

doi: 10.7690/bgzd.2013.08.015

基于变权理论的舰艇编队网络化协同防空威胁评估

彭绍雄¹, 高传斌², 邹强¹(1. 海军航空工程学院飞行器工程系, 山东 烟台 264001;
2. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对编队网络化协同防空作战时采用固定的目标属性权重与信息化战争已不匹配的问题, 建立一种完整的人在回路控制的编队网络化协同防空威胁评估系统。以舰艇编队网络化协同防空作战为背景, 考虑编队构成和队形因素, 根据编队内多部雷达探测的目标数据信息, 建立了目标攻击意图判别模型; 并结合变权理论, 确定基于目标熵值变化的目标属性权重计算方法; 用改进的开区间数理论表示编队多传感器数据融合, 构建了区间数排序方法, 并通过加入编队指挥员决策心态指标 α 和指挥员对属性区间数的平衡系数 λ 。实例仿真结果证明了该模型和方法的可行性。

关键词: 区间数理论; 变权理论; 威胁评估; 攻击意图

中图分类号: TJ81 **文献标志码:** A

Targets Threat Evaluation of Fleet Networked Cooperative Air Defense Based on Variable Weight Theory

Peng Shaoxiong¹, Gao Chuanbin², Zou Qiang¹(1. Department of Aircraft Engineering, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Regarding networked cooperative aerial defense operation of ship formation as the background, and considering structure of warship formation, judgment model of targets attack intention was established according to multi-radar targets information. Then combined with variable weight theory, method to compute feature weight based on information entropy was built up. Modified open interval number theory was used to express multi-sensor data, and priority method of interval number was constructed. Through adding index of attitude α and equilibrium coefficient λ for feature interval number of formation commander, complete threat evaluation system of man-in-loop control of networked cooperative aerial defense operation of ship formation was founded. Finally, an example was given to prove the validity of this model and method.

Key words: interval number theory; variable weight theory; threat evaluation; attack intention

0 引言

目标威胁估计常用的研究方法包括多属性模糊综合评价法、变权理论法、相对距离判定法、线性加权法、神经网络法和灰色关联度法等^[1]。考虑到编队网络化协同防空作战的复杂性和不确定性, 多传感器所获得的目标威胁数据不尽相同, 同一目标属性在一个数据区间内变化, 可利用区间数理论对此进行处理。编队网络化协同防空作战时, 编队内不同的舰艇承担不同的作战任务, 舰艇地位不尽相同, 当目标攻击的是编队内价值较高的舰艇时(如航母等), 目标威胁程度就很大, 所以威胁评估必须考虑编队编成。不同目标的同一个属性对整个编队的威胁程度也不相同, 采用固定的目标属性权重与信息化战争已不再匹配, 文献[2]提出了一种基于变权理论的空中目标威胁估计方法, 通过构造合理的变权函数, 克服了常规固定权重法在某些情况下威胁

评估的不合理性。笔者采用变权理论, 让目标属性权重随战场态势不断发生变化, 对网络化战争目标威胁评估进行探索。

1 改进区间数理论

根据区间数理论的知识参考文献[3-5], 由于闭区间数理论处理端点问题时会产生同一个数同时属于 2 个区间的矛盾, 所以笔者在闭区间数理论的基础上, 对区间数理论进行改进: 若 $\forall a^L, a^H \in R$ 且 $a^L \leq a^H$, 称开区间 (a^L, a^H) 为实数域 R 上的开区间数; 称半开区间 $(a^L, a^H]$ 和 $[a^L, a^H)$ 为实数域 R 上的半开区间数。半开区间数与闭区间数混合运算规则: 只有当区间数左右同为“闭”时, 运算结果才是“闭”, 否则都是“开”, 运算规则同文献[3]中定理 1。

定义区间数排序规则: $\forall [a^L, a^H]$ 和 $[b^L, b^H] \in R$, 定义映射

收稿日期: 2013-02-28; 修回日期: 2013-03-22

作者简介: 彭绍雄(1966—), 男, 湖北人, 硕士, 副教授, 从事导弹武器系统工程研究。

$$\alpha \mapsto F_a(\alpha) = \frac{1}{2}(a^L + a^H) + \frac{1}{2}(2\alpha - 1)(a^H - a^L) \quad (1)$$

