第21卷 第8期
Vol 21 No. 8

控 制 与 决 策
Control and Decision

2006年8月
Aug 2006

文章编号: 1001-0920(2006)08-0889-04

群决策中两类不确定偏好信息的集结方法研究

朱建军
(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016)

摘　要: 研究区间数互反判断矩阵和区间数互补判断矩阵的集结. 采用UOWA算子将决策者的偏好信息集结为区间数互反判断矩阵和互补判断矩阵两种形式, 结合决策者给出的允许偏差, 定义群满意度隶属函数, 建立求解群偏好一致程度最大化的权重模型. 为解决模型存在多组最优解问题, 在第2阶段建立群偏好权重分布范围估计模型, 研究模型所具有的性质. 最后通过区间数比较的可能度方法排定各方案的最终优劣顺序.

关键词: 群决策; 不确定偏好; 集结; 模糊规划
中图分类号: C943　　**文献标识码**: A

Group Aggregation Approach of Two Kinds of Uncertain Preference Information

ZHU Jian-jun
(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China. E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn)

Abstract: The group aggregation approach of interval number reciprocal comparison matrix and interval number complementary comparison matrix is studied. First, the uncertain ordered weighted averaging (UOWA) is used to aggregate the decision-maker's different preference information into the interval number comparison matrix. Then, the group's overall satisfaction membership function is defined based on the decision-making's allowable error. The maximal group consistency weight model is established. At the second stage, a weight distributing region model is developed to solve the multi-optimization solution problem in the former model. The properties of these models are studied. Finally, based on the possibility degree, the group's weights are ranked to obtain the ultimate order.

Key words: Group decision making; Uncertain preference; Aggregation; Fuzzy programming

1 引　　言

群决策中决策者判断信息的集结分为结构相同和结构不同的集结, 针对结构相同的集结的研究取得了许多研究成果[1,2], 而结构不同的集结的研究是一个新课题, 迄今也取得了一定的研究成果[3~6]. 由于决策问题的复杂性、不确定性以及人类思维的模糊性, 采用确定偏好信息来刻画复杂问题往往是不现实的.

近年来, 基于复杂环境的不确定决策引起了学者们的广泛关注. 文献[7,8]总结了国内外不确定决策领域的最新进展, 但仅局限于单一偏好信息的处理, 因此研究结构不同的不确定信息集结, 不仅具有学术价值, 而且具有广阔的应用前景. 文献[9,10]在研究区间数互反判断矩阵的权重时, 建立模糊规划求解, 但所建立模型具有多个最优解, 从而造成求解结果的不唯一性. 为此, 本文研究两类不确定判断矩阵的集结, 采用UOWA算子[8]将群偏好集结为区间数互反和互补形式, 进而提出基于模糊规划的二阶段集结模型.

2 集结模型建立

2.1 基本概念

定义1[11]　称$\bar{A} = (\bar{a}_{ij})_{n\times n}$为区间数互反判断矩阵. 其中: $\bar{a}_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$, $a_{ij}^L \le a_{ij}^U$, a_{ij}^U表示a_{ij}的上限, a_{ij}^L表示a_{ij}的下限, $\bar{a}_{ji} = [1/a_{ij}^U, 1/a_{ij}^L]$, $\bar{a}_{ii} = [1,$

收稿日期: 2005-06-06; **修回日期**: 2005-10-17.
基金项目: 中国博士后科学研究基金项目(2005038575); 江苏省博士后科学研究基金项目(苏人通[2005]255号).
作者简介: 朱建军(1976—), 男, 江苏丹阳人, 讲师, 博士后, 从事多属性决策理论与方法、决策支持系统等研究.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1].

定义 2[12] 称判断矩阵 $\bar{B}=(\bar{b}_{ij})_{n\times n}$ 为区间数互补判断矩阵. 其中: $\bar{b}_{ij}=[b_{ij}^L, b_{ij}^U]$, $b_{ij}^L\leq b_{ij}^U$, $\bar{b}_{ji}=[1-b_{ij}^U, 1-b_{ij}^L]$, $\bar{b}_{ii}=[0.5, 0.5]$.

