

doi: 10.7690/bgzdh.2018.09.023

基于蚁群算法的无人机最短航路规划

邵长旭, 王茂森, 戴劲松, 陈斌

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为解决无人机在执行多航点任务过程中, 由于航点数量较多而导致的多种飞行轨迹问题, 提出一种仿生蚁群觅食路径选择的无人机航点任务轨迹规划方法。介绍算法原理, 计算信息点的信息素浓度, 通过工蚁航点转换规则和信息素浓度修改规则进行算法实现, 并对其进行计算仿真和结果分析。仿真结果表明: 该算法能够保证飞行器以最短路径飞行完成所有航点任务, 提高了无人机的任务执行效率, 减少了控制系统的时间损耗, 便于无人机编队飞行系统的实现。

关键词: 无人机; 蚁群算法; 航点路径规划

中图分类号: TJ810.2 **文献标志码:** A

Shortest Route Planning of UAV Based on Ant Colony Algorithm

Shao Changxu, Wang Maosen, Dai Jinsong, Chen Bin

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to solve the problem of multiple flight routes caused by the large number of waypoints in the process of executing multi-way missions, a method of selection for UAV waypoint-mission based on ant colony route planning algorithm is proposed. Introduce the principle of the algorithm, calculate the pheromone concentration of the information point, realize the algorithm by the conversion rule of the worker-ant's waypoint and the modification rule of the pheromone concentration, and carry out the simulation and result analysis. The result shows that it can ensure the aircraft complete all missions in the shortest path. This improves the efficiency of UAV's task execution, reduces the time loss of the control system, and facilitates the realization of the UAV formation flight system.

Keywords: UAV; ant colony algorithm; waypoint path planning

0 引言

近年来, 随着无人机技术的发展, 无人机的战略地位愈发重要。在无人机执行各种任务时, 其可选的路径并不固定, 在进行飞行的过程中, 往往需要考虑飞行器的任务执行效率、航程的远近; 因此, 无人机自主地进行自身的航迹规划显得尤为重要。蚁群算法是一种模拟化进化算法, 主要是仿生蚁群在集体活动时所表现出来的集中、合理的路径选择方法。将蚁群算法应用于无人机的航路规划上, 可以选出最合理的路径以应对复杂的航点任务。笔者针对无人机航点任务的蚁群算法择优方式, 规划出完成航点任务的最短路径。

1 航点任务规划问题

在执行航点任务时, 首先要确定各个航点在空间中的位置, 为了简化规划问题, 可以对任务空间进行 2 维网格划分, 在 2 维网格空间中显示出各个航点, 如图 1 所示, 因此航点任务规划本质就是选

取包括所有航点的最短路径问题。这种在确定状态空间搜索路径的方法, 可以通过减小空间规模, 有效地降低航点轨迹任务规划难度^[1-3]。在进行路径设计过程中, 为了计算出最优路径, 笔者将采用按最短路径规划和最小可探测性航路加权方法计算代价函数, 并将此视为航路的性能指标, 如式(1)所示。

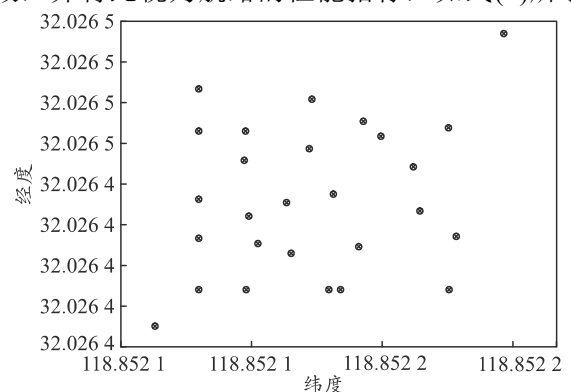


图 1 航点 2 维网格图

$$W_{\min} = \int_0^L [kw_l + (1-k)w_r] ds \quad (1)$$

收稿日期: 2018-06-17; 修回日期: 2018-07-21

作者简介: 邵长旭(1992—), 男, 江苏人, 硕士, 从事智能检测与控制技术研究。

式中： W 为广义代价函数； L 为航路长度； W_t 为航路威胁代价； W_f 为航路的电量代价；系数 k 为航点轨迹定制人员在规划过程中做出的选择性倾向^[4-6]。

