

# 基于改进蚁群算法的无人机三维路径规划研究<sup>\*</sup>

焦 阳

(北京新机场建设指挥部 北京 102602)

**摘 要** 针对无人机在飞行过程中易受复杂环境与地形信息、确定的和不确定的威胁区等因素影响的情况,为保障无人机的飞行安全,对无人机的路径规划问题进行研究。首先通过栅格化的方法对无人机的飞行环境进行三维建模,并以最短路径为目标,提出一种改进信息素更新规则的蚁群算法,为无人规划出一条安全、最优的飞行路径。最后,采用仿真的方式进行验证,结果表明,与传统算法相比该算法规划出的飞行路径更优,运算时间更短。

**关键词** 路径规划;蚁群算法;三维规划;无人机

**中图分类号** V355 **DOI:** 10. 3969/j. issn. 1672-9730. 2019. 03. 010

## Research on Path Planning of UAV Based on Improved Ant Colony Algorithm

JIAO Yang

(Beijing New Airport Construction Headquarters, Beijing 102602)

**Abstract** In order to ensure the flight safety of the unmanned aerial vehicle, this paper studies the path planning of the unmanned aerial vehicle. It solves the problem that the unmanned aerial vehicle is accessible under complex environment, terrain information, determined or undetermined threats area and other factors during its flight. The flight environment of the unmanned aerial vehicle is modeled in three dimensions by rasterization method. And it uses the shortest path as a goal to improve ant colony algorithm with pheromone update rules. It proposes to plan a safe and optimal flight path for unmanned aerial vehicle. Finally, the simulation results show that the flight path planning by this algorithm is better and the calculation time is shorter than that of the traditional algorithm.

**Key Words** path planning, ant colony algorithm, three - dimensional planning, UAV

**Class Number** V355

### 1 引言

近些年来,无人机在农业灌溉、安全报警、气象预报、地理测绘以及军事作战等多个领域有着广泛的应用。无人机高度的自治性和灵活性,在现实生活中扮演着重要的角色<sup>[6]</sup>,无人机未来的发展方向也更加趋于智能化、自动化。尤其是在军事领域方面,无人机参与指挥作战能有效地减少目标被发现的概率,增加指挥作战时移动的灵活性,减少作战人员伤亡<sup>[1]</sup>。因此,随着无人机的快速发展,研究无人机路径规划技术,统筹考虑无人机的生存概率、航程代价和时间代价等多种因素,为其找到一条从起点到终点的最优飞行路径,能有效保障无人

机的飞行安全,提高任务的执行效率,减少不必要的损失。

路径规划是无人机相关研究中最重要内容之一,也是无人机能够安全可靠地执行各项任务的基本保障。近年来国内外学者提出了许多路径规划的方法,主要包括有 Voronoi 图法、遗传算法、蚁群算法<sup>[9]</sup>、粒子群优化算法、人工势场法<sup>[12]</sup>、A\*算法<sup>[6]</sup>等。上述算法在进行三维路径规划中,均有一定的局限性,在规模较大的三维环境中,很难规划出一条最优的路径。由于蚁群算法具有分布式计算、群体智能、正反馈等优点<sup>[8]</sup>,本文针对其容易陷入局部最优、收敛速度慢的缺点,对该算法进行改进并将改进的算法应用到无人机三维路径规划中,最后

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018年9月13日,修回日期:2018年10月20日

作者简介:焦阳,男,工程师,研究方向:机场规划及建设。

通过仿真验证算法的可行性。

## 2 问题描述

### 2.1 三维环境建模

环境建模是无人机进行路径规划的一个重要环节,也是需要完成的第一步,环境建模的好坏直接影响着路径规划的结果与质量<sup>[11]</sup>。本文借鉴栅格化的方法对无人机飞行的三维空间进行环境建模,主要思想是首先把三维立体空间等分成平面空间,然后再把平面空间划分成平面栅格<sup>[2]</sup>。

