

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802275

# 基于蝙蝠算法的多无人机协同侦察任务规划

杜健健 万晓冬

(南京航空航天大学 南京 211100)

**摘要:** 多无人机协同侦察规划问题是指多架无人机对多目标进行侦察,以最小化无人机数量和总行驶路径最短为目标构建数学模型进行求解的问题。蝙蝠算法是新兴的群体智能算法,前景广阔,在多领域应用具有显著的效果。针对多无人机协同侦察规划问题,对场景进行编码,利用蝙蝠算法进行求解,并将所得结果与遗传算法和粒子群算法求得的结果进行对比。实验结果表明,在求解多无人机协同侦察任务规划问题时,蝙蝠算法相比遗传算法、粒子群算法,具有更好的稳定性和更快的处理速度。

**关键词:** 无人机;任务规划;蝙蝠算法;智能算法;协同侦察

**中图分类号:** TN959.73    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.70

## Multi-UAV cooperative reconnaissance mission planning based on bat algorithm

Du Jianjian Wan Xiaodong

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Multi-UAV cooperative reconnaissance planning problem refers to the problem that multiple UAVs reconnaissance multi-targets to solve the problem of minimizing the number of UAVs and the shortest total driving path. The bat algorithm is an emerging swarm intelligence algorithm with broad prospects and significant effects in many fields. In this paper, for the multi-UAV cooperative reconnaissance planning problem, the scene is coded, and the bat algorithm is used to solve the problem, and the obtained results are compared with the results obtained by genetic algorithm and particle swarm algorithm. The experimental results show that the bat algorithm has better stability and faster processing speed than the genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm when solving the multi-UAV cooperative reconnaissance mission planning problem.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; mission planning; bat algorithm; intelligent algorithm; synergy reconnaissance

## 0 引言

在战场中,为了解敌情,通常要利用无人机对敌方目标进行侦察。由于单无人机侦察能力有限,通常需要多无人机协同侦察。此时,对无人机的数量、任务、携带的传感器等进行合理分配显得尤为重要,多无人机侦察规划已成为战场作战中的一个关键技术<sup>[1]</sup>。

多无人机侦察规划问题,是指在对多个目标进行侦察时,目标所处的环境、对应传感器的类型、各无人机的续航时间等条件极大影响多无人机侦察的分配方案,如何优化分配无人机分配方案以及各无人机行驶路线,使在多无人机多目标条件下,以尽量少的无人机侦察尽可能多的目标,并且使总飞行距离最短,是目前多无人机侦察规划问题的一个重要研究点。而近年来,越来越多的智能算法被用来

解决多无人机协同侦察问题,如遗传算法、蚁群算法、粒子群算法、鱼群算法等<sup>[2-5]</sup>。

蝙蝠算法是一种新型的仿生类智能算法,2010年由剑桥大学学者 Yang 提出<sup>[6]</sup>。现实中,蝙蝠是通过超声波寻找猎物,而蝙蝠算法正是利用了这一特性,一定数量的蝙蝠随机分布在解空间中,利用蝙蝠不断改变的脉冲频率查找最优解。蝙蝠算法相比于其他智能算法,具有调整参数少、效率高等明显的优势,正逐渐被各领域的学者所使用<sup>[7-11]</sup>。

本文基于可信性理论,对多无人机侦察协同规划问题建立数学模型,利用改进的蝙蝠算法进行求解。

## 1 问题描述与模型

某战场中,假设我方需要侦察敌方  $N(i=1,2,\dots,N)$

个目标,  $i=0$  表示我方基地, 所有侦察的  $k(i=1, 2, \dots, K)$  架无人机需要从我方基地起飞。目标  $i$  到目标  $j$  的距离为  $c_{ij}$ 。在每架无人机性能、侦察资源等允许情况下, 尽可能有效地协同多架无人机对多个任务区进行侦察, 最终获得每架无人机的任务集、侦察序列, 使得无人机对多个待侦察任务区的总侦察收益最大。约束条件如下:

- 1) 每架无人机从基地出发最终需返回基地;
- 2) 由于各目标的环境不同, 因此需满足侦察目标的侦察成像需求, 包括传感器类型与成像分辨率;
- 3) 对各目标最多侦察一次, 若能够执行任务的无人机数目足够多, 对每个目标均侦察一次;
- 4) 必须满足无人机的续航时间约束。

