

基于树莓派与计算机视觉的家庭火灾报警系统的设计与研究

汪乐章 林 娴 唐伊文 张国平

(华中师范大学 物理科学与技术学院 武汉 430079)

摘 要: 当前火焰识别技术发展较快,多从动态与静态特征对火焰进行识别与分割,但识别误差仍然很大,同时火焰识别算法对硬件的高依赖性导致其难以适用于居民住宅。为解决这些问题,本文以树莓派 3B 开发板作为硬件基础设施,结合数字图像处理技术,设计出一种基于树莓派与计算机视觉的家庭火灾报警系统。首先使用传统火焰识别算法对火焰区域进行分割,并结合 SVM 算法对火焰进行识别与分类,准确率达到 97%,最后做出决策,判断是否向居民发出预警信息。系统可扩展性强,且成本较低,可普遍适用于居民住宅。

关键词: 火焰识别;树莓派;计算机视觉;SVM 算法

中图分类号: TN791;TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Design and research of home fire alarm system based on Raspberry Pie and computer vision

Wang Yuezhang Lin Xian Tang Yiwen Zhang Guoping

(Department of Information technology, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: At present, the flame recognition technology develops rapidly, which mostly uses the dynamic and static characteristics to identify and segment the flame. But the problems are that recognition error rate is still very high, and the high dependence of the flame recognition algorithm on hardware makes it difficult to apply to residential buildings. In this paper, a home fire alarm system based on Raspberry Pi and computer vision is designed to solve these problems, which takes the Raspberry Pi 3B development board as the hardware infrastructure and combines digital image processing technology. Firstly, traditional flame recognition algorithm was used to segment the flame area, and then SVM algorithm was used to identify and classify the flame, with an accuracy rate of 97%. Finally, a decision was made to decide whether to send warning information to residents. The system has strong expansibility and low cost, which can be widely used in residential buildings.

Keywords: flame recognition; Raspberry Pi; computer vision; SVM algorithm

0 引 言

随着城市建设的高速发展,住宅建筑的基础建设不断提升,现代居民的家庭设备在朝着自动化、多样化发展的同时,各种大功率家用电器和易燃装饰材料的使用频率日益上升,带来了不容小觑的家庭隐患。2017 年全国发生火灾共 21.9 万起,而家庭火灾占比高达 43.5%,人员伤亡多达 77.1%。触目惊心的数据不仅表现了家庭火灾给人们带来的物质与精神上的伤害,更说明了家庭消防科技产品的需求性正在不断增大。

近年来,随着人们生活与科技水平的提高,家庭消防预

警的概念开始频繁出现在人们视野中。而预警系统的实现离不开硬件设施的支持,由英国慈善组织“Raspberry Pi 基金会”开发的树莓派微型主板在此环境下得到了快速发展与广泛应用^[1],其小巧的体积、强大的功能、低廉的成本为大量应用系统的开发提供了可能。而在火焰识别方面,数字图像处理技术已在各个领域日趋成熟,结合机器学习等技术,通过计算机来模拟人类视觉系统,从而对火焰进行识别与预警,为家庭火灾的自动识别与预警技术提供了可能。

基于此,本文提出了一种基于树莓派与计算机视觉的家庭火灾报警系统^[2],使用树莓派微型主板作为硬件基础,结合智能家居,通过数字图像处理技术,为住宅楼宇提供有

效预警,以保障居民人身安全,减少财产损失^[3]。

1 系统总体设计

本系统主要应用于居民住宅建筑,硬件成本较低,可扩展性较高,可以根据居民用户的需求搭载扩展式设备,以达到更高的识别精度与扩展功能。

整体系统可以分为图像采集与预处理、图像识别、系统决策、火灾预警四个模块。通过树莓派 Camera Module V2 摄像头进行家庭环境监控,采集数字图像作为基础环境变量。之后对图像进行滤波等图像增强操作来去除噪声,结合火焰的动态特征与静态特征,对疑似火焰区域进行分割。再图像预处理完成后,将图像发送至图像识别模块,对疑似火焰区域进行分类,判断是否为火焰,并由系统决策模块做出最后判断。如果系统判定为火焰信号,则会调用树莓派搭载的 WiFi 模块完成图像数据的传输工作,将图像数据传送到居民的微信账号上,以便居民能够及时收到预警,从而做出响应并开展救火工作。整个系统运行在一块树莓派 3B 开发板上,占用体积小,成本较低。系统总体设计如图 1 所示。

