

doi: 10.7690/bgzdh.2024.06.018

# 陆战场多通道工程保障任务分配方法

孙鹏耀, 黄炎焱, 王鸿轩

(南京理工大学自动化学院, 南京 210094)

**摘要:** 为解决陆战场多通道工程保障任务分配问题, 提出基于改进遗传算法的任务分配方法。以任务完成时间等要素为优化目标, 并考虑任务执行顺序等约束, 构建工程保障任务分配模型; 在遗传算法中加入爆炸算子, 并结合多维动态列表调度的贪心分配思想进行算法改进, 形成任务分配方法; 基于作战案例进行仿真实验, 通过任务分配方法进行方案求解以验证该方法的有效性和优越性。

**关键词:** 工程保障; 任务分配; 遗传算法

**中图分类号:** TJ07 **文献标志码:** A

## Task Allocation Method for Multi-channel Engineering Support in Land Battlefield

Sun Pengyao, Huang Yanyan, Wang Hongxuan

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of multi-channel engineering support task allocation in land battlefield, a task allocation method based on improved genetic algorithm is proposed. Taking the task completion time and other elements as the optimization goal, and considering the task execution order and other constraints, the engineering support task allocation model is constructed; the explosion operator is added into the genetic algorithm, and the algorithm is improved by combining with the greedy allocation idea of the multidimensional dynamic list scheduling to form the task allocation method; simulation experiments are carried out based on the combat cases, and the solution is solved by the task allocation method to verify the effectiveness and superiority.

**Keywords:** engineering support; task allocation; genetic algorithms

### 0 引言

在陆域作战中, 必须进行合理的工程保障任务分配以提高工程分队开辟军事通道的效率。目前在任务分配领域以存在使用群智能算法等方法进行问题求解的研究<sup>[1-3]</sup>, 其中遗传算法是一种高效的任务分配方法<sup>[4]</sup>, 但其存在容易“早熟”等问题<sup>[5]</sup>; 因此, 笔者设计了一种基于改进遗传算法的任务分配方法来进行任务方案求解。

### 1 工程保障任务分配模型

#### 1.1 问题描述

工程保障任务分配问题可描述为: 在某作战中需调配多种类型的工程保障分队完成各项工程保障任务, 以开辟军事通道。其中工程任务构成集合  $T=\{T_1, T_2, \dots, T_{N^T}\}$ ; 工程分队构成集合  $W=\{W_1, W_2, \dots, W_{N^W}\}$ ; 分队携带的工程装备构成集合  $R=\{R_1, R_2, \dots, R_{N^R}\}$ 。

#### 1.2 作战地理-任务顺序复合网络模型

工程保障任务的执行受以下 2 种要素影响:

1) 任务地理位置。通道上位置相近的工程任务所在区域可看成任务工作区。当某个分队想要执行某工程任务时, 必须先到达目标任务所在工作区地点。

2) 工程保障任务执行顺序。对于属于相同任务工作区的工程保障任务而言, 各任务可能需按照特定的顺序来执行。

通过如图 1 所示的作战地理-任务顺序复合网络图对任务间的关系进行表征。在位置关系上, 认为工作区  $ws_{1,1}$  内的任务  $T_1, T_2, T_3$  均位于  $(x_{1,1}, y_{1,1})$  处。在任务顺序关系上, 任务  $T_6$  的前置任务为  $T_4, T_5$ , 代表只有当  $T_4, T_5$  均完成后,  $T_6$  才能开始执行。

#### 1.3 任务方案模型

对于工程保障分队  $W_k$ , 定义其任务执行序列为:

$$T_k^X = \{T_{k,1}^X, T_{k,2}^X, \dots, T_{k,X(k)}^X\} \quad (1)$$

式中  $T_{k,i}^X$  为  $W_k$  第  $i$  个执行的任務, 则一个任务方案 (Plan) 可表示为:

$$\text{Plan} = \{T_1^X, T_2^X, \dots, T_{N^W}^X\} \quad (2)$$

收稿日期: 2024-02-14; 修回日期: 2024-03-14

第一作者: 孙鹏耀 (1995—), 男, 江苏人, 博士。

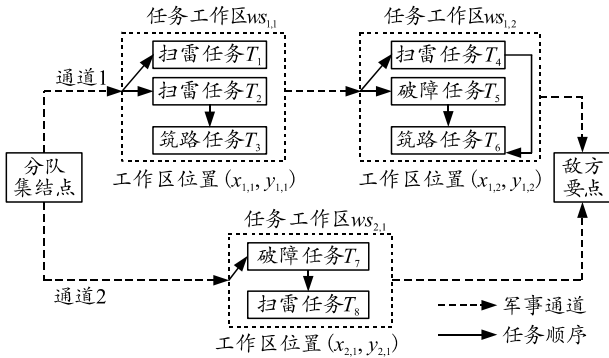


图 1 作战地理-任务顺序复合网络

1.4 目标函数

笔者从任务完成总用时  $f_1$ , 平均资源冗余率  $f_2$ , 平均分队闲置率  $f_3$  构建目标函数:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \max_{1 \leq i \leq N^T} \left( t_i^{ks} + t_i^{zx} \times \max_{1 \leq l \leq N^R} \left( r_{i,l}^T / \sum_{W_k \in W^{T(i)}} r_{k,l}^W \right) \right) \\ f_2 &= \left( \sum_{i=1}^{N^T} \left( \left( \sum_{l=1}^{N^R} \sum_{W_k \in W^{T(i)}} r_{k,l}^W - \sum_{l=1}^{N^R} r_{i,l}^T \right) / \sum_{l=1}^{N^R} \sum_{W_k \in W^{T(i)}} r_{k,l}^W \right) \right) / N^T \\ f_3 &= \left( \sum_{i=1}^{N^W} \left( \sum_{T_i \in T_k^x} (t_i^{ks} - t_{i,k}^{dd}) / t_k^z \right) \right) / N^W \end{aligned} \right\} (3)$$

式中:  $W^{T(i)}$  为执行  $T_i$  的分队集合;  $t_i^{zx}$  为  $T_i$  基本执行时间;  $t_i^{ks}$  为  $T_i$  开始时间;  $r_{i,l}^T$  为  $T_i$  对装备  $R_l$  的需求件数;  $r_{k,l}^W$  为  $W_k$  携带装备  $R_l$  的件数;  $t_{i,k}^{dd}$  为  $W_k$  到达  $T_i$  所在位置的时间;  $t_k^z$  为  $W_k$  执行的最后一项任务的完成时间。

最终设定目标函数  $f$  如下:

$$\min f = \alpha_1 f_1 / f_1' + \alpha_2 f_2 + \alpha_3 f_3. \quad (4)$$

式中:  $f_1'$  为作战设置的最差任务完成时间;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  为 3 项指标权重系数, 且  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ 。

2 基于改进遗传算法的任务分配方法

笔者提出一种改进遗传算法进行任务方案求解。通过在遗传算法中加入爆炸算子并结合多维动态列表调度中贪心分配的思想来提升算法效果。

2.1 染色体编码

染色体编码如图 2 所示。染色体第  $i$  列代表了任务  $T_i$  的相关信息, 染色体第 1 维代表任务优先级, 第 2 维代表执行任务的分队的二进制表示。

2.2 算法要素

2.2.1 基于多维动态列表调度的个体求解与改造

算法在每次迭代时随机选择种群中部分个体, 借鉴 MDLS 算法进行任务分配, 步骤概述如下:

STEP 1: 将染色体第 1 维任务优先级作为 MDLS 算法中进行任务选择的优先级, 并为各分队随机赋予分队优先级。

STEP 2: 调用 MDLS 进行任务分配生成方案。

STEP 3: 根据任务方案重置染色体第 1 维, 任务开始时间越早第 1 维数值越低, 即优先级越高; 并根据执行各任务的分队情况重置染色体第 2 维, 最终用完成改造的新染色体代替种群中原先染色体。

任务优先级:	3	1	2	6	4	5	8	7
分队选择:	2	6	14	5	4	1	12	5

图 2 染色体编码

2.2.2 爆炸操作

算法每次迭代时, 从种群中随机选择  $N^{ran}$  个染色体作为烟花个体进行爆炸操作, 并将新产生的个体加入种群中。针对爆炸操作设计了以下 2 种策略, 每次进行个体爆炸时, 随机选择其中一种。

1) 交叉变异策略。具体为在个体编码中随机选择 2 个基因点, 对两点之间基因片段进行交叉变化。

2) 随机变异策略。具体为在个体编码中随机选择 2 个基因点, 对两点之间基因片段进行随机变化。

3 案例分析

3.1 战场分队/任务信息

3.1.1 分队信息

假定某作战中共有 12 支工程保障分队执行任务, 分队包含筑路、破障、扫雷和筑营 4 种类型, 每个分队各携带 3 种工程装备, 分队信息如表 1 所示。

3.1.2 任务信息

战场形式的作战地理-任务顺序复合网络图如图 3 所示, 任务开始时, 所有分队都位于分队集结点(20, 30)。通道上各个任务工作区的地理位置信息如表 2 所示, 通道上 4 类任务详细信息如表 3 所示。

3.2 实验结果分析

基于案例分别使用传统 GA、带有爆炸算子的改进 GA(improved genetic algorithm, IGA) 和本文中设计的结合多维动态列表的改进 GA(improved genetic algorithm with MDLS, MDLS-IGA) 进行问题求解。其中规定最差任务完成时间  $f_1'$  为 360 min, 且指挥员设定目标函数权重为  $\alpha_1=0.5$ ,  $\alpha_2=0.25$ ,  $\alpha_3=0.25$ 。

