

基于熵-AHP 融合的空袭目标威胁度量与排序

张悻颖, 杨 刚, 孟海波, 王瑞琪, 齐宝力
(上海机电工程研究所 上海 201109)

摘要: 针对传统防空作战时对目标威胁评价主观性强、排序逻辑刻板的问题, 提出基于熵值法与层次分析法(AHP)融合赋权的空袭目标威胁度量与排序方法。首先结合空战态势分析影响目标对我防空阵地威胁度的各属性因素, 同时给出影响因素的威胁隶属度函数, 然后利用熵值法和 AHP 赋权并相继采用加权求和、乘法合成、几何平均的方法进行二次融合, 所获权重用于各目标威胁度的综合度量及排序。仿真结果表明, 二次融合权重兼取熵值法与 AHP 的赋权特点, 度量方法更为合理, 排序结果更加贴合真实战场态势, 可信度高。

关键词: 空战态势; 威胁度量; 熵值法; 层次分析法; 威胁排序

中图分类号: E917 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2020)05-0057-08

Threat measurement and sequencing of air raid targets based on entropy method fused with AHP

ZHANG Yiting, YANG Gang, MENG Haibo, WANG Ruiqi, QI Baoli
(Shanghai Electro-Mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: To solve the problem that target threat assessment is mostly subjective and the sequencing logic is rigid in traditional air defense operations, a method for threat measurement and sequencing of air raid targets fusing entropy method and AHP is put forward. The attribute factors affecting the threat degree of target to air defense position are analyzed combined with air combat situation, meanwhile the corresponding threat membership functions are proposed. Through using weighted summation, multiplicative synthesis and geometric average, the weight of entropy method and AHP are fused twice to measure and sequence the threat degree of each target. The simulation result illustrates that the fusion threat weight takes both weighting characteristics of entropy method and AHP so that the measurement process is more reasonable, simultaneously the sequencing result is closer to the real battlefield situation and have high credibility.

Key words: Air combat situation; Threat measurement; Entropy method; AHP; Threat sequencing

引 言

现代防空作战中, 对敌方态势的科学估计和己方资源的合理分配将直接决定战情的走向。威胁度量是在态势估计的基础上, 通过选取能反映目标特性和己方拦截能力的典型指标来量化目标对防空阵地可能造成的破坏程度; 威胁排序是作战资源分配的重要依据, 合理的排序方法能有效缩短决策时间, 提高资源利用效率, 进而获取防御先机。目前, 复杂战场条件下的威胁排序主要依靠多指标评价体系, 度量指标的选取需要全面、客观。范春彦等^[1]从武器系统角度出发, 以目标速度、类型、航路捷径等作为评判因子; 雷蕾^[2]则以空战态势为依据度量目标对移动平台的威胁。常用的指标度量方法有灰色关联法^[3,4]、模糊综合评判法^[5]及多属性决策法^[6]。上述方法实现过程中, 指标权重的取定是威胁排序的重中之重, 主要依据主观和客观进行赋权。其中, 主观赋权法包括层次分析法(AHP)^[7,8]、德尔菲法^[9]等, 此类方法根据使用者的主观偏好来决定权重, 具备灵活的可调整性, 但其稳定性和合理性常受到人员临战状态和战场环境影响; 客观赋权法以熵值法^[10]和优序法^[11]为代表, 通过统计数据来确定权重, 侧重于表征指标间的相关性和竞争性, 评估更为客观却忽略了使用者的主观偏好。为了中和两类赋权法的局限性, 文献[12]和文献[13]通过加权求和组合主客观权重, 但是其求和权重依旧具有不确

定性; 文献[14]和文献[15]对两种权重进行乘法合成, 仅适用于指标较多的情况。

本文在过往研究基础上提出一种基于熵值法与 AHP 融合的威胁排序方法, 首先通过结合空战态势构建威胁度量指标体系, 然后分别利用熵值法和 AHP 对各指标进行赋权, 最后通过加权求和、乘法合成及几何平均的方法对主客观权重进行二次融合, 所获权重用于最终排序。仿真结果表明, 该方法既体现了熵值法的指标竞争性又兼顾了 AHP 的主观侧重性, 具有很好的工程适用性, 同时, 排序结果也更能体现作战实际, 具有更高的可信度。

