

# 基于模糊识别的空袭目标威胁度判断

张玉琳, 蒋里强, 李玉新

(防空兵学院, 郑州 450052)

**摘要:**利用模糊聚类分析的方法对各种飞机的威胁程度大小进行了聚类分析,根据某一来袭目标的各种参数指标来判断其类型,结合模糊聚类的结果来判断其威胁程度的大小,为决策者提供科学的决策依据,选择对我威胁程度最大的目标进行抗击。

**关键词:**模糊识别;空袭目标;威胁度判断

中图分类号:E917

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)03-0139-04

## The Judge of Aerial Target Threat Based on Fuzzy Recognition

ZHANG Yu-lin, JIANG Li-qiang, LI Yu-xin

(Academy of Air Defense Forces, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The paper uses the fuzzy clustering analysis method to make a clustering analysis for different kinds of airplane firstly, then judges the kind of the arrived air target from every parameter indexes, combined the result of fuzzy clustering to judge its threaten extent, and finally offers a decision-making for commander to choose the airplane which have the most threatening extent to us for shooting.

**Key words:** fuzzy recognition; aerial target; threaten judging

对空中目标威胁度的判断,是各级防空兵指挥员进行正确的火力分配和实施射击指挥的重要依据,对最大限度地发挥我防空兵的作战效能具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。敌方空袭兵器对我方威胁程度的大小受到各种不确定性因素的影响,运用一种确定的数学解析方法对其进行定量分析显得十分困难。利用模糊数学的相关理论方法可以得到比较客观的结论,为各级指挥员提供科学的决策依据。

## 1 对各类空袭兵器进行模糊聚类分析

### 1.1 对空袭目标各类参数指标的选取

威胁度一般是指敌方对我保卫目标侵袭成功的可能性及侵袭成功时可能造成的破坏程度。影响空袭兵器威胁度的因素很多,如天气、地形、敌空袭兵器性能和攻击时的战术手段等。通常情况下主要考虑被保卫目标的形状、空袭目标的类型、架数、高度、空袭目标相对于保卫目标的距离、相对于保卫目标的航路捷投投影及空袭目标的来袭方向等因素。为了方便计算,结合定量分析方便数值取值的实际,本文主

要从空袭目标类型、高度、速度、发现距离、雷达反射面积5个方面的因素加以考虑。

#### 1) 目标类型

空袭目标类型主要分为3类:即小型目标(空地导弹、反辐射导弹、巡航导弹、隐形飞机等)、大型目标(轰炸机、歼击轰炸机、强击机)和武装直升机。一般认为:小型目标对点状目标的威胁较大、大型目标对面状目标威胁较大、武装直升机对线状目标威胁较大。为了方便量化分析,本文依据参考文献<sup>[2]</sup>,目标类型威胁按轰炸机、歼击轰炸机;战术弹道导弹;有源干扰载机;强击机、歼击机;空地导弹、反辐射导弹、巡航导弹;武装直升机依次量化为8、6、5、4、3、1。

#### 2) 目标高度

来袭目标的飞行高度将会直接影响到对我保卫目标以及我方阵地的威胁程度。一般认为,目标的飞行高度越高对我威胁程度越小;反之,威胁程度越大。

#### 3) 目标速度

空袭目标的飞行速度,一方面会直接影响到我防空武器对其射击效能,另一方面也是敌机将要对我是否实施攻击的

征兆。一般认为,敌机飞行速度越快,对我方威胁程度越大,反之,威胁程度越小。

4) 发现距离

发现目标距离的大小,是判断敌机对我威胁程度大小的重要指标。一般认为,发现敌机距离越近,则威胁程度越大;反之,威胁程度越小。

5) 雷达反射面积

敌机在雷达上的反射面积的大小,可以在客观程度上反应敌机对我威胁程度的大小,一般认为,反射面积越小,对我威胁程度越大;反之,威胁程度越小。

根据当前空袭兵器的主要性能,按空袭兵器进行分类,统计计算出其特性指标数据,即可以得到标准模型库,如表1所示。

表1 当前空袭兵器特性指标数据

	飞行速度 V/(km·h <sup>-1</sup> )	飞行高度 H/m	发现距离 D/km	雷达反射 面积 S/m <sup>2</sup>
歼轰机 L <sub>1</sub>	1 039~2 700	100~18 000	17~105	0.01~14.5
歼击机 L <sub>2</sub>	834~1 297	90~15 240	64~93	2.0~8.9
轰炸机 L <sub>3</sub>	716~958	700~17 000	40~137	0.3~42
直升机 L <sub>4</sub>	241~365	50~622	54	1.0
巡航导弹 L <sub>5</sub>	1 008	50~150	26~30	0.05~0.10
上限	2 700	18 000	137	42

