

doi: 10.7690/bgzdh.2015.01.003

## 基于信息熵和改进 SUEOWA 算子的机动导弹发射阵地评估方法

王一杉, 刘忠, 张家铭, 贺云岳

(国防科技大学信息系统工程重点实验室, 长沙 410073)

**摘要:** 针对机动导弹发射阵地的评估选择具有发射地点数量多、信息不确定以及评估时间紧迫的特点, 提出了一种基于信息熵和改进 SUEOWA 算子的机动导弹发射阵地评估方法。基于精确值、区间数和模糊数 3 种指标属性, 利用概率模型将区间数映射到不完全信息模糊数表中, 利用单个专家评估的不确定拓展有序加权平均算子(SUEOWA)和专家组评估的不确定语言混合集结算子(GULHA)进行评估与排序, 同时采用基于信息熵的多属性评估方法对属性值为精确值的对象进行排序, 并将不同特性指标的排序结果进行融合, 得到发射阵地的综合排序。实例分析结果证明: 该方法运算过程快速, 为实际导弹发射战场指挥员的决策提供快速参考和辅助作用。

**关键词:** 导弹发射阵地; 信息熵; 概率映射; SUEOWA; GULHA

**中图分类号:** TJ768.3 **文献标志码:** A

## Evaluation of Mobile Missiles Launch Location Based on Information Entropy and Improved SUEOWA Operator

Wang Yishan, Liu Zhong, Zhang Jiaming, He Yunyue

(Science & Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Present evaluation method of mobile missiles launch location based on information entropy and improved SUEOWA operator, aiming at the large amount of launch location, uncertainty of information and urgency of decision making. Basing on the accurate, inter zone, and fuzzy value of targets, this paper makes the inter zone targets to fuzzy ones by probability mapping. Fuzzy targets can be estimated by SUEOWA and GULHA operators, while using the information entropy to deal with the accurate ones. The final rank can be integrated of the two mid-ranks. The result of the case proves that the method is quickly calculated, which can provide quick references and assistance for commander to make decision.

**Keywords:** missiles launch position; information entropy; probability mapping; SUEOWA; GULHA

### 0 引言

在信息化条件下的现代战争中, 常规导弹的发射阵地与发射装置成为敌方打击的首要目标。随着常导机动发射能力逐步提高, 在战区内快速随机地选择发射阵地成为机动导弹发射规划面临的重要难点。不同于传统的固定预设发射阵地的选择, 机动发射阵地没有预先的评估与建设, 而是在战区内随机选择多个潜在可行的发射地点, 然后快速评估出最佳的发射阵地。因此, 机动导弹发射阵地的评估选择具有发射地点数量多、信息不确定以及评估时间紧迫等特点, 需要研究新的发射阵地评估方法。

当前发射阵地的评估主要采用多指标综合加权方法。陈永健等<sup>[1]</sup>提出了一种雷达机动阵地的模糊综合评判法, 采用专家评议法, 建立单因素评判矩阵, 计算综合评判值, 得到阵地的优劣等级; 姜青山等<sup>[2]</sup>结合 AHP 和 Delphi 法, 得到每个指标的评分

等级, 进而得到待评估阵地的评分等级; 刘刚等<sup>[3]</sup>采用 AHP 方法分析影响导弹阵地因素的重要度排序; 宋昭峰等<sup>[4]</sup>利用模糊指派法, 根据评估指标体系, 建立模糊关系矩阵和效益矩阵, 再利用匈牙利算法求解, 评估出与导弹型号相匹配的导弹阵地; 许城等<sup>[5]</sup>将阵地选择问题作为一个多目标优化问题, 利用单纯形法、Lagrange 乘子法等方法求解, 或转化为单目标决策问题, 使总成本最小, 通过设计导弹发射阵地选择决策支持系统, 决策者自行输入权重和信息, 系统输出相应的报告以供比较和选择; 穆山等<sup>[6]</sup>根据多方面条件比较和实地勘察, 将勘察结果进行横向分析, 最终得到定性的结果。

