

舰艇编队超视距反导威胁评估指标主观权重确定

李大鹏, 谭乐祖, 黎漫斯
(海军航空工程学院指挥系, 山东烟台 264001)

摘要: 针对舰艇编队超视距反导威胁评估指标主观权重确定问题, 建立威胁评估指标体系。分别针对决策者给出的语言型、效用值型、序关系值型、模糊互补判断矩阵型、互反判断矩阵型以及区间数型指标权重信息建立了指标权重确定的最优化模型, 将主观指标权重确定问题建模为多目标约束优化问题, 在得出各种类型权重信息矩阵的规范化系数的基础上采用线性加权的方法将其变为单目标约束优化问题, 并给出了指标主观权重解。仿真结果显示, 该方法能够直接集结决策者给出的多种类型的指标权重确定信息, 且能够准确地得到舰艇编队超视距反导威胁评估主观权重, 计算量小、易于进行工程推广, 能够为舰艇编队超视距反导作战辅助决策系统设计提供一定的理论支持。

关键词: 舰艇编队; 超视距反导; 威胁估计指标体系; 主观权重确定

中图分类号: V271.4; C935 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)11-0021-05

Subjective Weight Determination of Warship Formation in Over-the-Horizon Anti-Missile Threat Estimation

LI Dapeng, TAN Lezu, LI Mansi
(Department of Command, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Aiming at subjective weight determination of warship formation in over-the-horizon anti-missile threat estimation, we established a threat estimation index system, and built up the optimal index subjective weight determination models of linguistic type, utility type, order relationship type, fuzzy preference relationship type, multiplicative preference relationship type and interval utility type information given by the experts. The subjective weight determination was then transformed into a multi-objective constraint problem, and the normalization coefficients for the index weight information matrices were obtained. Then, linear weighting method was used to turn it into single objective constraint models, and the index subjective weights were obtained. A numerical example was given to illustrate the method. The result demonstrates that this method can concentrate multi-type index weight information, and can obtain warship formation over-the-horizon anti-missile threat estimation index subjective weight precisely. The method is easy for engineering realization, and provides a theoretical support for the design of over-the-horizon, anti-missile assistant decision-making system for warship formation.

Key words: warship formation; over-the-horizon anti-missile; threat estimation index; subjective weight determination

0 引言

确定各属性权重是威胁估计的重要环节, 直接制约着威胁估计结果的准确性^[1-2]。在确定权重的过程中, 每个决策者的经验和面临的环境可能存在很大差异, 因而不同的决策者即使针对相同的属性也可能给

出不同形式的权重值, 因此, 就存在如何从不同形式的指标权重信息中提取统一的指标权重这一问题。部分文献在确定主观权重过程中仅考虑了单一形式的指标权重信息^[3-4], 这并不符合客观实际。文献[5]将不同形式的权重信息首先进行一致化处理, 转化为统一的区间数表述形式, 然后再进行综合处理进而得出各指标的权重, 这是一种传统的解决该问题的思路。但是该方法存在比较明显的缺陷, 首先, 一种指标权重信息形式转化为另一种指标权重信息形式时, 均会不同程度地丢失

收稿日期: 2012-11-26

修回日期: 2012-12-14

作者简介: 李大鹏(1983—), 男, 山东高密人, 博士生, 研究方向为舰艇编队防空作战、海军信息化作战。

原有的信息;其次,某两种形式的指标权重信息在转化时需要深入研究内在机理,从理论上证明这种转化是可行的,而这个过程比较复杂。一种比较新颖的思路是采用建立最优化模型的方法直接处理不同形式的指标权重信息^[6-8],该方法避免了不同形式的权重信息之间的转化过程,能够有效地解决多种形式威胁评估指标权重的确定问题。文献[9]设计了直接集结4种不同形式的偏好信息的方法,在此基础上,本文针对在舰艇编队超视距反导威胁评估指标权重确定过程中,多个决策者可能给出不同形式的指标权重信息问题,设计了一种能够集结语言型指标权重信息、效用值型指标权重信息、序关系值型指标权重信息、模糊互补判断矩阵型指标权重信息、互反判断矩阵型指标权重信息以及区间数型指标权重信息等6种类型的指标权重信息的最优化模型并设计了解决方法,解决了舰艇编队超视距反导作战威胁评估指标主观权重的确定问题。

