

# 舰艇多目标威胁评估及可视化方法综合研究

苏 曼 康凤举 谢 攒

(西北工业大学航海学院, 西安 710072)

**摘要** 对舰艇多目标威胁度的评估是反舰导弹突防任务指挥中首要解决的问题之一,而评估结果的可视化有助于作战指挥人员直观地区分威胁目标的轻重缓急,从而为反舰导弹的突防迅速做出决策。提出了一种舰艇多目标威胁度评估及可视化的综合方法。首先,运用灰色关联度分析理论对影响舰艇多目标威胁度的属性因子之间的关联度进行了评估,并建立评估模型。然后,利用 SuperMap GIS 软件进行了作战过程的二维态势显示研究,通过面向用户的类库设计开发出了实用的评估过程可视化软件平台。

**关键词** 舰艇多目标 威胁度 反舰导弹 灰色关联度 评估可视化

**中图法分类号** TP391.9; **文献标志码** A

舰艇编队一般由指挥舰、护卫舰、驱逐舰等组成,各舰艇由于性能及配备武器等的不同对反舰导弹的突防起到不同的制约作用,所以,在反舰导弹对舰艇编队目标实施突防进行决策过程中,要对舰艇编队多目标的威胁度进行评估及实现评估结果排序,同时实现评估结果的二维可视化可为作战指挥人员依据直观的观察迅速作出决策提供依据。

针对舰艇多目标威胁度及二维可视化问题,国内外分别有不少学者开展了研究:国外在这方面的研究相对比较成熟,而且将研究成果应用在了可视化系统中,其中尤以美军的“龙(Dragon)”系统最为典型<sup>[1]</sup>;国内如海军大连舰艇学院高贵虎等研究的基于层次分析法的对潜多目标威胁度的评估、西北工业大学王百合等研究的基于模糊多属性决策理论在水下多目标跟踪目标优选中的应用,海军兵种指挥学院罗晓东等研究的逼近理想排序法在海战场目标威胁评估中的应用等,然而,通过利用威胁度评估数据并实现可视化的综合研究的文献却

很少。

本文提出的一种舰艇多目标威胁度评估及可视化的综合研究方法,是运用灰色关联度分析理论对影响舰艇多目标威胁度的属性因子之间的关联度进行了评估,建立了评估模型。同时,利用 SuperMap GIS 软件进行作战过程的二维态势显示研究,通过面向用户的类库设计开发出了实用的评估过程可视化软件平台。

## 1 舰艇多目标威胁度评估算法

### 1.1 影响各舰艇目标威胁度的属性因子

在对舰艇多目标进行威胁度评估的过程中,不同的属性因子具有不同的影响权系数,同时采用不同的威胁评估准则,也会影响威胁度评估的结果。这些属性因子包括环境因素(天气、地形等)、敌我双方武器平台及武器装备性能、敌我双方战斗部署等。在诸多属性因子中,既有定性因子又有定量描述,而且彼此之间有着复杂的关联,需要对其加以分析以便根据某一函数关系建立数学模型。尽管对作战环境和敌方舰艇的武器装备的战斗部署方法很难或不可能获得,但被攻击舰艇的武器装备及其战术技术性能等情报却比较容易获得。根据我方掌握的被攻击舰载武

2009年12月18日收到

第一作者简介:苏 曼(1984—),女,汉族,山东曹县人,西北工业大学航海学院硕士生,研究方向:战场态势仿真技术。E-mail: suman316@163.com。

器装备数量及其性能,按照某种函数关系建立反舰导弹突防能力的数学模型。这样,不仅可以大大简化目前的反舰导弹突防能力的数学模型,而且也可以使计算结果的可信性有一定程度提高。

根据我方掌握的敌方信息和目标估计信息、监测信息,将敌方舰艇的性能、距离、速度、加速度、方位角以及配属武器的性能作为本文对敌舰艇威胁度评估所采用的属性因子。

所建立的舰艇多目标威胁度评估结构图见图 1。

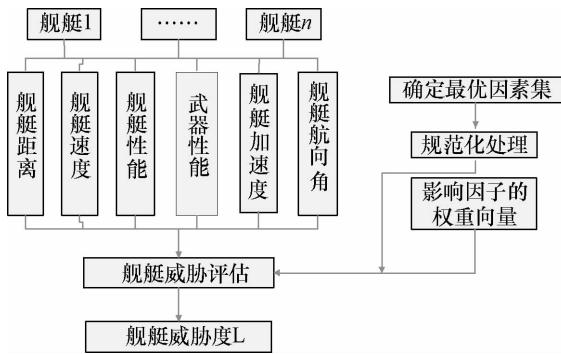


图 1 目标威胁度评估结构图

## 1.2 舰艇多目标威胁度评估模型的建立<sup>[2-4]</sup>

设  $\xi_{ik}$  为第  $i$  ( $i \in [1, n]$ ) 个舰船第  $k$  ( $k \in [1, m]$ ) 个因子与第  $k$  个最优因子指标的关联系数,  $V$  为  $n$  个舰船综合评估的结果向量;  $W$  为  $m$  个影响因子指标的权重向量;  $E$  为各属性因子的评判矩阵。根据  $V = EW$  的数值, 进行目标威胁度的排序。

### 1.2.1 确定最优因素集

$$\text{设 } G = \begin{pmatrix} j_{11} & j_{12} & \cdots & j_{1m} \\ j_{21} & j_{22} & \cdots & j_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ j_{n1} & j_{n2} & \cdots & j_{nm} \end{pmatrix},$$

式中  $j_{ik}$  为第  $i$  个舰船第  $k$  个因子的最优值。

### 1.2.2 影响因素的规范化处理

为了保证结果的可靠性, 需对原始因素进行规范处理。设无量纲值  $C_{ik} = \frac{j_{ik} - j_k^{\min}}{j_k^{\max} - j_k^{\min}}$ ,  $C_{ik} \in (0, 1)$ ,  $j_k^{\min}$  为第  $k$  个因子在所有被评估舰船中的最小值,  $j_k^{\max}$  为第  $k$  个因子在所有被评估舰船中的最大值,  $k \in (1, 2, \dots, m)$ 。

### 1.2.3 计算综合评估结果

根据灰色系统理论, 将  $\{C_0\} = [C_{01}, C_{02}, \dots, C_{0m}]$  作为参考数列, 将  $\{C\} = [C_{11}, C_{12}, \dots, C_{im}]$  作为被比较数列, 则用关联分析法分别求得的第  $k$  ( $k \in [1, m]$ ) 个因素与第  $k$  个最优因子指标的关联系数, 即

$$\xi_{ik} = \frac{\min_i \min_k |C_{0k} - C_{ik}| + \rho \max_i \max_k |C_{0k} - C_{ik}|}{|C_{0k} - C_{ik}| + \rho \max_i \max_k |C_{0k} - C_{ik}|}, \quad \rho \in (0, 1), \quad (1)$$

取  $\rho = 0.5$ 。

$$\text{得到关联矩阵 } E = \begin{pmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \cdots & \xi_{1m} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \cdots & \xi_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \xi_{n1} & \xi_{n2} & \cdots & \xi_{nm} \end{pmatrix}.$$

### 1.2.4 因素指标的权重向量

采用层次分析法, 通过两两比较的方式, 制定比较标准, 获得各层次评估指标的权重系数。设  $A$  代表一级评价指标  $a_i$  所组成的集合, 记为  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ , 其中  $w_i$  代表二级指标  $w_{ij}$  组成的子集合, 记为  $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})$ , 对应一级指标权重值记为  $w$ , 二级指标权重值记为  $w_{ij}$ , 构成权重向量记为  $W$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ )。

根据公式  $V = EW$  (2) 计算出  $V$  的值, 并对敌方各舰艇威胁度进行排序。

### 1.3 舰艇多目标威胁度评估的具体实现

以敌方五艘舰艇为例来对各目标进行威胁度的评估。取  $C_0 = (25, 50, 25, 10, 1, 1)$  为参考数列。影响敌舰艇目标威胁度的属性因子及其指标值如表 1 所示。

表 1 影响舰艇威胁度的属性因子及其指标

| 舰艇   | 距离 / (km) | 航向角 / (°) | 速度 / (m/s) | 加速度 / (ms⁻²) | 武器性能 | 舰艇性能 |
|------|-----------|-----------|------------|--------------|------|------|
| 舰艇 1 | 15        | 25        | 19         | 5            | 0.8  | 0.8  |
| 舰艇 2 | 17        | 19        | 22         | 6            | 0.8  | 0.9  |
| 舰艇 3 | 19        | 35        | 25         | 9            | 0.7  | 0.7  |
| 舰艇 4 | 22        | 45        | 18         | 7            | 0.6  | 0.8  |
| 舰艇 5 | 23        | 30        | 17         | 8            | 0.6  | 0.7  |

