

## 基于群体一致性强度的模糊评估方法

霍瑛, 庄毅, 薛羽

(南京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 南京 210016)

**摘要:** 针对模糊信息的定量评估难题, 在研究多属性决策问题的基础上提出基于群体一致性强度的模糊评估方法. 利用证据理论合成评估值后, 引入语义折扣因子的概念, 将区间评估信息转化为确定的评估值; 设计群体一致性强度指标, 最优化语义折扣因子的取值, 使得评估方法能够体现评估中的主流意见; 通过软件可信评估实例验证了所提出方法可有效解决模糊评估信息的分析和合成问题.

**关键词:** 模糊评估; 证据理论; 群体一致性强度; 软件可信评估

**中图分类号:** TP302

**文献标志码:** A

### Method of fuzzy evaluation based on group consistency intensity

HUO Ying, ZHUANG Yi, XUE Yu

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China. Correspondent: ZHUANG Yi, E-mail: zhuangyi@nuaa.edu.cn)

**Abstract:** The method of fuzzy evaluation based on group consistency intensity is proposed for the quantitative evaluation problem of fuzzy information through researching the problem of multiple attributes decision making. The interval values of evaluation can be synthesized by using the Dempster-Shafer theory and transformed to certain value by using the concept of linguistic discount factor. Meanwhile, the group consistency intensity is used to determine the value of linguistic discount factor, which can reflect the mainstream opinions in the assessment. Finally, the instance of trusted software evaluation is analyzed to verify that the proposed method can solve the analysis and synthesis of fuzzy evaluation information effectively.

**Key words:** fuzzy evaluation; Dempster-Shafer theory; group consistency intensity; trusted software evaluation

### 0 引言

评估是指对方案的评价和论证, 常见的应用领域包括软件评估、信息安全风险评估、工程项目验收评估等. 评估模型是评估活动的核心, 现有的评估模型主要有层次分解模型、威胁树模型、智能评估模型和数学评估模型等. 在实际评估过程中, 由于评估对象的复杂性和评估者自身的局限性, 评估者往往不能进行精确评估, 评估值可能出现模糊值、残缺值等情况. 因此, 应要求评估模型能够处理不准确、不完全的模糊信息.

数学评估模型通过模糊理论将定性指标量化, 很好地解决了现有评估模型中指标单一、原始信息模糊的评估问题. Yang等<sup>[1-3]</sup>利用效用理论对模糊信息进行统一处理, 建立了基于证据理论的智能决策模型. Beynon等<sup>[4]</sup>结合层次分析法和证据理论, 提出了DS-

AHP多属性决策模型, 不仅能够减少两两判断次数和一致性检验次数, 而且能够解决不完全信息下的决策问题. Hua等<sup>[5]</sup>在此基础上进一步给出了DS-AHP模型未知信息测量方法和决策规则设置策略, 并分析了具体的决策效果. 对于多属性群决策方法, Yao等<sup>[6]</sup>引入证据距离的概念, 通过计算专家证据的综合距离对专家赋权, 体现了群决策中的多数人规则. Guo等<sup>[7]</sup>将位置权向量引入信度初始分配的建立中, 从证据之间提取权重信息, 同样体现了采纳多数人意见的群组评价思想.

以上文献所提出的方法和模型均适用于多属性决策问题, 最终根据决策规则选择某一方案作为决策结果. 但在处理模糊信息的定量评估问题时, 某些情况下需要从模糊的评估信息中分析计算出确定的定量评估值, 现有的方法与模型不再适用. 因此, 本文借

收稿日期: 2012-07-23; 修回日期: 2012-10-11.

基金项目: 航空科学基金项目(2010ZC13012); 国防基础研究基金项目(Q072006C002-1); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ13\_0171).

作者简介: 霍瑛(1988—), 女, 博士生, 从事智能决策、可信计算的研究; 庄毅(1956—), 女, 教授, 博士生导师, 从事信息安全、可信计算等研究.

鉴 DS-AHP 多属性决策模型<sup>[4-5]</sup>中对于模糊信息的处理方法, 提出基于群体一致性强度的模糊评估方法. 通过引入语义折扣因子和群体一致性强度指标, 从评估模糊区间合理地分析出确定的评估值.

## 1 相关定义

### 1.1 评估模型的建立

评估通常分为 3 个步骤: 首先建立一套完善的评估指标体系; 然后通过专家评估、测试分析等方法获得各指标的初始语义评估值; 最后通过评估合成算法综合分析各指标的评估值, 给出最终评估结果. 将评估问题形式化表达为

$$E = (S, A, D, V).$$

其中:  $S$  为评估等级的集合,  $S = \{s_\alpha | \alpha = 1, 2, \dots, l\}$ ,  $s_\alpha$  为具有语义信息的评估等级, 如果  $\alpha > \beta$ , 则  $s_\alpha$  优于  $s_\beta$ ;  $A$  为评估指标的非空集合, 存在  $A = \{a_i | i = 1, 2, \dots, M\}$ ,  $\omega_i$  为评估指标  $a_i$  的重要性权重, 并满足  $\omega_i > 0$ , 且  $\sum_{i=1}^M \omega_i = 1$ ; 评估者集合  $D = \{d_j | j = 1, 2, \dots, N\}$ ,  $t_j$  为对评估者  $d_j$  的信任权重, 同样满足  $t_j > 0$ , 且  $\sum_{j=1}^N t_j = 1$ ; 评估矩阵  $V = (V_{ij})_{M \times N}$ ,  $V_{ij}$  为评估者  $d_j$  对评估指标  $a_i$  的评估值.

在实际评估中, 评估者对问题认识的局限性或自身知识缺乏, 一部分评估信息会出现不精确、模糊等现象, 甚至存在评估信息缺失的情况. 因此, 评估值  $V_{ij}$  存在以下 3 种表达形式:

1)  $V_{ij} = [s_\alpha, s_\beta]$ ,  $\alpha < \beta$ , 该值为模糊值, 表示评估者  $d_j$  认为该评估指标  $a_i$  的评估值  $V_{ij}$  处于等级  $s_\alpha$  和  $s_\beta$  的区间内;

2)  $V_{ij} = s_\alpha$ , 该值为精确值, 表示评估者确信该评估指标  $a_i$  的评估等级为  $s_\alpha$ ;

3)  $V_{ij} = \star$ , 该值为缺失值, 表示评估者无法确定其评估值, 处理时将缺失值视为对所有等级的信度均相等<sup>[5]</sup>.

### 1.2 基于证据理论的评估信息合成方法

在初始化阶段, 首先建立评估指标的层次结构模型, 然后评估者对各评估指标进行评估, 得到初始评估值. 由于评估方式的多样性, 如专家评估、数据收集与分析、测试工具使用、使用者评估等, 初始评估值的单位不统一, 且表达形式也有很大差别, 可以通过效用理论<sup>[1-2]</sup>将初始评估值进行统一处理, 得到评估矩阵  $V$ .

D-S 证据理论是由 Shafer<sup>[8]</sup>提出的一种处理不确定性的理论, 通过证据的积累不断缩小假设集, 能够处理由模糊导致的不确定性. 因此, 本文利用证据理

论对评估信息进行合成. 令评估等级集合  $S$  为证据理论中的识别框架,  $2^S$  为  $S$  的幂集合, 表示  $S$  中元素所有可能的组合,  $2^S = \{\emptyset, \{s_1\}, \dots, \{s_l\}, \{s_1, s_2\}, \dots, \{s_1, s_l\}, \dots, S\}$ , 即为所有评估值的组合. 基本概率分配 BPA (basic probability assignment) 函数  $m: 2^S \rightarrow [0, 1]$ , 且满足  $m(\emptyset) = 0$ ,  $\sum_{A \subseteq 2^S} m(A) = 1$ .

