

基于改进遗传算法的反舰导弹火力分配研究

王波¹, 刘小利², 胡亮¹, 王晓娟¹

(1. 天津津航计算技术研究所, 天津 300308; 2. 空军驻京津地区军事代表室, 天津 300308)

摘要: 反舰导弹是打击敌水面舰船的主要手段, 多武器平台打击水面多目标时, 如何合理分配导弹, 使其充分发挥作战效能, 构成反舰导弹的火力分配问题。建立反舰导弹火力分配模型, 并提出一种基于改进遗传算法的导弹火力分配求解算法, 在算法中采用十进制编码策略、适应度比例选择法和自适应变异概率。通过结合实例进行验证, 证明了改进遗传算法可以有效快速地找到最优火力分配方案, 为舰艇作战指挥决策提供参考。

关键词: 遗传算法; 火力分配; 反舰导弹

中图分类号: TP760.2; TJ761.1+4

文献标识码: A

Antiship Missile Fire Distribution Based on Improved Genetic Algorithm

WANG Bo, LIU Xiao-li, HU Liang, WANG Xiao-juan

(1. Jinhang Institute of Computing Technology, Tianjin 300308, China;

2. Air Force Agent Office in the Beijing-Tianjin area, Tianjin 300308, China)

Abstract: Antiship Missile is the master means attacking the enemy ships, how to distribute the missiles with multi-launcher and multi-weapon to sufficiently elaborate the operation efficacy of antiship missile is the fire distribution matter. The model of the antiship missile fire allocation and a solving method based on improved genetic algorithm are both established. The improved genetic algorithm combines decimal encoding strategies partial fitness-proportionate selection and adaptive aberrance probability. Validated with the example, it is proved that the improved genetic algorithm can find the optimal fire distribution result. The research results can provide theory reference for warship combat command and decision.

Key words: genetic algorithm; fire distribution; antiship missile

0 引言

在现代海战中, 反舰导弹是最主要的火力进攻武器, 随着高精确制导装备的迅速发展, 其造价日益昂贵。因此, 在可靠地完成作战任务的同时, 如何充分发挥各个武器单元的整体优势, 寻求在给定的条件下, 使武器攻击效益得到最佳, 获取最优火力分配方案是进行作战指挥必须要解决的问题^[1-2]。

火力分配问题是指将火力单元按照一定的最优原则合理分配给多个攻击目标。在实际作战中, 通常是多个火力单位对多个目标进行火力攻击, 由

于各火力单位对目标的毁伤效能以及诸目标本身价值及威胁性等的不同, 火力分配受到多种约束条件限制, 火力单位对目标的分配也存在多种方案。解决火力分配问题的方法众多, 传统的最优化问题主要有解析法、随机法和穷举法等, 同时很多智能算法被引入到火力分配问题求解中, 如神经网络^[3]、遗传算法^[4-7]、模拟退火算法^[8]、粒子群算法^[9]等。

遗传算法借用了生物遗传学的观点, 通过自然选择、交叉、变异等遗传操作, 实现各个体适应性的提高。算法拥有一群个体组成的种群。每个个体在种群演化过程中都被评价优劣并得到其适应值, 个

体在选择、交叉以及变异算子的作用下向更高的适应度进化以达到寻求问题最优解的目标,遗传算法具有高效的全局搜索能力和较强的通用性。

本文对遗传算法选择算子和交叉算子进行改进,基于改进的遗传算法,对多个武器平台利用反舰导弹对水面多个目标进行打击的火力分配问题进行研究,计算结果证明了改进遗传算法可以有效地快速地找到最优火力分配方案,可以为舰艇作战指挥决策提供参考。

1 火力分配的数学模型

以极大化目标毁伤价值为基础建立反舰导弹攻击的火力分配模型。优化目标是使目标群的综合毁伤效果最大化,“毁伤效果最大化”意义是对越重要的目标造成越大的毁伤效果。

设我方舰艇编队有 k 类不同型号的反舰导弹,打击 m 个水面舰艇目标,导弹的总数量为 n ,每类型号的导弹数量为 n_i 。

武器毁伤概率是火力分配中必要的参数,单发导弹的毁伤概率 P_{HS} 与导弹飞行可靠度 P_{KK} 、命中概率 P_{ZMZ} 、命中后的杀伤概率 P_{SS} 以及导弹被拦截的概率 P_{LJ} 和被实施软杀伤的概率 P_R 有关。即

$$P_{HS}=P_{KK} \cdot P_{ZMZ} \cdot P_{SS} \cdot (1-P_{LJ}) \cdot (1-P_R) \quad (1)$$