为了方便取值,将表1中的数据取平均值后可以得到表2中的数据。

表2 当前空袭兵器特性指标数据平均值

	飞行速度 V/(km·h <sup>-1</sup> )	飞行高度 H/m	发现距离 D/km	雷达反射 面积 S/m <sup>2</sup>
歼轰机 L <sub>1</sub>	1 869.5	9 050	61	7.255
歼击机 L <sub>2</sub>	1 065.5	7 665	78.5	5.45
轰炸机 L <sub>3</sub>	837	8 850	88.5	21.45
直升机 L <sub>4</sub>	303	3 135	54	1.0
巡航导弹 L <sub>5</sub>	1 008	100	28	0.075

目标类型威胁:按歼轰机、轰炸机、歼击机、巡航导弹、直升机依次量化为8、8、4、3、1(其中上限为10)。

1.2 对空袭兵器进行模糊聚类分析<sup>[3-5]</sup>

将表2中的各列数据及目标类型威胁除以其上限,即可得到模糊关系矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 0.800 & 0.692 & 0.503 & 0.445 & 0.173 \\ 0.400 & 0.395 & 0.426 & 0.573 & 0.130 \\ 0.800 & 0.310 & 0.492 & 0.646 & 0.511 \\ 0.100 & 0.112 & 0.174 & 0.394 & 0.024 \\ 0.300 & 0.373 & 0.006 & 0.204 & 0.002 \end{bmatrix} = (a_{ij})_{5 \times 5}$$

其中效益型指标的有目标类型、飞行速度;属于成本型

指标的有飞行高度、发现距离、雷达反射面积。

将评价指标原始矩阵进行规范化处理:

$$\text{对于效益型属性有 } r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}$$

$$\text{对于成本型属性有 } r_{ij} = \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}$$

可得到规范化处理后的矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0.4548 & 0.6640 \\ 0.4286 & 0.4879 & 0.1549 & 0.1652 & 0.7485 \\ 1 & 0.3414 & 0.0221 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6620 & 0.5701 & 0.9568 \\ 0.2857 & 0.4500 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

利用最大最小法变模糊矩阵为模糊相似矩阵

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^5 \min(x_{ik}, x_{jk})}{\sum_{k=1}^5 \max(x_{ik}, x_{jk})}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.5198 & 0.4271 & 0.2671 & 0.3709 \\ 0.5198 & 1 & 0.3098 & 0.3441 & 0.4607 \\ 0.4271 & 0.3098 & 1 & 0.0063 & 0.1459 \\ 0.2671 & 0.3441 & 0.0063 & 1 & 0.5859 \\ 0.3709 & 0.4607 & 0.1459 & 0.5859 & 1 \end{bmatrix}$$

计算相似矩阵的传递闭包 t(R),这里采用平方

$$R^2 = R \circ R = \begin{bmatrix} 1 & 0.5198 & 0.4271 & 0.3709 & 0.4607 \\ 0.5198 & 1 & 0.4271 & 0.4607 & 0.4607 \\ 0.4271 & 0.4271 & 1 & 0.3098 & 0.3709 \\ 0.3709 & 0.4607 & 0.3098 & 1 & 0.5859 \\ 0.4607 & 0.4607 & 0.3709 & 0.5859 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R^4 = R^2 \circ R^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0.5198 & 0.4271 & 0.4607 & 0.4607 \\ 0.5198 & 1 & 0.4271 & 0.4607 & 0.4607 \\ 0.4271 & 0.4271 & 1 & 0.4271 & 0.4271 \\ 0.4607 & 0.4607 & 0.4271 & 1 & 0.5859 \\ 0.4607 & 0.4607 & 0.4271 & 0.5859 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R^8 = R^4 \circ R^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0.5198 & 0.4271 & 0.4607 & 0.4607 \\ 0.5198 & 1 & 0.4271 & 0.4607 & 0.4607 \\ 0.4271 & 0.4271 & 1 & 0.4271 & 0.4271 \\ 0.4607 & 0.4607 & 0.4271 & 1 & 0.5859 \\ 0.4607 & 0.4607 & 0.4271 & 0.5859 & 1 \end{bmatrix}$$

经过计算可知:R<sup>4</sup> = R<sup>8</sup>,所以传递闭包  $\hat{R} = R^4$ ,所求的的矩阵即为模糊等价关系矩阵。

给定 λ 值进行模糊聚类分析:

选取不同的 λ ∈ [0,1]的值,对等价矩阵取截矩阵

$$R_\lambda = (\lambda r_{ij})_{n \times m}, \lambda r_{ij} = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq \lambda \\ 0 & r_{ij} < \lambda \end{cases}$$

取  $\lambda = 1$ , 得到水平截集为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

此时聚成五类, 每个样本自成一类。

取  $\lambda = 0.55$ , 得到水平截集为

$$R_{0.55} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时聚成四类,  $\{L_1\}, \{L_2\}, \{L_3\}, \{L_4, L_5\}$

取  $\lambda = 0.5$ , 得到水平截集为

$$R_{0.5} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时聚成三类,  $\{L_1, L_2\}, \{L_3\}, \{L_4, L_5\}$

取  $\lambda = 0.45$ , 得到水平截集为

$$R_{0.45} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时聚成二类,  $\{L_1, L_2, L_4, L_5\}, \{L_3\}$

取  $\lambda = 0.4$ , 得到水平截集为

$$R_{0.4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

此时聚成一类,  $\{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5\}$

绘制聚类动态图, 如表 3 所示。

经过聚类分析可以得到以上 5 种目标之间威胁的相对程度, 即威胁最大的是直升机与巡航导弹、其次为歼轰机与歼击机, 威胁最小的是轰炸机。

## 2 对来袭目标进行模糊模式识别

### 2.1 建立标准类型的隶属函数

设  $u_1, u_2, u_3, u_4$  为雷达测定的某型空袭目标各项指标  $V, H, D, S$  的数值,  $u_{1\max}, u_{2\max}, u_{3\max}, u_{4\max}$  为表 1 中的  $V, H, D, S$  的上限值, 则标准类型函数的模糊集为

$$u = \left\{ \frac{u_1}{u_{1\max}}, \frac{u_2}{u_{2\max}}, \frac{u_3}{u_{3\max}}, \frac{u_4}{u_{4\max}} \right\} = (u'_1, u'_2, u'_3, u'_4)$$

表 3 各种空袭兵器聚类动态图

$\lambda$ 值	聚类数	聚类结果
1	5	{歼轰机}; {歼击机}; {轰炸机}; {直升机}; {巡航导弹}
0.55	4	{歼轰机}; {歼击机}; {轰炸机}; {直升机, 巡航导弹}
0.50	3	{歼轰机, 歼击机}; {轰炸机}; {直升机, 巡航导弹}
0.45	2	{歼轰机, 歼击机, 巡航导弹, 直升机}; {轰炸机}
0.40	1	{歼轰机, 歼击机, 轰炸机, 直升机, 巡航导弹};

### 2.2 确定各参数指标的权重

#### 2.2.1 利用 0-4 评分法确定目标各类参数指标的主观权重

经过有关方面的专家对参数指标进行比较和判断, 得到如表 4 所示的权重指标。

表 4 0-4 评分法确定参数指标权重

评价对象	V	H	D	S	得分	指标权重
V	X	3	3	4	10	0.417
H	1	X	2	3	6	0.250
D	1	2	X	2	5	0.208
S	0	1	2	X	3	0.125

通过以上计算可是各类参数指标如表 5 所示。

表 5 各参数指标的主客观权重

指标	V	H	D	S
$p$	0.417	0.250	0.208	0.125

即

$$p_1 = 0.417, p_2 = 0.250, p_3 = 0.208, p_4 = 0.125$$

#### 2.2.2 采用极差法确定各参数指标的客观权重

各参数指标原始矩阵为

$$A' = \begin{bmatrix} 0.692 & 0.503 & 0.445 & 0.173 \\ 0.395 & 0.426 & 0.573 & 0.130 \\ 0.310 & 0.492 & 0.464 & 0.511 \\ 0.112 & 0.174 & 0.394 & 0.024 \\ 0.373 & 0.006 & 0.204 & 0.002 \end{bmatrix} = (a_{ij})_{5 \times 4}$$

