

基于DWA-A*融合算法与激光雷达的无人机动态避障方法研究

郑参坤¹, 王廷军¹, 孙尧磊¹, 刘宝格², 邹旭¹, 刘梓鑫³, 舒轩³, 栾凯达¹, 刘珅¹, 唐毅杰³

¹上海电机学院智能制造与机器人学院, 上海

²上海电机学院航空学院, 上海

³上海电机学院电气与能源工程学院, 上海

收稿日期: 2026年6月30日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年7月29日

摘要

在“双碳”目标的时代背景下, 受人工智能技术推动, 无人机技术取得突破性进展。经调研, 现有无人机避障技术存在传感器易受干扰、路径规划效率低下以及能耗偏高等问题, 这些问题制约了无人机在复杂场景中的应用潜能。基于此, 本文提出一种融合激光雷达与DWA-A*算法的无人机动态避障系统。该系统借助激光雷达感知周围环境, 运用A*算法开展全局路径规划, 并采用DWA算法实现局部动态避障。多目标点场景的仿真结果显示, 此系统能够在复杂场景中实现高效且稳定的障碍规避, 有效减少了能耗, 可以应用在工业、农业以及应急救援等领域。

关键词

无人机, 避障, DWA算法, 激光雷达, A*算法

Research on UAV Dynamic Obstacle Avoidance Method Based on DWA-A* Fusion Algorithm and LiDAR

Cankun Zheng¹, Tingjun Wang¹, Yaolei Sun¹, Baoge Liu², Xu Zou¹, Zixin Liu³, Xuan Shu³, Kaida Luan¹, Shen Liu¹, Yijie Tang³

¹School of Intelligent Manufacturing and Robotics, Shanghai Dianji University, Shanghai

²School of Aeronautics, Shanghai Dianji University, Shanghai

³School of Electrical and Energy Engineering, Shanghai Dianji University, Shanghai

Received: June 30, 2026; accepted: July 23, 2026; published: July 29, 2026

文章引用: 郑参坤, 王廷军, 孙尧磊, 刘宝格, 邹旭, 刘梓鑫, 舒轩, 栾凯达, 刘珅, 唐毅杰. 基于 DWA-A*融合算法与激光雷达的无人机动态避障方法研究[J]. 建模与仿真, 2026, 15(7): 151-160. DOI: 10.12677/mos.2026.157116

Abstract

Against the backdrop of the “dual carbon” goals, drone technology has achieved breakthrough progress driven by artificial intelligence. Through research, it is found that existing drone obstacle avoidance technologies face issues such as sensor vulnerability to interference, low path planning efficiency, and high energy consumption, which restrict the application potential of drones in complex scenarios. Based on this, the paper proposes a dynamic obstacle avoidance system for drones integrating LiDAR and the DWA-A* algorithm. The system utilizes LiDAR to perceive the surrounding environment, employs the A* algorithm for global path planning, and adopts the DWA algorithm to achieve local dynamic obstacle avoidance. Simulation results in multi-waypoint scenarios demonstrate that the system can realize efficient and stable obstacle avoidance in complex environments, effectively reduce energy consumption, and be applied in fields such as industry, agriculture, and emergency rescue.

Keywords

UAV, Obstacle Avoidance, DWA Algorithm, Lida, A Star Algorithm

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前市面上无人机主流避障方案分为两类，一类以激光雷达作为避障核心部件，另一类以全球定位系统(GPS)为基础，搭配超声波、红外线等技术构建避障体系[1]-[3]。但这两类避障方案在实际应用过程中仍存在诸多问题，具体体现在三个方面：一是传感器自身精度有限，导致避障准确率难以达到预期标准[4]；二是部分传感器对光线高度敏感，不同光照环境会大幅干扰避障效果的稳定性[5]；三是现有方案缺乏高效路径筛选机制，不合理的避障路径易造成能源的无意义消耗[6]。

上述问题的核心症结在于现有技术受限于传感器性能、环境适应性不足及路径规划算法单一，难以在避障精准度、抗干扰能力与能源利用效率之间实现平衡[7]。为突破这一技术瓶颈，有必要整合多元技术构建高效集成化避障方案。基于此，本文提出一种集成激光雷达、DWA 算法(动态窗口法)和 A*算法的无人机避障方法，通过发挥三者技术协同优势，针对性解决当前无人机避障领域的突出问题。同时，通过仿真实验对该避障系统的可行性与有效性展开验证。

