

基于蚁群算法的试飞场务资源决策支持算法研究

马 腾

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723213

摘 要：本文针对飞机在试飞阶段各类任务开展过程中对有限场务资源动态调配的需求，首先，简要叙述了试飞现有模式，结合资源调配需求，对参数进行设计，明确了目标函数和约束条件，在此基础上，利用蚁群算法建立试飞场务资源决策支持算法模型，最后，利用Matlab软件进行了仿真试验，验证了算法可行性和正确性，表明该算法对于优化试飞场务资源调配、提高任务完成效率起到了良好效果。

关键词：场务资源决策支持；试飞；蚁群算法

引言：试飞是飞机生产交付过程中极为重要的环节，也是飞机生产制造的末端环节，其中地面调试、试飞、定期维护等各阶段均需要场务资源给予保障，目前场务资源的分配完全依靠人员沟通协调，随着生产交付任务逐年增加，现有模式使得资源只能忙于应付任务，成本成为最不考虑的因素之一。在高效能和低成本要求，以及临时任务的增加和资源突发故障等不确定事件的出现，不可能仅通过依靠增加资源数量解决问题，必然面临任务与资源之间一对多的情况，因此，提高资源利用率成为了当前迫在眉睫的重点。

蚁群算法是意大利学者Dorigo等通过模拟蚂蚁寻觅食物的过程而提出了一种智能算法，在没有任务提示的情

况下，蚂蚁可以通过蚁群释放在路径上的分泌物找到从巢穴到食物源的最短路径，若路径上出现障碍物或其他突发情况，蚁群还可以适应性地搜寻到新的最优路径，具有强鲁棒性、分布式计算、记忆性能、正反馈性等特征，由于蚁群算法在解决复杂组合优化问题上的优势。因此，本文提出利用蚁群算法构建了一种面向试飞的场务资源辅助决策算法，旨在解决可变任务下的试飞场务资源调配问题。

1 参数及约束设计

如图1所示，试飞由若干停机区域组成，各区域内飞机在固定停机位停放，各飞机在各阶段内需要完成的任务不只是一个。

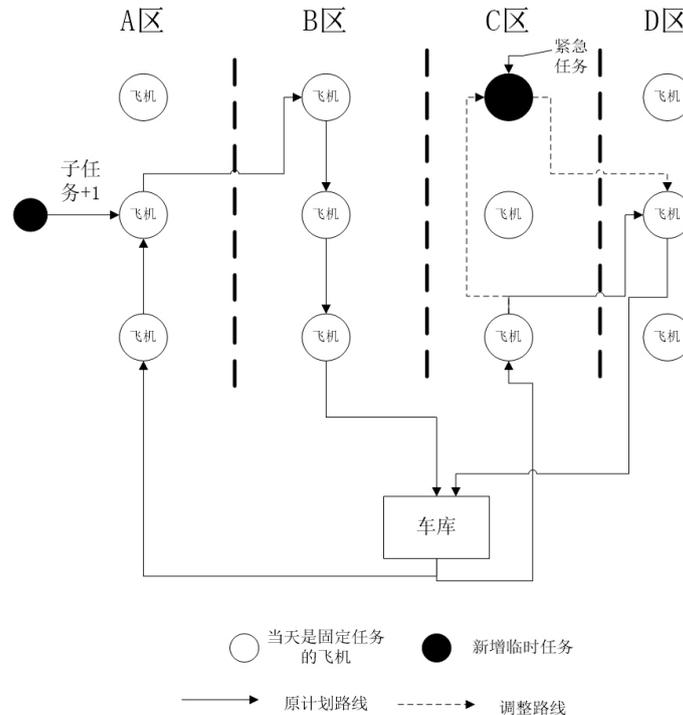


图1 试飞场务资源调度示例图

一般情况下，一个资源完成一架机对应的任务后再完成另一架机，因此，一架飞机当天涉及的任务可忽略不计，当成整体，设为一个任务组，各架机之间无耦合关系，当某架机生产任务紧急时，也会存在一定的先后顺序关系。

因此，试飞场务资源调配实际上是动态调度问题，它包含静态部分和动态部分。其中，静态部分主要包含两点：①存在固定任务，②资源需求信息和现有资源信息均已知；动态部分也包括两点：①临时性新增任务不确定，②新增任务时间是不确定的。^[2]