表 1 分队信息

km/h

筑路分队编号	工程装备携带件数			速度	扫雷分队编号	工程装备携带件数			速度
	$R_1$	$R_2$	$R_3$			$R_7$	$R_8$	$R_9$	
1	8	6	3	27	7	5	6	10	24
2	5	6	5	24	8	7	9	5	30
3	4	6	7	24	9	9	5	8	30
破障分队编号	工程装备携带件数			速度	筑营分队编号	工程装备携带件数			速度
	$R_4$	$R_5$	$R_6$			$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{12}$	
4	8	5	7	30	10	5	8	4	30
5	6	9	5	35	11	7	6	6	35
6	5	5	5	30	12	8	5	8	27

表 2 通道任务工作区域信息

km

通道	区域 1	位置	区域 2	位置	区域 3	位置	区域 4	位置
$ws_1$	1-1	(23, 40)	1-2	(28, 48)	1-3	(33, 40)	/	/
$ws_2$	2-1	(21, 30)	2-2	(24, 32)	2-3	(30, 35)	2-4	(35, 25)
$ws_3$	3-1	(27, 5)	3-2	(30, 10)	3-3	(35, 20)	/	/

表 3 任务信息

min

筑路任务	工程装备需求件数			工作区	基本执行时间	扫雷任务	工程装备需求件数			工作区	基本执行时间
	$R_1$	$R_2$	$R_3$				$R_7$	$R_8$	$R_9$		
5	8	8	8	1-3	35	5	10	10	5	1-1	65
14	10	7	7	2-3	45	14	10	10	7	1-2	40
15	5	6	5	2-3	45	15	10	10	7	2-1	40
16	7	5	9	2-4	50	16	9	9	7	2-1	50
19	6	8	5	3-1	40	19	5	5	5	2-2	50
22	9	5	9	3-3	40	22	5	5	5	3-2	45
破障任务	工程装备需求件数			工作区	基本执行时间	筑营任务	工程装备需求件数			工作区	基本执行时间
	$R_4$	$R_5$	$R_6$				$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{12}$		
1	5	5	5	1-1	35	6	5	5	4	1-3	30
4	8	10	8	1-2	65	13	13	8	7	2-2	35
7	8	10	8	2-1	30	21	8	14	8	3-2	50
10	5	5	5	2-1	50	23	10	10	10	3-3	30
12	8	5	7	2-2	45						
17	10	14	7	2-4	45						
18	8	9	7	3-1	45						

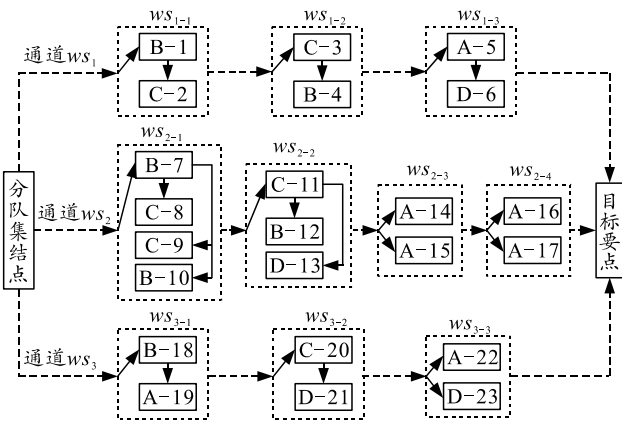


图 3 战场形式的作战地理-任务顺序复合网络

基于以上条件对案例进行 30 次实验, 所得平均最优目标函数迭代曲线如图 4 所示。从实验迭代曲线可看出, IGA 和传统 GA 相比, 无论是在收敛速度上还是最终结果上都能取得更好的效果, 因为爆炸算子增大了算法跳出局部最优的概率。而 MDLS-IGA 相比于 IGA, 又进一步得到了效果提升, 因为算法在每次迭代时对部分个体进行改造, 增加种群多样性并增大了生成优质个体的概率。

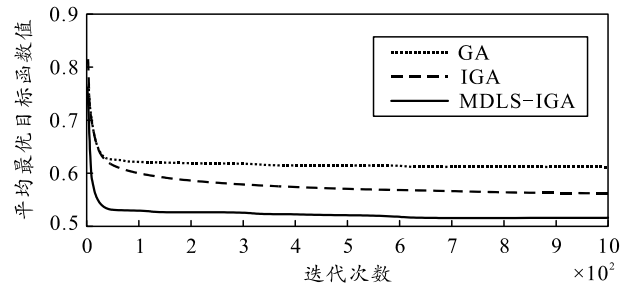


图 4 平均最优目标函数迭代曲线

#### 4 结束语

笔者针对陆域工程保障任务分配问题的特点建立了任务分配模型, 并提出了一种基于改进遗传算法的任务分配方法来对此模型求解。基于某作战想定案例进行了仿真实验, 结果验证了任务分配方法的有效性与可行性。

#### 参考文献:

[1] 王东, 全勇, 杨洋, 等. 基于能力的工程保障任务分析方法[J]. 兵工自动化, 2023, 42(4): 7-12.