DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)02-0009-05.

# 面向非结构障碍物避障的A*算法改进

周恒旭，熊治国，肖晓波

(北京理工大学珠海学院航空学院,广东 珠海 519000)

**摘 要:** 随着无人自主系统在各个领域应用的深入,对自主避障算法提出越来越高的要求。针对无人自主系统面向非结构障碍物避障的问题,从启发函数h(n)的选择和路径修剪策略的设计这两个方面上改进了经典的A*算法,使其生成的路径拐点尽可能少。最后基于Gazebo和ROS进行无人机仿真验证,结果表明改进的A*算法在面对非结构障碍物场景时的避障效果良好。

**关键词:** 非结构障碍物;双目摄像头;A*算法;仿真验证

中图分类号:TP18;V279 文献标识码:A 文章编号:1003−7241(2025)02−0009−05

# UAV A* Algorithm Improvement for Obstacle Avoidance of Non-structured Obstacles

**ZHOU Heng-xu, XIONG Zhi-guo, XIAO Xiao-bo**

( School of Aviation, Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519000 China )

**Abstract:** As the application of unmanned autonomous systems in various fields deepens, higher and higher requirements are put forward for autonomous obstacle avoidance algorithms. To address the problem of unmanned autonomous system obstacle avoidance for unstructured obstacles, this paper improves the classical A* algorithm from two aspects, namely the selection of heuristic function h(n) and the design of path pruning strategy, so that it generates as few path inflection points as possible. Finally, the UAV simulation is verified based on Gazebo and ROS, and the results show that the improved A* algorithm is effective in obstacle avoidance in the face of non-structural obstacle scenarios.

**Keywords:** non-structural obstacles; binocular camera; A* algorithm; simulation verification

## 0 引言

具有避障能力的路径规划是自主无人系统的重要组成部分,其目的是引导自主无人系统从当前位置通过最优路径到达目标位置,一条路径规划不包含无人机运动信息。文献[1]比较并行遗传算法与粒子群算法在无人机路径规划中不同环境下不同的效果。文献[2]使用A*算法和遗传算法获取无人机巡检桥梁的路径,但操作复杂。文献[3]在面对复杂结构的环境或者障碍物时,使用一种建立三维缓冲区的方法用于无人机路径规划。文献[4]使用图像识别与基于椭圆切线模型进行无人机路径规划,该方法对于目标是无法获取深度信息。目前,主流的无人机路径规划有[5]:搜索法,以A*算法为代表;采样法,以RRT算法为代表;优化法,以粒子群算法为代表。采样法存在的缺点在于在复杂狭小高维环境中可能无法找到路径。优化法存在的问题在于约束函数的设计选取复杂,计算复杂。搜索法存在的问题在于在较大的空间范围里其搜索步数很多。文献[6]通过双目摄像头获得障碍物点云,生成octomap[7]搜索树,然后通过A*算法路径规划。

绝大多数自主无人系统避障测试使用的障碍物为简单的几何形状,例如圆柱或者矩形,然而自主无人系统在实际运动中面对的障碍物多为非结构的障碍物,这种情况不能简单地进行膨胀后进行路径规划,这是因为如果多个障碍物之间的距离过近,膨胀之后将不存在可用于路径规划的空间。另外,A*算法在面对非结构障碍物场景时规划获取的最短路径存在拐点过多,这是由于不规则的非结构障碍物会导致A*算法搜索的最短路径变得曲折,拐点过多。以无人机为例,在实际执飞拐点过多的路径时,需要不停地加速和减速,导致耗时过长。一般情况下,A*算法规划的路径都需要经过路径修剪过程以除去路径上多余的航点和拐点,一般采用:共线删除法和bresenham3D法,但经过这两种方法依然存在较多拐点。本文针对非结构障碍物下A*算法路径存在拐点过多的问题,提出一种基于类包围盒操作的路径点选取方法。

## 1 双目摄像头和Octomap八叉树地图

为了使得自主无人系统具备避障能力,首先要求其

*基金项目:广东省普通高校特色创新项目(2020KTSCX190)

收稿日期:2023-03-03

能够使用传感器去主动获取外界场景的信息。本文选用双目摄像头作为传感器。

双目摄像头测距是利用三角测量原理，通过寻找两个图像中的相同目标的特征得到匹配点，目标点在左右两幅视图中成像的横坐标之间存在的差异，即视差，与目标点到成像平面的距离成反比例的关系得到深度目标点的信息。双目摄像头测距原理如图1所示。