### 1.3.1 求关联系数和关联度<sup>[5]</sup>

本文采用初值化对原始数据进行处理, 即所有数据均除以  $C_0$ , 得到一个无单位的新数列先求出

$|C_{0k} - C_{ik}|$ 的值,再将 $|C_{0k} - C_{ik}|$ 的相应数值代入式(1)即得到 $C_0$ 对 $C_{ik}$ 各性状的关联系数如表2所示。

表2 参考指标与各属性因子之间的关联系数

| $\xi_{ik}$ | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 舰艇1        | 0.446 2 | 0.386 7 | 0.591 8 | 0.386 7 | 0.644 4 | 0.644 4 |
| 舰艇2        | 0.508 8 | 0.103 4 | 0.783 8 | 0.446 2 | 0.644 4 | 0.878 8 |
| 舰艇3        | 0.591 8 | 0.527 3 | 0.999 7 | 0.878 8 | 0.527 3 | 0.527 3 |
| 舰艇4        | 0.783 8 | 0.878 8 | 0.460 3 | 0.527 3 | 0.446 2 | 0.644 4 |
| 舰艇5        | 0.878 8 | 0.446 2 | 0.508 8 | 0.644 4 | 0.446 2 | 0.527 3 |
| $W$        | 0.15    | 0.05    | 0.15    | 0.1     | 0.25    | 0.3     |

在对舰艇多目标进行威胁度评估中,各影响因子的重要性是不尽相同的,需按各属性因子的相对重要性求出加权关联度,才能正确评价各威胁度的大小。当赋予各关联系数不同权重后,可由公式(2)计算出加权关联度,各权重列入表2,加权关联度及排序列于表3。

表3 舰艇多目标属性因子与参考属性关联度及排序

| 舰艇    | 舰艇1     | 舰艇2     | 舰艇3     | 舰艇4     | 舰艇5     |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 加权关联度 | 0.568 1 | 0.668 4 | 0.555 1 | 0.588 2 | 0.765 4 |

### 1.3.2 关联分析

从表3可以看出,以舰艇性能、武器性能和速度为主的加权关联度为舰艇5>舰艇2>舰艇4>舰艇1>舰艇3。根据灰色关联度分析的原则,关联度大的舰艇,威胁度也大;反之威胁度就小。舰艇5的加权关联度最大为0.765 4,威胁度也最大;其次是舰艇2,加权关联度为0.668 4,威胁度较大;最小是舰艇3,加权关联度为0.555 1,威胁度最小。

所采用的灰色关联度评估方法,同常用的层次分析法(所得排序结果:舰艇5>舰艇2>舰艇4>舰艇3>舰艇1)<sup>[6]</sup>和模糊多属性分析法(所得排序结果:舰艇5>舰艇2>舰艇4>舰艇3>舰艇1)<sup>[7]</sup>相比较,简化了评估指标,提高了评估结果的合理性和实用性。评估结果与用其它方法及专家分析判断相吻合。

## 2 舰艇多目标威胁度的二维可视化

在作战仿真过程中分析敌方兵力强弱的关键就是评估敌方多目标武器平台的威胁度,上面结果

的直观展现方法就是实现舰艇多目标威胁度的二维可视化,以图形、表格等形式展示出来,可以使作战指挥人员能够直观清晰地把握敌方整个舰艇编队信息,进而做出合理的突防部署。

### 2.1 舰艇多目标威胁度的二维可视化实现方法

在VC++ 6.0环境下,运用SuperMap GIS工具(SuperMap Deskpro 和 SuperMap Objects)软件完成舰艇多目标威胁度的可视化。

使用SuperMap Deskpro 软件读取标准的矢量地理信息数据,生成了展示海战场态势的底图,该软件提供简单易用的工作空间管理器。将SuperMap Deskpro 生成的海战场态势的底图保存在工作空间smw文件夹中。由于SuperMap GIS系列软件具有统一的地图配置,SuperMap Deskpro 软件制作的地图,可以在SuperMap Objects 系统中直接使用,无需任何转换和处理。

SuperMap 软件提供了100多个底层的函数接口,对于二维可视化的显示工作量大、使用复杂,由此,根据作战仿真的需求进行了封装,开发出了10多个面向用户的模块,用户只需点击界面,就可以方便地组织起二维作战态势图。例如:在态势图上显示一个圆形威胁区域,用户要编辑10多行代码,经过封装之后用户只需考虑绘制一个圆形区域所需的信息(如半径大小、圆心位置、填充颜色及模式等)就可以了。

