

飞机型号研制经验不确定性表达的模糊粗糙特征集方法

孟科, 王兴华, 李登科

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对不确定性知识表达和量化的需要,基于模糊粗糙集理论构建了知识表达的模糊粗糙特征集模型,并将其应用于飞机型号研制经验的不确定性知识表达。实例结果表明,这种方法是合理、可行、有效的。

关键词:模糊粗糙集;特征集;研制经验;不确定性知识

中图分类号: V37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2006)04 - 0017 - 03

军用飞机型号研制机构的技术人员作为型号研制的主体,其研制经验结构性不确定性构成了研制过程重要的“技术生态环境”,对型号研制和费用支出过程有深刻的影响。科学有效地对这种不确定性进行描述、量化及深入研究对于研制费用估算具有非常重要的理论和实际应用价值。

由于客观事物的复杂性,对象 ω 具有或不具有某种特征 τ 有时是不确定的、模糊的,即特征表中各元素的取值是 $[0, 1]$, 在这种情况下,单一应用基于粗糙集理论的知识表示特征集模型的方法来处理不确定性知识就失效了^[1-2]。S. Nanda, D. Dubois 等学者利用模糊划分的相似性研究集合的近似问题,提出了模糊粗糙集^[3]。为此,我们利用模糊粗糙集理论^[4-5]构建知识表示的模糊粗糙特征集模型,并将其应用于研制经验结构性不确定性知识表达。

1 原子概念及其模糊隶属函数和模糊算子

1.1 原子概念

利用 τ 特征集和非 τ 特征集^[4]可构造如下原子集:

$$[\alpha_0] = [\hat{\tau}_1 \wedge \hat{\tau}_2 \wedge \dots \wedge \hat{\tau}_n] = [\hat{\tau}_1] \wedge [\hat{\tau}_2] \wedge \dots \wedge [\hat{\tau}_n] \quad [\alpha_1] = [\hat{\tau}_1 \wedge \hat{\tau}_2 \wedge \dots \wedge \hat{\tau}_n] = [\hat{\tau}_1] \wedge [\hat{\tau}_2] \wedge \dots \wedge [\hat{\tau}_n]$$
$$[\alpha_N] = [\hat{\tau}_1 \wedge \hat{\tau}_2 \wedge \dots \wedge \hat{\tau}_n] = [\hat{\tau}_1] \wedge [\hat{\tau}_2] \wedge \dots \wedge [\hat{\tau}_n]$$

这些原子集形成了对论域 U 的一种划分,为简便起见,用 $\tau, \hat{\tau}, [\alpha_i]$ 分别标记 $[\tau], [\hat{\tau}], \alpha_i$, 同时省略合取符,以简化上式表达,则称 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_N$ 为原子概念,所有原子概念之集称为概念空间,其中 $N = 2^n - 1$ 。

1.2 原子概念的模糊隶属函数

设 $U \neq \emptyset, \Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ 是对象集, $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ 是特征集, $C = \{\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_N\}$ 是概念空间, $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_N$ 为原子概念。原子概念是信息系统知识表示的最基本范畴,即构成知识的最小“颗粒”。因此,从 α_i 入手引入基于模糊集理论表示方法。对于每个 $\alpha \in C$, 其发生概率为 β , 满足下式: $\mu(\alpha) = \beta$ 则称 $\mu(\alpha)$ 为 α 的模糊隶属函数。序对 (β, α) 构成了描述知识最小“颗粒”基本元素,如有 $(1, \alpha) = \alpha, (0, \alpha) = \hat{\alpha}$ 。

1.3 原子概念的模糊算子

按照模糊集合补、并、交集定义模糊算子 $(\neg \cup \cap)$, 若有两独立集 $s_1 = \{(\beta_1, \alpha_i)\}, s_2 = \{(\beta_2, \alpha_j)\}$ 则: \neg

$$s_1 = \{(1 - \beta_1, \alpha_i)\}; s_1 \cup s_2 = \begin{cases} \{(\beta_1, \alpha_i)(\beta_2, \alpha_j)\}, & i \neq j \\ \{\max(\beta_1, \beta_2), \alpha_i\}, & i = j \end{cases}; s_1 \cap s_2 = \begin{cases} \emptyset, & i \neq j \\ \{\min(\beta_1, \beta_2), \alpha_i\}, & i = j \end{cases}$$

收稿日期: 2005 - 03 - 18

作者简介: 孟科(1975 -), 男, 陕西泾阳人, 博士生, 主要从事飞机系统工程等研究;

张恒喜(1937 -), 男, 江苏姜堰人, 教授, 博士生导师, 主要从事飞机系统工程等研究。

2 知识的模糊粗糙特征集表达

2.1 特征的模糊表达

利用基本元素 (β, α) 可得特征 τ_j 的模糊表达式^[6]。

$$\tilde{\tau}_j = (\bigcup_{\alpha_k \Rightarrow \tau_j} \{1, \alpha_k\}) \cup (\bigcup_{\alpha_k \Rightarrow \tilde{\tau}_j} \{0, \alpha_k\}) = \bigcup_{k=0}^N \{P_{jk}, \alpha_k\} \text{ 其中, } P_{jk} = \begin{cases} 1, & \alpha_k \Rightarrow \tau_j \\ 0, & \alpha_k \Rightarrow \tilde{\tau}_j \end{cases} \quad (1)$$

