

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.01.004

陆军防空导弹分队兵力部署建模研究

孔德金, 陈立云, 张汉锋, 马懿

(军械工程学院 计算机工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要: 针对以往防空兵力阵地选择过程中无法很好兼顾客观条件和主观决策的问题, 分析了影响防空导弹分队阵地选择和分配的相关因素。确定了阵地选择的指标体系, 设计了一种基于灰色综合关联分析法和改进的层次分析法的优选方法, 提高了阵地选择的决策速度; 并针对以往防空兵力阵地分配模型动态性、机动性差的缺点, 利用模糊数学等方法建立了防空导弹分队的阵地分配模型, 并运用蜜蜂双种群进化遗传算法对阵地分配模型进行了求解, 取得了良好的效果。该方法将定性与定量相结合, 模型简单规范, 为防空导弹分队兵力部署提供了一种有效的方法和途径。

关键词: 兵力部署; 指标体系; 灰色综合关联分析法; 改进的层次分析法; 建模

中图分类号: N941.5; N945.12 **文献标志码:** A

Study on Modeling Troops Disposition of Army Anti-Aircraft Missile Unit

Kong Dejin, Chen Liyun, Zhang Hanfeng, Ma Yi

(Dept. of Computer Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Troops disposition of army anti-aircraft missile unit is the foundation in anti-aircraft campaign, including position selecting and distributing. Aiming at the problem that impersonal condition and subjective decision-making is well both concerned, analyzing interrelated factors which influence position selecting and distributing. Then confirm index system of position selecting and distributing, and design a method to choose position which combine grey comprehensive relationship and improved analytical hierarchy process. Besides, Aiming at the problem that assigning position model lacking dynamic and mobile, fuzzy mathematics is used in modeling position selecting, and solve the model with genetic algorithm of bee dual population evolution. The method can combine objective analysis with quantitative analysis effectively and with its simple model, which provides a good way for troops disposition.

Keywords: troops disposition; index system; grey comprehensive relationship; improved analytical hierarchy process; modeling

0 引言

陆军防空导弹分队兵力部署是陆军防空导弹分队为遂行防空作战任务, 对阵地进行的选择和分配。在未来战争中, 空袭与反空袭对抗性增强, 战场流动性增大, 为保存自己、消灭敌人, 达成防空作战目标, 陆军防空导弹分队常常需要主动出击, 适时地机动转移和变换发射阵地, 因而防空导弹分队的兵力部署就显得更重要。

在近年的研究中, 模拟退火^[1]、改进 MADM 算法^[2]、偏好 DEA 模型^[3]、动态规划法^[4]等方法被运用来解决防空阵地的选择问题, 但这些方法不能很好兼顾阵地选择过程中战场环境等客观因素与指挥员决策的主观因素之间的关系, 影响了防空作战的效果; 文献[5]中的阵地分配算法, 所建的数学模型精度低, 并且具有很强的局限性, 因此不能满足实际防空作战中阵地分配方案求解的需要。

故在对防空导弹分队兵力部署深入研究的基础上, 确定了影响阵地选择和分配的指标体系, 并利

用改进的层次分析法确定了指标权重, 然后运用灰色综合关联分析法和多目标模糊决策方法分别对阵地选择和分配进行定量分析, 建立起较为科学合理的模型。

1 阵地的选择

1.1 防空导弹发射阵地选择评价指标体系

在深入研究防空导弹阵地选择原则的基础上, 综合分析影响防空导弹阵地选择的各种因素, 结合层次分析法原理, 建立防空导弹阵地选择评价指标体系如图 1。

1.2 各层次中因素权重的确定

层次分析法是一种定量与定性相结合的多目标决策分析方法, 其核心是将决策者、专家的经验判断给予量化, 从而为决策者提供定量形式的决策依据。在目标结构复杂且缺乏必要数据的情况下, 该方法尤为有效^[6]。基于上述优点, 层次分析法在确定权重方面得到广泛应用。

