

防空信息战效能模糊评估的一种新算法

刘开第, 庞彦军, 王 进

(河北工程大学 不确定性信息研究所, 河北 邯郸 056038)

摘 要:为了实现防空信息战效能的模糊评价,清除指标隶属度中对目标分类不起作用的冗余值,用基于熵的数据挖掘方法,通过挖掘隐藏在各指标隶属度中关于目标分类的知识信息,理清目标分类与指标隶属度之间的关系,定义区分权清除指标隶属度中对目标分类不起作用的冗余值,并提取有效值计算目标隶属度。防空信息战效能模糊评价的事例分析表明:具有多指标属性的决策问题,为了排除冗余值的干扰,则隶属度转换模型可作为有效的方法。基于熵的数据挖掘方法有效解决了模糊评价中冗余数据的干扰,从而解决了一大批多指标的决策问题。

关键词:防空信息战;效能评估;隶属度转换;区分权;有效值;可比值

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.01.011

中图分类号: O236 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)01-0044-05

防空信息战效能是指:在一定的作战背景条件下,参与防空信息战活动的装备、人员完成上级赋予的对防空信息斗争任务能力的大小。文献[1]构建了防空信息战评价指标体系,给出了表1所示的模糊综合评价矩阵。

根据表1所示的模糊评价矩阵,从底层指标隶属度出发到求出顶层指标隶属度,要经过一系列的隶属度转换,并且在每个层次上实现的每一次隶属度转换,都可归结为下述抽象的转换模型。

已知影响目标 Q 状态有 m 种指标,每种指标都分为 p 个等级,用 $C_k(k=1,2,\dots,p)$ 表示第 k 个等级,且 C_k 级优于 C_{k+1} 级。

如果 j 指标属于 C_k 级的隶属度 $\mu_{jk}(\theta)(k=1,2,\dots,p;j=1,2,\dots,m)$ 已知,且 $\mu_{jk}(\theta)$ 满足:

$$0 \leq \mu_{jk}(\theta) \leq 1, \sum_{k=1}^p \mu_{jk}(\theta) = 1 \quad (1)$$

求目标 Q 属于 C_k 类的隶属度 $\mu_k(\theta)$ 。

对上述隶属度转换,模糊综合评判有4种转换模型: $M(\wedge, \vee)$ 、 $M(\cdot, \vee)$ 、 $M(\wedge, \oplus)$ 和 $M(\cdot, +)$,长期应用结果表明,只有 $M(\cdot, +)$ 模型得到多数应用者认可,即把目标隶属度作为指标隶属度与指标重要性权重的“加权和”。并且,“加权和”作为隶属度转换的主流方法被广泛应用于各种领域^[1-7]。

文献[8]认为 $M(\cdot, +)$ 模型太过简单化,利用信息不充分,提出基于证据推理与粗集理论的“主客观综合法”,替代 $M(\cdot, +)$ 模型实现隶属度转换。文献[9]在改进的模糊综合评判中,定义一种颇有新意的“综合权重”替代指标重要性权重计算“加权和”。

防空信息战效能模糊综合评判的核心计算是:实现从“指标隶属度到目标隶属度”的转换;但是,已有的隶属度转换方法都不是从目标分类角度设计的,都不能揭示指标隶属度中“哪部分对目标分类有用,哪部分没用”;结果是:指标隶属度中原本对目标分类不起作用的冗余数值,也被用于计算目标隶属度。实际上,隶属度转换是一种信息融合技术,实现信息融合的关键环节是:挖掘隐藏在各指标隶属度中关于目标分类的知识信息。为此,通过挖掘这种知识信息设计一种滤波器,能够清除指标隶属度中对目标分类不起作用的冗余数值,在没有冗余数据干扰下实现隶属度转换。由此建立一种基于信息融合技术的防空信息战效能评估方

* 收稿日期:2008-12-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60874116);山东省自然科学基金资助项目(F2009000857)

作者简介:刘开第(1940-),男,山东烟台人,教授,主要从事数据推理与算法研究. E-mail:liukaidi@hebeu.edu.cn

法。

1 区分权与有效值

1.1 区分权

1) 设想 $\mu_{j_1}(Q) = \mu_{j_2}(Q) = \dots = \mu_{j_p}(Q)$, 则 j 指标隶属度提供了这样的分类信息: 单从 j 指标看, 目标 Q 属于各类的程度都一样。显然, 这种信息对目标 Q 分类不起作用, 删除 j 指标也不会影响 Q 的分类。如果用实数 $\alpha_j(Q)$ 表示 j 指标对目标 Q 分类所做贡献大小的归一化量化值, 则此种情况下有 $\alpha_j(Q) = 0$ 。

2) 如果存在整数 k 使 $\mu_{jk}(Q) = 1$, 其余隶属度均为 0, 则 j 指标隶属度提供的分类信息是: 单从 j 指标看, 目标 Q 只能属于 C_k 类, 不可能属于其它类。此时, j 指标对于目标 Q 的分类做出了最大的贡献, 实数 $\alpha_j(Q)$ 应取到最大值。

3) 同理, 若隶属度 $\mu_{jk}(Q)$ 对 k 而言取值越集中时, j 指标对目标 Q 分类做出的贡献越大, 即 $\alpha_j(Q)$ 越大; 反之, 当 $\mu_{jk}(Q)$ 对 k 而言取值越分散时, j 指标对目标 Q 分类做出的贡献越小, 即 $\alpha_j(Q)$ 越小。

上述 3 条说明, 反映 j 指标对目标 Q 分类贡献大小的实数 $\alpha_j(Q)$ 由隶属度 $\mu_{jk}(Q)$ 关于 k 的取值集中与分散的程度决定; 而隶属度 $\mu_{jk}(Q)$ 关于 k 取值集中与分散的程度可用隶属度的熵 $H_j(Q)$ 定量描述^[10], 所以, 实数 $\alpha_j(Q)$ 可表为熵 $H_j(Q)$ 的函数:

$$H_j(Q) = - \sum_{k=1}^p \mu_{jk}(Q) \log_2 \mu_{jk}(Q) \quad (2)$$

$$v_j(Q) = 1 - \frac{1}{\log_2 p} H_j(Q) \quad (3)$$

$$\alpha_j(Q) = \frac{v_j(Q)}{\sum_{i=1}^m v_i(Q)} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

称由式(2) - 式(4) 式定义的实数 $\alpha_j(Q)$ 为 j 指标关于目标 Q 的区分权, 显然区分权 $\alpha_j(Q)$ 满足:

$$0 \leq \alpha_j(Q) \leq 1, \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j(Q) = 1 \quad (5)$$

区分权 $\alpha_j(Q)$ 的意义在于“区分”, 即 j 指标的各类隶属度能否把目标 Q 所属类别区分开和在怎样的程度上区分开的一种度量。如果 $\alpha_j(Q) = 0$, 由熵的性质^[10] 知, 此时必有 $\mu_{j_1}(Q) = \mu_{j_2}(Q) = \dots = \mu_{j_p}(Q)$, 表明 j 指标的隶属度是对目标 Q 分类不起作用的冗余指标隶属度。对目标 Q 分类不起作用的冗余指标隶属度自然不能参与计算目标 Q 的各类隶属度。

1.2 指标隶属度的有效值

定义 1 若 $\mu_{jk}(Q)$ ($k = 1 \sim p, j = 1 \sim m$) 是目标 Q 的 j 指标属于 C_k 类的隶属度, 且 $\mu_{jk}(Q)$ 满足式(1); $\alpha_j(Q)$ 是 j 指标关于目标 Q 的区分权, 则称:

$$\alpha_j(Q) \mu_{jk}(Q) \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (6)$$

是 j 指标的 k 类隶属度的有效区分值, 简称 k 类有效值。

当区分权 $\alpha_j(x_i) = 0$ 时, 表明 j 指标隶属度是对目标 Q 分类不起作用的冗余指标隶属度, 因而不能参与计算目标 Q 的隶属度; 注意到, 当 $\alpha_j(Q) = 0$ 时, 有 $\alpha_j(Q) \mu_{jk}(Q) = 0$, 由此可发现: 计算目标 Q 的 k 类隶属度 $\mu_k(Q)$ 不是 j 指标的 k 类隶属度 $\mu_{jk}(Q)$, 而是 j 指标 k 类有效值 $\alpha_j(Q) \mu_{jk}(Q)$ 。这是一个至关重要的事实。

2 可比值与隶属度转换

毫无疑问, 各 j 指标的 k 类有效值 $\alpha_j(Q) \mu_{jk}(Q)$ 对于计算目标 Q 的 k 类隶属度 $\mu_k(Q)$ 来说是必不可少的; 但问题是, 不同 j 指标的 k 类有效值之间, 在通常情况下并不具有可比性, 更不具有直接可加性; 因为对于确定目标 Q 的 k 类隶属度来说, 这些有效值的“单位重要性”程度在通常情况下都不相同。原因是: 在计算指标隶属度时, 通常情况下并没有用到各指标关于目标 Q 的相对重要性。所以, 此种情况下, 当用各指标的 k 类有效值计算目标 Q 的 k 类隶属度时, 必须将不同指标的 k 类有效值转化为可进行大小比较的 k 类可比有效值。

定义2 若 $\alpha_j(Q)\mu_k(Q)$ 是 j 指标的 k 类有效值, $\beta_j(Q)$ 是 j 指标关于目标 Q 的重要性权重, 则称:

$$\beta_j(Q)\alpha_j(Q)\mu_k(Q) \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (7)$$

是 j 指标 k 类隶属度的可比有效值, 简称 k 类可比值。

显然, 不同 j 指标的 k 类可比值之间具有可比性和直接可加性。

定义3 若 $\beta_j(Q)\alpha_j(Q)\mu_k(Q)$ 是目标 Q 的 $j(j = 1, 2, \dots, m)$ 指标的 k 类可比值, 则称:

$$M_k(Q) = \sum_{j=1}^m \beta_j(Q)\alpha_j(Q)\mu_k(Q) \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (8)$$

是目标 Q 的 k 类可比和, 显然, 目标 Q 的 k 类可比和 $M_k(Q)$ 相对越大, 表明 Q 属于 C_k 类的程度越大。

定义4 若 $M_k(Q)$ 是目标 Q 的 k 类可比和, $\mu_k(Q)$ 是 Q 属于 C_k 类的隶属度, 则:

$$\mu_k(Q) \triangleq \frac{M_k(Q)}{\sum_{i=1}^p M_i(Q)} \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (9)$$

至此, 在目标 Q 的各影响指标的隶属度和指标重要性权重已知条件下, 通过式(2) - 式(4)、式(8) - 式(9), 求出了目标 Q 的隶属度, 实现了由指标隶属度到目标隶属度的转换; 并且转换过程不增加任何先验知识, 也不造成分类信息失真。

上述隶属度转换算法可概括为“一滤、二比、三合成”。“一滤”指用区分权滤波, 滤掉那些对目标分类不起作用的冗余指标隶属度和指标隶属度中的冗余数值, 从指标隶属度中提取对目标分类起作用的有效值; “二比”是把有效值转化为可比值并生成可比和; “三合成”是指由可比和定义目标隶属度。

3 应用算例

3.1 防空信息战效能评估的模糊综合评价矩阵

文献[1]给出的某战役防空信息战效能评估的模糊评价矩阵如表1所示。其中, 与各层分指标对应的括号内数字是该指标的重要性权重, 由专家按层次分析法确定; 底层指标后的向量是该底层指标关于5个评语等级{很差, 差, 一般, 好, 很好}的隶属度向量。

表1 防空信息战效能模糊评价矩阵

Tab. 1 Evaluation matrix of information warfare of air defense

目标	一级指标	二级指标	隶属度向量				
			(很差)	差	一般	较好	好)
防空 信息 战 效 能 S	A ₁ 信息支援能力 (0.136 5)	B ₁₁ 信息获取能力(0.104 7)	0	0.3	0.5	0.2	0
		B ₁₂ 信息传输能力(0.637 3)	0	0.2	0.4	0.3	0.1
		B ₁₃ 信息识别能力(0.258 0)	0.2	0.4	0.3	0.1	0
	A ₂ 信息进攻能力 (0.625 0)	B ₂₁ 信息压制能力(0.314 0)	0.2	0.3	0.3	0.2	0
		B ₂₂ 硬摧毁能力(0.443 0)	0	0.1	0.4	0.3	0.2
		B ₂₃ 网络对抗能力(0.152 0)	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1
	A ₃ 信息防御能力 (0.238 5)	B ₂₄ 心理对抗能力(0.091 0)	0	0	0.2	0.5	0.3
		B ₃₁ 威慑预警能力(0.116 9)	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1
		B ₃₂ 自卫干扰能力(0.199 8)	0.2	0.3	0.3	0.2	0
		B ₃₃ 信息系统抗毁能力(0.683 3)	0	0.2	0.5	0.2	0.1

3.2 基于“一滤, 二比, 三合成”算法过程

1) 以计算信息支援能力 A_1 的隶属度为例, 计算步骤如下:

步骤1 A_1 的评价矩阵为:

$$U(A_1) = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{pmatrix}$$

以 $U(A_1)$ 的第 $j(j = 1, 2, 3)$ 行计算指标 B_{1j} 关于 A_1 的区分权, 得区分权向量为:

$$\alpha(A_1) = (0.346 \quad 0.327 \quad 0.327)$$

步骤2 已知指标 $B_{11} - B_{13}$ 关于 A_1 的重要性权重向量为:

$$\beta(A_1) = (0.1047 \quad 0.6373 \quad 0.2580)$$

步骤3 计算指标 $B_{1j}(j=1,2,3)$ 的 K 类可比值,得可比值矩阵:

$$V(A_1) = \begin{pmatrix} 0.0036 & 0.0109 & 0.0181 & 0.0072 & 0 \\ 0 & 0.0417 & 0.0834 & 0.0625 & 0.0208 \\ 0.0169 & 0.0338 & 0.0253 & 0.0084 & 0 \end{pmatrix}$$

步骤4 由 $V(A_1)$ 计算 A_1 的 K 类可比和向量,得可比和向量为:

$$M(A_1) = (0.0205 \quad 0.0864 \quad 0.1268 \quad 0.0781 \quad 0.0208)$$

步骤5 由可比和向量 $M(A_1)$ 计算 A_1 的隶属度向量为:

$$\mu(A_1) = (0.0616 \quad 0.2598 \quad 0.3812 \quad 0.2348 \quad 0.0626)$$

同理可得 A_2, A_3 的隶属度向量 $\mu(A_2), \mu(A_3)$ 与 $\mu(A_1)$ 一并构成信息战效能 S 的评价矩阵:

$$U(S) = \begin{pmatrix} 0.062 & 0.260 & 0.380 & 0.235 & 0.063 \\ 0.062 & 0.144 & 0.354 & 0.284 & 0.156 \\ 0.044 & 0.212 & 0.457 & 0.206 & 0.081 \end{pmatrix}$$

2) 根据 $U(S)$ 按着与 1) 同样的步骤,可计算 S 的隶属度向量为:

$$\mu(S) = (0.056 \quad 0.185 \quad 0.393 \quad 0.250 \quad 0.116)$$

3.3 识别

注意到效能等级划分有序,如 K 级优于 $K+1$ 级,此种情况下适用于无序划分的最大隶属度识别准则不再适用;应使用置信度识别准则^[10]:

设 $\lambda(\lambda > 0.5)$ 为置信度,计算 $K_0 = \max_k \left\{ k \mid \sum_{i=k}^5 \mu_i(\theta) \geq \lambda, 1 \leq k \leq 5 \right\}$,则评判 S 属于 K_0 级,且有不低于 λ 的置信度。

本例中,判 S 属于“好”等级仅有 11.6% 的置信度;判 S 属于“较好”等级也只有 36.6% 的置信度;都不足 5%;而判 S 属于“一般”等级有不高于 75% ($0.116 + 0.250 + 0.393 = 0.759 > 0.75$) 的置信度,所以判 S 属于“一般”等级。

结果分析:判 S 属于“一般”等级,说明系统效能很不理想。

由 $U(S)$ 知,信息防御能力 A_3 达到“较好”等级的置信度只有 28.7%;而信息支援能力 A_1 达到“较好”等级的置信度只有 29.8%;信息进攻能力 A_2 达到“较好”等级的置信度也仅有 44%;都不足 50%;所以,要使防空信息战效能达到“较好”等级,首先要提高 A_3, A_1 的能力,其次是 A_2 的能力。

4 结束语

“一滤,二比,三合成”算法是实现隶属度转换的一般模式,也是一种重要的信息融合技术;其中关键环节是基于数据挖掘的区分权滤波,并且隶属度转换过程不需要增加新的先验知识,也不造成分类信息失真。由“一滤,二比,三合成”算法的评价结果,由模糊评价矩阵决定,所以,在构建符合实际的评价指标前提下,如何利用领域知识合理地确定底层指标关于评语等级的隶属度向量和各分指标的重要性权向量是评估中最重要的基础性计算环节。

由算法知,从底层指标隶属度出发,只要计算出相邻上层中一项指标的隶属度向量,那么,相同的计算程序可求出直到顶层总目标的隶属度向量。所以,基于“一滤,二比,三合成”算法,非常适合于多层次,多指标,大容量数据的隶属度转换问题。实际上“一滤,二比,三合成”算法将复杂的隶属度转换简化为:逐个实现简单的输入与输出。所以算法能满足评价的动态性、实时性需求。

参考文献:

- [1] 张多林,刘胜,吴智辉. 基于模糊综合评判的防空信息战效能评估[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(5):75-77.

