

基于 AI 与多传感器融合的无人机低空自主导航与避障技术

夏彦婷, 王君尧, 王鹏

吉利学院 四川成都

【摘要】针对无人机低空复杂场景下自主导航与避障的可靠性、实时性难题,融合激光雷达、视觉、惯性测量单元等多源传感器数据,构建多模态环境感知体系,弥补单一传感器在光照、雨雾等极端条件下的感知缺陷。引入深度学习与强化学习算法,实现障碍物高精度识别、动态轨迹预测与毫秒级路径重规划,形成感知—决策—控制闭环系统。该技术可显著提升无人机在城市街巷、森林等复杂低空环境的自主飞行能力,降低碰撞风险,适配物流配送、电力巡检、应急救援等多场景作业需求。

【关键词】无人机; 低空自主导航; 多传感器融合; 人工智能; 避障技术

【基金项目】四川省无人机产业发展研究中心 2025 年研究课题: 新质生产力视域下低空经济产业建圈强链的系统研究 (22)

【收稿日期】2026 年 2 月 17 日 **【出刊日期】**2026 年 3 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20260040

UAV low-altitude autonomous navigation and obstacle avoidance technology based on AI and multi-sensor fusion

Yanting Xia, Junyao Wang, Peng Wang

Geely College, Chengdu, Sichuan

【Abstract】Aiming at the reliability and real-time challenges of autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned aerial vehicles(UAVs)in complex low-altitude scenarios, this study integrates multi-source sensor data including LiDAR, vision, and inertial measurement units to establish a multimodal environmental perception system, which compensates for the perception deficiencies of single sensors under extreme conditions such as illumination variations, rain and fog. Deep learning and reinforcement learning algorithms are introduced to achieve high-precision obstacle recognition, dynamic trajectory prediction and millisecond-level path replanning, forming a closed-loop system of perception–decision–control. This technology can significantly improve the autonomous flight capability of UAVs in complex low-altitude environments such as urban streets and forests, reduce collision risks, and adapt to operational requirements in multiple scenarios including logistics distribution, power inspection and emergency rescue.

【Keywords】Unmanned Aerial Vehicle(UAV); Low-altitude autonomous navigation; Multi-sensor fusion; Artificial Intelligence(AI); Obstacle avoidance technology

1 引言

低空领域作业需求的激增,推动无人机在多行业广泛应用,但复杂低空环境中的障碍物遮挡、环境干扰等问题,严重制约自主导航与避障性能的提升,成为限制其规模化应用的核心瓶颈。多传感器融合技术可突破单一传感器感知局限, AI 算法能实现环境的精准识别与快速决策,二者深度融合为解决上述难题提供了有效路径。基于此,聚焦 AI 与多

传感器融合的核心技术,探索无人机低空自主导航与避障的优化方案,为复杂场景下无人机安全高效飞行提供支撑。

2 基于 AI 与多传感器融合的无人机低空导航避障现存问题及成因分析

2.1 多传感器融合体系不完善导致感知精度不足

当前无人机低空导航避障中,多传感器融合技

术应用存在明显短板, 未能充分发挥各类传感器的互补优势^[1]。部分融合方案仅简单叠加激光雷达、视觉、惯性测量单元的数据, 缺乏 AI 算法的协同优化, 无法对多源传感器数据进行高效去噪、配准与特征提取, 导致感知数据存在偏差。视觉传感器受环境干扰产生的冗余数据、激光雷达信号衰减带来的盲区数据, 无法通过 AI 算法实现有效筛选与补偿, 使得融合后的环境信息精准度不足, 无法为导航避障决策提供可靠支撑, 制约低空作业效能。

