

中文引用格式:耿鹏,杨豪杰,薛芳琳,等. 基于多无人机协同的林火安全探测及人员疏散[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(4): 43-50.

英文引用格式:GENG Peng, YANG Haojie, XUE Fanglin, et al. Forest fire safety detection and personnel evacuation based on collaborative MUAVs[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(4): 43-50.

# 基于多无人机协同的林火安全探测及人员疏散\*

耿鹏<sup>1</sup>副教授, 杨豪杰<sup>1</sup>, 薛芳琳<sup>1</sup>, 柳艳<sup>\*\*2</sup>副教授

(1 南京工程学院 通信与人工智能学院、集成电路学院, 江苏 南京 211167;

2 南京工程学院 数理学院, 江苏 南京 211167)

中图分类号: X928.7

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.04.0958

基金项目: 国家自然科学基金资助(61901211); 江苏科技智库计划(青年)项目(JSKX24085)。

**【摘要】** 针对当前林火频发背景下无人探测系统缺失及火灾失控后人员疏散效率低的问题, 提出一种基于多无人机(MUAVs)协同的林火安全探测方法和避难所选址优化策略。在 NetLogo 平台上构建多因素耦合的森林火灾动态蔓延模型; 改进基于蚁群算法的 MUAVs 协同搜索机制, 该机制通过引入吸引信息素(引导火点聚集区域搜索)与排斥信息素(避免重复路径), 优化无人机(UAV)飞行方向转移概率, 并建立含避障功能及载水量-速度约束的飞行模型; 结合希腊罗德岛地理信息系统(GIS)数据, 构建人员疏散动态仿真环境。结果表明: 改进蚁群算法在株树密度 50% 与 60% 场景下, 收敛时间分别较传统算法缩短 15% 与 14%, 搜索覆盖率提升 35.02% 与 32.16%; 经过对避难所选址进行优化, 基于 A\* 算法的疏散策略使整体死亡率降低 2.525%。

**【关键词】** 森林火灾; 多无人机(MUAVs); 人员疏散; 火点探测; 改进蚁群算法; A\* 算法

## Forest fire safety detection and personnel evacuation based on collaborative MUAVs

GENG Peng<sup>1</sup>, YANG Haojie<sup>1</sup>, XUE Fanglin<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>

(1 School of Communication and Artificial Intelligence, School of Integrated Circuits, Nanjing Institute of Technology, Nanjing Jiangsu 211167, China; 2 School of Mathematics and Physics, Nanjing Institute of Technology, Nanjing Jiangsu 211167, China)

**Abstract:** To address the current challenges of lacking unmanned detection systems amid frequent forest fires and inefficient personnel evacuation during uncontrolled fire scenarios, this article proposes a forest fire safety detection method based on collaborative MUAVs and an optimized shelter location strategy. A dynamic forest fire spread model coupled with multiple influencing factors is developed on the NetLogo platform. MUAVs collaborative search mechanism, grounded in an improved ant colony algorithm, is enhanced by introducing attractive pheromones (guiding searches toward fire clusters) and repellent pheromones (avoiding redundant paths), thereby optimizing the transfer probability of unmanned aerial vehicle (UAV) flight directions. Additionally, a flight model incorporating obstacle avoidance and water-carrying capacity-speed constraints was established. A dynamic evacuation simulation environment was constructed using geographic information system (GIS) data from Rhodes Island, Greece. Experimental

\* 文章编号: 1003-3033(2025)04-0043-08; 收稿日期: 2024-12-10; 修稿日期: 2025-02-15

\*\* 通信作者: 柳艳(1980—), 女, 江苏高邮人, 硕士, 副教授, 主要从事复杂网络方面的研究。E-mail: liuyan@njit.edu.cn。

results demonstrate that the improved ant colony algorithm reduces convergence time by 15% and 14% under 50% and 60% tree density scenarios, respectively, while search coverage increases by 35.02% and 32.16%. Furthermore, optimized shelter placement combined with the A\* algorithm-based evacuation strategy reduces the overall mortality rate by 2.525%.

**Keywords:** forest fire; multiple unmanned aerial vehicles (MUAVs); personnel evacuation; fire detection; improved ant colony algorithm; A\* algorithm

## 0 引言

森林火灾不仅严重威胁人类生命及财产安全,而且对自然生态系统造成长远的影响<sup>[1-2]</sup>。2023年7月,希腊罗德岛森林火灾导致3万人被紧急疏散<sup>[3]</sup>。2023年8月,美国夏威夷州毛伊岛爆发的森林火灾导致数以百计的人员死亡<sup>[4]</sup>,自然景观和历史遗迹遭到破坏。2024年,我国贵阳、毕节、六盘水、黔西南等地陆续发生森林火灾<sup>[5]</sup>。因此,研究森林火灾扑救与人员疏散策略十分必要。

