

文章编号: 1001-0920(2002)02-0236-03

一种考虑不确定性信息的专家综合评价方法

杨 萍, 刘卫东

(第二炮兵工程学院 数学与系统工程室, 陕西 西安 710025)

摘 要: 针对专家评估中的不确定信息, 在证据推理的框架下讨论了对定性指标的专家综合评价方法。重点研究了专家主观评判意见中的不准确性问题, 提出一种新的表示专家不确定意见的信任度模型, 解决了在这种表示下的专家意见的综合。算例表明该方法评估结果比较客观、合理。

关键词: 不确定信息; 专家决策; 信任度函数; 合成

中图分类号: TP 274

文献标识码: A

An evaluation method of experts decision making with uncertainty

YANG Ping, LIU Wei-dong

(Department of Mathematics and Systems Engineering, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: Under an evidential reasoning framework, a new method for solving evaluation problem of qualitative attributes with uncertain information in multiple experts decision making is presented. Expert's opinion is represented by a certain degree of belief so that uncertainty can be embedded in the evaluation. The synthesis based on this expression is solved. The example shows that the method is relatively objective and reasonable.

Key words: uncertain information; experts decision making; degree of belief; synthesis

1 引言

在许多实际问题的评估中, 对其结构模型中定性指标的处理往往比较困难, 一般是集中多个专家给出主观的评判意见, 通过一定的方法量化、综合而得到结果。但由于这些定性指标本身的模糊性、复杂性和专家的局限性, 专家对指标的评价只能是大致的, 其中含有一定的不可靠和不完全信息。因此有必要考虑这些因素, 研究这种情形下的综合评价方法。证据推理方法不仅其合成公式很有效, 而且可通过构造基本概率分配函数(也称 mass 函数), 较好地表示决策中的不完全、不确定信息, 用来反映专家意见的不确定性。

本文针对定性指标的评估问题, 运用模糊理论的知识, 对专家的模糊评判意见进行定量化描述, 并结合证据理论, 重点研究反映专家意见不确定性的信任度表示和专家意见的综合方法。该方法比 AHP 和模糊综合评价等方法更能反映人在认识中的未知信息, 并能更好地解决具有较多定性指标的评估问题。最后通过一个例子对该方法进行说明。

2 具有不确定性信息的专家评估问题

设定性指标集为 $\{t_1, t_2, \dots, t_s\}$, 针对某个定性指标 t_i , 考虑 n 个专家 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 构成的群体对此

收稿日期: 2000-11-24; 修回日期: 2001-04-23

作者简介: 杨萍(1968—), 女, 重庆人, 副教授, 硕士, 从事智能决策、指挥自动化等研究; 刘卫东(1968—), 男, 重庆巫山人, 副教授, 博士生, 从事智能决策、信息处理等研究。

给出意见的综合问题, 其它定性指标的评估可类似进行。定性指标的专家决策模型如图 1 所示, 并且假定某专家给出评判意见不受其他专家意见的影响。

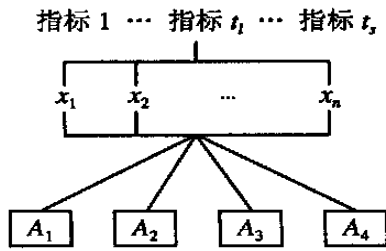


图 1 定性指标的专家决策模型

对定性指标的评价就是建立一种定量模型, 综合 n 个专家的意见, 最终获得对该指标的总评价值 (或等级划分)。这里通过特征集 $\Omega = \{ \text{优}(A_1), \text{良}(A_2), \text{中}(A_3), \text{差}(A_4) \}$ 给出对指标的优劣评判, 即给出该指标属于 Ω 中各等级的具体量值。

定性指标通常代表比较抽象的概念, 难以量化, 专家对此评判多依赖于知识、经验等, 因此常采用大致、可能、比较等模糊词语, 而这种表述也更符合客观实际和人的表达方式。对于专家模糊语言的量化处理, 许多文献已有讨论^[1,2], 如选用梯形模糊数对模糊词语集及特征集 Ω 中的每个元素进行定义, 选用一种贴近度计算某个专家的模糊评语与特征集的接近程度, 即可给出该评语属于 Ω 中各等级的具体量值。这里将模糊词语集定义为 $U = \{ \text{肯定}, \text{很可能}, \text{大致可能}, \text{可能}, \text{大致不可能}, \text{不可能}, \text{绝对不可能} \}$, 按表 1 的方式对模糊词语集进行定义。