用 p_{ij} 表示第 i 类反舰导弹对第 j 艘舰艇射击时的单发毁伤概率($i=1, \dots, k; j=1, \dots, m$),用 x_{ij} 表示分配给第 j 艘舰艇的第 i 类反舰导弹数量,以用 W_j 表示第 j 艘目标舰艇的价值(即权值) $j=1, 2, \dots, m$,目标的价值实际上是目标重要程度的一种量度,取决于目标的价值系数、威胁程度等因素,在考虑各种因素基础上,可以利用模糊综合评判法对目标价值做出评估。

最优分配的目标函数是使毁伤效能指标最大。该效能指标以毁伤目标数的数学期望为基础。那么,用一定数量第 i 类导弹毁伤第 j 个目标的概率可表示为:

$$T_{ij}=1-(1-p_{ij})^{x_{ij}} \quad (2)$$

因而,所有 k 类导弹对第 j 个目标的毁伤概率 T_j 、毁伤目标数的数学期望 A 分别为

$$T_j=1-\prod_{i=1}^k (1-p_{ij})^{x_{ij}} \quad (3)$$

$$A=\sum_{j=1}^m [1-\prod_{i=1}^k (1-p_{ij})^{x_{ij}}] \quad (4)$$

则导弹的最优火力分配模型为:

$$F(x)=\max \sum_{j=1}^m W_j [1-\prod_{i=1}^k (1-p_{ij})^{x_{ij}}] \quad (5)$$

约束条件为:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij}=n_i \quad i=1, 2, \dots, k \quad (6)$$

式中 $x_{ij} \geq 0$, 且为整数 $i=1, 2, \dots, k; j=1, 2, \dots, m$ 。

2 基于改进遗传算法的火力分配求解

2.1 遗传算法选择算子和变异算子的改进

2.1.1 选择操作

遗传算法中的选择操作最常用的是轮盘赌选择法,在该方法中,各个体的选择概率和其适应度值成正比。但是遗传进化的开始阶段,这个时候可能存在适应度较高的生物个体,根据轮盘赌选择方法,那么这个个体被选中的机会就会非常大,从而会选择复制出相当数量的子代,这就容易导致种群的多样性丧失,种群中个体太单调,很难再进行遗传进化,所以也很难搜索到全局最优解。因此,本文采用的选择算子的方法是:对种群中的全部个体来一次排序,根据种群中每个个体的适应度高低对这些个体进行降序列出,将种群中排在最后的比例为 p 的个体淘汰掉,将排在前面比例为 p 的个体复制两份,将适应度排在中间的比例为 $(1-2p)$ 的部分复制一份,复制后全部个体作为下一代,这样既可以把适应度非常低的个体直接淘汰出该种群,又可以快速增加种群中适应度较好的个体的数量,使得算法更加高效实用。

2.1.2 变异操作

在基本遗传算法(SGA)中,变异概率是固定不变的,通常是一个很小的常数,本文在火力分配遗传算法计算过程中,将修正过的变异概率 p_m 随适应度作自适应变化,公式为:

$$p_m = \begin{cases} p_{m_max} - (p_{m_max} - p_{m_min})(f - f_{avg}) / (f_{max} - f_{avg}) & f \geq f_{avg} \\ p_{m_max} & f < f_{avg} \end{cases} \quad (7)$$

其中 p_m 为将要变异个体的变异概率, p_{m_max} 为最大变异概率, p_{m_min} 为最小变异概率, f 为即将变异个体的适应度, f_{max} 为本代种群中个体的最大适应度, f_{avg} 为本代种群适应度的平均值。从式(7)也可以看出,个体适应度大于种群的平均适应度时该个体的变异概率就越小,个体的适应度小于此时种群的平均适应度时变异概率越大,符合优胜劣汰的进化规律。对不良个体采取较大的变异概率使其向优良个体靠近,可以使算法的局部搜索能力增强,有助于算法更快地达到全局收敛。

2.2 编码方案

采用十进制编码,编码简单直观,可清晰地表

达火力分配结果。

编码时为了减少编码长度可以只对前 x_{im-1} 个体进行编码,其形式为:

$$X=(x_{11} \ x_{12} \ \cdots \ x_{1m-1} \ x_{21} \ x_{22} \ \cdots \ x_{2m-1} \ x_{22} \ \cdots \ x_{k1} \ x_{k2} \ \cdots \ x_{km-1}) \quad (8)$$

而变量 x_{im} 则是由 $x_{im}=n_i-\sum_{j=1}^{m-1} x_{ij}$ 决定, x_{ij} 都为大于或等于 0 的正整数。

2.3 初始化

初始群体中的个体是随机产生并经过挑选的,对于某一类导弹,其导弹数量为 n_i ,初始种群中的个体 $X=(x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_j)$,可以得到 $x_j=[n_i \cdot \text{Rand}]$,其中: $j=1 \ 2 \ \cdots \ m-1$,在初始种群生成时,对 x_m 的有效性进行判断,如果 $x_m < 0$,则淘汰本个体,重新随即生成新个体,直到找到满足条件的新个体。

