

文章编号: 1001 - 893X(2011)06 - 0107 - 05

存在冲突证据下的证据推理多属性决策方法*

尹德进^{1,2}, 王宏力¹, 周志杰¹

(1. 第二炮兵工程学院, 西安 710025; 2. 解放军 96201 部队, 昆明 650219)

摘要:针对传统的证据推理方法对证据冲突处理能力的不足,在引入冲突参数的基础上提出了新的证据推理算法,通过证明,新算法完全满足证据合成的 4 个公理。基于方案集间冲突参数对决策结果影响差异最小化原则,提出了新的冲突参数优化模型,最后通过实例仿真,论证了新算法对解决证据间存在冲突时的多属性决策问题的可行性和优越性。

关键词:证据推理;冲突参数;多属性决策

中图分类号:TN97;N945 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.024

A New Evidential Reasoning Approach for Multiple Attribute Decision Making under Circumstance of Existing Conflict Information

YIN De-jin^{1,2}, WANG Hong-li¹, ZHOU Zhi-jie¹

(1. The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;
2. Unit 96201 of PLA, Kunming 650219, China)

Abstract: The conflict between evidences can not be calculated in reason during the course of multiple attribute decision making(MADM) with conventional evidential reasoning(ER) approach. To overcome this shortcoming, a new algorithm is proposed based on introducing the conflict parameter. The new algorithm is proved to satisfy four synthesis axioms completely. To assure the reliability of the decision results, the effect of conflict parameter on the decision results should be minimum value, based on this principle, an optimize model which can calculate the conflict parameter is proposed. Two numerical examples illustrate the validity and superiority of the new method on dealing with the conflict evidences.

Key words: evidential reasoning; conflict parameter; multiple attribute decision making (MADM)

1 引言

如何对同时存在定量、定性的不确定信息进行处理,已成为多属性决策(Multiple Attribute Decision Making, MADM)领域研究的热点。Yang^[1]等基于 D-S 理论、决策理论和信度框架提出了证据推理(Evidential Reasoning, ER)算法,该方法在解决不确

定环境下的 MADM 问题上具有很好的效果,能够很好地表达人们对定性指标的主观判断;Yang^[2]在 2001 年研究了定量信息和定性信息向信度分布结构的等价变换问题,提出了基于规则与效用的信息变换技术;Yang^[3]等在 2002 年对原有的 ER 方法进行了改进,使之满足任意信息融合方法需要满足的 4 条规则;同年, Yang 和 Xu^[4]又分析了 ER 算法的非线性特性。到目前为止,ER 算法已经发展成为可以

* 收稿日期:2011-03-03;修回日期:2011-04-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61004069)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61004069)

在统一的信度框架下处理精确的、不完整的和模糊的数据、随机数据及定性的专家知识,进行非线性信息融合的方法,在多属性决策分析^[5]、环境影响评估^[6]、输油管道检测^[7]、产品设计方案决策^[8]等领域得到了广泛的应用,而且 ER 算法在新的工程领域的应用研究已成为国际热点课题。

但 Yang 提出的 ER 算法,继承了 D-S 证据理论对证据间冲突处理能力不足的缺陷,没有考虑证据间冲突对决策结果所造成的影响,当证据高度冲突时会产生有悖常理的结果。针对这一问题,本文提出了一种新的冲突证据条件下的 ER 算法和冲突参数优化模型,并通过算例仿真,对算法的可行性和优越性进行了论证。

2 多属性决策问题的数学描述

为了便于讨论,假设对需要决策评估的系统 y 有两层评估结构, y 系统有 L 个属性 $e_i (i = 1, 2, \dots, L)$, 定义为

$$E = \{e_1 \ e_2 \ \dots \ e_i \ \dots \ e_L\} \quad (1)$$

其中,每个子指标的权重为 ω_i , 定义:

$$\omega = \{\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_i \ \dots \ \omega_L\} \quad (2)$$

