

复杂环境下无人机蜂群任务分配建模与仿真优化

杨峻兴

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：针对复杂环境（如强干扰、动态障碍、任务时序约束）下无人机蜂群任务分配效率偏低、鲁棒性薄弱、资源调度失衡等问题，搭建兼顾任务优先级、无人机性能约束与环境动态变化的任务分配模型，厘清蜂群个体与任务间的映射关联，引入改进型优化算法完成模型求解，依托仿真实验验证模型合理性及优化算法有效性。所构模型可有效适配复杂环境的动态特质，优化后的任务分配方案能够切实提升蜂群任务完成效能、缩减任务执行损耗，强化蜂群在复杂场景中的协同作业水平，为无人机蜂群在复杂环境中的高效任务分配提供理论支撑与技术参考。

【关键词】：无人机蜂群；任务分配；复杂环境；建模与仿真；优化算法

DOI:10.12417/3041-0630.26.07.027

引言

无人机蜂群凭借集群协同优势，已深度应用于侦察巡检、应急救援、地理测绘等复杂场景，其任务分配的科学性直接决定蜂群作业水准与任务成效。复杂空间中的动态扰动、资源边界限制及任务时序规制，导致传统分配方式难以适配实际工况，易引发任务配比失衡、决策响应迟滞等问题，束缚集群协同潜能。立足这一痛点，本文围绕复杂工况下无人机蜂群任务分配建模及仿真优化展开系统探究，厘清核心诉求与约束边界，搭建科学分配架构并完善求解机制，通过仿真推演核算方案落地价值，为提升复杂场景中无人机集群协同作业层级提供可落地技术路径。

1 复杂环境下无人机蜂群任务分配问题分析

复杂环境下无人机蜂群任务分配，核心在于协调环境动态变化、任务多元属性与蜂群自身限制的适配关系，各类影响因素具备显著具象性与内在关联性。外界存在多重环境扰动，通信异常易造成信息传输滞后，地形遮挡压缩飞行通行空间，环境参数波动还会干扰无人机续航与探测性能，削弱任务分配的稳定性与响应速率。各类任务在执行次序、定位精度、时间约束上存在差异，彼此形成耦合联动关系，局部分配偏差会牵连整体执行成效。

2 复杂环境下无人机蜂群任务分配建模与优化设计

2.1 任务分配模型构建基础与约束条件界定

复杂环境下无人机蜂群任务分配模型搭建，需贴合实际作业场景核心诉求，明晰建模依据与各类约束边界，保证模型兼具实用价值与逻辑严谨性。建模依托环境、任务、蜂群三大核心要素，结合复杂环境动态干扰特点，梳理环境因素对任务分配的作用机理，把通信扰动、地形阻碍等外界影响转化为可量化参数，同时划定任务优先级判定规则、执行标准与任务间耦合关系，区分任务类型并限定执行时限^[1]。约束体系分为无人

机性能、任务执行及环境适配三类，性能约束涵盖续航、负载、探测范围等固有指标；任务执行约束划定时间窗口与精度规范；环境适配约束规范无人机飞行安全与信息传输稳定要求。多重约束相互关联制衡，共同搭建起建模核心框架，为后续模型细化构建提供坚实理论与规则支撑。

2.2 无人机蜂群任务分配模型搭建

基于前文界定的建模基础与约束规则，构建复杂环境无人机蜂群任务分配模型，实现单机与任务间的科学精准匹配。以集群整体作业效能最优为核心目标，兼顾执行速率、资源利用率与环境适应能力，依托多目标优化思路搭建目标函数体系，纳入任务耗时、资源损耗、执行精度等关键指标，通过合理权重配置完成多目标协同优化。模型引入图论思想，把无人机个体与任务目标抽象为网络节点，任务分配关联抽象为连接边，建立任务分配图结构，直观刻画二者映射关系。（三）任务分配模型优化算法设计

为提升模型求解效率与分配方案合理性，本文针对所建任务分配模型设计专属优化算法，弥补传统算法在复杂场景收敛偏慢、易陷入局部最优的不足。算法以模型目标函数为核心，结合复杂环境动态特征与任务分配实际诉求改良传统框架，引入自适应调节机制，跟随环境参数波动、任务优先级变动及无人机运行状态更新动态调校算法参数，增强适配水平与求解精准度^[2]。设计过程兼顾无人机蜂群协同属性，融入群体智能思想，实现集群内部信息互通与协同决策，让分配方案兼顾单机性能与整体作业效益，规避资源空置及分配失衡问题。算法同时兼顾求解速率，简化运算流程并改良搜索策略，压缩运算耗时，使分配方案能够快速响应复杂环境动态波动，为后续仿真试验提供高效求解支撑，达成模型与算法的整体适配联动。