上述评估方法主要是先通过主观或客观的赋权方法对指标赋权再进行指标的规范化和评判, 用于机动导弹发射阵地评估时主要存在以下不足: 1) 不能同时处理属性值类型为精确值、区间数、模糊数的多类指标, 而实际阵地选择中通常是多种类型共

收稿日期: 2014-07-06; 修回日期: 2014-08-12

基金项目: 湖南省科研项目“战场不确定环境下后勤补给中心选址研究”(YB2013B011)

作者简介: 王一杉(1990—), 女, 山东人, 在读硕士, 从事计划系统技术、任务规划、设施选址研究。

存; 2) 有些方法评估周期较长, 不能满足实战中快速决策的需求。笔者基于单个专家评估的不确定拓展有序加权平均算子(SUEOWA)、专家组评估的不确定语言混合集结算子(GULHA)和信息熵法, 提出一种新的机动导弹发射阵地评估方法, 通过三者的有效结合, 解决不完全信息下的语言和多类属性值的发射阵地快速综合评估问题。

### 1 机动导弹发射阵地评估指标体系

机动导弹发射阵地选择的第一步就是要对各候选阵地的综合情况进行全面的评估和排序, 为指挥员提供可行的预选阵地集。根据作战流程, 机动导弹发射阵地评估要考虑的因素很多, 需要综合评估发射阵地的交通情况、通信火力情况、地理气象情况、生存防护情况等多方面的指标。图 1 给出了常导机动发射阵地的典型评估指标体系结构及其组成, 该指标体系进行了脱密处理, 因此隐藏了一些涉密指标, 只列出 4 类、8 个代表性指标, 但这些处理不会影响评估指标体系的结构和后续评估方法的验证。

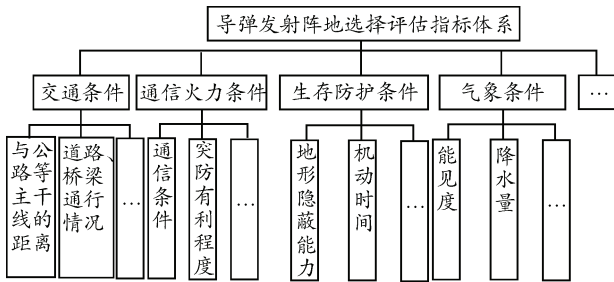


图 1 导弹发射阵地选择评估指标体系

从图 1 中的指标可以看出: 与公路、铁路主干线距离 ( $u_1$ )、机动时间 ( $u_2$ )、能见度 ( $u_3$ ) 等指标易于量化, 其属性值可以直接表示为精确数值; 降水量 ( $u_4$ ) 等指标由于探测手段的限制或存在允许浮动范围等原因, 其属性值为区间值; 通信条件 ( $u_5$ )、突防有利程度 ( $u_6$ )、地形隐蔽能力 ( $u_7$ )、道路、桥梁及通行情况 ( $u_8$ ) 等指标由于指标的复杂性、不确定性而导致不能用具体的数值表示, 而是用自然语言的等级表示, 同时, 由于人类思维的模糊性和情况的不确定性会导致专家在评估过程中, 因知识背景有限、参考信息不足、主观保守犹豫等原因, 导致给出的评估信息模糊、不明确, 从而其属性值为模糊值。综合考虑到上述几种不同类型的指标, 提出一种机动导弹发射阵地评估方法, 将区间数的数学模型用概率映射的方式映射到模糊数区间, 再将精确指标和模糊指标分别做评估排序, 最后将两类

指标的评估结果进行融合, 辅助指挥员在短时间内给出发射阵地的综合排序。

### 2 机动导弹发射阵地评估方法

#### 2.1 基于信息熵的发射阵地精确指标评估

采取信息熵的方法对机动导弹发射阵地的精确指标进行评估。下面介绍基于信息熵的解决属性权重完全未知且属性值为精确值的机动导弹发射阵地评估指标的计算与排序<sup>[7]</sup>。