2 蚁群算法

2.1 算法原理

蚂蚁在群体活动外出觅食的时候，会根据食物的分布在不同的路径上留下相应浓度的信息素，以便后面的工蚁识别，从而减少在路径寻找方面的耗时。每只蚂蚁在行动过程中，都会留下相应的信息素，以此作为路标影响后面的蚂蚁，并且后者会对原先存在的信息素进行加强。这样，越多蚂蚁经过的路径，其信息素的含量越高，被后面的蚂蚁选中的可能性就更大。这样，越短到达食物的路径被其他蚂蚁选中的可能性就越大，这个过程会一直持续到所有工蚁都走过最短的路径。

从数学模型方面来说，蚂蚁搭建的连接食物源和巢穴的路径网络组成了最小树，这样可以使得工蚁在进行食物搜索过程中的各种损耗减小到最低。算法导论已经提供了最小树的计算方法，笔者结合蚂蚁采用的分散式生物信息素的方法来查找最短路径。在进行全局最短路径选择过程中，起最主要作用的是不同工蚁个体在道路上留下的信息素^[3-5]。

2.2 任务点的信息素浓度

工蚁在被任务点的信息素吸引并向之移动的过程中，目标点的信息素浓度会随着距离的减少而增强，而且不同浓度的信息素在相同的距离上对于蚂蚁的吸引能力也不同，这样就会导致蚂蚁选择多种航路^[1]。结合距离对目标点的信息素浓度的影响，可以定义任务点 m 上的信息素对路径 $v(r,s)$ 的影响：

$$\Delta p(r,s) = \begin{cases} \frac{V_m}{L_{rs}} \left(\frac{1}{R_s} - \frac{1}{R_r} \right) & R_s < R_r \\ 0 & R_s > R_r \end{cases} \quad (2)$$

式中： v_m 为第 m 个航点的信息素浓度； L_{rs} 为路径 $v(r,s)$ 的长度； R_s 和 R_r 为节点 r 和节点 s 到航点的距离。此外，在初始化的过程中，按照式(2)计算出每条路径的信息素浓度，使得航点信息分布在每条路径上。

2.3 算法思想

模仿蚁群觅食路径选择方法进行飞行器航点规

划时，假设将 m 个工蚁放在起始点，每只工蚁在相应的转换规则下从一个航点转移到另一个航点，如此循环下去，直到最后达到终点，这样就可以完成一条路径的选择，得出一条航迹^[7]。当所有的工蚁都完成了一次航迹的选择之后，通过模拟工蚁释放的信息素浓度不同以及信息素随着时间的挥发，结合信息素的修改规则、既得的 m 条航迹以及第1次选择出来的较短路径，合理地更改路径网络图中各条路径上的信息素浓度。上述2种规则^[3-5]如下：

1) 工蚁航点转换规则。

工蚁在从当前航点转移到下一个航点的过程中，要对比下一个与之相邻的不同的航点的信息素的浓度及当前航点与下一航点的边的代价，按照下式计算工蚁从当前航点 r 转移到下一航点 S 的概率：

$$p_k = \begin{cases} \frac{f(r,s)^T Z(r,s)^U}{\sum_{s \in J_k(r)} f(r,s)^T Z(r,s)^U} & (s \in (J_k(r))) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (3)$$

式中： $p_k(r,s)$ 为工蚁从当前航点转移到下一航点的概率； $f(r,s)$ 为工蚁在边 $v(r,s)$ 上的信息素的浓度； $Z(r,s)$ 为航点 s 相对于航点 r 的可见性； $J_k(r)$ 为 k 个工蚁到达所有相邻航点的集合； T,U 为可调的控制参数，用来确定信息素的浓度和可见性的大小。工蚁从当前航点转移到下一航点的概率会随着信息素浓度的增大而增加，随着路径距离的增大而减少。

2) 信息素浓度修改规则。

当 m 个工蚁完成自身的航路选择之后，需要对每条路径上的信息素按照下式进行修正^[7]：

$$f(r,s) \leftarrow (1-d)f(r,s) + d[\Delta f(r,s) + e\Delta f^k(r,s)] \quad (4)$$

式中各参数含义如下：

$$\Delta f(r,s) = \sum_{k=1}^m \Delta f^k(r,s),$$

$$\Delta f^k(r,s) = \begin{cases} \frac{Q}{w_k} & (\text{边}V(r,s)\text{属于当前最好的航路}) \\ 0 & (\text{边}V(r,s)\text{不属于当前最好的航路}) \end{cases},$$

$$\Delta f(r,s) = \begin{cases} \frac{Q}{W_e} & (\text{边}V(r,s)\text{属于工蚁}k\text{的航路}) \\ 0 & (\text{边}V(r,s)\text{不属于工蚁}k\text{的航路}) \end{cases}.$$

式中： $d \in (0,1)$ 是用来调整边上的信息素的挥发，

减弱原有的信息浓度； $e \in (0,1)$ 用来增强航点与航点连接边上的信息素浓度以保存较好的信息； Q 为常数，表示信息素的浓度； W_k 和 W_c 分别为工蚁 k 选择航路的代价和当前最短航路的代价^[7]； m 为工蚁的数量。航路信息素修正的目的是将更多的信息素分配到较短的航路上去。利用这个规则，可以选择性地挥发较差航路上的信息素^[8]，减少工蚁选择这条路径的概率，并且会适当地增强每次迭代得到的较优航路上的信息素浓度。

2.4 算法设计

根据以上的蚁群算法原理和规则，利用蚁群算法求解航路最短路径问题可以总结如下：

Begin:

n_c ; (n_c 为迭代次数)

初始化航点，信息素浓度；

计算各航点之间的权重；

repeat:

将工蚁合理的分布在航点上；

按照转移规则移动工蚁位置直至终点；

计算每次迭代的最优路径；

按照规则更新信息素浓度；

比较每次迭代的最优路径，保留最短路径

Until n_c 大于预定的迭代次数

End

3 计算仿真及结果分析

图 1 显示了飞行器的航点任务示意图，选用的场地为大小 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ，图中的黑点代表任务航点，无人机根据 25 个任务航点的位置，利用蚁群算法计算出一条最短的包含所有航点的路径。考虑到无人机主控制器的运算速度，在迭代次数不同的情况下，得出最短路径的时间也不相同，如表 1 所示。

表 1 计算时间 s

迭代次数	运行时间
100	0.142
150	0.187
200	0.204
250	0.222
300	0.231

由表 1 可见，在最大迭代次数为 300 的时候，系统耗时 0.231 s。在仿真过程中，各个参数取值分别为： $T=0.1$ ， $U=5$ ， $e=0.1$ ， $d=0.5$ ， $Q=15$ ， $m=5$ ， $A=2$ ，得到了如图 2 所示的收敛曲线。

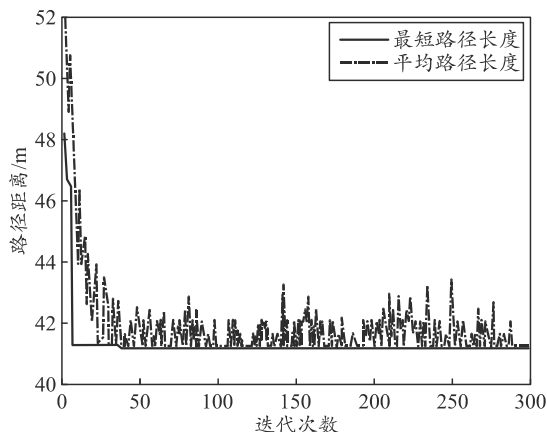


图 2 收敛曲线 (平均路径长度和最短路径长度)

最终综合考虑迭代次数、算法时间消耗、航点轨迹最短路径等因素，选用最大迭代次数 100 可以得到最短航点轨迹，如图 3 所示，无人机在执行航点任务时，通过蚁群算法计算得出包含所有航点的最短航迹。

