

## 灾情侦测无人机动态航迹规划算法设计

秦玉鑫<sup>1</sup>, 陈宇<sup>1\*</sup>, 乔恒恒<sup>1</sup>, 车子琪<sup>1</sup>, 张公平<sup>2,3</sup>

(1. 郑州航空工业管理学院 智能工程学院, 河南 郑州 450046; 2. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471099; 3. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471099)

**摘要:** 提出了一种应用于灾情侦测无人机的动态航迹规划算法。当突发地震、洪水等重大灾害时, 可第一时间获取灾情环境信息, 并利用无人机携带侦测设备对灾害现场信息、图像进行探测和实时传送。提出了一种基于文化算法框架下的动态航迹规划算法, 首先针对环境中的不同地形进行模型构建, 对丘陵、山峰等障碍物设计相应的函数模型, 构建数字地图, 在该地图模型上进行动态航迹规划, 该航迹规划算法可使无人机在飞行过程中自主规划航迹, 实现超低空飞行, 使信息采集更准确, 有效的辅助救援策略的制定。通过仿真验证, 并与多种算法进行比较, 证明了该算法的可行性与有效性。

**关键词:** 灾情侦测; 无人机; 航迹规划; 动态

中图分类号: T301.6 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA201948.1026003

## Design of dynamic track planning algorithm for disaster detection UAV

Qin Yuxin<sup>1</sup>, Chen Yu<sup>1\*</sup>, Qiao Hengheng<sup>1</sup>, Che Ziqi<sup>1</sup>, Zhang Gongping<sup>2,3</sup>

(1. School of Intelligent Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450046, China;

2. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471099, China;

3. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapons, Luoyang 471099, China)

**Abstract:** A dynamic track planning algorithm for disaster detection UAVs was proposed. When a major disaster such as an earthquake or flood, in order to obtain the disaster environment information for the first time, the UAV portable detection device can be used to detect the disaster ready information and images, and the information can be transmitted in real time. A dynamic track planning algorithm based on the framework of cultural algorithm was proposed. Firstly, the model was constructed for different terrains in the environment, and the corresponding function model was designed for obstacles such as mountains and peaks, and a digital map was constructed. The dynamic track planning was performed on the map model. The flight path planning algorithm can make the UAV independently plan the flight path during the flight process, realize ultra-low altitude flight, make the information collection more accurate, and effectively assist the rescue strategy. It was proved that the feasibility and effectiveness of the algorithm were verified by simulation and comparison with various algorithms.

**Key words:** disaster detection; UAV; track planning; dynamic

收稿日期: 2019-06-11; 修订日期: 2019-07-21

基金项目: 航空科学基金项目(20170155001); 河南省科技攻关项目(182102210111)

作者简介: 秦玉鑫(1984-), 男, 讲师, 硕士生导师, 博士, 主要从事无人机自主导航方面的研究。Email: qyx0615@163.com

## 0 引言

近年来,无人机(UAV)技术得到了迅猛发展,越来越多地被应用于测绘、监视、寻线等多个领域<sup>[1-5]</sup>。中国地质环境总体是一个多山的国家,山区的县级行政区数要占全国的 2/3,人口和耕地分别占 1/3 与 2/5,粮食占 1/3。而在这些地区也正是地震、泥石流等自然灾害多发的地区,一旦发生较为严重的自然灾害,道路受阻,救援人员很难在第一时间进入灾害现场,无法获取灾害现场的环境信息,导致救援受灾。无人机能够进行低空飞行,可以携带高清摄像设备对环境信息进行实时传输,使用红外相机、生命探测仪等对受灾人员进行监测和定位<sup>[6]</sup>,弥补无法第一时间获取灾情信息的不足。使用无人机对灾情进行侦测,首先要解决的就是无人机要沿怎样的航迹进行飞行的问题,所以对无人机的动态航迹规划问题研究意义重大。

航迹规划问题是指在多种约束条件下,寻找一条从起始点到目标点的最优航迹。航迹规划依据其规划的不同阶段可分为静态航迹规划和动态航迹规划<sup>[7]</sup>,静态航迹规划是在无人机飞行之前,提前规划好一条最优航迹,沿该航迹进行飞行。针对静态航迹规划的算法相对比较成熟,例如 A\* 算法、模拟退火算法等,但对于大范围复杂环境下的动态航迹规划算法还存在许多难点,在动态航迹规划中,障碍物的位置在不断发生变化的,大大增加了信息的处理量,提高了算法的复杂度。魏铁涛等<sup>[8]</sup>提出一种在线航迹规划的滚动优化方法,该算法能够对未飞行航迹段的变化提前预判;Chen 等<sup>[9]</sup>通过对中心引力算法进行研究,并进行相应的改进,使该算法能够规避一些动态威胁;Win 等提出动态域快速扩展随机树与线性二次高斯运动规划相结合的算法,该算法较单一算法而言搜索效率有了一定的提高;王绪芝等人对蚁群算法进行改进与 MPC 预测模型相结合,在动态环境下进行航迹规划。

