 算子及其扩展算子对方案进行集结. 但这类

方法由于事先定义的语言评价集是离散的, 语言信息经运算后, 很难精确对应于初始的语言评价信息集, 通常需要找出一个最贴近的语言短语进行近似, 因此会发生信息的丢失. 第 3 类方法是采用二元语义表示语言评价信息并进行运算^[9-11]. 二元语义是一种基于符号平移概念的语言信息运算方法, 该方法能有效避免在语言决策中语义信息的丢失, 从而保证决策结果的合理性和有效性.

在上述方法中, 大多没有考虑决策者的权系数和方案的准则值可能介于两个语言评价等级之间, 或决策者由于自身知识和经验的缺乏, 对某方案不能确定或无法给出相应语言信息的情形, 而这两种

收稿日期: 2006-01-24; 修回日期: 2006-06-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70572060); 湖南省社会科学基金项目 (05YB74); 湖南省软科学计划项目 (06FJ4126).

作者简介: 王坚强 (1963—), 男, 湖南湘潭人, 教授, 博士, 从事决策理论与应用、风险管理与控制等研究.

情形在实际决策过程中经常存在. 为此, 本文提出一种多准则语言群决策方法, 以满足这类决策的需要.

设语言评价等级集为 $H = \{ H_0, H_1, \dots, H_{2t} \}$, 且 H 有以下属性:

- 1) 有序性: 当 $i > j$ 时, $H_i > H_j$;
- 2) 可逆性: 存在一个逆运算算子 Neg , 当 $i + j = 2t$ 时, 有 $H_i = Neg(H_j)$;
- 3) 极值运算: 当 $i = j$ 时, 极大值 $Max(H_i, H_j) = H_i$, 极小值 $Min(H_i, H_j) = H_j$.

设某群决策问题有 m 个方案 $A = \{ a_1, a_2, \dots, a_m \}$, s 个决策者 $D_M = \{ D_1, D_2, \dots, D_s \}$, 决策者的权重用 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s)$ 表示. 设有 q 个准则, 记为 $C = \{ C_1, C_2, \dots, C_q \}$. 决策者 D_p 给出准则 C_i 的权重为 ρ_i^p , 方案的评价矩阵为 $C^p = (c_{ij}^p)_{m \times q}$. 其中 c_{ij}^p 表示决策者 D_p 根据自己的知识、经验和偏好, 从 H 中选择适当的语言短语, 描述在准则 C_i 下方案 a_i 的值, 该值可能是某个确定的语言等级, 也可能处在两个连续的语言等级之间, 或决策者无法给出其属于任何语言等级. 决策者的权重和决策者给出的准则权系数都是语言评价价值, 它们可能是某个确定的语言等级, 也可能处在两个连续的语言等级之间, 或决策者无法给出其属于任何语言等级. 试确定这些方案的排序.

2 多准则纯语言群决策的求解过程

二元语义采用二元语义组 (H_i, δ_i) 来表示决策者的语言信息. 其中 H_i 为语言等级集中的一个语言等级, δ_i 表示决策者给出的语言信息相对于 H_i 的偏差, 一般有 $\delta_i \in [-0.5, 0.5]$. 本文关于二元语言的定义和运算与文献[1, 10] 相同.

对于决策者给出的评价信息可能介于两个语言等级之间的情况, 用符号 H_{n+} 来表示. 其中 $n \in (0, 1)$, 表示决策者给出的评价信息介于 H_n 与 H_{n+1} 之间, 且相对于 H_n 的偏差程度为 n , 相对于 H_{n+1} 的偏差程度为 $1 - n$.

对于决策者权重, 将语言等级转换为二元语义, 再用 δ^{-1} 转换为 $[0, 2t]$ 间的数. 如果决策者权重 ω_i 信息介于 H_n 与 H_{n+1} 之间, 则 ω_i 的二元语义值对应的数值为 $[\delta^{-1}(H_n, 0), \delta^{-1}(H_{n+1}, 0)]$. 如果决策者的权重 ω_i 不能确定, 则 ω_i 的二元语义值对应的数值为 $[0, 2t]$. 这样便得到决策者的权重 ω_i 的二元语义对应的区间, 不妨设为 $[\omega_i^{\min}, \omega_i^{\max}]$.