Step 1: 根据候选阵地在指标  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  下的属性值, 构造决策矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times m}$ , 并将其规范化为  $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。其中,  $u_1$  属性类型为成本型,  $u_2$ 、 $u_3$  属性类型为效益型, 处理方法分别为:

$$r_{ij} = \frac{\max_i(a_{ij}) - a_{ij}}{\max_i(a_{ij}) - \min_i(a_{ij})}, i \in N, j \in I_{\text{成本型}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_i(a_{ij})}{\max_i(a_{ij}) - \min_i(a_{ij})}, i \in N, j \in I_{\text{效益型}} \quad (2)$$

Step 2: 计算矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times m}$ , 得到归一化矩阵

$\hat{R} = (\hat{r}_{ij})_{n \times m}$ , 其中

$$\hat{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}, i \in N, j \in M \quad (3)$$

Step 3: 计算属性  $u_j$  输出的信息熵

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \hat{r}_{ij} \ln \hat{r}_{ij}, j \in M \quad (4)$$

当  $\hat{r}_{ij} = 0$  时, 规定  $\hat{r}_{ij} \ln \hat{r}_{ij} = 0$ 。

Step 4: 计算属性权重向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ , 其中

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{k=1}^m (1 - E_k)} \quad (5)$$

Step 5: 计算方案  $x_i$  的综合属性值

$$z_i(\omega) = \sum_{j=1}^m b_{ij} \omega_j (i \in N), b_{ij} \text{ 是 } r_{ij} \text{ 中第 } j \text{ 大的元素。}$$

Step 6: 利用  $z_i(\omega) (i \in N)$  对方案进行排序和择优, 得到在精确指标下的导弹发射阵地评估排序。

#### 2.2 基于 SUEOWA 算子的发射阵地模糊指标评估

对于模糊指标的评估, 采用 SUEOWA 算子评估单个专家给出的指标信息, 采用 GULHA 算子评

估多个专家给出的指标信息，将二者结合实现多个专家对于多个候选阵地的多项指标评估<sup>[8]</sup>。

1) 基本定义。

定义 1 设  $\tilde{\mu}=[s_a, s_b], s_a, s_b \in \tilde{S}$ ， $s_a$  和  $s_b$  分别是  $\tilde{\mu}$  的下限和上限，称  $\tilde{\mu}$  为专家给定指标评估区间。

定义语言评估标度为： $\tilde{S} = \{s_{-3}, \dots, s_3\} = \{\text{很差}, \text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}, \text{很好}\}$ 。考虑任意 2 个评估区间  $\tilde{\mu}=[s_a, s_b], \tilde{\nu}=[s_c, s_d] \in \tilde{S}$ ， $\beta \in [0, 1]$ ，定义如下运算法则：

$$1) \tilde{\mu} \oplus \tilde{\nu} = [s_a, s_b] \oplus [s_c, s_d] = [s_a \oplus s_c, s_b \oplus s_d] = [s_{a+c}, s_{b+d}];$$

$$2) \beta \tilde{\mu} = \beta [s_a, s_b] = [\beta s_a, \beta s_b] = [s_{\beta a}, s_{\beta b}]。$$

定义 2 设  $\tilde{\mu}=[s_a, s_b], \tilde{\nu}=[s_c, s_d] \in \tilde{S}$ ，且设  $l_{ab} = b - a, l_{cd} = d - c$ ，则  $\tilde{\mu} \geq \tilde{\nu}$  的可能度定义如下：

$$p(\tilde{\mu} \geq \tilde{\nu}) = \max \{1 - \max(\frac{d-a}{l_{ab} + l_{cd}}, 0), 0\} \quad (6)$$

