

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.002

基于改进遗传算法的导弹火力分配研究

王光源¹, 陈亮^{1,2}, 寇祥³, 张非非⁴

(1. 海军航空工程学院指挥系, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91960 部队, 广东 汕头 515071;
3. 中国人民解放军 92768 部队, 广东 汕头 515071; 4. 中国人民解放军 91515 部队, 海南 三亚 572000)

摘要: 针对传统的火力分配方法效率低、通用性差、且容易陷入局部最优解的问题, 提出一种基于改进遗传算法的导弹火力分配方案。通过对多兵种合同作战中导弹火力分配问题的分析, 引入“广义价值”作为参数构建了数学模型, 利用改进的遗传算法进行求解, 并通过仿真验证了模型和算法的有效性。仿真结果证明: 该方案是有效的, 可为合同作战中导弹的火力分配提供参考依据。

关键词: 遗传算法; 合同作战; 火力分配

中图分类号: TJ765 **文献标志码:** A

Study of Missiles Fire Power Distribution Based on Improved Genetic Algorithm

Wang Guangyuan¹, Chen Liang^{1,2}, Kou Xiang³, Zhang Feifei⁴

(1. Dept. Command Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China; 2. No. 91960 Unit of PLA, Shantou 515071, China; 3. No. 92768 Unit of PLA, Shantou 515071, China; 4. No. 91515 Unit of PLA, Sanya 572000, China)

Abstract: Aiming at the low efficiency, low generality, and easily involving local optimal resolving of tradition fire power distribution, the model of the fire power distribution based on improved genetic algorithms is established. Through analyzing the missile fire power distribution in multi-armies cooperation fighting, use “generalized value” as parameter to construct mathematics model, and adopt improved genetic algorithm to resolve. Validate efficiency of model and algorithm through simulation. The simulation result shows that the algorithm is useful, and can give reference to the missile fire power distribution in cooperation fight.

Key words: genetic algorithms; coordinated attack; sistribution of fire power

0 引言

随着战争信息化程度的不断加快, 在信息化战场的对弈中, 作战双方的力量构成和能量释放都将呈现一体化的典型特征^[1]。在一体化战争背景下的对海封锁作战中, 充分发挥各型导弹的作战效能是作战取胜的关键之一。

火力分配问题也称武器目标分配问题, 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。如何做出合理的火力分配方案, 是战争取胜的关键问题。传统的最优化问题主要有解析法、随机法和穷举法等, 其效率低、通用性差、且容易陷入局部最优解。而遗传算法依据生物进化的原理进行计算, 具有高效的全局搜索能力和较强的通用性, 能够较好地解决传统算法的不足^[2-3]。因此, 笔者以合同作战为背景, 利用改进的遗传算法对导弹的火力分配问题进行研究。

1 问题的描述与求解

1.1 问题的描述^[4-5]

红方有 n 型导弹, 各型数目为 $c_i (i=1, \dots, n)$, 打

击目标有 m 艘。令 x_{ij} 表示红方第 i 型导弹对蓝方编队第 j 艘舰艇的发射数量。

定义第 i 型导弹单枚毁伤概率为:

$$p_{ij} = P_i^{KK} \cdot P_{ij}^{MZ} \cdot P_i^{SS} \cdot (1 - P_{ji}^{LJ}) \cdot (1 - P_{ji}^R) \quad (i=1, \dots, n; j=1, \dots, m) \quad (1)$$

式中: P_i^{KK} 表示第 i 型导弹飞行可靠度; P_{ij}^{MZ} 表示第 i 型导弹对第 j 艘舰艇的命中概率; P_i^{SS} 表示第 i 型导弹的杀伤概率, P_{ji}^{LJ} 表示第 j 艘舰艇对第 i 型导弹的拦截概率, P_{ji}^R 表示第 j 艘舰艇对第 i 型导弹的软杀伤概率。

设第 j 艘舰艇的毁伤概率为 p'_j , p'_{ij} 为第 $i (0 < i \leq n)$ 型导弹对编队第 $j (0 < j \leq m)$ 艘舰艇的毁伤概率, 由导弹突防过程可知:

$$p'_{ij} = 1 - (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \quad (2)$$

所有型号导弹对第 j 艘舰艇的毁伤概率为:

$$p'_j = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p'_{ij}) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - (1 - p_{ij})^{x_{ij}}]\} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \quad (3)$$

设第 j 艘舰艇广义价值为:

$$v_j (v_j = [a_1, a_2] \cdot [S_j, w_j]^T, 0 < v_j < 1) \quad (4)$$

式 (4) 中: a_1, a_2 为权重系数; S_j 为综合考虑舰艇

政治价值、军事价值、和经济价值的综合价值; w_j 为舰艇的威胁度。设定对同一目标进行齐射导弹数目上限为 12, 构建毁伤效益最优的模型为:

$$\begin{cases} \max \sum_{j=1}^m [a_1, a_2] \cdot [S_j, w_j]^T \cdot \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i^{KK} \cdot P_{ij}^{MZ} \cdot P_i^{SS} \cdot (1 - P_{ji}^{LJ}) \cdot (1 - P_{ji}^R)]^{x_{ij}} \right\} \\ \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq c_i (i = 1, \dots, n) \\ 0 \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 12 (j = 1, \dots, m) \\ x_{ij}, \text{非负整数} (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m) \end{cases} \quad (5)$$

设预定毁伤效益为不小于 q , 则此条件下极小

化导弹消耗价值的优化模型为:

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^n M_i (c_i - \sum_{j=1}^m x_{ij}) \\ \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^m [a_1, a_2] \cdot [S_j, w_j]^T \cdot \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i^{KK} \cdot P_{ij}^{MZ} \cdot P_i^{SS} \cdot (1 - P_{ji}^{LJ}) \cdot (1 - P_{ji}^R)]^{x_{ij}} \right\} \geq q \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq c_i (i = 1, \dots, n) \\ 0 \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 12 (j = 1, \dots, m) \\ x_{ij}, \text{非负整数} (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m) \end{cases} \quad (6)$$

1.2 问题的改进遗传算法求解

传统的基本的遗传算法虽然为解决问题提供了方便, 但它还存在 2 个不容忽视的缺陷: 未成熟收敛和遗传后期的收敛迟滞。在分析 PSGA 算法的基础上, 为使火力分配模型能应用 PSGA 进行高效运行和快速收敛, 从而能最短时间取得分配结果, 对 PSGA 的交叉概率和变异概率取值进行分析, 采用变量代替原来的常数取值^[6-7]。改进方法如下:

在进化过程中, 根据适应度的变化来调整交叉和变异概率, 以平衡全局搜索和局部开发。以最小化适应度为目标, 设历代最好适应度为 g_b , 当代最好适应度为 f_b , 以两者的比值 $g = f_b / g_b$ 来改变交叉和变异概率。设定一个小于 1 的正数 k , 比较 g 值和 k 值的大小, 进行相应的调整, 如表 1 所示。

表 1 交叉变异调整方法

比较值	调整方法
$g \leq k$	进行局部开发, 优化代数 num 代, 交叉概率和变异概率分别取为 p_{c2} 和 p_{m2} 。
$g > k$	以 p_{c1} 和 p_{m1} 来更新交叉和变异概率。

对于 P_{c1} 和 P_{m1} 的取值, 采用自适应交叉和变异, P_{c1} 和 P_{m1} 将随着进化代数动态地改变。

$$\begin{aligned} P_{c1} &= P_{c1_max} - (P_{c1_max} - P_{c1_min})i / M \\ P_{m1} &= P_{m1_min} + (P_{m1_max} - P_{m1_min})i / M \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 中: i 为进化代数; M 为总进化代数; P_{c1_max} , P_{c1_min} 分别为最大、最小交叉概率; P_{m1_max} , P_{m1_min} 分别为最大、最小变异概率。

对于 P_{c2} , P_{m2} 和 num 取值, 这里用变量代替原有的常量取值的方法:

$$\begin{aligned} P_{c2} &= P_0 \cdot g \\ P_{m2} &= P_1 / g \\ num &= [n / g] \end{aligned} \quad (8)$$

式中: P_0, P_1 为固定值; “[\cdot]” 表示向上取整函数, 如 $[3.4] = 4$, n 为固定值。

改进的 PSGA 算法执行步骤如下:

1) 初始化种群, 对交叉概率 P_{c1} 和变异概率 P_{m1} 取值。

2) 计算种群中个体的适应度, 并根据本代最佳适应度和历代最佳适应度的比值 g 来确定交叉和变异概率。如果 $g \leq k$, 则进行局部优化 num 代; 否则以 P_{c1} 和 P_{m1} 更新交叉和变异概率进行进化。

3) 选择, 根据个体适应度大小按轮盘赌方法选择个体, 并采用精英保留策略保留种群中最优个体。

- 4) 交叉, 随机配对交叉产生新个体。
- 5) 变异, 对种群中个体进行变异。
- 6) 进化终止条件判断, 如满足条件, 则停止计算, 输出最佳结果; 否则, 执行 2)。

