

doi: 10.7690/bgzdh.2024.11.003

多平台反舰导弹协同对海突击目标分配问题研究

宋超, 赵建忠, 刘润华

(海军航空大学, 山东 烟台 264001)

摘要: 为满足多平台反舰导弹协同对海突击目标分配的作战要求, 在分析目标分配的约束条件和性能指标的基础上, 建立多平台反舰导弹目标分配模型。针对传统目标分配方法效率低且容易陷入局部最优解的问题, 对标准遗传算法(standard genetic algorithm, SGA)进行改进, 自适应调整交叉和变异概率, 提出基于改进遗传算法的多平台目标分配算法, 并进行 2 种不同作战场景下的仿真分析。仿真结果表明: 与标准遗传算法相比, 改进后的算法收敛速度得到提高; 同时, 得到的目标分配方案合理有效, 满足各项约束条件, 能够为协同作战时的目标分配提供参考依据。

关键词: 多平台; 反舰; 协同; 目标分配

中图分类号: TJ761.1⁺4 **文献标志码:** A

Research on Target Assignment Problem of Multi-platform Anti-ship Missile Coordination Assault on Sea

Song Chao, Zhao Jianzhong, Liu Runhua

(Naval Aviation University, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to meet the operational requirements of target assignment for multi-platform anti-ship missiles in coordinated sea assault, a target assignment model for multi-platform anti-ship missiles is established based on the analysis of the constraints and performance indicators of target assignment. Aiming At the problems of low efficiency and easy to fall into local optimal solution in traditional target assignment methods, the standard genetic algorithm (SGA) is improved to adjust the crossover and mutation probability adaptively, and a multi-platform target assignment algorithm based on improved genetic algorithm is proposed. The simulation analysis is carried out in two different combat scenarios. The simulation results show that compared with the standard genetic algorithm, the convergence speed of the improved algorithm is improved. At the same time, the obtained target assignment scheme is reasonable and effective, and meets the constraints, which can provide a reference for the target assignment in cooperative operations.

Keywords: multi-platform; anti-ship; coordination; target allocation

0 引言

反舰导弹是现代海战中对海突击作战的主要武器装备力量。在体系作战中, 为提高反舰导弹对敌海上目标的突击效果, 需要多平台的反舰导弹协同作战^[1-4]。如何确定多个平台的反舰导弹需要攻击的海上目标, 使整个弹群的整体作战效能最高? 即多平台反舰导弹目标分配问题。合理高效的目标分配不仅能减小平台反舰导弹的消耗成本, 还能提高编队协同突防的概率和对目标实现饱和攻击并最大程度毁伤目标的可能性。

多平台反舰导弹目标分配问题属于非线性整数规划问题, 随着平台和目标数量的增多, 计算维度成倍增长, 因此需要采用最优化算法来解决^[5]。传统枚举法、动态规划法等最优化方法效率低且容易陷入局部最优解。而智能优化算法为求解此类问题

提供了良好的途径^[6]。笔者应用遗传算法并进行自适应改进, 既提高算法收敛速度, 又保证其全局搜索能力, 可以高效求解多平台反舰导弹目标分配问题。

1 问题描述

多平台反舰导弹目标分配问题可以描述为分配多平台的反舰导弹数量至待攻击的目标编队。

假设协同对海突击的武器平台 $Pla=(Pla_1, Pla_2, \dots, Pla_N)$, 每个平台装备 K 个反舰导弹, M 个目标 $Par=(Par_1, Par_2, \dots, Par_M)$, 目标为敌舰艇编队。设目标分配决策变量矩阵 $X_{N \times M}$ 中各元素为:

$$x_{ij} = \begin{cases} n, & pla_i \text{ 分配至目标 } Tar_j \\ 0, & pla_i \text{ 未分配至目标 } Tar_j \end{cases},$$
$$i=1, \dots, N, j=1, \dots, M, n=(1, M). \quad (1)$$