由模糊互补判断矩阵的排序原理，得到可能度矩阵  $\mathbf{P}$  的排序向量  $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ ，其中

$$v_i = \frac{1}{n(n-1)} (\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1), i \in N \quad (7)$$

定义 3 设 SUEOWA： $\tilde{S}^n \rightarrow \tilde{S}$ ，若  $SUEOWA_{\omega}(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_n) = \omega_1 \tilde{\nu}_1 \oplus \omega_2 \tilde{\nu}_2 \oplus \dots \oplus \omega_n \tilde{\nu}_n$ ，其中  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$  是与 SUEOWA 相关联的加权向量， $\omega_j \in [0, 1] (j \in N)$ ， $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \tilde{\mu}_i \in \tilde{S}$ ， $\tilde{\nu}_j$  是加权的评估区间组  $(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_n)$  中第  $j$  大的元素，则称函数 SUEOWA 是单个专家评估的不确定拓展有序加权平均 (SUEOWA) 算子。

定义 4 设 GULHA： $\tilde{S}^n \rightarrow \tilde{S}$ ，若  $GULHA_{\lambda, \omega'}(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_n) = \omega'_1 \tilde{\nu}_1 \oplus \omega'_2 \tilde{\nu}_2 \oplus \dots \oplus \omega'_n \tilde{\nu}_n$ ，其中  $\omega' = (\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_n)$  是与 GULHA 相关联的加权向量 (位置向量)， $\omega'_j \in [0, 1] (j \in N)$ ， $\sum_{j=1}^n \omega'_j = 1$ 。 $\tilde{\nu}_j$  是加权的带专家权重的评估区间组  $(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_n) (\tilde{\mu}'_i = n \lambda_i \tilde{\mu}_i, i \in N)$  中第  $j$  大的元素，这里  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  是评估区间组  $(\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2, \dots, \tilde{\mu}_n) (i \in N)$  的加权向量， $\lambda_j \in [0, 1] (j \in N)$ ，

$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ，且  $n$  是平衡因子，则称函数 GULHA 为

专家组评估的不确定语言混合集结 (GULHA) 算子。

2) 加权向量  $\omega$ 、 $\omega'$  的确定。

在 SUEOWA 中确定的加权向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$  与 GULHA 中的加权向量  $\omega' = (\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_n)$ ，与  $\tilde{\mu}_j$  无关，只与  $\tilde{\nu}_j$ ，采用如下方法确定：

$$\omega_j = f(\frac{j}{n}) - f(\frac{j-1}{n}), j \in N \quad (8)$$

其中  $f$  为模糊语义量化算子：

$$f(r) = \begin{cases} 0, & r < a \\ \frac{r-a}{b-a}, & a \leq r \leq b \\ 1, & r > b \end{cases}, \quad a, b, r \in [0, 1] \quad (9)$$

2.3 基于概率映射的区间数指标评估

对于评估指标为区间数的情况，采用概率映射的方式，将其转化为模糊数。以指标  $u_4$  为例，其指标属性值为区间值，限定该次导弹发射作战任务拟定于 5 月份。

参考随机天气模型，指标降水量服从二参数的 Gamma 分布，其概率密度函数为： $f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$ 。

参数  $\alpha$  的求值函数为  $\alpha = (0.500\ 086\ 7 + 0.164\ 885\ 52y - 0.054\ 427\ 4y^2) / y$ ， $\beta$  的求值函数为  $\beta = x / \alpha$ 。其中  $x$  是日降雨量的平均数， $y = \ln(x/g)$ ， $g$  是日降雨量的几何平均数。据统计资料显示某地各月份降雨量数据如表 1 所示。

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9
降雨量	2.8	6.4	7.9	22.8	23.1	65.6	190.2	185.9	51.1

通过 Matlab 计算，得到分布函数图像，对图像进行等概率面积积分，得到与模糊数的映射关系。

2.4 导弹发射阵地综合评估流程

基于上述评估方法的介绍，现结合文中研究的实际问题，给出机动导弹发射阵地的综合评估流程：

Step 1: 根据建立的导弹发射阵地选择评估指标体系，通过测量、情报或专家评定得到 3 种类型指标的评估值信息；

Step 2: 根据 2.1 节中的方法，得到精确指标  $u_1$ 、

$u_2$ 、 $u_3$  的候选阵地评估排序。

Step 3: 运用 2.3 节中的方法, 将  $u_4$  转化为模糊值。

Step 4: 对于  $u_5 \sim u_8$ , 设  $X$ 、 $U$  和  $D$  分别为候选阵地集、属性集和专家集。专家  $d_k \in D$  给出候选阵地  $x_i \in X$  在属性  $u_i \in U$  下的模糊区间评估值  $\tilde{r}_{ij}^{(k)}$ , 得到评估矩阵  $\tilde{R}_k = (\tilde{r}_{ij}^{(k)})_{n \times m}$ , 且  $\tilde{r}_{ij}^{(k)} \in \tilde{S}$ , 专家的权重向量为  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_t), \lambda_k \geq 0 (k=1, 2, \dots, t)$ ,

$$\sum_{k=1}^t \lambda_k = 1。$$

Step 5: 利用公式 (6) 对评估矩阵中每个方案所在的行中各评估值进行两两比较, 建立可能度矩阵  $P$ ;

Step 6: 利用公式 (7), 得到可能度矩阵  $P^{(i)} (i=1, 2, \dots, n)$  的排序向量  $\nu^{(i)} (i=1, 2, \dots, n)$ ;

Step 7: 利用公式 (8)、(9) 得到 SUEOWA 中的加权向量  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ ;

Step 8: 利用 SUEOWA 算子对矩阵  $\tilde{R}_k$  中第  $i$  行的评估值进行集结, 得到专家  $d_k$  给出的候选阵地  $x_i$  综合评估值  $\tilde{z}_i^{(k)}(\omega) (i \in N, k=1, 2, \dots, t)$ :  $\tilde{z}_i^{(k)}(\omega) = \text{SUEOWA}_\omega(\tilde{r}_{i1}^{(k)}, \tilde{r}_{i2}^{(k)}, \dots, \tilde{r}_{im}^{(k)})$ ;

Step 9: 利用 GULHA 算子对  $t$  位专家给出的候选阵地  $x_i$  的综合属性评估值  $\tilde{z}_i^{(k)}(\omega) (i \in N, k=1, 2, \dots, t)$  进行集结, 得到候选阵地  $x_i$  的群体综合属性评估  $\tilde{z}_i^{(k)}(\lambda, \omega') (i \in N)$ :  $\tilde{z}_i^{(k)}(\lambda, \omega') = \text{GULHA}_{\lambda, \omega'}(\tilde{z}_i^{(1)}, \tilde{z}_i^{(2)}, \dots, \tilde{z}_i^{(t)})$ ;

Step 10: 利用可能度公式 (6), 算出各候选阵地综合属性评估值  $\tilde{z}_i(\lambda, \omega') (i \in N)$  之间的可能度  $p_{ij} = p(\tilde{z}_i(\lambda, \omega') \geq \tilde{z}_j(\lambda, \omega')) (i, j \in N)$ , 并建立可能度矩阵  $P = (p_{ij})_{n \times n}$ ;

Step 11: 利用公式 (7), 得到可能度矩阵  $P = (p_{ij})_{n \times n}$  的排序向量  $\nu = (\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n)$ , 得到在模糊指标下的导弹发射阵地评估排序;

Step 12: 将 Step 2 和 Step 11 中的 2 个排序结果融合, 得到候选阵地综合排序, 为指挥官提供阵地选择后选集。

### 3 应用实例

以 5 个候选阵地的评估为例来阐述文中所提方

法的应用, 假设 5 个候选阵地为  $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ , 采用上文建立的指标体系进行评估。其中, 精确指标和区间指标的属性值如表 2 所示。有 3 位专家, 根据其级别和资历深浅, 定义专家的权重向量为  $\lambda = (0.3, 0.4, 0.3)$ 。