假设对每个属性用 N 个完备且相互独立的评估等级集合来表示:

$$H = \{H_1 \ H_2 \ \dots \ H_n \ \dots \ H_N\} \quad (3)$$

那么,对属性 e_i 的评估可表达为

$$S(e_i) = \{(H_n, \beta_{n,i}), n = 1, 2, \dots, N\}, i = 1, 2, \dots, L \quad (4)$$

式中, $\beta_{n,i} \geq 0$, $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \leq 1$, $\beta_{n,i}$ 表示属性 e_i 属于 H_i 的信度,当 $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i} = 1$ 时为完全评估,而 $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i} < 1$ 时为不完全评估。假设有 M 个系统或方案 Y_l 需要进行决策,那么,决策模型为

$$D = (S(e_i(Y_l)))_{L \times M} \quad (5)$$

3 基于冲突参数的 ER 算法

3.1 基于冲突参数的 ER 算法介绍

令 $m_{n,i}$ 表示第 i 个属性 e_i 支持系统 y 被评估为等级 H_n 的基本可信度, $m_{H,i}$ 表示没有分配给任一评估等级的基本可信度,其大小表述了未知(不确定)程度,基本可信度分配数值的计算如下:

$$m_{n,i} = w_i \beta_{n,i}, n = 1, 2, \dots, N; i = 1, 2, \dots, L \quad (6)$$

$$m_{H,i} = 1 - \sum_{n=1}^N m_{n,i} = 1 - w_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}, i = 1, 2, \dots, L \quad (7)$$

$$\bar{m}_{H,i} = 1 - w_i, i = 1, 2, \dots, L \quad (8)$$

$$\tilde{m}_{H,i} = w_i(1 - \sum_{i=1}^N \beta_{n,i}), i = 1, 2, \dots, L \quad (9)$$

$$m_{H,i} = \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} \quad (10)$$

未分配的基本可信度 $m_{H,i}$ 被分为两部分: $\bar{m}_{H,i}$ 与 $\tilde{m}_{H,i}$, 其中 $\bar{m}_{H,i}$ 是由属性 $e_i (i = 1, 2, \dots, L)$ 的相对权重引起的; $\tilde{m}_{H,i}$ 是由属性 $e_i (i = 1, 2, \dots, L)$ 评估信息的不完整造成的。

由 Yang 提出的 ER 算法,没有考虑证据冲突的影响,但在实际决策中,如果两个证据之间存在冲突,表明对该问题的认知存在分歧,从而造成决策结果的不确定度加大,冲突越大,最终不确定度越大。因此,不能忽略由证据冲突所造成的影响。Huynh^[9] 等采用 Yager^[10] 的改进方法进行冲突处理,虽然考虑了证据冲突的影响,但这种处理方法加大了组合后证据的不确定性;贺金凤^[11] 等提出的改进 ER 方法,根据证据信任度来分配冲突,当 $S(e_i)$ 为完全评估时,冲突在各个证据之间得到完全分配,当 $S(e_i)$ 为不完全评估时,冲突有一部分分配到了各个证据,还有一部分分配给了未知部分,该方法对存在完全评估但证据间冲突较大的情况,得不到满意的决策结果,且其算法存在陷入死循环的缺陷。本文提出的改进 ER 方法,依据 Inakaki^[12] 的组合规则的思路,引入冲突参数 $\varphi(k)$ 。

定义 1 证据间冲突量的量度,称为冲突参数,用 $\varphi(k)$ 表示, $0 \leq \varphi(k) \leq K_{I(k)}$, $K_{I(k)}$ 为前 k 条证据间的冲突因子。