目前,基于森林火灾的模拟研究已经开展。JIANG Wenyu 等<sup>[6]</sup>基于异质性元胞自动机,开发了火灾蔓延场景模拟,具有高效率、强时效性、竞争性和准确性。SINGH 等<sup>[7]</sup>的评估结果表明:野火混合建模方法能够提高预测的效率和准确性。KHACHUMOV 等<sup>[8]</sup>提出启发式搜索算法,考虑了气流、无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)速度以及轨迹的影响,能够在给定的区域内规划出局部最优路线。XING Zhewen 等<sup>[9]</sup>设计递归最小二乘估计器,通过 UAV 编队收集在线测量数据来估计风速,进而用于森林火灾监测。JOHN 等<sup>[10]</sup>利用多群组协同信息驱动搜索和分治算法控制多无人机(Multiple Unmanned Aerial Vehicles, MUAVs)。INNOCENTE 等<sup>[11]</sup>提出基于物理火灾传播模型和自组织算法的高效自主灭火系统,能够通过调用 MUAVs 来扑灭森林火灾。UMEKI 等<sup>[12]</sup>开发了模拟估计疏散期间道路拥堵影响的方法,并根据模拟结果将避难所重新分配给疏散人员。SHARMA 等<sup>[13]</sup>提出基于深度强化学习的火灾疏散环境,通过预训练的 Q 矩阵转移学习方法,能够快速生成最优疏散路径并应对动态变化的火灾场景。

当前研究大多未考虑实际风速、风向、植被类型、可燃性和分布等因素,且存在无人探测系统缺失以及火灾失控后人员疏散效率低的问题,因此,笔者拟利用 NetLogo 平台<sup>[14]</sup>在多智能体仿真中的优势,构建多因素耦合的大规模森林野火蔓延场景,并结合改进的蚁群算法优化 MUAVs 火点探测与扑灭策

略;基于大规模森林野火蔓延场景,设计以罗德岛为例的森林火灾人员疏散策略;通过整合火灾蔓延、扑救与人员疏散的多维度要素,提供全局视角下的林火应急响应方案。

## 1 森林火灾蔓延场景建立

在火点快速移动的火灾蔓延场景<sup>[15]</sup>基础上加入树木可燃性、风速、风向、火苗的远距离传播以及火点位置的随机性等因素,在 NetLogo 平台上建立火灾蔓延场景,如图 1 所示,其中,  $t$  为时间变量,步;场景中的所有智能体和燃烧过程按照统一的时间步长更新和交互。

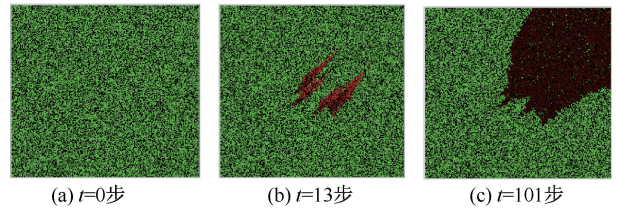


图 1 多因素影响下森林火灾的蔓延

Fig. 1 Effect of forest fire spread under influence of multiple factors

没有外力干预时,森林受灾面积与株树密度之间关系如图 2 所示。可以看出,株树密度低于 50% 时受灾面积较小;株树密度为 50%~60% 时受灾面积显著增加;株树密度超过 60% 时受灾面积达 90% 以上。图 3 和图 4 为株树密度为 50% 和 60% 时的火灾蔓延过程。

