

### 模糊聚类与信息熵综合评价法在防空C3I系统中的应用

潘寒尽<sup>1</sup>, 张多林<sup>1</sup>, 方冬进<sup>2</sup>, 司维<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800; 2. 辽宁省省军区预备役后勤保障旅, 辽宁锦州 121000)

摘要: 建立了防空C3I系统总体效能评估指标体系, 将模糊聚类和信息熵综合到评判过程中, 在充分分析已有算法的基础上, 给出了对其系统效能进行评估的基于模糊聚类和信息熵的综合评价方法, 并通过算例验证了方法的正确性和实用性。

关键词: 防空C3I系统; 模糊聚类; 信息熵; 综合评价

中图分类号: O159 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)05-0019-03

防空C<sup>3</sup>I系统是一个庞大复杂的系统, 由于其多维性和复杂性及开发过程的渐进性, 只有对现有系统效能进行科学地分析和评判, 才有利于现有系统的改进和完善, 为后续系统的研制开发提供科学的依据, 而其系统效能是一个综合性指标, 包含多种技术因素和不确定性, 涉及许多难以量化的模糊因素。

## 1 基于模糊聚类和信息熵的综合评价法

### 1.1 模糊聚类基本概念

模糊聚类是在普通聚类的基础上提出的: 设被分类的对象集合为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 其中每一个元素  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  都有  $m$  个特性指标, 即  $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$ , 如果要把  $X$  分成  $c$  类, 则它的每一个分类结果都对应一个  $c \times n$  阶矩阵  $R = (r_{ij})$ , 模糊聚类的概念认为所有的样本都分别以不同的隶属度隶属于某一类, 因此, 每一类就认为是样本集合  $X$  上的一个模糊子集, 于是每一个这样的分类结果所对应的分类矩阵就是一个模糊矩阵  $R = (r_{ij})$ , 该矩阵满足<sup>[1]</sup>: ①  $r_{ij} \in [0, 1]$ ; ②  $\sum_{i=1}^c r_{ij} \in [0, 1]$ ; ③  $\sum_{i=1}^c r_{ij} > 0$ 。

### 1.2 模糊 ISODATA 聚类分析方法

模糊聚类算法将有限集合  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  分为  $c$  类 ( $1 < c < n$ ), 其分类矩阵(模糊矩阵)  $R = (r_{ij})_{c \times n}$  中元素  $r_{ij} (i = 1, 2, \dots, c; j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $j$  个样本属于第  $i$  类的隶属度。定义如下的目标函数:  $J(R, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c r_{ij}^m \|x_j - V_i\|^2$ , 此目标函数可以看作是 所有样本到每个聚类中心的加权距离平方和。式中  $V = (V_1, V_2, \dots, V_c)$  表示聚类的中心向量,  $d_{ij} = (x_j, V_i) = \|x_j - V_i\|$  表示第  $j$  个样本与第  $i$  类聚类中心的距离;  $m > 1$ , 用以控制分类矩阵  $R = (r_{ij})_{c \times n}$  的模糊程度, 越大则越模糊<sup>[2]</sup>。该算法的具体步骤如下: ① 定义类别数目  $c, 2 \leq c \leq n$ , 取一初始模糊分类矩阵  $R^0$ , 逐步迭代; ② 对于第  $l$  次迭代结果  $R^l$ , 计算聚类中心向量:  $V^l = (V_1^l, V_2^l, \dots, V_c^l)^T$ , 式中  $V_i^l = \sum_{k=1}^n (r_{ik}^l)^m x_k / \sum_{k=1}^n (r_{ik}^l)^m$ ; ③ 修正模糊分类矩阵  $R^l, r_{ik}^{l+1} = 1 / \sum_{j=1}^c (\|x_k - V_j^l\| / \|x_k - V_i^l\|)^{\frac{1}{m-1}}, (\forall i \forall k)$ ; ④ 比较  $R^l$  与  $R^{l+1}$ , 若对确定的  $\varepsilon > 0, \max\{|r_{ik}^{l+1} - r_{ik}^l|\} \leq \varepsilon$ , 则  $R^{l+1}$  和  $V^l$  即为所求, 停止迭代; 否则, 继续迭代执行。

### 1.3 改进后的综合评价算法

#### 1.3.1 经典的基于模糊变换的综合评价方法存在的不足

收稿日期: 2005-11-30

作者简介: 潘寒尽(1981-), 男, 江苏连云港人, 博士生, 主要从事防空作战建模与仿真研究;