定义 2 冲突参数 $\varphi(k)$ 也可表达为

$$\varphi(k) = \sigma \times K_{I(k)}, 0 \leq \sigma \leq 1 \quad (11)$$

式中, σ 为冲突变量,它表示决策者对证据间冲突的处理方式, $0 \leq \varphi(k) \leq K_{I(k)}$ 。

改进的 ER 算法为

$$\{H_n\}: m_{n,I(k+1)} = (1 + \varphi(k+1))(1 - 1/K_{I(k+1)}) \\ (m_{n,I(k)} m_{n,k+1} + m_{n,I(k)} m_{H,k+1} + m_{H,I(k)} m_{n,k+1}) \quad (12)$$

$$m_{H,I(k)} = \bar{m}_{H,I(k)} + \tilde{m}_{H,I(k)}, k = 1, 2, \dots, L \quad (13)$$

$$\{H\}: \tilde{m}_{H,I(k+1)} = (1 + \varphi(k+1))(1 - 1/K_{I(k+1)}) \\ (\tilde{m}_{H,I(k)} \tilde{m}_{H,k+1} + \tilde{m}_{H,I(k)} \bar{m}_{H,k+1} + \bar{m}_{H,I(k)} \tilde{m}_{H,k+1}) \quad (14)$$

$$\{H\}: \bar{m}_{H,I(k+1)} = (1 + \varphi(k+1))(1 - 1/K_{I(k+1)}) \cdot \\ (\bar{m}_{H,I(k)} \bar{m}_{H,k+1}) \quad (15)$$

$$K_{I(k+1)} = \left[1 - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1, m \neq n}^N m_{n, I(k)} m_{m, k+1} \right]^{-1}, \quad k = 1, 2, \dots, L-1 \quad (16)$$

$$0 \leq \varphi(k+1) \leq K_{I(k+1)} \quad (17)$$

$$\{H_n\}: \beta_n = \frac{m_{n, I(L)}}{1 - \bar{m}_{H, I(L)}} \quad (18)$$

$$\{H\}: \beta_U = 1 - \sum_{i=1}^N \beta_i - \frac{\tilde{m}_{H, I(L)}}{1 - \bar{m}_{H, I(L)}} \quad (19)$$

$$\{H\}: \beta_H = 1 - \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (20)$$

式中, $m_{n, I(1)} = m_{n, 1}$, $m_{H, I(1)} = m_{H, 1}$, $\bar{m}_{H, I(1)} = \bar{m}_{H, 1}$, $\tilde{m}_{H, I(1)} = \tilde{m}_{H, 1}$, $\varphi(1) = 0$ ($n = 1, 2, \dots, N$), β_n 与 β_H 分别表示系统 y 评估为 H_n 和 H 的融合信度, β_U 为由证据冲突引起的不确定信度。因此, 对于 y 的总体评估结果可以表示为

$$S(y) = \{(F_n, \beta_n), n = 1, 2, \dots, N\} \quad (21)$$

上式表示系统 y 以 β_n 的概率取 F_n 值。

3.2 算法证明

(1) 很显然, $\beta_H + \sum_{i=1}^N \beta_i = 1$, 满足完全性;

(2) 对所有 $i = 1, 2, \dots, L$, 如果 $\beta_{n, i} = 0, n = 1, 2, \dots, N$, 即 $m_{n, i} = w_i \beta_{n, i} = 0$, 有 $m_{n, I(k)} m_{n, k+1} + m_{n, I(k)} m_{H, k+1} + m_{H, I(k)} m_{n, k+1} = 0, \beta_n = 0$, 满足独立性;

(3) 对所有 $i = 1, 2, \dots, L, n = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N, n \neq j$, 如果 $\beta_{j, i} = 1, \beta_{n, i} = 0$ 。由(2)知, $\beta_n = 0, m_{n, i} = w_i \beta_{n, i} = 0$, 则:

$$\left[1 - \sum_{n=1}^N \sum_{j=1, j \neq n}^N m_{n, I(k)} m_{m, j+1} \right]^{-1} = 1, \quad m_{j, I(1)} = m_{j, 1} = 1 \quad (22)$$