2. 基本原理

2.1. 激光雷达

激光雷达是无人机采用的用于环境感知的传感器，依托激光探测测距技术输出高精度数据，可检测障碍物位置、距离等多维信息，如图 1 所示。这些数据能快速构建实时环境地图，助力无人机 360°扫描环境[2]。相比摄像头和普通雷达，激光雷达融合二者长处、克服弊端，优势明显。在复杂环境中，它高频采集环境信息，让无人机实时感知环境动态。面对障碍物或复杂地形，无人机能基于其信息迅速反应、调整轨迹，避免碰撞，保障飞行安全，为精准避障与可靠导航筑牢基础[8] [9]。

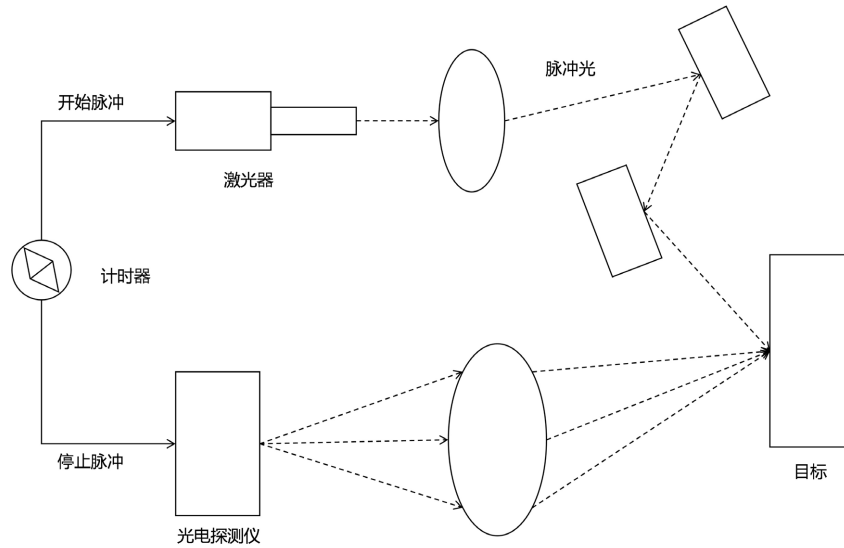


Figure 1. Lidar principle diagram
图 1. 激光雷达原理图

2.2. DWA 算法

动态窗口算法(Dynamic Window Approaches, DWA)是无人机选用的避障算法,可以通过自身的三个评价函数判定模拟路径的优先级。其考虑了无人机受自身最大速度和最小速度的限制、受电机性能的影响以及受障碍的影响这三个方面,对无人机的最大加速度、最大减速度、最大速度和最小速度进行分析。同时,用方位角、障碍物、线速度三个评价函数筛选合适的速度和加速度[10]。

无人机受自身最大速度和最小速度的限制表达式如下:

$$V_s = \{(V, W) | V \in [V_{\min}, V_{\max}] \cap W \in [W_{\min}, W_{\max}]\} \quad (1)$$

其中, V_s 为机器人能够到达的所有矢量速度的集合, 无人机受到最大最小线速度和角速度影响。

无人机受电机性能的影响表达式如下:

$$V_d = \{(V, W) | V \in [V_c - \dot{V}_b \Delta t, V_c + \dot{V}_a \Delta t] \cap W \in [W_c - \dot{W}_b \Delta t, W_c + \dot{W}_a \Delta t]\} \quad (2)$$

由于加速度有一个范围限制, 所以最大加速度或最大减速度是一定时间内能达到的速度, 才会被保留。

无人机受障碍的影响速度满足以下条件:

$$V_s = \{(V, W) | V \leq \sqrt{2 \text{dist}(V, W) \dot{V}_b} \cap W \leq \sqrt{2 \text{dist}(V, W) \dot{W}_b}\} \quad (3)$$

