基于改进Hybrid A*的旋翼无人机 路径规划算法



彭锦城,彭侠夫,张霄力,陈锦文

厦门大学,福建厦门 361102

摘 要:针对自主导航四旋翼无人机飞行过程中,非光滑的路径会导致无人机的快速旋转或翻转,从而造成目标丢失和检测精度低等问题。本文结合四旋翼无人机在三维飞行中的运动学和动力学模型,路径规划搜索出光滑与平稳的轨迹,从而提高目标识别的精度。将改进的Hybrid A*算法应用于四旋翼无人机前端的三维路径搜索。后端对前端生成的轨迹进行非线性优化平滑处理,将路径规划的每一个路径点的位置、速度、加速度和角速度进行非线性优化处理,得到平滑、鲁棒与安全的轨迹。通过提高作用于无人机推力的鲁棒性,最终提高无人机目标识别、检测和侦察时的准确度。与fast planner 算法相比,无人机快速飞行的鲁棒性得到提高,路径的平滑程度提高了1.1倍,目标识别准确率提高了1.15倍,目标丢失的个数减少了50%。通过改进Hybrid A*的启发式函数和后端对控制点进行非线性优化,四旋翼无人机能够平滑与稳定的飞行,提高了目标识别的准确率。

关键词:旋翼无人机; 自主导航; 自主避障; 目标识别与检测; 路径规划

中图分类号:TP242 文献标识码:A

近年来,四旋翼无人机由于具有机动性强、灵活方便、 应变能力强、价格便宜等特点,逐渐成为识别、检测、监控、 侦察等任务的理想飞行载体^[1]。目标识别是监控和侦察等 后续任务的基础,具有重要的研究意义。但是,现有的路径 规划算法容易造成无人机目标丢失和检测精度低等问题。

在无人机快速转动或翻转等情况下,采集的图像数据 模糊,从而目标识别 YOLO v3 算法会出现准确度降低、目 标丢失、检测出错等问题。因此,在无人机导航飞行过程 中,一条平滑、鲁棒与安全的路径,对提高四旋翼无人机的 目标识别精度具有重要的研究意义^[13]。

现今,无人机的路径规划算法可以分为基于优化的方 法和基于搜索的方法,其中,基于优化的方法依赖于平滑和 碰撞的约束函数,轨迹本身可以表示为多项式^[2-3]。基于搜 索的路径规划算法在栅格地图上搜索一条非光滑的路径, 这条路径可以是参考文献[4]和文献[5]中提到的栅格路径, 也可以是基于采样路径的快速搜索随机树法 (RRT)或概率 路标法(PRM)^[6-7]。

然而,无论是基于搜索还是基于优化的方法所规划出

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2022.12.012

的路径,都是非光滑的,降低了目标检测算法的准确率。参考文献[8]~文献[10]结合前端的路径搜索算法与后端的轨迹优化,能够生成一条符合无人机动力学和运动学的运动轨迹。但是这些算法却过于追求无人机的飞行速度,导致无人机在目标检测过程中,出现准确率不高和目标丢失等问题。

为了提高目标识别 YOLO v3 算法的准确度,本文采用 改进二维的 Hybrid A*算法,在前端生成三维的无人机飞行 路径,然后在后端对生成的路径进行平滑和碰撞优化,并通 过 B 样条优化算法生成一条平滑、鲁棒与安全的飞行轨迹。 改进无人机飞行轨迹的平滑性和鲁棒性,从而提高了无人 机目标识别算法的准确率,本文方法的创新性主要体现在: (1) 改进自动驾驶汽车 Hybrid A*二维的路径规划算法,并 应用于四旋翼无人机三维的路径规划;(2) 在改进 Hybrid A*算法的基础上,对前端生成的路径,采集相应的控制点, 使用 n 次导数来作为约束函数轨迹的积分项,进行平滑处 理;(3)改进四旋翼无人机飞行轨迹,提高无人机快速运行 时的鲁棒性,从而提高目标检测的准确率的方法,并与现有

收稿日期: 2022-07-11;退修日期: 2022-09-15;录用日期: 2022-10-15 基金项目:航空科学基金(201958068002)

引用格式: Peng Jincheng, Peng Xiafu, Zhang Xiaoli, et al. Path planning algorithm of rotor UAV based on improved hybrid A*[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(12):105-110. 彭锦城, 彭侠夫, 张霄力, 等. 基于改进Hybrid A*的旋翼无人机路径规划 算法[J]. 航空科学技术, 2022, 33(12):105-110.