根据决策者给出的语言评价信息, 可推断出该评价信息属于标准语言评价等级的信任度:

- 1) 如果 D_p 给出的 c_{ij}^p 为 H_n , 则认为方案 a_i 在准则 C_j 下属于 H_n 的信任度为 $T(p, i, j, n) = 1$;
- 2) 如果 D_p 给出的 c_{ij}^p 为 H_{n+} , 则认为方案 a_i 在

准则 C_j 下属于 H_n 的信任度为 $T(p, i, j, n) = 1 - n$, 属于 H_{n+1} 的信任度为 $T(p, i, j, n + 1) = n$;

- 3) 如果 D_p 不能给出 c_{ij}^p 的评价价值, 即 D_p 无法描述方案 a_i 在准则 C_j 下的优劣程度, 则认为方案 a_i 在准则 C_j 下的评价价值属于任意 H_n 的信任度为 $T(p, i, j, n) = 0$, 其中 $n = 0, 1, \dots, 2t$.

对于决策者给出的准则权系数信息, 也按上述过程处理, 得到矩阵的值为 $U(p, j, n)$.

根据上述规定, 可认为在决策群体看来方案 a_i 在准则 C_j 下的评价价值属于 H_n 的信任度为

$$B(i, j, n) = \sum_{p=1}^s \omega_p T(p, i, j, n), \quad (1)$$

其中 ω_p 是确定的决策者权系数.

多准则纯语言群决策的步骤如下:

步骤 1 准则权系数的群体集成. 将 $U(p, j, n)$

看成证据, 对于确定的决策者的权系数 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s$, 利用下列算法求出准则在各等级下的信任度:

令 h 表示决策者没有指定准则的值到任何一个等级的信任度, 有

$$m_{n,p}(C_j) = \omega_p U(p, j, n), \quad n = 0, 1, \dots, 2t, p = 1, 2, \dots, s.$$

则

$$m_{h,p}(C_j) = 1 - \sum_{n=0}^{2t} m_{n,p}(C_j), \quad p = 1, 2, \dots, s. \quad (2)$$

对于每个等级 H_n , 有^[12]

$$m_{n,p(p+1)}(C_j) = K_{p(p+1)}(C_j) [m_{n,p(p)}(C_j) m_{n,p+1}(C_j) + m_{h,p(p)}(C_j) m_{n,p+1}(C_j) + m_{n,p(p)}(C_j) m_{h,p+1}(C_p)]. \quad (3)$$

对于 h , 有

$$m_{h,p(p+1)}(C_j) = K_{p(p+1)}(C_j) m_{h,p(p)}(a_i) m_{h,p+1}(C_p). \quad (4)$$

取初始值

$$m_{n,p(1)}(C_j) = m_{n,1}(C_j), \quad m_{h,p(j)}(C_j) = m_{h,1}(C_j), \quad K_{p(p+1)}(C_j) = \left(1 - \sum_{x=0}^{2t} \sum_{b=0, b \neq x}^{2t} m_{x,p(p)}(C_j) m_{b,p+1}(C_j) \right)^{-1}.$$

利用上述递归算法, 可得准则 C_j 在等级 H_n 下的信任度^[12]

$$n(C_j) = \frac{1 - h(C_j)}{1 - m_{h,p(q)}(C_j)} m_{n,p(q)}(C_j), \quad (5)$$

其中

$$h(C_j) = \sum_{p=1}^q \omega_p \left(1 - \sum_{n=0}^{2t} U(p, j, n) \right)$$

为未知的准则值产生的信任度. 易知 $n(C_j)$ 为

(1, 2, ..., s) 的非线性函数, 记为 $f_n(C_j, \cdot)$.

步骤 2 方案值在各准则下的群体集成. 将式

(1) 看成证据, 对于确定的权系数 $w_1, w_2, \dots, w_s, w_1, w_2, \dots, w_q$, 利用步骤 1 中算法, 求出各方案在各等级下的信任度 $\mu_n(a_i)$, 它是 $\mu_n = (\mu_{n1}, \mu_{n2}, \dots, \mu_{ns}, \mu_{n1}, \mu_{n2}, \dots, \mu_{nq})$ 的非线性函数, 记为 $f_n(a_i, \cdot)$.