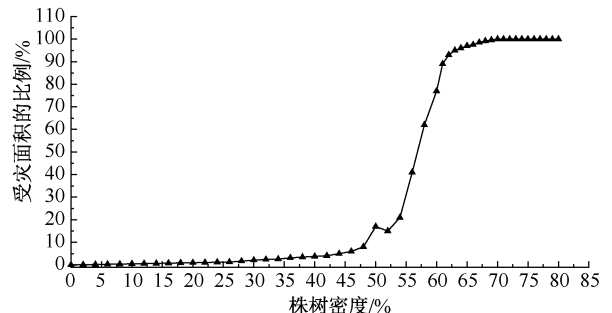


图 2 受灾面积与株树密度的关系

Fig. 2 Relationship between affected area and plant density

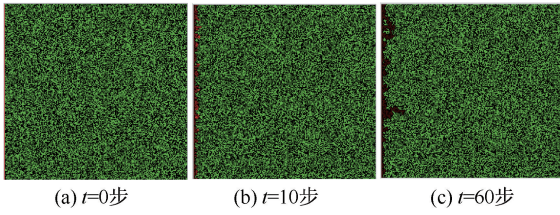


图 3 株树密度 50% 时森林火灾的蔓延

Fig. 3 Forest fire spreading effect at 50% tree density

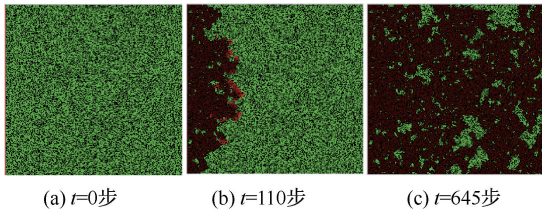


图 4 株树密度 60% 时森林火灾的蔓延

Fig. 4 Forest fire spreading effect at 60% tree density

## 2 基于改进蚁群算法的火点探测

### 2.1 火点探测与扑灭模型构建

在真实火灾中,火势蔓延通常表现为线状扩展过程,且可观察到多条火线,其结构可分为火头、火尾和火翼等部分。在中大尺度遥感监测下,由于空间分辨率的限制,火灾通常表现为较大面积的点状特征,即火点。基于卫星遥感图像下的视角,在多因素影响下的森林野火蔓延场景基础上,提出一种基于改进蚁群算法的 MUAVs 森林火点检测与扑灭模型,该模型在火点搜索时引入排斥信息素和吸引信息素更新 UAV 飞行方向的转移概率。同时,还为 UAV 加入避障功能,并考虑飞行速度与载水量之间关系。文中所提 MUAVs 是指多智能体系统,即多个独立的智能体(UAV)协同工作以完成特定任务。

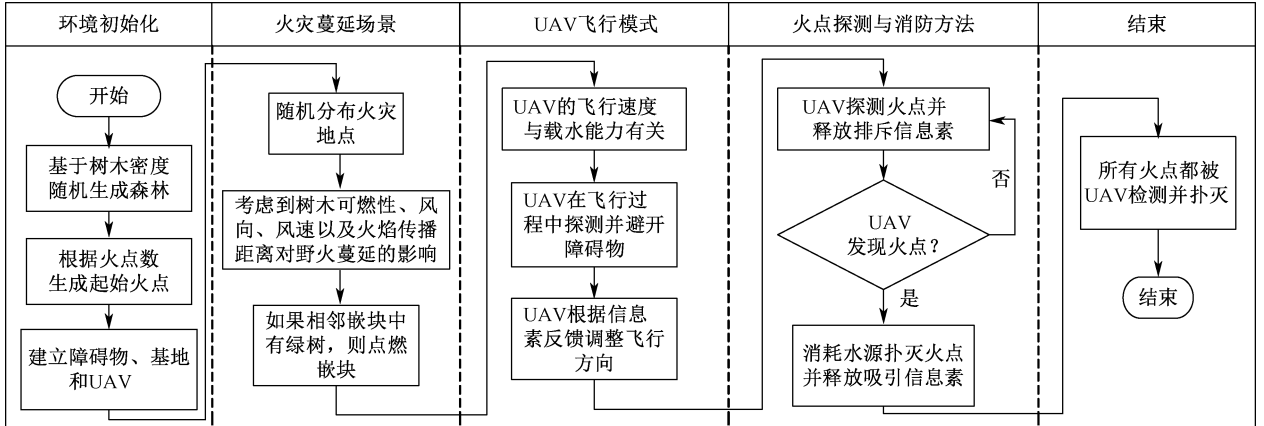


图 5 基于 MUAVs 的森林火灾安全探测过程

Fig. 5 Process of safe detection of forest fires based on MUAVs

基于改进蚁群算法的 MUAVs 森林火点检测与扑灭模型主要由火灾蔓延、UAV 飞行以及火点探测与消防 3 部分组成,其运行流程如图 5 所示。为便于算法性能的比较研究,假设 UAV 携带无限的电量和信息素,能够持续飞行并搜索火点。

设定搜索区域尺寸为  $101 \times 101$  个嵌块。UAV 的飞行速度与其水载荷的关系为:

$$v(t) = \left[ 1 - \frac{w(t)}{w_0 + 10} \right] v_0 \quad (1)$$

式中: $v(t)$  为 UAV 的飞行速度,块/步; $v_0$  为 UAV 最大飞行速度,块/步; $w_0$  为 UAV 的初始载水量; $w(t)$  为时刻  $t$  的载水量。UAV 在飞行途中遇到火灾时会执行灭火;水用完后,UAV 飞回基地补充水源。每架 UAV 起飞时携带 10 个单位的水量,扑灭 1 个嵌块火点需消耗 1 个单位水量。

UAV 飞行过程中遇到信号塔、电力线塔等障碍

物时必须绕行,因此,在模拟环境中随机放置 5 个障碍物。飞行过程中 UAV 探测以其为中心的扇形区域是否有障碍物,角度为  $60^\circ$ ,半径为 8 个嵌块。当探测到障碍物时,UAV 向左转弯  $150^\circ$  并减速以避开障碍物。

转移概率和信息素更新机制是蚁群算法的核心<sup>[16]</sup>,改进的蚁群算法引入吸引信息素与排斥信息素,通过飞行途中的 2 种不同信息素的变化,UAV 能够扩大搜索范围并减少无效搜索。信息素强度体现了信息素在特定空间或时间范围内的量度,反映其对生物行为或反应的影响力。吸引信息素与排斥信息素相互转移概率  $P_{ij}$  为:

$$P_{ij} = \frac{\exp(\alpha_{ij})}{\sum_{j=1}^k \exp(\alpha_{ij}) + \sum_{j=1}^k \exp(\beta_{ij} D_{ij})} \quad (2)$$

