

doi: 10.7690/bgzd.2015.12.001

## 模糊聚类分析应用于炮兵精确打击效能评估

顾丽娟, 司守奎, 孙慧静, 董 超  
(海军航空工程学院基础部, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为科学评估炮兵精确打击能力, 从武器系统性能比较的角度出发, 构建评估指标体系, 运用模糊聚类分析方法建立炮兵精确打击作战效能的数学模型, 用外军的 4 种常见的精确制导武器作为实例进行评估。结果表明: 该方法所得结果与已存在的文献相符, 可为研制新式精确制导武器提供科学的理论依据。

**关键词:** 模糊聚类; 模糊相似矩阵; 炮兵精确打击; 评估; 制导炮弹

**中图分类号:** TJ306 **文献标志码:** A

## Fuzzy Clustering Analysis of Efficiency Evaluation for Artillery Precision Strike Weapon

Gu Lijuan, Si Shoukui, Sun Huijing, Dong Chao

(Department of Basic Theories, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In order to assess precision strikes ability of artillery scientifically, the paper embarks upon comparing weapon system performance and establishes the index system of assessment. By using the fuzzy clustering method, the mathematical model of efficiency evaluation is given and foreign four types of guided projectiles are used to evaluate as examples. The results showed that the results obtained are accordance with the existing results in the literature. Our method and the results can provide a scientific basis for the studying of future accurate strike weapon.

**Keywords:** fuzzy clustering; fuzzy similar matrix; artillery precision strike; evaluation; guided projectile

### 0 引言

自行化、信息化、精确化等是当今世界炮兵发展的主要趋势, 也是解放军炮兵潜心发展的重点。中国炮兵和防空兵已经跟上了世界新军事变革的步伐, 正迈入了精确打击时代; 因此, 对炮兵精确打击效能做出科学、有效的评估, 不仅能为新式精确制导武器的研制和发展指明方向, 而且有助于我军了解、掌握已装备的炮弹的能力和缺陷, 为作战决策以及炮弹的合理使用提供辅助的参考依据, 具有十分重要的意义。

炮兵精确打击武器效能评估是一项复杂的工作, 存在着各种不确定性因素, 具有开放性、动态性以及模糊性等特性。目前, 武器系统效能评估的主要方法有层次分析法、灰色理论方法、可拓分析理论和模糊数学方法等<sup>[1-3]</sup>。模糊聚类分析是当前在模糊数学中应用最多的几个方法之一, 可以根据不同的要求和分类标准获得不同的聚类结果, 大大地提高了聚类的灵活性。由于具有较好的可伸缩性, 模糊聚类是解决界限不清晰的聚类问题的较好办法。基于此, 笔者从武器系统性能比较的角度出发, 采用模糊聚类对炮兵精确打击作战效能进行动态评估和排序, 使其更具合理性。

### 1 模糊聚类分析方法

模糊聚类得到了样本属于各个类别的不确定程度, 很好地表述了样本类属的中介性, 更客观地反映了实际情况, 从而成为一种重要的聚类方法<sup>[4]</sup>。模糊聚类分析的实现步骤如下:

1) 数据预处理。

设被分类样本的集合为

$$U = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}。$$

每一个样本  $a_i$  有  $m$  个特性指标, 即

$$a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

则  $n$  个样本的所有特性指标构成 1 个矩阵, 记作  $X = (a_{ij})_{n \times m}$ 。

通常, 不同的评价指标具有不同的数学量纲, 为了消除量纲的不同所带来的不可公度性, 开展综合评价之前需将评价指标做归一化处理, 并将数据压缩到  $[0, 1]$  区间上, 这个过程称为原始数据的预处理。在综合评价中, 根据指标的特点可将其分为效益型指标、成本型指标、固定型指标、区间型指标、偏离型指标和偏离区间型指标等<sup>[5]</sup>。显然, 针对不同的评价指标类型, 无量纲化方法也应相应改变。

收稿日期: 2015-07-16; 修回日期: 2015-08-25

基金项目: 国家自然科学基金(41471223); 山东省自然科学基金(ZR2014JL026)

作者简介: 顾丽娟(1978—), 女, 吉林人, 硕士, 讲师, 从事武器系统效能分析研究。

对于效益型指标，一般可令

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}} \quad (1)$$

其中： $a_j^{\max}$  是矩阵  $X$  第  $j$  列中的最大值； $a_j^{\min}$  是矩阵  $X$  第  $j$  列中的最小值。

对于区间型指标，设给定的最优属性区间为  $[a_j^0, a_j^*]$ ， $a_j^0$  为无法容忍下限， $a_j^*$  为无法容忍上限，令

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{a_j^0 - a_{ij}}{a_j^0 - a_j^*}, & a_j^0 \leq a_{ij} < a_j^* \\ 1, & a_j^0 \leq a_{ij} \leq a_j^* \\ 1 - \frac{a_{ij} - a_j^*}{a_j^* - a_j^0}, & a_j^* < a_{ij} \leq a_j^0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

经上述处理得到规范化数据矩阵为

$$Y = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{21} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{pmatrix}$$

### 2) 构造模糊相似关系。

选用最大最小法建立样本  $a_i$  与  $a_j$  之间的模糊相似关系，具体公式为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(b_{ik}, b_{jk})}{\sum_{k=1}^m \max(b_{ik}, b_{jk})} \quad (3)$$

表 1 原始数据

指标类型	射程/km	弹长/mm	弹径/mm	激光指示器作用距离/km	破甲厚度/mm	命中率/%	寻的头搜索半径/m
林鸽	7.5	1 334	120	1	756	80	500
灰背隼	4.0	900	81	1	510	90	300
铜斑蛇	16.0	1 372	155	5	500	96	1 000
红土地	22.0	1 300	152	7	700	90	1 100

### 1) 数据规范化。

在评估指标体系中，射程、激光指示器作用距离、破甲厚度、命中率和寻的头搜索半径是指属性值越大越好的指标，即效益型指标，利用公式 (1) 进行规范化处理；弹长和弹径是指属性值越接近某个固定值越好的指标，即区间型指标，选取公式 (2) 进行规范化处理。

对于弹长，应用公式 (2) 时，不妨设最优属性区间的上限和下限分别相等，即  $a_j^0 = a_j^* = 1200$ ，无法容忍下限  $a_j^0 = 600$ ，无法容忍上限  $a_j^* = 1500$ ，则有

进而得到模糊相似矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 。

### 3) 改造相似关系为等价关系<sup>[6]</sup>。

从模糊相似矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times n}$  出发，利用平方自合成方法求出模糊相似矩阵  $R$  的传递闭包  $t(R)$ ，即

$$R^2 \Rightarrow R^4 \Rightarrow \cdots \Rightarrow R^{2^k} = t(R) \quad (4)$$

其中  $k \leq [\log_2 n] + 1$ ，传递闭包  $t(R)$  就是一个模糊等价矩阵。

### 4) 模糊聚类。

适当地选取置信水平值  $\lambda \in [0, 1]$ ，求出  $t(R)$  的  $\lambda$  截矩阵  $t(R)_\lambda$ ，然后按  $t(R)_\lambda$  进行一系列分类，将这一系列分类画在同一个图上，即得动态聚类图。

## 2 炮兵精确打击效能评估体系的构建

经过认真分析和合理假设后列出能够影响炮兵精确打击作战效能的主要因素，结合炮兵实际作战训练和炮弹使用情况，并参考相关文献<sup>[7-9]</sup>，选取 7 项聚类指标，构建了较科学、有效的炮兵精确打击作战效能评估体系，具体指标为射程、弹长、弹径、激光指示器作用距离、破甲厚度、命中率、寻的头搜索半径。

## 3 实例分析

选取瑞典“林鸽”、英国“灰背隼”、美国“铜斑蛇”和前苏联的“红土地”4 种比较有代表性的精确制导炮弹作为样本，通过查阅相关资料<sup>[10]</sup>，得到其性能参数见表 1。

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 - (1200 - a_{ij}) / 600, & 600 \leq a_{ij} \leq 1200 \\ 1 - (a_{ij} - 1200) / 300, & 1200 < a_{ij} \leq 1500 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

对于弹径，设  $x_j^0 = x_j^* = 120$ ，无法容忍下限  $x_j^0 = 70$ ，无法容忍上限  $x_j^* = 170$ ，则有

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 - (120 - a_{ij}) / 50, & 70 \leq a_{ij} \leq 120 \\ 1 - (a_{ij} - 120) / 50, & 120 < a_{ij} \leq 170 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

根据具体指标类型,利用公式 (1)、(5) 和 (6) 得到 4 种制导炮弹的 7 项指标的规范化数值,如表 2。

表 2 规范化数值

指标类型	射程/km	弹长/mm	弹径/mm	激光指示器作用距离/km	破甲厚度/mm	命中率/%	寻的头搜索半径/m
林鸽	0.194 4	0.553 3	1.00	0	1.000 0	0	0.250
灰背隼	0	0.500 0	0.22	0	0.039 1	0.625	0
铜斑蛇	0.666 7	0.426 7	0.30	0.666 7	0	1.000	0.875
红土地	1.000 0	0.666 7	0.36	1.000 0	0.781 3	0.625	1.000

2) 建立模糊相似矩阵。

根据表 2 的规范化数据,利用公式 (3) 得到模糊相似关系矩阵为

$$\begin{pmatrix} 1.000 0 & 0.209 5 & 0.203 3 & 0.340 0 \\ 0.209 5 & 1.000 0 & 0.314 2 & 0.254 8 \\ 0.203 3 & 0.314 2 & 1.000 0 & 0.613 0 \\ 0.340 0 & 0.254 8 & 0.613 0 & 1.000 0 \end{pmatrix}$$

3) 构造模糊等价矩阵。

利用公式 (4),由平方自合成方法求得

$$R^4 = R^2 \circ R^2 = R^2$$

最终的模糊等价矩阵  $t(R)$  为

$$\begin{pmatrix} 1.000 0 & 0.314 2 & 0.340 0 & 0.340 0 \\ 0.314 2 & 1.000 0 & 0.314 2 & 0.314 2 \\ 0.340 0 & 0.314 2 & 1.000 0 & 0.613 0 \\ 0.340 0 & 0.314 2 & 0.613 0 & 1.000 0 \end{pmatrix}$$

4) 模糊聚类。

将  $t(R)$  中所有互不相同的元素作为阈值  $\lambda \in [0,1]$ ,对截矩阵  $t(R)_\lambda$  进行聚类,结果见表 3。

表 3 聚类结果

$\lambda$ 值	分类数	具体类别划分
1.000 0	4	{林鸽}, {灰背隼}, {铜斑蛇}, {红土地}
0.613 0	3	{铜斑蛇, 红土地}, {林鸽}, {灰背隼}
0.340 0	2	{铜斑蛇, 红土地, 林鸽}, {灰背隼}
0.314 2	1	{铜斑蛇, 红土地, 林鸽, 灰背隼}

根据表 3 中的聚类分析结果可看出:对于不同的阈值  $\lambda \in [0,1]$ ,得到了不同的聚类结果,即可按照实际需要调整  $\lambda$  的值以得到适当的分类。这说明模糊聚类分析方法具有较强的可操作性和灵活性。

由上述分类结果,得到聚类图,如图 1。

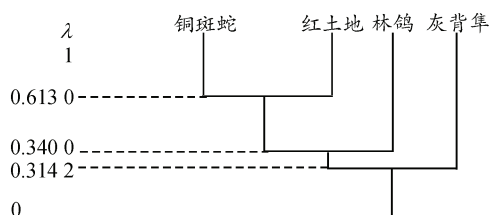


图 1 动态聚类图

## 4 结束语

从上述动态聚类过程可以直观地看出评估的结果,即红土地和铜斑蛇的作战效能最好,其次为林鸽,灰背隼最差。这与文献[10]中利用因子分析方法得到的评估结果相一致。同模糊综合评判法和层次分析法等综合评价方法相比较,模糊聚类分析方法克服了权重的主观因素的影响,客观反映了样本间的现实关系。该方法对各军兵种多种武器的效能评估都适用<sup>[11]</sup>,在精确制导武器的改进和自主研制中也可进行运用,具有较强的通用性。

## 参考文献:

- [1] 祝华远,王利明,纪云飞,等. 军用飞机保障特性综合评估方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(9): 42-44.
- [2] 张金春,金哲,王丰,等. 基于可拓分析与变换的导弹武器系统效能研究[J]. 兵工自动化, 2011, 30(9): 5-8.
- [3] 王君,蔡伟,王连劲. 导弹发射设备人机匹配性能评估方法[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 32-34.
- [4] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 1-5.
- [5] 钱渊,张志伟,夏靖波,等. Vague 集综合评价中单值指标规范化研究[J]. 数学的实践与认识, 2013, 43(7): 126-131.
- [6] 陈水利,李敬功,王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 94-105.
- [7] 赵磊,陈庆龙. 基于集对分析和AHP 的炮兵远程精确打击目标排序[J]. 兵工自动化, 2011, 30(1): 47-48.
- [8] 李小全,石高峰,程懿. 基于动态贝叶斯网的炮兵战斗效果评估建模仿真[J]. 指挥控制与仿真, 2012, 3(34): 121-124.
- [9] 彭峰生. 炮兵战术精确打击技术发展[J]. 兵工学报, 2010, 31(2): 83-87.
- [10] 高拥锋,任鹏,罗欣. 基于因子分析的炮兵精确打击武器效能评估[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(151): 106-109.
- [11] 顾丽娟,孙慧静,尹付梅. 基于模糊聚类分析的鱼雷战术性能综合评价[J]. 海军航空工程学院学报, 2012, 27(6): 693-696.