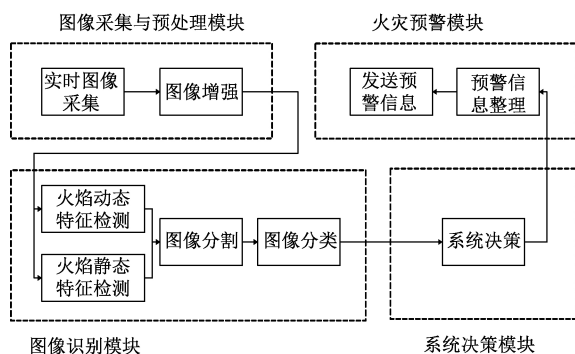


图 1 系统总体设计

2 硬件设计

本系统的硬件部分采用树莓派 3B 作为整个系统的核心控制模块,其上搭载网络传输模块、供电模块,外接 Camera Module V2 摄像头作为图像采集模块,各个模块协同运行,完成火灾监测预警工作。

2.1 核心控制模块

核心控制模块作为整个火灾监测预警系统的核心部件,具有数据传输与处理、资源管理 3B、运算与控制等系统核心功能。而将树莓派开发板选为系统的核心控制硬件板块,正是因为它几乎具备传统 PC 的所有基本功能,并具有丰富的 GPIO 接口,支持包括 I²C 协议、SPI 协议、串口通信协议等主流信息传输协议,同时兼顾极高的可扩展性,能够在保证基础硬件正常运作的同时,搭载多种外接器件,采用时分复用的模式来解决控制器 I/O 资源分配的难题^[4]。

2.2 网络传输模块

系统通过树莓派 3B 开发板上的板载 WiFi 模块与蓝

牙模块进行网络传输。树莓派 3B 通过 10/100 M 以太网接口、802.11n Wireless LAN、Bluetooth 4.0、Bluetooth Low Energy (BLE) 进行网络接入,集成了蓝牙 4.0 和 WiFi。

2.3 供电模块

由于系统基于树莓派 3B 开发板,所以只需要对主板进行供电。树莓派 3B 开发板的电源输入参数为 5 V, 2.5 A, 通过 MicroUSB 串口或者 GPIO 头进行电源输入,额定功率为 800 mA(4.0 W)^[5]。

2.4 图像采集模块

由于树莓派 3B 开发板没有搭载图像采集模块,所以需要外接摄像头组件来进行实时图像采集。本文采用 Raspberry Pi Camera v2 摄像头进行数字图像的采集,使图像采集模块可以达到八百万物理像素,3 280×2 464 像素静态图片。内部搭载 Sony IMX219PQ CMOS 图像传感器。兼容 Raspbian 操作系统的特性让该款摄像头非常适合用于系统的实时图像采集功能。

3 软件设计

系统的软件部分主要由操作系统的配置、火焰识别算法的设计、预警信息的无线发送 3 个部分实现。

3.1 操作系统的配置

为了满足系统所需的各项功能,需要利用树莓派开发板作为微机主板的特性,配置合适的操作系统来进行程序的运转。树莓派 3B 开发板支持包括 OpenELEC、Pidora、Raspbmc 等在内的多种操作系统。我们选择官方推荐的 Raspbian 作为系统硬件板块的操作系统。

Raspbian 包含超过 35 000 个预先编译好的软件包,可以搭载 Python3、OpenCV、Pytorch 等软件与库,以满足数字图像处理的需求。在系统安装好 Raspbian 操作系统后,我们使用 Python 语言来进行程序的编写,软件环境配置为 Python3 与 OpenCV3.4.1,同时安装 itchat 来进行预警信息的传输。

3.2 火焰识别算法的设计

近年来,随着计算机技术的飞速发展,图像型火灾探测技术已成为火灾检测领域的重要手段^[6]。基于数字图像的火灾检测方法,克服了传统火灾探测器采集数据或信息单一,受气流、粉尘、空间高度等因素影响大等不足^[7]。而现有的火焰图像检测主要集中在火焰颜色特征^[8-9]、运动特征^[10]和形状特征^[11]的分析上。这些方法的检测效率高,抗干扰能力强,但是其阈值的选择受环境影响较大,很难找到一个适用于各种情况的色彩空间阈值来提取火焰燃烧区域,且在嵌入式系统中实现困难。

