

基于深度学习的森林火灾早期预警系统设计与实现

余宝娟

(茂县林业和草原局,四川省阿坝州茂县,623200)

摘要 森林火灾具备突发性强、蔓延迅速的特点,为强化森林火灾的控制能力、做好有效预警,全面解决监测手段存在的识别滞后、覆盖不足等问题,构建基于深度学习的森林火灾早期预警系统尤为重要。本系统基于深度学习技术,构建森林火灾早期预警平台,集图像采集、火情识别、数据传输与远程预警于一体。采用改进型MobileNet模型高精度识别烟雾火焰,结合嵌入式部署与无线通信,满足野外实时监测需求,旨在提升火灾响应效率,增强森林安全保障能力。在此基础上,系统还需要利用分层架构设计,在融合注意力机制优化特征提取的同时,利用数据增强与训练策略提升模型泛化性;硬件方面则需要利用低功耗嵌入式平台,配合太阳能供电与双模通信,满足系统在野外长期运行的需求;软件方面则需要实现端云协同与分级预警推送。实际部署的测试表明,系统在识别精度和响应速度方面均能达成预期目标,为森林防火提供了可靠的技术支持。

关键词 深度学习;森林火灾;早期预警系统;设计

中图分类号:S762.2 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)10-0048-03

森林火灾具有突发性强、蔓延迅速的特点,传统监测手段却面临识别滞后、覆盖不足等问题。借助深度学习模型与嵌入式智能终端,结合图像识别和无线传输技术,则可以构建快速、准确、稳定的火灾早期预警系统,有效提升森林防火的信息化及智能化水平,增强火情监测能力。

1 基于深度学习的森林火灾早期预警系统相关技术基础

1.1 深度学习理论

深度学习属于机器学习分支,借助多层神经网络结构可以自动提取数据特征。卷积神经网络(CNN)在图像识别中,借助卷积层(提取局部特征)、池化层(降低维度)等组件,捕捉图像空间相关性。其优势在于不需要人工设计特征,可直接从原始图像中学习关键信息,适合处理烟雾、火焰等具有复杂形态的目标,为火灾识别提供算法支撑^[1]。

1.2 图像采集与预处理技术

图像采集要满足森林环境需求,设备工作参数

需根据监测范围调整。预处理包含去噪(高斯滤波消除随机噪声、中值滤波处理脉冲噪声)、尺寸归一化(统一为固定像素,如224×224)、数据增强(旋转、翻转、亮度调节等),以扩充样本多样性的方式提升模型泛化能力,减少因图像质量所致的识别偏差^[2]。

1.3 嵌入式系统与无线传输技术

嵌入式系统属于最为核心的单元,需要平衡计算能力与能耗,满足野外长时间运行。所选择的无线传输技术要注意考虑覆盖范围,确保实时传输识别结果(含置信度)、设备状态(电量、信号)等数据。两者结合可以满足人员对现场数据本地化处理+远程交互的需求,为系统野外部署提供硬件与通信支撑。

2 基于深度学习的森林火灾早期预警系统总体设计

2.1 系统架构

系统采用感知层、处理层、传输层、应用层的分层架构。感知层由分布部署的图像采集设备(含红外摄像头、环境传感器)构成,负责采集原始数据。处理层依托嵌入式终端,完成图像预处理+火灾特征识别。传输层通过LoRa+4G/5G混合组网,实现本地短距传输与远程数据上传。应用层则涵盖云端服务器和监控终端,主要提供数据存储、预警展示、

作者简介:余宝娟(1988~),女,四川茂县人,本科,助理工程师,研究方向:森林防火。

设备管控等功能,各层借助标准化接口交互数据^[3]。

2.2 功能模块设计

2.2.1 图像采集模块

模块核心功能是按预设周期触发图像采集,同步记录采集时间+设备ID。采集前自动对焦并调节曝光,确保图像清晰度(分辨率 $\geq 1080P$)。内置初级筛选逻辑,剔除模糊(清晰度评分 <60)、过暗(亮度值 <30)的无效数据,缓存有效图像至本地存储,为后续处理提供可靠输入。

