

doi: 10.7690/bgzd.2016.05.015

# 航母编队协同防空作战目标威胁评估

季 傲<sup>1</sup>, 姜礼平<sup>2</sup>, 吴 强<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125001; 2. 海军工程大学理学院, 武汉 430033)

**摘要:** 为准确判断来袭目标的威胁程度, 使舰艇编队取得最佳的拦截效果, 构建一种基于云模型的航母编队协同防空作战目标威胁评估模型。通过分析防空作战威胁评估因素, 从攻击能力、攻击意图、攻击速度和舰艇相对价值这 4 个方面构建威胁评估指标体系, 利用每艘舰艇的价值隶属度不同, 计算出空袭目标对整个编队的威胁排序, 并进行仿真验证。仿真结果表明: 该模型能对数据进行合理处理和有效融合, 准确快速地得出结果, 为航母编队防空作战决策提供一定参考。

**关键词:** 航母编队; 威胁评估; 信息融合; 云模型**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Target Threat Assessment for Aircraft Carrier Formation Cooperative Air Defense

Ji Ao<sup>1</sup>, Jiang Liping<sup>2</sup>, Wu Qiang<sup>2</sup>

(1. No. 92493 Unit of PLA, Huludao 125001, China;

2. College of Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** For precise threat assessment of attack target, and acquiring best interception efficiency for aircraft carrier formation, establish target threat assessment model for aircraft carrier formation cooperative air defense based on cloud model. Through analyzing air defense threat assessment factor, establish threat assessment index system based on target attack capability, attack intent, attack speed and relative value of the ship. Use different value membership degree of every ship, calculate treat sequence of air attack target to whole formation and carry out simulation verification. The simulation results show that: the model can correctly deal with and effectively integrate data, acquire correct results rapidly and provide a reference for the aircraft carrier formation air defense operation.

**Keywords:** aircraft carrier formation; threat evaluation; information fusion; cloud model

### 0 引言

现代海战中, 来袭目标的攻击大多来自各个方向, 采用多层次、多批次、饱和的攻击方式进行攻击; 因此, 我舰艇编队在拦截来袭目标时, 必须充分利用火力单元, 最大限度地拦截目标。鉴于此, 在对来袭目标进行拦截前, 必须进行威胁判断, 确定来袭目标的威胁程度, 以取得最佳的拦截效果。

舰艇编队防空作战在国内外已有很多成果, 文献[1]提出基于风险性多属性决策的编队空中目标威胁评估方法; 文献[2]结合变权理论, 确定目标属性权重; 文献[3]研究了“攻势防空”对编队威胁评判的影响。但都未彻底解决编队侦查平台多, 数据处理复杂和编队舰艇多且重要性不一等问题。

基于此, 笔者对侦查得到的参数进行处理, 构建以目标攻击能力、攻击意图、攻击速度和舰艇相对价值为指标的评估体系, 用云模型的方法对编队防空威胁评估的侦查数据进行处理, 较好地解决了数据较多情况较复杂的情况, 避免不确定主观因素的介入, 且易于理解和工程实践。

### 1 防空作战威胁评估因素的确定

舰艇编队面临的主要威胁目标类型<sup>[4]</sup>: 1) 战术弹道导弹 (tactical ballistic missile, TBM); 2) 反舰 (巡航) 导弹 (anti-ship cruise missile, ACM); 3) 歼击轰击机 (fighter bomb, FB); 4) 武装直升机 (armed helicopter, AH); 5) 侦察机 (reconnaissance aircraft, RA)。

通过舰载侦察设备, 编队可获得的目标参数有目标速度、飞行高度、航路捷径、目标距离和攻击角度, 通过处理对空中目标威胁程度的判断主要考虑 4 个方面的因素: 1) 目标对编队实施攻击的能力; 2) 目标对编队实施攻击的意图; 3) 目标实施攻击的速度; 4) 舰艇相对价值。