如图 1 所示,首先建立三维直角坐标系  $O-XYZ$ ,其中  $O$  为无人机进行路径规划的起始点<sup>[10]</sup>。在直角坐标系中,构造一个三维立方体空间  $ABCD-EFGH$ ,其中平面  $ABCD$  位于  $XOZ$  平面上, $AB$  边平行于  $X$  轴, $CD$  边平行于  $Z$  轴,原点  $O$  位于平面  $ABCD$  的中点。然后将无人机的飞行空间置于该三维立体区域内, $AB$ 、 $AE$  分别等于无人机飞行空间的长度和宽度。之后对规划空间进行进一步的划分。首先,沿  $Y$  轴方向对空间进行  $n$  等分,其次过每个等分点做平行于  $ABCD$  的平面,得到  $n+1$  个平面。同理,对任意平面沿  $Z$  轴进行  $l$  等分,沿  $X$  轴进行  $m$  等分,如图 2 所示,这样规划空间就被划分成  $n \times m \times l$  个栅格。在实际应用中,以无人机能在单位栅格内进行自由运动为前提,对栅格的大小进行划分,即首先为无人机飞行设定路径规划的空间,然后进一步根据无人机的爬坡能力设定  $n, m, l$  的大小。

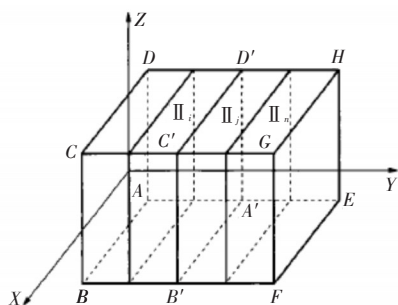


图 1 规划空间划分示意图

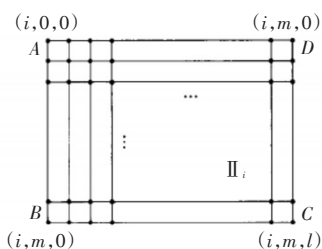


图 2 任意平面划分示意图

### 2.2 目标函数

无人机路径规划的本质是在一定的约束条件

下找出从起点到终点能有序地避开威胁区域的最优路径<sup>[6]</sup>。采用 2.1 节中的栅格法对无人机的运动空间进行三维建模,并把禁飞区、障碍区、威胁区等对无人机飞行造成威胁的区域,简化成无人机无法通过的栅格,则无人机路径规划就变成在可通过的栅格集合中寻找有序的子集,从而使无人机的飞行距离之和最短的问题。无人机路径规划的目标函数如下所示:

$$\min L = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \quad (1)$$

其中,  $(x_i, y_i, z_i)$  表示栅格中心点坐标,  $n$  表示路径点的个数,  $L$  表示规划的路径总距离。

## 3 路径规划算法

蚁群算法是由 M.Dorigo 等在 1991 年提出的通过模拟蚂蚁集体觅食行为的启发式优化算法<sup>[3]</sup>。在自然界中,蚂蚁觅食过程由每个蚂蚁不断释放信息素所决定,通过引导其他蚂蚁选择信息素浓度较高的路径,帮助蚁群最终找到觅食的最优路径<sup>[4]</sup>。这种整个群体形成的正反馈机制,使得该算法的搜索机制具有随机性,以及正反馈的特点,这个特点能有效地在无人机三维路径规划中,找到全局最优的路径。

### 3.1 信息素更新规则

根据蚁群算法原理,信息素是蚁群在觅食过程中对蚂蚁产生吸引作用的信息载体,在一定程度上对算法的收敛速度和路径规划效果有着十分重要的影响<sup>[5]</sup>。信息素主要留在路径上,与寻找路径构造图的边相对应,在三维空间内进行路径规划时,会造成庞大的计算量<sup>[7]</sup>。因此本文采用环境模型中的离散点作为载体,将信息素存储到各个离散点上,在节省存储空间的同时,降低计算的复杂度。