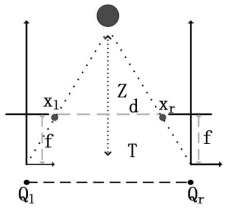



图1 双目成像原理

$$d = x_l - x_r \tag{1}$$

$$\frac{T-(x_l-x_r)}{Z-f}=\frac{T}{Z} \tag{2}$$

$$Z=\frac{fT}{x_l-x_r} \tag{3}$$

$$Z=\frac{fT}{d} \tag{4}$$

由式(1)−式(4)可计算出Z特征点的深度信息，其中$T$为两者图片上的视差。

通过双目摄像头高帧率扫描场景可以获取到场景的大量稠密点云，稠密点云数量过于多，内存效率低，不能直接用于感知处理，需要进一步压缩点云。本文使用八叉树地图(Octomap)表示方法对点云进行处理。该方法在噪声处理和处理效率上都有较好的效果，而且还能保存场景完整信息。八叉树是三维空间的分层数据结构。八叉树中的每个节点表示包含在立方体中的空间，通常称为体素。如图2所示，该体积被递归地细分为八个子体积，直到给定的最小体素大小。最小体素的大小为八叉树的分辨率。每个体素方块表示该位置被占据的概率，因此可以通过查询某个方块来计算是否能够通过，从而实现碰撞检测。

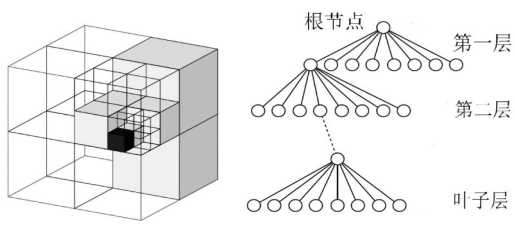



图2 八叉树地图

本文研究的场景为室外非结构化场景，在Gazebo机器人物理仿真环境里搭建，障碍物为不规则形态的树，如图3所示。获取到的场景的八叉树地图如图4所示。

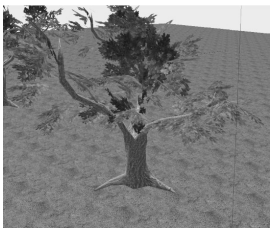


图3 仿真场景

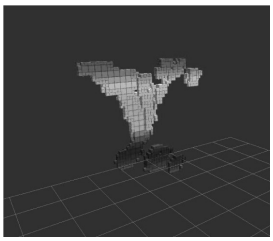


图4 场景的八叉树地图

## 2 A*算法及改进

### 2.1 A*算法的基本原理

A*算法是一种图遍历和路径搜索算法，由于其完备性、最优性和最优效率，经常被用于计算机科学的许多领域。A*算法作为启发式搜索算法，在路径搜索的过程中，经过循环迭代不断地去寻找每一步的最优节点，最后对节点的回溯，得到全局的最优路径。合适的代价评估函数可以大大减少中间节点的个数，从而提高效率。A*算法的代价评估函数为：

$$f(n)=g(n)+h(n) \tag{5}$$

式中，$n$是路径上的下一个节点，f(n)是节点n的综合优先级，当需要进行下一个节点遍历时，选取综合优先级最高的节点，g(n)是从起始节点到n的路径成本，而h(n)是一个启发式函数，用于估计从n到目标的最短路径的代价。当A*选择延伸的路径是从起点到目标的路径或没有符合延伸条件的路径时，A*搜索终止。A*保证返回从开始到目标的最小成本路径。每个节点有四个要素：f(n)、g(n)、h(n)和指向父节点的指针建立两个空列表，待查询的节点放在OPEN列表，已经途经过的节点放在CLOSE列表。A*算法流程图如图5所示。

### 2.2 A*算法的优化

由于A*算法具有完整性，解释性强和搜索效率高，因此在移动机器人、游戏等领域应用广泛。但是在三维空间的路径规划中，还需要进行具体的改进提高运行效率。本文结合无人机面向非结构障碍物的应用场景，进行以下改进。

#### 2.2.1 h(n)的优化

A*算法在实际的工程应用中，一般使用欧几里得距离表示点$p_1(x_1,y_1,z_1)$和点$p_2(x_2,y_2,z_2)$的h(n)：

$$h(n)=\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2+(z_1-z_2)^2} \tag{6}$$