### 2 威胁评估指标体系构建

#### 2.1 攻击能力

目标种类中, 弹道导弹和巡航导弹可以直接攻击, 且杀伤较大, 故将攻击能力设为 5 级和 4 级, 歼击轰炸机可携带反舰导弹和制导炸弹, 故将攻击能力

收稿日期: 2015-12-13; 修回日期: 2016-01-25

基金项目: 国家自然科学基金(61074191); 全军军事学研究生重点课题基金资助项目(2011JY001-018)

作者简介: 季 傲(1990—), 男, 辽宁人, 硕士, 从事海军装备作战仿真和信息系统优化研究。

设为 3 级和 4 级，武装直升机携带直升机反舰导弹，攻击能力为 2 级，侦察机攻击能力最低，设为 1 级。

### 2.2 攻击意图

各来袭目标的攻击意图可以根据雷达参数来进行判断，尝试综合采用航路捷径和航向角进行初始判断。设由  $l$  艘舰艇组成的编队，目标相对舰艇  $k$  的航路捷径、飞行高度、距离分别为  $p_k$ 、 $h_k$ 、 $r_k$ ，选取目标攻击意图判别函数<sup>[2]</sup>，如下式所示：

$$Z_{\min} = (r_k + h_k) \arcsin \frac{p_k}{\sqrt{r_k^2 - h_k^2}} \quad (1)$$

由判别函数可以看出，只有当距离函数  $(R_k + h_k)$  和航向角  $\theta = \arcsin \frac{p_k}{\sqrt{R_k^2 - h_k^2}}$  同时取小时，目标函数才能求得最小值。所以上式符合“航路捷径越大，攻击意图越小；航路角越大，目标攻击航线越弯曲，攻击意图越小”的常理。为方便计算，将攻击意图转化为成本型函数<sup>[5]</sup>。

### 2.3 攻击速度

攻击速度指敌空中目标对我舰造成直接杀伤的最短时间，对不同目标计算方式不同。如：1) 导弹目标：距离为  $s$ ，飞行高度为  $h$ ，最大速度为  $v$ ，则到达时间  $t = \sqrt{s^2 + h^2} / v$ ；2) 飞机目标：距离为  $s_1$ ，投弹距离为  $s_2$ ，高度为  $h$ ，飞机速度  $v_1$ ，导弹速度  $v_2$ ，则到达时间  $t = (s_1 - s_2) / v_1 + \sqrt{s_2^2 + h^2} / v_2$ 。将到达时间的长短进行分级，由长到短分为 1~5 级。

### 2.4 舰艇相对价值

航母编队一般情况下由航空母舰、驱逐舰、护卫舰、潜艇和综合补给舰构成，每艘舰艇的相对价值由编队当前所执行任务的性质和编队舰艇在完成该任务方面的能力进行确定。舰艇编队协同防空任务是最大限度的杀伤空中来袭目标，按照编队中各舰艇在整个作战行动中的使命划分，各舰艇价值隶属度如表 1 所示。

表 1 编队中各舰艇价值隶属度

平台	航空母舰	驱逐舰	护卫舰	综合补给舰	潜艇
隶属度	0.5	0.2	0.15	0.1	0.05

## 3 基于云模型的威胁评估模型建立

用自然语言描述的某个定性概念与其数值表示之间的不确定性转换称为云模型<sup>[6]</sup>。设  $U$  为一论域  $U = \{X\}$ ， $T$  为与  $U$  相联系的语言值， $U$  中元素  $X$  对

于  $T$  所表达的定性概念的隶属度  $G_T(X)$  为一个具有稳定倾向的随机数，隶属度在论域上的分布称为隶属云，简称为云。 $G_T(X)$  在  $[0, 1]$  中取值，云是从论域  $U$  到区间  $[0, 1]$  的映射，即  $G_T(X): U \rightarrow G_T(X)$ 。云的数字特征用期望  $Ex$ 、熵  $En$  和超熵  $He$  3 个数值表示。其中：期望  $Ex$  为定性语言概念论域的中心值；熵  $En$  为定性概念模糊度的度量；超熵  $He$  反映了云的离散程度以及隶属度的随机性变化。