则 $m_{j, I(2)} = 1, \tilde{m}_{H, i} = w_i(1 - \sum_{i=1}^N \beta_{n, i}) = 0$, 则 $\tilde{m}_{H, I(k)} = 0, \beta_H = 0$, 由于证据之间没有冲突, 应该 $\beta_U = 0$, 所以, $1 - \sum_{i=1}^N \beta_i - \frac{\tilde{m}_{H, I(L)}}{1 - \bar{m}_{H, I(L)}} = 0$, 可得 $\beta_j = 1$, 满足一致性;

(4) 如果存在 $i = 1, 2, \dots, L$, 且 $\sum_{n=1}^N \beta_{n, i} < 1$, 权重 $0 < w_i < 1$, 那么 $\tilde{m}_{H, i} = w_i(1 - \sum_{i=1}^N \beta_{n, i}) > 0$, $\bar{m}_{H, i} = 1 - w_i > 0$, 由式(9)得 $\tilde{m}_{H, I(k+1)} > 0$, 由于 $0 \leq \beta_U$, 由式得 $\sum_{i=1}^N \beta_i < 1, \beta_H > 0$, 满足不完全性。

由此可见, 本文提出的基于冲突参数的 ER 方法满足证据合成的 4 个公理, 可用于证据合成。

3.3 冲突参数的选取方法

算法中, 冲突参数 $\varphi(k)$ 的选择, 本质上就是如

何处理冲突信息: $\varphi(k) = 0$ 时, 把冲突那部分概率全部赋予了未知部分, 即为 Huynh 提出的 ER 算法, $\varphi(k) = K_{I(k)}$ 时, 忽略了所有的冲突信息, 采用归一化方法把冲突信息按比例分配给命题, 对证据进行了较大程度的选择, 即为 Yang 提出的 ER 算法; 本文提出的 ER 方法, 通过对冲突参数 $\varphi(k)$ 的选择来决定对证据的选择程度, $\varphi(k)$ 越大, 对证据的选择作用越大。在进行决策的过程中, 冲突参数的选择决定了决策结果的可靠性。由于每个方案中冲突参数的影响因子会有差异, 当冲突参数选取不合理, 冲突参数对每个方案所造成的影响差异较大时, 往往会造成决策结果的不合理性, 因此, 应充分考虑方案集间冲突参数对决策结果的影响, 依据方案集间冲突参数对决策结果影响差异最小化原则, 可建立冲突参数确定方法。

设 $\beta_U(l)$ 代表第 l 个决策方案中证据冲突引起的不确定信度, 冲突参数确定公式为

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1, j \neq i}^M \sum_{j=1}^M |\beta_H(i) - \beta_H(j)|, M \geq 2 \\ \text{s. t. 公式(12) ~ (20)} \end{aligned} \quad (23)$$

4 实例运算

证据推理在信息融合、决策分析和故障诊断与预测等领域得到了广泛的应用, 下面通过实例对比几种典型的证据推理算法, 来对本文提出的 ER 算法进行探讨。

例 1 假设评估某产品性能, 定义其识别框架为 $H = \{A = \text{优越}, B = \text{良好}, C = \text{中等}, D = \text{差}, E = \text{较差}\}$, 产品性能有 4 个子属性, 它们权重相同, 均为 $1/4$ 。对每一属性的评估信息如下:

$$\begin{aligned} m_1(A) = 1, m_1(B) = 0, m_1(C) = 0, m_1(D) = 0, m_1(E) = 0 \\ m_2(A) = 0, m_2(B) = 1, m_2(C) = 0, m_2(D) = 0, m_2(E) = 0 \\ m_3(A) = 0, m_3(B) = 0, m_3(C) = 1, m_3(D) = 0, m_3(E) = 0 \\ m_4(A) = 0, m_4(B) = 0, m_4(C) = 0, m_4(D) = 1, m_4(E) = 0 \end{aligned}$$