3 复杂环境下无人机蜂群任务分配仿真实验与结果分析

3.1 仿真实验环境搭建与参数设置

本次仿真依托主流平台构建，贴合复杂环境特征复刻真实作业工况，保障仿真结果真实有效。仿真体系包含地形、干扰、任务场景三大模拟模块：地形模块还原复杂地貌，布设静态障碍物，复刻飞行空间约束；干扰模块配置通信扰动、环境噪声等参数，还原信息传输实况；任务模块参照既有分类与约束，设置多优先级、有耦合关联的任务集群，明确执行时限与精度规范。

3.2 仿真实验设计与实施过程

本次仿真核心目标是核验任务分配模型适配性及优化算法效能，设置对照与验证两组试验，保障结论严谨。选取传统分配算法与文中改进算法对比，统一仿真环境及参数，分别代入模型求解，生成两套差异化分配方案。试验全程采集任务耗时、资源损耗、执行精度等核心指标，观测算法收敛速度与方案动态适配能力，重点考量环境扰动、任务耦合的影响^[1]。试验恪守单一变量准则，排除无关干扰以保证数据真实可比，通过多轮重复推演弱化误差，为后续结果研判提供扎实数据支撑。

3.3 仿真实验结果分析与结论

依托仿真采集数据开展系统研判，重点对比不同算法性能差异与模型适配效果，仿真数据统计如下表所示，通过多轮重复试验取平均值，确保数据可靠性。

表1 不同算法任务分配性能对比

| 性能指标 | 本文优化算法 | 传统算法 |
|----------|--------|------|
| 任务平均耗时 s | 286 | 412 |

参考文献：

- [1] 李浩.基于改进人工蜂群算法的无人机协同应急重规划研究[D].山东交通学院,2024.
- [2] 孟凡钧.动态环境下蜂群无人机协同任务规划技术研究[D].西安工业大学,2025.
- [3] 司翠平,刘映泉.基于任务分配的无人机蜂群攻击控制优化[J].机械设计与制造工程,2023,52(09):45-49.

| | | |
|----------|------|------|
| 资源损耗率% | 8.3 | 15.7 |
| 任务执行精度% | 96.8 | 82.5 |
| 算法收敛时间 s | 12.5 | 27.3 |
| 任务失败率% | 1.2 | 7.9 |

由表1数据可知，本文优化算法输出的分配方案，在各项核心性能指标上均优于传统算法：任务平均耗时较传统算法缩短126s，资源损耗率降低7.4个百分点，任务执行精度提升14.3个百分点，算法收敛时间缩短14.8s，任务失败率降低6.7个百分点，可更好兼顾多目标优化需求，显著提升蜂群整体作业水平。所建任务分配模型能够响应复杂环境动态变化，面对通信干扰、地形阻碍仍可维持分配方案稳定，规避任务配比失衡、决策响应滞后等问题。优化方案可精准匹配无人机性能与任务诉求，结合表中执行精度96.8%、任务失败率1.2%的核心数据，可见其能有效提升执行精度并降低任务失败概率。综合研判表明，该模型与优化算法能够有效解决复杂环境下无人机蜂群任务分配难题，具备较强工程实用价值与应用可行性。

4 结语

本文围绕复杂环境下无人机蜂群任务分配开展系统性探究，梳理场景中存在的扰动、任务耦合及蜂群异质性等实际难题，搭建适配多类约束条件的任务分配模型，完成优化算法的架构搭建与参数调试。依托仿真平台完成场景复刻与对照实验，核验所构模型及优化方法在任务匹配精度、资源调度效率与环境适配能力层面的实际效能，可有效弥补传统分配方式适配性薄弱的短板。相关研究成果能够为复杂工况下无人机蜂群协同任务调度提供理论支撑与技术参照，后续可进一步结合多维度环境变量与异构蜂群特性，深化模型适配能力与算法求解性能的拓展完善。