2.4 适应度函数计算

定义一个适应度函数 $F(x)$,即式(5)定义的最优火力分配模型,每个个体的适应度函数通过式(5)计算后进行评价和排序。

2.5 遗传操作

2.5.1 选择

根据 2.1 节描述的选择方法,将按照适应度排序后的个体进行选择操作。

2.5.2 交叉

本文采用十进制编码方式,交叉方式采用随即

均匀交叉方式,每个个体 $X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & x_{ij} & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{km} \end{bmatrix}$ 被

作为一个基因整体进行交换,公式为:

$$\begin{cases} x_{son1}=x_{parent1} \cdot P_{c-rand} + x_{parent2} \cdot (1-P_{c-rand}) \\ x_{son2}=x_{parent1} \cdot (1-P_{c-rand}) + x_{parent2} \cdot P_{c-rand} \end{cases} \quad (9)$$

其中 $x_{parent1}$ 和 $x_{parent2}$ 是父代个体, P_c 是交叉时交换点随机概率, x_{son1} 和 x_{son2} 是交叉产生的子代个体,由于是十进制编码,计算时必须对子代个体进行取整操作,同时为了保证新产生个体满足式(6)的约束条件,必须对个体进行检验。如果不满足式(6)条件,则淘汰本个体,重新根据父个体随机生成子个体,直到满足条件为止。

2.5.3 变异

变异运算只是产生新个体的辅助方法,但它也是必不可少的一个运算步骤,因为它决定了遗传算法的局部搜索能力,采用 2.1 节描述的自适应变异概率进行操作,保证优良个体尽量减少被变异的概率。变异后生成的新个体也必须根据式(6)进行有

效性检验,淘汰不可行的个体。

2.5.4 终止

终止的方法是规定最大迭代次数 T ,一旦遗传算法的迭代次数达到 T ,则停止操作,输出结果,遗传算法流程图如图 1 所示。

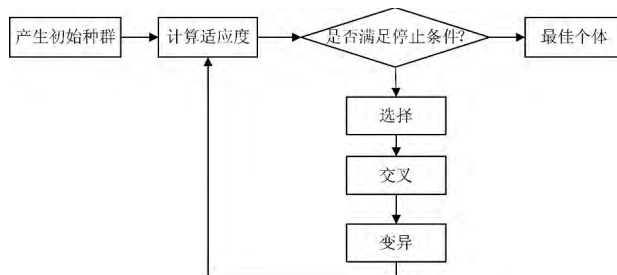


图 1 遗传算法基本流程

3 实例及计算结果分析

3.1 实例 1 及结果分析

假设有两艘舰艇各携带一种反舰导弹,对 3 个水面目标进行打击。其中第 1 种导弹的数量为 6 枚,第 2 种导弹的数量为 10 枚,3 个目标的综合权值经评价后结果定为 $W_1=0.3$, $W_2=0.2$, $W_3=0.5$,导弹对目标的综合毁伤概率见表 1。

表 1 两类导弹对目标的综合毁伤概率

导弹种类	目标编号		
	1	2	3
1	0.40	0.10	0.50
2	0.20	0.40	0.20

目标函数 $F(x)=\max \sum_{j=1}^m W_j [1 - \prod_{i=1}^k (1-p_{ij})^{x_{ij}}]$ 中, $m=3$, $k=2$,火力分配时候需要满足下列约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^3 x_{1j}=6; \sum_{j=1}^3 x_{2j}=10 \\ x_{ij} \geq 0 (i=1 \ 2 \ j=1 \ 2 \ 3) \end{cases}$$

遗传算法参数设置:采用十进制编码形式,种群数 200,迭代次数 50 代,交叉概率 $P_c=0.8$,最大变异概率 $p_{m_max}=0.1$,最小变异概率 $p_{m_min}=0.02$,计算结果如表 2 所示,迭代过程中目标函数适应度变化曲线如图 2 所示。

表 2 迭代过程中火力分配结果变化

迭代次数	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	\max_f
1	3	0	3	5	4	1	0.902 8
2	1	0	5	6	4	0	0.911 3
3	2	0	4	5	4	1	0.913 7
4	2	0	4	6	4	0	0.914 5
5	2	0	4	4	5	1	0.915 2
6	2	0	4	5	5	0	0.917 8
50	2	0	4	5	5	0	0.917 8