收稿日期: 2024-06-27; 修回日期: 2024-07-25

第一作者: 宋超(1983—), 男, 山东人, 博士。

式中： $x_{ij}=0$ 为该平台没有分配反舰导弹至该目标； $x_{ij}=n$ 为第 i 个平台有 n 个反舰导弹分配给第 j 个目标。

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq 1. \quad (6)$$

2 多平台反舰导弹目标分配模型

2.1 目标函数

设 p'_{ij} 为第 i ($0 < i \leq N$) 个平台反舰导弹对舰艇编队第 j ($0 < j \leq M$) 个目标舰艇的毁伤概率。由反舰导弹突防过程可知：

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

式中 p_{ij} 为第 i ($0 < i \leq N$) 个平台上单枚反舰导弹毁伤概率。

所有平台上的反舰导弹对第 j 个目标舰艇的毁伤概率为：

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

笔者以多平台目标的毁伤效能最大作为评价多平台反舰导弹编队目标分配方案优劣的指标。目标毁伤收益指标为：

$$\max f(X) = \sum_{j=1}^M v_j p'_j = \sum_{j=1}^M v_j (1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_{ij})^{x_{ij}}). \quad (4)$$

式中 v_j 为第 j 个目标的综合价值。

2.2 约束条件

2.2.1 平台兵力数量约束

单个平台的兵力部署上限一定，即单平台能够部署的反舰导弹数量是一定的。在反舰作战的目标分配中，单平台能出动的反舰导弹数量不能超过该平台所部署的反舰导弹总数。平台兵力数量约束为：

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} \leq S_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

式中： $\sum_{j=1}^M x_{ij}$ 为第 i 个平台分配至所有目标的反舰导弹总数； S_i 为第 i 个武器平台所部署的反舰导弹总数量。

2.2.2 目标覆盖约束

根据实际作战情况，对于舰艇编队中的每个目标舰艇，平台至少要分配一枚反舰导弹进行攻击。同时，为保障攻击效果，各平台同时攻击某一目标舰艇的反舰导弹数量不应超过一定数量。即：

2.2.3 火力资源约束

多平台协同对海突击需要考虑多个平台对所有舰船目标的整体毁伤效果；因此，各平台的反舰导弹分配应尽可能多地覆盖到攻击目标。为避免出现所有导弹攻击效费比最高的目标，应增加火力资源约束，即同时攻击一个舰船目标的反舰导弹数量不应该超出给定阈值。则平台反舰导弹火力资源约束为：

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \leq m \quad \forall j = 1, 2, \dots, M. \quad (7)$$

式中 m 为同时攻击某个舰船目标的反舰导弹数量阈值。

2.3 目标分配规划模型

综合建立的目标函数和约束条件，建立多平台协同对海突击目标分配的非线性整数规划模型如下：

$$\max J = f(X);$$

s.t.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^M x_{ij} &\leq S_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{i=1}^N x_{ij} &\geq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{i=1}^N x_{ij} &\leq m \quad \forall j = 1, 2, \dots, M \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

多平台反舰导弹目标分配的实质是非线性整数规划问题，其计算维度会随着平台和目标数目的增多而成倍增加；因此，笔者采用遗传算法来解决该问题，并对遗传算法的交叉和变异进行自适应设计。

3 改进遗传算法问题求解

3.1 改进遗传算法

传统遗传算法存在未成熟收敛、收敛迟滞等缺陷^[7-8]。为使目标分配模型能够在最短时间内收敛，将传统遗传算法进行改进，对其交叉和变异概率进行自适应设计，即通过动态调整交叉和变异概率使算法快速收敛。改进方法：在进化过程中，随着迭代次数的增加自适应调整交叉变异概率，以此平衡全局搜索和局部开发。设 G 为迭代次数。自适应参数调整如表 1 所示。

表 1 自适应参数调整

调整项	自适应调整方法	调整效果
交叉概率	$(-0.6G+179.7)/199$	交叉概率由 0.9 线性变换至 0.3
变异概率	$(0.4G+19.5)/199$	变异概率由 0.1 线性变换至 0.5

3.2 改进遗传算法流程

改进的遗传算法执行步骤如下:

- 1) 初始化种群, 即给种群大小、迭代次数等初始参数赋值。
- 2) 适应度计算。
- 3) 选择。根据适应度大小按君主方案选择个体, 并基于精英保留策略生成新种群。
- 4) 交叉。按自适应交叉概率产生新个体。
- 5) 变异。按自适应变异概率进行变异。
- 6) 判断是否满足终止条件, 若满足, 则结束搜索; 若不满足, 则执行步骤 2)。