2.2 对象的原子概念模糊表示

作如下定义: $(\gamma, \tau_j) \equiv (\gamma, \tilde{\tau}_j)$, $\{(\gamma, \{(\beta, \alpha)\})\} = \{(\delta, \alpha)\}$, 其中 $\delta = 1 - \gamma + \beta(2\gamma - 1)$ 并令 γ_{ij} 表示对象 ω_i 具有特征 τ_j 的可信程度(可能性程度), $\gamma_{ij} \in [0, 1]$, 则可得到对象 ω_i 的模糊表达式。

$$\tilde{\omega}_i = \{(\gamma_{i1}, \tilde{\tau}_1)\} \cap \{(\gamma_{i2}, \tilde{\tau}_2)\} \cap \dots \cap \{(\gamma_{in}, \tilde{\tau}_n)\} = \bigcap_{j=1}^n \{(\gamma_{ij}, \tilde{\tau}_j)\} = \bigcap_{j=1}^n \{(\gamma_{ij}, \bigcup_{k=0}^N \{P_{jk}, \alpha_k\})\} \quad (2)$$

令 $\delta_{ijk} = 1 - \gamma_{ij} + P_{jk}(2\gamma_{ij} - 1)$, 则有

$$\tilde{\omega}_i = \bigcap_{j=1}^n (\bigcup_{k=0}^N \{\delta_{ijk}, \alpha_k\}) = \bigcup_{k=0}^N (\bigcap_{j=1}^n \{\delta_{ijk}, \alpha_k\}) = \bigcup_{k=0}^N \{(\min_j \{\delta_{ijk}\}, \alpha_k)\} \quad (3)$$

从式(3)可知, 对象 ω_i 的模糊表达 $\tilde{\omega}_i$ 是由原子概念 α_k 及其隶属函数 $\mu_{\omega_i}(\alpha_k) = \min_j \{\delta_{ijk}\}$ 来描述的。

2.3 基于特征集的知识原子概念表达

令 $\delta_{ik} = \min_j \{\delta_{ijk}\}$ 根据粗糙集理论对于知识的定义, 可以得到知识 A 的原子概念表达(模糊上、下近似):

$$\bar{A}^* = \bigcup_{\omega_i \in A} \tilde{\omega}_i = \bigcup_{\omega_i \in A} (\bigcup_{k=0}^N \{(\min_j \{\delta_{ijk}\}, \alpha_k)\}) = \bigcup_{\omega_i \in A} (\bigcup_{k=0}^N \{(\delta_{ijk}, \alpha_k)\}) = \bigcup_{k=0}^N (\bigcup_{\omega_i \in A} \{(\delta_{ik}, \alpha_k)\}) = \bigcup_{k=0}^N \{(\max_j \{\delta_{ijk}\}, \alpha_k)\} \quad (4)$$

$$\bar{A}_* = \bar{A}^* - (\Omega - A)^* = \bar{A}^* \cap \neg (\Omega - A)^* = \bigcup_{k=0}^N \{(\min(\max_{\omega_i \in A} \{\delta_{ik}\}, 1 - \max_{\omega_i \in (\Omega - A)} \{\delta_{ik}\}), \alpha_k)\} \quad (5)$$

3 实例

实际分析表明, 飞机型号研制经验的主要影响因素有: ①技术层次结构的合理性, 因为职称、文化程度、技术贡献和研制成果都可由此因素反映; ②完成项目情况, 反映了所参与型号数量的多少和技术先进程度; ③人员的搭配和优化组合的合理性, 它有利于经验的发挥; ④人才引进措施, 对于型号研制队伍建设和经验的积累有重要的促进作用。

为此, 假定用于飞机型号研制机构经验状况的知识表达系统具有基本特征集(参见表 1): $T = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3\}$, 其中 $\tau_1 =$ (技术结构, 合理), $\tau_2 =$ (完成项目, 很好), $\tau_3 =$ (人员搭配, 合理), 该特征集定义了原子概念 $\{\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_7\}$, 形成了对论域 U 的划分。对象集 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$, 分别对应 3 个不同的研究机构, d 为决策属性集(人才引进措施), I 为好, II 为不好。

表 1 特征决策表

U	τ_1	τ_2	τ_3	d
ω_1	0.8	0.7	0.9	I
ω_2	0.6	0.9	0.8	I
ω_3	0.4	0.5	0.6	II

原子概念集为: $\alpha_0 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_1 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_2 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_3 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_4 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_5 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_6 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$; $\alpha_7 = \hat{\tau}_1 \hat{\tau}_2 \hat{\tau}_3$

由式(1)可得特征的模糊表达式: $\tilde{\tau}_1 = \{(0, \alpha_0), (1, \alpha_1), (0, \alpha_2), (1, \alpha_3), (0, \alpha_4), (1, \alpha_5), (0, \alpha_6), (1, \alpha_7)\}$; $\tilde{\tau}_2 = \{(0, \alpha_0), (0, \alpha_1), (1, \alpha_2), (1, \alpha_3), (0, \alpha_4), (0, \alpha_5), (1, \alpha_6), (1, \alpha_7)\}$; $\tilde{\tau}_3 = \{(0, \alpha_0), (0, \alpha_1), (0, \alpha_2), (0, \alpha_3), (1, \alpha_4), (1, \alpha_5), (1, \alpha_6), (1, \alpha_7)\}$ 。

由式(2)得: $\omega_1 = \{(0.8, \tilde{\tau}_1)\} \cap \{(0.7, \tilde{\tau}_2)\} \cap \{(0.9, \tilde{\tau}_3)\} = \{(0.2, \alpha_0), (0.8, \alpha_1), (0.2, \alpha_2), (0.8, \alpha_3), (0.2, \alpha_4), (0.8, \alpha_5), (0.2, \alpha_6), (0.8, \alpha_7)\} \cap \{(0.3, \alpha_0), (0.3, \alpha_1), (0.7, \alpha_2), (0.7, \alpha_3), (0.3, \alpha_4), (0.3, \alpha_5), (0.7, \alpha_6), (0.7, \alpha_7)\} \cap \{(0.1, \alpha_0), (0.1, \alpha_1), (0.1, \alpha_2), (0.1, \alpha_3), (0.9, \alpha_4), (0.9, \alpha_5), (0.9, \alpha_6), (0.9, \alpha_7)\} = \{(0.1, \alpha_0), (0.1, \alpha_1), (0.1, \alpha_2), (0.1, \alpha_3), (0.2, \alpha_4), (0.3, \alpha_5), (0.2, \alpha_6), (0.7, \alpha_7)\}$ 。

同理可得: $\tilde{\omega}_2 = \{(0.1, \alpha_0), (0.1, \alpha_1), (0.2, \alpha_2), (0.2, \alpha_3), (0.2, \alpha_4), (0.2, \alpha_5), (0.4, \alpha_6), (0.6, \alpha_7)\}$; $\tilde{\omega}_3 = \{(0.4, \alpha_0), (0.4, \alpha_1), (0.4, \alpha_2), (0.4, \alpha_3), (0.5, \alpha_4), (0.4, \alpha_5), (0.5, \alpha_6), (0.4, \alpha_7)\}$ 。

知识 $A = \{\omega_1, \omega_2\}$, 即决策为“ I ”的分类知识, 由式(4)、(5)可得其模糊粗糙特征集表达为:

$\bar{A}^* = \{(0.1, \alpha_0), (0.1, \alpha_1), (0.2, \alpha_2), (0.2, \alpha_3), (0.2, \alpha_4), (0.3, \alpha_5), (0.4, \alpha_6), (0.7, \alpha_7)\}$;

$\bar{A}_* = \bar{A}^* \cap \neg(\Omega - A)^* = \{(0.1, \alpha_0), (0.1, \alpha_1), (0.2, \alpha_2), (0.2, \alpha_3), (0.2, \alpha_4), (0.3, \alpha_5), (0.4, \alpha_6), (0.6, \alpha_7)\}$ 。

4 结束语

利用知识表示的模糊粗糙特征集模型可以有效地表达现实世界中的一类对象, 它具有或不具有某种特征 τ 有时是不确定的、模糊的, 对于无论因为数据不完备还是信息含糊所引起的知识的不确定性, 都能运用它来表达。实例结果表明, 这种方法是切实可行的, 是利用信息熵概念对此类不确定性量化的前提和基础, 因而具有一定的推广性。

参考文献:

- [1] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 赛英, 赛煜, 张明. 应用粗糙集理论的数据库知识发现[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2004, 5(3): 68 - 70.
- [3] Dubois D, Prade H. Rough Sets and Fuzzy Rough Sets[J]. International Journal of General Systems, 1990, 17: 191 - 209.
- [4] Nanda S, Majumdar S. Fuzzy Rough Sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 45: 157 - 160.
- [5] Kuncheva L I. Fuzzy rough sets: Application to feature selection[J]. Fuzzy sets and Systems, 1992, 51: 147 - 153.
- [6] Morsi N N, Yakout M M. Axiomatics for fuzzy rough sets[J]. Fuzzy sets and Systems, 1998, 100: 327 - 342.

(编辑: 姚树峰)

A Fuzzy Rough Property Set Approach to Uncertain Knowledge Representation of Aircraft Type R&D Experience

MENG ke, WANG Xing - hua, LI Deng - ke

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: According to the needs of representation and quantification of such uncertainty, a fuzzy rough property set model is set up based on the fuzzy rough set theory and applied to the representation of uncertain knowledge of the aircraft type R&D experience. The result shows that the approach is reasonable, feasible and effective.

Key words: fuzzy rough set; property set; R&D experience; uncertain knowledge