步骤 3 语言符号的集成. 对于方案 a_i , 假设由以上步骤得到在各语言等级下的信任度为 $\mu_0(a_i, \cdot), \mu_1(a_i, \cdot), \dots, \mu_{2t}(a_i, \cdot)$. 根据 ϕ 函数, 各语言等级 H_0, H_1, \dots, H_{2t} 所对应的二元语义为 $(H_0, 0), (H_1, 0), \dots, (H_{2t}, 0)$. 则有

$$\mu_0(a_i, \cdot) + \dots + \mu_{2t}(a_i, \cdot) + h(a_i, \cdot) = 1. \quad (6)$$

令

$$f_n(i, \cdot) = \mu_0(a_i, \cdot) * \phi^{-1}(H_0, 0) + \mu_1(a_i, \cdot) * \phi^{-1}(H_1, 0) + \dots + \mu_{2t}(a_i, \cdot) * \phi^{-1}(H_{2t}, 0).$$

它表示对方案 a_i 进行语言符号集结运算的结果. 根据二元语义 ϕ^{-1} 函数, 有

$$f_n(i, \cdot) = \mu_0(a_i, \cdot) * 0 + \mu_1(a_i, \cdot) * 1 + \dots + \mu_n(a_i, \cdot) * n + \dots + \mu_{2t}(a_i, \cdot) * 2t. \quad (7)$$

$f_n(i, \cdot)$ 的值在区间 $[f_{\min}(i, \cdot), f_{\max}(i, \cdot)]$ 内变化, 其中

$$\begin{aligned} f_{\min}(i, \cdot) &= \mu_1(a_i, \cdot) * 1 + \mu_2(a_i, \cdot) * 2 + \dots + \mu_{2t}(a_i, \cdot) * 2t, \\ f_{\max}(i, \cdot) &= f_{\min}(i, \cdot) + h(a_i, \cdot) * 2t. \end{aligned}$$

因此有 $f_{\max}(i, \cdot) \in [0, 2t]$.

易知 $f_n(i, \cdot)$ 满足二元语义函数 ϕ 的转化条件, 则 $f_n(i, \cdot)$ 可转化为相应的二元语义

$$\begin{cases} \phi(f_n(i, \cdot)) = (H_n, i) = \\ H_n, n = \text{Round}(f_n(i, \cdot)); \\ i = f_n(i, \cdot) - n. \end{cases} \quad (8)$$

同理, 准则权系数的集成值 $f_j(\cdot)$ 在区间 $[f_j^{\min}(\cdot), f_j^{\max}(\cdot)]$ 内变化, 其中

$$\begin{aligned} f_j^{\min}(\cdot) &= w_1(C_j, \cdot) * 1 + w_2(C_j, \cdot) * 2 + \dots + w_{2t}(C_j, \cdot) * 2t, \\ f_j^{\max}(\cdot) &= f_j^{\min}(\cdot) + h(C_j, \cdot) * 2t. \end{aligned}$$

步骤 4 模型的建立. 记理想方案为 I^+ , 易知方案 I^+ 在每个语言等级下的信任度为 $\mu_n(I^+) = 0$, 其中 $n = 0, 1, \dots, 2t - 1, \mu_{2t}(I^+) = 1$.

根据式(7), 易知 $\phi(I^+) = 2t$. 根据 ϕ 函数, 理想方案 I^+ 被集结为二元语义 $(H_{2t}, 0)$.

二元语义之间的距离定义为

$$d(i, a_i) = (|\phi^{-1}[f_n(i, \cdot)] - \phi^{-1}(H_{2t}, 0)|). \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} &|\phi^{-1}[f_n(i, \cdot)] - \phi^{-1}(H_{2t}, 0)| = \\ &(|\phi^{-1}[f_n(\min(i, \cdot))] - \phi^{-1}(H_{2t}, 0)| + \\ &|\phi^{-1}[f_n(\max(i, \cdot))] - \phi^{-1}(H_{2t}, 0)|) / 2. \end{aligned}$$

上式表示方案 a_i 与理想方案 I^+ 之间的距离. 显然, a_i 与 I^+ 越接近则方案越优.