其中, V_s 为能在碰到障碍物前停下来, 无人机在最大减速度的条件下的速度, 如图 2 所示。

无人机运动时, 输入起点信息和终点信息, DWA 算法便能依据环境地图和无人机动力学模型动态生成合适的速度、转向指令, 帮助无人机灵活避障并规划最优路径抵达目标点。DWA 算法优化体现在两方面: 一是适配未知环境, 提高避障安全性和有效性; 二是分析速度和加速度限制时, 综合自身速度、电机性能、障碍等实际因素, 贴合实际场景。同时, 通过三个评价函数筛选模拟速度与加速度, 提升路径规划准确性。优化后的 DWA 算法能让无人机在未知环境精准避障, 保障飞行安全, 快速到达目标点, 提升其在复杂环境的作业能力与适应性。

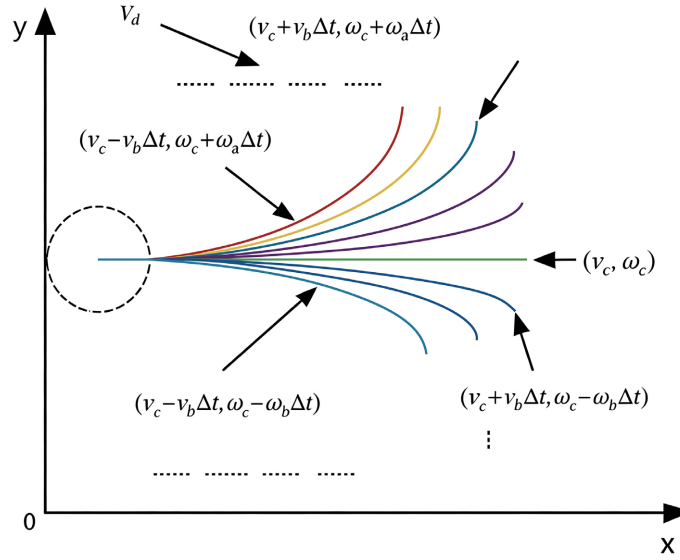


Figure 2. Speed curve diagram under the condition of maximum deceleration
图 2. 在最大减速度条件下的速度曲线图

三个评价函数:

方位角评价函数(Heading) [10]表达式:

$$\text{Heading}(v, w) = 180^\circ - |\theta_{goal} - \theta_{pred}| \quad (4)$$

θ_{goal} : 目标点相对于机器人当前位置的方位角;

θ_{pred} : 预测轨迹终点的机器人朝向;

空隙评价函数(Distance)表达式:

$$\text{Distance}(v, w) = \frac{\min(d_{ob}, d_{max})}{d_{max}} \quad (5)$$

d_{ob} : 轨迹到最近障碍物的距离;

d_{max} : 最大安全距离, 取机器人刹车距离与传感器范围的较小值;

速度评价函数(Velocity)表达式:

v : 当前线速度;

v_{max} : 机器人最大线速度;

$$\text{Velocity}(v, w) = \frac{v}{v_{max}} \quad (6)$$

2.3. A*算法

A*算法(A* Algorithm)是一种基于最佳优先搜索策略的高效启发式搜索算法, 广泛用于路径规划与图形搜索[9]。它通过评估函数:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (7)$$

对节点进行排序, 其中 $g(n)$ 为起始节点至节点 n 的实际代价, $h(n)$ 为节点 n 到目标节点的启发式估计代价, 且 $h(n)$ 不得高估实际代价。在搜索过程中, 开放列表用于存放待探索节点, 关闭列表用于存放

已探索节点[11][12]。当无人机处于运动状态时,输入起点与终点信息,A*算法可依据当前环境地图和无人机动力学模型,动态生成适配的速度与转向指令,助力无人机实现避障并规划最优路径,进而提升运行效率[13][14]、节约运行时间,DWA 算法和 A*算法结合原理图如图 3 所示。

