

基于卷积神经网络的新型火焰探测装置研究

王昊琛 黄巧丽 黄炼才

桂林电子科技大学 计算机工程学院，广西北海，536000；

摘要：随着工业化进程的加速和城市化水平的提高，火灾事故的频率和危害程度不断上升，对人们的生命财产安全构成了严重威胁。传统的火焰探测方法，如基于感烟、感温等物理量变化的探测器，存在响应速度慢、误报率高、易受环境影响等缺点，难以满足现代消防安全的需求。因此，研发一种新型、高效、准确的火焰探测装置具有重要的现实意义和应用价值。

卷积神经网络（CNN）作为深度学习领域的重要分支，以其强大的特征提取和图像识别能力，为火焰探测提供了新的思路和方法。基于卷积神经网络的新型火焰探测装置能够实时、准确地识别图像中的火焰，并通过算法优化和模型训练，不断提高火焰探测的灵敏度和准确性。本研究旨在利用卷积神经网络的技术优势，设计并开发一种基于卷积神经网络的新型火焰探测装置，以满足现代消防安全的需求。

关键词：卷积神经网络；火焰探测；图像识别；火灾预警；实时检测

DOI：10.69979/3041-0673.25.01.082

1 设计

1.1 火焰探测原理

火灾的发生往往伴随着物质燃烧所释放的显著热能变化及可见火焰的产生，这一特性为火焰探测提供了理论基础。本项目基于这一原理，巧妙融合了红外热像仪与高清摄像头的双重监测技术，实现了对火灾的早期预警和精准识别。

(1) 红外热像仪监测原理

红外热像仪利用物体表面辐射的红外能量进行成像。在火灾发生时，燃烧物质释放的大量热能会导致环境温度急剧上升，红外热像仪能够精确地捕获这一温度变化。本项目选用 MLX90640 模块，全面监测镜头视野范围内的红外辐射能量分布。通过先进的量化处理技术，该模块能够实时生成直观的热成像图，清晰地展示出物体表面的温度分布，从而实现对火灾热能变化的精确捕捉。

(2) 高清摄像头监测原理

高清摄像头则侧重于捕捉火灾产生的可见火焰图像。本项目配备的 IMX219 感光元件，以其卓越的清晰度和细节捕捉能力，确保了火焰图像的准确识别。在火灾发生时，这一系统能够迅速捕捉到火焰的形态、颜色等特征，为火灾的判别提供重要依据。

(3) 数据处理与火灾判别

采集到的红外温度数据和火焰图像数据，由火焰探测装置的核心部件——CPU 进行处理。CPU 通过内置的智能算法，对这些数据进行综合分析，以判断是否存在火灾风险。

综上所述，本项目通过结合红外热像仪与高清摄像头的双重监测技术，充分利用了火灾发生时的热能变化和可见火焰特征，实现了对火灾的早期预警和精准识别。这一技术方案不仅提高了火灾探测的准确性和可靠性，还为火灾防控工作提供了有力的技术支持。

1.2 CNN

标准卷积神经网络（CNN）的结构包括输入层、卷积核、全连接层以及输出层。其中，卷积核是 CNN 的核心组件，通过卷积层、激活函数和池化层来训练图像的识别特征信息，并对特定图像如火焰图像进行识别判定。1998 年，LeCun 等人提出了 CNN 的概念，基于这一基础架构，Krizhevsky、Zeiler、Simonyan、Szegedy 及 He Kaiming 等研究人员不断改进优化，设计出了诸如 AlexNet、ZFNet、VGGNet、GoogleNet 和 ResNet 等一系列著名的网络框架。这些网络不仅极大地提高了图片分类的准确率，还缩短了检测时间，从而克服了传统方法的局限性。与传统的特征提取方法相比，CNN 依靠大量数据进行大规模训练学习，以实现更高精度的分类识别，它在计算机视觉应用程序中是最常用且性能极佳的神经网络之一。

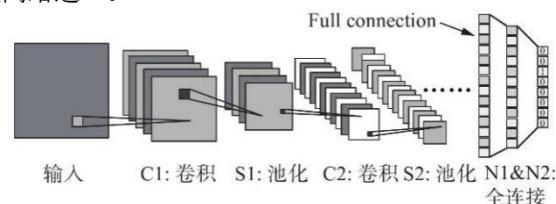


图 1 卷积神经网络的基本结构

1.3 软件算法

在软件算法开发方面，本研究基于卷积神经网络(CNN)开发了一套火焰识别算法。算法的开发过程包括数据准备、图像预处理、构建CNN模型、模型训练、模型评估与优化以及火焰识别等步骤。