方法进行性能对比。本文提出的路径规划改进算法提高了 无人机在快速飞行时的鲁棒性,从而提高无人机目标识别、 检测和侦察时的准确度,对无人机侦察等应用具有重要的 研究意义。

1 基于改进Hybrid A*算法的前端路径规划

Hybrid A*算法来自自动驾驶汽车的应用,在栅格地图中 搜寻到一个符合汽车运动的、安全的二维路径,搜索过程与 传统的 A*算法相似,创建 OPEN 列表和 CLOSE 列表,在 OPEN 列表中找到规划代价最小的父节点,扩展父节点周围 的节点,同时记录不在 CLOSE 列表中子节点的距离起点开销 G和启发式开销H,当子节点的总开销比父节点小,更新父节 点,直到找到目标点或者 OPEN 列表为空时,结束循环。本节 在 Hybrid A*的基础上,改进二维 Hybrid A*算法,使其应用于 三维的四旋翼无人机路径规划搜索,结合四旋翼无人机动力 学和运动学,在 3D 的栅格地图中生成前端路径。

1.1 可行运动点的生成

无人机在运动的情况下,需要考虑运动学的因素,而传统 A*算法只有节点的扩散,搜索的路径不符合无人机飞行,且在自 动驾驶汽车中,离散控制输入是在二维平面的,在坐标系中,控 制二维平面只有xy轴,而无人机的控制是在三维平面的,需要考 虑z轴的控制。因此,首先将无人机的运动分解为三个二维平 面^[8],再分别进行处理,得到下一次无人机的运动点

$$\boldsymbol{p}(t) = \left[p_x(t), p_y(t), p_z(t) \right]^{\mathrm{T}}$$
(1)

式中, $p_x(t)$, $p_y(t)$, $p_z(t)$ 分别表示为x,y,z三个平面上的点。

无人机的状态方程可以表示为 $s = [x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]^{T}$,系统的输入为 $u = [\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}]^{T}$,系统模型表示为 $\dot{s} = A * s + B * u$ 。

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & I & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & I \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ I \end{bmatrix}$$
(2)

状态转移方程为

$$s(t) = e^{At}s_0 + \left[\int_0^t e^{A(t-\sigma)}B\mathrm{d}\sigma\right]u_m$$
(3)

式中, e^{At} 为状态转移矩阵。由此可得,在已知初始状态 x(0)和控制输入u(t)时,将控制变量 u_m 离散均匀等分为 $\left\{-u_{\max}, -\frac{r-1}{r}u_{\max}, \cdots, \frac{r-1}{r}u_{\max}, u_{\max}\right\}$,得到无人机能到达的可 行运动点,其原理如图1所示。



图1 离散控制输入得到下一刻无人机的可行运动点

Fig.1 The discrete control input is used to obtain the feasible movement point of the UAV at the next moment

1.2 构建最优边值问题计算启发式开销

在传统的A*算法中,直接使用欧式距离,且只考虑栅 格地图中障碍物的信息,而忽略了无人机的运动学和动力 学特性,本文所采用的方法是通过计算最优边值问题,来计 算启发式的开销。启发式开销模型可表示为

$$J(T) = \int_{0}^{T} \|u(t)\|^{2} dt + \rho T$$
(4)

式中,u(t)为控制输入。构建最优边值问题模型

$$J = \sum_{k=1}^{3} J_{k}$$

$$J_{k} = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} j_{k}(t)^{2} dt$$

$$s_{k} = (p_{k}, v_{k}, a_{k})$$

$$\dot{s} = f_{s}(s, u) = (v, a, j)$$
(5)

式中,*J_k为所求的开销;s_k为无人机状态;<i>j_k为无人机的控制* 输入;*s*为系统方程。根据庞特里亚金极小值原理,引入协 态λ,建立哈密顿方程为

$$H(s,u,\lambda) = \frac{1}{T}j^2 + \lambda^{\mathrm{T}}f_s(s,u)$$
(6)

可求得最优的控制输入为

$$\iota^{*}(t) = j^{*}(t) = \alpha_{\mu}t + \beta_{\mu}$$
 (7)
三阶多项式轨迹方程为

$$s_{\mu}(t) = \frac{1}{6} \alpha_{\mu} t^{3} + \frac{1}{2} \beta_{\mu} t^{2} + \nu_{\mu c} + p_{\mu c}$$
(8)