1 威胁度量指标体系

空袭目标的作战效果具有各向异性, 因此, 很难确定一套完全涵盖其威胁因素的指标体系。为了保证威胁度量的客观性和稳定性、提高评价效率, 本文选取如图 1 所示的六个较为典型的威胁指标。这组指标综合了目标自身的空战态势及其与己方阵地的相对关系, 因此更具全面性。

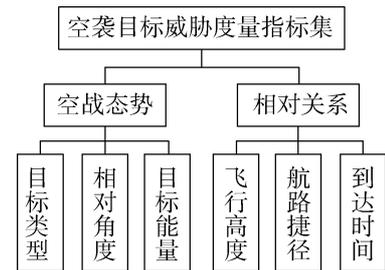


图 1 空袭目标威胁度量指标集

Fig. 1 Threat measurement indicators set of air raid targets

1.1 航路捷径威胁度

航路捷径是指目标航路的水平投影与防空武器的垂直距离, 其大小直接反映了敌方目标的攻击意图。一般情况下, 目标航路捷径对应的威胁度随其自身量度的增大而减小, 并且在取值为 0 时, 对应的威胁度最大, 也最有利于己方进行拦截。

航路捷径威胁度可表示如下:

$$\mu_p(p) = e^{-k_p \cdot p^2} \tag{1}$$

式中, p 为目标的航路捷径, 单位 m;

k_p 为航路捷径威胁度因子, 取 $k_p=7.5 \times 10^{-8}$ 。

1.2 到达时间威胁度

目标来袭所用时间越短, 对应威胁度越大。时间威胁度函数可作如下表示:

$$\mu_t(t_{arrive}) = e^{-k_t \cdot t_{arrive}^2} \tag{2}$$

式中, t_{arrive} 为目标到达防空阵地中心的时间;

k_t 为时间威胁度因子, 取 $k_t=2.5 \times 10^{-4}$ 。

1.3 飞行高度威胁度

防空作战规律显示: 目标威胁值与高度呈负相关。假定目标高度小于 1000m 时对应威胁度最大, 超过 1000m 时威胁度随高度的增加而不断减小^[10]。将飞行高度威胁度表示如下:

$$\mu_h(h) = \begin{cases} 1 & 0 \leq h \leq h_l \\ e^{-k_h(h-h_l)^2} & h > h_l \end{cases} \tag{3}$$

式中, h_l 为威胁度峰值对应高限, 取 $h_l=1000m$;

k_h 为高度威胁度因子, 取 $k_h=1.5 \times 10^{-8}$ 。

1.4 相对角度威胁度

目标相对阵地火力单元的空战态势如图 2 所示, 其中: 目标 T_j 所具有速度 v_T 方向转到目标线的角度定义为目标进入角, 用 θ_{ij} 表示; 火力单元 M_i 所具有速度 v_M 方向转到目标线的角度定义为拦截位置角, 用 φ_{ij} 表示。规定进入角与位置角均以速度朝向转到目标线逆时针为正、顺时针为负。

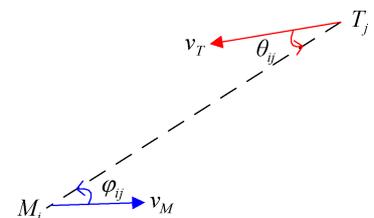


图 2 来袭目标空战态势

Fig. 2 Air combat situation map of air raid targets

得到目标的空战态势后, 其相对角度威胁度函数可作如下表示:

$$\mu_a(\theta_{ij}, \varphi_{ij}) = (\pi - |\theta_{ij}| + |\varphi_{ij}|) / 2\pi \quad (4)$$