1 目标威胁评估指标体系构建

新型反舰导弹具有低可探测性、高速、超低空飞行、高机动性、智能化集群作战等技战术特点,已经成为了舰艇编队的最大威胁^[7]。舰艇编队面临着多批次、全方位、快速连续攻击的反导作战环境,若仍然利用传统的反导模式遂行反导作战任务,往往难以抵挡住敌方导弹的饱和攻击。超视距反导作战能够扩展舰空导弹的杀伤区域,增加舰空导弹的拦截次数,能够有效地提高舰艇编队的反导作战效能,是当前及未来研究的热点之一。舰艇编队超视距反导过程中,来袭导弹类型、航路捷径、导弹速度、导弹飞行高度、目标飞临时间、导弹机动性以及目标电磁信号等7个要素对于评估目标的威胁等级具有重要影响,因而选择这7个要素作为舰艇编队超视距反导威胁评估指标^[1-2]。

1) 来袭导弹类型 S 。

对来袭导弹进行类型识别是编队超视距反导作战态势评估的基本内容,其判断结果是目标威胁评估的重要依据。随着新型舰艇编队防空作战区域的扩大,作战任务的增加,编队所面临的反导作战环境变得愈加复杂,导弹类型呈现出多样化的趋势^[8]。对导弹类型的识别需要调用大量的传感器对信息进行搜集,如距离、速度、高度、加速度、回波特征等信息^[10]。

2) 航路捷径 G 。

导弹目标的航路捷径是指编队舰艇到导弹航路水平投影的距离。导弹目标的航路捷径越小,则攻击意图越明显,威胁程度也就越大,航路捷径属于成本型指标。

3) 导弹速度 V 。

来袭导弹的飞行速度直接影响舰空导弹对其杀伤

的概率。即使同一类型的来袭导弹,若飞行速度不同,它们的威胁程度也不同。一般来说,飞行速度大的目标,其威胁程度也大;反之威胁程度则小。

4) 导弹飞行高度 H 。

舰艇编队中的武器平台一般均处在海平面上,因而可以近似认为任一来袭的导弹对编队内的所有平台的高度是相同的。当目标高度小于某一数值时,其威胁值最大;当目标高度大于该数值时,随高度值递增,其威胁值递减。

5) 目标飞临时间 t 。

来袭导弹距离越近,其到达舰空导弹武器系统发射区边界的时间越短,武器系统用于拦截决策的时间越短,目标的威胁程度越大^[2]。随着飞临时间的减少,可认为其威胁程度值呈半正态分布;目标飞临时间为负时,表示目标远离,其威胁程度逐渐降低。

6) 导弹机动性 M 。

为提高突防概率和生存概率,来袭导弹通常会采取一定的机动方式,以降低舰空导弹武器系统跟踪制导设备的跟踪精度和跟踪稳定性,降低舰空导弹对目标的杀伤概率。机动方式通常有两种:一是反射击机动,目的是通过航向、速度和高度的剧烈变化,降低舰空导弹的命中精度;二是反指挥机动,即在舰空导弹发射之前进行的战术机动,迅速改变对我舰艇的空袭态势,扰乱、误导或拖延防空指控中心、舰空导弹武控中心的目标跟踪、目标分配、目标指示,达到突防的目的。

7) 目标电磁信号 B 。

通过雷达捕获的敌方目标电磁信号,可以在一定程度上反映出目标实时的威胁程度,对威胁评估的实时性和准确性有着重要影响,这些电磁信息主要包括^[11]导弹末制导雷达信号、导弹制导雷达信号、电磁压制信号等。

2 目标威胁评估指标权重确定最优化模型

根据上节定义,设舰艇编队超视距反导威胁估计指标集为 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$, 决策者集合为 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_n\}$ ($n \geq 6$), 其中: d_k 代表第 k 个决策者; c_k 为 d_k 的权重, 且满足 $c_k \geq 0, \sum_{k=1}^n c_k = 1$, 决策者根据自身知识及经验给出各个指标的权重信息。记指标 z_i 的权重值为 $w_i, i = 1, 2, \dots, m$, 满足 $w_i \geq 0, \sum_{i=1}^m w_i = 1$, 是本文需要确定的量。对于决策者给出的各种类型权重信息, 最终的权重值应该尽量贴近各个决策者给出的权重信息。下面分别给出当权重信息为多个类型时的权重确定过程。

1) 语言型权重信息。

决策者 $d_k \in D^l$ 直接给出语言型向量 $l_k = (l_1^k, l_2^k, \dots, l_i^k, \dots, l_m^k)^T$, 其中, l_i^k 为 d_k 对指标 z_i 给出的语言型权重信息, 决策者给出的语言型权重信息如表 1 所示。