表 1 模糊词语的定义

μ_{ji}	1	2	3	4	5	6	7
肯定	1	0.75	0	0	0	0	0
很可能	0.25	1	0.75	0	0	0	0
大致可能	0	0.25	1	0.75	0	0	0
可能	0	0	0.5	1	0.5	0	0
大致不可能	0	0	0	0.75	1	0.25	0
不可能	0	0	0	0	0.75	1	0.25
绝对不可能	0	0	0	0	0	0.75	1

表 1 给出 7 个类来充分表达各模糊词语, 这种表达方式对适应专家不同程度的表述有一定的灵活性。为使前面的模糊语言反映到特征集上, 同样需要由 7 个类对 Ω 中的每个等级进行定义。假设表述为“肯定”时, 指标评判为“优”; 表述为“绝对不可能”时, 指标评判为“差”。其定义见表 2。

定义 1 专家 j 对指标 t_i 的模糊评语在 Ω 中每

表 2 特征集的定义

$\mu_i(A_k)$	1	2	3	4	5	6	7
优(A_1)	1	0.75	0	0	0	0	0
良(A_2)	0	0.25	1	0.5	0	0	0
中(A_3)	0	0	0	0.5	1	0.25	0
差(A_4)	0	0	0	0	0	0.75	1

个等级的隶属度函数为

$$\mu_j^{(t_i)*}(A_k) = \frac{\mu_{ji}^{(t_i)} \mu_i(A_k)}{\sum_{i=1}^7 (\mu_{ji}^{(t_i)} \mu_i(A_k))} \quad (1)$$

$k = 1, 2, 3, 4, \quad j = 1, 2, \dots, n$

其中, μ 表示 min 运算, $*$ 表示 max 运算。式 (1) 表示模糊评语与 Ω 中每个等级的匹配程度, 且一定有 $0 \leq \mu_j^{(t_i)*}(A_k) \leq 1$ 。但由于表 1 中各模糊词语的定义不具有排它性, 因而可能有 $\sum_{k=1}^4 \mu_j^{(t_i)*}(A_k) > 1$, 将其归一化处理为

$$\mu_j^{(t_i)}(A_k) = \frac{\mu_j^{(t_i)*}(A_k)}{\sum_{k=1}^4 \mu_j^{(t_i)*}(A_k)} \quad (2)$$

$k = 1, 2, 3, 4, \quad j = 1, 2, \dots, n$

这时 $\mu_j^{(t_i)}(A_k)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) 仍反映了专家 j 的评估意见属于优、良、中、差各等级的程度, 记为

$$P_j^{(t_i)} = \{ \mu_j^{(t_i)}(A_1), \mu_j^{(t_i)}(A_2), \mu_j^{(t_i)}(A_3), \mu_j^{(t_i)}(A_4) \}$$

3 专家意见的信任度表示与合成

由于各个专家在知识、理解和偏好上的差异, 每个专家给出的评估意见不一定完全可靠。设对指标 t_i 给出 n 个专家的权重为 $(\lambda^{(t_i)}, \lambda^{(t_i)}, \dots, \lambda_n^{(t_i)}, \lambda_n^{(t_i)})$, $\lambda_n^{(t_i)}$ $0, k = 1, 2, \dots, n, \sum_{k=1}^n \lambda_k^{(t_i)} = 1$ 。假定在一组专家群体中, 权重最高的专家其评判结果的可靠性最高, 不可靠程度只与其经验、偏好有关。其他专家评判不可靠的相对程度除与其自身的经验、偏好有关外, 还与他同最高权威的知识的相对差异有关。

定义 2 专家对指标 t_i 评判的相对可靠度为

$$\alpha_j^{(t_i)} = \omega_j^{(t_i)} [1 - (\lambda_{\max}^{(t_i)} - \lambda_j^{(t_i)})] \quad (3)$$

$j = 1, 2, \dots, n$

其中, $\lambda_{\max}^{(t_i)} = \max_{i=1, \dots, n} \lambda_i^{(t_i)}$; $\omega_j^{(t_i)}$ 为反映专家经验、偏好的系数, 可根据先验信息获得, 一般取 $0.9 \leq \omega_j^{(t_i)} \leq 1$ 。显然 $0 \leq \alpha_j^{(t_i)} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n$ 。可以看出 $\lambda_j^{(t_i)}$ 越靠近 $\lambda_{\max}^{(t_i)}$, $\alpha_j^{(t_i)}$ 的值越大。由于专家意见存在某种程

度的不可靠性, 因此专家 j 的评估意见的隶属度需要进行折扣, 即

$$P_j^{(t)} = \alpha_j^{(t)} P_j^{(t)} \quad (4)$$

这时 $\prod_{k=1}^4 \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_k) = 1$, 而 $1 - \prod_{k=1}^4 \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_k)$ 属于专家评估中的未知信息。