式中: $\alpha_{ij}$ 、 $\beta_{ij}$  分别为路径  $(i, j)$  上的吸引信息素强度

和排斥信息素的强度;  $D_{ij}$  为路径  $(i, j)$  的距离。 $\alpha_{ij}$  和  $\beta_{ij}$  的更新表达式为:

$$\alpha_{ij}(t+1) = (1 - \rho_\alpha)\alpha_{ij}(t) + \Delta\alpha_{ij} \quad (3)$$

$$\beta_{ij}(t+1) = (1 - \rho_\beta)\beta_{ij}(t) + \Delta\beta_{ij} \quad (4)$$

$$\Delta\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\alpha_{ij}^k \quad (5)$$

$$\Delta\beta_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\beta_{ij}^k \quad (6)$$

式中:  $\rho_\alpha, \rho_\beta$  分别为吸引信息素和排斥信息素的蒸发系数;  $\Delta\alpha_{ij}, \Delta\beta_{ij}$  分别为吸引信息素和排斥信息素增量。

图 6 为在改进蚁群算法下 UAV 执行火点探测与扑灭任务的具体过程。步骤包括初始化、UAV 在搜索时释放排斥信息素、探测火点、在火点释放吸引信息素、消耗水源灭火,以及持续上述过程直到所有火点被探测和消灭。

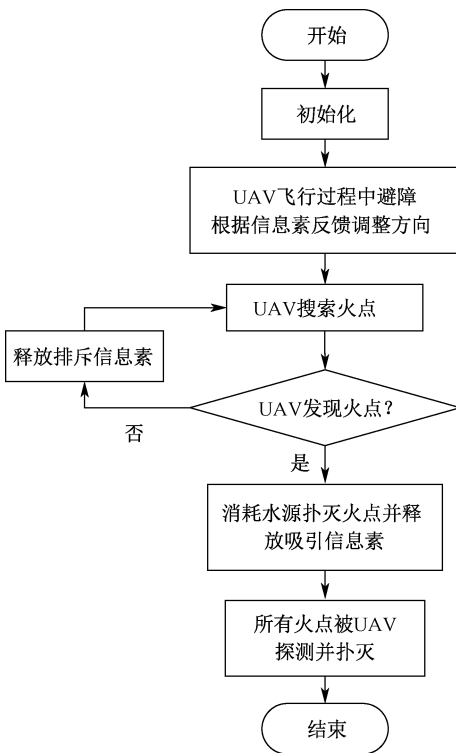


图 6 基于改进蚁群算法的 UAV 探测与灭火过程

Fig. 6 UAV detection of fire points and firefighting process based on improved ant colony algorithm

## 2.2 林火探测仿真

### 2.2.1 仿真环境及其参数说明

基于 NetLogo 平台建立森林火灾与 MUAVs 协调机制,性能通过收敛时间(火灾开始至火点数量减少为 0)和  $t=100$  步时的搜索覆盖率(搜索面积与森林总面积的比率)来衡量。评估所提改进蚁群算

法、传统蚁群算法及随机行走算法的性能,每种算法均独立重复试验 20 次,取平均值。表 1 为相关参数设置。

表 1 仿真参数设置

Table 1 Simulation parameter settings

参数名称	参数规格
吸引信息素蒸发系数	0.7
排斥信息素蒸发系数	0.5
吸引信息素增量	0.1
排斥信息素增量	0.2
随机行走算法转移概率	各方向概率相等
初始火点数量	3
每步火蔓延到相邻树木的概率	0.2
UAV 数量	40
随机数量	5
初始水负荷	10

### 2.2.2 仿真结果分析

图 7 和图 8 分别为在株树密度分别为 50% 和 60% 约束条件下, UAV 分别采用随机算法、蚁群算法和改进蚁群算法探测和扑灭森林火灾时,火点数量随时间的变化。

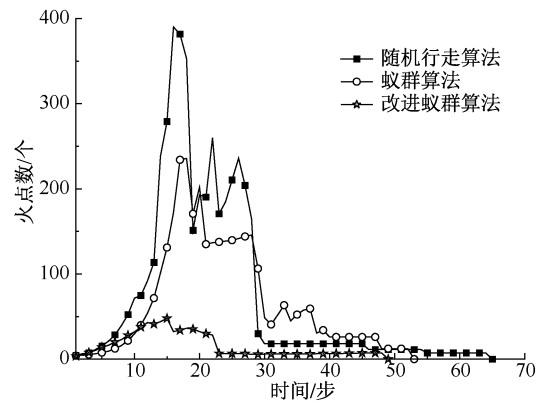


图 7 株树密度 50% 时火点随时间变化

Fig. 7 Fire spot over time with 50% tree density

由图 7 和图 8 可以看出,改进蚁群算法的火点峰值数量显著小于基础算法的峰值数量。50% 株树密度下,使用随机行走算法、传统蚁群算法和改进蚁群算法的收敛时间分别为 65、53 和 49 步;60% 株树密度下,三者分别为 93、78 和 67 步。这表明所提出的算法可将火势的蔓延控制在较小的范围内,并表现出更快的收敛速度。