收稿日期: 2010-08-04; 修回日期: 2010-09-20

作者简介: 孔德金 (1985-), 男, 河北人, 硕士, 从事计算机仿真研究。

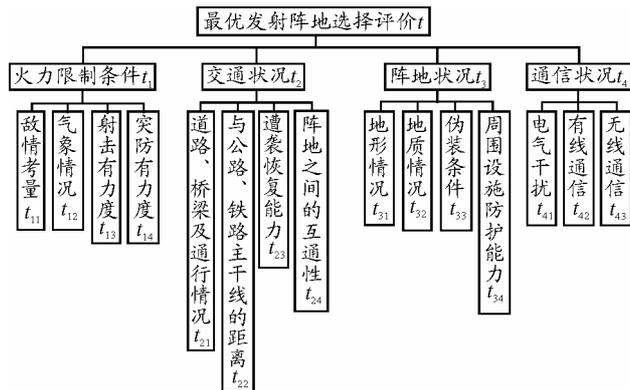


图 1 防空导弹发射阵地选择评价指标体系

为了保证排序结果的准确性, 传统的层次分析法必须对判断矩阵作一致性检验, 而且对于非一致性判断矩阵, 需要通过人为的估计来调整, 往往带有片面性和主观性, 并且要进行多次测算。文献[7]利用最优传递矩阵的概念对传统层次分析法进行了改进, 使之自然满足一致性要求, 直接求出权重值, 提高了运算效率。但是文献[7]中的方法只依据一位专家的评价结果构造判断矩阵, 不可避免地会掺杂进该专家的个人主观因素。为了尽量降低个人主观因素的影响, 在充分表达专家主观决策的基础上, 体现判断矩阵的客观性, 笔者运用了能够有效综合多位专家意见的方法, 为建立兵力部署模型打下了良好的基础。具体算法如下:

1) 构造判断矩阵 H

判断矩阵表示针对上一层某因素而言, 本层次与之相关的各因素之间的相对重要性, 各元素的值反映了人们对各因素相对重要性的认识, 一般采用 1~9 及其倒数的标度方法^[7]。若指标 i 与 j 比较的重要程度为 a_{ij} , 则指标 j 与 i 的比较的重要程度为 $1/a_{ij}$ 。对不同的专家意见, 采用几何平均法进行分类处理。设有 b 位专家接受调查, 其中, 第 r 位专家认为指标 i 与 j 的比较的重要程度为 c_{ij}^r , 则综合值为 $d_{ij} = (\prod_{r=1}^b c_{ij}^r)^{1/b}$, d_{ij} 反映了 b 位专家认为指标 i 与 j 相比较的重要程度的倾向性意见。最后, 对样本的 m 个指标, 设最后得出的两两判断矩阵为 $H = (d_{ij})_{m \times n}$ 。

2) 利用改进的层次分析法确定各因素权重

文献[7]中的改进层次分析法, 通过构造最优传递矩阵避免了一致性检验, 从而大大节省了运算时间, 提高了运算效率, 这对于防空作战中争取时间,

赢得战机意义重大。具体可分为: 计算反对称传递矩阵 K , 计算 K 的最优传递阵 L , 计算判断矩阵 H 的拟优一致阵 H^* , 用方根法求 H^* 的特征向量 W , 层次总排序。具体算法可参见文献[7]。

1.3 利用灰色综合关联分析法选择阵地

灰色关联分析法是一种多因素统计分析方法, 其基本思想是: 如样本序列反映出两因素变化的态势基本一致, 则它们之间的关联度就大, 反之, 关联度就小。灰色关联分析的目的就是寻求一种能衡量各因素间关联程度的量化方法, 以找出影响系统发展态势的重要因素。与传统的多因素分析方法相比, 灰色关联度分析对数据要求较低且计算量小^[8]。

但传统的灰色关联分析法多以隶属向量中的最大值或最小值作为参考序列, 易出现结果失真。尝试在引入灰色理论的基础上采用综合关联度的方法, 可以提高计算关联度的灵敏度, 保证算法的精确度^[9]。因此, 笔者采用灰色综合关联分析法对阵地进行选择。