张多林(1959-), 男, 山东菏泽人, 教授, 博士生导师, 主要从事防空作战建模与仿真理论研究。

经典的基于模糊变换的综合评价方法存在着难以克服的问题:将各个指标等同考虑,没有考虑指标因素的轻重关系。所以要对系统进行评价就需要从其他角度来考虑:假设有  $m$  个评价对象,对每个对象最终的评价结果必须与结果论域相对应。如:通过  $n$  个评价因素对各个对象进行综合评价,评价的结果论域为{高,一般,低},则对某对象最终评价结果必为{高,一般,低},这其实也是在对参加评价的对象进行聚类分析。然而,将聚类应用于系统评价还必须要作进一步的考虑:①经典的聚类分析的目标函数  $J(R, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c r_{ij}^m \|x_{ij} - V_i\|^2$  中将各个指标等同考虑,没有考虑各个指标因素的轻重关系,而实际的评价过程需要充分考虑各个评价指标的权重,因此,采用模糊聚类分析来确定标准评价样本的过程也应该引入评价指标权重的影响;②必须保证引入的权重系数的客观性,要尽量减小人为因素的影响。

### 1.3.2 信息熵理论

按照常识:①小概率事件所蕴含的信息量比较大;②就随机场而言,基本事件个数相同者,以等概率分布场平均信息量大。要定量的对信息进行表达,必须借助熵的概念。设  $X$  是取有限个值的随机变量  $P_i = p\{X = x_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$ , 则  $X$  的熵定义为  $H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_a(1/p_i)$ , 规定当  $p_i = 0, p_i \log_a(1/p_i) = 0$ 。上式表达式就是 Shannon 信息熵表达式<sup>[3]</sup>。由此可见,信息熵是由事物内部属性客观决定的,如果能够用信息熵来确定权重,则能保证权重的客观性。

权重的计算公式:假设所讨论的评价系统有  $H$  个评价样本,每个样本有  $m$  个评价指标,该系统的矩阵为:  $X = \{x_{ij}\}_{H \times m}$ , 由于各个指标在数量级、量纲等方面有所不同,需要对原始数据进行标准化处理,这里采用极大值标准化处理方法,得到标准矩阵:  $Y = \{y_{ij}\}_{H \times m}$ , 其中  $y_{ij} = x_{ij} / \max_{i=1}^H(x_{ij})$ , 由信息熵的定义,第  $j$  项评价指标的信息熵值为  $e_j = -k \sum_{i=1}^H y_{ij} \ln(y_{ij})$ , 其中  $k = (\ln m)^{-1}$ , 而第  $j (j = 1, 2, \dots, m)$  项评价指标的权重为  $h_j = 1 - e_j (j = 1, 2, \dots, m)$ , 将所得的  $h_j$  进行归一化处理,第  $j$  项评价指标的权重系数为  $w_j = h_j / \sum_{j=1}^m h_j$ , 于是,  $m$  个评价指标所对应的权重向量为:  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 。

### 1.3.3 经典模糊聚类的改进

对目标函数的改进:主要是在目标函数中引入权重,使目标函数能够反映事物属性之间的轻重关系。

$$J(R, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c r_{ij}^m d_{ij}^2, \text{ 其中 } d_{ij} = \|x_j - V_i\| = \sqrt{\sum_{k=1}^m w_k (x_{jk} - V_{ik})^2}, W = (w_1, w_2, \dots, w_m)。$$

改进后的算法具体步骤:首先标准化处理,这里采用极大值标准化处理方法;再确定评价因素的权重系数,形成权重向量;最后对待评价对象的集合进行聚类,即用阈值矩阵法对所有样本进行大致的分类:①固定  $c$  值,将所有样本进行初始化,  $c$  即为评价结果论域中元素的个数;②构造相似矩阵  $R = (r_{ij})_{H \times H}, r_{ij} (i = 1, 2, \dots, H; j = 1, 2, \dots, H)$  表示样本  $i$  与样本  $j$  的相似程度。样本间相似程度可用相似系数法、距离法或贴近度法表示,这里选贴近度法:  $r_{ij} = (\sum_{k=1}^m (x_{ik} \wedge x_{jk})) / \sum_{k=1}^m (x_{ik} \vee x_{jk})$ ; ③通过平方算法可以快速求得  $R^*$ , 依次求得  $R^2, R^4, R^8, \dots, R^{2^k}$  直到  $R^{2^k} = R^{2^{k-1}}$ , 则有  $r^* = R^{2^k}$ ; ④采用  $\lambda$  截集矩阵法进行分类。 $\lambda$  是  $R^*$  中的隶属度,选择不同的隶属度使样本分为不同的  $c$  类。在大致分类基础上,进行精确分类:首先对求得的分类采用平均值法计算出初始的聚类中心  $(V_1^0, V_2^0, \dots, V_c^0)$ ; 再据前述  $\gamma_{ik}^{l+1}$  的计算式对聚类中心进行修正;若满足结束条件,迭代结束,否则再据前述  $\gamma_{ik}^{l+1}$  的计算式对聚类中心进行修正。