表 2 精确指标和区间指标决策矩阵  $A$

阵地	指标			
	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$
$x_1$	1.5	10	0.5	[45,68]
$x_2$	2.5	6	2.0	[14,22]
$x_3$	2.0	8	1.0	[4,11]
$x_4$	4.2	7	1.4	[17,25]
$x_5$	3.7	5	2.3	[30,38]

首先对精确指标进行评估, 方案  $x_i$  的综合属性值为  $z_i(\omega) = \sum_{j=1}^m r_{ij} \omega_j$ , 即  $z_1(\omega) = 0.6897$ ,  $z_2(\omega) = 0.5409$ ,  $z_3(\omega) = 0.5723$ ,  $z_4(\omega) = 0.2965$ ,  $z_5(\omega) = 0.3725$ 。利用  $z_i(\omega)$  对方案进行排序得到在精确指标下的候选导弹发射阵地评估排序为:

$$x_1 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_4$$

对于  $u_4$ , 得到与模糊数的映射关系如表 3 所示。

表 3  $u_4$  与模糊数映射关系 mm/d

等级	$s_3$	$s_2$	$s_1$	$s_0$	$s_{-1}$	$s_{-2}$	$s_{-3}$
雨量	0~5	6~11	12~17	18~24	25~37	38~60	61~∞

因此, 将  $u_4$  对应到模糊数后, 可以得到各专家对模糊指标的评估矩阵  $\tilde{R}_1$ 、 $\tilde{R}_2$ 、 $\tilde{R}_3$ 。以专家 1 为例, 给出  $\tilde{R}_1$  如表 4 所示。

表 4 专家 1 评估矩阵  $\tilde{R}_1$

阵地	指标				
	$u_4$	$u_5$	$u_6$	$u_7$	$u_8$
$x_1$	$[s_{-3}, s_{-2}]$	$[s_2, s_3]$	$[s_0, s_2]$	$[s_1, s_3]$	$[s_1, s_2]$
$x_2$	$[s_0, s_1]$	$[s_0, s_2]$	$[s_1, s_3]$	$[s_2, s_3]$	$[s_{-1}, s_1]$
$x_3$	$[s_2, s_3]$	$[s_0, s_1]$	$[s_1, s_3]$	$[s_{-1}, s_1]$	$[s_0, s_2]$
$x_4$	$[s_{-1}, s_1]$	$[s_2, s_3]$	$[s_1, s_2]$	$[s_{-1}, s_0]$	$[s_0, s_1]$
$x_5$	$[s_{-2}, s_{-1}]$	$[s_{-1}, s_0]$	$[s_0, s_1]$	$[s_{-2}, s_0]$	$[s_1, s_2]$

通过计算, 得到 3 位专家对阵地  $x_i$  的群体综合属性评估值:

$$\tilde{z}_1(\lambda, \omega') = [s_{-0.7619}, s_{0.4286}]$$

$$\tilde{z}_2(\lambda, \omega') = [s_{0.1905}, s_{1.7143}]$$

$$\tilde{z}_3(\lambda, \omega') = [s_{0.8571}, s_{2.3333}]$$

$$\tilde{z}_4(\lambda, \omega') = [s_{0.3810}, s_{1.8571}]$$

$$\tilde{z}_5(\lambda, \omega') = [s_{-1.1429}, s_{-0.1429}]$$

通过构建可能度矩阵和排序向量，最终得到在模糊指标下的候选导弹阵地评估排序为：

$$x_3 \succ x_4 \succ x_2 \succ x_1 \succ x_5$$

将考虑不同指标下的 2 个排序结果  $x_1 \succ x_3 \succ x_2 \succ x_5 \succ x_4$ 、 $x_3 \succ x_4 \succ x_2 \succ x_1 \succ x_5$  进行融合。定义排名第 1 的阵地得 50 分，排名最后的阵地得 10 分，以此类推。每个阵地将在 2 个排序中的得分相加，再乘以权重，得到总得分，根据得分进行最终的排序。在现实中可根据指挥员对于精确指标和模糊指标的偏好设置权重，文中假设对于精确指标排序的得分赋权 0.6，对于模糊指标排序的得分赋权 0.4<sup>[9]</sup>。由此得到对于 5 个候选导弹发射阵地的综合排序为：

$$x_3 \succ x_1 \succ x_2 \succ x_4 \succ x_5$$

#### 4 结束语

笔者选择基于信息熵法和改进 SUEOWA 算子的多属性群决策方法解决机动导弹发射阵地选择问题，综合考虑属性值为精确值、区间数和模糊数的多类指标，为阵地选择提供方案预选集。通过实例的运算证明算法的有效性和可行性；运算过程快速，对于实际导弹发射战场指挥员的决策提供快速参考和辅助作用。在下一步工作中，要更加注重候选方案的时效性，如在文中考虑的降水量指标，类似的指标模型在实际中可由专家用分段函数的形式提供

更加精确的数学预测模型，实现一天内的不同时间段有不同的候选方案排序，将对实际作战更有时效性意义。

#### 参考文献：

[1] 陈永建, 郭宜忠, 郑国杰, 等. 一种雷达机动阵地选址的决策方法[J]. 空军雷达学院学报, 2008, 22(3): 166-168.

[2] 姜青山, 郑保华, 周勇. AHP 在机动岸舰导弹发射阵地选址中的应用[J]. 战术导弹技术, 2004(1): 40-43.

[3] 刘刚, 马润康. 层次分析法在导弹阵地选址中的应用[J]. 科技研究, 2010, 26(1): 72-73.

[4] 宋昭峰, 刘付显. 基于模糊指派的阵地选址决策[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(7): 34-36.

[5] 许城, 姜雪林, 周文松. 陆基远程巡航导弹发射阵地选址多目标决策[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(7): 41-43.

[6] 穆山, 蒲婷. 航天发射场选址条件与场址勘选方法[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(1): 11-15.

[7] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 18-23.

[8] 陈倩. 区间模糊语言多属性群决策方法及应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(33): 18-23.

[9] 安庆杰, 李勇, 安静. 基于一致性三角模糊数互补判断矩阵的专家方案优选[J]. 兵工自动化, 2006, 25(9): 11-13.

[10] 姜广顺, 冯云, 崔国峰. 基于数字制图信息的电子战装备阵地选择算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 38-41.

(上接第 3 页)

#### 5 结束语

差分跳频技术提高了短波跳频数据传输速率，但易遭受宽带拦阻干扰和窄带阻塞式干扰。对 CHES 电台在不同信道和干扰模式下的抗干扰性能进行分析比较，总结出一定的干扰策略，这对提高我军的电子对抗能力具有重要的现实意义。

#### 参考文献：

[1] Herrick DL, Lee P K. CHES: a new reliable high speed HF radio[C]. IEEE MILCOM'96, 1996: 684-690.

[2] 姚富强, 刘忠英. 短波高速跳频 CHES 电台 G 函数算法研究[J]. 电子学报, 2001, 29(5): 664-667.

[3] 姚富强. 通信抗干扰工程与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 173-206.

[4] 陈智, 李少谦, 董彬虹. 差分跳频通信系统抗多音干扰的性能分析[J]. 电子科技大学, 2007, 23(2): 184-187.

[5] 李少谦, 董彬虹, 陈智. 差分跳频通信原理及应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2007: 23-58.

[6] 陈智, 李少谦, 董彬虹. 差分跳频通信系统抗部分频带噪声干扰的性能分析[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(6): 1324-1327.

[7] 王胜涛, 黄文晶. 差分跳频信号抗多音干扰性能仿真分析[J]. 无线电工程, 2013, 43(12): 29-31.