将SuperMap Objects 组件中底层的标绘军标符号和几何区域的函数封装成类库形式,实现了二维作战态势图的基本GIS功能、军标标绘功能和人机交互功能。同时,读取想定文件生成剧情,部署敌我双方兵力,实现了大规模作战场景中非视觉物理量(威胁范围、探测范围等)的可视化。二维作战态势系统开发流程图见图2。

### 2.2 舰艇多目标威胁度的可视化的具体实现

舰艇多目标威胁度可视化的表述形式有很多种,可以用图表以及文字等形式来显示。由于对目标威胁度的评估带有很大的不确定性,所以在可视化过程中,不仅要综合采用多种方法和手段,还应该使各种方式有机结合成一个功能完善且相互补充的整体,以便于能充分反映整个战场中多个威胁源对突防武器

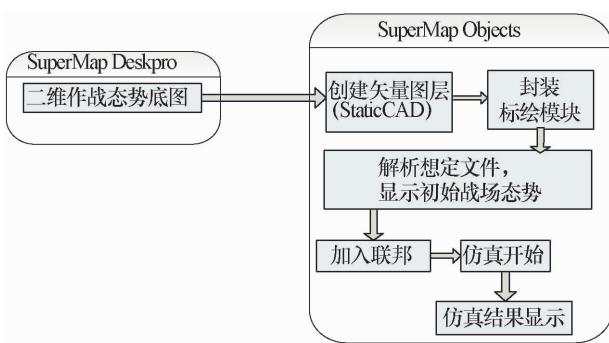


图 2 二维作战态势系统开发流程图

的威胁信息,使战事决策人员迅速、准确地部署突防武器的任务,重点突防敌方主要目标<sup>[8]</sup>。

在用图形直观显示威胁度等级排序结果的同时用表格的形式显示出影响舰艇威胁度评估结果的属性信息。根据各舰艇威胁度的不同,用渐变填充的不同大小圆形区域显示威胁度等级排序结果;在显示影响威胁度评估结果的属性表格时,显示各舰艇所载传感器(雷达等)的探测范围、所载火力武器的种类和数量等。作战决策人员可以根据威胁度的可视化结果作出作战决策,发出指令进行合理的作战仿真。

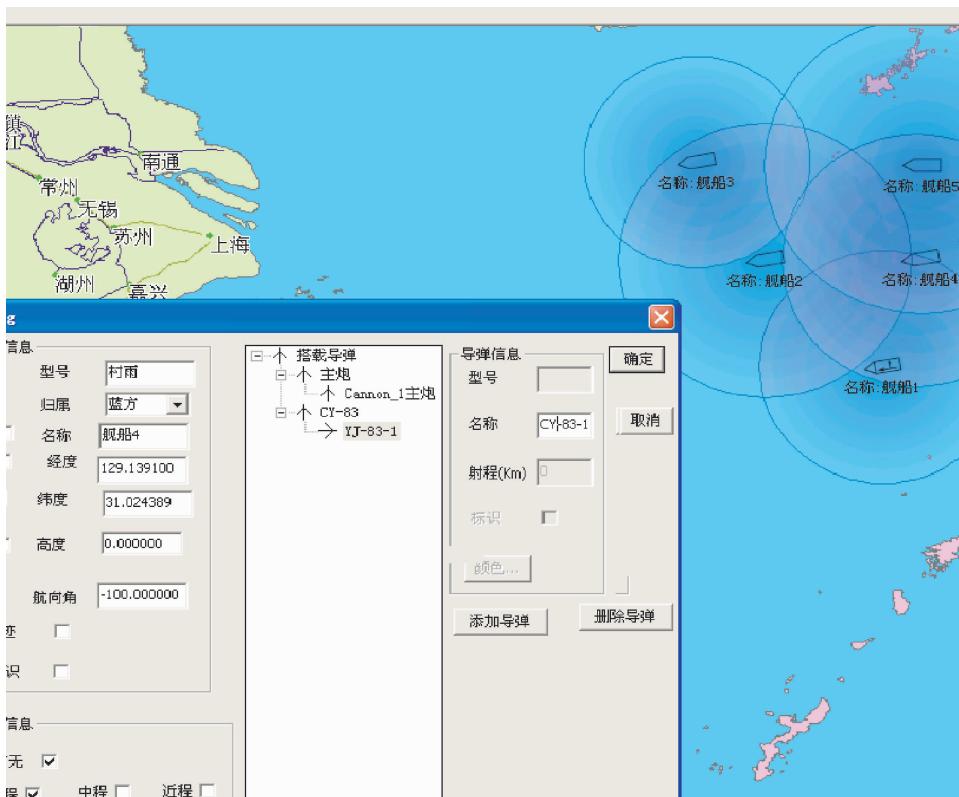
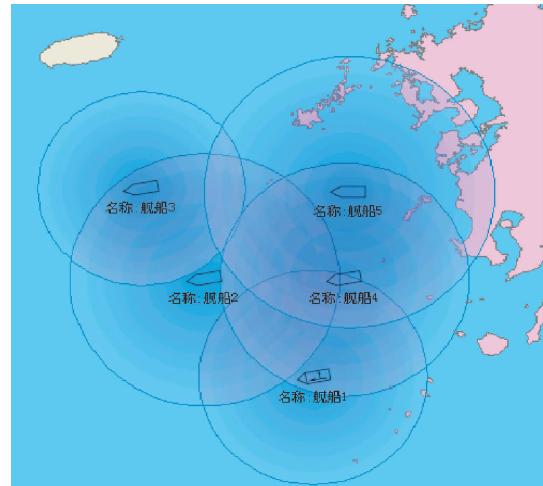