虽然国内外专家学者对动态航迹规划进行了大量的研究,但现有的动态航迹规划算法,很难满足算法的实时性要求,无法应用于大范围空域的动态航迹规划场景中,限制了无人机在突发灾害等紧急情况下的应用。文中提出了一种稀疏 A\* 算法与 PSO

算分相结合的航迹规划算法,兼顾了稀疏 A\* 算法的快速性,并进一步使用 PSO 算法进行航迹的优化,满足了动态航迹规划的实时性与最优化的要求。

## 1 环境地图模型构建

无人机在执行灾情侦测任务时,为了获取准确的灾害环境信息,需要进行超低空飞行,飞行高度越低,无人机所携带的传感器获取的信息越准确。而在低空环境下飞行,就会受到例如高层建筑等障碍物的影响,所以必须对无人机的飞行航迹进行合理的规划,同时灾区的环境复杂多变,所以无人机应具备在动态环境下的航迹规划能力,才能执行灾情侦测的任务。

无人机在进行航迹规划之前,首先要获取环境的地图模型,并对环境中的障碍物进行模型构建,建立完整的数字地图模型之后,才能在该地图模型中进行航迹规划。

随着地图模型构建算法的发展,出现了各种各样的模型构建形式,最常用的是使用函数表达式对不同环境因素和约束条件进行刻画和描述,如公式(1)所示:

$$z(x, y) = \sin(y+a) + b\sin(x) + c\cos(d \cdot \sqrt{x^2 + y^2}) + e\cos(y) + f\sin(f \cdot \sqrt{x^2 + y^2}) + g\cos(y) \quad (1)$$

式中: $a, b, c, d, e, f, g$  均为常数项系数,不同的地图模型均可由调整各项参数的方法进行表示; $x, y$  为地图模型空域中的特定点的横纵坐标; $z$  坐标为该点的高度值。

无人机在执行不同的任务时,所飞行的空域环境也不尽相同,可能会受到不同地形地貌的影响,所以需要公式(1)进行变化调整,文中以易发生突发自然灾害的山地地形为例,可对公式(1)进行变形,可表示为:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^k \left( h_i \times \exp \left( -\frac{(x-a_i)^2}{m_i} - \frac{(y-b_i)^2}{n_i} \right) \right) \quad (2)$$

式中: $h_i$  为山地的高度极限值; $a_i, b_i$  为山地的中心位置坐标; $m_i, n_i$  为在山地地形中的某一特定点的坡度信息。通过上式的变形,可以根据不同形状和类型的山地通过对上述参数的调整来进行数字模型的

构建。

地形的模型确定之后, 需要对山地中具体的山峰的高度进行确定, 通过参数的设置, 不同的高度可用可表示为:

$$z_2(x, y) = \sum h_i \times \exp\left(-\frac{(x-x_{oi})^2}{x_{ii}} - \frac{(y-y_{oi})^2}{y_{ii}}\right) \quad (3)$$

式中:  $x, y$  为地形中点的横坐标投影;  $z$  为地形的高度;  $h_i, x_{oi}, y_{oi}$  代表地形轮廓的参数信息。山峰的高度可以通过改变以上参数来在地图模型中表示不同的山峰。该函数模型表示的地形示意图如图 1 所示。

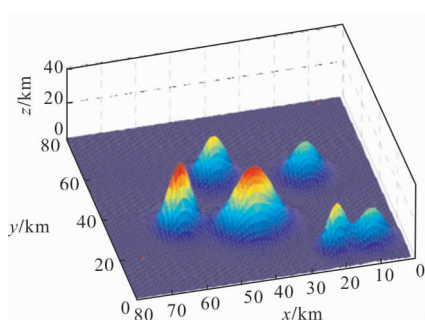


图 1 地形模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of terrain model

在确定好三维环境地图模型之后, 为了提高航迹规划算法的计算速度, 需要对三维地图模型向二维平面做投影, 确定高度平面之后, 保留在该高度平面上的障碍物, 其他未达到该高度的障碍物用等高线表示, 环境地图模型如图 2 所示。