在对无人机进行路径规划的过程中,需要对信息素进行更新,信息素更新分为局部信息素更新和全局信息素更新。局部信息素更新是指当无人机每经过一个路径点时,该路径点上的信息素浓度会相对减少,其目的是为了减少其他无人机选择该点的可能性,增加无人机发现更多路径的机会,避免算法陷入局部最优。局部信息素更新公式如下:

$$\tau_{xyz} = (1 - \zeta) \tau_{xyz} \quad (2)$$

其中,  $\tau_{xyz}$  表示点  $(x, y, z)$  上的信息素的值,  $\zeta (0 < \zeta < 1)$  表示信息素衰减系数。

全局信息素更新就是当无人机从起点飞到终点规划一条飞行路径时,以无人机规划的路径长度

作为评价来判断信息素的多少,然后从路径集合中选择最优路径,对该路径上各点的信息素进行更新。其更新规则如下:

$$\tau_{xyz} = (1 - \rho)\tau_{xyz} + \rho\Delta\tau \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{xyz} = \frac{k}{\min(\text{length}(\alpha))} \quad (4)$$

其中,  $\Delta\tau_{xyz}$  表示信息素增量,  $\text{length}(\alpha)$  表示第  $\alpha$  个蚂蚁完成路径时的路径长度,  $\rho$  表示信息素更新系数,  $k$  表示常数。

在上述公式中,由于信息素增量  $\Delta\tau_{xyz}$  中的  $k$  为常数,在无人机寻找最优路径过程的前期,最优路径中的离散点对应的信息素增加不快,而在进行无人机寻找最优路径过程的后期,搜索到的最优路径与其他路径相比在距离上有很大的优势,导致最优路径上的信息素增加非常迅速,这将造成最优路径信息素的浓度过高,而其他路径上的离散点信息素浓度偏低,算法容易陷入局部最优的困境<sup>[5]</sup>。因此,本文提出一种全局信息素更新改进方法,在保留对已经搜索到的最优飞行路径上的信息素进行更新的同时,在出现当前搜索过程中的最优路径和已经搜索到的最优路径长度不相等的状况下,采取同步对当前搜索最优路径上的信息素进行更新的策略,来避免算法陷入局部最优的困境。此外,算法在循环搜索过程中,当处于停滞状态的次数达到一定时,算法停止更新已经搜索到的最优路径上的信息素,使蚁群中的蚂蚁从有序状态变为无序,以达到增大算法发现更优解能力的目的。

具体方法为改变信息素增量表达式,具体如下:

$$\Delta\tau_{xyz} = \frac{\lambda(I_{\max} - I) + J}{\min(\text{length}(\alpha))} \quad (5)$$

上述公式中,  $I_{\max}$  表示算法进行路径搜索的最大迭代次数,  $I$  表示算法当前迭代次数,  $\lambda$  和  $J$  为常数。  $J$  由预估的理想搜索路径长度决定,  $\lambda$  值由  $J$  和  $I_{\max}$  共同决定,保证  $\lambda I_{\max} + J$  的值与第一次进行无人机路径规划的长度接近。该方法能有效保证在无人机进行路径搜索前期,最优路径上的信息素能有效增加,在路径搜索后期,最优路径上的信息素不会快速增加,有效地避免了陷入局部最优的困境。

### 3.2 启发式函数确定

启发式函数设计的目的是利用启发信息来引导无人机寻找从起点到终点的最优路径<sup>[8]</sup>。根据蚁群算法的原理,当无人机从当前一个飞行节点飞向下一个飞行节点的时候,需要根据启发式函数来

计算无人机在当前飞行节点飞向空间中其他节点的概率。启发式函数为

$$H(x, y, z) = D_1(x, y, z) \times T(x, y, z) \times D_2(x, y, z) \quad (6)$$

其中,  $D_1(x, y, z)$  表示当前点飞行节点到下一个飞行节点的距离,主要用来引导无人机飞向距离当前节点较近的下一个节点;  $T(x, y, z)$  表示威胁代价函数,主要用来引导无人机飞向安全的区域;  $D_2(x, y, z)$  表示无人机从下一个飞行节点飞向终点的距离,主要用来引导无人机飞向路径规划的终点。