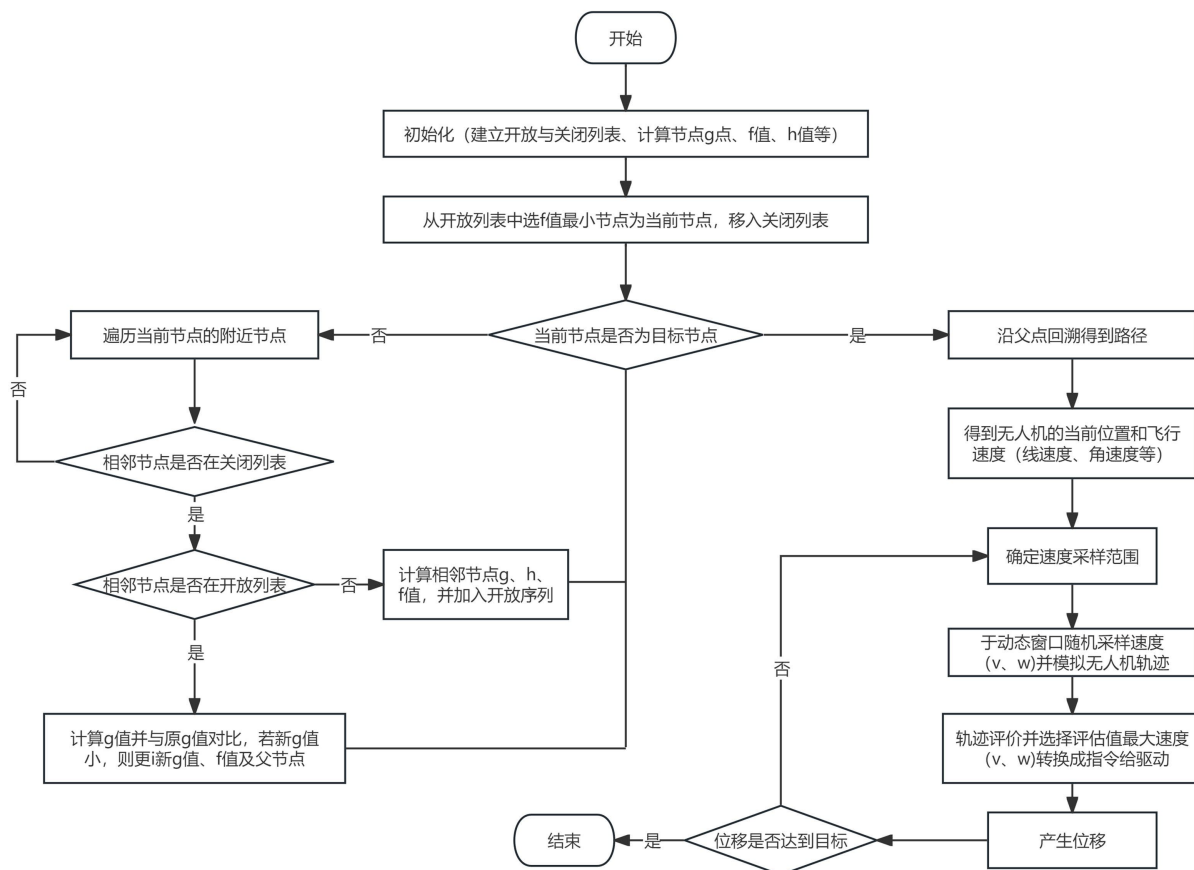


Figure 3. The schematic diagram illustrating the combined DWA and A* algorithm principle
图 3. DWA 算法和 A*算法结合原理图

为满足无人机避障需求,对 A*算法实施优化:在评价函数中引入偏移代价,引导算法朝着目标方向进行搜索,以改善路径规划效率;对路径点进行优化,从而获取全局最优路径;依据障碍物的方位和距离动态调整评价函数的权值,增强算法的避障能力[15]。优化后的 A*算法可使无人机在未知环境中的避障操作更为安全有效,有效弥补了动态窗口法(DWA)算法无法规划整体最优路径的缺陷,提升了无人机在复杂环境中的避障与路径规划性能,增强了无人机作业的可靠性与高效性。

2.4. 仿真参数设置

为保证仿真结果的可复现性,并满足路径规划算法对参数透明性的要求,对 DWA 算法与 A*算法的关键参数进行统一说明与整理。

2.4.1. DWA 算法参数设置

DWA 算法的运动学约束及采样参数均来自仿真实现代码,其主要用于限定无人机的速度搜索空间,并保证轨迹生成的可行性与稳定性。

DWA 算法核心运动学约束与采样参数如表 1 所示:

Table 1. DWA algorithm kinematics parameter settings
表 1. DWA 算法运动学参数设置

参数	符号	数值	含义
最大线速度	$v_{\max}$	2 m/s	前向最大速度
最大角速度	$\omega_{\max}$	20°/s	最大转向角速度
线加速度	a	0.2 m/s ²	速度变化率
角加速度	α	50°/s ²	转向变化率
线速度分辨率	Δv	0.01 m/s	速度采样步长
角速度分辨率	$\Delta \omega$	1°	角速度采样步长