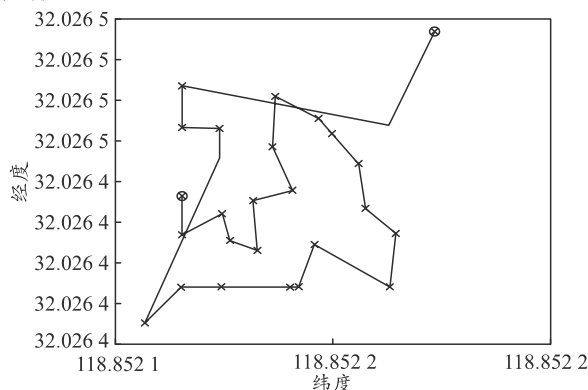


图 3 最短航点轨迹

4 结论

笔者提出了一种仿生蚁群觅食路径选择的无人机航点任务轨迹规划方法，能够保证飞行器以最短路径飞行完成所有航点任务。该方法具有以下特点：

1) 工蚁不断在迭代出的较短航迹上增强信息素的浓度，会引导其他工蚁选择这条航迹，而由于信息素本身的挥发特性，之前的信息会不断减少。

2) 工蚁在根据信息素寻找路径的同时自身也会发出信息素，因此导致了不同的工蚁选择不同的路径，具有分布特性^[8]。

3) 蚁群算法在搜索前期由于信息的匮乏，搜索速度较慢，而后期则快速收敛。这也就导致了在应用蚁群算法进行航路规划时，要合理地选择参数及提供有效的训练数据^[9]。

参考文献：

[1] 柳长安, 王和平, 李为吉. 攻击无人机的协同航路规划

[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(6): 707-710.

[2] 柳长安, 王和平, 李为吉. 无人机的侦察航路规划[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(4): 490-494.

[3] 马良, 项培军. 蚂蚁算法在组合优化中的应用[J]. 管理科学学报, 2001, 4(2): 32-37.

[4] 彭斯俊, 黄樟灿, 刘道海, 等. 基于蚂蚁系统的 TSP 问题的新算法[J]. 武汉汽车工业大学学报, 1998(5): 88-92.

[5] TIMOTHY W M, RANDAL W B. Trajectory Planning for Coordinated Rendezvous of Unmanned Air Vehicles[R]. AIAA-2000-4339-CP, 2000.

[6] MA T, BEN A. Optimal Route Re-planning for Mobile Robots: A Massively Parallel Incremental Algorithm.

Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Automation[C]. Albuquerque New Mexico, 1997. 2727-2733.

[7] 彭斯俊, 黄樟灿, 刘道海, 等. 基于蚂蚁系统的 TSP 问题的新算法[J]. 武汉汽车工业大学学报, 1998(5): 88-92

[8] PARUNAK H V D, MICHAEL P, ROBERT C. Digital Pheromones for Autonomous Coordination of Swarming UAV's[R]. AIAA-2002-3446-CP, 2002.

[9] DORIGO M, CAMBARDELLA L M. A cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1997, 1 (1) 53-66.

(上接第 85 页)

参考文献:

[1] 杨武, 姚锡凡, 范路桥. 基于双目视觉定位的排爆机器人控制系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 255-256, 262.

[2] 邱联奎. 基于机械手的视觉伺服控制及其应用研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2006: 4-10.

[3] 晁衍凯, 徐昱琳, 周勇飞, 等. 基于双目视觉的机器人目标定位与机械臂控制[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(7): 6-9.

[4] CAI L, CHANG F, LI S, et al. Control System of the Explosive Ordnance Disposal Robot Based on Active Eye-to-Hand Binocular Vision[C]//Artificial Intelligence

and Computational Intelligence, AICI 2011: 24-31.

[5] HUANG Y, CHEN X, ZHANG X. Kinematic Calibration and Vision-Based Object Grasping for Baxter Robot[C]// Intelligent Robotics and Applications, ICIRA 2016: 269-278.

[6] 李宇飞, 高朝辉, 申麟. 基于视觉的机械臂空间目标抓取策略研究[J]. 中国科学(技术科学、信息科学), 2015, 45(1): 31-35.

[7] 徐婷婷, 段锁林, 庄玮. 基于小波包的机器人多目标识别与定位研究[J]. 计算机仿真, 2014, 31(4): 374-378.

[8] 邱雪娜, 刘斐, 刘士荣, 等. 基于双目视觉的移动机器人动态目标识别与定位[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2010(1): 103-112.