

面向山地景区无人机物资运输任务协同规划的研究

程冲¹ 王家媛²

1.四川科技职业学院低空经济学院, 四川 眉山 620500

2.成都银杏酒店管理学院文化和旅游学院, 四川 成都 611743

[摘要]针对山区景点物资运输中无人机任务分配不均、三维路径规划质量差的问题, 依托群智能优化理论, 构建多无人机任务分配模型和三维路径规划模型, 实现多无人机协同任务规划。采用改进遗传算法与多策略优化算法, 完成山区运输场景建模、算法优化及仿真验证工作。实验表明, 任务分配效果和路径规划质量提升, 有效解决了山区复杂环境下无人机协同运输难题。

[关键词]山地景区; 重载无人机; 低空物流; 景区运营; 融合发展

DOI: 10.33142/sca.v9i9.20372

中图分类号: S252

文献标识码: A

Research on Collaborative Planning of Unmanned Aerial Vehicle Material Transportation Tasks for Mountain Scenic Spots

CHENG Chong¹, WANG Jiayuan²

1. ChuanKe Low-altitude Economy Industry College, Sichuan University of Science and Technology, Meishan, Sichuan, 620500, China

2. School of Culture and Tourism, Ginkgo College of Hospitality Management, Chengdu, Sichuan, 611743, China

Abstract: In response to the problems of uneven task allocation and poor quality of 3D path planning in the transportation of materials in mountainous scenic spots, a multi drone task allocation model and a 3D path planning model are constructed based on swarm intelligence optimization theory to achieve multi drone collaborative task planning. Adopting improved genetic algorithm and multi strategy optimization algorithm to complete the modeling, algorithm optimization, and simulation verification of mountainous transportation scenarios. The experiment shows that the improvement of task allocation effectiveness and path planning quality effectively solves the problem of unmanned aerial vehicle collaborative transportation in complex mountainous environments.

Keywords: mountain scenic spots; heavy duty unmanned aerial vehicles; low-altitude logistics; scenic area operation; integrated development

引言

四川作为国内山地旅游资源丰富的省份之一, 拥有多个山地景区。地形环境复杂, 交通条件差, 多无人机运输存在任务分配失衡、三维航迹起伏过大、易陷入局部最优等问题, 大幅降低物资投送速度。研究山区多无人机协同物资运输任务智能调度, 十分必要。

山区地形高差大、沟壑密布, 空域障碍物随机分布, 无人机飞行存在俯仰/偏航约束强、三维避障难度高、多机航线易干涉的特点, 任务分配还需兼顾物资需求量与救援时效, 约束条件远多于平原场景。当前国内外围绕山区无人机任务分配、路径规划形成大量成果, 但仍有明显局限^[1]。

任务分配层面, Dong D 等^[2]提出 K-means 结合拍卖算法划分多智能体子系统, 可实现动态目标分区, 但未区

分物资紧迫度; Wu X L 等^[3]融合模拟退火改进遗传算法, 提升全局搜索能力, 却采用随机初始化, 初代种群适应度偏低; 刘兴宇等人^[4]提出改进匈牙利算法, 依托距离、方位分配任务, 缺少时间与需求满意度双重目标约束。

路径规划方面, Diao QF^[5]改进 RRT*算法优化路径平滑, 但高维三维场景计算难度激增; 宋阿妮等^[6]设计精英扩散蚁群算法, 一定程度避免局部最优, 但适配山地起伏地形效果有限; 远翔宇等^[7]原始蜚螭优化算法收敛较快, 却存在种群分布不均、单一行为搜索的缺陷。

本文构建兼顾物资需求、时间满意度的多无人机任务分配模型, 分配效果提升; 面向三维山地提出改进蜚螭算法, 路径规划质量提升。两套算法分层求解分配、航迹问题, 弥补现有模型脱离山区地形约束、群智能优化策略单一的不足。

1 物资运输协同任务规划数学模型

1.1 改进型遗传算法

遗传算法属于典型的群智能全局优化算法,核心原理借鉴自然界生物进化与优胜劣汰机制,通过编码处理、种群选择、基因交叉、基因变异四大核心环节迭代更新最优解,能够有效求解多约束、非线性的复杂优化问题,适配各类复杂工程场景的决策优化需求。