1.5 目标类型威胁度

由于不同目标具有独特的作战效果，对应的威胁程度需要按类型进行区分，依照防空作战经验可定义类型威胁度如下：

$$\mu_t(\text{type}) = \begin{cases} 0.9 & \text{type} = \text{ARM} \\ 0.85 & \text{type} = \text{巡航导弹} \\ 0.8 & \text{type} = \text{固定翼飞机} \\ 0.79 & \text{type} = \text{制导炸弹} \\ 0.75 & \text{type} = \text{UAV} \\ 0.65 & \text{type} = \text{武装直升机} \end{cases} \quad (5)$$

类型威胁度实际体现了该目标对于地空武器系统战术层面的拦截优先级。

1.6 目标能量威胁度

能量是衡量目标空战能力的重要指标。同等条件下，目标能量越大意味着其可以获得更远的射程或航程，同时巨大的能量也赋予其优越的机动性来规避拦截。目标单位质量所具有的能量为

$$E_T = h_T + v_T^2 / 2g \quad (6)$$

敌方目标与己方火力单元的相对能量为

$$E_{M-T} = (E_T - E_M) / E_T \quad (7)$$

则目标能量威胁度可表示如下：

$$\mu_e(E_{M-T}) = (E_{M-T} + 1) / 2 \quad (8)$$

2 威胁排序权重确定

2.1 熵值法赋权

将威胁排序依据的原始度量数据矩阵记为 $U = (u_{ij})_{I \times J}$ ，其中 I 表示参与排序的目标数， J 表示威胁指标数，则熵值法赋权过程如下：

①首先对矩阵 U 进行标准化： $u'_{ij} = (u_{ij} - \mu_j) / \sigma_j$ ， μ_j 、 σ_j 分别为指标 j 的均值和标准差；

②通过线性变换消除 u'_{ij} 为负的情况：假定 u'_{ij} 中的最大负数为 u'_m ，则可令 $z_{ij} = u'_{ij} + \text{ceil}(|u'_m|)$ ；

③计算第 i 个空袭目标的第 j 项威胁度量指标占所有指标 j 总和的比重 $q_{ij} = z_{ij} / \sum_{i=1}^I z_{ij}$ ，进一步可确

定指标 j 对应的熵值 $\phi_j = -\sum_{i=1}^I q_{ij} \ln(q_{ij}) / \ln(I)$ ；

④将指标 j 的差异性量化为差异性系数 $g_j = 1 - \phi_j$ ，进而可确定其对应权重 $\Omega_j = g_j / \sum_{j=1}^J g_j$ 。

由此得到的权重向量 $\Omega = [\Omega_1 \ \Omega_2 \ \dots \ \Omega_J]^T$ 即为熵值法确定的威胁度量客观权重。熵值法计算过程完全依据各指标的原始量度，通过指标间的相关性和竞争性来区分其对应权值，赋权过程客观可信且充分体现了作战数据的真实性。

2.2 AHP 赋权

AHP 依据决策者对问题性质及目标的判断，通过将方案所含复杂因素分量化并形成递阶结构，对各指标的相对重要性进行综合比较，从而获取方案重要程度的总顺序。AHP 赋权步骤如下：

①如图 3 所示，首先构建用于空袭目标威胁排序的层次结构模型：

图 3 中，方案层对应排序目标集；准则层对应度量指标集；目标层对应最终得到的目标排列。

②层次结构反映了准则层中各指标间的关系，但它们在威胁度量中所占的比重一般不同，其中必定反映了决策者的主观意愿。传统 AHP 采用九标度法^[7]表征指标间的相对重要关系：若用 a_{ij} 表示指标 i

相对指标 j 的重要程度, 则可构造用于判断指标相对重要性的成对比较矩阵 $A = (a_{ij})_{J \times J}$ 。

③采用特征向量法为威胁度量指标进行赋权, 由矩阵论理论可知

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega \quad (9)$$

通过求解上式可得到判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} 和对应特征向量 ω , 经归一化可得利用 AHP 为威胁排序提供的权重 $\bar{\omega} = [\bar{\omega}_1 \ \bar{\omega}_2 \ \dots \ \bar{\omega}_j]^T$ 。