定义 3[13] 称区间数互反判断矩阵具有完全一致性, 若 $\forall i, j$, $a_{ij}^L\leq w_i/w_j\leq a_{ij}^U$. 其中 w_i 为判断矩阵的权重, $i=1,\cdots,n$.

定义 4 称区间数互补判断矩阵具有加性完全一致性, 若 $\forall i, j$, $b_{ij}^L\leq(1+w_i'-w_j')/2\leq b_{ij}^U$. 其中 w_i' 为判断矩阵的权重, $i=1,\cdots,n$.

2.2 基于模糊规划的两类不确定判断矩阵的集结方法

2.2.1 基于 UOWA 算子的集结方法

假设决策者给出两类不确定判断矩阵来表达其偏好信息. 其中: 专家 $i=1,\cdots,m$ 给出区间互反判断矩阵, 记作集合 I, 并将区间数判断矩阵记为 $\bar{A}_i$, $i\in I$; 专家 $i=m+1,\cdots,n$ 给出区间数互补判断矩阵, 记作集合 J, 并将区间数互补判断矩阵记为 $\bar{B}_j$, $j\in J$. 若有决策者给出确定性的互反判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n\times n}$ 或互补判断矩阵 $B=(b_{ij})_{n\times n}$, 则分别写成区间数互反判断矩阵 $\bar{A}'$ 和区间数互补判断矩阵 $\bar{B}'$. 其中: $\bar{A}'=([a_{ij}, a_{ij}])_{n\times n}$, $\bar{B}'=([b_{ij}, b_{ij}])_{n\times n}$. 针对 $\bar{A}_i$, $i\in I$, 采用不确定 OWA (Uncertain ordered weighted averaging, UOWA) 算子进行集结[8], 则得到一个区间数互反判断矩阵 $\bar{A}$. 采用同样的方法处理 $\bar{B}_j$, $j\in J$, 可得到 $\bar{B}$.

2.2.2 基于模糊规划的二阶段集结方法

基于 2.2.1 节的 UOWA 集结方法, 专家群的意见被集结为两类不确定判断矩阵, 即区间数互反判断矩阵 $\bar{A}$ 和区间数互补判断矩阵 $\bar{B}$. 下面讨论这两类结构不同的偏好信息集结方法. 设决策者采用区间数互反判断矩阵 $\bar{A}=([a_{ij}^L, a_{ij}^U])_{n\times n}$ 表达其偏好信息, 记 w_i 为 $\bar{A}$ 的权重, 当 $\bar{A}$ 具有一致性时, 根据定义 3, 有

$$a_{ij}^L\leq w_i/w_j\leq a_{ij}^U. \tag{1}$$

当区间数互反判断矩阵不具有一致性时, 式(1) 无法满足. 由于决策问题的复杂性和人类判断思维的模糊性, 若在一定偏差内满足式(1) 也是允许的. 因此有

$$a_{ij}^L\,\tilde{\leq}\,w_i/w_j\,\tilde{\leq}\,a_{ij}^U. \tag{2}$$

其中 $\tilde{\leq}$ 表示模糊小于、等于.

将式(2) 变形, 得

$$a_{ij}^Lw_j-w_i\,\tilde{\leq}\,0,\ w_j-a_{ij}^Uw_j\,\tilde{\leq}\,0. \tag{3}$$

若决策者采用区间数互补判断矩阵 $\bar{B}=([b_{ij}^L, b_{ij}^U])_{n\times n}$ 表达其偏好信息, 记 w_i' 为 $\bar{B}$ 的权重, 则由定义 4 得

$$b_{ij}^L\leq\frac{1+w_i'-w_j'}{2}\leq b_{ij}^U. \tag{4}$$

同理, 决策者给出的区间数互补判断矩阵可能不满足式(4) 的约束条件, 因此允许在一定的决策偏差范围内满足式(4), 从而有

$$b_{ij}^L\,\tilde{\leq}\,\frac{1+w_i'-w_j'}{2}\,\tilde{\leq}\,b_{ij}^U. \tag{5}$$