图 9 和图 10 为在株树密度分别为 50% 和 60% 约束条件下, UAV 分别采用随机算法、蚁群算法和改进蚁群算法探测和扑灭时森林火灾,搜索覆盖率随时间的变化。可以看出,改进蚁群算法在同一步内提供了比 2 种基础算法更大的搜索覆盖范

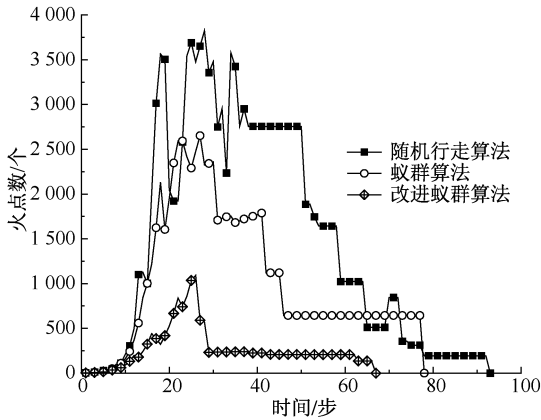


图 8 株树密度 60% 时火点随时间变化

Fig. 8 Fire spot over time with 60% tree density

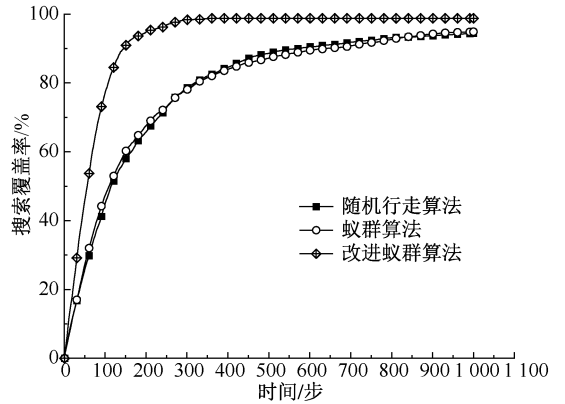


图 10 株树密度 60% 时搜索覆盖率随时间变化

Fig. 10 Search coverage over time with 60% tree density

围。如在 50% 株树密度下,3 种算法在  $t=100$  步时的搜索覆盖率分别达到了 44.38%、46.05% 和 79.40%。在 60% 株树密度下,3 种算法在  $t=100$  步时的搜索覆盖率分别达到了 44.98%、47.28% 和 77.14%。

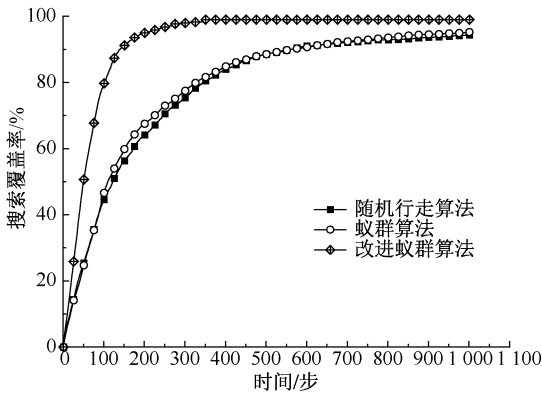


图 9 株树密度 50% 时搜索覆盖率随时间变化

Fig. 9 Search coverage over time with 50% tree density

### 3 森林火灾蔓延下的人员疏散

利用地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 技术<sup>[17-18]</sup> 建立希腊罗德岛地形和路网数据,考虑多因素影响构建火灾蔓延场景,基于 A\* 算法<sup>[19]</sup> 模拟人员疏散行为,分析避难所选址策略对疏散效果的影响。

#### 3.1 基础环境建立

罗德岛原始地形如图 11a 所示,对之进行路网构建,形成图 11b 所示路网边界图,其横纵坐标表示地理位置经纬度,所选取的道路网络类型被限定为“可驾驶道路”。岛内人口分布如图 11c 所示,除机场、港口区域人口密度较高以及山区人口较少外,其余地区人口分布相对均匀。于岛屿的东、南、西、北 4 个方向,每个方向均随机设置一处避难所,每个避难所可容纳 2 000 人。