取权重系数为

$$q_j = \frac{r_j}{\sum_{k=1}^4 r_k}, j = 1, 2, 3, 4$$

式中,  $r_j = \max_{i,k=1,2,\dots,5} \{ |x_{ij} - x_{kj}| \}, j=1,2,3,4$ 。

经过计算可得

$$r_1 = 0.58, r_2 = 0.497, r_3 = 0.369, r_4 = 0.509$$

代入公式  $q_j = \frac{r_j}{m}, j=1,2,\dots,4$  中, 可得

$$q_1 = 0.2967, q_2 = 0.2542, q_3 = 0.1887, q_4 = 0.2604$$

2.2.3 利用“乘法”集成法求各参数指标的组合权重

“乘法”集成法求组合权重公式为

$$w_j = \frac{p_j q_j}{\sum_{j=1}^n p_j q_j}, j=1,2,3,4$$

其中,  $p_j, q_j$  分别为主观权重与客观权重。

经过计算可以求得各参数指标的组合权重为

$$w_1 = 0.4776, w_2 = 0.2453, w_3 = 0.1515, w_4 = 0.1256$$

计算目标信号特征与各类空袭兵器特征信号的广义欧氏距离:

$$d_i(u', A'_i) = \left( \sum_{j=1}^4 w_j (u'_j - a_{ij})^2 \right)^{1/2}$$

$$\eta_i = 1 - \frac{d_i}{d_{\max}}$$

其中,  $A'_i$  为矩阵  $A'$  第  $i$  行元素。

利用最大隶属度原则建立识别判别准则: 若  $\eta_i^* =$

$\max_{1 \leq i \leq 5} (\eta_i)$ , 则  $u$  隶属于  $L_i^*$ 。

### 3 算例

假设某型雷达捕获某批目标的目标特征信号为: 速度为 2 000 km/h、高度为 15 000 m、发现距离为 80 km、雷达反射面积为 2.0 m<sup>2</sup>, 试用模糊识别法判断该空袭兵器的类型以及对我方威胁程度的大小。

解: 待识别对象的特征信号可表述为

$$u = (2\ 000, 15\ 000, 80, 2)$$

由公式

$$u' = \left\{ \frac{u_1}{u_{1\max}}, \frac{u_2}{u_{2\max}}, \frac{u_3}{u_{3\max}}, \frac{u_4}{u_{4\max}} \right\} = \{u'_1, u'_2, u'_3, u'_4\}$$

可以得到模糊向量为

$$u' = (0.7407, 0.8333, 0.5839, 0.0476)$$

由公式

$$d_j(A_j, u') = \left( \sum_{i=1}^4 w_j (u'_i - a_{ij})^2 \right)^{1/2}$$

可以求得目标信号特征与各型空袭兵器特征信号的广义欧氏距离为

$$d = (d_1, d_2, d_3, d_4, d_5) =$$

$$(0.1704, 0.3038, 0.3666, 0.5302, 0.5077)$$

在  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$  中取最大距离  $d_{\max}$

$$\eta_j = 1 - \frac{d_i}{d_{\max}}, i=1,2,\dots,5$$

可得, 目标对各型空袭目标的隶属度为:

$$\eta_i = (0.6786, 0.4270, 0.3086, 0, 0.0424)$$

由最大隶属度原则得出该目标的隶属于  $A_1$ , 可以向指挥控制系统及指挥员提供的结论为: 此批目标属于歼轰机, 对我方威胁较大。

### 4 结束语

本文利用模糊聚类分析, 给出了各类空袭目标威胁度的判断标准, 并利用模糊识别的方法, 根据雷达反射的目标各类特征参数, 对来袭目标的类型进行判别, 以此来判断对我方威胁程度的大小, 为指挥控制系统以及指挥员提供科学的决策依据, 尤其是其处理问题的思路与方法非常值得借鉴。

### 参考文献:

- [1] 杨春周, 滕克难, 程月波. 作战效能评估指标权重的确定[J]. 计算机仿真, 2008(10): 5-7.
- [2] 丁勇军, 刘法明, 郭宝金. 空中目标威胁判断的模糊聚类分析[J]. 弹箭与制导学报, 2006(S1): 324-326.
- [3] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 第3版. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 蒋里强. 防空兵作战运筹分析[M]. 郑州: 防空兵学院, 2012.
- [5] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 第3版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [6] 田树新, 吴晓平, 王红霞. 依据部分属性值的空中目标威胁快速排序方法[J]. 火力与指挥控制, 2011(9): 14-18.
- [7] 王丰, 李日华, 尹付梅, 等. 基于优度评价方法的空袭目标威胁评估[J]. 兵工自动化, 2011(7): 39-41.
- [8] 郭辉, 徐浩军, 周莉. 粗糙集和区间数空袭目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2011(9): 46-50.
- [9] 栗飞, 刘博, 徐海峰. 基于集对分析的混合型多属性目标威胁评估[J]. 海军航空工程学院学报, 2012(2): 219-222.
- [10] 王宝成, 栗飞, 陈正. 基于模糊 TOPSIS 法的空袭目标威胁评估[J]. 海军航空工程学院学报, 2012(3): 323-326.

(责任编辑 杨继森)