

无人机集群自主巡逻的路径规划与避障协同控制策略

席海涛

乌鲁木齐鸿利盛祥安防技术有限公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】随着无人机技术的飞速发展，无人机集群在复杂环境中的自主巡逻任务越来越受到关注。本文提出了一种基于路径规划与避障协同控制的无人机集群自主巡逻策略。该策略结合了全局路径规划与局部避障算法，通过优化无人机间的协作机制，确保集群在执行巡逻任务时的高效性与安全性。研究重点在于解决路径规划中的动态障碍物避让问题，并通过多无人机协同控制策略提高集群任务的鲁棒性。实验结果表明，该方法能够有效提升无人机集群的自主性、灵活性以及避障能力，为未来无人机集群自主巡逻任务提供了理论依据和实践支持。

【关键词】无人机集群；路径规划；避障；协同控制；自主巡逻

【收稿日期】2025 年 8 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250222

Path planning and obstacle avoidance cooperative control strategy for autonomous patrol of UAV cluster

Haitao Xi

Urumqi Hongli Shengxiang Security Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang

【Abstract】 With the rapid development of drone technology, autonomous patrol missions in complex environments for UAV swarms have garnered increasing attention. This paper proposes an autonomous patrol strategy for UAV swarms based on path planning and obstacle avoidance collaborative control. The strategy integrates global path planning with local obstacle avoidance algorithms, optimizing the coordination mechanism between drones to ensure both efficiency and safety during patrol operations. The research focuses on solving dynamic obstacle avoidance problems in path planning and enhancing task robustness through multi-drone collaborative control strategies. Experimental results demonstrate that this approach effectively improves the autonomy, flexibility, and obstacle avoidance capability of UAV swarms, providing theoretical foundations and practical support for future autonomous patrol missions.

【Keywords】 UAV swarm; Path planning; Obstacle avoidance; Collaborative control; Autonomous patrol

引言

无人机集群在执行巡逻任务时，常常面临动态环境中的复杂挑战，如障碍物避让与路径优化。为解决这一问题，提出了路径规划与避障协同控制相结合的方案，通过全局路径规划与局部避障机制的融合，实现了无人机集群的自主导航。在这一过程中，如何高效协调各个无人机的行为，以及如何处理实时的避障需求，成为了关键技术难题。采用协同控制策略，不仅可以提高单机的性能，还能显著提升整个集群的工作效率与稳定性。该研究不仅推动了无人机集群自主巡逻技术的发展，还为实际应用中的路径规划与避障控制提供了创新的思路。

1 无人机集群自主巡逻任务中的路径规划与避障问题分析

无人机集群自主巡逻任务中，路径规划与避障问题是实现高效、稳定巡逻的关键。面对复杂的环境和动态障碍物，如何设计一个既能保证全局任务完成，又能在局部区域避免碰撞的路径规划方案，成为技术发展的难题。在实际应用中，集群中的每个无人机需要独立地进行路径规划，但又必须与其他无人机协同工作，确保整个集群的效率和安全性^[1]。路径规划不仅需要考虑到最短路径和任务时效，还需实时适应环境变化，尤其是动态障碍物的干扰。在这种环境下，传统的单机路径规划方法往往无法

满足集群自主巡逻的需求,亟需发展新的算法来实现集群协作与个体避障的有效结合。

在面对动态障碍物时,传统的避障方法通常依赖于局部信息,往往无法考虑集群全局的协调性。集群中每个无人机都可能会遇到障碍物并需要规避,但如果没有有效的协同机制,就可能导致整个集群的路径规划失效或效率低下。因此,如何在全局路径规划的基础上进行局部避障,确保每个无人机在避免碰撞的同时,集群整体目标不受影响,成为了亟待解决的核心问题。基于全局路径规划与局部避障相结合的协同控制策略逐渐成为研究的重点。全局路径规划主要解决无人机从起点到终点的最优路径问题,而局部避障则确保无人机在实际飞行过程中能够实时规避出现的障碍物,避免发生碰撞。