根据二元语义 ϕ 和 ϕ^{-1} 函数的性质, 式(9)可转化为

$$d(i, a_i) = (|f_n(i, \cdot) - 2t|), \quad (10)$$

其中

$$f_n(i, \cdot) = \min(i, \cdot) + h(a_i, \cdot) * t.$$

由于 $f_n(i, \cdot) \leq 2t$, 式(10)可转化为

$$d(i, a_i) = (2t - f_n(i, \cdot)). \quad (11)$$

为此, 对每一方案 a_i 建立下列模型:

$$\begin{aligned} \min d(i, a_i) &= (2t - f_n(i, \cdot)), \\ \text{s. t. } &\begin{cases} p = p / \sum_{k=1}^s k, \\ p \in [p^{\min}, p^{\max}]; \\ j = j(\cdot) / \sum_{k=1}^s k(\cdot), \\ j(\cdot) \in [j^{\min}(\cdot), j^{\max}(\cdot)]. \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

二元语义 ϕ 函数为单调递增函数^[10], 根据式(8)可将式(12)转化为

$$\begin{aligned} \min d^+(a_i, \cdot) &= \\ 2t - \sum_{n=0}^{2t} n * \mu_n(a_i, \cdot) - t * h(a_i, \cdot), \\ \text{s. t. } &\text{同式(12)}. \end{aligned} \quad (13)$$

由于各方案是公平竞争的, 每一方案与理想方案的距离应来自同一组权系数, 必须对其进行综合. 综合式(13)得

$$\begin{aligned} \min_{i=1}^m d^+(a_i, \cdot) &= \\ \min_{i=1}^m (2t - \sum_{n=0}^{2t} n * B_n(a_i, \cdot) - t * h(a_i, \cdot)), \\ \text{s. t. } &\text{同式(12)}. \end{aligned} \quad (14)$$

步骤 5 模型的求解. 目标函数中的 $\mu_n(a_i, \cdot)$ 是由证据推理的递归算法求出的, 因此模型(14)是一个有约束条件的非线性规划模型, 利用传统的算法较难解出. 这里采用遗传算法求解^[11], 利用惩罚策略并通过构造罚函数惩罚不可行解, 将约束问题转为无约束问题. 遗传算法的每代种群中保持部分不可行解, 从而可从可行域和不可行域两边搜索到最优解.

步骤 6 计算方案与理想方案的距离. 根据遗传算法求解式(14)得出 μ_n 和 μ_{2t} , 代入式(11)得出方

案 a_i 与理想方案 I^+ 之间的二元语义距离 (d_i, a_i) .

根据二元语义的有序性,按 (d_i, a_i) 从小到大排序,从而得到方案集 A 的一个从优到劣的排序.

3 实例计算

在某多准则决策问题中, D_1, D_2, D_3 为 3 个决策者, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 为 5 个决策方案, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 为 5 个准则. 各准则的评价等级为

$$H = \{ \text{很不优秀, 不优秀, 优秀,} \\ \text{很优秀, 非常优秀} \} = \\ \{ H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 \}.$$

决策者的权重评价等级也采用 5 级表示, 只是将 H 中的优秀换成重要, 因此仍记为 H .

决策者给出的准则权系数信息如表 1 所示, 决策者给出的评价信息如表 2 所示. 如果无法判断, 则采用“—”表示. 3 个决策者的权重信息为 $H_{3.5}, H_{2.5}, H_3$. 试确定各方案的排序.