2 仿真算例

红方兵力编成为: 2 艘驱逐舰, 2 艘护卫舰(可以齐射同一型号舰舰导弹 16 枚); 4 架战斗机(可以齐射同一型号空舰导弹 16 枚), 预警机 1 架, 岸导营 2 个(可以齐射同一型号岸舰导弹 48 枚)。蓝方海

上护航运输船编队为 2 艘运输船 A、B; 3 艘驱逐舰分别为 C、D、E; 3 艘护卫舰为 F、G、H。运输船的政治价值、军事价值、经济价值通过模糊评判估计值为: 0.9、0.85; 驱逐舰为 0.8、0.75、0.7; 护卫舰 F、G、H 为 0.5、0.45、0.4。一枚岸舰、舰舰、空舰导弹的造价分别为 500 万、600 万、400 万。根据战斗任务特点, 通过层次分析法对权重进行归一化处理得到 a_1 为 0.6, a_2 为 0.4; 相关参数数值如表 2 所示。

表 2 参数数值表

导弹类型	目标参数	编队							
		A	B	C	D	E	F	G	H
岸舰导弹	S	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.5	0.45	0.4
	W	0.10	0.10	0.90	0.80	0.80	0.7	0.60	0.6
	P^{KK}	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	0.90	0.9
	P^{MZ}	0.85	0.85	0.80	0.80	0.80	0.7	0.70	0.7
	P^{SS}	0.85	0.85	0.60	0.65	0.65	0.7	0.70	0.7
	P^{LJ}	0	0	0.45	0.40	0.40	0.3	0.30	0.3
舰舰导弹	P^R	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.1	0.10	0.1
	P^{KK}	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	0.90	0.9
	P^{MZ}	0.80	0.80	0.75	0.75	0.75	0.7	0.70	0.7
	P^{SS}	0.80	0.80	0.50	0.50	0.50	0.6	0.60	0.6
	P^{LJ}	0	0	0.45	0.40	0.40	0.3	0.30	0.3
空舰导弹	P^R	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.1	0.10	0.1
	P^{KK}	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	0.90	0.9
	P^{MZ}	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.7	0.70	0.7
	P^{SS}	0.80	0.80	0.60	0.65	0.65	0.7	0.70	0.7
	P^{LJ}	0	0	0.45	0.40	0.40	0.3	0.30	0.3
	P^R	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.1	0.10	0.1

设定群体规模为 80, 最大迭代次数为 500 代。通过 Matlab7.1 程序计算得极大化毁伤效益为 4.921 2。算法收敛情况如图 1 所示。

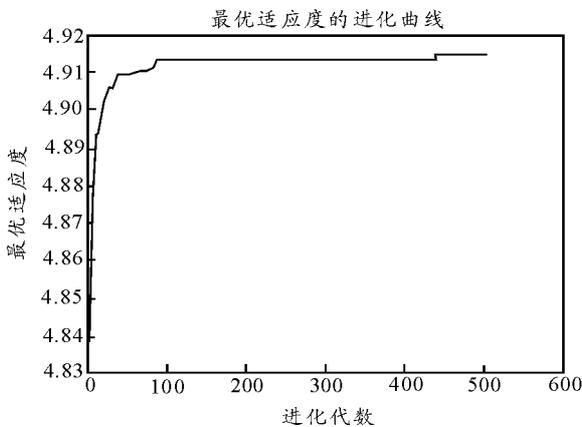


图 1 适应度收敛情况

各型导弹火力分配矩阵为如表 3 所示。

根据上级作战任务理解, 需预期毁伤效益为

4.2, 运行程序, 其收敛情况如图 2 所示。

表 3 火力分配方案

型号	编队								各型总数
	A	B	C	D	E	F	G	H	
岸舰导弹	3	3	7	8	7	7	6	7	48
舰舰导弹	3	3	0	1	0	3	4	2	16
空舰导弹	0	0	5	3	4	1	1	2	16
数量合计	6	12	12	11	11	11	11	11	80

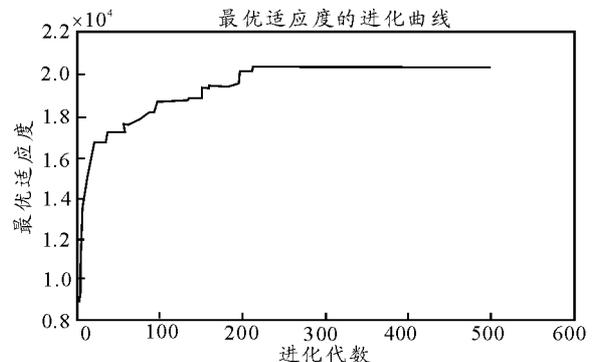


图 2 适应度收敛情况

分配方案如表 4 所示。

表 4 火力分配方案

型号	编队								各型总数
	A	B	C	D	E	F	G	H	
岸舰导弹	3	3	1	4	4	1	1	3	20
舰舰导弹	0	1	0	1	0	1	1	0	4
空舰导弹	0	0	5	1	1	3	2	1	13
数量合计	3	4	6	6	5	5	4	4	37

经过多次运算，结果证明：该算法运行稳定，收敛速度较快，具备实时性的要求。

3 结束语

仿真结果验证了基于改进遗传算法的导弹火力分配方案的有效性和合理性，可为合同作战条件下的导弹火力分配决策提供一定的参考。由于火力分配需要综合考虑的因素众多，比如对方的火力抗击

(上接第 4 页)

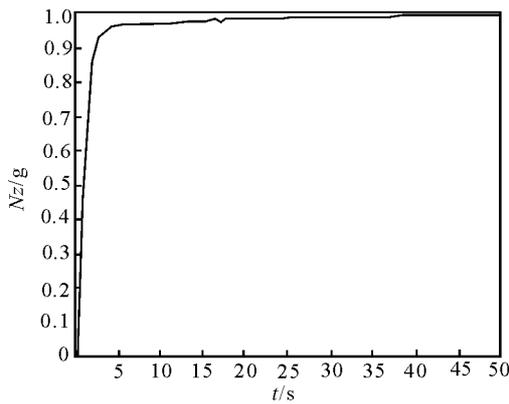


图 13 过载指令响应曲线

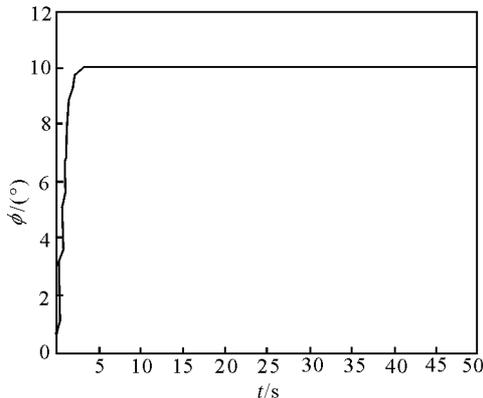


图 14 滚转角指令响应曲线

策略和能力等，因此，下一步将研究复杂对抗条件下的火力分配。

参考文献：

[1] 叶征. 信息化作战概论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2007.

[2] 曾宪钊. 军事最优化新方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.

[3] 徐志伟, 张耀坤, 张勇. 基于遗传算法的防空火力分配方案[J]. 兵工自动化, 2009, 28(2): 28-29.

[4] 张年春, 李中良, 等. 编队导弹攻击火力分配模型[J]. 火力指挥与控制, 2007(10): 40-42.

[5] 沈培志, 李建, 等. 基于遗传算法的反舰导弹火力分配优化[J]. 舰船电子工程, 2009(10): 60-61.

[6] 杨飞, 董朝阳, 等. 实施饱和攻击的反舰导弹武器目标分配[J]. 系统仿真学报, 2011, 23: 316-320.

[7] 崔海波, 姚志超, 易先清. 基于NSGA-II的炮兵火力优化问题研究[J]. 兵工自动化, 2011, 29(4): 316-320.

4 结束语

基于动态逆方法的控制律实现了纵向通道与横侧向通道以及横侧向副翼通道与方向舵通道间的解耦，解决了无人机机动飞行时运动学方程中产生的非线性问题，文中控制律结构采用动态逆控制与经典 PID 控制相结合，系统鲁棒性和稳定性有待进一步提高。

参考文献：

[1] 王忠俊. 非线性飞行控制方法研究概述[J]. 飞行力学, 1999, 13(3): 24-28.

[2] Snell S A, Enns D F, Garrard W L. Nonlinear Control of a Super-maneuverable Aircraft. AIAA 89-3486-cp, 1989.

[3] Lane S H, Stengle R F. Flight control using nonlinear inverse dynamics[J]. Automatic, 1988, 18(24): 471-483.

[4] 李林侃. 无人机鲁棒动态逆控制研究[D]. 西北工业大学, 2007(6).

[5] 徐军, 张明廉, 宋宇善. 飞行控制系统的非线性鲁棒控制[J]. 航空学报, 1998, 19(2): 169-172.

[6] 苏丙未, 万胜, 陈欣. 一种基于动态逆的控制方案在无人机中的应用研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2000(6).

[7] 张明廉. 飞行控制系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.