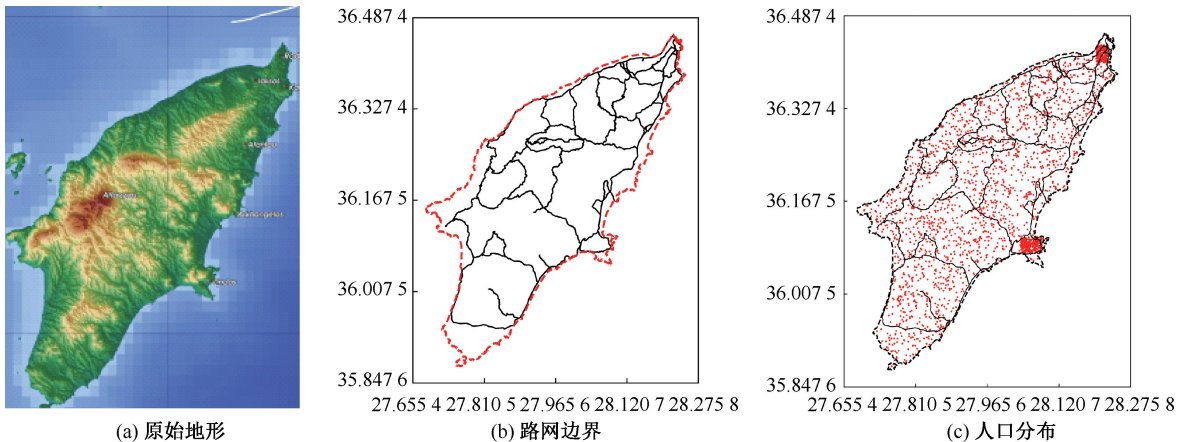


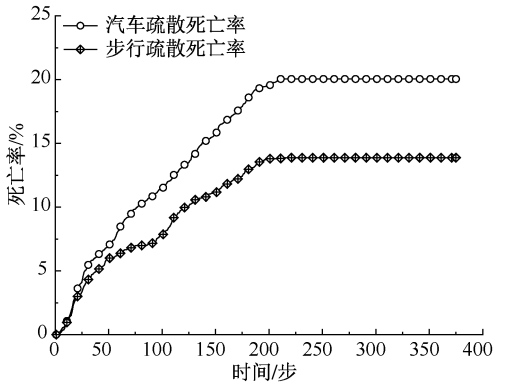
图 11 罗德岛基础仿真环境建立过程

Fig. 11 Establishment process of Rhode Island basic simulation environment

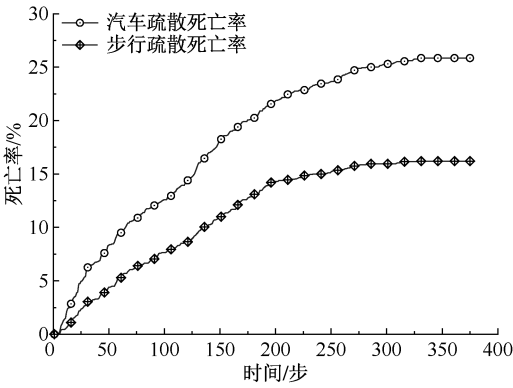
### 3.2 火灾蔓延与人员疏散仿真分析

以 2023 年希腊罗德岛森林火灾为背景,起火点位置和风向设定均依据实际事故数据。在疏散过程中,居民根据概率选择步行或驾车逃离,2 种方式具有不同的速度特征:步行速度服从正态分布( $\mu=1.5 \text{ m/s}, \sigma=0.2 \text{ m/s}$ );汽车行为考虑前车速度、车间距等因素,设定最大速度为  $19.4 \text{ m/s}$ ,加速度为  $3 \text{ m/s}^2$ ,减速度为  $9 \text{ m/s}^2$ 。仿真过程统计疏散成功率和死亡率。

图 12 为路径规划分别采用 A\* 算法和随机行走算法的死亡率比较。结果表明:A\* 算法的疏散效果更优,如图 12a,步行疏散死亡率最高为 13.875%,驾车疏散死亡率最高为 20.05%,整体死亡率最高为 33.925%。而随机行走算法的对应指标,如图 12b,分别为 16.2%、25.85% 和 42.05%。值得注意的是,由于可能出现的交通拥堵,驾车疏散的死亡率高于步行疏散。



(a) A\*算法死亡率



(b) 随机行走算法死亡率

图 12 不同算法下人员疏散效果比较

Fig. 12 Comparison of personnel evacuation effects based on different algorithms

### 3.3 避难所选址优化

在森林火灾避难所选址过程中,需要考虑风向、地形地貌、避难所容量、交通条件、人口分布等因素

(图 13)。在避难所数量与容量、道路情况不变的情况下,考虑风向与人口密度因素影响,进行避难所选址优化,其中,2 个避难所位于人口密集区域(图 13 中 1 号和 2 号位置),以满足该区域大量人员的紧急避难需求;另外 2 个避难所则位于地图右下角的沿海地带(图 13 中 3 号和 4 号位置),考虑了当地风向因素对火灾疏散的影响,避免避难所处于火灾烟雾扩散的下风向。通过 A\* 算法模拟人员疏散过程,统计步行和驾车 2 种情况下的人员死亡率随时间的变化,如图 14 所示。可以看出,步行疏散死亡率最高为 13.35%,汽车疏散死亡率最高为 18.05%,整体死亡率最高为 31.4%,与图 12a 相比,整体死亡率减少 2.525%。