式(5) 可化简为

$$2b_{ij}^L-w_i'+w_j'-1\,\tilde{\leq}\,0,$$
$$w_i'-w_j'+1-2b_{ij}^U\,\tilde{\leq}\,0. \tag{6}$$

根据群决策集结的结果应尽可能地满足各决策者意愿的原则, 对采用 UOWA 算子集结得到的区间数互反判断矩阵 $\bar{A}$ 和互补判断矩阵 $\bar{B}$, 式(3) 和(6) 中 $w_i=w_i'$, $i=1,\cdots,n$. 将这两式联列成如下不等式:

$$\begin{cases}\begin{cases}a_{ij}^Lw_j-w_i\,\tilde{\leq}\,0,\\ w_i-a_{ij}^Uw_j\,\tilde{\leq}\,0;\end{cases}\\ \begin{cases}2b_{ij}^L-w_i+w_j-1\,\tilde{\leq}\,0,\\ w_i-w_j+1-2b_{ij}^U\,\tilde{\leq}\,0.\end{cases}\end{cases} \tag{7}$$

式(7) 可简写成

$$\begin{cases}R_Aw\,\tilde{\leq}\,0, & (8)\\ R_Bw\,\tilde{\leq}\,0. & (9)\end{cases}$$

根据区间数判断矩阵的互反、互补特点($\bar{a}_{ij}=[1/a_{ij}^U, 1/a_{ij}^L]$ 和 $\bar{b}_{ji}=[1-b_{ij}^U, 1-b_{ij}^L]$), 处理上对角线位置上的元素即可, 即 $1\leq i<j\leq n$. 因此, 式(8) 和(9) 所表示的式子分别有 $(n(n-1))/2\times 2$ 行. 每一行对应于一个模糊集, 其隶属度 μ_{Ai}, μ_{Bi} 表示决策者对第 i 行约束满足的满意程度, 一般应满足下列条件: 当限制被严重违反时, $\mu_{Ai}=0$, $\mu_{Bi}=0$; 当限制完全满足时, $\mu_{Ai}=1$, $\mu_{Bi}=1$; 随着限制从被严重违反到完全满足时, μ_{Ai} 和 μ_{Bi} 从 0 单调地增加到 1. 因此, 将 μ_{Ai} 和 μ_{Bi} 定义为

$$\mu_{Ai}=\begin{cases}1, R_Aw\leq 0;\\ 1-\dfrac{R_Aw}{\delta_{Ai}}, 0<R_Aw\leq\delta_{Ai};\\ 0, R_Aw>\delta_{Ai}.\end{cases} \tag{10}$$

$$\mu_{Bi}=\begin{cases}1, R_Bw\leq 0;\\ 1-\dfrac{R_Bw}{\delta_{Bi}}, 0<R_Bw\leq\delta_{Bi};\\ 0, R_Bw>\delta_{Bi}.\end{cases} \tag{11}$$

其中: $i=1,\cdots,n(n-1)$; δ_{Ai} 和 δ_{Bi} 为约束容许违反限度. 文献[9, 10] 的隶属度函数的设置并不完善,

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本文按文献[14] 说明进行改进.

很多文献都提及其设置方法, 但均存在不足之处, 因为互反判断矩阵是基于 1-9 标度, 而互补判断矩阵是基于 0.1-0.9 标度, 因此 $\delta_{Ai} \neq \delta_{Bi}$. 据文献[10], 从可行域角度有 $\delta_{Ai} \leq 1, \delta_{Bi} \leq 1$, 但无法体现决策精度. 一般地, δ_{Ai} 与 $a_{ij}^U - a_{ij}^L$ 有关, δ_{Bi} 与 $b_{ij}^U - b_{ij}^L$ 有关, $a_{ij}^U - a_{ij}^L$ 和 $b_{ij}^U - b_{ij}^L$ 越大, 则相应的 δ_{Ai} 和 δ_{Bi} 也可相应设大, 因此本文提出如下设置方法:

$$\delta_{Ai} = (a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi,$$
$$\delta_{Bi} = (b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi. \tag{12}$$

ξ 为常数, 决策精度随 ξ 增大而逐步减小, $\xi \leq 1/(a_{ij}^U - a_{ij}^L)$, $\xi \leq 1/(b_{ij}^U - b_{ij}^L)$, 决策者应根据对问题的认识程度给出相应的数值. 决策者对 $w_i (i = 1, \cdots, n)$ 满足式(8), (9) 的满意度可定义为

$$\mu = \min_{i=1,\cdots,n(n-1)} (\mu_{Ai}, \mu_{Bi}). \tag{13}$$

如果决策者需要一个确定的策略, 一种处理方法是建议选择使式(13) 取最大值时的权重 $w_i, i = 1, \cdots, n$. 由此, 引入新变量 λ, $0 \leq \lambda \leq 1$, 使 $\lambda = \mu$, λ 表示 w_i 满足式(8), (9) 的程度, $\lambda \leq \mu_{Ai}, \lambda \leq \mu_{Bi}$, 而决策准则是 λ 值越大越好. 由此得到线性规划模型 P_1 为

$$\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\text{s.t.} \\
&\lambda\delta_{Ai} + R_A w \leq \delta_{Ai}, i = 1, \cdots, n(n-1); \\
&\lambda\delta_{Bi} + R_B w \leq \delta_{Bi}, i = 1, \cdots, n(n-1); \\
&0 \leq \lambda \leq 1, w \geq 0.
\end{aligned} \tag{14}$$

将 $R_A w$, $R_B w$ 和 δ_{Ai}, δ_{Bi} 代入 P_1, 综合权重的归一化条件, 即 $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$, 可得到线性规划 P_2 为

$$\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\text{s.t.} \\
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi\lambda + a_{ij}^L w_j - w_i \leq \\
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi, 1 \leq i < j \leq n; \\
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi\lambda + w_i - a_{ij}^U w_j \leq \\
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi, 1 \leq i < j \leq n; \\
&(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi\lambda + 2b_{ij}^L - w_i + w_j - 1 \leq \\
&(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi, 1 \leq i < j \leq n; \\
&(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi\lambda + w_i - w_j + 1 - 2b_{ij}^L \leq \\
&(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi, 1 \leq i < j \leq n; \\
&\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, 0 \leq \lambda \leq 1, w_i \geq 0, \\
&\qquad i = 1, \cdots, n.
\end{aligned} \tag{15}$$

记模型 P_2 的最优解为 λ^*, 则有如下定理:

定理 1　若 $\lambda^* = 1$, 则专家群的意见完全一致; 反之亦然.

证明　若 $\lambda^* = 1$, 则由模型 P_2 可得必有 $w_i (i = 1, \cdots, n)$ 同时满足

$$\begin{aligned}
&a_{ij}^L w_j - w_i \leq 0, \\
&w_i - a_{ij}^U w_j \leq 0, \\
&2b_{ij}^L - w_i + w_j - 1 \leq 0, \\
&w_i - w_j + 1 - 2b_{ij}^L \leq 0,
\end{aligned}$$

易得式(1) 和(4) 同时成立. 由此可见, 专家群的意见完全一致. 反之, 若专家群的意见完全一致, 则有式(1) 和(4) 同时成立, 于是有 $w_i (i = 1, \cdots, n)$ 同时满足条件

$$\begin{aligned}
&a_{ij}^L w_j - w_i \leq 0, \\
&w_i - a_{ij}^U w_j \leq 0, \\
&2b_{ij}^L - w_i + w_j - 1 \leq 0, \\
&w_i - w_j + 1 - 2b_{ij}^L \leq 0.
\end{aligned}$$

则必有 $\lambda^* = 1$. □

定理 2　若 $\lambda^* < 1$, 则说明专家群的意见不完全一致, 且 λ^* 越小, 意见越不一致.

证明　若 $\lambda^* < 1$, 不存在 $w_i (i = 1, \cdots, n)$ 同时满足条件

$$\begin{aligned}
&a_{ij}^L w_j - w_i \leq 0, \\
&w_i - a_{ij}^U w_j \leq 0, \\
&2b_{ij}^L - w_i + w_j - 1 \leq 0, \\
&w_i - w_j + 1 - 2b_{ij}^L \leq 0.
\end{aligned}$$

由此即可说明专家群的意见不完全一致. 若 λ^* 越小, 则根据式(13) 的定义, 式(8) 和(9) 的符合程度越低, 由此说明专家群的意见越不一致. □

根据定理 1 和定理 2, 可以将 λ^* 作为专家意见一致性程度的度量指标. 若模型 P_2 的可行域为空, 则可适当增大 ξ, 若较大的 ξ 下可行域仍为空, 则说明专家群的意见完全相左, 在这种情况下, 应检查并重新给出各自的判断.

一般地, 模型 P_2 有可能存在多组最优解, 因此可以将 λ^* 作为约束条件, 重新构建求解模型, 从而得到基于专家意见一致性程度 λ^* 情况下的权重 w_i 的分布范围. 第 2 阶段过程 P_3 为

$$\max / \min w_i, \quad i = 1, \cdots, n.$$
$$\text{s.t.} \begin{cases} \lambda = \lambda^*, \\ \text{同 } P_2. \end{cases} \tag{16}$$

定理 3　若模型 P_2 存在最优解, 则模型 P_3 一定存在最优解.

证明　模型 P_2 存在最优解, 说明其可行域非空, 即存在满足条件

$$\begin{aligned}
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi\lambda + a_{ij}^L w_j - w_i \leq (a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi, \\
&(a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi\lambda + w_i - a_{ij}^U w_j \leq (a_{ij}^U - a_{ij}^L)\xi, \\
&(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi\lambda + 2b_{ij}^L - w_i + w_j - 1 \leq
\end{aligned}$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi$,

$(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi\lambda + w_i - w_j + 1 - 2b_{ij}^L \leq$

$(b_{ij}^U - b_{ij}^L)\xi$

的 w_i, $i = 1, \cdots, n$, 而模型 P_3 的可行域与 P_2 相同, 故其一定存在最优解. □

本文提出基于模糊规划的二阶段群集结方法, 需先后求解模型 P_2 和 P_3, 模型 P_3 中约束条件除增加了 $\lambda = \lambda^*$ 外, 其余均与模型 P_2 相同, 可采用 Lingo7 软件进行计算. 求解模型 P_3, 在群意见的一致性程度 λ^* 条件下, 专家群的集结权重 w_i 被表示成 $w_i = [w_i^L, w_i^U]$ $(i = 1, \cdots, n)$ 的形式. 至此, 专家群关于各方案的权重分布范围已知, 决策者可以对以区间数形式表示的权重进一步排序(如文献[8]的方法), 从而确定各方案的最终优劣顺序.

3 算例分析

某风险投资公司有一笔资金要进行最优投资, 有 4 个备选方案, 即某生物制药公司, 某食品公司, 某时装公司, 某计算机软件公司. 由公司聘请 m 个专家进行决策 $(m \geq 2)$, 分别给出基于区间数互反判断矩阵和区间数互补判断矩阵的两种形式判断.

Step 1: UOWA 集结. 基于 2.2.1 节介绍的方法进行 UOWA 集结, 根据专家给出的判断矩阵类型, 分别将 m 个不确定判断矩阵集结为两类判断矩阵(具体过程略), 设得 $\bar{A}$ 和 $\bar{B}$ 如下:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} [1,1] & [1,3] & [1/3,1] & [1/3,1] \\ [1/3,1] & [1,1] & [1/4,1/2] & [1/5,1/3] \\ [1,3] & [2,4] & [1,1] & [1/2,1] \\ [1,3] & [3,5] & [1,2] & [1,1] \end{bmatrix},$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} [0.5,0.5] & [0.4,0.6] & [0.4,0.5] & [0.3,0.5] \\ [0.4,0.6] & [0.5,0.5] & [0.3,0.5] & [0.3,0.4] \\ [0.5,0.6] & [0.5,0.7] & [0.5,0.5] & [0.3,0.5] \\ [0.5,0.7] & [0.6,0.7] & [0.5,0.7] & [0.5,0.5] \end{bmatrix}.$$

Step 2: 计算群一致性程度, 估计分布范围. 求解模型 P_2 得到 $\lambda^* = 1$, 说明专家组达成了一致的意见. 求解模型 P_3 得 $w_1 = [0.133, 0.3]$, $w_2 = [0.077, 0.3]$, $w_3 = [0.222, 0.369]$, $w_4 = [0.3, 0.492]$.

Step 3: 基于可能度, 比较区间权重的大小. 根据文献[8]的方法建立可能度矩阵, 得

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.957 & 0.248 & 0 \\ 0.043 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.752 & 1 & 0.5 & 0.204 \\ 1 & 1 & 0.796 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

由此有 $w_1 \overset{0.957}{>} w_2, w_1 \overset{0.248}{>} w_3, w_1 \overset{0}{>} w_4, w_2 \overset{0}{>} w_3, w_2 \overset{0}{>} w_4, w_3 \overset{0.204}{>} w_4$. 求解可能度矩阵 P 得到各专家群的权重为

$$w_1'' = 0.213, w_2'' = 0.068,$$
$$w_3'' = 0.307, w_4'' = 0.412,$$

得到专家群的意见为

$$w_4 \overset{0.796}{>} w_3 \overset{0.752}{>} w_1 \overset{0.957}{>} w_2.$$

4 结 语

随着社会决策问题的日益复杂, 参与决策的人数越来越多, 群决策技术在社会各个领域都得到了广泛应用. 决策者可能给出各种结构不同的偏好信息, 而且在一些决策情况下, 以确定的偏好信息来刻画复杂问题往往是不现实的. 因此, 迫切需要研究基于多种不同结构的不确定偏好信息集结方法. 对此, 本文提出了基于模糊规划的二阶段群集结方法. 该方法能处理区间数互反判断矩阵和区间数互补判断矩阵两种形式, 应用简单, 有较大的实用价值.

参考文献(References)

[1] Ray T, Triantaphyllou E. Evaluation of Rankings with Regard to the Possible Number of Agreements and Conflicts[J]. *European J of Operational Research*, 1998, 106(1): 129-136.

[2] Beynon M, Curry B, Morgan P. The Dempster-shafer Theory of Evidence: An Alternative Approach to Multicriteria Decision Modeling[J]. *Omega*, 2000, 28(1): 37-50.

[3] Chiclana F, Herrera F. Integrating Three Representation Models in Fuzzy Multipurpose Decision-making Based in Fuzzy Preference Relations[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1998, 97(1): 33-48.

[4] Delgado M, Herrera F, Herrera V. Combining Numerical and Linguistic Information in-group Decision-making[J]. *Information Sciences*, 1998, 107(1): 177-194.

[5] 肖四汉, 樊治平, 王梦光. 群决策中两类判断矩阵的一种集成方法[J]. *控制与决策*, 2001, 16(5): 569-572.
(Xiao S H, Fan Z P, Wang M G. Integrated Approach to Two Judgement Matrices in Group Decision Making[J]. *Control and Decision*, 16(5): 569-572.)

[6] 徐泽水. 多属性决策中四类偏好信息的一种集成途径[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(11): 117-120.
(Xu Z S. An Approach to Integrating Four Types of Preference Information in Multi-attribute Decision Making[J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2002, 22(11): 117-120.)

[7] Yager R. Uncertainty Modeling and Decision Support[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2004, 85(1): 341-354.

(下转第 897 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有必要求出. MR-LQ 设计理论是对 LQ 的进一步完善和发展, 着眼于鲁棒稳定性和鲁棒跟踪性能的永磁同步电动机的MR-LQ 渐近解耦最优电流控制, 也是解决矢量控制对参数变化敏感问题的有效方法之一.

参考文献(References)

[1] Hiroshi Takami. An Optimal Current-control of Permanent Magnet Synchronous Motor by LQ Design Method [J]. *Trans of the Society of Instrument and Control Engineers*, 2002, 38(8): 718-725.