设得到的指标结果标度为  $n$  (可根据实际任意选取)，由专家指定有效论域  $[X_{\min}, X_{\max}]$  生成  $n$  朵云，用于表示威胁等级。中间一朵为  $Y_0(Ex_0, En_0, He_0)$ 。用黄金分割的方法生成 5 朵云<sup>[7]</sup>。

求得云的数字特征为：

$$Ex_0 = (X_{\min}, X_{\max}) / 2, Ex_{-2} = X_{\min}; \quad (2)$$

$$Ex_{+2} = X_{\max}, Ex_{-1} = Ex_0 - 0.382(X_{\min} + X_{\max}) / 2; \quad (3)$$

$$Ex_{+1} = Ex_0 + 0.382(X_{\min} + X_{\max}) / 2; \quad (4)$$

$$En_{-1} = En_{+1} = 0.382(X_{\min} - X_{\max}) / 6; \quad (5)$$

$$En_0 = 0.618En_{+1}, En_{-2} = En_{+2} = En_{+1} / 0.618. \quad (6)$$

给定  $He_0$ ，则有：

$$He_{-1} = He_{+1} = He_0 / 0.618; \quad (7)$$

$$He_{-2} = He_{+2} = He_{+1} / 0.618. \quad (8)$$

现将采用改良云模型的方法进行空中目标威胁评估的步骤总结如下：

1) 获取侦查数据并对得到的属性指标进行等级范围划分，其中  $Ex_i$ 、 $Ex_j$  分别表示范围的最小和最大，然后通过云融合求得目标的各指标综合评价值的期望  $Ex$ ，熵  $En$  和超熵  $He$  3 个特征数值，如式 (9)~式 (11) 所示：

$$Ex = \omega_1 Ex_1 + \omega_2 Ex_2 + \dots + \omega_n Ex_n; \quad (9)$$

$$En = \frac{\omega_1 Ex_1 En_1 + \omega_2 Ex_2 En_2 + \dots + \omega_n Ex_n En_n}{\omega_1 Ex_1 + \omega_2 Ex_2 + \dots + \omega_n Ex_n}; \quad (10)$$

$$He = \sqrt{He_1^2 + He_2^2 + \dots + He_n^2}. \quad (11)$$

2) 利用式 (12) 求各目标综合评价值  $y_i = (Ex, En, He)$  与最大和最小威胁情况  $y^+$ 、 $y^-$  的 Hamming 距离<sup>[8]</sup>。

$$d(y_1, y_2) = \left| \left( 1 - \frac{En_1^2 + Hn_1^2}{En_1^2 + Hn_1^2 + En_2^2 + He_2^2} \right) Ex_1 - \left( 1 - \frac{En_2^2 + Hn_2^2}{En_1^2 + Hn_1^2 + En_2^2 + He_2^2} \right) Ex_2 \right|. \quad (12)$$

式中  $y_1 = (Ex_1, En_1, He_1)$ 、 $y_2 = (Ex_2, En_2, He_2)$ ，最大和最小威胁云，分别为：

$$y^+ = (\max Ex_i, \min En_i, \min He_i); \quad (13)$$

$$y^- = (\min Ex_i, \max En_i, \max He_i)。 \quad (14)$$

3) 确定威胁排序并对排序结果进行验证。计算得到威胁排序， $d_i^*$  越小，威胁越大。

$$d_i^* = d_i^+ / (d_i^+ + d_i^-)。 \quad (15)$$

### 4 仿真实例分析

设航母编队协同防空时的编队配置如图 1，驱逐舰、护卫舰、潜艇和补给舰分布在以航空母舰为圆心以 10 km 为半径的圆周上，相邻两艘舰艇与航母的夹角为 90°。一段时间内各舰艇探测到的目标信息(相对编队中心航母的参数)如表 2，转化为威胁评估因素如表 3。