其中 $\alpha \in [0,1]$ ，称为指挥员的决策心态指标。若 $F_a(\alpha) < F_b(\alpha)$ ，则称区间数 $[a^L, a^H] < [b^L, b^H]$ ；若 $F_a(\alpha) = F_b(\alpha)$ ，称 $[a^L, a^H] = [b^L, b^H]$ 。

以指挥员的决策心态指标 $\alpha = 0.5$ 为基准，此时 $F_a(0.5) = 0.5(a^H + a^L)$ 。当心态指标 $\alpha > 0.5$ 时， $F_a(\alpha) = \alpha a^H + (1 - \alpha)a^L > F_a(0.5)$ ，此时的威胁度相对 $\alpha = 0.5$ 时增大，所以说此时的决策者心态比较保守，决策时小心翼翼，宁愿放大威胁；相反，当心态指标 $\alpha < 0.5$ 时， $F_a(\alpha) = \alpha a^H + (1 - \alpha)a^L < F_a(0.5)$ ，此时的威胁度相对 $\alpha = 0.5$ 时减小，此时的决策者比较激进，属于冒险型心态，决策时会人为的减低目标威胁。从定义中可以看出，通过在区间数中加入心态指标 α ，可以做到威胁结果排序时人在回路进行控制，充分体现指挥人员的主观能动性。

2 威胁评估指标体系及隶属度函数

2.1 威胁评估指标体系

舰艇编队网络化协同防空作战建立在多传感器信息融合的基础上，根据编队构成特点，从传感器数据中选取目标类型、目标速度、航路捷径、飞行

表 1 编队中各平台价值隶属度区间数

平台	航母	巡洋舰	驱逐舰	护卫舰	预警机	补给舰	潜艇	直升机
隶属度	(9,10]	(8,9]	(7,8]	(6,7]	(5,6]	(4,5]	(2,4]	(0,2]

高度、目标距离 5 个目标特性作为威胁评估指标^[6-7]。通常威胁判断中目标参数的选取大体相同，不同的指标体系可以互相转化，如文献[6]中目标飞临时间与文献[7]目标距离通过目标速度可以相互转化，笔者选取的威胁指标更符合雷达初始输出数据，不需要经过二次解算。

由于编队防空作战时，各舰艇组成区域布局及区域范围较大，不同的舰艇担负不同的作战任务，所以不能把编队当成点进行处理；2 枚参数大体相同的导弹，其中一枚直接攻击航母，另一枚攻击护卫舰，显然攻击航母的目标威胁度更大，威胁评估时必须对编队内不同的作战平台按照价值进行划分，所以舰艇编队网络化协同防空作战威胁评估还需加入作战平台价值这一编队自身的特性指标。要加入平台价值，必须首先确定目标的攻击意图，而攻击意图的判断需要目标进袭方向角信息，由方向角和选取的 5 个目标参数共同确定目标攻击意图。

2.2 作战平台价值隶属度及目标攻击意图的确定

舰艇编队出航时，通常的构成是：航母、巡洋舰、驱逐舰、护卫舰、预警机、反潜直升机、攻击潜艇、综合补给舰等作战平台，按照编队中各舰艇在整个作战行动中的使命划分，各作战平台价值隶属度如表 1^[8]所示。

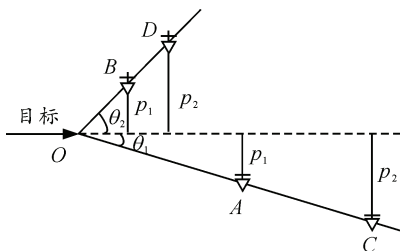


图 1 目标攻击意图判断

根据雷达参数判断各来袭目标的攻击意图是个新内容，笔者尝试综合采用航路捷径和航向角进行初始判断。目标攻击意图判断示意图如图 1 所示。

图 1 中目标相对舰艇平台 A、B、C、D 的航向角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_1 、 θ_2 ，航路捷径分别为 p_1 、 p_1 、 p_2 、 p_2 ，飞行高度分别为 h_A 、 h_B 、 h_C 、 h_D 。结合威胁判断常理，从图 1 中可以看出：

2) 当目标航路捷径相同时，航向角越大，距离越小，但由于在目标雷达开机扫描编队寻找攻击目标时，更容易发现平台 B，且攻击航路变化较 A 平缓，对来袭目标而言，攻击弹道更容易实现，此时的攻击意图不易判断，必须制定一定的目标攻击意图判断规则^[9]。

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 ，如图 2 所示，选取目标攻击意图判别函数：

$$\min Z = (R_k + h_k) \arcsin \frac{p_k}{\sqrt{R_k^2 - h_k^2}} \quad (k = 1, 2, \dots, l) \quad (2)$$

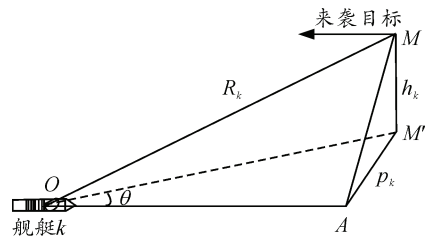


图 2 舰艇探测目标参数示意图

1) 当目标航向角和飞行高度相同时，航路捷径越小，攻击意图越大。如图 1，目标相对平台 A、C 的航路角都是 θ_1 ，当飞行高度 $h_A = h_C$ 时，由于 $p_1 < p_2$ ，故目标攻击意图判定为平台 A。

从图 2 中可看出, 式中航向角 $\theta = \arcsin \frac{p_k}{\sqrt{R_k^2 - h_k^2}}$,

以 $\min Z = (R_k + h_k)\theta$ 作为目标攻击意图函数, 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。

表 2 目标类型隶属度区间数

目标类型	TBM	巡航导弹	小型飞机	大型飞机	武装直升机	诱饵弹
量化值	(8,10]	(7,8]	(6,7]	(4,6]	(2,4]	[0,2]

目标飞行速度、目标类型和作战平台价值这 3 个属性取值越大, 对编队的威胁也越大, 把这种指标称为效益型指标; 而目标相对舰艇的航路捷径、飞行高度和相对舰艇的距离 3 个属性值越大, 对编队的威胁就越小, 把这种指标称为属于具有惩罚性的成本型指标。

3 基于变权理论的威胁评估指标权重确定

目标威胁评估常采用的常权综合算法在编队协同防空的复杂环境下, 很容易出现目标威胁排序与实际不符的不合理结果, 鉴于此, 汪培庄教授提出了变权思想, 经过不断完善, 变权理论取得较大的进展。笔者借鉴变权理论思想, 建立基于目标熵值变化的目标属性权重计算方法。计算步骤如下:

1) 设 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 为来袭目标集合, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 为来袭目标威胁评估指标集合, 构造威胁评估的区间数决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$, 其中 a_{ij} 表示第 i 个目标的第 j 个指标属性值。

2) 将区间数决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$ 规范化, 消除量纲的影响。规范化后的决策矩阵为 $R = (r_{ij})_{n \times m}$, r_{ij} 为区间数 $[r_{ij}^L, r_{ij}^H]$, 其中^[11]:

$$\begin{cases} r_{ij}^L = a_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^H)^2} \\ r_{ij}^H = a_{ij}^H / \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^L)^2} \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, n; j \in T_1) \quad (3)$$

$$\begin{cases} r_{ij}^L = (1/a_{ij}^H) / \sqrt{\sum_{i=1}^n (1/a_{ij}^L)^2} \\ r_{ij}^H = (1/a_{ij}^L) / \sqrt{\sum_{i=1}^n (1/a_{ij}^H)^2} \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, n; j \in T_2) \quad (4)$$

T_1 、 T_2 分别为效益型属性和成本型指标。

3) 按照信息论知识, 求取目标信息熵值。当

考虑编队防空作战实际, 根据编队多部雷达探测到的目标雷达反射面积和其他目标识别辅助系统, 将空袭目标类型划分为 TBM、巡航导弹(包括普通反舰导弹)、小型飞机(强击机、隐身飞机、歼轰机等)、大型飞机(轰炸机、运输机、预警机等)、武装直升机、诱饵弹。参考文献[1], 将以上各类目标类型的威胁度进行量化, 得到威胁度量值区间数如表 2 所示。

系统具有 n 种状态, 每种状态出现的概率为 $p_i, (j=1, 2, \dots, n)$ 时, 系统的熵为 $E = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$ 。当每种状态等概率出现时, 即 $p_i = 1/n$ 时, 系统取得最大熵值 $E = \ln n$ 。借助信息熵定义, 首先把规范化后的决策矩阵为 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 进行归一化处理, 得到 $V = (v_{ij})_{n \times m}$, 其中 $v_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}$, 则目标的第 j 个属性的信息熵^[10]为

$$E_j = \lambda \left(-\sum_{i=1}^n v_{ij}^L \ln v_{ij}^L \right) + (1-\lambda) \left(-\sum_{i=1}^n v_{ij}^H \ln v_{ij}^H \right) \quad (5)$$