2.2 AI 算法与多传感器融合的适配性不足引发决策滞后

低空复杂场景下, AI 算法与多传感器融合的协同适配性不足, 成为导航避障的核心技术瓶颈^[2]。现有 AI 决策算法多独立于传感器融合模块, 无法实时接收融合后的环境数据, 导致障碍物识别、轨迹预测与路径规划存在延迟; 部分 AI 算法未针对多传感器融合的数据特性进行优化, 对动态障碍物的运动轨迹预判精度不足, 难以适配多源传感器实时传输的海量数据, 无法快速生成最优避障策略。同时, 低空气流扰动下, AI 算法与传感器融合数据的联动响应不及时, 进一步降低导航控制的精准度, 影响飞行安全。

2.3 AI 与多传感器融合的系统协同机制存在短板

无人机低空自主导航与避障的核心是 AI 与多传感器融合的全流程协同, 当前感知、决策、控制各环节的协同机制不完善, 导致整体性能受限。多传感器融合模块与 AI 决策模块的数据交互存在延迟, 融合后的环境特征信息无法及时传递至 AI 核心, 导致决策指令生成滞后; AI 决策模块输出的避障指令, 未结合传感器融合数据进行动态调整, 与飞行控制模块的适配性不足, 造成轨迹调整不精准^[3]。此外, AI 算法的运算效率与多传感器数据的处理速度不匹配, 无法满足低空实时作业需求, 破坏了系统运行的整体性, 制约技术应用效果。

3 基于 AI 与多传感器融合的无人机低空导航避障方案设计

3.1 基于 AI 优化的多源传感器协同感知体系构建

围绕无人机低空作业全场景需求, 整合激光雷达、视觉传感器、惯性测量单元、毫米波雷达等多类传感器, 结合 AI 算法构建优化的协同感知体系。利

用 AI 中的自适应融合算法, 对多源传感器数据进行分层处理: 通过卷积神经网络对视觉传感器采集的图像数据进行去噪与特征提取, 精准识别障碍物类别; 借助深度学习算法对激光雷达点云数据进行分割, 刻画障碍物空间位置与形状; 利用 AI 算法补偿惯性测量单元的累积误差, 同步校准毫米波雷达在极端场景下的检测数据^[4]。通过 AI 算法的协同优化, 实现多传感器数据的高效融合, 消除感知盲区, 提升环境感知的精准度与实时性。

3.2 AI 与多传感器融合驱动的智能决策与轨迹规划机制

以多传感器融合的环境数据为基础, 引入深度学习与强化学习算法, 搭建 AI 智能决策核心, 实现导航避障决策的智能化与快速化。基于融合后的多维度环境数据, 利用深度学习目标识别模型, 完成静态与动态障碍物的精准分类、轮廓分割及运动状态分析; 通过强化学习算法训练轨迹预测模型, 结合传感器实时传输的数据, 预判动态障碍物的移动趋势与路径。AI 决策核心结合无人机自身飞行状态, 自主生成多候选避障路径, 通过实时评估各路径的安全性及适配性, 择优选择最优轨迹, 实现毫秒级路径重规划, 确保在复杂低空环境中快速响应突发情况, 保障飞行安全。

3.3 AI 与多传感器融合的感知-决策-控制闭环系统优化

针对 AI 与多传感器融合的协同短板, 搭建一体化闭环控制系统, 实现感知、决策、控制各环节的无缝衔接。利用 AI 算法构建高速数据传输与处理通道, 确保多传感器融合数据实时同步至 AI 决策模块, 减少数据交互延迟; 设计 AI 自适应控制算法, 将多传感器融合的环境信息与 AI 决策指令深度结合, 优化飞行控制参数, 提升控制模块对决策指令的响应精度与执行效率^[5]。通过 AI 算法的全程协同, 实现多传感器感知、AI 决策、飞行控制的动态适配, 形成“感知-融合-决策-控制”的完整闭环, 保障无人机在复杂低空环境下自主导航与避障的连续性、精准性。