**定义 1** 对于  $\forall d_j, d_k \in D$  且  $d_j \neq d_k$ , 如果存在  $V_{ij} = V_{ik}$ , 则将  $V_{ij}$  和  $V_{ik}$  视为同一焦点.

不同于决策问题中将评估结果相同的决策方案作为焦点集合<sup>[5]</sup>, 本文将相同的评估值  $V_{ij}$  的集合作为焦点, 因此, 可以得到焦点集合  $B = \{\{B_\gamma^i\} | i = 1, 2, \dots, M, \gamma = 0, 1, \dots, 2^S\}$ ,  $m(B_\gamma^i)$  为评估指标  $a_i$  在焦点  $B_\gamma^i$  上的 BPA 函数, 且有  $m(B_\gamma^i) > 0$ ,  $\sum_{B_\gamma^i \subseteq 2^S} m(B_\gamma^i) = 1$ .

由于  $N$  个评估者参与评估, 焦点的 BPA 值可根据每个评估者的信任权重  $t_j$  进行计算, 有

$$m(B_\gamma^i) = \sum_{j=1}^N t_j, \text{ if } V_{ij} = B_\gamma^i. \quad (1)$$

为了得到综合所有评估指标焦点的 BPA 值, 将  $m(B_\gamma^i)$  视为支持  $B_\gamma$  的信任度, 并且采用证据理论<sup>[9]</sup>对所有指标的证据信息进行合成.

**定义 2 (D-S 合成法则)** 设  $m(B_\gamma^i)$  为识别框架  $S$  下对评估指标的基本可信度分配函数, 当满足  $K = \sum_{\cap B_\gamma^i = \emptyset} \prod_{1 \leq i \leq M} m_i(B_\gamma^i) < 1$  时, 可以按照下述规则合成:

$$m(E) = \begin{cases} 0, & E = \emptyset; \\ \frac{\sum_{\cap B_\gamma^i = E} \prod_{1 \leq i \leq M} m_i(B_\gamma^i)}{1 - K}, & E \neq \emptyset. \end{cases} \quad (2)$$

得到所有评估指标合成焦点的 BPA 值后, 利用下式求出每个评估等级  $s_\alpha$  的信任函数和似然函数:

$$\text{Bel}(F) = \sum_{E \subseteq F} m(E), \forall F \in 2^S, \forall E \in S; \quad (3)$$

$$\text{Pls}(F) = \sum_{E \cap F \neq \emptyset} m(E), \forall F \in 2^S, \forall E \in S. \quad (4)$$

通过上述处理, 可以得到识别框架  $S$  下评估等级的信任区间  $[\text{Bel}(s_\alpha), \text{Pls}(s_\alpha)]$ . 其中:  $\text{Bel}(s_\alpha)$  为对评估等级  $s_\alpha$  的支持度,  $\text{Pls}(s_\alpha)$  为对评估等级  $s_\alpha$  的不否定度,  $Un(s_\alpha) = |\text{Pls}(s_\alpha) - \text{Bel}(s_\alpha)|$  为  $s_\alpha$  的不确定值.

## 2 模糊评估方法

### 2.1 基于语义的评估值计算

采用证据理论得到待评估问题在每个等级上的信任区间  $[\text{Bel}(s_\alpha), \text{Pls}(s_\alpha)]$  后, 如果最后仅需给出一个定性的评估值, 则可以通过设置多属性决策规则对各个评估等级进行排序<sup>[10]</sup>, 从而确定最恰当的定性评

估值. 但是, 当需要作出定量评估时, 还存在以下问题:

1) 如 $\{s_1[0.1, 0.3], s_2[0.6, 0.8], s_3[0.2, 0.4]\}$ 所示, 可以明显看出方案 $s_2$ 信任度最大, 利用决策规则可以给出定性评估值 $s_2$ . 在进行定量评估时,  $s_1$ 和 $s_3$ 虽然信任度不高, 但是其等级与信任区间也在不同程度上影响评估结果, 因此在合成最终评估结果时也必须给予考虑.

2) 利用证据理论对证据信息进行合成, 获得结果区间 $[\text{Bel}, \text{Pls}]$ . 初始评估值中模糊值与缺失值越多, 区间跨度越大, 评估结果越难确定. 如评估信任区间 $[0.454, 0.866]$ , 跨度为0.412, 则必须采取某种策略将模糊的区间转化为相对确定的评估值.

3) 由于原始评估信息带有模糊性, 必须设计相关策略判断最后给出的最终评估结果的有效性, 否则评估缺乏信服度.

为了解决上述问题, 根据评估等级 $s_\alpha$ 的语义信息的特征计算最终评估结果, 首先给出相关定义.

**定义3** 在识别框架 $S$ 下, 令 $\alpha$ 为评估等级 $s_\alpha$ 的语义指数, 通过函数 $I$ 进行计算<sup>[11]</sup>, 有

$$I(s_\alpha) = \alpha, s_\alpha \in S. \quad (5)$$

**定义4** 定义评估等级 $S$ 相对应的效用值为 $H = \{h_\alpha | \alpha = 1, 2, \dots, l\}$ , 最终的定量评估结果区间 $[\text{result}_L, \text{result}_H]$ 可利用下式计算:

$$\begin{aligned} \text{result}_L &= \sum_{\alpha=1}^l (\text{Bel}(s_\alpha) \times h_\alpha), \quad (6) \\ \text{result}_H &= \sum_{\alpha=1}^l (\text{Pls}(s_\alpha) \times h_\alpha). \quad (7) \end{aligned}$$

由于 $\text{Bel}(s_\alpha) \leq \text{Pls}(s_\alpha)$ (当 $V_{ij}$ 均为精确值时等号成立), 有 $\text{result}_L \leq \text{result}_H$ . 进一步给出最终评估结果

$$\text{result} = \text{result}_L + \text{DF} \times (\text{result}_H - \text{result}_L), \quad (8)$$

其中 $\text{DF}$ 为语义折扣因子, 且 $\text{DF} \in [0, 1]$ . 通过引入 $\text{DF}$ 将模糊区间转化为评估数值, 可以在某种程度上去除模糊的信息, 量化评估结果.

## 2.2 群体一致性强度

群决策理论中, 简单多数规则是最常用的偏爱排序规则, 要求群体偏爱尽可能与个体偏爱一致<sup>[12]</sup>. 受其启示, 本文在文献[11]的基础上, 定义群体一致性强度来反映最终评估结果与个人判断之间的一致性. 群体一致性强度主要考察个人评估结果与最终评估结果之间的偏差值, 最终的评估结果应该是所有评估者评估意见的综合反映, 所以个人评估结果与最终评估结果之间的偏差值越小, 表明该评估方法越合理.

为了计算一致性强度, 首先需要计算每个评估者

综合所有评估指标的评估结果, 步骤如下.

**Step 1:** 通过对评估指标重要性程度进行两两判断, 利用层次分析法<sup>[13-14]</sup>得到每个评估指标的重要性权重 $\omega_i$ , 评估者 $d_j$ 在焦元 $C_\gamma^j$ 的BPA值为

$$m(C_\gamma^j) = \sum_{i=1}^M \omega_i, \text{ if } V_{ij} = C_\gamma^j. \quad (9)$$

**Step 2:** 根据证据理论的定义, 利用式(3)和(4)计算每个评估者对于评估等级的信任区间 $[P_{\text{Bel}_j}(s_\alpha), P_{\text{Pls}_j}(s_\alpha)]$ .

**Step 3:** 利用语义信息计算每个评估者的定量结果区间为

$$P_{\text{result}_{L_j}} = \sum_{\alpha=1}^l (P_{\text{Bel}_j}(s_\alpha) \times h_\alpha), \quad (10)$$

$$P_{\text{result}_{H_j}} = \sum_{\alpha=1}^l (P_{\text{Pls}_j}(s_\alpha) \times h_\alpha), \quad (11)$$

并利用下式得到每个评估者综合所有评估指标的评估结果:

$$P_{\text{result}_j} = P_{\text{result}_{L_j}} + \text{DF} \times (P_{\text{result}_{H_j}} - P_{\text{result}_{L_j}}), \quad (12)$$

其中式(12)采用与群体评估值相同的语义折扣因子 $\text{DF}$ . 为了描述群体一致性强度, 先给出偏差值的定义.

**定义5** 在评估问题中, 评估者 $d_j$ 与最终评估结果的偏差为

$$\Delta_j = |\text{result} - P_{\text{result}_j}|. \quad (13)$$

**定义6** 在评估问题中, 一致性强度为

$$\text{gci} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta_j - \Delta_h)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta_j - \Delta_h)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta_j)^2}}, \quad (14)$$

其中 $\Delta_h$ 为最高评估等级与最低评估等级所对应的效用差距, 即最大评估误差.

**证明**  $\text{gci} \in [0, 1]$ . 由式(14)可见,  $\text{gci}$ 随 $\Delta_j$ 的增大而减小, 当 $\Delta_j=0$ 时,  $\text{gci} = 1$ , 即个人评估结果都与最终评估结果相同, 本次评估的准确性为1; 当 $\Delta_j = \Delta_h$ 时,  $\text{gci} = 0$ , 即个人评估结果都与最终评估结果的偏差值最大, 本次评估的准确性为0. 且由于 $\Delta_j \in [0, \Delta_h]$ , 存在 $\text{gci} \in [0, 1]$ .  $\square$

在整个评估过程中, 仅 $\text{DF}$ 为变量,  $\text{gci}$ 可视为自变量, 是 $\text{DF}$ 的函数, 因此当 $\text{gci}$ 取最大值时,  $\text{DF}$ 的取值为最优解.

## 3 案例分析

近年来, 可信软件的研究已成为工业界、学术界的研究热点, 软件可信性成为综合反映软件质量状态的新度量. 本文以“信息消除自动触发软件系统”为

例,运用上述评估方法对其进行可信评估。“信息消除自动触发软件系统”运行在嵌入式平台上,当出现异常情况或者接收到人工销毁指令后,自动启动磁盘清除功能,可保护磁盘上数据的秘密性.目前,该系统已成功应用于相关保密军工领域,具有较高的可信性.

首先构造软件可信评估模型  $E=(S, A, D, V)$ . 根据 TRUSTIE 项目技术文档《软件可信分级规范》<sup>[15]</sup>, 评估等级  $S = \{\text{未知级、可用级、证实性、实用级、评估级、证明级}\}$ ,  $l = 6$ . 评估指标  $A = \{\text{可用性(availability)、可靠性(reliability)、安全性(security)、实时性(real time)、可维护性(maintainability)、可生存性(survivability)}\}$ ,  $M = 6$ . 有 4 位评估者参与评估,其信任权重  $t_j$  分别为  $\{0.3, 0.2, 0.3, 0.2\}$ . 通过专家评估、数据收集和分析、使用者评估等方式得到初始评估值,统一处理后得到评估矩阵  $V$ , 如表 1 所示.

表 1 软件评估矩阵

	$A$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$
$a_1$	Availability	$s_4$	$s_4$	$[s_3, s_4]$	*
$a_2$	Reliability	$s_3$	*	$s_4$	$[s_3, s_4]$
$a_3$	Security	*	$s_5$	*	$s_5$
$a_4$	Real Time	$s_5$	*	$[s_5, s_6]$	$s_5$
$a_5$	Maintainability	$s_5$	$[s_5, s_6]$	$s_5$	*
$a_6$	Survivability	$s_3$	*	$s_5$	$s_4$

根据定义 1,可以得到每个评估指标的焦元集合(缺失值 \* 作为识别框架  $S$  处理). 如评估指标  $a_5$ , 焦元集合为  $\{s_5, [s_5, s_6], S\}$ , 根据式 (1) 计算每个焦元的 BPA 值为

$$\begin{aligned}
 a_1 : m(s_4) &= 0.5, m(s_3, s_4) = 0.3, m(S) = 0.2; \\
 a_2 : m(s_3) &= 0.3, m(s_4) = 0.3, m(s_3, s_4) = 0.2, \\
 & m(S) = 0.2; \\
 a_3 : m(s_5) &= 0.4, m(S) = 0.6; \\
 a_4 : m(s_5) &= 0.5, m(s_5, s_6) = 0.3, m(S) = 0.2; \\
 a_5 : m(s_5) &= 0.6, m(s_5, s_6) = 0.2, m(S) = 0.2; \\
 a_6 : m(s_3) &= 0.3, m(s_4) = 0.2, m(s_5) = 0.3, m(S) = 0.2.
 \end{aligned}$$

根据式 (2) 对所有评估指标的焦元 BPA 值进行合成, 得到如下结果:

$$\begin{aligned}
 m(s_3) &= 0.1088, m(s_4) = 0.1935, \\
 m(s_5) &= 0.6396, m(s_3, s_4) = 0.0258, \\
 m(s_5, s_6) &= 0.0258, m(S) = 0.0064.
 \end{aligned}$$

根据式 (3) 和 (4), 得到该软件每个评估等级的信任区间  $[\text{Bel}(s_\alpha), \text{Pls}(s_\alpha)]$  为

$$\begin{aligned}
 s_1 &= [0, 0.0064], s_2 = [0, 0.0064], \\
 s_3 &= [0.1088, 0.1411], s_4 = [0.1935, 0.2257], \\
 s_5 &= [0.6396, 0.6719], s_6 = [0, 0.0322].
 \end{aligned}$$

令  $h_\alpha = \{0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$ , 根据式 (6) 和 (7) 计算得到该软件系统的可信评估区间  $[\text{result}_L, \text{result}_H]$  为  $[0.6713, 0.7629]$ .

为了计算群体一致性强度, 利用层次分析法得到每个评估指标的重要性权重

$$\omega_i = \{0.15, 0.27, 0.27, 0.15, 0.08, 0.08\}.$$

根据第 2.2 节的步骤, 得到每个评估者综合所有评估指标的评估区间, 利用 DF 计算出每个评估者综合所有评估指标的评估结果  $P_{\text{result}_j}$ . 以评估者  $d_4$  为例,  $d_4$  对于每个评估等级的信任区间为

$$\begin{aligned}
 s_1 &: [0, 0.23], s_2 : [0, 0.23], s_3 : [0, 0.5], \\
 s_4 &: [0.08, 0.58], s_5 : [0.42, 0.65], s_6 : [0, 0.23].
 \end{aligned}$$

由式 (10) 和 (11) 可得

$$P_{\text{result}_{L_4}} = 0.384, P_{\text{result}_{H_4}} = 1.344,$$

类似得到其他评估者综合所有指标的评估结果如表 2 所示.

表 2 个体评估值

	$P_{\text{result}_L}$	$P_{\text{result}_H}$	$P_{\text{result}}$
$d_1$	0.414	1.224	$0.414 + \text{DF} \times (1.224 - 0.414)$
$d_2$	0.306	1.950	$0.306 + \text{DF} \times (1.950 - 0.306)$
$d_3$	0.290	1.520	$0.290 + \text{DF} \times (1.520 - 0.290)$
$d_4$	0.384	1.344	$0.384 + \text{DF} \times (1.344 - 0.384)$

语义折扣因子 DF 为常数, 用来缩小评估的模糊区间, 一致性强度 gci 是自变量为 DF 的函数, 函数图像如图 1 所示.

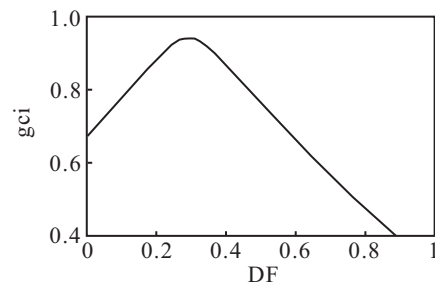


图 1 语义折扣因子对 gci 的影响

由图 1 可见, 当  $\text{DF} = 0.29$  时, 评估结果的一致性最高, 评估效果最好. 利用式 (8) 得到最终该软件系统的可信度为 0.6979, 此时一致性强度 gci 为 0.9421, 说明个体评估值与群体评估值的一致性强度非常高, 从而验证了本文提出的模糊评估方法的有效性.