④由于矩阵 A 一般不为一致阵, 因此在使用 $\bar{\omega}$ 作为威胁度量权重之前必须检验其一致性。用于判断矩阵 A 一致性的指标 CI 和一致性率 CR 可表示如下

$$CI = (\lambda_{\max} - J) / (J - 1) \quad (10)$$

$$CR = CI / RI$$

其中, RI 为 A 对应的随机一致性指标, 其值与矩阵阶数有关。当 $CR < 0.1$ 时即可认为矩阵 A 的一致性满足系统要求, 可使用 $\bar{\omega}$ 作为威胁排序的权向量。

2.3 主客观权重融合

对威胁指标的最终赋权和排序, 必须兼顾探测数据的客观性和决策者的主观意愿, 全面详实地反映目标的拦截重要性和防空武器实际的作战侧重性。本文通过将熵值法赋予的客观权重与 AHP 获取的主观权重相融合, 从而确定目标各威胁指标对应的最终权重。常用的权重组合方法主要有:

①加权求和法

在取得客观权重 Ω 和主观权重 $\bar{\omega}$ 后, 为了全面映射威胁指标的相对重要程度, 可进行如下融合

$$\chi_j = (\alpha\Omega_j + \beta\bar{\omega}_j) / \sum_{j=1}^J (\alpha\Omega_j + \beta\bar{\omega}_j) \quad (11)$$

式中, α 为客观权重影响比重;

β 为主观权重影响比重。

客观与主观权重所占的融合比重需要根据防空武器系统获取敌情态势的信息质量、可信度及决策者的可靠性来综合确定, 并满足 $\alpha + \beta = 1$ 。

②乘法合成法

与加权求和法相比, 乘法合成法的目的也是为了兼顾敌情数据的客观性和决策者的主观意愿, 但它更侧重于放大各指标间的威胁程度差异。可将乘法合成的权重融合方法表示如下:

$$w_j = (\Omega_j \times \bar{\omega}_j) / \sum_{j=1}^J (\Omega_j \times \bar{\omega}_j) \quad (12)$$

在分别使用加权求和法和乘法合成法得到主客观融合权重向量 χ 和 w 后, 由于两种方法的融合程度各有不同, 为综合二者的融合特点, 利用几何平均的处理思路将两组融合权重进行二次融合:

$$\theta_j = \sqrt{\chi_j \times w_j} / \sum_{j=1}^J \sqrt{\chi_j \times w_j} \quad (13)$$

由此获得的二次融合权重向量 θ , 即为空袭目标威胁排序最终使用的威胁度量指标对应权重。

3 实例仿真

假定己方防空阵地以地空导弹车为主火力单元, 车速为 100km/h、所在高度为 10m。某一时刻, 己方预警雷达探测到 5 个空袭目标, 分别为 UAV、武装直升机、高速巡航导弹、战斗机及 ARM。各

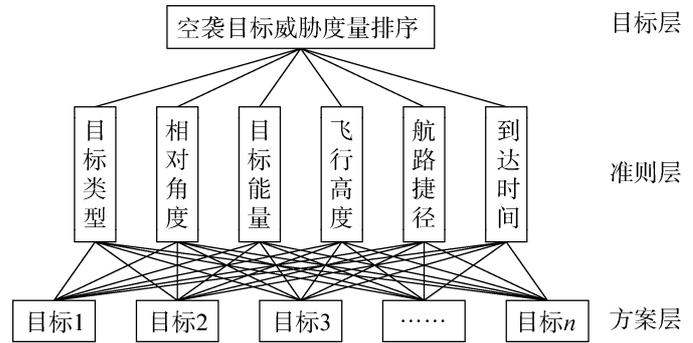


图 3 威胁排序层次结构模型

Fig. 3 Hierarchical structure model of threat sequencing

型目标的特性参数和相对导弹车的参数如表 1 所示。

表 1 空袭目标参数表
Table 1 Parameters of air raid targets

目标	p/m	d/m	$v_i/m \cdot s^{-1}$	h/m	$\varphi/^\circ$	$\theta/^\circ$	type
1	1000	3000	70	4500	5	19.47	UAV
2	2000	5000	100	5000	0	23.58	武直
3	5000	20000	850	10000	10	14.48	巡航导弹
4	1500	15000	425	6000	10	5.739	战斗机
5	500	20000	680	5500	15	1.433	ARM