图 3 舰艇多目标威胁度等级排序的可视化

由表 3 得出的舰艇威胁度评估结果,在二维态势图上标绘出各舰艇的威胁区域见图 3:二维态势图上标绘有敌方五艘舰艇的位置、名称、及威胁度的可视化范围等信息。并用表格的形式显示出各影响舰艇威胁度的属性信息。

通过结果应用分析,证明了采用类库设计的方法是可行的,该方法简化了用户对 SuperMap 软件的二次开发,可直接利用软件平台提供的功能进行直接调用。



### 3 结论

本文提出了一种实现舰艇多目标的威胁度评估及二维可视化的综合研究方法。采用灰色关联度分析的方法对敌舰艇多目标威胁度的评估结果进行了排序,并将排序结果与层次分析法和模糊多属性分析方法得出的结果进行了比较,与专家分析相吻合,验证了该方法的合理性和实用性;同时将评估结果综合图形和表格的形式在二维战场态势图上展示出来,通过结果的应用分析,证明了该方法的可行性。

### 参 考 文 献

1 杨亚桥,李启元,杨露菁,等.基于威胁度函数的海战场态势可视化方法.计算机仿真,2008;25(7):5—7

- 2 黄仁全,李为民,周晓光,等.基于灰色关联分析的防空导弹系统效能评估模型.兵工自动化,2009;28(6):94—96
- 3 胡 方,黄建国,褚福照,等.水下航行器多目标制导能力评估方法.系统仿真学报,2008;20(1):108—110
- 4 徐 伟,智 军,陈 亮,等.基于灰色综合关联度的空中目标威胁度评估.兵工自动化,2008;27(8):86—91
- 5 邓聚龙.灰理论基本.武汉:华中科技大学出版社,2002
- 6 王莲芬,许树柏.层次分析法引论.北京:国防工业出版社,2005
- 7 王百合,黄建国,张群飞,等.模糊多属性决策在多目标跟踪目标优选中的应用.弹舰与制导学报,2007;27(4):326—329
- 8 Secarea V V,Krikorion H F. Adaptive multiple target attack planning in dynamically changing hostile environments. Proceedings of the IEEE 1990,NaECON. USA:IEEE, 1990:1117—1123

## Comprehensive Research of Naval Vessel Multi-objectives Threat Assessment and Visualization

SU Man, KANG Feng-ju, XIE Pan

(Marine College, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

**[Abstract]** Degree of the naval threat assessment of multi-objective is one of most important solution questions before arraying the anti-ship missile defense penetration, and appraising the result visualization method to be helpful to the operational control personnel differentiates the threat goal intuitively things have their order of priority, thus makes the decision-making rapidly for defense penetration of antiship missile. One kind of naval vessel multi-objective threat appraisal and the visualization synthetic study method are proposed. Firstly, to affected between the naval vessel multi-objective threat attribute factor interrelatedness using the pessimistic interrelatedness analysis theory to carry on the appraisal, establish the appraisal model, carry on the comparison among Gray Relation Analysis method, fuzzy multiattribute analytic method and the analytic hierarchy proce., confirmed the pessimistic interrelatedness method rationality. Then, through the user-oriented class library designed a practical assessment of process visualization software platform is developed.

**[Key words]** naval vessel multi-objectives      threat degrees      anti-ship missile      gray relation      assessment of visual