2.2.2 火灾识别模块

接收图像采集模块所输出的有效数据,先调用OpenCV库进行预处理(尺寸归一化至 224×224 +灰度转换)。加载预训练的深度学习模型(如改进版“MobileNet+注意力机制”)进行推理,输出正常/烟雾/火焰三类识别结果。当烟雾/火焰置信度 ≥ 85 时,标记为疑似火情,生成含特征区域坐标的识别报告,触发后续传输流程^[4]。

2.2.3 数据传输模块

该模块采用本地缓存+断点续传机制,接收火灾识别模块的报告后,先存储到临时队列。根据网络状态(信号强度 $> -80dBm$ 时优先4G/5G,否则启用LoRa)选择传输通道,封装数据为含识别结果+原始图像缩略图+设备状态的JSON格式。传输失败时启动重试机制,保证数据最终上传到云端,同时本地保留三天备份数据。

2.2.4 预警与控制模块

云端接收数据后,负责对结果进行解析识别,当判定为疑似火情时,触发多级预警:监控终端弹窗+声光报警(持续30s)、管理人员手机APP推送(含定位+缩略图)、短信通知(10min内未确认则重发)。此外,该模块还支持远程控制指令下发,如调整摄像头角度(水平 $\pm 90^\circ$,垂直 $-30^\circ \sim 60^\circ$)、启动设备自检,实现预警与设备联动。

3 基于深度学习的森林火灾早期预警系统火灾识别模型设计与训练

3.1 数据集构建

数据集构建需要同时兼顾样本的多样性与标注的准确性。通过公开数据库和定制采集相结合的方式获取不同时段(凌晨+正午+傍晚)、天气(晴+阴+小雨)、地形(阔叶林+针叶林+灌木丛)场景的图像,包含正常、烟雾、火焰三类样本。图像分辨率统

一调整为 256×256 像素,采用人工标注+交叉校验的模式,标注内容包括目标类别(用标签“0”“1”“2”分别对应正常、烟雾、火焰)、边界框坐标。为扩充样本量,还要开展数据增强操作:随机裁剪(保留目标区域 $\geq 80\%$)、水平/垂直翻转(概率50%)、亮度调节($\pm 20\%$)、添加高斯噪声(方差0.01),最终将数据集规模控制在1.5万~2万张,按7:2:1比例划分为训练集+验证集+测试集,存储为JPEG图像+XML标注文件的格式,以保证模型训练的可靠性^[5]。

3.2 模型结构设计

模型结构设计需要将轻量化、高识别率作为目标,基于MobileNetV3-small架构进行改进。输入层接收 $224 \times 224 \times 3$ (RGB通道)的图像数据,通过卷积层+批归一化+ReLU6组合提取基础特征。其中,特征提取时需要插入注意力机制模块(通道注意力+空间注意力),通道注意力依托全连接层学习不同特征通道的权重(突出烟雾/火焰的关键通道),空间注意力则借助卷积操作强化目标区域的特征响应。此外,原模型中冗余的挤压-激励模块要剔除,将其替换为深度可分离卷积+残差连接结构,减少参数数量(控制在300万以内)。分类层采用全局平均池化+全连接层+Softmax组合,输出正常、烟雾、火焰三类的概率分布,并添加dropout=0.3防止过拟合。模型整体结构的搭建需要以TensorFlow-Keras框架作为基础,各层参数根据特征提取需求动态调整。

3.3 模型训练与优化

模型训练以PyTorch框架为基础,硬件环境采用GPU(显存 $\geq 16GB$)加速计算。初始学习率设为0.001,优化器选用Adam($\beta_1=0.9$, $\beta_2=0.999$, $\epsilon=1e-8$),损失函数采用交叉熵损失。分阶段进行训练:前10个epoch采用预热学习率(从0.0001线性增长至0.001),避免梯度爆炸;10~50个epoch保持恒定学习率;50~80个epoch按照余弦退火策略衰减(最终降至初始值的1/100)。每次迭代批量大小设为32,训练轮次80~100次,每2个epoch在验证集上评估一次(计算准确率+损失值)。为优化模型性能可引入早停机制:当验证集损失连续5个epoch未下降时终止训练,保存最优权重。针对过拟合问题,除数据增强外,增加L2正则化(权重衰减系数 $1e-5$),并在全连接层前添加批归一化。训练完成后,采用模型剪枝技术去除冗余卷积核,将模型转换为