1) 建立隶属度矩阵

评价指标体系中的定性指标, 用模糊数学中的隶属度(0~1)表示, 评语好的隶属度大, 评语差的隶属度小, 中间状态的评语集合为(很好, 好, 一般, 较差, 差, 很差), 其隶属度集合为(0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2)。按上述评价原则, 各位专家给出评价意见, 再依据几何平均法进行综合计算, 求得各指标因素的最终量化值, 并形成隶属度

$$\text{矩阵 } U_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}, \text{ 其中, } m \text{ 为第二层指}$$

标的个数; n 为待选阵地的个数。

2) 确定最优和最劣参照序列

由于采用综合关联度的方法, 故存在 2 种参照序列。最优和最劣参照序列的各属性指标分别为所有可选阵地方案中相应指标最优值和最劣值。即表征理想方案的指标序列为:

最优参照序列:

$$U_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(m)\} = \max_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{x_j(i)\}$$

最劣参照序列:

$$U_0' = \{x_0'(1), x_0'(2), \dots, x_0'(m)\} = \min_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{x_j(i)\}$$

3) 确定绝对差值矩阵

按照公式 $\Delta_{0j}(i) = |x_0(i) - x_j(i)|$ 计算可以得到隶属度矩阵相对最优参照序列的绝对差值矩阵为:

$$\begin{pmatrix} \Delta_{01}(1) & \dots & \Delta_{0n}(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{01}(m) & \dots & \Delta_{0n}(m) \end{pmatrix}。$$

按照公式 $\varepsilon_{0j}(i) = |x_0'(i) - x_j(i)|$ 计算可以得到隶属度矩阵相对最劣参照序列的绝对差值矩阵为:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{01}(1) & \dots & \varepsilon_{0n}(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{01}(m) & \dots & \varepsilon_{0n}(m) \end{pmatrix}。$$

按照公式 $\varphi_{0j}(i) = \frac{1}{(1 + \Delta_{0j}(i) / \varepsilon_{0j}(i))^2}$ 产生综合差值矩阵:

$$\begin{pmatrix} \varphi_{01}(1) & \dots & \varphi_{0n}(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{01}(m) & \dots & \varphi_{0n}(m) \end{pmatrix}$$

4) 计算灰色关联系数

由公式:

$$\gamma(x_0(i), x_j(i)) = \frac{\min_j \min_i \varphi_{0j}(i) + \xi \max_j \max_i \varphi_{0j}(i)}{\varphi_{0j}(i) + \xi \max_j \max_i \varphi_{0j}(i)}$$

得到灰色关联系数。一般 ξ 取 0.5。

5) 加权综合计算

采用加权求和的方法来计算各阵地的综合优势, 即 $p_j = \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot \gamma(x_0(i), x_j(i))$ 。其中, p_j 为第 j 个阵地的综合优势, β_i 为 1.2 中求出的各因素的权重, $\gamma(x_0(i), x_j(i))$ 为灰色关联系数。对各阵地的综合优势进行排序, 选择前 j 个阵地作为待分配的阵地。

2 阵地的分配

2.1 阵地分配建模

在现代的防空作战中, 战场流动性增大, 为保存自己、消灭敌人, 达成防空作战目标, 防空导弹部队常常需要主动出击, 适时地机动转移和变换发射阵地。因而在众多发射阵地中选出若干个发射阵地后, 如何使每个火力单元都能够更加安全、快速到达最佳阵地, 发挥最大的作战效能, 也是作战过程中不容忽视的重要问题。

设发射单元的集合为 B , 发射阵地的集合为 C , 且阵地数等于火力单元数。

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}, C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad m = n$$

设影响阵地分配的条件数为 k 个, 把在第 k 个条件下, B 和 C 中的元素对 (b, c) 的因素指标记为 a^{k}_{ij} , 则在第 k 个条件下因素指标值矩阵为

$$A_k = \begin{pmatrix} a^{k}_{11} & \dots & a^{k}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a^{k}_{n1} & \dots & a^{k}_{nn} \end{pmatrix}。$$

式中, $k=1, 2, \dots, q$ (q 为条件的总数); $i, j=1, 2, \dots, n$ 。

在第 k 个条件下 (b, c) 因素指标值的相对隶属度记为 u^{k}_{ij} , 用以下公式计算:

对效益型指标 (越大越优)

$$u^{k}_{ij} = (a^{k}_{ij} - a^{k}_{\min}) / (a^{k}_{\max} - a^{k}_{\min})$$

对成本型指标 (越小越优)

$$u^{k}_{ij} = (a^{k}_{\max} - a^{k}_{ij}) / (a^{k}_{\max} - a^{k}_{\min})$$

式中, a^{k}_{\max} 、 a^{k}_{\min} 为指标值矩阵中元素的 A_k 的最大值和最小值。

根据以上公式, 将指标值矩阵 A_k 变为模糊关系

矩阵
$$U_k = \begin{pmatrix} u^{k}_{11} & \dots & u^{k}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u^{k}_{n1} & \dots & u^{k}_{nn} \end{pmatrix}。$$

利用 1.2 中的方法计算各条件的权重, 构成权向量。

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_q) \quad w_1 + w_2 + \dots + w_q = 1$$

令

$$u_{ij} = \{1 + [\sum_{k=1}^q w_k (u^{k}_{ij} - 1) / \sum_{k=1}^q w_k u^{k}_{ij}]^2\}^{-1} \quad (1)$$

式 (1) 中 u_{ij} 为综合考虑 q 个条件下, (b, c) 因素指标值的合成相对隶属度。用上式对各条件下的矩阵中的对应元素逐个的进行合成, 得模糊关系合成

矩阵:
$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & \dots & u_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & \dots & u_{nn} \end{pmatrix}。$$

为了使分配结果发挥最大的作战效能, 也就是要使综合效益对于相对隶属度在可加条件下实现最大化, 建立决策模型如下:

$$\max v = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij} z_{ij} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n z_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n z_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

$z_{ij}=1$ 或 0

其中, $z_{ij}=1$ 表示第 i 个火力单元占领第 j 个阵地, $z_{ij}=0$ 表示第 i 个火力单元没有占领第 j 个阵地。

2.2 模型的求解

由 2.1 中的模型可知, 阵地分配是一个非线性组合优化问题, 而目前求解该类问题比较好的方法即为遗传算法, 但传统的遗传算法不可避免地存在易“早熟”的缺陷。文献[10]提出一种蜜蜂双种群进化遗传算法, 通过模仿蜜蜂种群的遗传进化特性和引入新种群, 很好地避免了易“早熟”的现象, 改善了算法的性能。因此, 将采用蜜蜂双种群进化遗传算法来解决阵地分配模型。具体算法过程请参考文献[10]。

需要指出的是, 编码形式采用十进制, 每个染色体的长度等于防空导弹火力单元个数, 染色体的基因位为火力单元的编号, 基因值表示待分配阵地的编号, 每一个染色体为一种分配方案。

3 应用实例

某型防空导弹分队下辖 6 辆战车, 当接到上级空情警报后, 立即进行兵力部署。现有 10 个阵地可供选择, 请给出最佳的兵力部署方案。

经过专家量化分析和计算, 得到各层次中因素权重, 如表 1。

表 1 层次总排序各因素权重值

第一层因素指标	权值	第二层因素指标	第二层因素相对于第一层因素的权值	第二层因素指标组合权值
t1	0.369 4	t11	0.500 7	0.185 0
		t12	0.089 1	0.032 9
		t13	0.250 3	0.092 5
		t14	0.159 9	0.059 1
t2	0.261 2	t21	0.333 3	0.087 1
		t22	0.333 3	0.087 1
		t23	0.166 7	0.043 5
		t24	0.166 7	0.043 5
t3	0.184 7	t31	0.423 1	0.078 1
		t32	0.122 1	0.022 6
		t33	0.227 4	0.042 0
		t34	0.227 4	0.042 0
t4	0.184 7	t41	0.513 3	0.094 8
		t42	0.305 2	0.056 4
		t43	0.181 5	0.033 5