下面分别运用几种典型的 ER 算法对上述实例进行组合, 其结果如表 1 所示。由表 1 可见, Yang 提出的 ER 算法由于没有考虑证据冲突的影响, 当各属性的评估信息均为完全评估时, 无论证据之间存在多少冲突, 组合结果仍为完全评估, 由证据间分歧所带来的不确定性没有得到体现, 不符合人类决策分析逻辑。Huynh 提出的 ER 算法过于保守, 将证据冲突的那部分概率全部分配给 Θ , 未作出决策。而本文提出的改进 ER 算法, 通过对冲突参数 $\varphi(k)$ 的调节, 达到对证据冲突的合理处理, 从而获得更为准

确的决策结果,冲突参数 $\varphi(k)$ 可从专家经验或仿真试验得到,当 $\varphi(k) = 0$ 时,组合结果与 Huynh 的算法一致,当 $\varphi(k) = K_{I(k)}$ 时,组合结果与 Yang 的算法一致。

表 1 证据组合结果

Table 1 Combination results of Example 1

方法	组合结果
Yang	$m(A) = 0.25, m(B) = 0.25,$ $m(C) = 0.25, m(D) = 0.25,$ $m_4(E) = 0, m(\Theta) = 0$
Huynh	$m(A) = 0.154, m(B) = 0.154,$ $m(C) = 0.154, m(D) = 0.154,$ $m(E) = 0, m(\Theta) = 0.384$
本文 ($\varphi(k) = 0$)	$m(A) = 0.154, m(B) = 0.154,$ $m(C) = 0.154, m(D) = 0.154,$ $m(E) = 0, m(\Theta) = 0.384$
本文 ($\varphi(k) = K_{I(k)}/2$)	$m(A) = 0.193, m(B) = 0.193,$ $m(C) = 0.193, m(D) = 0.193,$ $m(E) = 0, m(\Theta) = 0.228$
本文 ($\varphi(k) = K_{I(k)}$)	$m(A) = 0.25, m(B) = 0.25,$ $m(C) = 0.25, m(D) = 0.25,$ $m_4(E) = 0, m(\Theta) = 0$

例 2 运用文献[1]的实例,对 Kawasaki、Yamaha、Honda、BMW 4 种类型摩托车性能进行评估,各属性分解过程如图 1 所示,BMW 摩托车性能评估结果如表 2 所示。

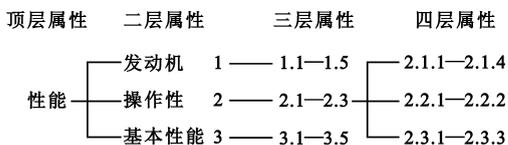


图 1 摩托车属性结构

Fig. 1 Attribute level of motorcycle

表 2 BMW 摩托车性能评估结果

Table 2 Combination results of BMW's performance

方法	组合结果
Huynh ($\varphi(k) = 0$)	$m(P) = 0.0864, m(I) = 0.0462,$ $m(A) = 0.0627, m(G) = 0.1024,$ $m(E) = 0.3263, m(\Theta) = 0.376$
本文 ($\varphi(k) = 0.5K_{I(k)}$)	$m(P) = 0.1084, m(I) = 0.0573,$ $m(A) = 0.0791, m(G) = 0.1159,$ $m(E) = 0.3850, m(\Theta) = 0.2543$
本文 ($\varphi(k) = 0.773K_{I(k)}$)	$m(P) = 0.1273, m(I) = 0.066,$ $m(A) = 0.0921, m(G) = 0.1258,$ $m(E) = 0.4313, m(\Theta) = 0.1575$
Yang ($\varphi(k) = K_{I(k)}$)	$m(P) = 0.1576, m(I) = 0.0792,$ $m(A) = 0.1124, m(G) = 0.1404,$ $m(E) = 0.5026, m(\Theta) = 0.0078$