上式中,  $D_1(x, y, z)$  的表达式如下:

$$D_1(x, y, z) = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2} \quad (7)$$

其中,  $x_i, y_i, z_i$  表示当前节点的  $x, y, z$  三个方向的坐标,  $x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}$  表示下一个节点  $x, y, z$  三个方向的坐标。

$T(x, y, z)$  的表达式如下:

$$T(x, y, z) = (n_r - n_{ur}) / n_r \quad (8)$$

其中,  $n_r$  表示在点  $(x, y, z)$  时无人机飞行空间内可通过的节点数量,  $n_{ur}$  表示在点  $(x, y, z)$  时无人机飞行空间内不可通过的节点数量。

$D_2(x, y, z)$  的表达式如下:

$$D_2(x, y, z) = \sqrt{(x_{i+1} - x_d)^2 + (y_{i+1} - y_d)^2 + (z_{i+1} - z_d)^2} \quad (9)$$

其中  $x_d, y_d, z_d$  表示终点  $x, y, z$  三个方向的坐标。

### 3.3 路径搜索

在进行路径规划时,本文将  $X$  轴方向作为无人机移动的主要方向。假设无人机飞行的起点为  $P_s$ , 终点为  $P_e$ , 并规定无人机的运动方向分为前进、横向和纵向运行。若无人机以  $X$  轴为主方向前进,则无人机在点  $(x_i, y_i, z_i)$  沿  $X$  轴方向运动的情况下,无人机最大横向运动距离为  $L_{y\max}$ , 最大纵向运动距离为  $L_{z\max}$ 。因此,无人机下一步飞行空间可按上述方法定义,无人机下一步飞行可到达的点就在这个飞行空间之中。采用蚁群算法构建路径的过程如图3所示。

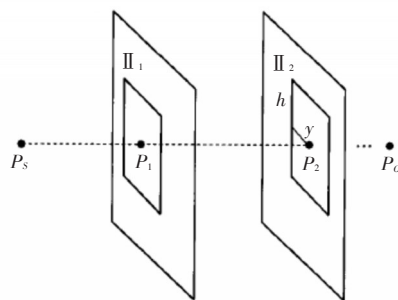


图3 路径搜索示意图



根据上述路径搜索方法,无人机在目前所在节点  $i$  选择下一个节点  $i+1$  时,首先利用无人机当前所在节点的位置信息,计算当前路径搜索空间内所有可通过的节点信息,然后根据所有可通过节点的信息,通过启发式函数进行计算,最后得到其他可通过节点的启发函数的值<sup>[5]</sup>。根据启发函数的值计算所有可通过节点的选择概率  $p(x+1, y, z)$ ,  $p(x+1, y, z)$  的表达式如下所示:

$$p(x+1, y, z) = \begin{cases} \frac{\tau_{(x+1)yz} H(x, y, z)}{\sum \tau_{xyz} H(x, y, z)}, & \text{node} \in \text{reachable} \\ 0, & \text{node} \in \text{unreachable} \end{cases} \quad (10)$$

其中,  $\tau_{(x+1)yz}$  表示点  $p(x+1, y, z)$  对应的信息素的值;  $\text{node} \in \text{reachable}$  表示当前节点可通过;  $\text{node} \in \text{unreachable}$  表示当前节点不可通过。

### 3.4 蚁群算法描述

本文首先对无人机飞行环境进行建模,划设飞行空间中的可通过区域以及不可通过区域,构建三维环境模型,然后确定信息素的选取方式,通过路径点选择,确定启发式函数。本文的算法步骤如下:

1)通过 2.1 节中的三维环境模型构建无人机路径规划的三维飞行空间,根据飞行任务计划以及环境模型,选取合适的点作为路径规划的起点和终点。

2)将蚁群中所有蚂蚁放置在设定的路径规划的起点,将  $x$  轴作为蚂蚁进行搜索的主运动方向。

3)初始化蚁群算法中各个模型的运行参数。

4)开始对三维路径进行搜索,更新路径点上的信息素浓度,对可通过区域采用启发函数进行计算,同时根据计算结果选择下一个需要通过的路径节点。

5)放置所有蚂蚁到计算的下一个路径节点,对该点的信息素浓度进行局部更新,并对更新的结果结果存储到内存中。

6)判断规划的路径中的所有蚂蚁是否全部到达终点,是,继续执行,否,返回到步骤 3)。

7)当蚂蚁执行一次路径搜索后,采用信息素全局更新模型对路径上的信息素进行全局更新,并判断算法是否满足结束条件,是,则输出最优解,否,返回到步骤 3)继续执行。

## 4 算例分析

本文采用仿真的方式对无人机飞行空间进行

模拟,用 Matlab 软件编程工具,对基于蚁群算法的无人机路径规划进行仿真,来验证该算法进行路径规划的效果以及可行性。

首先,对三维环境进行建模,将环境空间等分为  $10 \times 10 \times 10$  的栅格,每个栅格大小相同,长度均为 1,同时构建 25 个威胁区域。构建的三维环境模型如图 4 所示。

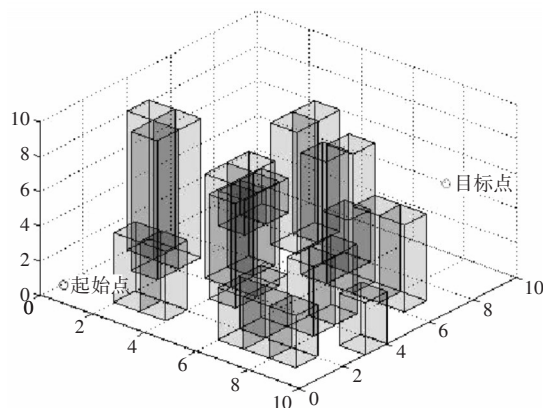


图 4 三维环境模型

根据三维环境建模结果,结合威胁区的位置以及范围,确定无人机路径规划的起始点坐标为  $(0.5, 0.5, 0.5)$ , 终点坐标为  $(8.5, 8.5, 5.5)$ 。同时设置蚁群算法的各个参数的值,参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数	值
蚂蚁数量	30
信息素更新系数	0.2
信息素衰减系数	0.9
迭代次数	50

采用上述设置的参数,对无人机进行三维路径规划,得到的结果如图 5 所示。

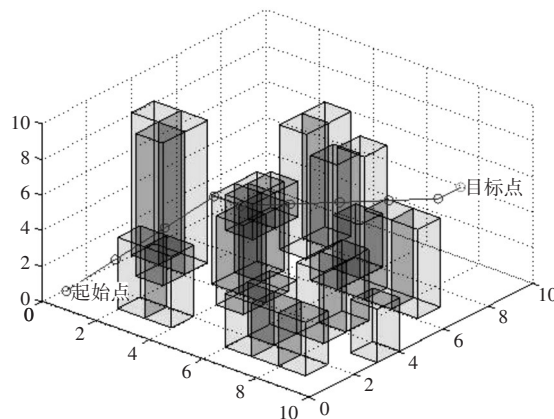


图 5 路径规划结果

将本文采用的蚁群算法进行路径规划的结果与采用传统蚁群算法进行路径规划的结果进行比较,结果如表 2 所示。

表2 仿真参数设置

算法类型	最短路径长度	计算时间
传统蚁群算法	15.07	8.641s
本文采用的蚁群算法	13.98	3.2s

由表2可以看出,本文所采用的蚁群算法规划出的路径更短,运行时间更少,算法更加稳定,能在较短的时间内收敛。

## 5 结语

本文采用蚁群算法对无人机进行路径规划问题进行研究,首先采用栅格化的方法对无人机的飞行进行抽象建模,并在建模空间中,以最短路径为目标函数,提出一种改进的信息素更新规则的蚁群算法,为无人机在三维空间中规划出一条安全、最优的飞行路径,最后,采用仿真的方式进行验证,实验结果表明,本文所采用的蚁群算法规划出的路径更短,运行时间更少,算法更加稳定,能在较短的时间内收敛。

### 参考文献

- [1] 孙明君,史建国.多无人机航路重规划方法[J].计算机应用,2009,29(5):1480-1482.
- [2] 胡小兵,黄席批.基于蚁群算法的三维空间机器人路径规划[J].重庆大学学报,2004,27(8):132-135.

- [3] 胡荟,蔡秀珊.机器人三维路径规划问题的一种改进蚁群算法[J].计算机工程与科学,2012,34(11):153-157.
- [4] KHATIB O.Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots[J].The international journal of robotics research,1986,5(1):90-98.
- [5] Ergezer H, Leblebicioglu K. Path Planning for UAVs for Maximum Information Collection [J]. Aero space and Electronic Systems, IEEE Transactions on, 2013, 49(1): 502-520.
- [6] 唐强,张翔伦,左玲.无人机航迹规划算法的初步研究[J].航空计算技术,2003,33(1):120-128,132.
- [7] ABDUL R B, WASEEM S, SALABAT K. Correlation as a heuristic for accurate and comprehensible ant-colony optimization based classifiers[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2013, 17(5): 686-704.
- [8] 段海滨.蚁群算法原理及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [9] 曾碧,杨宜民.动态环境下基于蚁群算法的实时路径规划方法[J].计算机应用研究,2010,27(3):860-863.
- [10] 柳长安,鄢小虎,刘春阳,等.基于改进蚁群算法的移动机器人动态路径规划方法[J].电子学报,2011,39(5):1220-1224.
- [11] 王越,叶秋冬.蚁群算法在求解最短路径问题上的改进策略[J].计算机工程与应用,2012,48(13):35-38.
- [12] 王芳,李鲲鹏,袁明新.一种人工势场导向的蚁群路径规划算法[J].计算机科学,2014,41(11A):47-50.

(上接第20页)

### 参考文献

- [1] 李平,李长文.武器目标协同火力分配建模及算法[J].指挥控制与仿真,2015,37(2):36-40.
- [2] 董受全.超音速反舰导弹命中概率的特点[J].战术导弹技术,2001(1):5-8
- [3] 曾家有.各种因素对现在点射击方式反舰导弹捕捉概率的影响分析[J].兵工学报,2011,32(6):719-724.
- [4] Adnan Yucel. The Generalized Weapon Target Assignment Problem[C]// 10th International Command and Control Research and Technology Symposium, The Future of C2, June 13-16, 2005, McLean, VA.
- [5] 王庆业,王平,林茜,等.舰艇编队CEC系统对抗策略研究[J].舰船电子工程,2015,35(1):40-42.
- [6] 刘晓,刘忠,侯文妹,等.火力分配多目标规划模型的改进MOPSO算法[J].系统工程与电子技术,2013,35

- (2):326-329.
- [7] 杨娟,池建军,闵华侨.基于多目标规划的导弹作战火力分配模型[J].四川兵工学报,2011,32(11):107-109.
- [8] 刘晓雷,孟婷婷,裴文俊.某型反坦克导弹多目标火力分配优化模型[J].火力与指挥控制,2014,39(S):74-76.
- [9] 杨飞,董朝阳,王青.实施饱和攻击的反舰导弹武器目标分配[J].系统仿真学报,2011,23(2):316-320.
- [10] 谭乐祖,张峥,孙仲元.多型反舰导弹混合攻击异型舰艇编队多目标整数规划火力分配模型[J].兵工自动化,2016,35(8):47-49.
- [11] 王玮,董天忠,张玉芝.CEC条件下舰艇编队目标武器分配研究[J].火力与指挥控制,2009,34(10):51-55.
- [12] 王波,刘小利,胡亮,等.基于改进遗传算法的反舰导弹火力分配研究[J].火力与指挥控制,2015,40(8):90-93.