其中 $\lambda \in (0, 1)$, 与第 1 节定义的心态指标 α 类似, 是战场指挥员对属性区间数的平衡系数, 体现作战指挥人员的主观心理影响。为便于处理, 把信息熵进行归一化得到

$$E_j = \frac{1}{\ln n} \left\{ \lambda \left(-\sum_{i=1}^n v_{ij}^L \ln v_{ij}^L \right) + (1-\lambda) \left(-\sum_{i=1}^n v_{ij}^H \ln v_{ij}^H \right) \right\} \quad (6)$$

4) 求解指标的差异度 $D_j = 1 - E_j$, 定义第 j 个威胁评估指标的权重^[10]为

$$w_j = D_j / \sum_{i=1}^n D_i \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

4 编队协同防空威胁评估的实施

利用区间数表示多传感器探测到的目标信息数据范围, 根据目标攻击意图准则确定各目标初始攻击意图, 建立威胁评估指标区间数决策矩阵, 求取目标属性熵值, 计算目标各属性权重, 把规范化决策矩阵与权重综合得到总的威胁值。基于改进区间数和变权理论的编队协同防空威胁评估算法实施步骤如下:

1) 计算第 i 个目标相对第 k 艘舰艇的攻击意图 Z_{ik} , 取 $\min(Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{in})$ 对应的舰艇 k 作为第 i 个目

标的攻击对象， $i=1,2,\dots,n$ ；

2) 构造目标区间数决策矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times m}$ ，把 A 规范化得到矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times m}$ ，把 R 归一化得到矩阵 $V=(v_{ij})_{n \times m}$ ；

3) 利用归一化后的矩阵 $V=(v_{ij})_{n \times m}$ 计算目标信息熵 E_j ，输入指挥员对属性区间数的平衡系数 λ ，计算得到各指标权重 w_j ；

4) 选取综合算子^[10]，计算得到目标综合威胁值区间数向量 P

$$P=W \times R = ([p_1^L, p_1^H], [p_2^L, p_2^H], \dots, [p_n^L, p_n^H]) \quad (8)$$

其中 $[p_i^L, p_i^H] = \sum_{j=1}^m w_j [r_{ij}^L, r_{ij}^H], i=1,2,\dots,n$ 。

5) 输入指挥员心态指标 α ，计算各目标的映射值 $F(\alpha)$ ；按照定义对区间数向量 P 按大小进行排序，最终得到目标威胁排序。

5 实例仿真

5.1 战场态势假设

设编队协同防空时的编队配置如图 3，巡洋舰、驱逐舰、补给舰和护卫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 60° 。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）变化区间数如表 3。

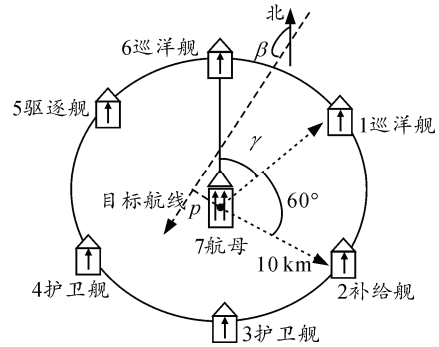


图 3 编队协同防空配置

表 3 编队探测到的目标参数

目标	目标类型	目标速度/(m/s)	飞行高度/km	航路捷径/km	目标距离/km	进袭方向角/(°)
J_1	TBM	1 600	0.6	0.2	[60,61]	45
J_2	巡航导弹	[300,320]	[0.1,0.12]	[10,10.5]	[120,130]	60
J_3	反舰导弹	[450,480]	[0.02,0.025]	4	[70,75]	85
J_4	小型飞机	[400,460]	[1,1.2]	[8,9]	[200,210]	140
J_5	反舰导弹	[400,440]	[0.02,0.025]	0.5	[110,112]	120
J_6	小型飞机	[700,720]	[3,3.1]	[15,16]	[160,180]	200
J_7	直升机	[80,90]	[0.25,0.3]	[19,20]	[70,80]	240
J_8	直升机	[85,90]	[0.2,0.22]	[18,20]	[85,90]	300
J_9	诱饵弹	300	7	[26,28]	[80,85]	350
J_{10}	大型飞机	[260,320]	[5,5.5]	[0.8,1]	[250,280]	360

利用上述目标相对行目标的参数进行攻击意图计算时，需要进行参数转化：求取目标相对编队内每一艘舰艇的航路捷径和距离，目标速度和高度保持不变。目标参数转换如图 4 所示。

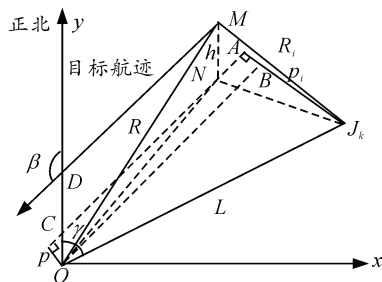


图 4 目标参数变换示意图

其中 O 点代表航母， J_k 代表第 k 艘舰艇， M 为目标，从 M 点向水平面作垂线，交点 N ，目标高

度为 $MN=h$ ，目标相对航母的距离 $MO=R$ ，舰艇距离航母 $OJ_k=L$ ，利用以下公式计算得到目标相对舰艇 J_k 的航路捷径和距离分别为 p_k 和 R_k ：

$$\angle BOJ_k = \gamma - (\pi - \beta) = \gamma + \beta - \pi$$

$$p_k = p + L \times \sin(\angle BOJ_k) = p + L \times \sin(\gamma + \beta - \pi) \quad (9)$$

$$\angle NOB = \angle CNO = \arcsin\left(\frac{p}{\sqrt{R^2 - h^2}}\right)$$

$$\angle NOJ_k = \angle NOB + \angle BOJ_k = \arcsin\left(\frac{p}{\sqrt{R^2 - h^2}}\right) + \gamma + \beta - \pi \quad (10)$$

$$NJ_k = \sqrt{R^2 - h^2 + L^2 - 2L\sqrt{R^2 - h^2} \cos\left(\arcsin\left(\frac{p}{\sqrt{R^2 - h^2}}\right) + \gamma + \beta - \pi\right)}$$

$$R_k = \sqrt{h^2 + NJ_k^2} \quad (11)$$

代入目标攻击意图判别函数，计算得到各目标的攻击意图和平台价值如表 4 所示。

表 4 目标攻击意图及平台价值

目标	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}
攻击意图	7	1	5	6	7	4	4	3	2	7
平台价值	(9,10]	(8,9]	(7,8]	(8,9]	(9,10]	(6,7]	(6,7]	(6,7]	(4,5]	(9,10]

5.2 威胁评估

结合表 2 和表 3 得到目标区间数决策矩阵, 规范化后的决策矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.360 & 0.543 & 0.798 & 0.817 & 0.023 & 0.029 & 0.903 & 0.911 & 0.471 & 0.510 & 0.341 & 0.429 \\ 0.315 & 0.435 & 0.149 & 0.163 & 0.116 & 0.174 & 0.017 & 0.018 & 0.221 & 0.255 & 0.303 & 0.386 \\ 0.270 & 0.380 & 0.224 & 0.245 & 0.558 & 0.870 & 0.045 & 0.046 & 0.383 & 0.437 & 0.265 & 0.343 \\ 0.315 & 0.435 & 0.199 & 0.235 & 0.012 & 0.017 & 0.020 & 0.023 & 0.137 & 0.153 & 0.303 & 0.386 \\ 0.270 & 0.380 & 0.199 & 0.225 & 0.558 & 0.870 & 0.361 & 0.365 & 0.256 & 0.278 & 0.341 & 0.429 \\ 0.315 & 0.435 & 0.349 & 0.368 & 0.005 & 0.006 & 0.011 & 0.012 & 0.160 & 0.191 & 0.227 & 0.300 \\ 0.270 & 0.380 & 0.040 & 0.046 & 0.047 & 0.070 & 0.009 & 0.010 & 0.359 & 0.437 & 0.227 & 0.300 \\ 0.090 & 0.217 & 0.042 & 0.046 & 0.063 & 0.087 & 0.009 & 0.010 & 0.319 & 0.360 & 0.227 & 0.300 \\ 0.000 & 0.109 & 0.149 & 0.153 & 0.002 & 0.003 & 0.006 & 0.007 & 0.338 & 0.382 & 0.151 & 0.214 \\ 0.180 & 0.326 & 0.130 & 0.163 & 0.003 & 0.004 & 0.181 & 0.228 & 0.103 & 0.122 & 0.341 & 0.429 \end{bmatrix}$$