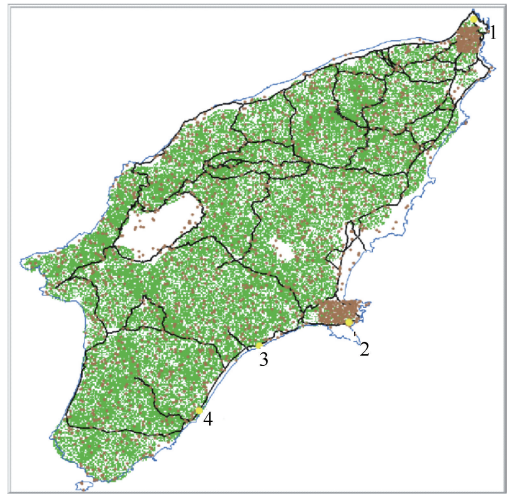


图 13 考虑风向与人口因素的避难所选址

Fig. 13 Site selection considering wind and population

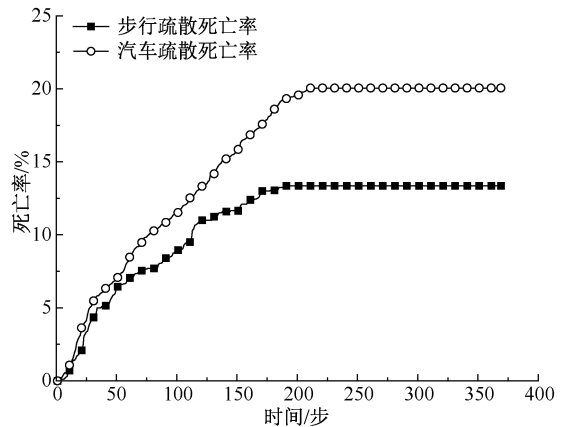


图 14 新选址策略下的人员疏散效果

Fig. 14 Personnel evacuation under new strategy

罗德岛的海陆风变化增加了火灾管理的复杂性。研究表明:合理的风场预测和科学的疏散策略

是提高人员安全的关键<sup>[20]</sup>。考虑风向与人口密度因素的避难所选址方法相较于均匀选址,可在一定程度上降低死亡率,这揭示了避难所选址对疏散效率的较大影响。同时,A\*算法规划的疏散路径比随机行走效率更高,死亡率显著降低。

## 4 结 论

1) 改进的蚁群算法通过引入吸引和排斥信息素,可显著提升 MUAVs 效率。在搜索效率方面,株树密度 50% 时,收敛时间缩短至 49 步(较传统算法减少 15%);株树密度 60% 时,缩短至 67 步(减少

14%)。搜索覆盖率在 100 步时达 79.40%(50%密度)和 77.14%(60%密度),较随机算法分别提高 35.02% 和 32.16%。在灭火效率方面,UAV 在株树密度为 50% 时的平均灭火效率提升 23%,在株树密度为 60% 时提升 21%。

2) 优化后的疏散路径规划与避难所选址方法降低了火灾人员死亡率。以希腊罗德岛火灾为背景的仿真显示,结合 A\* 算法与考虑风向与人口密度因素的避难所选址后的步行疏散死亡率最高为 13.35%,汽车疏散死亡率最高为 18.05%,整体死亡率最高为 31.4%,整体死亡率降低 2.525%。

## 参 考 文 献

- [1] 鲁义,周钦云,邵淑珍,等. 气候因子对我国森林火灾的影响及预测[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(12): 53-59.  
LU Yi,ZHOU Qinyun,SHAO Shuzhen, et al. Influence and prediction of climatic factors on forest fires in China[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(12): 53-59.
- [2] PAUSAS J G, KEELEY J E. Wildfires and global change[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2021, 19(7): 387-395.
- [3] MAKINECI B H. Investigation of burned areas with multiplatform remote sensing data on the Rhodes 2023 forest fires[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2024, 15: DOI:10.1016/j.asej.2024.102949.
- [4] MASS C, OVENS D. The meteorology of the August 2023 Maui wildfire[J]. Weather and Forecasting, 2024, 39(8): 1 097-1 115.
- [5] YIN Jianpeng, HE Binbin, FAN Chunquan, et al. Drought-related wildfire accounts for one-third of the forest wildfires in subtropical China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2024, 346: DOI: 10.1016/j.agrformet.2024.109893.
- [6] JIANG Wenyu, WANG Fei, FANG Linghang, et al. Modelling of wildland-urban interface fire spread with the heterogeneous cellular automata model[J]. Environmental Modelling & Software, 2021, 135: DOI:10.1016/j.envsoft.2020.104895.
- [7] SINGH H, ANG L M, LEWIS T, et al. Trending and emerging prospects of physics-based and ML-based wildfire spread models: a comprehensive review[J]. Journal of Forestry Research, 2024, 35(1): DOI:10.1007/s11676-024-01783-x.
- [8] KHACHUMOV M, KHACHUMOV V. Optimization models of UAV route planning for forest fire monitoring[C]. 2022 International Russian Automation Conference. IEEE, 2022: 272-277.
- [9] XING Zhewen, ZHANG Youmin, SU Chunyi, et al. Measuring the horizontal wind for forest fire monitoring using multiple UAVs[C]. 2019 Chinese Control Conference (CCC). IEEE, 2019: 4 945-4 950.
- [10] JOHN J, HARIKUMAR K, SENTHILNATH J, et al. An efficient approach with dynamic multiswarm of UAVs for forest firefighting[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2024, 54(5): 2 860-2 871.
- [11] INNOCENTE M S, GRASSO P. Self-organising swarms of firefighting drones: harnessing the power of collective intelligence in decentralised multi-robot systems[J]. Journal of Computational Science, 2019, 34: 80-101.
- [12] UMEKI K, TANAKA T, NAKAMURA Y, et al. Large-scale evacuation shelter selection method through iterations of pedestrian simulations with dynamic congestion reproduction[J]. IEEE Access, 2022, 10: 89 387-89 401.
- [13] SHARMA J, ANDERSEN P A, GRANMO O C, et al. Deep Q-learning with Q-matrix transfer learning for novel fire evacuation environment [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2020, 51(12): 7 363-7 381.
- [14] IANCU L D, DRAGOI P A, DELCEA C. Computer modeling of evacuation patterns comparison and crowd dynamics: a use of NetLogo [C]. IBIMA Conference on Artificial intelligence and Machine Learning. Cham: Springer Nature