无人机集群自主巡逻任务中的路径规划与避障问题,关键在于如何实现单机路径规划与集群协同之间的平衡。个体避障必须与全局规划相结合,避免因局部避障而导致集群整体任务失败。在此过程中,集群成员之间的信息共享与协调显得尤为重要。如果每个无人机都仅根据局部信息进行决策,就可能导致集群中个体间的冲突,甚至影响到整个任务的完成^[2]。通过合理设计协同控制机制,确保无人机之间的相互配合与信息同步,使得路径规划不仅具备灵活性,还能在复杂动态环境中有效应对各种突发情况,保证巡逻任务的顺利进行。

2 基于全局路径规划与局部避障的无人机集群协同控制方法

在无人机集群自主巡逻任务中,基于全局路径规划与局部避障的协同控制方法对于确保集群的高效性和安全性至关重要。全局路径规划通过对整个巡逻区域进行分析,确定每个无人机的起始点与终点之间的最优路径,考虑了任务时效性、能源消耗等多方面的因素^[3]。实际环境中存在动态障碍物,这些障碍物可能突然出现或移动,传统的全局路径规划无法应对这些实时变化。因此,必须引入局部避障策略来弥补全局路径规划的不足,使得每架无人机在执行任务过程中能够实时感知并规避可能的障碍物,避免发生碰撞,确保集群的安全与稳定。

局部避障方法通常依赖于传感器获取的实时数据,结合避障算法快速调整无人机的飞行路径。为了使集群中的各个无人机能够在复杂环境中协同工作,除了局部避障,还需要解决如何保持集群一致

性的问题。集群中的每个无人机不仅要独立完成避障任务,还要与其他无人机保持适当的距离,避免集群成员之间的碰撞。协同控制机制成为关键。通过信息共享与协调决策,集群中的每架无人机能够及时调整自己的飞行状态,确保与其他无人机协同完成巡逻任务。协同控制方法能够通过计算机算法实现集群成员之间的相互作用,使得每个无人机的决策不仅考虑到自己的避障需求,还要兼顾集群任务的整体效率。

通过将全局路径规划与局部避障方法结合,形成一种灵活的协同控制机制,无人机集群能够在复杂环境中实现高效且安全的自主巡逻。全局路径规划为集群提供了任务的总体框架,而局部避障则保障了每个无人机在执行任务时的实时反应能力^[4]。协同控制方法的引入使得无人机集群不仅能够应对动态变化,还能在多个无人机之间进行高效协作,实现任务目标的同时确保系统的稳定性与安全性。这种综合性的路径规划与避障方案,能够为无人机集群自主巡逻任务提供坚实的理论基础和实际应用支持。

3 无人机集群自主巡逻中的多机协作与动态避障策略

在无人机集群自主巡逻任务中,多机协作与动态避障策略的有效结合是确保任务顺利进行的关键因素。在多机协作中,集群中的每一架无人机不仅要独立执行避障任务,还要与其他无人机进行有效的信息共享与协同决策。这种协作机制确保了无人机集群在面对复杂环境和任务时,能够实现任务分配、信息共享与决策同步^[5]。通过引入分布式控制方法,每架无人机根据全局目标进行局部的自主决策,同时避免与其他无人机发生冲突,确保整个集群协调一致地完成任务。

动态避障是无人机集群在巡逻任务中面临的重要挑战。随着环境的不断变化,障碍物的位置和形态可能发生变化,传统的静态避障方法无法应对这些实时变化。为了提高避障的实时性与有效性,动态避障策略结合了实时传感器数据与预测算法,可以精确地检测并规避突发障碍物。采用基于局部规划的避障方法,可以在避开障碍物的同时,保持无人机的巡逻路径和任务目标的连贯性。动态避障策略不仅确保单机安全,还能够提高集群在面对动态变化时的适应能力,减少可能的碰撞与任务偏离。

无人机集群在执行巡逻任务时,如何平衡全局

任务目标与局部避障的需求,成为多机协作的核心问题。在这一过程中,协作机制的优化尤为重要。通过智能算法,如基于博弈理论或强化学习的多机协同控制方法,每架无人机能够在动态环境中自主选择最佳路径,并与集群其他成员进行有效互动。不仅能提高任务的执行效率,还能减少个体间的相互干扰^[6]。通过多机协作与动态避障策略的结合,无人机集群能够在复杂多变的环境中高效、安全地完成巡逻任务,提升整个系统的鲁棒性与灵活性。