本文针对山地景区无人机应急物资运输的专属场景,对传统遗传算法进行迭代优化,形成全新的改进型遗传算法。该算法融合聚类数据分析、自适应参数动态调节、满意度择优筛选等多重优化机制,有效破解山地景区物资投放点位分散、无人机设备数量与作业任务不匹配、物资分配不均衡等行业痛点。在多重飞行约束条件下,可输出最优的多无人机协同任务分配方案,高度贴合山地应急救援快速、精准、均衡的调度核心需求。

该算法以持续迭代寻优为核心逻辑,通过多轮次的方案筛选、对比与更新,持续优化物资分配与任务排布方案。同时创新性引入物资保障满意度评价体系,将各投放点位的物资补给效果作为优化核心依据,针对性优化低效、不合理的任务分配方案,补齐山地物资配送的短板问题。算法可根据迭代过程中的种群运行状态实时微调优化参数,适配不同山地地形、不同救援规模的作业场景,大幅提升算法的环境适配能力与寻优精准度。

相较于传统遗传算法,本次优化后的算法在任务分配均衡性、迭代运行稳定性上实现大幅提升,彻底改善了传统算法分配差异大、易陷入局部最优解的缺陷。经过算法优化后的物资调度方案,能够显著提升各点位物资保障满意度与整体调度效率,多次仿真试验结果证实,该算法可完美适配山地景区应急物资运输作业,具备极强的工程落地与实际应用价值。

1.2 改进遗传算法的多无人机协同任务分配

为解决山地应急作业中普遍存在的无人机任务配比失衡、投放点位杂乱、飞行作业次序混乱、物资分配不均等问题,本文提出基于改进遗传算法的多无人机协同任务分配策略。该策略以最大化各投放点位的物资补给满意度与运输时效满意度为双重核心目标,实现多无人机集群高效协同、精准配送的应急作业效果。

在遗传算子优化设计层面,构建精英保留机制与锦标赛筛选相结合的新型选择策略,既保留种群内的优质核心基因,又维持种群多样性,避免迭代单一化问题。引入自适应迁移交叉算子,可根据种群个体的适应度数值,动态调整基因迁入与迁出概率,实现优质基因的高效传递与融

合。同时搭建满意度导向型变异机制,针对物资保障满意度偏低的投放点位对应的基因片段进行定向变异,动态适配迭代状态调整交叉、变异概率,从根本上解决传统算法早熟收敛、优化精度不足的问题。

该算法的完整执行流程分为四个核心步骤:第一,依托 K-Means 聚类算法,结合物资投放点位的空间分布、物资需求量等多维数据完成种群初始化,从源头提升初始求解方案的质量;第二,构建多维度适应度评价函数,精准计算种群内所有个体的综合适配能力;第三,执行自适应交叉、变异操作,通过持续迭代完成方案优化升级;第四,迭代终止后输出全局最优的无人机任务分配序列与作业方案。

仿真测试数据表明,相较于传统算法,本文改进算法的种群初始化质量显著提升,整体任务分配性能大幅优化。该策略可有效均衡单台无人机的作业负载,大幅降低集群航线重叠冗余率,全面提升物资投放时效与物资保障综合满意度,让山地应急物资运输排布更科学、配送时效更均衡,完全适配山地景区多点位、分散化的应急物资运输作业场景。

1.3 改进型蜣螂算法

改进型蜣螂算法是针对山地无人机三维航线规划场景优化升级的新型群智能寻优算法。该算法保留基础蜣螂算法的核心寻优框架,针对山地景区地形起伏剧烈、地形结构复杂、障碍物零散分布、航线规划易抖动失真等实际工程难题进行专项优化,适用于多约束、多目标的无人机应急物资运输路径优化场景,可有效提升复杂山地环境下无人机航线规划的平滑度、稳定性与科学性。