1.1 参数设计

以某一种车辆为例。

(1) 集合

①资源集：设 $K \triangleq \{1, \dots, K_a\}$ 代表场务资源集合，其中 $k \in K$ 为场务资源标识， K_a 为该资源数量。

②任务集：设 $J \triangleq \{1, \dots, J_e\}$ 代表任务组集合，其中 $j \in J$ 为任务组标识， J_e 为任务组数量。

③有向弧集：设 $A = \{(i, j) | i \neq j \in J\}$ 代表有向弧集合，当 $A = 1$ 时表示任务组 j 要在任务组 i 完成之后才能开始。

(2) 参数

① v ：车辆平均行驶速度；

② T_{ik} ：资源 k 完成第 i 组任务所需时间；

③ β_i ：第 i 组任务需求资源紧急程度系数，且其值越大表示需求资源越紧急；

④ d_{ij} ：第 i 组任务和第 j 组任务之间的路径长度；

⑤ α_{ij} ：第 i 组任务和第 j 组任务之间的路径可靠系数， $\alpha_{ij} > 1$ 且其值越大表示路径可靠性越高；

⑥ t_{ij} ：任务组 i 和第 j 组任务组之间的时间，即 $t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v}$ ；

⑦ M_j ：任务组 j 的需求量；

(3) 变量

$$\chi_{i,j}^k = \begin{cases} 1, & \text{场务资源}k\text{完成任务}i\text{后} \\ & \text{执行任务}j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$\chi_f = \begin{cases} 1, & \text{第}f\text{组任务派车} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{任务组由场务资源}k\text{完成} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

1.2 目标函数模型及相关约束

在设计模型之前，作如下假设：

(1) 明确一个任务组使用1台某型场务资源即可全部完成；

(2) 场务资源均是从车库出发，最终必须回到车库；

(3) 一天一台场务资源使用时间 ≤ 12 ；

(4) 任务对资源的需求量不超过资源总数；

(5) 规定当场务资源到达某一飞机，则必须完成该架机任务，任务完成后，立刻离开该架机，前往下一架机；

(6) 如临时增加额外任务，且尚无场务资源的，则规定由路径最近的场务资源完成临时性任务；

(7) 该架机任务完成后，所在的场务资源前往未有场务资源的路径最近的飞机；

(8) 某架机任务特别紧急时，可优先开始；

(9) 场务资源为匀速行驶。

建立以保证路径最少、场务资源使用数最少的目标函数，分别如公式(1)和(2)所示。

$$\min y_1 = \sum_{k=1}^{K_a} \sum_{i=0}^{J_e} \sum_{j=0}^{J_e} \chi_{i,j}^k \cdot d_{ij} \quad (1)$$

其中 y_1 为路径最少。

$$\min y_2 = \sum_{k=1}^{K_a} \sum_{j=1}^n \chi_{i,j}^k \quad i=0 \quad (2)$$

其中 y_2 为场务资源使用数。

其约束条件为：

$$\sum_{k=1}^{K_a} y_{ik} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^{J_e} \sum_{k=1}^{J_e} \chi_{0ik} = \sum_{j=0}^{J_e} \sum_{k=1}^{J_e} \chi_{j0k} \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^{J_e} \sum_{i=0}^{J_e} \chi_{i,j}^k (T_{ik} + t_{ij}) \leq 12 \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^{J_e} M_j y_{jk} \leq K_a, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j=0}^{J_e} \chi_{i,j}^k = y_{ik}, \quad k \in A, \quad j \neq i, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{q=0}^n L_{iq} \chi_{i,q}^k \leq \min \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n L_{ij} \right) \quad (8)$$

$$\max \left(\sum_{i=1}^{J_e} (\beta_i \cdot \chi_i) \right) = \chi_1 \quad (9)$$

2 算法实现

要实现目标函数且满足上述约束条件，基于蚁群算法的解决思路主要注意以下几点：

①建立禁忌表 tabu_k ($k = 1, 2, \dots, m$)，记录蚂蚁 k 当前所走过的任务组点（即飞机），集合随着 tabu_k 进化过程作动态调整。当蚂蚁 k 走过某一任务组点 i ，即将该点放到禁忌表中，不允许该蚂蚁在这次路径中再经过该任务组 i ；^[1]