式中, p_{μ}, v_{μ} 是无人机当前位置和速度; $\alpha_{\mu}, \beta_{\mu}$ 为未知变量, 其解析式为

$$\begin{bmatrix} \alpha_{\mu} \\ \beta_{\mu} \end{bmatrix} = \frac{1}{T^3} \begin{bmatrix} -12 & 6T \\ 6T & -2T^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$
(9)

式中, $x_1 = p_{\mu g} - p_{\mu c} - v_{\mu c}T$, $x_2 = v_{\mu g} - v_{\mu c}$, $p_{\mu g}$, $v_{\mu g}$ 为无人机目标位置和速度,根据所求的最优控制输入 $u^*(t)$,代入式(10)

$$J_{k} = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} j_{k}(t)^{2} dt$$

$$s_{k} = (p_{k}, v_{k}, a_{k})$$
(10)

求得启发式开销为
$$J(T) = \int_0^T \|u(t)\|^2 dt + \rho T = \frac{1}{3} \alpha_\mu^2 T^2 + \alpha_\mu \beta_\mu T + \beta^2 \quad (11)$$
将 α_μ 、 β_μ 代入式(12)中,令 $\frac{\partial J^*(T)}{\partial T} = 0$,即为代价最小

的时间T,代入式(12)中,可得启发式开销。

1.3 节点的扩展及剪枝

在可行运动点生成的基础上,比较不同节点的开销f= g+h,其中g为实际开销,h为启发式开销,选择开销最小的 节点进行扩展,并把开销大的路径剪枝,在满足动力学和运 动学的基础上,完成路径的搜索。在离散控制的情况下,目 标原点的状态很难准确达到,因此,如果满足安全性和动态 可行性要求,且在目标点一定范围内,则可以提前终止搜 寻,以提高搜寻的效率。节点的扩展如图2所示。



2 基于B样条算法的后端轨迹优化

在栅格障碍物地图中,前端生成的改进Hybrid A*路径 往往会很靠近障碍物,这样对无人机的运动飞行是不合理 的,因此需要对前端生成的路径进行优化,利用ESDF 地图 提供的距离信息和梯度信息,进行优化,生成平滑、鲁棒、安 全的飞行轨迹。

2.1 控制点的求解

对前端生成的次优路径进行等时间T采样,得到K段路径以及每段轨迹的首末位置p_k、速度v_k和加速度a_k,每段轨迹利用最小二乘近似求解超定方程,得到控制点

$$\begin{bmatrix} P_s \\ P_e \\ v_s \\ v_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}$$
(12)

式中, p_s , p_e 为首尾端点位置; v_s , v_e 为首尾端点速度; p_0 , p_1 , p_2 , p_3 为控制点位置。

2.2 控制点的优化

对次优路径的采样取点,求得的控制点也是次优的,需

要对它进行非线性优化处理,从而得到平滑、鲁棒、安全的 轨迹,总约束函数模型的建立如下

 $f_{\text{total}} = \lambda_1 f_s + \lambda_2 f_c + \lambda_3 (f_v + f_a)$ (13)

式中, f_s , f_c 是路径平滑度和碰撞安全性的代价函数; f_v , f_a 是速度和加速度的代价函数, 限制着无人机的速度和加速 度, 提高无人机的鲁棒性和安全性; λ_1 , λ_2 , λ_3 为三者的权重。

平滑代价函数*f*_s:在文中,平滑函数可以表述为使用*i* 次导数代价来作为代价函数轨迹的积分项(加速度、加加速 度等)^[12],其定义如下

$$f_{\rm s} = \sum_{i=2}^{4} \int_{t_{\rm min}}^{t_{\rm max}} (p^{(i)}(t))^2 \mathrm{d}t$$
(14)

碰撞代价函数 f_{c} :轨迹点在距离障碍物的 τ 范围内,函数表示如下

$$f_{\rm c} = \int_{t_{\rm min}}^{t_{\rm max}} c(p(t)) \, \left\| \, p'(t) \, \right\| {\rm d}t \tag{15}$$