数据准备：收集并标注包含火焰和无火焰图像的数据集，用于后续的算法训练和测试。

图像预处理：对图像进行统一尺寸调整和归一化处理，以适应CNN模型的输入要求。

构建CNN模型：设计包含多个卷积层、池化层和全连接层的CNN模型，用于从图像中提取特征并进行分类决策。

模型训练：使用标注好的数据集对CNN模型进行训练，通过反向传播算法和梯度下降优化器调整模型参数，以最小化预测错误。

模型评估与优化：使用验证集评估模型的性能，并根据评估结果对模型进行优化，如调整网络结构、增加数据增强技术等。

火焰识别：将训练好的CNN模型部署到实际应用中，用于实时或批量的火焰识别任务。

CNN模型结构具体如下：

(1) 输入层：

第一层：同时接收摄像图(可见光图像)和热成像图作为输入。对输入图像进行尺度变换，确保图像矩阵的所有元素值都在0到1之间，以此提高数据处理的精度。

(2) 特征提取层：

第二、四、六层：这些层是卷积层。通过卷积操作，模型能够增强对目标图像变化的适应能力，从而更有效地提取图像中的特征。

第三、五、七层：这些层是池化层。它们的作用是在减少数据量的同时，保留图像中的主要特征，提高模型的运行效率。

(3) 特征融合层：

第八层：作为拼接层，它将来自摄像图和热成像图经过卷积和池化处理后得到的特征图进行拼接。这一步骤允许模型同时利用两种图像类型的信息，以提高火焰检测的准确性。

(4) 特征准备层：

第九层：将拼接后的特征图进行扁平化处理，为后续的全连接层做准备。

(5) 决策输出层：

第十、十一层：这两层是全连接层。它们允许网络自主学习摄像图和热成像图在火焰检测任务中的权重比例。最终，模型将输出判断结果，即图像中是否存在火焰。

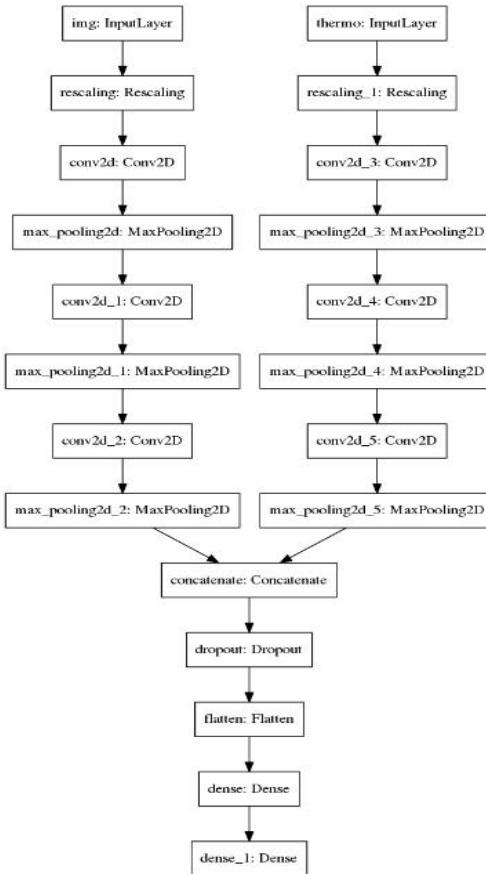


图2 模型计算图

1.4 硬件设计

在硬件设计与制造方面，本研究设计并制造了一款新型火焰探测器。探测器的硬件部分包括红外阵列、高清摄像头、蜂鸣器、无线Wi-Fi模块等核心部件，以及相应的电路板和电源模块。

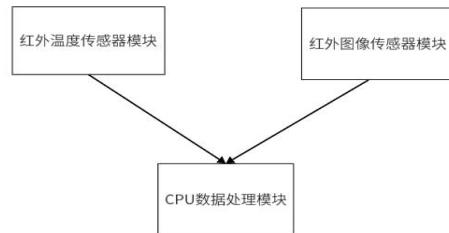


图3 系统模块框图

在火灾监测项目中，我们采用了一种高效的环境温度检测技术，结合先进的传感器与图像处理技术，以实现火灾的精准识别。核心组件包括MLX90640红外热像仪模块与IMX219感光元件的摄像头，两者协同工作，大大提升了火灾监测的准确性与可靠性。

MLX90640红外热像仪模块以其小巧的尺寸和强大的功能成为本项目的关键组件。该模块拥有 32×24 像素的高分辨率，以及110度的宽广视场角，能够精准检测镜头视野内物体的红外辐射能量分布。通过量化处理，模块能迅速生成物体表面的温度分布热成像图，为火灾

监测提供了直观且精确的数据支持。此外，该模块支持I2C高速模式（最高可达1MHz），并只能作为I2C总线上的从设备，其SDA和SCL端口兼容5V电压，便于直接接入5V的I2C总线系统。模块的设备地址可编程，最多支持127个地址，出厂默认地址为0x33，这为用户提供了灵活的配置选项。在数据传输过程中，该模块遵循标准的I2C协议，包括开始信号、结束信号和应答信号，确保了数据传输的稳定性和可靠性。