4 基于 AI 与多传感器融合的无人机低空导航避障技术应用验证及效果分析

4.1 城市低空物流配送场景的应用验证与效果分析

选取城市老旧街巷、商圈密集区等典型低空物

流配送场景,开展基于 AI 与多传感器融合的无人机导航避障技术应用验证^[5]。无人机搭载融合 AI 优化的多传感器协同感知体系,实时采集环境数据并通过 AI 算法完成融合处理,精准识别街巷内的临时摊位、移动车辆等障碍物;AI 决策核心结合融合数据快速生成避障方案,控制模块实时调整飞行轨迹。验证过程中,无人机凭借 AI 与多传感器融合的技术优势,顺利完成多批次配送任务,全程未发生碰撞事故,充分体现了该融合技术在复杂低空环境中的可靠性与实用性。

4.2 电力低空巡检场景的应用验证与效果分析

针对山区输电线路走廊、城市电网杆塔密集区等复杂场景,开展基于 AI 与多传感器融合的导航避障技术验证。多传感器融合体系在 AI 算法支撑下,精准采集线路周边环境数据,识别杆塔、导线及周边树木、施工设施等障碍物;AI 决策核心结合巡检需求,规划最优巡检路径,实时规避突发障碍物^[7]。巡检过程中,AI 算法与多传感器融合技术的协同作用,确保无人机稳定飞行、精准采集设备数据,显著提升巡检效率,有效降低人工巡检风险,充分验证了该融合技术在电力巡检场景的适配性。

4.3 应急救援低空勘察场景的应用验证与效果分析

在地震、洪水等灾害现场低空勘察场景中,开展基于 AI 与多传感器融合的导航避障技术验证。灾害现场的恶劣环境的下,多传感器融合体系在 AI 算法优化下,突破低光照、烟雾等干扰,全面获取现场环境数据;AI 决策核心快速分析融合后的灾情与障碍物信息,规划精准勘察路径^[8]。无人机凭借 AI 与多传感器融合的技术优势,顺利完成全域勘察任务,实时回传现场数据,为救援决策提供支撑,验证了该融合技术具备极强的环境适应性与作业可靠性。

5 结语

低空作业需求的扩张推动无人机技术深度渗透,自主导航与避障作为核心瓶颈,其性能提升依赖于 AI 与多传感器融合技术的突破。当前多传感器融合体系不完善、AI 与融合技术适配性不足、系统协同

机制不健全等问题,制约着无人机低空飞行的安全性与高效性。基于 AI 与多传感器融合的技术方案,通过 AI 优化感知体系、构建融合驱动的决策机制、完善闭环控制系统,形成了完整的解决方案,有效突破上述瓶颈。该融合技术在物流配送、电力巡检、应急救援等场景的应用验证中表现优异,为无人机低空自主飞行提供了可行路径,也为低空经济高质量发展筑牢技术根基,助力其在更多复杂场景实现广泛应用。

参考文献

- [1] 夏雪,刘庆颖.低空小型无人机遥感影像系统的轻量化与智能化协同优化研究[J].桂林航天工业学院学报,2025,30(05):732-745.
- [2] 许越越,杜华军,郭尚伟.低空无人机具身导航研究进展[J].航天控制,2025,43(04):7-14.
- [3] 王世康.基于 RGB-D SLAM 的无人机自主导航系统研究[D].安徽工程大学,2025.
- [4] 王珺.基于深度强化学习的四旋翼无人机自主视觉导航与跟踪[D].哈尔滨工业大学,2025.
- [5] 段海滨,梅宇,牛轶峰,等.2024 年无人机热点回眸[J].科技导报,2025,43(01):143-156.
- [6] 马云鹏.基于强化学习的小型无人机控制方法研究[D].北京邮电大学,2023.D
- [7] 赵耀.动态环境下基于主动感知的微小无人机自主导航关键技术[D].南京航空航天大学,2023.
- [8] 裘群禄,王超,康泰云.城市低空无人机航线设置与管理的思考和建议——以杭州市上城区钱江新城为例[J].华东科技,2023,(03):99-101.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS