

# 基于无人机和机器人陆天一体化的物联网森林火灾监测预警灭火系统设计

马宏伟\*, 胡 坤, 李 宁, 刘雯静, 朱芙蓉, 丁洪伟

云南大学信息学院, 云南 昆明

Email: \*1635597900@qq.com

收稿日期: 2021年4月10日; 录用日期: 2021年5月5日; 发布日期: 2021年5月12日

---

## 摘要

针对传统防火灭火方式效率低、成本高的问题, 笔者基于窄带物联网连接的传感器进行森林火灾的初步定位; 通过使用Floyd算法来实现机器人自动行驶与避障; 使用增强型的卷积神经网络实现火焰的识别。以中智讯机器人、大疆无人机和物联网智能探测器等硬件为载体, 设计了一款陆天一体化的森林火灾监测预警灭火系统, 完成无人机与机器人的自动灭火。

---

## 关键词

森林火灾监测、预警、灭火系统, NB-IoT, 机器人无人机协同工作, 路径规划, 深度学习

---

# Design of Forest Fire Monitoring, Early Warning and Fire Extinguishing System of Internet of Things Based on the Integration of UAV and Robot Land and Sky

Hongwei Ma\*, Kun Hu, Ning Li, Wenjing Liu, Fugeng Zhu, Hongwei Ding

Department of Information, Yunnan University, Kunming Yunnan

Email: \*1635597900@qq.com

Received: Apr. 10<sup>th</sup>, 2021; accepted: May 5<sup>th</sup>, 2021; published: May 12<sup>th</sup>, 2021

---

\*通讯作者。

## Abstract

Aiming at the problems of low efficiency and high cost of traditional fire fighting and extinguishing methods, the author carried out preliminary localization of forest fires based on narrowband IoT-connected sensors; used Floyd algorithm to achieve automatic driving and obstacle avoidance of robots; and used enhanced convolutional neural network to realize flame recognition. Based on the hardware such as CITIC Robot, DJI UAV and IoT smart detector, a land-sky integrated forest fire monitoring, early warning and fire extinguishing system was designed to complete the automatic fire extinguishing of UAVs and robots.

## Keywords

**Forest Fire Monitoring, Early Warning, Fire Extinguishing System, NB-IoT, Collaborative Work of Robots and Drones, Path Planning, Deep Learning**

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



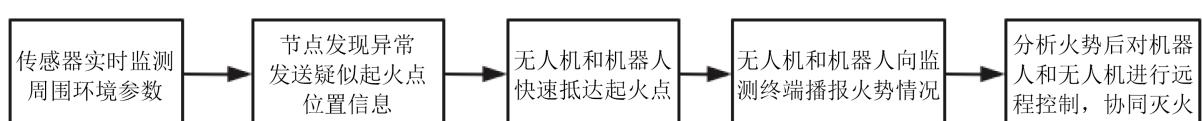
Open Access

## 1. 引言

近几年来，自然灾害频发，以森林火灾为例，全球每年平均发生森林火灾 20 多万次，烧毁森林面积约占全世界森林总面积的 1% 以上。2020 年美国的加州发生了 8000 多起山火，烧毁了 6000 多平方英里的土地，有近 10 万居民被迫紧急疏散；2019 年澳大利亚的森林火灾导致近 30 亿只动物失去栖息地甚至死亡[1]。然而目前的森林火情预警大多采用人力巡山、设置瞭望塔或者远程航拍的方式，对于一些覆盖面积较大、比较茂密的森林，需要投入较大的人力成本，而且初期火灾很难被发现，这给灭火带来很大的困难。机器人与无人机协同灭火也多采用无人机侦察，机器人携带并喷射灭火材料的方式来实现。但由于森林火灾多发生在山坡上，目前的机器人设计不适宜在山坡上运动，因此在实际使用中受到了极大的制约。为了解决上述问题，本文基于机器人和无人机，设计了陆天一体化的物联网森林火灾监测预警灭火系统，对于初期火灾有很好的监测、预警和灭火效果，能在极大地降低人力成本的基础上，快速、有效地扑灭初期火灾。