与此同时，项目还采用了IMX219感光元件的摄像头，以捕捉环境中的图像信息。该摄像头拥有800万像素的高分辨率，CMOS尺寸为1/4英寸，最大光圈达到1.2，焦距为8mm，对焦场视角为40度，支持1080P视频录制。这些优异的性能参数使得摄像头能够捕捉清晰、细腻的图像，为火焰的精确识别提供了有力的支持。

综上所述，通过结合MLX90640红外热像仪模块与IMX219感光元件的摄像头，本项目实现了对环境温度变化的精准监测和对环境中火焰图像的精确捕捉。这两项技术的融合，不仅提高了火灾监测的准确性和及时性，还为工业或智能控制应用中的火灾预警系统提供了全新的解决方案。

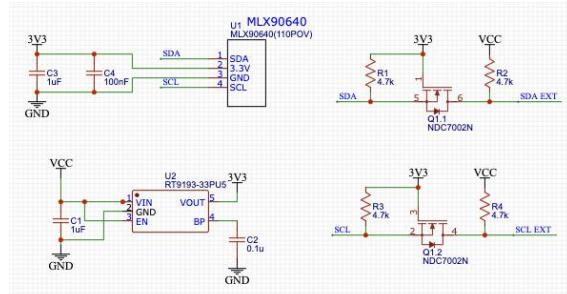


图4 驱动电路原理图

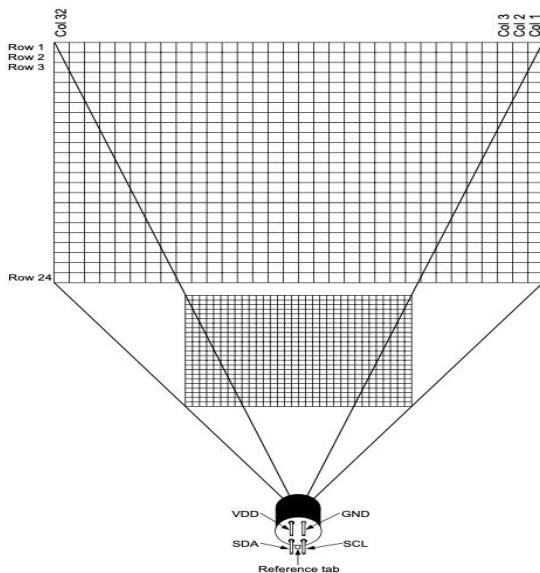


图5 MLX90640 像素分布图

2 测试

在测试阶段，本研究对新型火焰探测装置进行了全面的测试和验证。测试内容包括火焰识别的准确性、响应速度、误报率等指标，以及远程监控和数据共享功能的实现情况。

火焰识别测试：使用包含火焰和无火焰图像的测试数据集对探测器进行火焰识别测试，评估其准确性和响应速度。

误报率测试：在不同环境条件下对探测器进行误报率测试，评估其抗干扰能力和稳定性。

远程监控测试：通过Wi-Fi模块将探测器的数据实时传输至远程监控中心，测试远程监控和数据共享功能的实现情况。

测试结果表明，新型火焰探测装置具有较高的火焰识别准确性和响应速度，较低的误报率，以及良好的远程监控和数据共享功能。

3 结论

本研究成功设计并开发了一种基于卷积神经网络的新型火焰探测装置。该装置结合了红外阵列和高清摄像头等多源信息融合技术，以及深度学习算法优化和互联网接入与远程监控功能，实现了对火焰的快速、准确探测和远程监控。测试结果表明，该装置具有较高的性能稳定性和实用性，能够满足现代消防安全的需求。未来，本研究将继续优化算法模型和硬件设计，提升火焰探测装置的性能和稳定性，以满足不同场景下的应用需求。

参考文献

- [1] 邓力, 谢爽爽, 贺元骅, 刘全文, 飞机货舱火焰可见和红外多特征融合图像探测算法研究, 消防科学与技术, 2023年12月第42卷第12期: 1709-1713.
 - [2] 张术琳, 田超, 严翔, 鲁义, 施式亮, 基于CNN的化工园区火灾火焰图像识别研究, 中国安全科学学报, 2024年1月, 第34卷第1期: 107-186.
 - [3] 李益明, 卜雄洙, 沈樾, 基于红外传感器和图像识别的复合式火焰检测技术研究, 仪表技术, 2024年第4期: 39-59.
 - [4] 宋孟华, 曹金龙, 鲍成伟, 基于图像处理的嵌入式火焰检测系统, 机械与电子, 2019年1月, 第37卷第1期: 58-60.
- 作者简介：王昊琛，男（2004年4月）壮族，广西壮族自治区柳州市
基金项目：大学生创新训练项目“基于卷积神经网络的新型火焰探测装置研究”（S202410595376）