

Technical exploration of multi-drone cooperative reconnaissance system

Junyan Lin

Shuangqiao District UAV License Examination Center, Chengde City, Hebei Province, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

With the development of information technology, the application of UAV is expanding, and it plays an important role in both military and civil fields. Especially in the military field, drones have become the core equipment of battlefield reconnaissance due to their high mobility, high concealment and low cost. At present, western countries have developed a number of advanced UAV reconnaissance systems, such as the "Global Hawk" high-altitude long-endurance UAV reconnaissance system and the "Predator" medium-altitude reconnaissance and strike integrated system of the United States, which can realize large-scale battlefield monitoring and target tracking. To enhance the operational effectiveness of UAV reconnaissance systems and better meet battlefield requirements, it is essential to achieve coordinated operations among multiple drones through various technical approaches while designing optimized control methods. This paper synthesizes current research on UAV reconnaissance systems worldwide, focusing on critical technologies such as multi-drone task allocation, perception and decision-making control, and information exchange and distribution. The analysis aims to provide valuable references for future research on multi-drone collaborative reconnaissance systems.

Keywords

UAV; cooperative reconnaissance system; reconnaissance technology; dynamic mission adjustment

无人机多机协同侦察系统技术探究

蔺俊彦

河北省承德市双桥区无人机驾驶证考核中心, 中国·河北承德 067000

摘要

随着信息技术的发展, 无人机应用领域不断拓宽, 在军事与民用领域均发挥着重要作用。尤其在军事领域, 无人机凭借高机动性、高隐蔽性、低成本等特点, 已成为战场侦察的核心装备。目前, 西方国家已研制出多款先进无人机侦察系统, 例如美国的“全球鹰”高空长航时无人机侦察系统、“捕食者”中空侦察打击一体化系统, 可实现大范围战场监控与目标跟踪。为进一步提升无人机侦察系统的效能, 更好地服务于战场需求, 需通过多种技术手段实现多架无人机协同工作, 并设计相应控制方法以优化系统运行效率。本文结合国内外无人机侦察系统的研究现状, 重点分析多机协同任务分配、感知与决策控制、信息交互与分发等无人机协同侦察系统的关键技术, 以期对未来无人机多机协同侦察系统的研究提供参考。

关键词

无人机; 协同侦察系统; 侦察技术; 动态任务调整

1 多机协同任务分配技术

在无人机领域发展进程中, 无人机多机协同侦察系统已成为极具潜力的技术方向。尤其在复杂战场环境(如多目标侦察、跨区域协同)或大规模民用场景(如城市安防巡逻、大范围灾害监测)中, 单无人机在续航能力、覆盖范围与任务处理效率上均存在明显短板, 而多机协同模式恰好能弥补这些不足。通过多架无人机的协同工作, 该系统可显著提升侦察任务的执行效率与综合能力, 其中多机协同任务分配技术是实现这一目标的核心关键技术之一。其主要目标是将不

同任务合理分配给适配的无人机, 推动多机高效协同以达成最优任务效果, 在实际应用中需重点考虑以下方面:

首先, 任务需求分析是任务分配的核心起点。需对任务的性质、目标与约束条件开展详细拆解, 进而明确任务分配的准则与目标。例如在战场侦察任务中, 需确定侦察区域的优先级(如敌方指挥部所在区域为高优先级)、侦察时长要求(如需持续监控4小时)及传感器精度标准(如需识别地面车辆型号)——这些细化的需求参数是后续任务分配的核心依据; 再如部分任务对飞行速度要求较高, 另一部分则需更强的传感器性能, 此类差异化需求将直接指导任务分配方向^[1]。

其次, 无人机性能与能力评估是任务匹配的关键环节。需针对每架无人机的飞行速度、载荷能力、传感器类型及

【作者简介】蔺俊彦(1988-), 男, 中国山西忻州人, 从事无人机维修研究。

分辨率、续航时间等指标开展量化评估，这些指标将直接作为任务分配的依据。例如某型侦察无人机最大续航时间为6小时，载荷能力可支持搭载高清光电传感器与合成孔径雷达(SAR)；另一型无人机虽续航仅3小时，但飞行速度可达0.8马赫，更适配快速穿插侦察任务。唯有通过建立量化指标体系，才能实现任务与无人机的精准匹配，避免“能力错配”问题。

再次，任务分配算法设计是技术落地的核心支撑。需结合任务需求与无人机性能评估结果，设计适配的任务分配算法。这类算法可基于规则、启发式方法或优化算法，以最大化整体任务效率为目标：常见的规则基算法适用于简单场景（如按“距离最近”原则分配任务）；启发式算法（如遗传算法、粒子群优化算法）能在多约束条件下（如多目标、资源有限）找到近似最优解；近年来，随着强化学习技术的发展，基于智能体的自适应分配算法也逐步应用，可通过实时环境反馈动态优化分配策略。设计过程中需重点考虑任务优先级、无人机可用性与适应性等因素，确保算法的实用性与灵活性。

此外，高效的通信与协调机制是多机协同的基础保障。多架无人机需实时交换信息、相互配合以完成任务，因此需设计抗干扰、标准化的通信机制与协调策略：例如采用跳频通信技术提升抗干扰能力，确保在敌方电子干扰环境下仍能保持信息传输稳定；同时制定统一的通信协议（如基于MIL-STD-1553B总线协议的无人机协同通信标准），规范信息交互格式，避免数据传输混乱。这一机制可通过构建无线网络与标准化协议实现，为多机协同提供稳定的数据交互通道。

最后，动态任务调整能力是应对复杂环境的必要补充。实际应用中，任务需求与外部环境可能发生动态变化（如突发新目标、无人机故障），因此系统需具备基于实时情况的任务重分配与调整能力。这一能力可通过实时感知与反馈机制实现，确保系统能快速适应环境变化并作出响应。例如在森林火灾监测与灭火支援的无人机多机协同系统中：任务需求分析阶段明确“监测火灾状况、追踪火势扩散、提供灭火资源引导”三大核心任务；性能评估阶段筛选出“高速飞行无人机”（适配快速响应）与“红外传感器无人机”（适配火源探测）；任务分配算法结合火势优先级分配任务——若火势突然扩大或发现新火源，系统可通过动态调整机制重新分配无人机，将更多资源调配至关键区域，避免任务中断或效率下降^[2]。

2 感知与决策控制技术

在无人机多机协同侦察系统中，感知技术与决策控制技术是核心支撑技术，二者共同构成系统实现的基础，直接决定了系统对环境的认知能力与任务执行的自主性。

感知技术主要涵盖环境信息获取与处理、目标特性分

析及目标识别三大方向。其中，环境信息获取需全面覆盖地形地貌（如山地、平原、水域）、气象条件（如风速、能见度、降水）及电磁环境（如是否存在电子干扰）——这些信息直接影响无人机的飞行安全与侦察精度，例如在复杂山地环境中，无人机需通过地形匹配技术规避障碍物，防止碰撞事故；无人机的环境感知主要依赖各类传感器，根据感知原理可分为可见光、红外、雷达等类型，不同传感器特性差异显著，需适配不同应用场景：可见光传感器分辨率高、成本低，但受光照条件影响大（如夜间或阴雨天气性能下降）；红外传感器可在无光照环境下工作，能有效识别热源目标（如敌方车辆发动机、人员），但易受复杂背景热辐射干扰；雷达传感器穿透力强（可穿透云层、植被），全天候工作能力突出，但分辨率相对较低。实际应用中，三类传感器常需协同使用以互补短板，提升感知可靠性^[3]。

针对不同传感器的技术特性，需开展差异化研究：针对可见光传感器，需重点研究目标可见性分析、目标分类算法及目标识别模型等方向；针对红外传感器，则需聚焦目标热特性提取与目标识别技术等研究。随着人工智能技术的发展，无人机已可通过视觉感知与图像处理实现高效目标感知——例如通过卷积神经网络(CNN)对图像中的目标进行实时检测，快速识别地面车辆、人员等关键侦察目标，并自动标注目标位置与类型，大幅提升目标识别效率。

决策控制技术是无人机自主执行任务与多机协同的核心，主要包括无人机作战任务执行能力的分析与分配、任务自主规划与决策、协同任务分配与控制等内容。无人机执行任务时，需同时考虑“任务能力指标”与“约束条件”：任务能力指标指完成任务所需的性能与能力（如传感器精度、飞行速度）；约束条件包括执行任务时的限制因素（如禁飞区、剩余电量）与可机动空间。为确保无人机顺利完成任务，需基于上述因素开展控制方案设计。

为支撑无人机完成复杂作战任务，需先对无人机开展性能分析与评估，据此设计适配的控制方案并确定最优控制参数；在任务执行阶段，需对无人机的能力进行合理分配，并建立多机协同控制模型协调各架无人机——常见的协同控制模型包括“leader-follower”（领航-跟随）模型与分布式协同模型：前者由1架领航机制定航线，其他跟随机保持队形跟随，控制逻辑简单、稳定性高，适配编队侦察场景；后者无明确领航者，多机通过相互通信自主协调运动轨迹，灵活性强，适配复杂动态环境下的多目标侦察。此外，还需实时评估任务执行情况，并根据评估结果优化策略。

任务执行过程中，需综合考虑时间约束、空间约束等硬性条件，同时应对目标不确定性、环境干扰、时间滞后等动态因素的影响。在多机协同系统中，每架无人机可视为独立个体进行管理：首先根据自身特性选择控制方式、方法与策略；其次结合实时情况筛选最优方案；最后根据自身状态、外部环境及其他无人机信息动态调整策略并执行操作。