以下将依据六项参数指标对目标进行威胁度量及排序。

3.1 原始度量指标数据矩阵计算

首先对目标数据进行威胁度解算，从而得到量化各特性对应威胁程度的原始度量指标数据矩阵：

$$U = \begin{bmatrix} 0.9277 & 0.5966 & 0.8321 & 0.4598 & 0.75 & 0.9948 \\ 0.7408 & 0.4752 & 0.7866 & 0.4345 & 0.65 & 0.9955 \\ 0.1534 & 0.8627 & 0.2967 & 0.4876 & 0.85 & 0.9995 \\ 0.8447 & 0.7301 & 0.6873 & 0.5118 & 0.8 & 0.9984 \\ 0.9814 & 0.8054 & 0.738 & 0.5377 & 0.9 & 0.9992 \end{bmatrix}$$

其中，指标矩阵 1~6 列依次分别对应各目标的六项威胁度。

3.2 熵值法计算客观权重

将矩阵 U 经标准化和线性变换后可得线性指标矩阵 Z ：

$$Z = \begin{bmatrix} 2.6618 & 1.3095 & 2.8545 & 1.2756 & 1.535 & 0.619 \\ 2.0374 & 0.4494 & 2.6173 & 0.5835 & 0.3725 & 0.991 \\ 0.0751 & 3.1958 & 0.0645 & 2.0351 & 2.6975 & 3.0417 \\ 2.3845 & 2.2559 & 2.0997 & 2.6993 & 2.1162 & 2.4735 \\ 2.8411 & 2.7895 & 2.3641 & 3.4066 & 3.2787 & 2.8748 \end{bmatrix}$$

进一步可获得度量指标对应熵值序列 Φ ：

$$\Phi = [0.8777 \quad 0.9085 \quad 0.876 \quad 0.9151 \quad 0.9059 \quad 0.9116]$$

最终得到威胁度量指标对应权重向量 Ω ：

$$\Omega = [0.2021 \quad 0.1511 \quad 0.2049 \quad 0.1403 \quad 0.1555 \quad 0.146]^T$$

3.3 AHP 计算主观权重

决策者根据当前战术侧重及自身战场经验对各指标的相对重要性进行评分，得到判断矩阵 A ：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 3 & 4 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & 3 & 4 & 4 & 5 \\ 0.3333 & 0.3333 & 1 & 3 & 3 & 4 \\ 0.25 & 0.25 & 0.3333 & 1 & 0.5 & 2 \\ 0.25 & 0.25 & 0.3333 & 2 & 1 & 3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.25 & 0.5 & 0.3333 & 1 \end{bmatrix}$$

通过仿真计算可分别得到矩阵 A 的最大特征值为 $\lambda_{\max}=6.2941$ ，对应特征向量如下：

$$\omega = [-0.5693 \quad -0.7167 \quad -0.3237 \quad -0.1312 \quad -0.1803 \quad -0.0876]^T$$

检验矩阵 A 的一致性：已知其 $RI=1.24$ ，可得 A 的一致性指标 $CI=0.0588$ ，一致性率 $CR=0.0474$ 。由 $CR<0.1$ 可知 A 的一致性满足要求。最终得到的 AHP 权重向量 $\bar{\omega}$ 为

$$\bar{\omega} = [0.2834 \quad 0.3568 \quad 0.1611 \quad 0.0653 \quad 0.0898 \quad 0.0436]^T$$

3.4 主客观权重融合及威胁排序

获取客观权重 Ω 和主观权重 ω 后, 首先对其进行加权求和。实际威胁评估往往更偏向客观权重, 因此, 主客观权重影响比重取 $\alpha=0.6, \beta=0.4$ 。由此可加权求和得到第一组融合权重 χ :

$$\chi = [0.2346 \quad 0.2334 \quad 0.1874 \quad 0.1103 \quad 0.1292 \quad 0.1051]^T$$