该算法依托种群智能迭代寻优的核心思路,采用“全局大范围搜索+局部精细化打磨”的双层搜索模式,持续筛选、迭代、更新最优飞行航线。算法优化了初始路径生成逻辑,让初始规划航线均匀覆盖整体求解空间,规避传统算法初始方案杂乱、偏差较大、有效航线覆盖率低的问题。在迭代进程中,持续拓宽全局搜索边界,充分挖掘山地空间内的可行飞行路径,强化全局寻优能力。同时,算法可实时识别种群内各航线的相似度,结合整体迭代进度动态切换搜索策略,对同质化航线进行差异化优化调整,有效避免规划结果趋同,防止算法提前收敛,保障最优航线的求解精度。

相较于传统优化算法,改进型蜣螂算法的全局搜索能力更为突出,能够有效规避局部最优陷阱,规划出的三维航线平滑度更高、地形起伏适配性更强,可完美适配山地陡峭、沟壑纵横的复杂地形环境。同时算法具备收敛速度

快、寻优精度高的优势，能够有效缩减航线冗余里程，降低无人机飞行能耗，大幅提升山地低空飞行的安全性与物资运输效率，综合环境适配性显著优于传统路径规划算法。

1.4 无人机三维路径规划蜚螂优化算法

改进型蜚螂优化算法是针对山区场景的无人机三维飞行路径规划，保留了传统算法整体的种群寻优逻辑框架，同时新增均匀初始分布、反向解寻优、自适应动态变异三项优化策略。

优化原理集中在初始种群构建、迭代搜索、个体更新三个环节。一是优化初始种群生成方式，采用均匀分布生成初始求解样本，让初始路径方案分布更均衡。二是拓展全局搜索范围，在算法迭代求解过程中，对现有可行路径同步生成反向对比路径，扩大搜索覆盖范围。三是动态调节寻优策略，通过计算种群方案的相似程度，判断整体搜索状态，自动调整路径优化的变异幅度，平衡大范围搜索和精细化优化能力。

路径规划分为四步：录入山地地形环境、障碍物分布以及无人机飞行高度、转角、航程等约束条件，通过均匀分布方式生成多组初始飞行路径方案。进入迭代优化阶段，不断更新调整路径方案，通过正反双向路径对比筛选，持续优化现有飞行路线，淘汰不合理、质量较差的路径。根据种群聚集情况自动调整优化策略，对飞行路径进行微调优化，提升路径平滑度与飞行安全性，规避地形障碍。以路径长短、飞行平稳度、飞行安全性为综合评判标准，筛选最优飞行路径，迭代结束后输出适配山地复杂环境的无人机三维最优飞行航线。

山区路径仿真证明，改进算法寻优精度和路径规划质量提升，规划航线更短、更平滑，可稳定规避山地障碍物，收敛速度更快。

2 山地景区无人机物资运输应用

2.1 算法在山地景区无人机三维路径规划的应用

2024 年低空经济产业被明确纳入国家战略性新兴产业体系。利用无人机有效破解山地景区物资运输难题，已成为山地景区发展转型升级的必然趋势。

四川山地景区资源丰富，青城山、峨眉山等核心景区普遍存在海拔落差大、地形崎岖、沟壑纵横的特点，传统人力、骡马、索道等物资运输模式效率低、成本高，且存在人身安全隐患、破坏生态环境等问题。同时复杂山地地形与多变气象，易导致无人机常规路径规划出现轨迹起伏大、路径冗余、易陷入局部最优、避障能力不足等问题，制约无人机物资运输的发展。

针对上述问题，本文采用多策略改进蜚螂优化算法开

展景区无人机三维路径规划应用优化。优化飞行轨迹平滑度。算法兼顾无人机飞行俯仰角、偏航角、安全距离等约束，以路径最短、轨迹最平滑、飞行安全性最高为目标，适配山地景区三维复杂地形的物资运输路径规划需求。

该技术应用可创造多重实效效益。在运输效率上，算法规划的路径更短、更平顺，规避无效绕行，景区物资运输时效大幅提升，相较传统算法路径规划质量提升。在安全运营上，精准的三维避障与轨迹优化，有效适配山地复杂地形与气象环境，大幅降低无人机飞行故障与坠机风险。在经济与生态上，优化航线减少能耗损耗，降低景区物流运营成本。

2.2 算法在山地景区任务协同分配中的应用

研究目标是四川山地景区的真实无人机物资运输项目的技术可行性和经济合理性。研究结合青城山与峨眉山的无人机物资运输项目运行数据，提炼出符合山地景区无人机运输的技术适配标准、运营管理规范与安全保障机制。

针对上述目标，应用基于时间满意度与需求评价算法，面向山区、山地景区多无人机应急物资协同分配场景，将物资调度方案的优劣通过时间满意度与需求满意度量化评估，把多机多任务非标准指派优化问题转化为综合满意度最大化问题。算法综合各点位物资需求量、物资紧迫程度、物资实际配送量、物资最晚送达时限四大核心要素，同时引入多无人机路径重复率约束，在满足无人机载重、航程、送达时间等限制条件下，兼顾物资配送公平性与应急救援时效性。

根据投放点不同紧迫程度的物资需求和最晚运达时间 $T_{\max}$ ，物资通过集合 $R=(r_1, r_2, r_3)$ 表示， r_1 表示救援类物资， r_2 表示医疗类物资， r_3 表示生活类物资，由式（1）计算投放点期望运达时间：

$$T_j^e = \frac{\sum_{i=1}^n D_{j,r} \alpha_{j,r}}{\sum_{i=1}^n D_{j,r}} \times T_{\max} \quad (1)$$

时间满意度计算公式如下：

$$S_{i,j}^t = \begin{cases} 1, & T_{i,j} \leq T_j^e \\ 1 - \frac{T_{i,j} - T_j^e}{T_{\max} - T_j^e}, & T_j^e < T_{i,j} \leq T_{\max} \\ 0, & T_{i,j} > T_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

$S_{i,j}^t$ 为无人机 i 执行投放点 j 物资运输任务的时间满意度， $T_{i,j}$ 为无人机 i 实际到达投放点 j 的时间， T_j^e 为投放点 j 的期望到达时间， $T_{\max}$ 为最晚运达时间。

$$S_{i,j}^d = \frac{\sum_{i=1}^n d_{j,r} \alpha_{j,r}}{\sum_{i=1}^n D_{j,r}} \quad (3)$$

$S_{i,j}^d$ 为无人机 i 为投放点 j 执行运输任务的需求满意度，

$d_{j,r}$ 为投放点 j 第 r 类物资的实际运输量, $\alpha_{j,r}$ 为投放点 j 的第 r 类物资的需求紧迫度。

该改进算法能够有效解决四川山地景区无人机任务分配不均、救援次序混乱的难题,合理均衡各无人机运载负荷与飞行任务,大幅提升景区物资运输的时间满意度与需求满意度。

2.3 山地景区无人机的技术选型分析

目前在四川山地景区试点应用的无人机主要分为三类。第一类是小型多旋翼无人机,挂载重量在 5kg 以内,优势是灵活轻便和起降条件要求低,但运载能力有限。通常只能满足小件零散物资的应急配送,无法支撑常态化大批量物资运输。第二类是中型运载无人机,以大疆 FlyCart100 为代表,最大载荷 80kg,抗风 6 级。满载飞行半径 6km,青城山景区区域最大半径约为 3km,大疆 FlyCart100 能适配中短距离山地的景区常规运输需求。第三类是重载物流无人机,2026 年 4 月大疆发布的 FlyCart200 重载无人机,最大起飞重量 200 公斤,双电池满载飞行距离 6km,能够适配多数山地景区的复杂环境物资运输需求。

针对山地景区的特殊环境,峨眉山景区无人机运营团队针对性破解了三大技术难题。一是高海拔动力适配难题,可以通过动力系统的高原优化调校,减重卸载等方式解决空气稀薄导致的无人机动力衰减问题。二是复杂地形条件感知难题,通过融合相控阵雷达、双目视觉、仿地飞行系统,让无人机能够在复杂地形环境中自主避障,实现精准飞行。三是信号覆盖难题,在景区无人机飞行航线沿途高点布设信号中继站,搭配云端调度平台,解决峡谷区域无人机控制信号丢失的问题,实现飞行全航段可控可追溯。

3 山地景区无人机应用体系构建

3.1 运营体系构建

本项目以多无人机协同任务统筹、智能航线自主规划核心技术为支撑,打造一套具备标准化流程、智能化管控、安全化运行特点的全域运营架构,可全面适配山地景区物资投送、突发应急救援、全域巡检监测、客流秩序管控等多样化作业场景。团队人员采用层级化定岗管控模式,分别配置持证专业飞手、远程运控调度人员、设备维护技术人员及突发状况处置专员,所有在岗人员均通过专业考核并持有对应从业资质。依托智能算法赋能标准化作业流程,全面保障多无人机协同作业的规范化与专业性。

设备运维层面,建立常态化、制度化的设备管控运维机制,结合山地景区复杂的三维地形地貌特征,定期完成无人机飞行参数精准校准、整机硬件设备全面检修工作。

通过优化智能算法模型,有效强化无人机在复杂山地环境中的飞行平稳性与适应性。同时搭建设备故障专项登记台账,全程跟进设备入库、使用、检修、报废全流程,实现无人机设备全生命周期闭环管理。

调度运行层面,搭建一体化智能调度管控中心,深度整合山地景区地形地貌数据、各型号无人机性能参数、各类作业任务需求等多维信息。依托成熟的多无人机智能任务分配模型,完成多机型协同分工、航线自主优化规划,有效规避航线重叠、高空地形起伏、障碍物遮挡等飞行风险,大幅提升集群作业整体效率。

安全管控层面,严格贴合山地低空飞行专属约束准则,明确划定无人机最大俯仰角度、限定飞行高度、设定安全飞行间距等刚性飞行指标,搭建全方位障碍物识别与提前预警防护机制。针对山区暴雨、强风、浓雾等恶劣气象条件,制定针对性禁飞、限飞管控规则,从源头规避飞行安全隐患。监管层面联动景区官方管理机构,严格对接属地低空飞行管控标准,全程留存飞行轨迹、作业数据、调度记录等核心信息,实现无人机运营全流程可溯源、可监管,在保障景区游客游览安全的前提下,兼顾常态化运维与突发性应急作业的双重运营需求。

3.2 运营方法选择

本次项目摒弃传统人工单机零散化、无序化作业模式,创新性选用“智能集群常态化作业+突发场景动态调度+分级场景精准适配”的复合式运营模式。依托优化后的群智能算法,实现无人机作业的标准化、精细化、智能化管控,可同时适配景区日常常态化运维与突发应急处置两类核心作业场景。

日常常规作业采用集中式智能集群协同作业模式,以优化遗传算法为核心完成无人机智能任务分配。结合景区日常全域巡检、生活物资配送、客流实时监测等常规工作内容,匹配不同无人机的载重上限、续航时长、飞行性能等硬件条件,科学划分各设备作业区域、明确任务执行顺序。通过优化整体任务布局,均衡每台无人机的作业负荷,同时借助改良蜣螂算法完成山地三维平滑航线规划,有效规避山区沟壑纵横、陡坡起伏、地形复杂带来的飞行干扰,实现日常作业高效落地,显著降低人工干预成本与整体运营能耗。

针对山体滑坡、游客失联被困、应急物资紧缺等山地景区突发险情,应急作业场景启用分布式动态调度模式,彻底打破固定航线、固定作业区域的传统限制。依托自适应动作决策算法,根据现场实时环境动态调整飞行轨迹与作业方案,快速响应应急勘察、物资紧急投送、被困人员

辅助救援等核心应急任务,极大提升了无人机系统在极端突发场景下的作业灵活性与应急响应速度。

4 山区无人机运输的规范运营管理

4.1 硬件配套体系建设

结合山地景区的试点经验,完成分级起降站点布局,在景区山脚集散中心设置主运营基地,配套物资仓储、无人机充电、检修区域。在景区热门景点设置网络化物资转运点,例如青城山景区在月城湖、上清宫等山顶核心点位设置小型标准化无人机起降平台,满足多点位精准投送需求。

运营调度中心,依托云端管理平台,统一完成物资安全查验、装载、运输航线规划、飞行状态监控全流程工作。

景区微气象监测网络建设,在景区多个高点布设气象监测设备,实时采集景区风速、能见度、降雨等气象数据,为安全飞行决策提供数据支撑。

通信中继点建设,一般情况下山地环境复杂对无人机通信存在较大干扰,为了确保无人机飞行控制信号稳定连续,需要根据景区实际情况设置无人机通讯信号增强点,确保无人机控制信号稳定可靠。

接续人员配置,针对单边运输跨度大的景区,无人机只能通过阶梯接续的方式完成运输任务,这种情况就需要在接续点配置接续操作人员,对无人机进行换电和后续阶段操作。

4.2 飞行安全管理规范

山地景区综合环境复杂,确保安全飞行是无人机物资运输的底线。首先要完成景区专属航线的规划,提前对无人机航线区域进行三维测绘,航线须避开核心游览区、游客密集区域、水源区域以及其他限制区域。关于俯仰角 $\varphi_{\max}$ 和偏转角 $\Phi_{\max}$ 限制:

$$0 \leq \arctan \left[\frac{z_{i+1}-z_i}{\sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2}} \right] \leq \Phi_{\max} \quad (4)$$

$$0 \leq \arccos \left[\frac{l_{i+1} \cdot l_i}{\|l_{i+1}\| \times \|l_i\|} \right] \leq \varphi_{\max} \quad (5)$$

计算路径规划问题的目标函数 F 值,

$$F = \omega_1 F_l + \lambda_1 \omega_2 F_e + \lambda_2 \omega_3 F_s \quad (6)$$

式中, F_l, F_e, F_s 三种代价函数,依次为路径长度、路径平滑度、飞行安全性函数, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为 F_l, F_e, F_s 的权重系数, λ_1, λ_2 分别为航迹平滑度和飞行安全性的比例缩放因子,目标函数值越小代表路径质量越好。 F_l, F_e, F_s 表达式如下:

$$F_l = \sum_{i=0}^n \sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2 + (y_{i+1}-y_i)^2 + (z_{i+1}-z_i)^2} \quad (7)$$

F_l 为路径长度, n 为航迹点数目, (x_i, y_i, z_i) 表示 P_i 航迹点的位置。

$$F_e = \sum_{i=0}^{n-2} \varphi_i + \sum_{i=0}^{n-1} (\phi_i - \phi_{i-1}) \quad (8)$$

F_e 为路径平滑度函数, φ_i 为偏转角, ϕ_i 为俯仰角, n 为角度改变次数。

$$F_s = \begin{cases} 0, d_k \geq S \\ \frac{S-d_k}{S}, R_k < d_k < S \\ \infty, d_k < R_k \end{cases} \quad (9)$$

F_s 为飞行安全性函数,空域内存在中心坐标为 O_k , 半径为 R_k , 的障碍物 K , 无人机的飞行节点与障碍物的法向距离 d_k 应大于安全距离阈值 $S=100m$ 。

通过试飞验证所有飞行路径方案的可靠性,包括通信可靠性、气象可靠性等。实施分级飞行管控制度,严格按照法规执行运输任务。例如当风速超过 5 级、能见度低于 500m 时暂停运输,从制度层面杜绝安全隐患。

5 应用效益与推广路径分析

5.1 综合效益

结合山地景区地形复杂、道路通达性弱、人工运输难度大的特点,无人机物资运输依托协同规划与智能规划技术,具有较好的综合效益。

经济效益层面,无人机运输可有效降低景区运营成本。大幅减少人力薪酬、车辆油耗及设备损耗支出。优化航线,避免设备闲置、运力浪费,提升物资配送效率,减少运营投入。

应急安全效益层面,无人机具备极强的山地环境适应能力,可突破地形阻隔、道路中断等限制,快速完成救援医疗物资输送,极大缩短应急响应时长。同时可替代人工深入陡坡、滑坡高危区域作业,规避人员遇险风险。多无人机协同配送能够实现多点位物资同步补给,有效降低山地灾害与突发险情造成的损失。