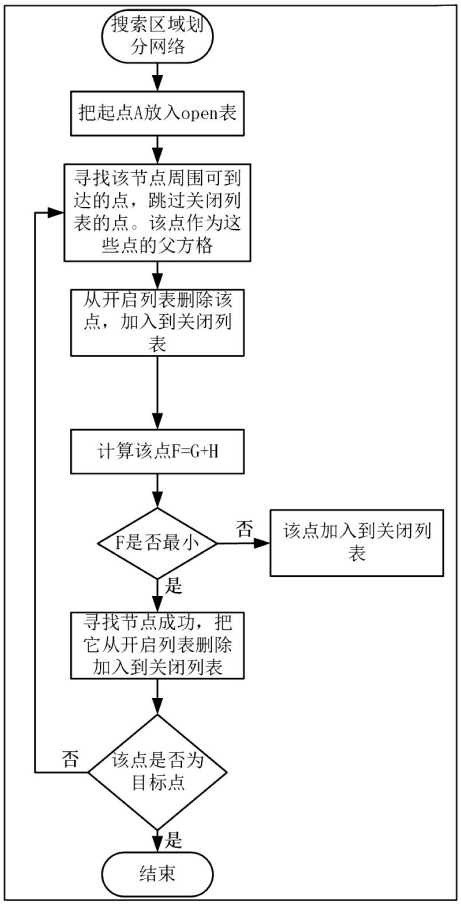



图5 A*算法流程图

如果空间中允许朝任意方向移动，则使用欧几里得距离相比于曼哈顿距离可以找到更短路径，但是找到的路径存在拐点过多，这是由于欧几里得距离找到的是两点最短直线距离，而曼哈顿距离寻找的是两点折线最短距离。图6所示。

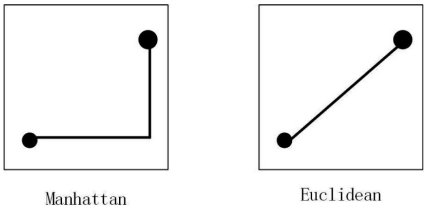



图6 曼哈顿距离与欧几里德距离

为了最大程度减少路径拐点，本文的A*算法中的$h(n)$采用曼哈顿距离表示。

### 2.2.2 A*算法的路径修剪

在路径修剪方面一般采用共线删除法和bresen-ham3D法，但经过这两种方法依然存在较多拐点。本文提出一种基于类包围盒操作的路径点选取方法。以二维平面为例，其核心思想是在一段包含较多拐点的路径里，除去起点和终点，将剩余的航点当成一个集合M1，在此集合选出x轴和y轴上两个极值点，以两个极值点的作为临时起点和临时终点，两点连线作为矩形对角线，生成矩形，矩形的两条折边为新的航线，对两点新航线进行碰撞检测，如果两条都出现碰撞，那么在集合M1里去掉之前的两个极值点形成新的集合M1，在M1中选出极值，循环重复上一次操作，直到不出现碰撞的折线航线就完成了路径的修剪。

具体操作如图7所示。现有一段路径点集合M1，M1=[A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K]。

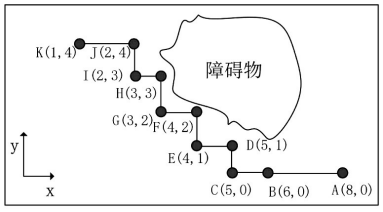



图7 示例路径

在集合M1中剔除起点A和终点K后，根据$B_x$=6和$J_x$=2选出x轴方向的极值点B和J，同样根据$B_y$=0和$J_y$=4选出y轴方向的极值点B和J，对B和J点进行直线连接，接着进行碰撞检测，如图8所示。

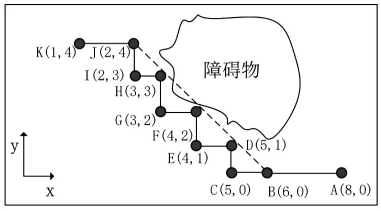



图8 极值点连接与碰撞检测

如图8所示，B与J路径碰撞检测不通过，故将点B与点J剔除M1集合。重新在M1集合中，寻找到新的极值点C和I，连接C和I，如图9所示中C和I之间的虚线连接s1。以两个极值点C和I的作为矩形对角线，生成矩形，矩形的两条折边为新的航线，如图9中的s2和s3。对新航线s2和s3进行碰撞检测，s2出现碰撞，不再考虑，而s3没有出现碰撞，故C和I之间确定的航线为s3。

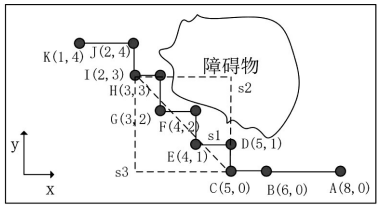



图9 新的极值点连接与碰撞检测

## 3 仿真实验

### 3.1 基于PX4与ROS的无人机控制框架

本文采用PX4与ROS作为无人机的仿真控制软件框架[8−9]如图10所示，PX4为飞控固件是可直接在Pix−

hawk自驾驶仪上运行的代码。一个完整的PX4软件固件包含在ROS−Gazebo模拟上运行PX4固件所需的所有文件,包括无人机使用的摄像头、深度摄像头、激光雷达等。