表 1 语言变量评价与三角模糊数的转换关系

Table 1 Transformation relationship between linguistic variables and triangular fuzzy number

权重的语言价值变量	评价值的语言价值变量	模糊数特征函数参数
极重要	极高	(0.8, 0.9, 1.0)
很重要	很高	(0.7, 0.8, 0.9)
重要	高	(0.6, 0.7, 0.8)
较重要	较高	(0.5, 0.6, 0.7)
一般	一般	(0.4, 0.5, 0.6)
较不重要	较低	(0.3, 0.4, 0.5)
不重要	低	(0.2, 0.3, 0.4)
很不重要	很低	(0.1, 0.2, 0.3)
极不重要	极低	(0.0, 0.1, 0.2)

将语言型权重信息转化为三角模糊数形式, 设语言型权重信息 l_i^k 变为三角模糊数为 $[l_i^k, l_i^{2k}, l_i^{3k}]$, 对于 $\forall \alpha \in [0, 1]$, 可以将三角模糊语言评估标度转换为区间数型表达形式, 即

$$l_i^k = [(l_i^{2k} - l_i^{1k})\alpha + l_i^{1k}, l_i^{3k} - (l_i^{3k} - l_i^{2k})\alpha] \quad (1)$$

取 $\alpha = 0.5$, 则 $l_i^k = [(l_i^{1k} + l_i^{2k})/2, (l_i^{2k} + l_i^{3k})/2]$ 。记 $l_i^k = [l_i^{kl}, l_i^{ku}]$, 则记 l_i^k 与 l_j^k 之间的贴近度为: $d_{ij}^k = \sqrt{\frac{1}{2}[(w_i l_j^{kl} - w_j l_i^{kl})^2 + (w_i l_j^{ku} - w_j l_i^{ku})^2]}$ 。

为了获得最优的指标权重, 需要保证 d_{ij}^k 最小, 据此得出如下最优化模型

$$\min x_1 = \sum c_k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (d_{ij}^k)^2 \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

2) 效用值型。

决策者 $d_k \in D^U$ 直接给出效用值型向量 $u_k = (u_1^k, u_2^k, \dots, u_i^k, \dots, u_m^k)^T$, 其中, u_i^k 为 d_k 对指标 z_i 给出的效用值型权重信息。可以近似得出如下关系: $w_i \approx u_i^k, w_i u_j^k \approx w_j u_i^k, i, j = 1, 2, \dots, m$ 。利用 $h_{ij}^k = w_i u_j^k - w_j u_i^k$ 代表权重与效用值型权重信息的贴近度。为了获得最优的指标权重, 需要保证贴近度值最小, 据此得出如下最优化模型

$$\min x_2 = \sum c_k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (h_{ij}^k)^2 \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

3) 序关系型权重信息。

决策者 $d_k \in D^o$ 直接给出各指标的序关系 $o_k = (o_1^k, o_2^k, \dots, o_i^k, \dots, o_m^k)^T$, 其中, o_i^k 为决策者 d_k 认为指标 z_i 在指标集所有指标重要性排序中所处的位置。数值 o_i^k 代表了指标的权重排序, 因而数值越小, 则该指标的重

要性越大, 该指标的权重值也应该越大。令 $v_i^k = \frac{(m - o_i^k)}{(m - 1)}$, 为了确保指标权重 w_i 能够充分反映出决策者的信息, 应保证指标权重 w_i 尽可能地接近 v_i^k , 取序关系型权重信息的^[6]贴近度为 $s_{ij}^k = w_i \cdot \frac{(m - o_j^k)}{(m - 1)} - w_j \cdot \frac{(m - o_i^k)}{(m - 1)}, i, j = 1, 2, \dots, m$ 。为了获得最优的指标权重, 需要保证贴近度值最小, 据此得出如下最优化模型

$$\min x_3 = \sum c_k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (s_{ij}^k)^2 \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

4) 模糊互补判断矩阵型权重信息。

决策者 $d_k \in D^f$ 对指标集合中所有指标给出一种相对重要性程度信息, 并利用模糊互补判断矩阵 $P_k = (p_{ij}^k)_{m \times m}$ 进行表述, 其中, p_{ij}^k 为决策者 d_k 认为指标 z_i 比指标 z_j 重要的程度, 且满足对于 $\forall i, j, k, p_{ij}^k + p_{ji}^k = 1, p_{ij}^k \in [0, 1], p_{ii}^k = \frac{1}{2}$ 。对于 $P_k = (p_{ij}^k)_{m \times m}$ 的定义可知 w_i 越大, 则指标 z_i 越重要, p_{ij}^k 数值越大, 取模糊互补判断矩阵型权重信息的贴近度为 $r_{ij}^k = w_i - (w_i + w_j) p_{ij}^k, i, j = 1, 2, \dots, m$ ^[9]。为了获得最优的指标权重, 需要保证贴近度值最小, 据此得出如下最优化模型

$$\min x_4 = \sum c_k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (r_{ij}^k)^2 \quad (5)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

5) 互反判断矩阵型权重信息。

决策者 $d_k \in D^A$ 对指标集合中所有指标给出另外一种相对重要性程度信息, 并利用互反判断矩阵 $A_k = (a_{ij}^k)_{m \times m}$ 进行表述, 其中, a_{ij}^k 表示指标 z_i 对指标 z_j 的相对重要程度, a_{ij}^k 的取值根据文献中给出的 1 - 9 标度进行设定, 即 $a_{ij}^k \in [\frac{1}{9}, 9]$ 。对于 $A_k = (a_{ij}^k)_{m \times m}$, 取互反判断矩阵型权重信息的贴近度为 $t_{ij}^k = w_i - w_j a_{ij}^k, i, j = 1, 2, \dots, m$ ^[6]。为了获得最优的指标权重, 需要保证贴近度值最小, 据此得出如下最优化模型

$$\min x_5 = \sum c_k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (t_{ij}^k)^2 \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

6) 区间数型权重信息。

决策者 $d_k \in D^I$ 给出区间数形式的向量 $I_k = (I_1^k, I_2^k, \dots, I_i^k, \dots, I_m^k)^T$, 其中, I_i^k 为决策者 d_k 对指标 z_i 给出的区间数型权重信息, 且 $I_i^k = [I_i^{kL}, I_i^{kU}]$ 。对于区间

数形式向量,取贴近度为 $f_{ij}^k = \left\{ \frac{1}{2} [(w_i I_j^{kL} - w_j I_i^{kL})^2 + (w_i I_j^{kU} - w_j I_i^{kU})^2] \right\}^{1/2}$,可以得到最优化模型

$$\min x_6 = \sum_{i=1}^m c_k \sum_{j=1}^m (f_{ij}^k)^2 \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m_0$$

根据以上阐述,明显有 $D^L \subseteq D, D^U \subseteq D, D^O \subseteq D, D^F \subseteq D, D^A \subseteq D, D^I \subseteq D$ 且 $D^L \cup D^U \cup D^O \cup D^F \cup D^A \cup D^I = D$ 。

将式(2)~式(7)统一表示为如下的单目标优化模型

$$\min x = \mathbf{w}^T \mathbf{G} \mathbf{w} \quad (8)$$

$$\text{s. t. } \mathbf{e}^T \mathbf{w} = 1, \mathbf{w} \geq 0 \quad (9)$$

其中,

$$\mathbf{G} = (g_{ij})_{n \times n} = \alpha_1 G_1 + \alpha_2 G_2 + \alpha_3 G_3 + \alpha_4 G_4 + \alpha_5 G_5 + \alpha_6 G_6 \quad (10)$$

矩阵 \mathbf{G} 中的元素为

$$\begin{aligned} g_{ii} &= \alpha_1 g_{1ii} + \alpha_2 g_{2ii} + \alpha_3 g_{3ii} + \alpha_4 g_{4ii} + \alpha_5 g_{5ii} + \alpha_6 g_{6ii} = \\ & \alpha_1 \sum_{r=1}^m c_k \sum_{r \neq i} [(I_r^{kL})^2 + (I_r^{kU})^2] + 2\alpha_2 \sum_{r=1}^m c_k \sum_{r \neq i} (u_r^k)^2 + \\ & 2\alpha_3 \sum_{r=1}^m c_k \sum_{r \neq i} (m - o_r^k)^2 + 2\alpha_4 \sum_{r=1}^m c_k \sum_{r \neq i} (p_{ri}^k)^2 + \alpha_5 \sum_{r=1}^m c_k \cdot \\ & [m - 2 + \sum_{r=1}^m (a_{ri}^k)^2] + \alpha_6 \sum_{r=1}^m c_k \sum_{r \neq i} [(I_r^{kL})^2 + (I_r^{kU})^2] \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{ij} &= \alpha_1 g_{1ij} + \alpha_2 g_{2ij} + \alpha_3 g_{3ij} + \alpha_4 g_{4ij} + \alpha_5 g_{5ij} + \alpha_6 g_{6ij} = \\ & -\alpha_1 \sum_{r=1}^m c_k (I_i^{kL} I_j^{kL} + I_i^{kU} I_j^{kU}) - 2\alpha_2 \sum_{r=1}^m c_k u_i^k u_j^k - 2\alpha_3 \sum_{r=1}^m c_k (m - o_i^k)(m - o_j^k) - \\ & 2\alpha_4 \sum_{r=1}^m c_k p_{ji}^k p_{ij}^k - \alpha_5 \sum_{r=1}^m c_k [a_{ji}^k + a_{ij}^k] - \\ & \alpha_6 \sum_{r=1}^m c_k (I_i^{kL} I_j^{kL} + I_i^{kU} I_j^{kU}) \quad (12) \end{aligned}$$