DWA 轨迹评分函数采用多目标加权机制，该设置用于平衡目标趋近性、避障安全性与运动效率之间的关系，具体参数如表 2 所示：

Table 2. DWA algorithm evaluation function parameter settings
表 2. DWA 算法评价函数参数设置

权重项	符号	数值
方位角权重	α_h	0.05
障碍物距离	β_h	0.20
速度权重	γ_v	0.20
预测时间窗	T_{pred}	3.0 s

2.4.2. A*算法参数设置

A*算法基于栅格地图进行路径搜索，栅格地图的基础环境配置参数设置如表 3 所示：

Table 3. A* basic parameters of the algorithm grid environment
表 3. A*算法栅格环境基本参数

参数	数值	说明
栅格地图大小	20 × 20	离散环境模型
障碍物表示	1	静态障碍
可通行区域	0	自由空间

A*算法采用欧氏距离作为启发函数，用于估计当前节点到目标节点的几何距离，从而提高路径搜索效率。其表达式为：

$$h(n) = \sqrt{(x_n - x_g)^2 + (y_n - y_g)^2} \quad (8)$$

其中 (x_n, y_n) 为当前节点坐标， (x_g, y_g) 为目标节点坐标。

2.4.3. A*搜索机制说明

A*算法采用 2.3 节中公式(7)定义的经典评价函数结构，通过 OPEN 列表与 CLOSED 列表进行节点扩展与剪枝，实现高效路径搜索。其中 $g(n)$ 为起点到当前节点的实际代价， $h(n)$ 为启发式估计代价。

2.4.4. 可复现性说明

为确保实验结果可重复性，在仿真过程中固定所有 DWA 与 A*参数，包括速度采样范围、加速度约

束、评价函数权重及启发函数形式，避免随机因素对路径规划结果造成影响，从而保证不同实验运行条件下结果的一致性。

3. 避障系统设计

避障系统的设计同时使用了 DWA 算法和 A*算法，以实现更高效、更精确的避障功能。本文集成 A*与 DWA 算法，先以 A*算法在静态环境中规划无人机初始路径，然后当无人机遇到动态环境变化时，用 DWA 算法实时调整无人机的速度，以应对障碍物运动与环境变化，如表 4 所示。两种算法优势结合，可实现更准确、高效的动态路径规划。

Table 4. Comparison of input algorithm performance

表 4. 输入算法性能比较

算法	A*算法	DWA 算法
静态全局路径规划时间	高(冗余节点多, 搜索效率低)	不适用(仅限局部规划)
静态避障成功率	>95%	<80%
动态响应时间	不适用	快(实时调整)
动态避障成功率	0%	75%~85%

3.1. 系统结构与路径算法

通过遴选机架、4 个正反转电机、4 个电调、4 个桨叶、1 个飞控、1 个减震板、1 个电池、1 个 GPS 支架、1 个回传模块等硬件模块予以组合，并设计相应的软件程序，搭建无人机避障系统平台，拟定总体方案。此无人机在常规硬件架构(飞控、电机等)的基础上，增设了雷达以及烧录有 DWA 算法和 A*算法的单片机。主控单元采用 DWA 算法开展动态避障、运用 A*算法进行路径规划，同时整合不同传感器的数据，以提供更为精确的环境信息，如图 4 所示。