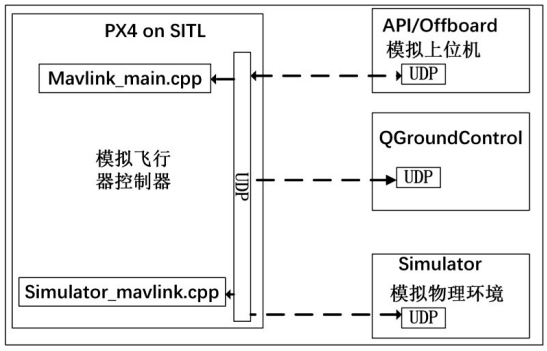



图10 仿真控制软件框架

为了让ROS与PX4进行通信,能让ROS对PX4进行控制,需要使用MAVROS作为两者的通信协议。PX4控制器与仿真器通信,接收来自仿真器的传感器数据,同时将PX4控制器的控制命令发送到仿真器中的无人机,同时PX4将机载信息(无人机姿态、位置、GPS等)发送到机外系统或地面站。本文使用ROS功能包实现无人机感知功能,使用python脚本实现路径规划算法,通过与PX4进行交互,实现对仿真器中的无人机的自主避障。

### 3.2 仿真实验及结果

Gazebo仿真器里搭建非结构场景,以不规则形态的树作为非结构障碍物,如图11所示。



图11 gazebo仿真场景

在该仿真场景中,使用的无人机型号为p450无人机。无人机起始点为ps(0,−10,0),终点为pe(1,1,2)。双目摄像头的探测范围为7 m,航点的步长默认设置为0.3 m。无人机上双目摄像头在该场景中对不规则的树的部分八叉树地图成像如图12所示。

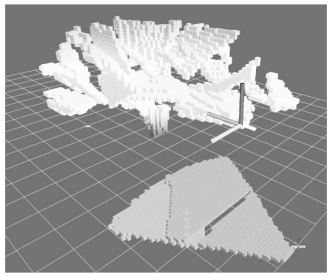


图12 仿真场景中的八叉树地图成像图

使用经典的A*算法和本文改进的A*算法进行对比实验测试,保持同样的起点和同样的终点与步长。经典A*算法规划的路径如图13所示,改进型A*算法规划的路径如图14所示。图13和图14中的黄色为路径。

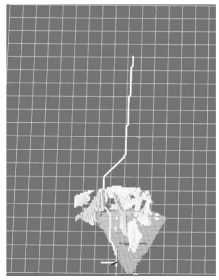


图13 经典A*算法规划路径

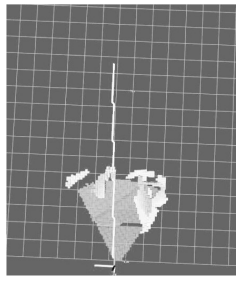


图14 改进A*算法的路径

不断重复实验,记录两者的无人机飞行耗时,整理如表1所示。记录两者的拐点数量,对比如表2所示。

表1 耗时对比表

| 耗时/s | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 经典A* | 20.2 | 24.1 | 18.7 | 21.1 | 23.2 | 21.46 |
| 改进A* | 13.1 | 12.3 | 11.6 | 12.7 | 11.3 | 12.2 |

表2 拐点数量对比表

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 经典A* | 16 | 18 | 23 | 16 | 21 | 19 |
| 改进A* | 8 | 9 | 10 | 7 | 8 | 8 |

从表1和表2中可得出,改进的A*算法不仅使得无人机在非结构障碍物中的避障耗时更少,而且规划的路径包含的拐点更少,飞行过程中停顿较少,规矩更加流畅些。

## 4 结束语

针对非结构障碍物避障是自主无人系统的重要组成部分,也是实现更高级功能的基础,自主无人系统只有具备优良的避障能力,才能更好地携带任务载荷去完成特定的任务。为了实现自主无人系统在面对非结构障碍物时的自主移动,本文改进了经典的A*算法,从启发函数h(n)的选择和路径修剪策略的设计这两个方面进行相关的改进,最终以无人机避障为例,在机器人物理仿真环境里进行验证和对比实验,实验结果表明改进的A*算法避障效

(下转第84页)