然后利用乘法合成法得到第二组融合权重 w :

$$w = [0.3298 \quad 0.3104 \quad 0.1901 \quad 0.0528 \quad 0.0804 \quad 0.0367]^T$$

将上述两组融合权重几何平均进行二次融合, 得到最终需要的融合权重 θ :

$$\theta = [0.2849 \quad 0.2757 \quad 0.1933 \quad 0.0781 \quad 0.1044 \quad 0.0636]^T$$

最后利用指标数据矩阵 U 和融合权重 θ 可得目标威胁度序列 TS :

$$TS = U \cdot \theta = [0.7671 \quad 0.6592 \quad 0.5292 \quad 0.7618 \quad 0.8438]^T$$

由仿真结果可知, 融合权重法的威胁排序结果为: ARM>UAV>战斗机>武装直升机>巡航导弹。

接下来将该方法获得的排序结果与熵值法和 AHP 法进行比较。利用熵值法对本作战场景下的 6 个目标进行威胁排序, 得到威胁度评分为 $TS_entropy = [0.1829 \quad 0.13 \quad 0.1661 \quad 0.2322 \quad 0.2888]^T$, 可知熵值法获得的排序结果为: ARM>战斗机>UAV>巡航导弹>武装直升机。

AHP 的威胁度评分结果为 $TS_ahp = [0.2116 \quad 0.1795 \quad 0.1561 \quad 0.2145 \quad 0.2383]^T$, 可知 AHP 获得的排序结果为: ARM>战斗机>UAV>武装直升机>巡航导弹。

进一步对比分析可知: ARM 的航路捷径最小且到达时间最短, 因此威胁度最大; 巡航导弹航路捷径与飞行高度均为最大, 可判定为非对抗性目标, 对阵地威胁度因此最小; 熵值法与 AHP 均认为战斗机比 UAV 更具威胁, 这是因为战斗机的战术性能更优越, 且其挂载武器具有极强的破坏性。然而从实际作战角度出发, UAV 的航路捷径更小且高度更低, 武器系统对它有更广泛的杀伤区, 拦截成功率更高; 此外, UAV 对有生力量的杀伤性是不容忽视的, 且由于体积较小, 其防区渗透能力较强, 因此优先对 UAV 进行拦截具有更好的作战效能。

熵值法、AHP 与二次融合三者间所赋权重的直观比较如图 4 所示, 可以看出: 熵值法赋予的各权值间差异性更小, 更能体现战场态势的真实程度; AHP 主观权值体现了决策重点主要在航路捷径和到达时间并兼顾飞行高度, 对其它指标则考虑较少; 融合权重综合了熵值法与 AHP 的特点, 既保持了作战决策者的侧重点, 又平均了侧重指标对排序结果的影响力, 同时对非侧重指标的参与度也有所提高, 因此具有更好的工程适用性, 赋权结果更加真实可信。

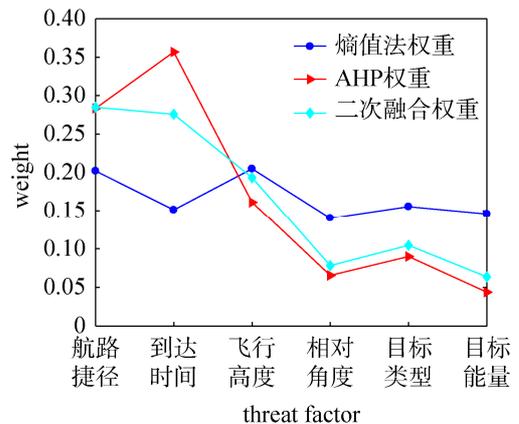


图 4 熵值法、AHP、二次融合权重比较
Fig. 4 Weight comparison among entropy method, AHP and twice fusion

4 结束语

目标威胁排序过程中, 度量指标体系对战情态势的反映程度会影响结果的真实性, 而指标权重的分配是否合理直接决定了排序效果的正确性和可信度。针对旧的指标体系有偏向、考虑不周等问题, 提出在此基础上结合目标空战态势划定新的指标体系以提高威胁度量的全面性; 为了达成熵值法客观赋权与 AHP 主观赋权的有机结合, 分别采用加权求和法和乘法合成法对两者进行一次融合, 而后利用几何平均法对其进行二次融合, 以获得最终的融合权重。仿真表明: 在真实作战场景下, 该融合方法既保持了 AHP 中反映的决策者主观偏重, 又吸收了熵值法中体现的指标间客观竞争性, 避免了单一赋权和单一融合可能带来的片面性, 排序逻辑更贴合实际作战, 结果的真

实度和可信度更高,具有较高的工程实用价值。

参考文献

- [1] 范春彦, 韩晓明, 王献峰. 基于最大隶属度的目标威胁评估与排序法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(1): 47-48, 67.
FAN Chunyan, HAN Xiaoming, WANG Xianfeng. Target threat evaluating and sequencing method based on the maximum degree of membership[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(1): 47-48, 67.
- [2] 雷蕾, 尚丽娜, 张列航. 空战目标威胁排序与目标分配算法[J]. 电光与控制, 2010, 17(4): 38-40, 82.
LEI Lei, SHANG Lina, ZHANG Liehang. Algorithms for target threat sequencing and target assignment in air combat[J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(4): 38-40, 82.
- [3] 张浩为, 谢军伟, 盛川, 等. 基于改进灰色关联算法的目标威胁评估[J]. 计算机工程与科学, 2017, 39(10): 1908-1914.
ZHANG Haowei, XIE Junwei, SHEN Chuan, et al. Target threat assessment based on improved grey correlation algorithm[J]. Computer Engineering & Science, 2017, 39(10): 1908-1914.
- [4] 徐克虎, 张明双, 李灵之. 基于区间变权灰色关联法的集群目标威胁评估[J]. 电光与控制, 2019, 26(12): 6-11.
XU Kehu, ZHANG Mingshuang, LI Lingzhi. Cluster target threat assessment based on interval variable weight grey correlation method[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(12): 6-11.
- [5] 杨纶标, 高英仪, 凌卫新. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2011: 94-109.
YANG Lunbiao, GAO Yingyi, LING Weixin. The Principles and Applications of Fuzzy Mathematics[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2011: 94-109.
- [6] 陈德江, 王君, 张浩为. 基于直觉模糊多属性决策的动态威胁评估模型[J]. 计算机科学, 2019, 46(4): 183-188.
CHEN Dejiang, WANG Jun, ZHANG Haowei. Dynamic threat assessment model based on intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making[J]. Computer Science, 2019, 46(4): 183-188.
- [7] 闫冲冲, 郝永生. 基于层次分析法(AHP)的空中目标威胁度估计[J]. 计算技术与自动化, 2011, 30(2): 118-121.
YAN Chongchong, HAO Yongsheng. Threat assessment of aerial target based on AHP[J]. Computing Technology and Automation, 2011, 30(2): 118-121.
- [8] 赵智剑, 余科, 马跃华, 等. 基于 AHP-云模型的雷达抗干扰性能评估[J]. 空天防御, 2020, 3(1): 65-72.
ZHAO Zhijian, YU Ke, MA Yuehua, et al. Evaluation of radar anti-jamming performance based on AHP-cloud model[J]. Air & Space Defense, 2020, 3(1): 65-72.
- [9] BRADY S R. The Delphi Method[M]. The handbook of methodological approaches to community based research: qualitative, quantitative, and mixed-methods, 2016.
- [10] 孔尚萍, 张海瑞, 廖选平, 等. 基于 AHP 与熵权法的空中目标威胁评估方法[J]. 战术导弹技术, 2018(1): 79-84.
KONG Shangping, ZHANG Hairui, LIAO Xuanping, et al. Aerial targets threat assessment based on AHP and entropy weight method[J]. Tactical Missile Technology, 2018(1): 79-84.
- [11] 宋占岭, 王忠武, 王锐, 等. 空袭目标威胁的优序法排序[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(6): 140-142.
SONG Zhanling, WANG Zhongwu, WANG Rui, et al. Air attack objectives threat evaluation and priority based on optimum order method[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014, 35(6): 140-142.
- [12] 张堃, 周德云. 熵权与群组 AHP 相结合的 TOPSIS 法多目标威胁评估[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(7): 1661-1664.
ZHANG Kun, ZHOU Deyun. Application of TOPSIS based on entropy and GD-AHP in evaluating sequence of air target threat[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(7): 1661-1664.
- [13] 郝英好, 张永利, 雷川, 等. 基于组合赋权-TOPSIS 法的空中目标威胁评估仿真[J]. 战术导弹技术, 2015(5): 103-108.
HAO Yinghao, ZHANG Yongli, LEI Chuan, et al. Target threat evaluation based on combination weighting-TOPSIS method[J]. Tactical Missile Technology, 2015(5): 103-108.
- [14] 岳韶华, 周国安. 基于改进 TOPSIS 模型的防空多目标威胁评估[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(1): 30-32.
YUE Shaohua, ZHOU Guoan. Evaluation for the air defense multi-target threat based on modified TOPSIS model[J]. Command Control & Simulation, 2009, 31(1): 30-32.