在满足上面约束条件的基础上, 多无人机协同侦察任务规划问题要实现以下优化目标: 多个执行侦察任务的总代价最小, 即在满足对所有目标侦察的前提下, 尽可能少地分配无人机, 同时所有无人机行驶总路线最短。

定义问题的变量为  $y_{ik}, x_{ijk}$ , 含义为:

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{目标 } i \text{ 由无人机 } k \text{ 进行侦查} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{无人机 } k \text{ 由目标 } i \text{ 行驶至目标 } j \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

该问题模型如下:

$$\min t = \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^K y_{0jk} \quad (1)$$

$$\min z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ijk} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1, \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ijk} = y_{jk}, \forall j, k \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk} = y_{ik}, \forall i, k \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \forall S \subset \{1, 2, \dots, N\}, \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} + \sum_{j=1}^N x_{j0k} = 2y_{0k}, \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

其中, 约束(1)、(2)表示最小化无人机数量和总行驶路程最短; 约束(3)~(5)保证每个目标被侦察且只被侦察一次; 约束(6)是消除子回路; 约束(7)表示每架无人机侦察完后必须能返回基地。

## 2 基于蝙蝠算法求解多无人机协同侦察问题

### 2.1 基本蝙蝠算法

蝙蝠算法是通过模拟自然界中蝙蝠的生活习性总结出的算法。蝙蝠依靠回声定位, 先发出一定频率的声波, 根据返回声波的时间差、响度变化来判断猎物的位置<sup>[12]</sup>。

蝙蝠算法中, 第  $i$  只蝙蝠所使用的频率更新方程为:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (8)$$

式中:  $f_{\min}$  和  $f_{\max}$  分别表示蝙蝠搜寻目标时最小和最大频

率;  $\beta$  为服从均匀分布的随机数,  $\beta \in [0, 1]$ 。

第  $i$  只蝙蝠在  $t$  时刻速度为:

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*)f_i \quad (9)$$

式中:  $x_i^t$  表示第  $i$  只蝙蝠在  $t$  时刻所处的位置;  $x_*$  表示所有蝙蝠的最优位置。第  $i$  只蝙蝠在  $t$  时刻位置为:

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (10)$$

在蝙蝠搜索目标的过程中, 可以进行局部搜索, 位置更新方程为:

$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \epsilon A^t \quad (11)$$

式中:  $x_{\text{new}}$  为产生的一个新解;  $x_{\text{old}}$  为当前最优解;  $\epsilon$  为服从均匀分布的随机数,  $\epsilon \in [-1, 1]$ ;  $A^t$  为  $t$  时刻所有蝙蝠的平均响度。

蝙蝠在搜寻目标时, 第  $i$  只蝙蝠  $t$  时刻脉冲响度和发射率变化方程分别为:

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (12)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma \times t)] \quad (13)$$

式中:  $\alpha$  为响度衰减系数, 为常数,  $\alpha \in (0, 1)$ ;  $r_i^0$  为第  $i$  只蝙蝠最大脉冲发射率;  $\gamma$  为脉冲发射率增加系数,  $\gamma > 0$ 。可以得出, 对任意  $\alpha \in (0, 1)$  与  $\gamma > 0$ ,  $\lim_{t \rightarrow \infty} A_i^t = 0$ ,  $\lim_{t \rightarrow \infty} r_i^t = 1$ 。

### 2.2 贪婪算法求得初始解

在群体智能算法中, 合适的初始解的选择可极大提高收敛速度<sup>[13]</sup>。本文采用贪婪算法求得多无人机协同侦察问题的初始解。

从基地开始, 选取距离基地最近的目标, 判断此目标所用传感器类型(同一架无人机所侦察的目标传感器类型要一致), 若加入该目标后路径长度加上该目标到基地的长度小于续航距离, 那么表示该目标可合法加入。

然后选取距离该目标最近的目标, 用同样的方法进行判断, 直到超过续航距离, 表示该目标不可合法加入, 取消加入, 该路径上的点即为一架无人机可以侦察的点。剩余点用同样的方法可以进行初始化分配, 然后可以求得所需最少无人机的数量和每架无人机初始的侦察路径。

### 2.3 蝙蝠算法求解

对于一个有  $N$  个目标的场景, 构造出一个  $2N$  维的空间: 完成该目标侦察任务的无人机编号为  $a$ , 该任务在无人机  $a$  侦察路径中的次序为  $b$ , 将每只蝙蝠所对应的  $2N$  维向量  $X$  分为 2 个  $N$  维向量, 即: 各任务对应的无人机  $X_a$  和各任务在对应的无人机路径中的执行次序  $X_b$ 。

例如: 需侦察目标数量为 7, 无人机分配数量为 3。

目标号码: 1 2 3 4 5 6 7

$X_a$ : 1 2 2 1 3 2 1

$X_b$ : 7 2 1 5 4 6 2

则实际分配方案为:

UAV1: 0 → 7 → 4 → 1 → 0

UAV2: 0 → 3 → 2 → 6 → 0

UAV3: 0 → 5 → 0

具体求解步骤如下:

1)对蝙蝠群体各参数进行初始化根据贪婪算法求得初始解;

2)按上述对方案进行编码,并计算目标函数值  $fitness$ ;

3)根据式(8)~(10),可以求出蝙蝠的一个临时新解  $x_{new}$ 。

4)根据式(11),令蝙蝠局部飞行,对新解进行优化,同时根据式(12)、(13),对蝙蝠的脉冲响度和发射率进行更新;

5)判断新解是否优于当前最优解,由此决定最优解是否更新。

6)判断当前迭代次数是否大于最大迭代次数或是否获得最优解,若未达到最大迭代次数且未获得最优解,重复步骤 4)~6)步。

### 3 仿真实验

场景假设:某战场中,某无人机侦察基地欲对 12 个目标进行侦察,基地  $N_0$  坐标(3,1),12 个目标坐标分别为: $N_1:(1,1)$ ,  $N_2:(1,2)$ ,  $N_3:(1,3)$ ,  $N_4:(1,4)$ ,  $N_5:(3,5)$ ,

$N_6:(3,3)$ ,  $N_7:(4,4)$ ,  $N_8:(4,2)$ ,  $N_9:(5,2)$ ,  $N_{10}:(5,3)$ ,  $N_{11}:(0,4)$ ,  $N_{12}:(5,1)$ 。其中, $N_7$ 、 $N_8$ 、 $N_9$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{12}$  需要用携带传感器 A 的无人机进行侦察,剩下的需要用携带传感器 B 的无人机进行侦察。每架无人机续航里程为 10,速度假定匀速。

本文采用 MATLAB 2016b 分别编写了求解该问题的遗传算法、粒子群算法以及本文提到的蝙蝠算法程序,运行环境:Win7 操作系统,IntelCore5 处理器,2.30 GHz,8 GBRAM。

3 种算法参数设置:

1)遗传算法:群体大小  $N=20$ ,交叉概率  $P=0.5$ ,变异概率  $Pm=0.3$ ,最大迭代次数  $Index=300$ 。

2)粒子群算法:种群大小  $N=20$ ,惯性权重  $\omega=0.5$ ,加速因子  $c_1=c_2=1.5$ ,最大迭代次数  $Index=300$ 。

3)蝙蝠算法:种群大小  $N=20$ , $\alpha=0.6$ , $\gamma=0.7$ ,最大迭代次数  $Index=300$ 。

每种算法各运行 30 次,3 种算法各自解的情况如表 1 所示。

表 1 遗传算法、粒子群算法、蝙蝠算法求解情况

算法	无人机数量	无人机分配方案	最短行驶距离	达到最优解次数	未达到最优解次数	运行 30 次总时间/s
遗传算法	4	Plan1	30.196	19	11	384.3
粒子群算法	4	Plan1	30.196	20	10	339.4
蝙蝠算法	4	Plan1	30.196	28	2	137.1

其中,3 种算法求得的最优分配方案均为 Plan1,Plan1 分配 4 架无人机,具体描述如表 2 所示。

表 2 模拟实验场景对应的最优分配方案

无人机编号	所携带传感器类型	侦察路线
UAV1	A	0-8-9-10-0
UAV2	A	0-12-0
UAV3	B	0-1-2-3-4-11-0
UAV4	B	0-6-5-0

如表 1 所示,运行 30 次的情况下,3 种算法求得的最短行驶距离是一致的。其中,遗传算法与粒子群算法在求得最优解次数方面不相上下,但蝙蝠算法达到最优解次数明显高于另外两种算法,表明蝙蝠算法在多无人机侦察任务的求解较其他两种算法具有更好的稳定性;同时,遗传算法与粒子群算法求得最优解所使用的时间明显多于蝙蝠算法,表明蝙蝠算法在多无人机侦察任务规划问题的求解较其他两种算法更加高效;此外,在 3 种算法的参数整定中,遗传算法与粒子群算法的参数整定较为繁琐,往往不同的参数排列差异非常大,而蝙蝠算法的  $\alpha$  和  $\gamma$  两个参数,取值范围较小,且在实验中发现  $\alpha$  和  $\gamma$  只要取值在 0.5~1 实验效果差异不大,因此蝙蝠算法在工程中更利于

参数整定。综上所述,蝙蝠算法较传统的遗传算法与粒子群算法能够更好地解决多无人机侦察任务规划问题。

### 4 结 论

前人在多无人机协同侦察规划问题研究过程中,大多采用如遗传算法、粒子群算法等<sup>[14-15]</sup>传统的智能算法,并且前人在建模过程中,未采用  $2N$  维建模的方式,模型复杂度较大,不利于智能算法的合理利用。本文针对多无人机协同侦察规划问题,以最小化无人机数量和总行驶路径最短为目标建立了模型,对场景构建了  $2N$  维的向量进行编码,极大降低了模型复杂度,更有利于智能算法的使用。并利用蝙蝠算法进行求解,其所得结果与遗传算法、粒子群算法所得结果进行对比,速度更快,达到最优解次数更多。由此可以得出结论,蝙蝠算法能快速解决多无人机协同侦察规划问题,并且具有较高的稳定性。

### 参考文献

- [1] 田菁.多无人机协同侦察任务规划问题建模与优化技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2007.
- [2] 张浩森,高东阳,白羽,等.基于蚁群算法的多无人机协同任务规划研究[J].北京建筑大学学报,2017,33(2): 29-34,53.

- [3] 谷佳,孙乐,孙佳艺.多无人机协同任务规划的最优路线建模[J].白城师范学院学报,2017,31(4):17-20.
- [4] 倪裕豪,倪国新,孙晓闻.基于云计算的空中编队协同作战研究[J].电子测量技术,2017,40(3):15-19.
- [5] 黄伟民,王亚刚.一种基于蚁群算法的无人机协同任务规划优化算法[J].软件导刊,2017,16(7):131-134.
- [6] YANG X S. A new metaheuristic bat-inspired algorithm[J]. Computer Knowledge & Technology, 2010, 284:65-74.
- [7] 马祥丽,张惠珍,马良.蝙蝠算法在物流配送车辆路径优化问题中的应用[J].数学的实践与认识,2015,45(24):80-86.
- [8] 刘春苗,张惠珍,马祥丽.求解车辆路径问题的离散蝙蝠算法[J].经济数学,2016,33(4):91-95.
- [9] 戚远航,蔡延光,蔡颢,等.旅行商问题的混沌混合离散蝙蝠算法[J].电子学报,2016,44(10):2543-2547.
- [10] 张晓磊,马从安,申晨.物流云服务下基于改进蝙蝠算法的任务调度[J].计算机应用研究,2015,32(6):1676-1679,1697.
- [11] 闵桂龙,端木京顺,张冰,等.军事后勤中的多目标无人机任务规划[J].计算机仿真,2016,33(3):85-89.
- [12] 程春英,刘娜仁.蝙蝠算法的研究进展[J].电脑知识与技术,2016,12(24):187-188,198.
- [13] 宋江迪.群智能算法及其在全局函数优化中的应用研究[D].鞍山:辽宁科技大学,2016.
- [14] 陈侠,胡永新,徐光延.面向多无人机任务分配的二维编码粒子群算法[J].系统仿真学报,2013,25(12):3045-3049,3056.
- [15] 刘广瑞,王庆海,姚冬艳.基于改进人工蜂群算法的多无人机协同任务规划[J].郑州大学学报(工学版),2018,39(3):51-55.

### 作者简介

**杜健健**,硕士研究生,主要研究方向为无人机协同规划。

E-mail: jianrobot@126.com

**万晓冬**,副研究员、硕士生导师,主要研究方向为军事作战仿真技术。

E-mail: wanxd@nuaa.edu.cn