## 2 防空 C<sup>3</sup>I 系统效能指标体系

就防空 C<sup>3</sup>I 系统基本功能而言,都是围绕军事信息这一个核心,系统所表现出的一系列作用和能力,以及为保卫这些功能得以顺利发挥,系统所具备的相关辅助功能<sup>[6]</sup>。由于系统边界的不确定性、需求目标的模糊性以及操作使用的人机交互性,我们根据系统的以下几个基本功能建立效能指标体系,通过军事研究人员对系统功能试验分析的数据,采用专家调查打分法得出各指标值,如表 1 所示。

表1 几种型号系统分类指标

系统类型	系统容量	系统时延	系统精确度	非正常延时能力	系统可靠性	系统抗干扰性	系统兼容性	系统安全性	系统运行方式	系统抗毁性
A型	8.488	5.745	11.33	19.71	11.68	40.52	50.44	24.47	76.54	8.443
B型	17.224	2.004	1.287	6.472	8.271	2.660	0.388	0.303	15.40	5.195
C型	8.467	7.239	9.123	12.67	64.05	40.82	9.411	4.533	85.42	6.406
D型	12	1.519	2.169	14.47	11.15	8.993	3.700	0.247	40.03	7.702
E型	13.086	2.805	2.437	8.757	16.25	10.36	3.500	0.879	23.20	6.578
F型	15.848	8.602	7.814	9.114	65.30	29.81	12.60	2.919	38.42	6.256

### 3 算法分析与结论

①算法的优越之处:该算法以综合评价工作的本质要求为突破点,根据综合评价的具体特点,采用了改进后的模糊聚类方法;针对模糊聚类与综合评价的不同,在算法中引入了由信息熵得到的权重向量,从而保证算法的有效性;②以上属表中各类型系统数据为例,由信息熵理论得到的权重向量为: {0.017,0.05,0.06,0.03,0.17,0.18,0.23,0.21,0.043,0.01}。将系统分为3类:高、中、低,求得聚类中心;根据上述6个类型的系统与聚类中心的距离计算各系统所属类别,可以求得A型系统效能为“高”;C型和F型系统效能为“中”;而B型、D型、E型系统效能为“低”;为了进一步区分,将C型和F型系统效能为“中”的距离归一化后分别为:1和0.916;D型、E型、B型系统效能为“低”的相应距离归一化后分别为:1、0.942和0.744;综上所述,6类系统效能排行为A、C、F、D、E、B型。

本文构建了对防空 C<sup>3</sup>I 系统进行综合评判的指标体系,同时提出模糊聚类和信息熵的综合评价法,对防空 C<sup>3</sup>I 系统效能评估进行了有意义的研究。该评判法不仅全面地考虑了影响防空 C<sup>3</sup>I 系统效能的诸多要素,而且结合专家的评价,将模糊聚类和信息熵综合到评判过程中,使评判过程更加符合人的认知过程。经实例分析证明,该方法切实可行,同样适用于具有更多性能指标的其它武器系统的效能评定。

#### 参考文献:

[1] 王彩华,宋连天.模糊论方法学[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.  
 [2] 张跃.模糊数学方法及其应用方法[M].北京:煤炭工业出版社,1996.  
 [3] 刘文彬.模糊综合评价系统研究与实现[D].天津:河北工业大学,2003.  
 [4] 周林,张文,娄寿春.效用函数在防空 C<sup>3</sup>I 系统效能评估中的应用[J].系统工程与电子技术,2002,24(1):56-58.  
 [5] 侯著荣,翟明明.系统效能的多层次灰色模糊综合评判[J].装备指挥技术学院学报,2003,14(1):29-31.  
 [6] 陈绍顺,宁伟华,张琳.防空战斗中的态势评估模型[J].空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(4):26-28.

(编辑:田新华)

The Application of Synthetical Evaluation Based on Fuzzy Clustering and Information Entropy to the Effective Evaluation of Antiaircraft System

PAN Han-jin<sup>1</sup>, ZHANG Duo-lin<sup>1</sup>, FANG Dong-lin<sup>2</sup>, WANG Hong<sup>1</sup>

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. Logistics Safe-guard Force of Preliminary Army of LiaoNing Province's Military Area, jinzhou, LiaoNing 21000, China)

Abstract: The index structure of comprehensive antiaircraft system is set up in this paper. And the paper applies fuzzy clustering and information entropy to synthetical evaluation. On the basis of the existing algorithm, it puts forward a new method based on fuzzy clustering and information entropy to evaluate antiaircraft system and then validates the method with examples. It proves that the method is correct and practical, so, the process of evaluation is in accord with people's cognition much better and the result of evaluation is more creditable.  
 Key words: antiaircraft system; fuzzy clustering; information entropy; synthetical evaluation