- [15] 罗乐, 夏斌, 张锦春. 基于组合赋权灰色关联投影的通信目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(11): 87-90.
LUO Le, XIA Bin, ZHANG Jinchun. Evaluation of communicate targets threat based on combination weighting and grey relation projection method[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(11): 87-90.

[作者简介]

- 张悻颢 1995 年生, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为火力控制系统设计。
杨刚 1982 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为指挥控制系统设计。
孟海波 1993 年生, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为指挥控制系统设计。
王瑞琪 1992 年生, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为火力控制系统设计。
齐宝力 1996 年生, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为软件工程设计。

《遥测遥控》征稿简则

《遥测遥控》是国家新闻出版广电总局审核通过的第一批学术性刊物。本刊发表遥测、遥控及相关领域的理论研究、应用研究、工程设计以及产品开发、研制和应用等方面成果的论文、技术报告和相关报道。

综述与评论性文稿应在反映国内外行业最新现状的基础上提出自己的见解, 如对未来的发展趋势、研究重点、新技术研发方向的判断、预测等, 论文研究须具有一定的广度和深度, 切忌写成科普论文。学术科研类文稿应具有一定的创新性和实用性, 务求论点鲜明、论据充分、主题突出、数据可靠、图表清晰、逻辑严谨、文字简练、语句通顺。

本刊不接受已在公开刊物发表的文稿, 但不排除已在国内外学术会议上发表的论文。切勿一稿两投。文稿内容的正确性、文稿著作权的真实性由作者负责。

投稿时请提供一式两份的论文打印稿或电子文档一份。硕士生、博士生投稿, 须附导师签署的意见一份。科研单位投稿, 须附单位保密审查证明。

文稿中摘编或引用他人的作品, 请务必按《著作权法》的有关规定, 在参考文献中列出。参考文献按正文引用顺序附于文末, 并在正文引用处右上角用方括号标出顺序号, 文末参考文献要求按国家标准规定著录, 未公开发表的资料请勿引用。

编辑部将及时汇总审稿意见告知作者: 要求对文稿进行修改、重新整理或退稿。自稿件发出之日起 45 天内未收到回复的, 作者可以随时要求撤稿。请作者自留底稿, 来稿恕不退还。

获国家、省、部科技进步奖、发明奖课题的论文, 自然科学基金、各级攻关项目课题论文, 请提供项目的编号或获奖证书复印件, 编辑部可安排优先发表。

本刊刊用的论文将同时被《中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)》、《CNKI 系列数据库》、《万方数据——数字化期刊群》、《中文科技期刊数据库》及“超星期刊域出版平台”收录。不同意收录者, 请投稿时说明, 本刊将作适当处理。本刊暂不收取版面费, 稿件刊出后即按稿件质量发放一次性稿酬, 并赠当期《遥测遥控》2 册。

编辑部唯一投稿邮箱 ycyk704@163.com, 联系电话: 010-68382327, 010-68382557。

(本刊编辑部)