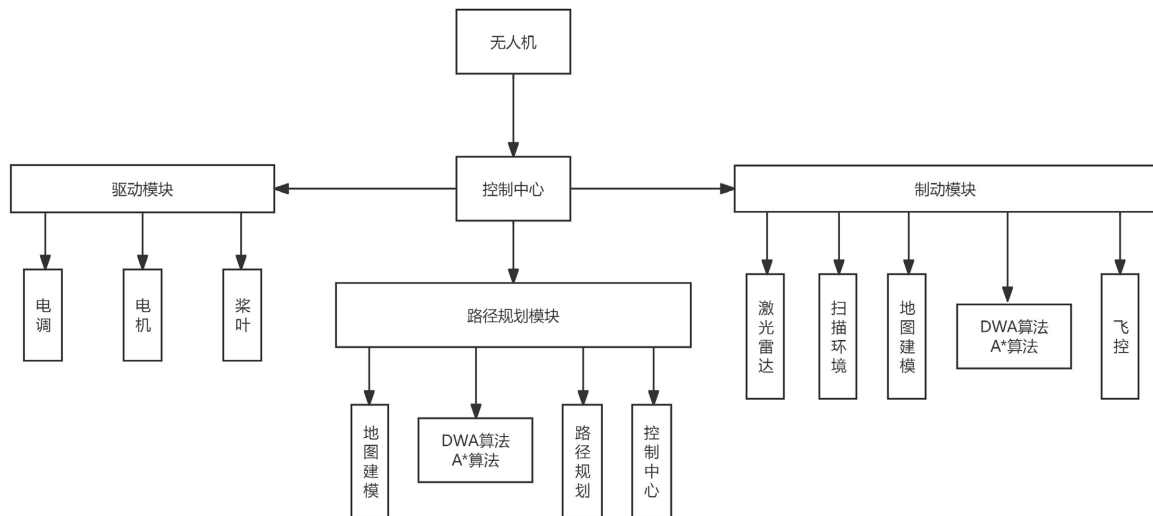


Figure 4. Function module diagram of UAV

图 4. 无人机功能模块图

3.2. 路径规划模块

两点间路径规划模块，先进行环境地图建模，再结合 DWA 与 A*算法规划，最终获取最优路径。环

境地图建模时,通过人工采集或机器探测获取地图后在软件中构建;对于移动障碍物,无人机用激光雷达实时扫描并同步信息至地图,标注障碍物区域。DWA 算法基于无人机当前位置、速度及周围障碍物分布,动态计算一个可行的速度窗口,筛选适配当前局部环境的路径以避障。而 A*算法依托环境地图,用启发式搜索考量实际与预估代价,搜索出一条理论上最优的全局路径。将二者有机结合,A*算法宏观指引,DWA 算法精细调整,规划出的最优路径可让无人机节约时间、减少能耗、提升效率。

4. 仿真结果可视化与数据分析

无人机通过将 DWA 算法,A*算法和激光雷达三者进行集成来实现避障的目的,将两种算法结合后,无人机运行时对环境的要求比较低,可以适用于任何环境,如果路上遇到任何突发状况,或者突然出现的物体,系统对环境变化响应迅速,能够实时调整路径以应对突发障碍物[3]。

4.1. 全局路径规划与障碍物规避结果

基于 20×20 栅格地图开展全局路径仿真,起点坐标[14, 12],终点坐标[4, 4],静态障碍物分布于对应位置,动态障碍物沿预定轨迹移动,仿真结果如图 5 所示。横轴与纵轴均为栅格编号。其中,黑色方块表示静态障碍物,灰色方块表示未知静态障碍物,蓝色虚线代表采用 A*算法规划出的全局最优路径,蓝色实线代表 DWA-A*融合算法所生成的路径, Δ 为起点, $\circ$ 为终点。

由图 5 可知,尽管 A*算法能够规划出全局最优路径(蓝色虚线),但在动态环境下应对实时障碍物时存在一定局限。与之相比,融合了改进 A*算法与 DWA 算法的路径规划方法(蓝色实线),能够在全局路径的引导下有效进行局部调整,同时避免不必要的转向,进而在保障安全的基础上,兼顾了路径的最优性。