通过专家的量化分析和科学计算, 得到 $c1 \sim c10$ 阵地的综合优势分别为 0.590 4, 0.671 4, 0.681 3, 0.584 7, 0.645 3, 0.656 2, 0.547 1, 0.506 3, 0.630 5, 0.629 0, 因此选择 $c2$ 、 $c3$ 、 $c5$ 、 $c6$ 、 $c9$ 、 $c10$ 六个阵地作为待分配阵地。

在阵地分配时, 笔者主要考虑到达阵地的时间和可靠性 2 个指标。运用 1.2 中的改进层次分析法分析, 得到这 2 个指标的权重分别为 0.53、0.47。

专家给出评价指标后, 由式 (1) 计算得到模糊关系合成矩阵 U 为:

$$U = \begin{pmatrix} 0.812 & 0.639 & 0.313 & 0.397 & 0.991 & 0.059 \\ 0.253 & 0.472 & 0.723 & 0.126 & 0.381 & 0.467 \\ 0.810 & 0.464 & 0.171 & 0.351 & 0.617 & 0.390 \\ 0.553 & 0.273 & 0.258 & 0.354 & 0.524 & 0.555 \\ 0.763 & 0.544 & 0.446 & 0.153 & 0.453 & 0.341 \\ 0.476 & 0.637 & 0.487 & 0.586 & 0.571 & 0.348 \end{pmatrix}$$

应用式 (2), 并运用蜜蜂双种群遗传进化算法求解, 得到 0-1 矩阵:

$$b = \begin{matrix} & c2 & c3 & c5 & c6 & c9 & c10 \\ \begin{matrix} b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ b6 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

即阵地分配方案为 $b1$ 分配到 $c10$, $b2$ 分配到 $c2$, $b3$ 分配到 $c6$, $b4$ 分配到 $c5$, $b5$ 分配到 $c9$, $b6$ 分配到 $c3$ 。

4 结束语

通过对影响阵地选择和分配的因素进行分析, 提出了阵地选择和分配的指标体系。在此基础上, 运用改进的层次分析法对指标体系进行评估, 得出了各因素的权重, 提高了计算效率; 应用灰色综合关联分析法得出了可行的阵地选择方案; 以模糊数学的方法建立了更为详细的阵地分配数学模型, 并利用蜜蜂双种群遗传算法求解。该方案为解决防空导弹分队兵力部署难题提出了一种新的方法, 为决策者在战前进行作战决策提供了参考。

参考文献:

[1] 闫明亮, 刘法明, 王凯, 等. 基于模拟退火算法的防空导弹体系优化部署研究[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(4): 49-52.

[2] 徐霄冰, 张涛, 刘振禄, 等. 基于改进 MADM 算法的防空兵群阵地优选模型[J]. 现代防御技术, 2006, 34(5): 41-44.

[3] 张要一, 秦建军, 周浩. 基于偏好 DEA 模型的防空导弹阵地选择[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(2): 4-7.

式中, ID 表示一个模型类作为面向对象中的一个类所具有的唯一标识符; $S_{\text{Attribute}}$ 表示一个模型类的属性集合; S_{method} 表示模型类的操作集合; Condition 表示模型的约束条件。

一个模型也可以被表示成一个复合类, 该复合类的一些属性变量又被另外的复合类或基本类定义, 最终可得出一个由复合类表示的面向对象的模

型结构树。其中每一个树叶表示模型中一个最基本的类, 每一个结点表示一个复合类, 这些结点在特定的模型中被实例化, 模型库中的每一个模型就是这样一些抽象模型类的实例^[5]。