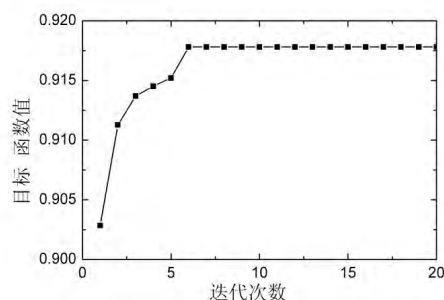


图2 实例1目标函数适应度曲线

从表2可以看出,第6步得到最优解,分配矩阵为 $X = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 4 \\ 5 & 5 & 0 \end{bmatrix}$ 为最优分配方案,目标函数值 $F=0.9178$ 。根据计算结果,与文献[9]结果进行对比,验证了结果的正确性。此算法运行稳定,收敛速度快,可以作为火力分配的参考。

3.2 实例2及结果分析

假设舰艇编队具有4种不同型号的导弹,对敌3个目标进行打击。其中第1种导弹的数量为4枚,第2种导弹的数量为8枚,第3种导弹的数量为6枚,第4种导弹的数量为8枚,3个目标的综合权值都相同。导弹对目标的综合毁伤概率见表3。

表3 4类导弹对目标的综合毁伤概率

导弹种类	目标编号		
	1	2	3
1	0.4	0.3	0.1
2	0.2	0.1	0.3
3	0.1	0.2	0.4
4	0.3	0.4	0.1

目标函数 $F(x) = \max \sum_{j=1}^m W_j [1 - \prod_{i=1}^k (p_{ij})^{x_{ij}}]$ 中, $m=3$, $k=4$, 火力分配时候需要满足下列约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^3 x_{2j} = 8; \sum_{j=1}^3 x_{3j} = 6; \sum_{j=1}^3 x_{4j} = 8 \\ x_{ij} \geq 0 \quad (i=1 \sim 4; j=1 \sim 3) \end{cases}$$

遗传算法参数设置:种群数为500,其他与算例1相同,迭代过程中目标函数适应度变化曲线如图3所示。

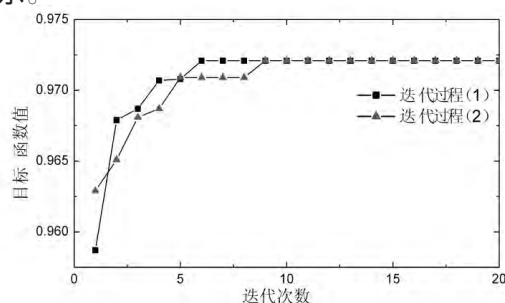


图3 实例2目标函数适应度曲线

遗传算法多次计算后稳定在两个结果,最终收

敛后火力分配矩阵分别为 $X = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 5 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 6 \\ 2 & 6 & 0 \end{bmatrix}$ 和 $X =$

$\begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 6 \\ 2 & 6 & 0 \end{bmatrix}$ 最终目标函数值都是 $F=0.9721$ 。计算结

果稳定性较好,收敛速度较快,从分配矩阵来看如果某类弹对于某批目标具有最低毁伤概率,则尽量不给此批目标分配该类导弹。

4 结束语

本文基于遗传算法对反舰导弹火力分配问题进行了求解,采用十进制部分编码策略,改进选择算子和自适应变异概率相结合的改进遗传算法,具有方法操作简单,通用性强等特点,实例计算结果也表明该算法收敛性好,稳定性高,通过全局寻优可以较快得到火力分配方案供决策者参考。

参考文献:

- [1] 粘松雷,严建钢,陈榕.基于动态规划的反舰导弹火力分配优化方法[J].舰船科学技术,2012,34(7):110-113.
- [2] 胡正东,丁洪波,张士峰.反舰导弹武器系统的火力分配方法研究[J].战术导弹技术,2008,29(4):1-3.
- [3] Silven S. A Neural Approach to the Assignment Algorithm for Multiple-target Tracking [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1992, 17(4): 326-332.
- [4] 程杰,任伟,徐军凯.舰艇编队对敌海上编队导弹攻击火力分配的GA算法研究[J].舰船电子工程,2012,32(9):26-28.
- [5] 程杰,任伟,徐军凯.遗传算法在导弹火力分配中的应用[J].火力与指挥控制,2008,33(4):93-96.
- [6] 张年春,沈培华.编队导弹攻击的火力分配研究[J].战术导弹技术,2007(3):36-39.
- [7] 贺新峰,原清,陈昊明.改进遗传算法在导弹火力分配中的应用[J].火力与指挥控制,2007,32(3):68-71.
- [8] 赵师,孙文纪,刘洪坤.基于蚁群算法的火力分配寻优方法研究[J].指挥控制与仿真,2010,32(2):66-68.
- [9] 杨懿,武昌,刘涵.改进粒子群算法在导弹火力分配中的应用[J].火力与指挥控制,2007,32(1):60-63.
- [10] 杨娟,池建军,闵华侨.基于多目标规划的导弹作战火力分配模型[J].四川兵工学报,2011,30(11):107-109.