性能评价中,评价识别框架 $H = \{P = \text{较差}, I = \text{差}, A = \text{中等}, G = \text{好}, E = \text{较好}\}$,效用函数

$$u(H) = \{u(P), u(I), u(A), u(G), u(E)\} = \{0, 0.35, 0.55, 0.85, 1\}$$

利用公式(23)寻求最优,冲突参数对评估结果影响如图 2 所示, $\varphi(k) = 0.773K_{I(k)}$ 时方案集间冲突参数对决策结果影响差异最小化。

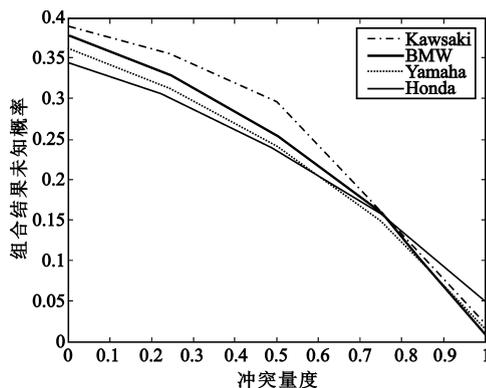


图 2 摩托车性能评估数据冲突量度与未知概率的关系
Fig. 2 The relation between the conflict variable and the result's unknown probability

冲突参数优化模型具有如下特点:

(1)由图 2 可知,随着冲突量度 σ 的增大,运用 ER 方法进行证据融合结果的未知部分的值越小,融合结果的未知部分的值的减小程度逐渐加速,曲线斜率越大,两者呈现圆弧形关系,且圆弧的弧度与证据间冲突成正比,证据间冲突越大,弧度越大;

(2)当方案集间冲突参数对决策结果的未知概率影响程度一致时,说明多个方案间证据冲突一致,即圆弧的弧度一致,此时,可不用考虑冲突参数对决策结果的影响,取 $\varphi(k) = K_{I(k)}$,即 $\sigma = 1$,此时,方案集证据间冲突参数对决策结果影响差异最小,与运用公式(23)求取获得的结论一致;

(3)当方案集间冲突参数对决策结果的未知概率影响程度不一致时,证据间冲突参数对决策结果影响差异最小化,最大程度地减少了证据间冲突对决策结果所造成的不确定性;

(4)该方法具有一定的局限性,只能针对多个方案集间进行决策的应用环境,在对单个方案进行决策时,由于不存在与其它方案的对比,此时,冲突量度值只能依据专家经验或者仿真试验来确定。

利用 ER 方法,计算文献[1]摩托车性能的效用值,其计算结果如表 3 所示。

表3 4种型号摩托车性能效用评估结果

Table 3 Utility of 4-type motorcycles' performance

型号	最大效用	最小效用	平均效用
Kawasaki	0.741 0	0.579 6	0.660 3
BMW	0.769 5	0.612 0	0.690 7
Yamaha	0.777 5	0.628 5	0.703 0
Honda	0.878 8	0.721 1	0.804 5

4种摩托车发动机的综合性能排序为

Honda > Yamaha > BMW > Kawasaki

式中,“>”代表前者性能优于后者。

这一结果虽然与文献[1]结果一致,基于例1的讨论,由于在计算过程中考虑到证据冲突的影响,且每个方案中冲突参数影响差异达到最小化,因此,本文计算的结果更为准确可靠。

5 结 语

为了克服传统ER方法对证据冲突处理能力的不足,提高不确定信息环境下ER融合结果的可靠性,本文提出了基于冲突参数的ER方法和冲突参数优化模型。基于4种型号的摩托车性能的评估与分析研究验证了该算法的有效性和优越性。综合本文的论证研究,该算法具有如下特点:

(1)算法满足证据组合的完全性、独立性、一致性和不完全性4个公理;