采用多属性决策方法进行评估时, 往往根据决策规则选择某一等级作为定性评估结果. 假设决策规则为选取最大信任度 Bel 的评估等级作为评估结果, 容易得到本文示例的最终评估结果为  $s_5$ , 语义值为 0.8. 每个评估者综合所有评估指标的最终评估等级分别为  $s_3, s_5, s_4, s_5$ , 对应的语义值为 0.4, 0.8, 0.6, 0.8, 通过式 (13) 和 (14) 得到一致性强度  $\text{gci}' = 0.7948$ . 可见,

采用本文所提出的方法, 群体一致性强度由0.7948提高到0.9456, 表明本文所提出的定量评估方法比定性评估方法能更充分地表达所有评估者的意愿, 具有更高的信服度。

## 4 结 论

证据理论已经广泛应用于模糊信息下的多属性决策问题, 但在处理评估问题时, 还存在模糊区间处理、确定值难获取、评估效果难评价的问题。本文提出的基于群体一致性强度的模糊评估方法, 利用评估等级的语义信息合成确定的综合评估值, 通过群体一致性强度指标保证最终评估的有效性, 体现了评估中的简单多数原则。最后通过软件可信评估实例对评估方法进行了说明和分析。

目前的模糊评估方法是建立在评估指标确定、评估模型结构不改变的情况下, 同时, 本文在证据合成过程中采用了原始证据合成法则, 当专家的评价高度冲突时, 会产生有悖常理的结果。下一步工作将对合成法则进行改进, 并设计适合于动态评估的动态模糊评估模型。

## 参考文献(References)

- [1] Yang J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multiattribute decision analysis under uncertainties[J]. *European J of Operational Research*, 2001, 131(1): 31-61.
- [2] Yang J B, Liu J, Wang J, et al. Belief rule-based inference methodology using the evidential reasoning approach-RIMER[J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 2006, 36(2): 266-285.
- [3] Yang J B, Wang Y M, Xu D L, et al. The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties[J]. *European J of Operational Research*, 2006, 171(1): 309-343.
- [4] Beynon M, Curry B, Morgan P. The Dempster-Shafer theory of evidence: An alternative approach to multicriteria decision modelling[J]. *Omega*, 2000, 28(1): 37-50.
- [5] Hua Z S, Gong B G, Xu X Y. A DS-AHP approach for multi-attribute decision making problem with incomplete information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(3): 2221-2227.
- [6] 姚爽, 郭亚军, 黄玮强. 基于证据距离的改进 DS/AHP 多属性群决策方法[J]. *控制与决策*, 2010, 25(6): 894-898.
- (Yao S, Guo Y J, Huang W Q. An improved method of aggregation in DS/AHP for multi-criteria group decision-making based on distance measure[J]. *Control and Decision*, 2010, 25(6): 894-898.)
- [7] 郭亚军, 姚爽, 黄玮强. 基于变权的语言评价信息不完全的群组评价方法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(9): 1351-1355.  
(Guo Y J, Yao S, Huang W Q. Method of group evaluation based on variable weight with incomplete linguistic evaluation information[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(9): 1351-1355.)
- [8] Shafer G. *A mathematical theory of evidence*[M]. Princeton: Princeton University Press Princeton, 1976: 1-32.
- [9] 段新生. *证据理论与决策、人工智能*[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1993: 54-68.  
(Duan X S. *Evidential theory and decision making, artificial intelligence*[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1993: 54-68.)
- [10] Wang Y M, Elhag T, Hua Z S. A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2006, 157(23): 3055-3071.
- [11] Pang J F, Liang J Y. Evaluation of the results of multi-attribute group decision-making with linguistic information[J]. *Omega*, 2012, 40(3): 294-301.
- [12] 刘明广. *复杂群决策系统决策与协同优化*[M]. 北京: 人民出版社, 2009: 1-22.  
(Liu M G. *Decision-making and collaborative optimization about the complex group decision-making system*[M]. Beijing: People's Publishing House, 2009: 1-22.)
- [13] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. *J of Mathematical Psychology*, 1977, 15(3): 234-281.
- [14] Saaty T L. How to handle dependence with the analytic hierarchy process[J]. *Mathematical Modelling*, 1987, 9(3/4/5): 369-376.
- [15] 刘旭东, 郎波, 谢冰, 等. *软件可信分级规范 v2.0*[Z]. 2009.  
(Liu X D, Lang B, Xie B, et al. *Software trustworthiness classification specification(trustie-stc v2.0)*[Z]. 2009.)

(责任编辑: 郑晓蕾)