其中: $i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j$; 矩阵 $\mathbf{G}_v = (g_{vij})_{m \times m} (v = 1, 2, \dots, 6)$ 的取值根据式(11)、式(12)中相对应的项确定。按如下方法确定各种类型权重信息的规范化系数^[9]

$$\alpha_v = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m g_{vij}^2} \quad (13)$$

3 模型求解过程

对于最优化模型(8)、(9),根据最优化方法^[9],可以得出模型(8)、(9)的最优解为

$$\mathbf{w}^* = \frac{\mathbf{G}^{-1} \mathbf{e}}{\mathbf{e}^T \mathbf{G}^{-1} \mathbf{e}} \quad (14)$$

且完全满足式(9)所示的约束条件。因而 \mathbf{w}^* 即为求得的舰艇编队超视距反导作战威胁评估指标主观权重。

多种类型权重信息条件下舰艇编队超视距反导作战威胁估计主观权重确定步骤如下:

1) 由表1及式(1)对语言型权重信息进行处理;

2) 根据式(11)、式(12)确定矩阵 $\mathbf{G}_v = (g_{vij})_{m \times m}, v = 1, 2, \dots, 6$;

3) 由式(13)确定各种类型权重信息的规范化系数 $\alpha_v, v = 1, 2, \dots, 6$;

4) 由式(10)确定矩阵 \mathbf{G} ;

5) 由式(14)确定反导作战威胁评估各指标的主观权重。

4 仿真实例

舰艇编队超视距反导作战威胁评估过程中,假设有6位决策者参与确定指标主观权重,根据经验知识分别给出如下的指标权重信息 $\{L^1, u^2, o^3, P^4, A^5, I^6\}$ 。其中决策者1给出语言型指标权重信息 L^1 如表2所示。

表2 语言型指标权重信息

Table 2 Index weights of linguistic variables

指标	S	G	V	H	t	M	B
评价	很重要	较重要	很重要	极重要	一般	重要	重要

$$u^2 = (0.8, 0.6, 0.85, 0.9, 0.5, 0.75, 0.65)^T;$$

$$o^3 = (1, 7, 3, 2, 5, 4, 6)^T;$$

$$P^4 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.9 & 0.5 & 0.7 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 0.7 & 0.8 \\ 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.5 & 0.9 & 0.7 & 0.7 \\ 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.3 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix};$$

$$A^5 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 3 & 4 \\ \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 2 & 3 & 3 \\ \frac{1}{2} & 2 & 1 & \frac{1}{4} & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 5 & 4 & 1 & 3 & 2 & 6 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix};$$

$$I^6 = ([0.6, 0.7], [0.7, 0.85], [0.9, 1], [0.8, 0.9], [0.5, 0.6], [0.7, 0.8], [0.7, 0.8])^T$$

。取决策者的权重 $c_k = \frac{1}{6}, k = 1, 2, \dots, 6$, 经计算可得出 $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5,$