## 2. 系统总体方案设计

本文设计的陆天一体化物联网森林火灾监测预警灭火系统的总体设计流程图如下图 1 所示：



**Figure 1.** Flow chart of overall system design

**图 1. 系统总体设计流程图**

首先研究和设计智能探测传感器，组建基于 NB-IoT 的多传感器数据融合无线传感网，通过 MQ2 烟雾传感器、SHTC3 温度传感器对传感器周围的温度、烟雾等环境参数进行实时检测、向监测终端传输数

据并传送疑似起火点的位置信息，通过机器人和无人机协同工作，向监测终端播报当前森林的火势情况，相关部门在分析火情后通过 Android 手机客户端对机器人和无人机进行人为远程的监控和灭火操作。其中，机器人主要负责携带无人机尽快抵达疑似起火点附近并放飞无人机，无人机负责空中巡航拍照，查看疑似起火点的具体情况，并在人为操作下，投放灭火材料。机器人可携带大量灭火材料并进行电能的补给，通过火焰识别判断火势大小并在最短时间内选择合适路径抵达现场，确保无人机能够多次返航或投掷灭火材料，对初期火情进行有效地扑灭。

### 3. 森林火灾监测预警系统的设计

本系统集成森林火灾的烟雾浓度监测、火焰监测、温度监测功能，组建基于 NB-IoT 的多传感器数据融合无线传感网。通过放置多传感器节点实时监控森林火情并不定时向监测终端上传监测数据信息。无火情时，节点 NB-IoT 处于睡眠态，传感器在规律时间间隔内不断监测环境参数，以节省传感器能量损耗，增加监测节点的使用寿命；发生火情时，NB-IoT 被唤醒，实时传输传感器监测数据并通过节点网络传输位置信息至监控中心，方便快速掌握火情和定位火灾位置，确保森林火灾及时得到处理，降低损失[2][3][4]。

### 4. 森林火灾灭火系统的设计

在深入研究迷宫避障和路径规划的理论上，发现传统的 Floyd 算法并不适合的森林复杂路径规划，本文在路径规划方面主要为了解决如何访问连续性火源目标点能到达全局路径最短，以及单源目标点之间的路径优化问题，即只考虑全局解中的部分解，同时也要考虑到机器人的避障特点等实际影响。基于环境测试中出现的导致路径冗余的问题，提出一种适合本机器人的改进型 Floyd 算法，结合避障算法的沿 m-line 行驶特点，规定每当到达火源目标点位置时，将其看作新的初始点，并以和建立新的主线，并记录此时机器人的位置信息和斜率，在下一次通往动态优化选择后的目标点过程中，前方无障碍物且斜率与上一次建立的主线平行时，开启沿主线走模式，直到到达预期目标点位置。通过这种思想，可以大幅提高传统算法下的移动效率，节省时间和成本，快速赶往火源点。

当无人机在森林拍摄完照片之后，将照片上传至终端并交由终端进行火焰检测，而无人机在火焰识别中仅用于图像拍摄和传输，并不直接应用于火焰的检测，极大地提高了火焰识别的准确度与算法的效率。传统的火焰检测算法以识别火焰的静态特征和动态特征为主，在复杂的环境中容易出现误报问题[5]。基于深度学习的目标检测在检测精度和时间复杂度上均具有很大优势，目标检测能够从图像中精准地识别出预定义类别的物体示例[6]，深度学习则提高了目标检测的准确度和效率，二者的结合能够很好地降低火灾防控系统的误报率[7]。与此同时，无人机将携带着一定数量的灭火材料，在进行火灾监测的同时，与机器人协同参与灭火过程。经过训练后的模型已经可以达到 96% 的正确率，如图 2 所示，对火焰的识别结果，如图 3 所示，其中判断值在 0~1 范围内，越接近 0，出现火的概率越大。

```

Epoch 1/5
66/66 [=====] - 15s 228ms/step - loss: 0.2613 - accuracy: 0.8826 - val_loss: 0.2214 - val_accuracy: 0.9400
Epoch 2/5
66/66 [=====] - 13s 195ms/step - loss: 0.2520 - accuracy: 0.8918 - val_loss: 0.3105 - val_accuracy: 0.8600
Epoch 3/5
66/66 [=====] - 13s 195ms/step - loss: 0.1951 - accuracy: 0.9253 - val_loss: 0.2431 - val_accuracy: 0.9000
Epoch 4/5
66/66 [=====] - 13s 196ms/step - loss: 0.1731 - accuracy: 0.9345 - val_loss: 0.1170 - val_accuracy: 0.9600
Epoch 5/5
66/66 [=====] - 13s 196ms/step - loss: 0.1568 - accuracy: 0.9451 - val_loss: 0.1565 - val_accuracy: 0.9600

```

Figure 2. The training situation of the model

图 2. 模型的训练情况



**Figure 3.** Flame recognition results  
**图 3. 火焰识别结果**

经过反复多次统计之后，设置临界点 0.3，当判断值大于 0.3 时判断无火，小于等于 0.3 时，判断有火。将此模型导入到机器人后，机器人也实现了较好的火焰识别效果。

无人机和机器人的单独使用均具存在一定局限性，无人机存在能源不足的问题，而机器人无法精确地识别火焰，陆天一体化的机制能够很好地解决该问题，无人机和机器人的结合在保证火焰识别精度的同时实现了灭火效率的最大化，能够在最短时间内熄灭火焰或减缓火势的蔓延。

## 5. 结语

本文通过使用 NB-IoT，组建了多传感器数据融合无线传感网，对火灾位置进行初步定位，完成了森林火灾监测预警系统的设计；在传统的 Floyd 算法的基础上，提出只考虑全局解中部分解的 Floyd 改进算法，解决了到达起火点的最短路径问题，同时，基于增强型深度学习模型，利用卷积神经网络完成火焰检测，共同构建出森林火灾灭火系统。在地形相对平缓的情况下，完成了陆天一体化的物联网森林火灾监测预警灭火系统的设计。最后，我们在一片空地上进行系统的联合演习，首先，在场地内随机放置几个 NB-IoT 节点，并在场地内随机位置摆放一支点燃的蜡烛。在 5 秒钟之内，在监控终端上收到了由传感器节点上传的火焰、烟雾等数据信息，及该节点的坐标，随后，在机器人前进方向上随机摆放障碍物，机器人能携带无人机顺利绕开各障碍物，并及时地到达起火点，在机器人运动过程中，实时进行火焰识别，火焰识别准确率可达 96%，以最快的速度抵达起火点。随后，无人机起飞，并根据监控中心的远程控制投掷灭火材料，经上百次的投掷实验，投掷成功率约为 80%，可以通过多次实验或使用大型大疆无人机来改善演习投掷的结果。

## 基金项目

云南大学大学生创新创业训练项目(项目号：202004234)。

## 参考文献

- [1] 程希. 近年来全球自然灾害事件盘点[J]. 中国减灾, 2021(5): 20-25.
- [2] 吴新胜, 吴冬梅, 谢文康, 潘雅婷, 蒋叶胜, 周斌. NB-IOT 物联网森林安防系统研究[J]. 通化师范学院学报, 2019, 40(10): 1-5.
- [3] 张振国. 窄带物联网在“智慧消防”模式构建中的应用研究[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(12): 1739-1742.
- [4] 秦钰林, 周若麟, 张珂欣, 范训礼, 冯瑞航. 基于 NB-IoT 窄带通信和多传感器组网技术的森林火灾监测预警系统[J]. 物联网技术, 2020, 10(6): 14-16+19.
- [5] 曹勇. 基于视频图像的森林火灾火焰识别研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2014.
- [6] 栗佩康, 袁芳芳, 李航涛. 目标检测方法简要综述[J]. 科技风, 2020(18): 157.
- [7] 王文朋. 基于深度学习的火焰图像识别研究[D]: [硕士学位论文]. 新乡: 河南师范大学, 2018.