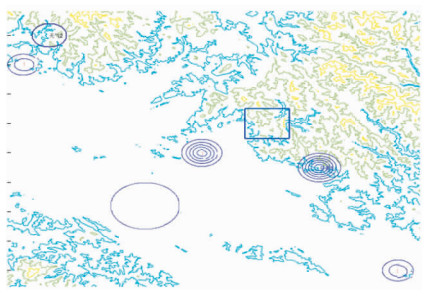


图 2 环境地图模型

Fig.2 Environmental map model

图 2 中椭圆形以及矩形区域即为在同一高度平面内障碍物的投影, 在确定了无人机的飞行高度之后, 即可确定环境地图模型, 动态航迹规划算法及在该环境地图模型上进行航迹规划。

## 2 改进的文化算法

文中提出的动态航迹规划算法是在文化算法的思想框架下, 将稀疏 A\* 算法与 PSO 算法进行融合, 发挥各自算法的特点, 提高整个算法的速度和精度。文化算法是一种模拟人类社会演化过程的双层进化系统<sup>[1]</sup>, 其主要思想是根据信仰空间的知识和经验指导种群空间个体的进化, 使种群朝有利的方向发展。文化算法的基本框架如图 3 所示。

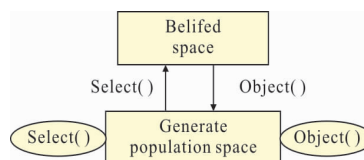


图 3 文化算法结构图

Fig.3 Cultural algorithm structure

在文化算法中, 种群空间与信仰空间相互沟通, 相互制约, 信仰空间指导种群空间进行解的优化, 种群空间为信仰空间提供知识的更新。基于此种算法结构, 文中提出了一种稀疏 A\* 算法与 PSO 算法相结合的使用于动态环境下的航迹规划算法。该算法在结构上可分为两层, 上层可作为信仰空间, 更新并存储初始航迹坐标、节点信息以及寻优空间范围, 下层可作为种群空间, 使用稀疏 A\* 算法与 PSO 算法相结合, 对航迹进行搜索和优化。

在文化算法思想框架下的种群空间中, 文中使用稀疏 A\* 算法与 PSO 算法结合进行航迹寻优, 首先使用稀疏 A\* 算法在地图中规划出一条从起点到目标点的初始航迹, 该航迹是从起点到目标点的一组节点坐标, 然后将这一组节点坐标作为 PSO 算法的初始解, 随后应用 PSO 算法进一步对航迹进行优化, 优化过程中可删除航迹中不合理的航迹点, 最终得到一条最优的飞行航迹。

飞行航迹生成后, 将航迹中的航迹节点信息传递给信仰空间, 信仰空间分为两部分: (1) 作为形式知识, 存储最优航迹的节点信息; (2) 作为规范知识存储航迹节点的有效范围, 该有效范围的确定规则为相邻每三个节点的第一, 第三节点作为矩形的对角线构成一个矩形区域, 作为寻优空间存储在信仰空间的规范知识中。如图 4 所示,  $J(1) \sim J(5)$  为航迹中的 5 个航迹节点, 实线围成的区域即为航迹点确定



的有效范围, 该有效范围将存储到信仰空间中的规范知识, 有效范围确定后, 将使用 PSO 算法在该有效范围内进一步对航迹进行优化。

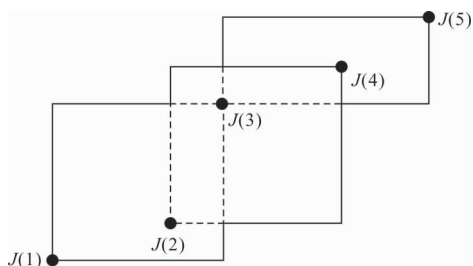


图 4 航迹点确定的有效范围

Fig.4 Effective range determined by the track point

### 3 动态航迹规划算法实现

当环境发生变化时, 即出现了突发障碍物, 影响了无人机沿原有飞行航迹, 需要对航迹进行更改, 此时只需要找到障碍物移动影响的子航迹段, 以该段子航迹两端最近未受影响的航迹点分别为起始点和终止点, 使用稀疏 A\* 算法重新规划一条可行航迹, 并将该航迹中节点替换原始航迹中受影响的节点, 生成一条新的完整航迹, 对新航迹使用 PSO 算法进行优化, 更新最优航迹继续飞具体步骤如下:

(1) 在无人机执行任务前, 使用稀疏 A\* 算法规划出一条初始航迹;

(2) 实时探测飞行环境中是否存在突发障碍物影响原有飞行航迹; 否, 无人机继续沿既定航迹飞行; 是, 进入(3);

(3) 以突发障碍物影响的子航迹的两端节点为起始点与终止点, 使用稀疏 A\* 算法, 在航迹节点确定的有效范围内进行航迹重规划, 将规划好的子航迹加入到新的航迹中;

(4) 提取新航迹中的航迹节点信息, 并确定新的航迹节点有效范围;

(5) 在新的有效范围内, 使用 PSO 算法优化所得航迹;

(6) 无人机按照重新规划的航迹继续飞行;

(7) 判断无人机是否飞抵目标点; 否, 返回(2); 是, 飞行任务结束。

该算法与已有的动态航迹规划算法, 例如 D\* 算法, 在处理动态环境下航迹规划问题时有所不同,

在使用文中算法进行航迹规划的过程中, 当环境改变时, 只需规划一小段新的受影响部分航迹并替换原航迹中受影响部分, 得到新的完整航迹, 并对该航迹进行航迹节点信息提取, 有效范围确定等操作, 进行最优航迹的规划。

### 4 算法仿真验证

为了验证该算法的可行性, 进行了仿真验证, A 点为无人机的起始点, B 点为目标点, 首先进行初始航迹的规划, 如图 5 所示, 规划出了初始航迹, 红色点即为生成的航迹节点。障碍物的位置实时发生变化, 随着障碍物的移动, 航迹相应的进行调整。

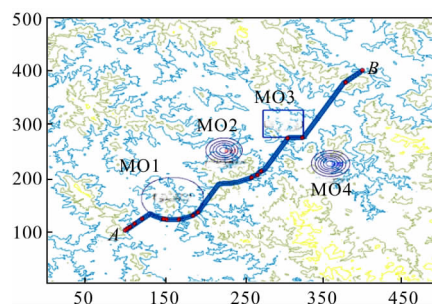
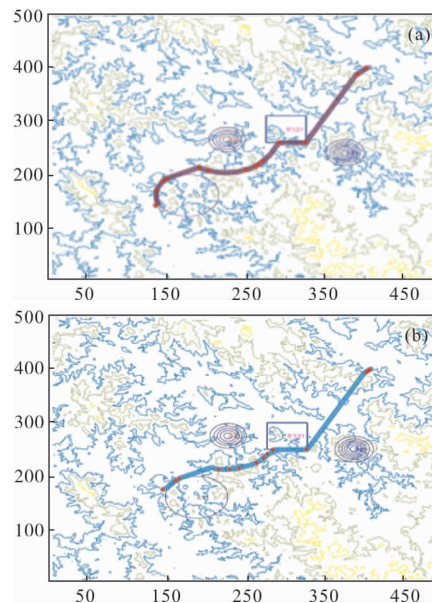


图 5 初始航迹生成

Fig.5 Initial track generation

仿真初始显示飞行前的完整的飞行航迹, 随着算法的运行, 航迹将逐渐向目标点方向缩短, 缩短的部分表示已飞行的区域, 在动态环境下, 障碍物的位置实时发生变化, 随着障碍物的移动, 航迹相应的进行调整。仿真过程如图 6 所示。



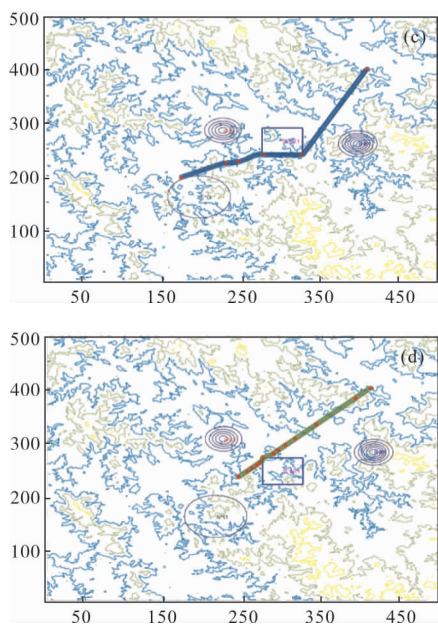


图 6 文中算法动态航迹规划仿真

Fig.6 Dynamic track planning simulation of algorithm in this paper

为了比较不同算法在时间复杂度,以及规划出的总航迹长度之间的差异,分别设置不同的起始点和目标点坐标,应用不同的航迹规划算法进行测试,取 10 次结果的平均值得到仿真数据如表 1 所示。

表 1 算法数据对比

Tab.1 Algorithm data comparison

No.	Starting and ending coordinates	Algorithm	Calculation time/s	Track length/km
1	(50,50) (450,450)	D*	28.26	587
		PSO	46.87	545
		This paper algorithm	23.23	533
2	(50,450) (450,50)	D*	36.32	605
		PSO	42.69	546
		This paper algorithm	24.45	529
3	(50,250) (250,450)	D*	11.54	215
		PSO	33.29	198
		This paper algorithm	10.02	190

由表 1 中数据能够发现,在动态航迹规划的过程中,PSO 算法的规划时间最长,难以满足航迹规划的实时性要求,D\* 算法在规划时间上较 PSO 算法优越,但规划的航迹总长度相对较长,综合两项指标,文中提出的基于文化算法思想框架下的改进动态航迹规划算法能够满足航迹规划的实时性与最优性。

## 5 结论

文中针对突发重大灾害时,灾害现场环境复杂,交通受阻,救援人员无法及时到达灾害现场获取灾情信息这一问题,提出使用无人机低空飞行,对灾情进行侦测。而无人机低空飞行容易收到障碍物的影响,威胁无人机的飞行安全。因此需要对无人机在飞行过程中进行动态航迹规划,文中提出了一种运用了文化算法的结构思想,使稀疏 A\* 算法与 PSO 算法相结合的适用于动态环境下的航迹规划算法,兼顾了稀疏 A\* 算法的快速规划特点,同时用于 PSO 算法对航迹进一步优化,由于限定了规划的有效范围,提高了优化的速度。当局部环境发生变化时,无需进行整条航迹的重规划,只需要将提取出来的航迹节点进行筛选,在有效区域内进行局部航迹的重规划即可,该算法能够有效的避开一定障碍物,同时减小在动态航迹下无人机航迹规划的时间。在后续的研究中,将尝试将该方法运用在多机协同航迹规划的问题中。

## 参考文献:

- [1] Beard R W, Mclain T W, Nelson D B, et al. Decentralized cooperative aerial surveillance using fixed-wing miniature UAVs [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2006, 94 (7): 1306-1324.
- [2] Kalyanam K, Chandler P, Pachter M, et al. Optimization of perimeter patrol operations using unmanned aerial vehicles[J]. *Journal of Guidance Control & Dynamics*, 2015, 35(2): 434-441.
- [3] Hyondong Oh, Seungkeun Kim, Hyo-sang Shin, et al. Coordinated standoff tracking of moving target groups using multiple UAVs [J]. *Aerospace & Electronic Systems IEEE Transaction on*, 2015, 51(2): 1501-1514.
- [4] Wang Y, Wang S, Tan M. Path generation of autonomous approach to a moving ship for unmanned vehicles [J]. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 2015, 62(9): 5619-5629.
- [5] Li Yongwei, Wang Hongfei. Fuzzy adaptive PID control for six rotor eppo UAV [J]. *Journal of University of Science and Technology*, 2017, 38(1): 59-65.(in Chinese)
- [6] Lu Jing. Application status and future development of

- micro UAV[J]. *Application of IC*, 2018, 35(4): 88–91. (in Chinese)
- [7] Kang F, Wang Y. Robot path planning based on hybrid artificial potential field genetic algorithm [J]. *Journal of System Simulation*, 2006, 18 (3): 774–777. (in Chinese)
- [8] Wei Tietao, Wang Jianwei, Qu Xiangju. Rolling optimization method for online track planning in dynamic environment[J]. *Flight Dynamics*, 2012, 30(3): 218–222. (in Chinese)
- [9] Chen Y, Yu J, Mei Y, et al. Modified central force optimization (MCFO) algorithm for 3D UAV path planning[J]. *Neurocomputing*, 2016, 171(C): 878–888.
- [10] Huang Nannan, Liu Guixi, Zhang Yingzhe. Unmanned aerial vehicle vision navigation algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(7): 0726005. (in Chinese)
- [11] Xie Bing, Duan Zheming, Ma Pengge. SR reconstruction algorithm of infrared image based on dynamic pyramid model[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2018, 47(1): 0126001. (in Chinese)
- [12] Pei Xingbiao, Wu Helong, Ma Ping. Analysis of the spectrum and vegetation index of rice under different nitrogen levels based on unmanned aerial vehicle remote sensing[J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(5): 144–152. (in Chinese)
- [13] Cai Mingbing, Liu Jinghong, Xu Fang. Multi-targets real-time location technology for UAV reconnaissance [J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(5): 124–133.(in Chinese)