

# 电磁环境下的多无人机侦察区域分配

李超 陈若愚 张夏雷 岳源

(中国民用航空飞行学院 航空工程学院 四川 广汉 618307)

**摘要** 无人机集群协同完成侦察任务是未来的主要作战方式,如何进行多无人机多侦察区域分配是亟待解决的重要课题。基于电磁情况的环境模型,建立了多无人机多侦察区域的分配模型,最后通过分配算例,验证了模型良好可用性和广泛适用性。

**关键词** 无人机集群;优势矩阵;改进粒子群算法

中图分类号: V271.4, E926

文献标识码: A

文章编号: 1672-545X(2020)03-0182-02

## 0 引言

随着航空科技的发展与军事需求的推动,无人机集群已经被运用到战场中执行搜索侦察任务<sup>[1]</sup>。其首要问题是获取复杂的战场区域信息。现有文献都没有考虑搜索区域是分散的情况<sup>[2-3]</sup>,而实际中无人机集群面临的作战区域往往是分散的。

本文在考虑无人机侦察能力、抗干扰能力的基础上建立了多无人机对多分散区域侦察的分配模型。通过基于自适应权重的离散粒子群算法对模型进行了求解。

## 1 侦察区域收益矩阵建模

无人机集群作战的环境往往是复杂的,影响无人机集群完成任务的因素主要是复杂的电磁环境。因此要基于电磁环境建立收益矩阵与代价矩阵,并以此为基础进行无人机对目标区域的分配。

### 1.1 复杂电磁环境

复杂电磁环境主要指在该侦察区域中,无人机数据传输受到电磁干扰。

遇到侦察区域的电磁干扰时,能否进行正常的侦察行为取决于无人机数传和图传功率与干扰源功率之比。

$$A = \frac{P_{dr}}{P_i} \frac{P_{ts}}{P_i} \quad (1)$$

式中:  $A$  表示无人机克服电磁干扰的能力,  $P_{dr}$ 、 $P_{ts}$ 、

$P_i$  分别为无人机数传功率、图传功率、干扰源功率。

### 1.2 收益矩阵

定义矩阵  $E_{ij}$  为无人机  $i$  对目标  $j$  的优势矩阵,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为权重,  $\lambda_1 = 0.6$ ,  $\lambda_2 = 0.4$ 。

$$E_{ij} = \lambda_1 R_{ij} + \lambda_2 A_{ij} \quad (2)$$

$$R = \frac{v \cdot 2h_u \frac{\tan \gamma_s}{\tan \alpha_s} \sqrt{1 + (\tan \alpha_s)^2}}{S_T} \quad (3)$$

式中:  $h_u$  为无人机巡航高度,  $\gamma_s$  为视场角,  $\alpha_s$  为传感器安装角,  $v$  为无人机巡航速度,  $S_T$  为侦察区域的面积。

定义矩阵  $C_1$  为多无人机协同侦察过程收益矩阵,来源于无人机相对于侦察区域的优势和侦察区域价值的乘积,可以采用下式计算:

$$C_1 = EV^T \quad (4)$$

### 1.3 代价矩阵

定义矩阵  $C_2$  为多无人机协同侦察过程中的燃油消耗代价,可以采用下式计算:

$$C_2 = \left( \frac{S_T}{vd_s} \right) \eta \quad (5)$$

式中:  $S_T/vd_s$  为无人机避障时需要的时间,  $\eta$  为单位时间的无人机燃油消耗率。

### 1.4 目标函数

由于无人机和目标区域数量的不同,模型形式也有所区别,其中对于  $M \geq N$  无人机集群对侦察区域的分配问题可以建模如下,取  $\omega_1 = 0.4$ ,  $\omega_2 = 0.6$

$$J = \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\omega_1 C_1 + \omega_2 C_2) X_{ij}$$

收稿日期: 2019-12-14

基金项目: 1.中国民用航空局民航教育类人才项目资助(14002600100017J173) 2.中国民航飞行学院大学生创新创业训练项目,编号为 201810624048

作者简介: 李超(1997-),男,山西屯留县人,在读本科生,研究方向为: 无人机集群。

$$\left\{\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 &= 1 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} &= m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= 1 \\ x_{ij} &\in \{0, 1\} \end{aligned}\right. \quad (6)$$

1.5 离散粒子群算法

在任务分配的求解问题中，变量的取值是离散的，所以解决非连续的优化问题要利用离散粒子群算法(DPSO 算法)进行优化。在优化过程中必须进行变量的离散化：

具体流程如下：

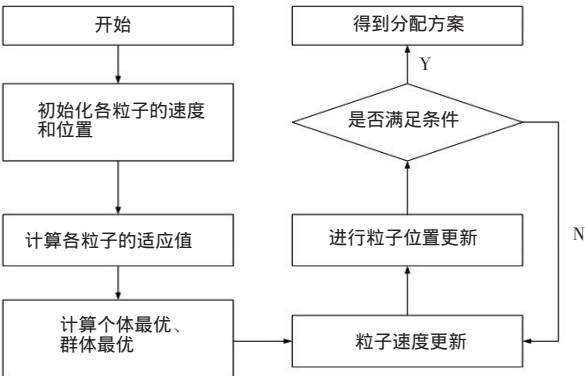


图 1 自适应离散粒子群算法流程

2 计算与分析

设定 动用 4 架无人机进行 4 个区域侦察。已知目标区域参数、无人机载荷参数分别如表 1、2 所示。无人机侦察示意图如图 2 所示。

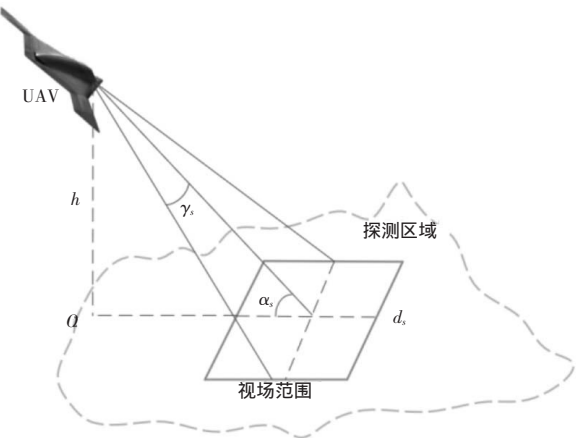


图 2 无人机侦察视场模型

表 1 目标区域参数表

目标	T1	T2	T3	T4
目标面积	400	800	500	600
价值	0.7	0.8	0.75	0.6
干扰功率	2	3	0.7	4

表 2 无人机参数表

无人机	U1	U2	U3	U4
速度/(m/s)	70	80	100	90
高度/m	400	500	600	700
安装角	45	50	55	60
俯仰角	10	15	20	25
数传功率	1	0.8	0.5	0.6
图传功率	1.2	0.5	0.6	0.7
油耗率	0.1	0.05	0.03	0.6

通过200 步迭代 ,计算出适应度值为 2.8197。得到分配结果为 U1-T3 ,U2-T1 ,U3-T4 ,U4-T2。可以看出，采用自适应权重离散粒子群算法能够快速稳定地找到最优分配方案，有效地解决多约束条件下的多无人机协同任务分配问题，且目标的分配结果满足了诸多约束规则 ,经过进化算法 ,优化目标是可以收敛的。

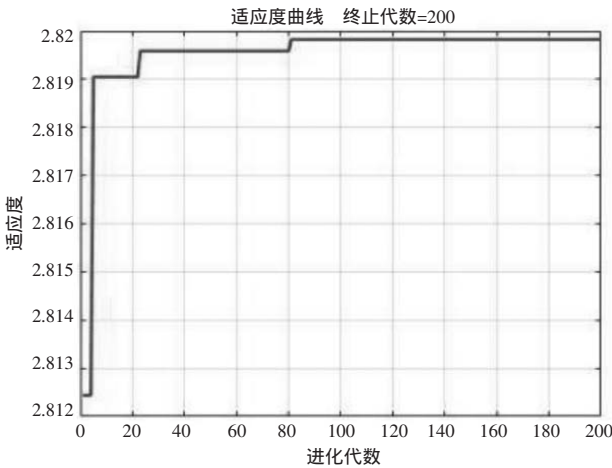


图 3 计算结果

3 结论

本文针对分布式多无人机协同体系进行了分析 ,并在此基础上建立任务目标分配模型 ,贴合分布式多无人机协同的实际。

参考文献：

[1] 张洋,谭健美,朱家强. 美国空军未来 25 年无人机系统路线图解析[J]. 飞航导弹 ,2015 ,12(01) :54-57.  
[2] 孙健,刘慧霞,席庆彪. 基于改进粒子群算法的多 UAV 协同侦察任务规划[J]. 现代电子技术 ,2012 ,35(7) :12-15 ,18.  
[3] 苏菲,陈岩,沈林成. 基于蚁群算法的无人机协同多任务分配[J]. 航空学报 ,2008 ,29(S1) :184-191.