运营管理效益层面,智能化无人机运输实现了景区物资配送标准化、精细化运作。通过精准任务分配与三维平滑路径规划,简化人工调度流程,提升全域物资补给、设施运维的整体效率。且飞行轨迹全程可追溯,杜绝物资配送遗漏、延误问题,助力景区智慧化、规范化管理。

在生态与社会效益层面,无人机低空低能耗飞行无尾气、无地面碾压破坏,可保护山地植被与生态环境,契合景区绿色发展理念,打造智慧文旅标杆,具备良好的社会示范价值。

5.2 规模化推广的对策建议

山地景区无人机物资运输规模化推广对策建议:一是

完善分层标准与适配技术体系。结合山地高低落差、障碍物多的地形特征,统一无人机载重、三维航线、多机协同作业规范。二是搭建一体化调度运营平台。统筹区域山地景区组建共享无人机运维中心,打破单一景区设备闲置、运维成本高的痛点,统一负责飞手培训、设备检修、任务调度;搭建云端协同调度系统,实现多景区物资运输任务统一分配,提升无人机整体利用率。三是健全低空飞行安全监管机制。联动文旅、空管部门简化景区低空作业报备流程,划定专属物资运输低空航线,设置山地禁飞、限飞区域预警;完善飞手持证考核、作业全程留痕制度,建立恶劣天气、山体灾害下应急停飞预案,规避飞行安全风险,打消景区运营顾虑。四是政府文旅智慧设备补贴,对采购货运无人机、搭建调度平台的山地景区给予资金补助;鼓励政企合作租赁无人机设备,减轻一次性购置压力;针对偏远山区小型景区,推行片区共享租赁模式,降低规模化落地经济门槛。五是打造示范样板带动全域推广。选取典型山地景区建成无人机物资运输示范基地,展示日常补给;组织周边景区观摩交流,配套标准化运营手册,形成可复制、可推广的运营模式,加速行业规模化普及。

6 结论

本文围绕山区应急物资运输场景,完成了多无人机协同任务规划整体建模,构建了兼顾满意度与飞行约束的双层数学模型,为复杂山地环境无人机协同运输优化提供了理论支撑。另外,改进遗传算法,通过聚类初始化、自适应遗传算子与满意度变异策略优化任务分配,有效改善了传统算法分配不均、迭代易早熟的问题,显著提升了物资运输的时间与需求满意度。同时,提出多策略改进蜣螂优化算法,结合混沌初始化、反向学习与自适应变异策略,

解决了山区地形路径起伏大、易陷入局部最优的问题,大幅提升了三维路径规划的安全性与平滑度。

仿真结果表明,本文所提协同规划方法能够高效适配山区复杂运输飞行环境,任务分配均衡、飞行路径优质,可为多无人机应急物资智慧运输提供可靠的技术参考。

[参考文献]

- [1]朱新童.基于 GIS 的山区地质灾害空间区划与应用[D].成都:西南交通大学,2021.
 - [2]Dong D,Zhu Y,Du Z,et al.Multi-target dynamic hunting strategy based on improved K-means and auction algorithm[J].Information Sciences,2023(640):119072.
 - [3]刘兴宇,郭荣化,任成才.基于身份匈牙利算法的无人机蜂群分布式目标分配方法[J].兵工学报,2023,44(9):2824-2835.
 - [4]Wu, X. L ,Yin Y N,Xu L.MULTI-UAV Task Allocation Based on Improved Genetic Algorithm[J].IEEE Access, 2021(9):100369-100379.
 - [5]Diao Q,Zhang J,Liu M,et al.A Disaster Relief UAV Path Planning Based on APFIRRT* Fusion Algorithm[J].Drones,2023,7(5).
 - [6]宋阿妮,包贤哲.精英扩散蚁群优化算法求解运输无人机三维路径规划[J].计算机工程与科学,2021,43(10):1891-1900.
 - [7]远翔宇,杨风暴,杨童瑶.基于自适应蜣螂算法的无人机三维路径规划方法[J].无线电工程,2024,54(4):928-936.
- 作者简介:程冲,男,汉族,讲师,学士,研究方向为航空运输服务,无人机应用技术;王家媛,女,汉族,副教授,硕士,研究方向为低空旅游,研学旅行。