ONNX格式,压缩文件体积至5MB以内,确保嵌入式端高效推理^[6]。

4 基于深度学习的森林火灾早期预警系统硬件与软件实现

4.1 硬件选型与集成

硬件选型要秉持低功耗+高稳定性+环境适应性的原则。核心处理单元选用NVIDIA Jetson Nano 2GB,其具备128核NVIDIA Maxwell GPU,支持INT8量化推理,满足深度学习模型运行需求,且功耗控制在10W以内,适合野外部署。图像采集模块则采用200万像素红外摄像头(分辨率1 920×1 080,帧率30fps),配备自动对焦镜头(焦距4~12mm)与IP66防水外壳,可以在-30℃~60℃环境下工作,且支持昼夜成像。供电系统由12V/10Ah锂电池+10W太阳能板组成,锂电池通过MPPT充电控制器与太阳能板连接,这样即便在连续阴雨天气下依然可续航至少72h。通信模块采用4G Cat.1模组+LoRa模块的双模设计,4G用于高清图像传输(速率≥1Mbps),LoRa用于短距离设备间组网。硬件集成时,各模块通过GPIO+USB+UART接口连接,主板固定于带散热鳍片的铝制散热外壳上,整体尺寸控制在20cm×15cm×10cm,重量≤1.5kg,便于安装在树干或支架上^[7]。

4.2 软件开发

软件开发采用嵌入式端+云端分层架构。嵌入式端以Ubuntu 20.04 LTS系统为基础,开发语言选用Python 3.8,集成OpenCV 4.5库进行图像预处理,通过PyTorch Lite加载量化后的ONNX模型。设备驱动层采用libv4l2库调用摄像头,以满足定时抓拍(可配置间隔10~60s)和参数调节(曝光时间、白平衡)的需求。数据传输模块需基于MQTT协议(采用paho-mqtt库),按JSON格式封装包含设备ID、时间戳、识别结果、置信度、电池电压等字段的数据,通过SSL/TLS加密确保传输安全,传输失败时启动本

地缓存。云端平台部署在阿里云ECS服务器上,操作系统为CentOS 7,数据库采用MySQL 8.0,用来存储历史数据,最长保留周期可达365d。Web服务器使用Nginx 1.21,后端接口通过Spring Boot 2.7框架开发,支持数据查询(按设备ID+时间范围)、设备状态监控(在线/离线、信号强度)、远程指令下发(如参数配置、固件升级)。前端界面基于Vue 3开发,可用于实时数据展示(识别结果列表+设备分布地图)、预警信息弹窗(优先级分级:红色=火焰,黄色=烟雾)、历史曲线分析(识别准确率+误报率统计),支持导出Excel报表(按日/周/月汇总)。软件版本控制采用Git,通过Jenkins实现自动化部署,确保迭代更新的稳定性^[8]。

5 结语

综上所述,本系统满足了相关部门对森林火灾实时监测与预警的需求,具备高识别精度、低功耗部署与远程联动控制等优势。未来可进一步引入多模态感知与边缘协同计算,提升系统适应复杂环境的能力,增强模型泛化性,推动森林防火技术朝着更加智能、高效、可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 黄靖文.基于深度学习的森林火灾烟雾检测系统研究[D].江苏:南京林业大学,2024.
- [2] 何乃磊,张金生,林文树.基于深度学习多目标检测技术的林火图像识别研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2024,48(3):207-218.
- [3] 吴健,王志鹏,谢丹,等.变电站火灾监测预警及自动灭火智慧系统设计[J].中国安全生产科学技术,2025,21(1):175-185.
- [4] 天芯(珠海)芯片科技有限公司,湖南星智远科技有限公司.一种基于多源遥感数据的森林火灾早期智能预警方法:CN202411955942.5[P].2025-01-28.
- [5] 郎波霏,张方超.基于深度学习的图像识别算法优化策略探究[J].计算机应用文摘,2024,40(16):142-145.