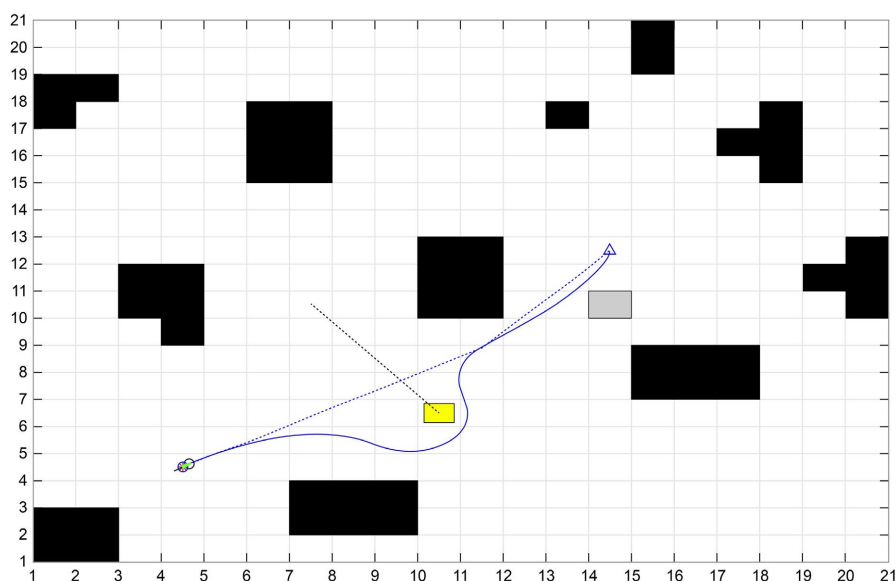


Figure 5. Simulation diagram of global path and obstacle distribution

图 5. 全局路径与障碍物分布仿真图

4.2. 无人机速度变化结果

在动态障碍物场景下(移动速度 0.8 m/s),采集无人机线速度与角速度变化,结果如图 6 所示。

横轴为控制节点个数(范围: 0~400),纵轴为速度值,蓝色曲线代表线速度(单位: m/s),橙色曲线代

表角速度(单位: rad/s)。

由图 6 可知,融合算法控制下,无人机线速度稳定在 0.4~0.48 m/s,仅在遭遇动态障碍物时,线速度微调至 0.38 m/s,角速度最大波动为-0.35 rad/s,无剧烈启停,不仅提升了速度稳定性,还直接减少电机频繁加减速导致的能耗浪费。