Switzerland, 2023: 356-367.

- [15] GRAJDURA S, BORJIGIN S, NIEMEIER D. Fast-moving dire wildfire evacuation simulation [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2022, 104: DOI:10.1016/j.trd.2022.103190.
- [16] LUO Qiang, WANG Haibao, ZHENG Yan, et al. Research on path planning of mobile robot based on improved ant colony algorithm[J]. Neural Computing and Applications, 2020, 32: 1 555-1 566.
- [17] SIVRIKAYA F, KÜÇÜK Ö. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region[J]. Ecological Informatics, 2022, 68: DOI:10.1016/j.ecoinf.2021.101537.
- [18] RUDKE A P, DE SOUZA V A S, DOS SANTOS A M, et al. Impact of mining activities on areas of environmental protection in the southwest of the Amazon: a GIS-and remote sensing-based assessment[J]. Journal of environmental management, 2020, 263: DOI:10.1016/j.jenvman.2020.110392.
- [19] 王丽,李育萌,刘云,等. Zigbee 耦合 A\* 算法的疏散路径动态规划与指示系统[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(11): 142-149.  
WANG Li, LI Yumeng, LIU Yun, et al. A dynamic planning and indication system for evacuation paths based on Zigbee coupled A\* algorithm[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(11): 142-149.
- [20] KAUR N, KAUR H. A multi-agent based evacuation planning for disaster management: a narrative review[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2022, 29(6): 4 085-4 113.



**作者简介:** 耿鹏 (1979—),男,湖北钟祥人,硕士,副教授,主要从事复杂系统、智能算法等方面的研究。Email: gengpeng@njit.edu.cn。

## 《中国安全科学学报》被 Ei 数据库收录

2025 年 4 月,《工程索引》(Ei Compendex) 发布最新收录期刊目录,《中国安全科学学报》(简称《学报》) 成功被收录。

COMPENDEX SOURCE LIST: UPDATED APRIL 2, 2025

PRINT ISSN	ONLINE ISSN	CHINESE TITLE (中文刊名)	TRANSLITERATED TITLE (刊名翻译)	ENGLISH/TRANSLATED TITLE (英文刊名)	LANGUAGE (语言)	EI 2024 INDEXING
10014632	-	中国铁道科学	Zhongguo Tiedao Kexue	China Railway Science	Chinese	Renewed (保持收录)
10033033	-	中国安全科学学报	Zhongguo Anquan Kexue Xuebao	China Safety Science Journal	Chinese	New (新收录)
10079289	-	中国表面工程	Zhongguo Biaomian Gongcheng	China Surface Engineering	Chinese	Renewed (保持收录)

自 1991 年创刊以来,《学报》始终秉承“立足安全科技前沿,服务国家重大需求”的办刊宗旨,坚持“学术性、权威性、应用性、信息性”的办刊原则,在安全生产、应急管理、公共安全、防灾减灾、职业健康等领域搭建高水平学术交流平台,发表众多具有创新性和实践价值的研究成果。多年来,《学报》的学术影响力持续攀升,先后入选“中国科技核心期刊”“中文核心期刊”和“中国科学引文数据库核心期刊(CSCD 核心期刊)”,入选中国科技期刊卓越行动计划梯队期刊(一期、二期),并被美国《化学文摘社》(CAS)、Scopus 等国际知名数据库收录。此次成功被 Ei Compendex 数据库收录,更是对《学报》学术地位的有力肯定。