[2] Takao Fujii. A New Approach to the LQ Design from the Viewpoint of the Inverse Regulator Problem [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1987, 32(11): 995-1004.

[3] Masakazu Fujii, Takao Fujii. Reference Model Based LQ Servo Design Method [A]. *Proc of the 46th Annual Conf of the Institute of System, Control and Information Engineers* [C]. Kyoto: Institute of System, Control and Information Engineers, 2002, 1009: 17-18.

[4] Kimura, Fujii, Mori. *Robust Control* [M]. Tokyo: Coronasha, 1994: 76-156.

[5] 梅生伟, 申铁龙, 刘康志. *现代鲁棒控制理论与应用* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 7-14, 232-242.
(Mei S W, Shen T L, Liu K Z. *Modern Robust Control Theory and Application* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 7-14, 232-242.)

[6] Sadaaki Kunimatsu, Takao Fujii, Taro Tsujino. Quadratic Stablization of LQ Servo Systems with Generalized Reference Inputs [J]. *Trans of the Society of Instrument and Control Engineers*, 2003, 39(3): 307-309.

[7] Sadaaki Kunimatsu, Masakazu Fujii, Takao Fujii. Analysis and Synthesis of Model Reference LQ Servo System with Tracking Robustness [J]. *Trans of the Institute of System, Control and Information Engineers*, 2004, 17(3): 131-138.

[8] Yuuki Kuroe, Hiroshi Abe, Takao Fujii. LQ Design Method for Optimal Servo Systems with Generalized Reference Inputs [J]. *Trans of the Society of Instrument and Control Engineers*, 1996, 32(4): 539-546.

[9] 薛定宇, 陈阳泉. *系统仿真技术与应用* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 192-309.
(Xue D Y, Chen Y Q. *System Simulation Technology and Application* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002: 192-309.)

[10] Azizur Rahman M, Mahinda Vilathgamuwa D, Nasir Uddin M, et al. Nonlinear Control of Interior Permanent-magnet Synchronous Motor [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 2003, 39(2): 408-416.

[11] Yoji Takeda, Nobuyuki Matsui, Shigeo Morimoto, et al. *Design and Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor* [M]. Tokyo: Ohmsha, 2001: 129-151.

(上接第 892 页)

[8] 徐泽水. *不确定多属性决策方法及应用* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
(Xu Z S. *Uncertain Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* [M]. Beijing: Tsinghua Publishing House, 2004.)

[9] Mikhailov L. Group Prioritization in the AHP By Fuzzy Preference Programming Method [J]. *Computers & Operations Research*, 2004, 31(2): 293-301.

[10] Mikhailov L. A Fuzzy Approach to Deriving Priorites from Interval Pairwise Comparison Judgements [J]. *European J of Operational Research*, 2004, 159(3): 687-704.

[11] 魏毅强, 刘进生, 王绪柱. 不确定型AHP 中判断矩阵的一致性概念及权重[J]. *系统工程理论与实践*, 1994, 14(4): 16-22.
(Wei Y Q, Liu J S, Wang X Z. Concept of Consistence and Weights of the Judgement Matrix in the Uncertain Type of AHP [J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 1994, 14(4): 16-22.)

[12] 徐泽水. 区间数互补判断矩阵排序的一种实用方法[J]. *运筹与管理*, 2001, 10(1): 16-19.
(Xu Z S. A Practical Method for Priority of Interval Number Complementary Judgment Matrix [J]. *Operation and Management*, 2001, 10(1): 16-19.)

[13] Arbel A, Vargas L. Preference Simulation and Preference Programming: Robustness Issues in Priority Derivation [J]. *European J of Operational Research*, 1993, 69(2): 200-209.

[14] 朱建军, 刘士新, 王梦光, 等. 大型钢铁企业重要备件-轧辊供应商评价[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(11): 49-56.
(Zhu J J, Liu S X, Wang M G, et al. Key Spare-roll Vendor Selection for a Large-scale Steel-iron Enterprise [J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2004, 24(11): 49-56.)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net