选用 mass 函数^[3]对上述具有不确定性信息的专家意见进行表示, 可表示出专家 j 对指标 t_i 评估意见的 mass 函数

$$m_j^{(t)}(A) = \begin{cases} \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_1), & A = \{A_1\} \\ \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_2), & A = \{A_2\} \\ \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_3), & A = \{A_3\} \\ \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_4), & A = \{A_4\} \\ 1 - \prod_{k=1}^4 \alpha_j^{(t)} \mu_j^{(t)}(A_k), & A = \Omega \end{cases} \quad (5)$$

将其记为 $m_j^{(t)} = (m_j^{(t)}(A_1), m_j^{(t)}(A_2), m_j^{(t)}(A_3), m_j^{(t)}(A_4), m_j^{(t)}(\Omega))$, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

对专家的不确定性评判意见进行综合, 需要根据专家意见的表示方法选择合适的合成公式。对于证据理论的 mass 函数表示, 可按下式进行合成

$$m(A) = m_1(A) \oplus m_2(A) \oplus \dots \oplus m_n(A) = \frac{1}{N} \prod_{B_j=A} m_i(B_i) \quad (6)$$

其中, m_1, m_2, \dots, m_n 是 Ω 上 n 个 mass 函数, 而

$$N = \prod_{B_j=\phi} m_i(B_i) > 0 \quad (7)$$

合成后的 $m(A)$ 仍是 mass 函数, 这就是 D-S 合成公式。式(7)中 N 度量了 n 个信任函数冲突的程度, 式(6)对 n 个完全冲突的证据不能合成。

每个专家的评估意见都对应一个 mass 函数, 利用 D-S 合成公式可对 n 个专家的意见进行综合。其综合结果设为 $m^{(t)} = (m^{(t)}(A_1), m^{(t)}(A_2), m^{(t)}(A_3), m^{(t)}(A_4), m^{(t)}(\Omega))$, 其中 $m^{(t)}(A_i)$ 表示综合各专家意见后对指标 t_i 属于 A_i 等级的信任程度。

合成公式产生新的 mass 函数, 可用于多个定性指标的层次综合。但由于各个指标对上层指标的贡献不尽相同, 因此在进行层次综合时还需要进一步研究指标综合中的不确定信息表示问题。

4 例 子

在对导弹武器系统研制方案的评估中, 涉及到战略意图符合度、作战效能、射前生存能力、系统可

用性、费用 5 个指标。其中战略意图符合度属定性指标, 在实际中没有较好的定量解析式来刻画它, 通常集中一些专家给出主观性的评估意见进行综合。设有 5 个专家组成的决策群体, 就某方案分别对该指标进行评估。该指标的模糊词语集定义为 {肯定符合, 很符合, 相当符合, 符合, 不太符合, 不符合, 绝对不符合}, 需要给出 $\Omega = \{\text{优}(A_1), \text{良}(A_2), \text{中}(A_3), \text{差}(A_4)\}$ 的评估结果。专家的评估意见列于表 3。

表 3 专家评估意见

评判意见	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5
战略意图符合度	很符合	符合	不太符合	符合	相当符合

由式(3)给出专家评判的相对可靠度为 $\alpha = (0.9, 0.85, 0.80, 0.86, 0.92)$, 其评语分值为

$$\mu_1 = (0.25, 1, 0.75, 0, 0, 0, 0)$$

$$\mu_2 = (0, 0, 0.5, 1, 0.5, 0, 0)$$

$$\mu_3 = (0, 0, 0, 0.75, 1, 0.25, 0)$$

$$\mu_4 = (0, 0, 0.5, 1, 0.5, 0, 0)$$

$$\mu_5 = (0, 0.25, 1, 0.75, 0, 0, 0)$$

5 个专家的 mass 函数为

$$m_1 = (0.45, 0.45, 0, 0, 0, 0.1)$$

$$m_2 = (0, 0.425, 0.425, 0, 0.15)$$

$$m_3 = (0, 0.112, 0.632, 0.05, 0.206)$$

$$m_4 = (0, 0.43, 0.43, 0, 0.14)$$

$$m_5 = (0.064, 0.727, 0.129, 0, 0.08)$$

利用 D-S 合成公式得综合结果

$$m^{(t)} = (0.0059, 0.8842, 0.1090, 0.0002, 0.0007)$$

可以看出, 综合专家意见后, 认为该指标属于优、良、中、差的信任度分别为 0.0059, 0.8842, 0.1090, 0.0002。

5 结 语

本文针对定性指标的评价问题, 考虑到专家对问题认识的局限性, 在证据推理的框架下讨论了具有不确定信息专家意见的综合评价方法, 提出一种新的表示专家不确定意见的信任度模型, 可解决在这种表示下的专家意见的综合问题。选用 D-S 合成公式, 除对完全冲突的专家意见不能合成外, 其它情况均能得到较好的综合结果。该方法为解决具有较多主观指标的多属性多层次评估问题提供了一种新的思路。