4 仿真算例

笔者应用改进遗传算法对 2 个不同场景进行仿真分析。

4.1 仿真算例 1

假设反舰导弹平台数量为 3 个($W_1 \sim W_3$)和 5 个舰船目标($T_1 \sim T_5$), 所有平台共部署反舰导弹 20 枚, 其分布信息如表 2 所示。

表 2 平台反舰导弹信息

平台编号	导弹型号	配备数量
W_1	A	9
W_2	B	6
W_3	C	5

各型号导弹对舰船目标的毁伤概率如表 3 所示。

表 3 反舰导弹毁伤概率

平台编号	W_1	W_2	W_3
T_1	0.67	0.62	0.59
T_2	0.68	0.70	0.63
T_3	0.71	0.65	0.62
T_4	0.55	0.72	0.56
T_5	0.64	0.57	0.72

应用改进自适应遗传算法 (adaptive genetic algorithm, AGA) 进行仿真, 种群规模 100, 进化次数 200, 同时攻击某个舰船目标的反舰导弹数量阈值为 4。仿真结果得出适应度函数最大值为 4.957 7, 对应的目标分配结果如表 4 所示。

表 4 平台反舰导弹目标分配

平台编号	W_1	W_2	W_3
T_1	3	1	0
T_2	2	2	0
T_3	3	0	1
T_4	0	3	1
T_5	1	0	3

从分配结果来看, 每个目标均被攻击, 满足火力覆盖约束。同时攻击某个目标的反舰导弹数量不超过 4 枚, 满足火力资源约束。

自适应遗传算法与标准遗传算法 (SGA) 的最优适应度变化对比如图 1 所示。从图中可以看出: 较标准遗传算法, 自适应遗传算法的收敛速度更快, 解的质量更高, 而且能够更容易地摆脱局部最优解, 达到更优的适应度值。

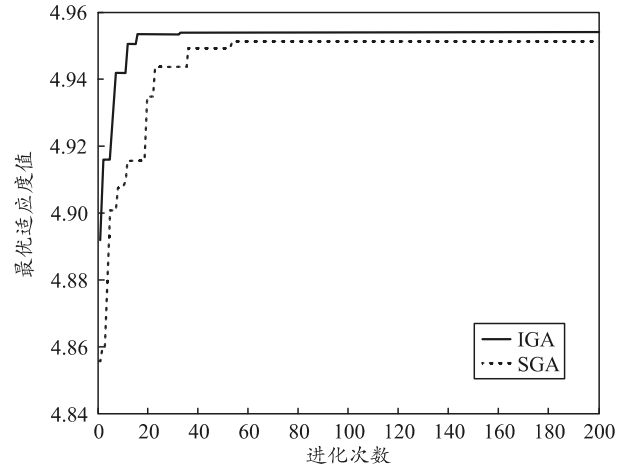


图 1 最优适应度变化曲线

4.2 仿真算例 2

假设反舰导弹平台数量为 7 个($W_1 \sim W_7$)和 10 个舰船目标($T_1 \sim T_{10}$), 所有平台共部署反舰导弹 50 枚, 其分布信息如表 5 所示。

表 5 平台反舰导弹信息

平台编号	导弹型号	配备数量
W_1	A	16
W_2	B	9
W_3	C	7
W_4	D	6
W_5	E	4
W_6	F	4
W_7	G	4

各型号导弹对舰船目标的毁伤概率如表 6 所示。

表 6 平台反舰导弹毁伤概率

平台编号	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
T_1	0.67	0.70	0.71	0.56	0.60	0.58	0.57
T_2	0.52	0.55	0.56	0.58	0.57	0.60	0.58
T_3	0.71	0.65	0.62	0.61	0.62	0.64	0.65
T_4	0.55	0.70	0.56	0.53	0.57	0.58	0.62
T_5	0.64	0.57	0.72	0.70	0.74	0.73	0.76
T_6	0.63	0.60	0.58	0.65	0.62	0.57	0.63
T_7	0.30	0.29	0.32	0.35	0.38	0.36	0.40
T_8	0.50	0.55	0.54	0.60	0.59	0.57	0.62
T_9	0.63	0.68	0.63	0.70	0.72	0.73	0.75
T_{10}	0.54	0.45	0.55	0.54	0.48	0.50	0.51

应用改进自适应遗传算法进行仿真, 种群规模 100, 进化次数 200, 同时攻击某个舰船目标的反舰

导弹数量阈值为 6。仿真结果得出适应度函数最大值为 9.866 2，对应的目标分配结果如表 7 所示。

表 7 平台反舰导弹目标分配

平台编号	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
T_1	4	0	0	0	1	1	0
T_2	1	0	1	1	1	0	0
T_3	3	0	0	1	0	0	1
T_4	3	2	0	0	0	0	1
T_5	1	2	0	0	1	0	0
T_6	2	0	0	1	1	0	0
T_7	1	1	3	0	0	0	0
T_8	0	0	1	2	0	1	2
T_9	0	3	1	0	0	2	0
T_{10}	1	1	1	1	0	0	0

从分配结果来看，每个目标均被攻击，满足火力覆盖约束。同时攻击某个目标的反舰导弹数量不超过 6 枚，满足火力资源约束。

自适应遗传算法的最优适应度变化对比如图 2 所示。

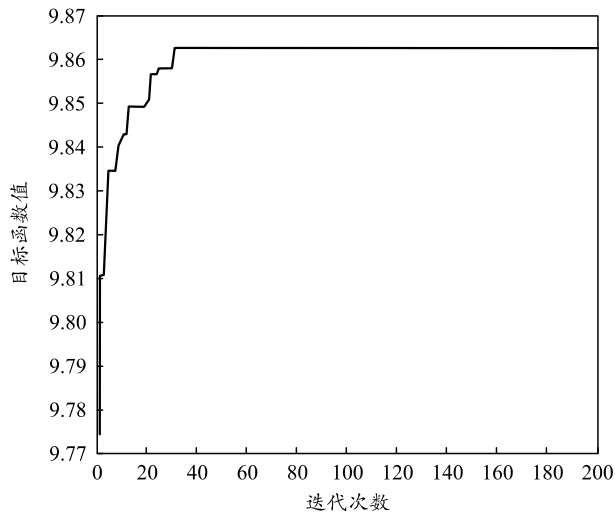


图 2 自适应遗传算法最优适应度曲线

可以看出：改进的自适应遗传算法在搜索能力

上得到了改善，解决了标准遗传算法局部搜索效率较低的缺点。

5 结束语

笔者建立多平台反舰导弹协同对海突击的目标分配模型，以最大毁伤概率为性能指标，同时考虑兵力覆盖、兵力资源等多个约束，利用改进的遗传算法，自适应调整交叉和变异的概率，提高算法的局部搜索能力。仿真结果表明：利用该方法能够得出反舰导弹目标分配的最优方案，且算法的收敛速度得到改善。

参考文献：

- [1] 陈曼. 粒子群算法在舰载武器-目标分配中的研究与应用[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2018.
- [2] 单文昭. 多平台反舰导弹协同土方任务规划方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [3] 曾家有, 刘天庆, 谢宇鹏. 空舰导弹与岸舰导弹协同对海突击火力分配模型[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(6): 163-169.
- [4] 王光源, 陈亮, 寇祥. 基于改进遗传算法的导弹火力分配研究[J]. 兵工自动化, 2012, 31(5): 5-8.
- [5] 曾家有, 王伟, 谢宇鹏. 多阵地岸舰导弹突击舰艇编队的火力分配模型[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(6): 28-30.
- [6] 梁俊, 戚振东, 张勇. 多弹型常规导弹协同目标分配问题研究[J]. 信息工程大学学报, 2020, 21(4): 509-512.
- [7] 许鹏程, 舒健生, 武健. 基于改进遗传算法的联合防空目标分配优化[J]. 舰船电子工程, 2020, 40(11): 30-34.
- [8] 杨进帅, 李进, 王毅. 改进遗传算法求解防空作战 WTA 问题[J]. 空军工程大学学报, 2017, 18(4): 93-98.