(下转第 194 页)

### 3.2 优化后车架刚度计算

综合考虑,选择对中桥处横梁、中桥处上、下连接板进行加强、下弯梁进行更改。优化前后车架扭转刚度和弯曲刚度对比如表2所示。

表2 优化前后车架刚度对比

零件名称	零件厚度/mm		扭转刚度/(mkN·m)			弯曲刚度/(kN/mm)		
	更改前	更改后	更改前	更改后	变化率	更改前	更改后	变化率
中桥处横梁	5	7						
中桥处上连接板	6	8	127.4	135.3	6.2%	10.9	11.6	7.0%
中桥处下连接板	6	8						
下弯梁	5	8						

优化后车架扭转刚度提升了6.2%,弯曲刚度提高了7.0%,但车架重量只增加了1.1%。

## 4 结论

为提升某重型牵引车车架刚度,通过采用灵敏度分析,并提出相对灵敏度,建立车架有限元模型,通过计算分析找出了各零部件相对车架扭转刚度、弯曲刚度的灵敏度。结果表明中桥处下连接板、下角铁板、中桥处上连接板、尾梁连接板和变速处横梁下连接板对车架扭转刚度影响最大,下弯梁、变速处横

梁上连接板、加强板、变速处横梁下连接板、变速处横梁对车架弯曲刚度影响最大。综合考虑,最终通过增加中桥处横梁、中桥处连接板、下弯梁厚度后,使得车架扭转刚度提升了6.2%,车架弯曲刚度提升了7.0%,而车架质量只增加了1.1%。本文通过采用灵敏度分析方法可以快速找到对车架刚度影响较大的零件,提出的相对灵敏度,可以在不增加车架太多重量的同时有效地提高车架刚度,在后续车架优化设计中有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] Ao K, et al. Analysis of Torsional Stiffness Share Rate of Truck Frame, SAE International Truck & Bus Meeting and Expo, Chicago, Illinois [J]. SAE Paper, 1991(11):18.
- [2] 黄显利.卡车的噪声与振动及其控制策略[M].北京:北京理工大学出版社,2018.
- [3] 王珏栋,金磊,洪清泉,等.HyperMesh & HyperView 应用技巧与高级实例[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [4] 陈吉清,兰凤崇.汽车结构轻量化设计与分析方法[M].北京:北京理工大学出版社,2017.
- [5] 雷明准,陈剑,陈心昭,等.灵敏度分析方法在车身轻量化中的应用[J].汽车工程,2009,31(7):683-684.
- [6] 王铁,赵震,陈峙,等.某车架结构基于灵敏度分析的优化设计[J].机械科学与技术,2013,32(4):545-550.

## The Stiffness Research of a Heavy Truck-tractor Frame on Sensitivity Analysis

ZHOU You-ming

(Dongfeng Liuzhou Motor Co., Ltd., Liuzhou Guangxi 545005, China)

**Abstract** In order to study the measures to improve the torsional rigidity of a heavy truck-tractor frame. Establish a finite element model of the truck frame stiffness in HyperWorks software. and given a method of calculating the sensitivity with Optistruct. The sensitivity calculation takes the thickness of truck frame longitudinal beam, cross beam and connecting plate as the design variable, the torsional rigidity and bending stiffness as the constraint, the minimum mass as the goal, find the unit mass sensitivity. The comparative analysis results show that the method can improve the truck frame stiffness at the lowest cost.

**Key words** heavy truck-tractor frame stiffness sensitivity finite element

(上接第183页)

## Reconnaissance Area Allocation of Multiple UAVs in Electromagnetic Environment

LI Chao, CHEN Ruo-yu, ZHANG Xia-lei, YUE Yuan

(School of Aeronautical Engineering, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China)

**Abstract** In the future, UAV swarm cooperating to accomplish reconnaissance mission take is the main way of combat. How to allocate multi-UAV and multi-reconnaissance area is an important problem to be solved. In this paper, upon the environment model of electromagnetic situation, the allocation model of multi-UAV and multi-reconnaissance area is established. At the last, the good usability and wide applicability of the model are verified by the allocation example.

**Key words** UAV swarm probability model bridging model