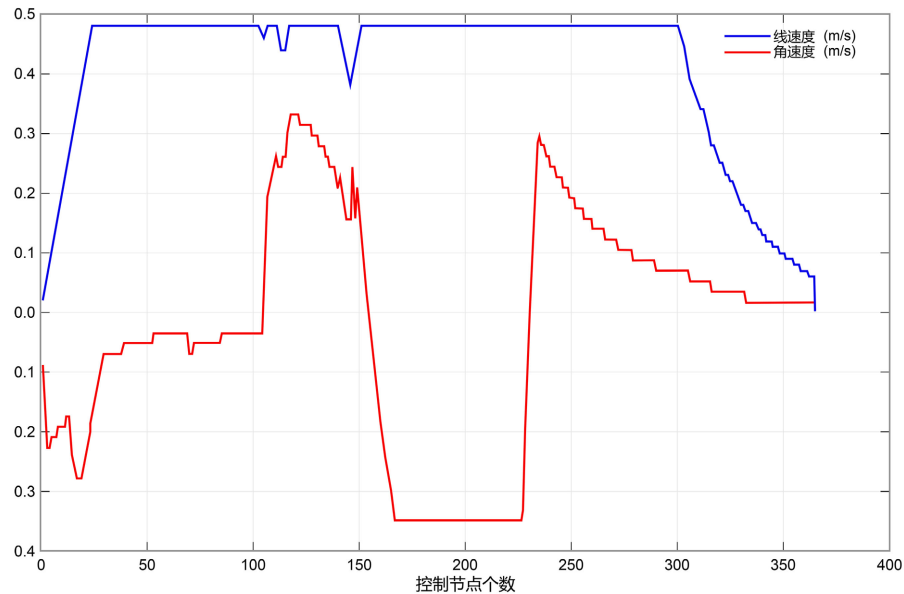


Figure 6. Curve of UAV velocity varying with control nodes

图 6. 无人机速度随控制节点变化曲线

4.3. 无人机姿态角度变化结果

以横滚角为核心指标,分析无人机运动姿态稳定性,仿真结果如图 7 所示。

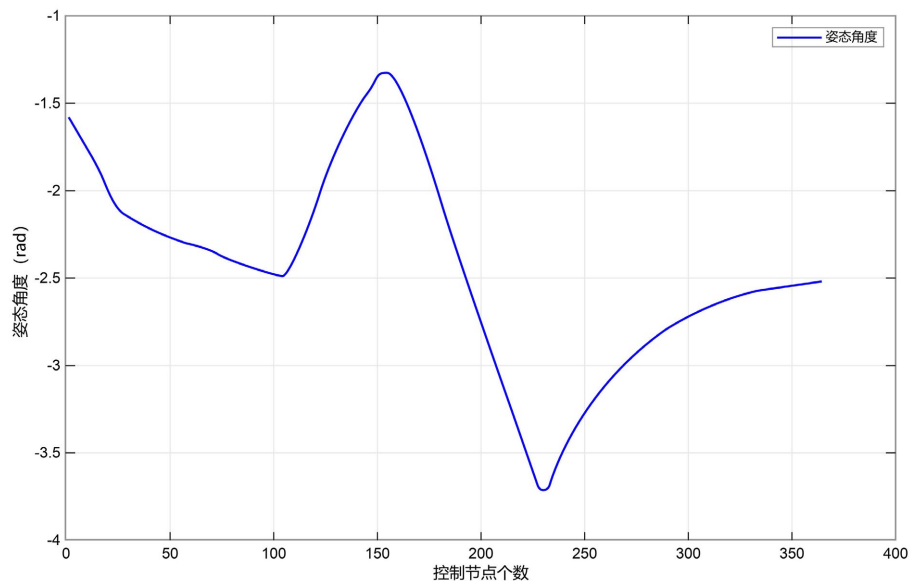


Figure 7. Curve of UAV attitude angles varying with control nodes

图 7. 无人机姿态角度随控制节点变化曲线

横轴为控制节点个数(范围: 0~400), 纵轴为横滚角(单位: 度), 曲线波动幅度反映轨迹平滑度。

由图 7 可知, 采用融合算法控制的无人机在横滚角上表现出稳定的波动范围, 介于 -1° 至 -4° 之间, 未出现剧烈的姿态变化。这种控制方法通过减少姿态调整次数, 有效提升了无人机的精准作业能力。

4.4. 融合算法与传统算法性能对比

重复测试 1000 次, 性能对比数据如表 5 所示。

Table 5. Comparison of simulation data
表 5. 仿真数据对比

参数	传统 DWA	DWA 算法耦合 A*算法	下降百分率/%
时间/s	22.37	14.50	35.18
迭代次数/次	343	200	41.69
路径长度/m	17.23	12.00	30.36
避障成功次数/总测试次数	900/1000	998/1000	——

基金项目

本文获 2024 年上海市大学生创新创业训练计划项目“基于 DWA 算法的循迹无人机运载体系统设计”资助。

参考文献

[1] 陈亚青, 张智豪, 李哲. 无人机避障方法研究进展[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(12): 1-6.

[2] 周轶. 基于改进 A*和 DWA 算法的室内移动机器人路径规划应用研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南工业大学, 2021.

[3] 张晓琨. 基于无人机搭载激光雷达输电线路智能巡检研究[J]. 电力设备管理, 2024(24): 51-53.

[4] 张红蕾, 盛志超, 叶林, 等. 基于多传感器融合的无人机自主避障方法[J]. 激光杂志, 2024, 45(1): 229-235.

[5] 周强. 基于分层 A*算法的多旋翼无人机避障方法研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2018.

[6] 刘玄冰, 周绍磊, 肖支才, 等. 无人机避障方法研究综述[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(5): 40-47.

[7] 刘建娟, 薛礼敬, 张会娟, 等. 融合改进 A*与 DWA 算法的机器人动态路径规划[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(15): 73-81.

[8] 袁薪凯, 晏林冲, 方明辉, 等. 基于 A*算法的自动寻路避障小车送餐系统[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(14): 35-38.

[9] 沈子超. 基于激光雷达探测的无人机室内避障导航技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2020.

[10] 常绪成, 王敬宇, 李康, 等. 基于改进 DWA 融合算法的多无人机避障方法[J]. 弹箭与制导学报, 2025, 45(5): 693-706.

[11] 张艳, 李炳华, 霍涛, 等. 融合改进 A*算法与 DWA 算法的机器人动态避障方法研究[J]. 系统仿真学报, 2025, 37(6): 1555-1564.

[12] 曾宪阳, 张加旺. 改进 A*算法融合 DWA 机器人路径规划研究[J]. 电子测量技术, 2025, 48(6): 20-27.

[13] 李士途, 姜灵芝. 基于 A*算法的无人机智能避障路径及实时航路规划研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2024(12): 67-71.

[14] 曹毅, 周轶, 张亚宾. 基于优化 A*和 DWA 算法的移动机器人避障路径规划[J]. 机床与液压, 2020, 48(24): 246-252.

[15] 高九州, 徐威峰. 基于改进 A 星算法的无人机自主避障路径规划[J]. 技术与市场, 2024, 31(1): 38-43.