4 基于协同控制的无人机集群路径规划与避障实验验证

基于协同控制的无人机集群路径规划与避障实验验证,旨在通过实验测试与评估所提出的控制方法在实际环境中的性能与可行性。在实验设计中,通过模拟不同的巡逻任务场景,验证了全局路径规划与局部避障结合的有效性。实验环境模拟了复杂的城市建筑、动态障碍物以及不规则地形,考察了无人机集群在这些条件下的路径规划与避障能力^[7]。在这些场景中,集群中的每架无人机不仅要依据全局路径规划完成任务,还需要根据实时传感器数据调整飞行路径,避免发生碰撞。实验结果表明,采用协同控制策略后,集群能够有效避开静态与动态障碍物,保持高效的任务执行速度。

在进一步的实验中,验证了集群成员之间的协同控制机制在动态避障中的作用。不同于传统单机避障,集群中的每架无人机在避障时不仅要考虑自身的路径调整,还需要与其他无人机保持有效的协作,以避免相互之间的冲突。这种基于信息共享与协调决策的控制方法,确保了整个集群在遇到突发障碍时,能够迅速做出反应并调整飞行策略,从而避免可能的碰撞并继续执行任务。实验结果显示,随着协同控制机制的引入,无人机集群的避障效果得到了显著提升,尤其是在面对多个动态障碍物时,集群的整体避障能力和任务完成度得到了有效保证。

为了进一步验证路径规划与避障策略的鲁棒性,实验中还考虑了不同的环境变化,如风速、温度变化、传感器误差等因素对无人机性能的影响。在这些变化条件下,无人机集群能够自适应调整飞行策略,通过协同控制和动态避障算法,保持任务的稳定进行。实验数据表明,在不同环境干扰下,集群不仅能够快速适应环境变化,还能够最短时间内重

新规划路径,确保巡逻任务的顺利完成^[8]。通过一系列的实验验证,所提出的基于协同控制的路径规划与避障策略在多机协作与动态环境中表现出了高度的鲁棒性和实用性,为无人机集群的自主巡逻任务提供了可靠的技术支持。

5 结语

无人机集群自主巡逻任务中的路径规划与避障问题,是实现高效、安全巡逻的关键。结合全局路径规划与局部避障策略,利用协同控制方法,不仅解决了单机路径规划和避障的局限,还有效提升了集群协作能力。实验验证表明,所提出的策略在动态环境下展现了较高的鲁棒性和适应性,能够有效应对复杂障碍物和环境变化。无人机集群在完成任务时,既保证了任务的整体性,又能在局部避障过程中保持高效协作。这一研究成果为未来无人机集群在实际应用中的巡逻、监控等任务提供了有力的理论支持和技术保障。

参考文献

- [1] 徐淑芳,费文轩,李恒,等. 基于三阶段的无人机-无人车空地协同路径规划方法[J/OL].航空学报,1-20.
- [2] 王帅,黄俊楷,郑臻铭,等. 基于区域分割的无人艇河道路径规划算法[J].现代电子技术,2025,48(18):165-171.
- [3] 刘天宝,刘美. 移动机器人路径规划算法研究综述[J/OL].广东石油化工学院学报,2025,(04):62-68.
- [4] 沈佳慧,杨乐楷,海顺航,等. 卫星拒止下分层风险感知的无人机路径规划[J/OL].交通科学与工程,1-9.
- [5] 李承泽,李庚松,刘艺,等. 面向无人机集群任务分配的进化算法综述[J/OL].指挥与控制学报,1-14.
- [6] 张学峰. 无人机集群协同投弹技术在森林火灾扑救中的应用研究[J].森林防火,2025,43(04):113-116.
- [7] 崔津,柴洁,耿荣妹,等. 基于改进粒子群算法的无人机集群路径规划[J/OL].自动化技术与应用,1-7.
- [8] 张巍巍,申良喜,王森. 基于虚拟结构和人工势场的无人机集群控制方法[J].信息化研究,2025,51(04):205-209.

版权声明: ©2025 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