其中,每个点的c(x)代价函数定义如下

$$c(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\tau} (d(x) - \tau)^2 & d(x) \le \tau \\ 0 & d(x) > \tau \end{cases}$$
(16)

d(*x*)表示与障碍物最近的距离。速度和加速度的代价 函数*f*,*f*,将不可行速度和加速度控制点进行约束

$$f_{v} = \sum_{\mu \in \{x, y, z\}} \sum_{i=p_{b}}^{N-p_{b}} F_{v}(V_{i\mu})$$

$$f_{a} = \sum_{\mu \in \{x, y, z\}} \sum_{i=p_{b}-2}^{N-p_{b}} F_{a}(A_{i\mu})$$
(17)

其中, $\mu \in \{x, y, z\}$,最大允许速度为 v_{max} ,且 $F_v(v_\mu)$ 定义如下

$$F_{v}(v_{\mu}) = \begin{cases} (v_{\mu}^{2} - v_{\max}^{2})^{2} & v_{\mu}^{2} > v_{\max}^{2} \\ 0 & v_{\mu}^{2} \le v_{\max}^{2} \end{cases}$$
(18)

2.3 B样条轨迹的生成

本文轨迹优化的方式采用B样条方法^[11],在生成控制 点以及对控制点进行优化处理后,得到平滑的轨迹。*K*-1次 B样条的公式计算为

$$S(t) = \sum_{i=0}^{n-1} N_{i,k}(t) Q_i$$
(19)

式中,*S*(*t*)表示优化后的轨迹;*N*_{*i,k}(<i>t*)是基函数表中第*i*个*k* 次 B 样条的基函数;*Q*_{*i*}为第*i*个控制点。基函数是使用 Deboor算法生成的,表达式如下</sub>

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & u_i \le u \le u_{i+1} \\ 0 & \ddagger d u \end{cases}$$
$$N_{i,k}(u) = \frac{(u - u_i)N_{i,k-1}(u)}{u_{i+k} - u_i} + \frac{(u_{i+k+1} - u)N_{i+1,k-1}(u)}{u_{i+k+1} - u_{i+1}},$$
$$u_k \le u \le u_{n+1} \end{cases}$$
(20)

式中,u_i表示节点,N_{ik}(u)表示基本函数表中的基函数。

3 试验结果与分析

3.1 试验设置与试验平台

使用DP1000四旋翼无人机多次进行户外测试来试验。 所提出的相关路径规划和轨迹优化方法,均在TX2板载计 算机、Ubuntu18.04系统、ROS平台上使用C++代码试验。 调用非线性优化求解器 NLopt 对控制点进行优化处理,在 真实无人机上验证算法之前,已在gazebo进行了若干次试 验,确保算法可行的情况下,才进行真实无人机试验。

在未知的环境中,使用DP1000四旋翼无人机平台,进行目标识别和无人机自主避障飞行,如图3所示,PX4飞控板,配备英特尔实感深度摄像头D455,生成密集点云图,用于栅格障碍物地图的绘制,本文使用扩展卡尔曼滤波(EKF)将GPS和IMU的数据进行融合,从而获得位姿信息。路径生成、轨迹优化、状态估计和ESDF地图构建均在Nvidia TX2(配备8GB RAM、8GB SSD和256GB外部存储器)板载计算机上进行,通过ROS节点,将图像信息以话题/camera/color/image_raw的形式,传输到地面端LenovoLegion Y7000P笔记本电脑进行目标识别、检测和侦察。DP1000无人机如图3所示。



图 3 无人机平台 Fig.3 UAV platform

3.2 试验结果分析与比较

对于本文提出的改进 Hybrid A*算法结合后端优化的方法,主要进行两个方面的测试:(1)不同算法路径的比较,测试参数为:路径的平滑程度和飞行过程中的最大加速度和平均加速度。(2)无人机在快速飞行过程中,对比不同算法的目标识别的准确率和检测数目。随机放置2.5m和3.0m的避障杆,让无人机自主穿梭,并进行目标识别和侦察。在快速飞行时,四旋翼无人机能够成功地生成平滑、鲁棒、安全的路径避开障碍物,且提高了目标识别和检测的准确率。

3.3 无人机运动的路径比较

将不同的算法生成的路径与本文提出的优化算法进行 对比。无人机运行最大速度设置为0.5m/s,最大加速度设 置为0.5m/s²,飞行高度为2m。对比不同算法生成轨迹的弦 长和弧长的距离,来判断无人机飞行路径的平滑度,见表1。 将Fast planner^[8]规划的轨迹与本文算法规划的轨迹在图4 中进行对比,路径的平滑度增加了10%。

表1 不同算法在无障碍物时生成的路径平滑程度

 Table 1
 Path smoothness degree generated by different algorithms without obstacles

	弦长/m	弧长/m	弦长:弧长
Fast planner	38.0	43.8598	0.866
本文算法	38.0	39.4438	0.963



不同算法下,通过无人机快速飞行最大加速度和平均加 速度来比较无人机飞行的平稳性,试验结果见表2。

表2 无人机在不同筒法下飞行的**鱼**棒性

Table 2	Table 2 Robust performance of UAV flying under				
different algorithms					
			最大加速度/(m/s ²)	平均加速度/(m/s ²)	
		~	0.497	0.10061	

		AC CHILE (III C)	1 · J/1122/20 (111.5 /
Fast planner	x	0.497	0.10961
	У	0.134	0.00028
	Ζ	0.107	0.00035
本文算法	x	0.234	0.09247
	у	0.105	0.00018
	Z	0.081	0.00021

真实障碍物环境飞行如图5所示,图5(a)表示无人机 飞行的真实环境,图5(b)表示无人机局部的飞行轨迹,经本 文算法优化后,绕障轨迹平滑,由图5可知,经优化后,无人 机避障飞行轨迹平滑。无人机在自主导航飞行中进行目标 识别,如图6所示。

3.4 目标识别和检测准确率

无人机高机动飞行往往导致采集的图像数据模糊,对 后续的目标识别造成影响^[14]。将本文改进的算法、A*算法 和Fast planner算法进行对比。无人机沿不同算法生成的 轨迹快速飞行,并对特定的物体进行识别和检测,现场布置 了一个人和9辆车,对比在不同算法高机动飞行下,无人机





(a) 自主导航避障 (b) 局部优化的轨迹 图 5 真实环境中无人机自主导航

Fig.5 Autonomous navigation of UAV in real environment





 (a) 无人机真实环境
 (b) 目标识别

 图 6 无人机目标识别结果

 Fig.6 UAV target recognition results

表3 不同路径规划算法对目标识别的影响

Table 3 Compares the effects of different path planning on fast flight on target recognition

	最高准确率/%	帧率/Fps	检测数目/个
A*	81	29.6	1
Fast planner	89	30.1	4
本文算法	96	27.9	8

检测出的数目以及各个物体的准确率,见表3。不同算法的 对比,如图7和图8所示。

经过真实四旋翼无人机实际测试可知,改进的路径平滑 优化算法,提高了无人机飞行的平稳性,四旋翼无人机在快速 飞行中准确率不高、目标丢失等问题,得到了很好的改善。

4 结论

本文针对无人机飞行过程中的目标识别 YOLO v3 算 法准确率不高等问题,通过改进无人机前端路径搜索算法 和后端非线性平滑优化方法,计算得到一条平滑、鲁棒与安





(a) A*算法(b) Fast planner算法图 7 无人机在快速飞行时的目标识别Fig.7 Target recognition of UAV in fast flight



图 8 经本文优化算法后的目标检测结果 Fig.8 Target recognition diagram of UAV when the optimized algorithm flies fast

全的飞行路径,从而提高目标识别YOLO v3算法在无人机 上的准确率。改进Hybrid A*前端三维路径搜索的启发式 函数和后端非线性优化的平滑函数,解决了无人机在自主 导航和自主避障飞行中快速旋转或翻转等问题。本文的算 法具有以下几个优点:(1)无人机快速飞行时鲁棒性和路径 的平滑性得到提高;(2)无人机飞行过程中传统目标识别算 法的检测精度更高。试验结果表明,本文改进Hybrid A*前 端启发式函数和后端平滑优化函数,能够提高无人机飞行 的稳定性和路径的平滑性,对提高目标识别的准确率有很 好的效果。

参考文献

- Wang N, Li Z, Liang X L,et al. Research on the application of UAV autonomous target recognition and positioning[EB/OL].
 (2021-05-07). https://kns. cnki. net/kcms/detail/11.4762. tp. 20210301.1042.058.html.
- [2] Matt Z, Nathan R, Anca D, et al. CHOMP:Covariant hamiltonian optimization for motion planning[J]. International Journal of Robotics Research, 2013, 32(9): 1164-1193.
- [3] Helen O, Michael B, Zachary T, et al. Continuous-time trajectory optimization for online UAV replanning[C]//Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, Piscataway, USA:IEEE,2016:5332 -5339.
- [4] Dmitri D, Sebastian T, Michael M, et al. Practical search techniques in path planning for autonomous driving[C]//Proceedings of Conference on Artificial Intelligence, Menlo Park: AAAI, 2008: 32-37.
- [5] Dongwon J, Panagiotis T. On-line path generation for small unmanned aerial vehicles using B-spline path templates[J]. Journal of Guidance Control and Dynamics, 2013, 36(6): 18-21.
- [6] Charles R, Adam B, Nicholas R. Polynomial trajectory plan-

ning for aggressive quadrotor flight indense indoor environments[C]//In Proceedings of the International Symposium of Robotics Research, Springer: ISRR, 2016: 649-666.

- [7] Michael B, Helen O, Roland S, et al. Real-time visual-inertial mapping, relocalization and planning onboard MAVs in unknown environments[C]// Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, Piscataway, USA: IEEE, 2015: 1872-1878.
- [8] Zhou B, Gao F, Wang L, et al. Robust and efficient quadrotor trajectory generation for fast autonomous flight[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4(4): 3529-3536.
- [9] Quan L, Han L, Zhou B, et al. Survey of uav motion planning[J]. IET Cyber-systems and Robotics, 2020, 2(1): 14-21.
- [10] Gao F, Lin Y, Shen S. Gradient-based online safe trajectory generation for quadrotor flight in complex environments[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Piscataway, USA: IEEE, 2017: 3681-3688.

- [11] Ding W, Gao W, Wang K, et al. An efficient B-spline-based kinodynamic replanning framework for quadrotors[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2019, 35(6): 1287-1306.
- [12] Vladyslav U, Lukas V S, Andrej P, et al. Real-time trajectory replanning for MAVs using uniform B-splines and a 3D circular buffer[C]//IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Piscataway, USA: IEEE, 2017: 215-222.
- [13] 项松,赵伦,陈虹霖,等.一种无人机旋翼设计方法 [J].航空 科学技术,2022,33(4):1-6.
 Xiang Song,Zhao Lun,Chen Honglin,et al.A design method for unmanned aerial vehicle rotor [J]. Aeronautical Science & Technology,2022,33(4):1-6.(in Chinese)
- [14] 刘飞,单佳瑶,熊彬宇.基于多传感器融合的无人机可降落区域识别方法研究[J].航空科学技术,2022,33(4):19-27.
 Liu Fei, Shan Jiayao, Xiong Binyu. Research on the identification method of UAV landing area based on multi-sensor fusion[J].Aeronautical Science & Technology,2022,33(4):19-27.(in Chinese)

Path Planning Algorithm of Rotor UAV Based on Improved Hybrid A*

Peng Jincheng, Peng Xiafu, Zhang Xiaoli, Chen Jinwen Xiamen University, Xiamen 361102, China

Abstract: During the flight of a quadrotor UAV with autonomous navigation, the non-smooth path will cause the UAV to quickly rotate or flip, causing problems such as target loss and low detection accuracy. In this paper, combined with the kinematics and dynamics models of the quadrotor UAV in three-dimensional flight, the path planning searches for a smooth and stable trajectory, thereby improving the accuracy of target recognition. The improved Hybrid A* algorithm is applied to the three-dimensional path search of the front end of the quadrotor UAV. The back-end performs nonlinear optimization and smoothing processing on the trajectory generated by the front-end, and performs nonlinear optimization processing on the position, velocity, acceleration and angular velocity of each path point in the path planning to obtain a smooth, robust and safe trajectory. By improving the robustness of the thrust acting on the UAV, the accuracy of target recognition, detection and reconnaissance is ultimately improved. Compared with the fast planner, the robustness of the UAV's fast flight has been improved, the smoothness of the path improved by 1.1, the accuracy of target recognition improved by 1.15, and the number of lost targets has been reduced by 50%. By improving the heuristic function of Hybrid A* and the non-linear optimization of the control points at the back end, the quadrotor UAV can fly smoothly and stably, which improves the accuracy of target recognition.

Key Words: rotor UAV; autonomous navigation; autonomous obstacle avoidance; target recognition and detection; path planning

Received: 2022-07-11; Revised: 2022-09-15; Accepted: 2022-10-15 Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(201958068002)