表 1 决策者给出的准则权系数

D	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
D_1	H_2	$H_{3.5}$	$H_{0.5}$	H_3	H_4
D_2	$H_{1.5}$	H_4	H_1	—	H_3
D_3	$H_{2.5}$	H_3	—	H_4	$H_{2.5}$

表 2 决策者给出的各方案评价信息

D_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
a_1	H_2	$H_{3.5}$	$H_{0.5}$	H_3	H_4
a_2	$H_{0.5}$	H_2	H_1	—	—
a_3	$H_{3.5}$	H_3	H_2	H_3	$H_{2.5}$
a_4	H_1	—	H_1	H_2	$H_{0.5}$
a_5	H_0	—	$H_{1.5}$	$H_{3.5}$	H_2

D_2	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
a_1	H_2	H_4	H_4	$H_{3.5}$	H_4
a_2	H_0	H_2	$H_{3.5}$	$H_{3.5}$	$H_{2.5}$
a_3	H_0	$H_{0.5}$	H_2	H_2	H_2
a_4	$H_{0.5}$	$H_{0.5}$	H_2	H_2	H_3
a_5	H_0	$H_{1.5}$	H_2	H_1	H_2

D_3	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
a_1	H_2	$H_{2.5}$	$H_{3.5}$	$H_{3.5}$	$H_{3.5}$
a_2	$H_{1.5}$	H_2	H_2	$H_{3.5}$	$H_{2.5}$
a_3	$H_{0.5}$	H_2	H_2	$H_{2.5}$	$H_{1.5}$
a_4	$H_{0.5}$	$H_{0.5}$	$H_{1.5}$	H_2	$H_{1.5}$
a_5	$H_{0.5}$	$H_{1.5}$	$H_{2.5}$	$H_{2.5}$	H_2

根据上述方法建立模型, 并用遗传算法在 Matlab 环境中编程进行求解, 得到各方案的排序为

$$a_1 > a_3 > a_2 > a_5 > a_4.$$

通过灵敏度分析和对表 1 数据进行分析, 可知上述

结果是合理的.

文献[6]给出了准则权系数和准则值为确定语言短语时的一种语言群决策方法. 当选取决策者权重为同等重要时, 利用本文方法得到方案的排序与文献[6]方法的排序相同. 但文献[6]方法无法求解上述类似的语言群决策问题.

4 结 语

本文针对多准则纯语言群决策问题, 提出一种基于证据推理和二元语义的群决策方法. 该方法不仅适用于无法给出某些决策者权重以及某些准则权重或某些方案值在某准则下评价的情形, 而且适用于决策者权重或准则权重以及决策者的评价信息介于两个连续语言评价短语之间的情形. 实例计算表明, 该方法是合理、有效和可行的. 在区域投资环境选择与评价、产品选型、投资组合、人员评估等相关决策领域, 这种群决策方法具有较高的应用价值.

参考文献(References)

- [1] 李洪燕, 樊治平. 一种基于群体语言判断矩阵的群决策问题的二元语义解法[J]. 系统工程, 2003, 21(5): 104-108.
(Li H Y, Fan Z P. A decision making method for group linguistic judgment matrix based on two-tuple [J]. Systems Engineering, 2003, 21(5): 104-108.)
- [2] 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, 15(2): 148-152.
(Xu Z S, Da Q L. Multi-attribute decision making based on fuzzy linguistic assessments [J]. J of Southeast University, 2002, 15(2): 148-152.)
- [3] Xu Z S, Da Q L. Method based on fuzzy linguistic sale and FLOWGA operator for decision-making problems [J]. J of Southeast University, 2003, 19(1): 88-91.
- [4] 徐泽水. 基于模糊语言评估和 GIOWA 算子的多属性群决策方法[J]. 系统科学与数学, 2004, 24(2): 218-224.
(Xu Z S. Method based on fuzzy linguistic assessment and GIOWA operator in multi-attribute group decision-making [J]. J of System Science and Mathematical Science, 2004, 24(2): 218-224.)
- [5] Herrera F, Herrera V E. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 115(1): 67-82.
- [6] 王欣荣, 樊治平. 群决策中基于语言信息处理的一种理想点法[J]. 中国管理科学, 2002, 10(6): 84-87.
(Wang X R, Fan Z P. A TOPSIS method with linguistic information for group decision making[J]. Chinese J of Management Science, 2002, 10(6): 84-87.)

(下转第 553 页)

间模型. 其中: $A = [0.973 \ 62]$, $B = [0.040 \ 53]$, $C = [2.433 \ 7]$, $D = [0.000 \ 12]$. 模型响应与验证数据的匹配精度如图 4 所示.

利用辨识得到的状态空间模型构造式 (13) 的预测模型, 建立非线性预测控制器, 并用拟牛顿法求解非线性预测控制律, 最终得到闭环仿真控制结果如图 5 所示. 从图中可以看出, 控制效果较为理想.

6 结 语

本文针对工业控制领域的非线性系统, 运用最小二乘支持向量机函数估计理论进行非线性 N4SID 模型辨识, 建立了基于支持向量机的非线性状态空间预测模型; 在此基础上实现了一种非线性预测控制算法, 并用拟牛顿法进行每一周期内的非线性优化求解; 最后以非线性液位控制为例进行仿真研究, 验证了这一非线性预测控制的有效性和可行性.

关于支持向量机与预测控制相结合的研究, 这里只是作了初步尝试, 而更多的工作还有待继续. 例如: 1) 如何使算法的收敛速度加快; 2) 如何选择支持向量机的核函数; 3) 如何保证这类方法的稳定性和鲁棒性. 深入研究这些问题, 有望形成一套系统的基于支持向量机的非线性预测控制理论与方法.

参考文献 (References)

- [1] Vapnik V N, Golowich S, Smola A. Support vector method for function approximation, regression estimation and signal processing [C]. Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge: MIT Press, 1996: 281-287.
- [2] Drucker H, Burges C J C, Kaufman L, et al. Support vector regression machines [C]. Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge: MIT Press, 1997: 155-161.
- [3] Vapnik V N. The nature of statistical learning theory [M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1999.
- [4] 王宇红, 黄德先, 高东杰, 等. 基于 LS-SVM 的非线性预测控制技术 [J]. 控制与决策, 2004, 19(4): 383-387.
(Wang Y H, Huang D X, Gao D J, et al. Nonlinear predictive control based on LS-SVM [J]. Control and Decision, 2004, 19(4): 383-387.)
- [5] Suykens J A K, Vandewalle J, Moor B D. Optimal control by least squares support vector machines [J]. Neural Networks, 2001, 14(1): 23-35.
- [6] Suykens J K A, Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers [J]. Neural Processing Letters, 1999, 9(3): 293-300.
- [7] Suykens J K A. Nonlinear modelling and support vector machines [C]. Proc of the IEEE-IMTC 2001 State-of-the-Art Lecture. Budapest, 2001: 287-294.
- [8] Goethals I, Pelckmans K, Suykens J K A, et al. Subspace identification of hammerstein systems using least squares support vector machines [J]. IEEE Trans on Automatic Control: Special Issue on System Identification, 2005, 50(10): 1509-1519.
- [9] Norgaard M, Ravn O, Poulsen N K, et al. Neural networks for modeling and control of dynamic systems [M]. New York: Springer, 2000.
- [10] Camacho E F, Bordons C. Model predictive control [M]. London: Springer, 1999.
- [7] 王欣荣, 樊治平. 一种基于语言评价信息的多指标群决策方法 [J]. 系统工程学报, 2003, 18(2): 173-176
(Wang X R, Fan Z P. Approach to multiple attribute group decision making with linguistic assessment information [J]. J of Systems Engineering, 2003, 18(2): 173-176.)
- [8] Xu Z S. Uncertain linguistic aggregation operators based approach to multiple attribute group decision making under uncertain linguistic environment [J]. Information Sciences, 2004, 168: 171-184.
- [9] 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.
- [10] Delgado M, Herrera F. A communication model based on 2-tuple fuzzy linguistic representation for a distributed intelligent agent system on internet [J]. Soft Computing, 2002, 6(3): 320-328.
- [11] 王坚强. 基于离差优化的信息不完全确定的多准则分类方法 [J]. 控制与决策, 2006, 21(5): 513-516.
(Wang J Q. Multi-criteria classification approach with incomplete certain information base on optimizing deviation of categories [J]. Control and Decision, 2006, 21(5): 513-516)
- [12] Yang J B, Singh M G. An evidential reasoning approach for multiple attribute decision making with uncertainty [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1994, 24(1): 1-18.

(上接第 548 页)