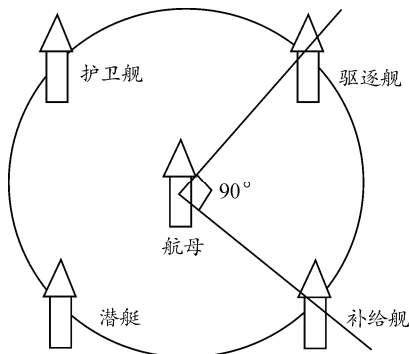


图 1 航母编队协同防空配置

表 2 舰艇探测目标参数

参数	TBM	ACM	FB	AH	RA
目标速度/(m/s)	300	450	700	85	300
飞行高度/(km)	0.12	0.02	3.1	0.2	7
航路捷径/(km)	10.5	4	15	18	26
目标距离/(km)	120	70	160	85	80
攻击角度/(°)	45	85	200	300	350

表 3 威胁评估因素

威胁因素	TBM	ACM	FB	AH	RA
攻击能力	5	4	[3,4]	2	1
攻击意图	5	1	2	3	4
攻击速度	2	5	4	1	3

首先通过属性偏差度概念求得 3 种评估因素的权重为  $\omega = (0.55, 0.21, 0.24)$ ，然后求得 5 个空中目标对我编队中航母的威胁综合评价为：

$$Y_1 = (67.757, 5.044, 0.873 \ 8);$$

$$Y_2 = (53.358, 5.268, 0.837 \ 7);$$

$$Y_3 = (51.520, 6.012, 0.843 \ 6);$$

$$Y_4 = (54.205, 5.852, 0.898 \ 2);$$

$$Y_5 = (52.210, 5.442, 0.796 \ 2)。$$

计算各目标与最大和最小威胁值的 Hamming 距离，得到空袭目标对我编队中航母的威胁贴近度为  $d_1^* = 0.649 \ 435$ ， $d_2^* = 0.004 \ 89$ ， $d_3^* = 0.761 \ 563$ ， $d_4^* = 0.885 \ 557$ ， $d_5^* = 0.933 \ 021$ 。

按照以上步骤，分别求得空袭目标对我编队中驱逐舰、护卫舰、补给舰和潜艇的威胁，并根据上文中得到的不同舰艇的价值隶属度求得目标对我编队的威胁排序，最终得到空袭目标对我航空编队的威胁排序为  $A_2 > A_1 > A_3 > A_4 > A_5$ 。

### 5 结论

航母编队协同防空作战是未来海战场上必不可少的作战样式，面对敌方的空中攻击，我方必须采用合理有效的方法对敌方目标进行评估并打击。笔者采用选取评估因素，构建价值体系，利用云模型的方法对大量的参数进行处理，既避免了主观权重的影响，又提高了作战效率，体现了该评估方法的科学性和准确性。

### 参考文献：

- [1] 王玮, 史红权, 王磊, 等. 基于风险性多属性决策的编队空中目标威胁评估[J]. 舰船科学技术, 2014, 36(9): 146-149.
- [2] 彭绍雄, 高传斌, 邹强. 基于变权理论的舰艇编队网络化协同防空威胁评估[J]. 兵工自动化, 2013, 32(8): 50-54.
- [3] 董奎义, 杨根源, 王子明. 基于概率神经网络的编队协同防空威胁评估[J]. 现代防御技术, 2011, 39(5): 71-74.
- [4] 代进进, 李相民. 舰艇编队网络化防空作战空袭目标威胁评估[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(3): 532-538.
- [5] Li Y X, Wang K Z. Index weight technology in threat evaluation based on improved grey theory[C]//Proc. of the International Symposium on Intelligent Information Technology Application workshops, 2008: 307-310.
- [6] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34.
- [7] 黄梁, 陈鲁敏, 王加兴, 等. 企业私有云平台建设研究[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1090-1093.
- [8] 王坚强, 刘淘. 基于综合云的不确定语言多准则群决策方法[J]. 控制与决策, 2012, 27(8): 1185-1191.