(下转第 242 页)

点数取 512, Volterra 泛函级数的阶数为 3, 记忆长度为 20。

本文方法成功地辨识出与仿真模型结构及参数相一致的模型, 辨识结果详见表 1 和表 2。

表 2 辨识中影响因子的变化

k	$\text{eff}^{(k)}$	$\text{eff}^{(k)}/\text{eff}^{(k-1)}$
1	4 008 1 e+ 3	
2	1. 882 0 e+ 3	0. 469 6
3	1. 069 0 e+ 3	0. 568 0
4	387. 638 3	0. 362 6
5	149. 446 5	0. 385 5
6	137. 024 9	0. 916 9
7	73. 257 9	0. 534 6
8	45. 286 2	0. 618 2
9	3. 954 1 e- 4	8. 731 4 e- 6

将时域核按阶分别做傅氏变换, 可得系统各阶的幅频特性。一阶频域核幅频特性的最大估计误差为 0. 001 5; 二阶频域核估计的幅频特性及估计误差如图 1 和图 2 所示, 最大误差为 0. 002 2。

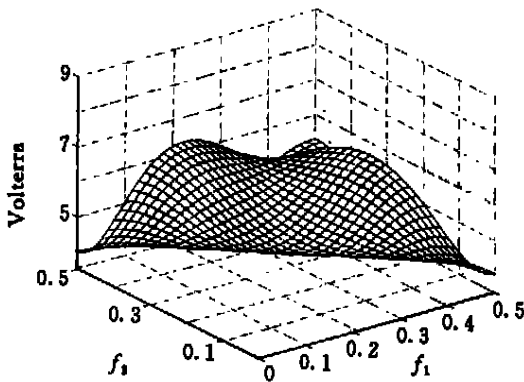


图 1 二阶频域核估计的幅频特性

5 结 论

本文在 Householder 正交变换中引入影响因

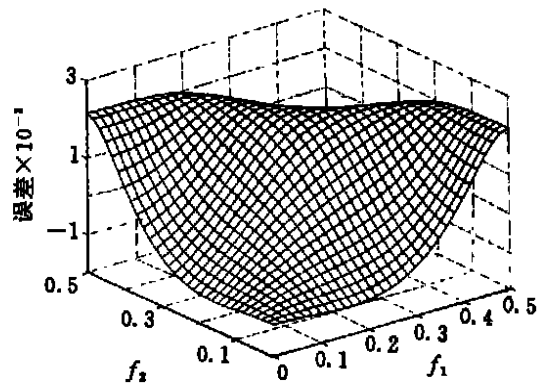


图 2 二阶频域核幅频特性的估计误差

子, 对 Volterra 泛函级数进行核的选项及估计。该方法能合理地简化 Volterra 泛函级数, 大大减少了 Volterra 泛函级数辨识中的计算量, 从而有效地利用 Volterra 泛函级数进行非线性系统辨识。

参考文献 (References):

- [1] 王文正, 唐晓泉, 欧文, 等. Volterra 泛函级数辨识方法的综述及一种简化方法[J]. 非线性动力学学报 (J of Nonlinear Dynamics in Science and Technology), 1999, 6(1): 30-36
- [2] Boyd S, Tang Y S, Chua L O. Measuring Volterra kernels[J]. IEEE Trans on Circ Syst, 1983, 30 (8): 571-577.
- [3] Chua L O, Liao Y. Measuring Volterra kernels (II) [J]. Int J of Circ Theory, 1989, 17(2): 151-190
- [4] Nam S W, Powers E J. Application of higher order spectral analysis to cubically nonlinear system identification[J]. IEEE Trans on Sig Proc, 1994, 42(7): 1746-1765
- [5] Koh T, Powers E J. Second order Volterra filtering and its application to nonlinear system identification [J]. IEEE Trans on Acous, Speech, Sig Proc, 1985, 33(6): 1445-1455
- [6] 张贤达. 信号处理中的线性代数[M]. 北京: 科学出版社, 1997.

(上接第 238 页)

参考文献 (References):

- [1] F Herrera, E Herrera Viedma, J L Verdegay. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments[J]. Fuzzy Sets & Syst, 1996, 78(1): 73-87.
- [2] C Feng. Fuzzy multicriteria decision making in distribution of factories: An application of approximate reasoning[J]. Fuzzy Sets & Syst, 1995, 71(2): 197-205
- [3] 张文修, 梁怡. 不确定性推理原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996