ZHANG Duolin, LIU Sheng, WU Zhihui. Evaluation of the Information Warfare of Air Defense Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2003, 4(5): 75-77. (in Chinese)

- [2] 肖龙,戴宗坤. 信息系统风险的多极模糊综合评价模型[J]. 四川大学学报,2004,36(5):98-102.
XIAO Long, DAI Zongkun. Multi Levels Fuzzy Comprehensive Evaluation Model for Risk of Information System[J]. Journal of Sichuan University, 2004, 36(5):98-102. (in Chinese)
- [3] 丁朝阳,唐万年. 多级模糊综合评判在气象服务保障能力评估中的应用[J]. 气象科学,2005,25(1):48-53.
DING Zhaoyang, TANG Wannian. The Application of Multi-grade Fuzzy Evaluation in Meteorological Phenomena Service Safe-guard[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2005, 25(1):48-53. (in Chinese)
- [4] 李鹤田,刘云,何德全. 信息系统安全工程可靠性的风险评估方法[J]. 北京交通大学学报,2005,29(2):62-64.
LI Hetian, LIU Yun, HE Dequan. The Risk Evaluation Method For Reliability of Information System Engineering[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2005, 29(2):62-64. (in Chinese)
- [5] 吕颖钊,贺拴海. 缺损钢筋混凝土梁桥模糊可靠性评价模型[J]. 交通运输工程学报,2005,5(4):58-62.
LÜ Yingzhao, HE Shuanhai. Fuzzy Reliability Evaluation of Defective RC. Beam Bridge[J]. Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(4):58-62. (in Chinese)
- [6] 易俊,伍建林,史佩,等. 二阶模糊安全评估方法及其在石油库安全评价中的应用[J]. 中国安全科学学报,2007,17(6):135-138.
YI Jun, WU Jianlin, SHI Pei, et al. Method of Second Comprehensive Safety Evaluation and Its Application to Oil Safety Evaluation[J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(6):135-138. (in Chinese)
- [7] 马国忠,米文忠,刘晓东. 民航系统安全的多层次模糊评估方法[J]. 西南交通大学学报,2007,42(1):104-109.
MA Guozhong, MI Wenzhong, LIU Xiaodong. Multi-level Fuzzy Evaluation Method for Civil Aviation System Safety [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(1):104-109. (in Chinese)
- [8] 黄广龙,余中华,吴昭同. 基于证据推理与粗集理论的主客观综合评价方法[J]. 中国机械工程,2001,12(8):930-934.
HUANG Guanglong, SHE Zhonghua, WU Zhaotong. A Method of Comprehensive Evaluation with Subjective and Objective Information Based on Evidential Reasoning and Rough set Theory[J]. China Mechanical Engineering, 2001, 12(8):930-934. (in Chinese)
- [9] 郭捷,胡美新. 改进的项目风险模糊评价研究[J]. 工业工程,2007,10(3):86-90.
GUO Jie, HU Meixin. The Improvement on Project Risk Fuzzy Evaluation[J]. Industrial Engineering Journal, 2007, 10(3):86-90. (in Chinese)
- [10] 程乾生. 属性集与属性评价系统[J]. 系统工程理论与实践,1997,17(9):1-8.
CHENG Qiansheng. Attribute Sets and Attribute Evaluation System[J]. Systems Engineering - theory & Practice, 1997, 17(9):1-8. (in Chinese)

(编辑:田新华)

A New Algorithm of Fuzzy Evaluation on the Information Warfare of Air Defense

LIU Kai-di, PANG Yan-jun, WANG Jin

(Institution of Uncertainty Mathematics, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: In order to realize fuzzy comprehensive evaluation of the information warfare of air defense and clear off the redundant data, in indexes membership, which are not useful for goal classification, and based on data mining of entropy, mining knowledge information about object classification hidden in every index, the relation between object classification and index membership is affirmed, the redundant data in index membership for object classification are eliminated by defining distinguishable weight, and valid values are extracted for computing object membership. A case of the information warfare of air defense is adopted in this paper. Empirical results show that: In order to clear the interference of redundant data, the membership conversion model can be used as a valid method with multiple indexes attributes. By using the method based on data mining of entropy clear the interference of redundant data in fuzzy evaluation is cleared off and many multiple indexes decision-making problems are solved.

Key words: information warfare of air defense; efficiency evaluation; conversion of membership degree; distinguishable weight; valid values; comparable values