G_6 。进而根据式(13)可以得到规范化系数为: $\alpha = [0.2969, 0.3244, 0.0135, 0.5474, 0.0533, 0.2900]^T$, 则根据式(10)、式(11)、式(12)可以求得 \mathbf{G} 与 \mathbf{G}^{-1} :

$$G = \begin{bmatrix} 1.4418 & -0.4695 & -0.3711 & -0.3996 & -0.2179 & -0.3250 & -0.2623 \\ -0.4695 & 2.2595 & -0.2350 & -0.2515 & -0.1699 & -0.2204 & -0.2157 \\ -0.3711 & -0.2350 & 1.6750 & -0.4059 & -0.2240 & -0.3156 & -0.2630 \\ -0.3996 & -0.2515 & -0.4059 & 0.8770 & -0.2299 & -0.3255 & -0.3033 \\ -0.2179 & -0.1699 & -0.2240 & -0.2299 & 2.3999 & -0.2031 & -0.1926 \\ -0.3241 & -0.2204 & -0.3156 & -0.3255 & -0.2031 & 2.0456 & -0.2356 \\ -0.2623 & -0.2157 & -0.2630 & -0.3033 & -0.1926 & -0.2356 & 2.5802 \end{bmatrix};$$

$$G^{-1} = \begin{bmatrix} -1.9135 & -1.3239 & -2.0400 & -3.4203 & -1.0061 & -1.5357 & -1.1306 \\ -1.3235 & -0.3475 & -1.1371 & -1.9069 & -0.5558 & -0.8535 & -0.6231 \\ -2.0394 & -1.1370 & -1.1941 & -2.8191 & -0.8294 & -1.2691 & -0.9333 \\ -3.4192 & -1.9068 & -2.8191 & -3.9652 & -1.3940 & -2.1325 & -1.5593 \\ -1.0058 & -0.5557 & -0.8294 & -1.3939 & -0.0142 & -0.6233 & -0.4551 \\ -1.5345 & -0.8529 & -1.2683 & -2.1312 & -0.6229 & -0.5243 & -0.7015 \\ -1.1302 & -0.6231 & -0.9333 & -1.5593 & -0.4551 & -0.7019 & -0.1560 \end{bmatrix}。$$

根据式(14)可以得到: $w^* = (0.1915, 0.1044, 0.1582, 0.2662, 0.0755, 0.1182, 0.0860)^T$ 。由仿真结果可知,本文设计的方法能够简便准确地对决策者给出的 $\{L^1, u^2, o^3, P^4, A^5, I^6\}$ 等 6 种类型的权重信息进行直接集结,利用文中推导的式(8)~式(13)进行处理,进而得出如式(14)所示的主观权重值。所设计的算法计算量小,易于编程实现,比较容易进行工程推广。

5 结束语

本文对舰艇编队超视距反导威胁评估指标主观权重确定问题进行了研究,对决策者可能给出的语言型、效用值型、序关系值型、模糊互补判断矩阵型、互反判断矩阵型以及区间数型等六种指标权重信息设计了集结方法,建立了多目标约束优化模型,并利用线性加权将多目标约束优化问题变为单目标约束优化问题,最后给出了舰艇编队超视距反导威胁评估指标主观权重解的表达形式。仿真结果显示,该方法能够集结决策者给出的多种类型的指标权重确定信息,且能够简便准确地得到舰艇编队超视距反导威胁评估指标主观权重。

参考文献

- [1] 谭乐祖,王威,杨明军. 采用联系数复运算的目标威胁评估模型[J]. 战术导弹技术,2011(5):23-26.
- [2] 谭乐祖,杨明军. 采用区间数的集对分析目标威胁判断模型[J]. 电光与控制,2011,18(2):73-76.

- [3] 罗均平,于伟,李冬岩. 语言判断矩阵在确定多属性决策问题权重中的应用[J]. 电光与控制,2006,13(1):102-104.
- [4] 吴坚,梁昌勇,李文年. 基于主观与客观集成的属性权重求解方法[J]. 系统工程与电子技术,2007,29(3):383-387.
- [5] 陈东锋,雷英杰,田野. 群决策中不同形式属性权重信息的集结与应用[J]. 空军工程大学学报,2006,7(6):51-53.
- [6] 姜艳萍,樊治平. 基于判断矩阵的决策理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [7] 李大鹏,杨根源,谭乐祖. 舰空导弹超视距协同反导技术及发展趋势[J]. 飞航导弹,2012,7:61-65.
- [8] 赵丰,郭乃林,陈绍顺. 基于多项式网络的空袭目标类型识别模型[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(10):79-82.
- [9] MA J, FAN Z P, JIANG Y P. An optimization approach to multi-person decision making based on different formats of preference information [J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part A: System and Humans, 2006,36(5):876-889.
- [10] 邢清华,刘付显. 空袭目标类型的模糊识别与聚类研究[J]. 系统工程理论与实践,2004(6):139-143.
- [11] 王永春,李登峰,刘常涛. 基于航迹线索的舰艇编队防空威胁估计模型[J]. 海军大连舰艇学院学报,2007,30(5):13-16.