输入战场指挥员对属性区间数的平衡系数 $\lambda = 0.8$, 然后把 R 归一化计算得到各指标权重为:

$$w = [0.052\ 7, 0.123\ 9, 0.370\ 8, 0.408\ 9, 0.034\ 2, 0.009\ 6]$$

从而得到目标综合威胁值区间数向量为:

$$P = ([0.514\ 9, 0.534\ 8], [0.095\ 7, 0.127\ 5], [0.282\ 9, 0.409\ 7], [0.061\ 4, 0.076\ 7], [0.405\ 4, 0.533\ 0], [0.073\ 7, 0.085\ 0], [0.054\ 5, 0.073\ 3], [0.050\ 3, 0.068\ 7], [0.034\ 9, 0.043\ 6], [0.107\ 1, 0.140\ 2])$$

对一般决策者来说, 输入决策心态指标 $\alpha = 0.5$, 得到各目标的映射值为

$$F(0.5) = (0.524\ 9, 0.111\ 6, 0.346\ 3, 0.069\ 0, 0.469\ 2, 0.079\ 3, 0.063\ 9, 0.059\ 5, 0.039\ 3, 0.123\ 6)$$

按照定义 4 对区间数向量 P 进行排序, 得到目标威胁度从大到小的排序结果为: (1,5,3,10,2,6,4,7,8,9)。对保守型和冒险型决策者来讲, 当 α 取 0.8 和 0.2 时, 排序结果不发生变化。

对比以上实例仿真结果可以看出, 对此典型作战态势, 无论决策者心态如何, 对于大部分目标的威胁度排序不会发生变化。进一步的仿真表明, 只有对威胁度相似的目标, 排序结果才会受到决策者心态的影响。仿真结果表明: 应用此模型计算编队网络化协同防空的目标威胁度, 能够很好地体现目标威胁大小的自然特性, 排序结果不易受到作战指挥人员的主观意识影响, 结果更加客观。

6 结论

编队网络化协同防空作战是未来必不可少的作战样式, 而对空中态势的持续观测, 必须通过筛选转化成对作战有用的情报才能加以利用, 对目标进行威胁评估就是其中一项重要的工作。笔者在考虑多传感器目标数据区间数的基础上, 根据编队各作

战平台的关系, 加入目标攻击意图判断函数, 在威胁评估指标中加入作战平台价值, 使得评估结果更加贴合实际。在指标权重计算时借用信息熵的概念, 权重值随目标参数发生变化, 避免了采用固定权重的弊端, 而指挥员对属性区间数平衡系数的加入又能体现作战人员主观心理因素对权重的影响。在对目标综合威胁值区间数进行排序时, 加入决策者心态指标, 能够体现人在回路控制的系统决策思想。该方法计算简单, 便于计算机实现, 可以为编队网络化建设提供较好的参考。

参考文献:

- [1] 郭辉, 徐浩军, 周莉. 基于区间数 TOPSIS 法的空袭目标威胁评估[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2011, 12(1): 40-45.
- [2] 曹可劲, 江汉, 赵宗贵. 一种基于变权理论的空中目标威胁估计方法[J]. 解放军理工大学学报, 2006, 7(1): 32-35.
- [3] 冯卉, 邢清华, 宋乃华. 一种基于区间数的空中目标威胁评估技术[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(8): 1201-1203.
- [4] 陈德新, 张方伟. 区间数运算法则的补充与推广[J]. 聊城大学学报: 自然科学版, 2009, 22(2): 20-21.
- [5] 王坚强, 王君. 基于区间灰色区间数的多准则决策方法[J]. 管理学报, 2009(9): 1150-1153.
- [6] 潘新祥, 陈颜辉, 伍之前. 舰艇防空威胁评估广义混合算子变权模型[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(10): 77-79.
- [7] 潘红华, 王建明, 朱森, 等. 目标威胁判断的模糊模式识别模型[J]. 兵工学报, 2004, 25(5): 576-580.
- [8] 郑建华. 利用实时专家系统进行舰艇战情评估[J]. 国外舰船工程, 2002(1): 7-10.
- [9] 童继进, 刘忠. 基于网络知识熵的舰艇编队指控系统协同建模[J]. 兵工自动化, 2012, 31(5): 31-35.
- [10] 王毅, 赵建军, 付龙文, 等. 基于区间数熵的 TOPSIS 防空作战威胁评估方法[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(12): 114-116.