②在搜索过程中，蚂蚁根据各条路径上的信息量及路径的启发信息来计算状态转移概率，即公式(10)所示。

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (10)$$

其中, $P_{ij}^k(t)$ 表示在t时刻, 蚂蚁k由任务组i转移到任务组j的状态转移概率; $allowed_k = \{C - tabu_k\}$ 表示蚂蚁k下一步允许选择的任务点, 信息启发式系数 α , 且 $\alpha \in (0,1)$ 、期望启发式系数 β , 且 $\beta \in (0,1)$, $\eta_{ij}(t)$ 为启发函数, 如公式(11)所示。

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}} \quad (11)$$

t+n时刻在路径(i, j)上的信息量按公式(12)进行调整。

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (12)$$

其中, ρ 表示信息素的挥发系数, $\Delta\tau_{ij}(t)$ 表示本次循环中路径(i, j)上的信息素增量, 如公式(13)所示。

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \frac{Q}{L_k} \quad (13)$$

其中, Q为信息素强度, L_k 为蚂蚁k在本次循环中的路径长度。

③当迭代得出最优解后, 计算整个路径所完成的任务组数量 J_e 及总时间, 如果总时间不超过12小时, 即可认定为最优路径; 如果总时间超过12小时, 则约定选取前11个小时所包含的任务组X, 则该最优解即为第一台场务资源完成任务组X的最短路径;

④对于③中未包含的剩余任务组 \bar{X} , 则由第二台场务资源负责, 剔除掉其他飞机, 对剩余任务组 \bar{X} 进行蚁群算法, 同样建立禁忌表 $tabu_m$, 按①~③计算出最优解; 依次类推, 直到任务全部分配完。

每次求解最优路径的步骤如下:

- ①设置初始信息素和参数;
- ②计算转移概率, 确定下一任务组j, 并将j放入 $tabu_k$ 矩阵中;
- ③评估运行路径, 同时, 对信息素进行局部更新;
- ④判断 $tabu_k$ 是否已满, 如果满了, 清空禁忌表, 得

出最佳路径序列列表。

3 仿真与分析

采用Matlab软件开展仿真试验, 设置 $\alpha = 0.7$, $\beta = 0.2$, $\rho = 0.01$, $Q = 200$ 。取飞机重心所在坐标为任务组坐标。

假设某日共有5架飞机需要开展任务, 其中第一架飞机停放在A2机位, 当日任务数5个, 耗时160分钟; 第二架飞机停放在A4机位, 当日任务数3个, 耗时90分钟; 第三架飞机停放在B1机位, 当日任务数3个, 耗时140分钟; 第四架飞机停放在C4机位, 当日任务数6个, 耗时170分钟; 第五架飞机停放在D1机位, 当日任务数2个, 耗时30分钟。^[3]

按照蚁群算法得出优化路径与路径长度如图2所示。

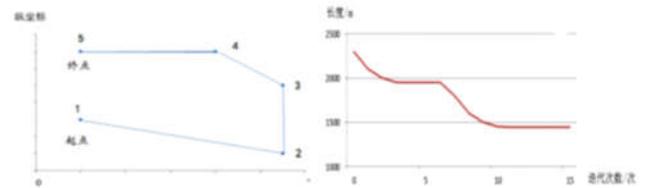


图2 最优路径与路径长度

结语

针对试飞场务资源分配问题, 结合蚁群算法的思想, 提出了目标函数模型和约束条件, 并设计了基于蚁群算法的场务资源辅助决策算法。通过试验验证了该算法的正确性和可行性, 由试验结论分析可知, 通过蚁群算法, 资源分配更合理。虽然本文提出了一种解决场务资源分配的合理方法, 但也存在算法效率不够高的问题, 需要后续开展研究。

参考文献

- [1]刘志虎.基于改进蚁群算法的柔性车间调度研究[D].芜湖市: 安徽工程大学,2016,26-32.
- [2]文志强,何宇晨.基于蚁群算法的多Agent任务分配方法[J].湖南工业大学学报,2012,26(4):92-93.
- [3]曹如月,李世超,季宇寒等.基于蚁群算法的多机协同作业任务规划[J].农业机械学报,2019,50(增刊):34-36.