(2)通过合理地选取冲突参数,算法的可靠性要高于传统的ER方法。

以上特点保证了算法的正确性和可靠性,为了合理地选取冲突参数,基于方案集证据间冲突参数对决策结果影响差异最小化原则,建立了冲突参数优化模型,便于决策者在不确定信息环境下进行决策分析。

参考文献:

- [1] Yang J B, Singh M G. An evidential reasoning approach for multiple - attribute decision making with uncertainty [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1994, 24(1): 1 - 18.
- [2] Yang J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis under uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131(1): 31 - 61.
- [3] Yang J B, Dong - Ling Xu. On the Evidential Reasoning Algorithm for Multiple Attribute Decision Analysis Under Uncertainty[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 2002, 32(3): 289 - 304.
- [4] Yang J B, Xu D L. Nonlinear information aggregation via evidential reasoning in multiattribute decision analysis under uncertainty[J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cyber-

netics, 2002, 32(3): 376 - 393.

- [5] Xu D L, Yang J B, Wang Y M. The evidential reasoning approach for multi - attribute decision analysis under interval uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(3): 1914 - 1943.
- [6] Wang Y M, Ang J B, Xu D L. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(3): 1885 - 1913.
- [7] Xu D L, Liu J, Yang J B, et. Inference and learning methodology of belief - rule - based expert system for pipeline leak detection[J]. Expert Systems and Applications, 2007, 32(1): 103 - 113.
- [8] Chin K S, Yang J B, Guo Min, et al. An Evidential - Reasoning - Interval - Based Method for New Product Design Assessment[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2009, 56(1): 142 - 155.
- [9] Van N H, Yoshiteru N, Tu B H, et al. Advances in Computer Science——2004 ASIAN[M]. Thailand: Springer, 2004.
- [10] Yager P R. On the Dempster - shafer Framework and New Combination Rules[J]. Information System, 1989, 41(2): 93 - 137.
- [11] 贺金凤, 徐济超, 吴卫东. 不确定性多属性决策中的ER方法改进[J]. 控制与决策, 2006, 21(4): 385 - 390. HE Jin - feng, XU Ji - chao, WU Wei - dong. Improvement of Evidential Reasoning Approach for Multiple Attribute Decision Making Under Uncertainty[J]. Control and Decision, 2006, 21(4): 385 - 390. (in Chinese)
- [12] Inagaki T. Interdependence between Safety - Control Policy and Multiple - Sensor Schemes via Dempster - Shafer Theory[J]. IEEE Transactions on Reliability, 1991, 40(2): 182 - 188.
- [13] 胡昌华, 司小胜, 周志杰, 等. 新的证据冲突衡量标准下的D - S改进算法[J]. 电子学报, 2009, 37(4): 1578 - 1583. HU Chang - hua, SI Xiao - sheng, ZHOU Zhi - jie, et al. An Improved D - S Algorithm Under the New Measure Criteria of Evidence Conflict [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4): 1578 - 1583. (in Chinese)

作者简介:

尹德进(1979—),男,云南宣威人,2004年获工学硕士学位,现为博士研究生,主要从事信息融合、智能决策的研究;

YIN De - jin was born in Xuanwei, Yunnan Province, in 1979. He received the B. S. degree in 2004. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns data fusion and intelligent decision making.

Email: ydj_mr@163.com

王宏力(1964—),男,陕西宝鸡人,1998年获工学博士学位,现为教授,主要从事星光导航、智能决策等的研究;

WANG Hong - li was born in Baoji, Shaanxi Province, in 1964. He received the Ph. D. degree in 1998. He is now a professor. His research concerns satellite navigation and intelligent decision making.

周志杰(1978—),男,山西朔州人,2010年获工学博士学位,现为讲师,主要从事复杂系统建模、故障预测等的研究。

ZHOU zhi - jie was born in Suozhou, Shanxi Province, in 1978. He received the Ph. D. degree in 2010. He is now a lecturer. His research concerns complex system modeling and fault prediction.