模型库由模型字典库(数据库存储)和相应的文件组成。表 1 是在实际开发过程中所使用的字典结构。

表 1 实际使用的字典结构

字段名	字段说明	类型	大小
ModelID	模型标识, 唯一标识模型	数字	10
ModelName	模型名, 唯一标识模型	文本	255
ClassName	模型分类码	数字	10
AlgoName	算法名称, 模型指定的算法	文本	255
MDF	模型数据文件名, 模型所需要数据的具体内容(输入输出的参数、文件、数据库等)。它与算法共同构成模型	文本	255
MIF	模型说明文件名, 模型应用于具体的问题的说明	文本	255
Author	模型的创建者	文本	20

3 模型管理的实现

针对上述技术, 笔者利用 Visual Studio.net 开发环境^[6]开发了一个模型管理子系统。根据应用要求, 将模型划分为 2 种: 一是逻辑模型, 即仿真过程中所涉及到的各种行为描述、作战规则描述, 如导弹飞行的动力学方程、无干扰情况下单个警戒雷达对目标的探测距离方程; 另一种是实体模型, 仿真应用中所包含的各种武器装备, 如雷达、预警机。

模型管理字系统的功能包括: 完成逻辑模型、实体模型的索引、添加、删除、检索以及存储服务等功能; 建立相应的模型库/实体库的结构定义; 设计相应的管理对象类及相应接口; 完成对两类模型的支撑框架, 包括模型/实体的外部定义支持类; 完成模型对外的属性、方法、事件、公布、订购、交互、位等定义格式的存储和管理; 驱动模型的运行对象类; 构造驱动模型运行的引擎等功能。

模型管理子系统在程序实现上是模型/实体与数据封装在一起, 在模型实体库中通过实体/模型的 ID 调用对应的模型/实体, 并用可视化的方法对模型构件的各种组成元素和内外关系进行定义, 然后生成构件代码, 代码经过编译可测试、注册和存储, 并最后发布。模型管理子系统已成功的应用于笔者开发的“电子战模拟评估开发平台”中。

4 结束语

实际应用证明了该模型管理方法是有效的。下一步将研究的问题包括: 基于网络的模型管理、模型描述的标准化、模型重用、仿真应用目标的一体化、环境模型在仿真中的应用等。

参考文献:

- [1] 柴晓路, 曹晶, 高永勤, 等. XML Arouse the Web Architecture Revolution[J]. Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Volume 1749, 1999.
- [2] 王桥 吴纪桃. 空间决策支持系统中的模型标准化问题研究[J]. 测绘学报, 1999.
- [3] Meilir Page Jones. UML 面向对象设计基础[M]. 包晓露, 等, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [4] 唐发根. 数据结构教程(第 2 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [5] 谢卫平, 等. 模型体系开发管理支持工具的系统分析与设计[D]. 国防科技大学研究生学术论文集, 2002.
- [6] Tefrey Richter. Microsoft.NET 框架程序设计(修订版)[M]. 李建忠, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] 李剑. 基于 DoDAF 的作战体系结构建模方法[J]. 四川兵工学报, 2009(7): 14-16.

(上接第 15 页)

- [4] 刘宁, 张福利, 贾岩. 防空兵群兵力分配的动态规划[J]. 兵工自动化, 2007, 26(3): 39-41.
- [5] 金鑫, 陈建虎, 李德忠. 地空导弹发射阵地选择与分配的定量分析[J]. 地空防空武器, 2008, 39(1): 35-39.
- [6] 杨继君, 许维胜, 吴启迪, 等. AHP 的改进算法及其在供应链中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(10): 205-208.
- [7] 李传哲, 于福亮, 鲍卫锋, 等. 改进层次分析法在影响因素分析中的应用[J]. 节水灌溉, 2006(5): 47-49.
- [8] 张肃. 空中目标威胁评估技术[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2005, 27(1): 41-45.
- [9] 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[J]. 软件开发与应用, 2008, 27(8): 86-87.
- [10] 卢雪燕, 周永权. 一种基于蜜蜂双种群进化的遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(11): 71-74.
- [11] 陆忠实, 沈军, 罗护. 弹炮混合部署抗击武装直升机效率模型[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 61-64.