针对上述问题,本文提出了一种基于火焰特性参数的 SVM 识别火焰算法,如图 2 所示。首先通过三帧差法提取视频的运动区域,接着利用颜色模型对火灾图像进行预判提取出疑似火焰区域,最后提取出疑似火焰区域的 RGB、

亮度、灰度、饱和度作为分类依据,将这些分类参数带入 SVM 训练得的火焰图像分类超平面,从而判断图像中是否有火焰产生。

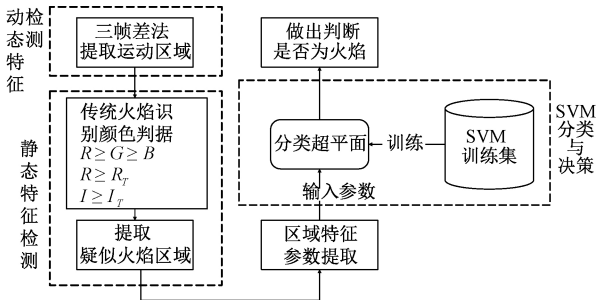


图2 基于火焰特性参数的 SVM 识别火焰算法流程

1) 基于三帧差法的运动区域提取

帧间差法^[12]是目前用于运动目标检测和分割的常用方法之一,通过对连续两帧视频图像序列进行差分运算即可获取运动目标的轮廓。在相机位置固定并且背景静止的情况下,对相邻两帧图像直接相减,若其像素差大于特定阈值,则认为该区域出现运动目标^[13]。

设 t 时刻像素点 (x, y) 的灰度值为 $I(x, y, t)$, $t-1$ 时刻的灰度值为 $I(x, y, t-1)$, 则相邻两时刻,该点的灰度差为:

$$\Delta I(x, y, t) = I(x, y, t) - I(x, y, t-1) \quad (1)$$

设差分分割阈值为 T , 则 t 时刻相邻两帧之间的差分图像为:

$$D_1(x, y) = \begin{cases} 1, & \Delta I(x, y, t) > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

如果仅通过相邻两帧图像获取运动目标轮廓,易产生运动物体内部灰度值相近的“空洞”现象、差分图像物体边缘轮廓教粗的“双影”现象,以及不能提取运动对象完整区域、效果严重依赖分割阈值和帧间时间间隔等^[14],为此本文引入三帧差法。设上述像素点 (x, y) 在 $t+1$ 时刻的灰度值为 $I(x, y, t+1)$, 则 $t+1$ 时刻的差分图像为:

$$D_2(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y, t+1) - I(x, y, t) > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

令两相邻时刻的差分图像相交得最终的差分图像:

$$D(x, y) = D_1(x, y) \cap D_2(x, y) \quad (4)$$

由此可获得运动目标的轮廓,锁定运动物体所在的位置^[15]。

2) 基于颜色模型的火焰疑似区域提取

图像可以分离为 RGB 三个通道,对于火焰图像而言,其红色分量 (R) 和绿色分量 (G) 很大,且绿色分量大于蓝色分量 (B)。仅用 RGB 颜色模型^[16],其判据准确度不够高,因此加入 HIS 颜色模型进行进一步约束,其中 H 表示色度、 I 表示亮度、 S 表示饱和度。将满足式(5)的像素区

域提取出来作为疑似火焰区域:

$$\begin{cases} R_{\text{mean}} \geq G_{\text{mean}} \geq B_{\text{mean}} \\ R_{\text{mean}} \geq R_T \\ I_{\text{mean}} \geq I_T \end{cases} \quad (5)$$

式中: R_T 为红色分量的阈值,一般取值为 $200 \sim 230$; I_T 为亮度的阈值,一般取值大于 0.9 。适当调整阈值可获取最佳的提取效果。

3) SVM 训练火焰分类超平面

SVM 是新一代的基于统计理论的学习系统,它利用大量已知训练点的类别,求训练点和类别之间的关系,以将训练集按类别分开、预测新的训练点对应的类别^[17]。设训练集的容量为 n , 每个训练样本用 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ 表示,其中 x_i 是一个由 R 分量、 G 分量、 B 分量、灰度值、饱和度、亮度 6 个成分组成的向量,若该样本图像属于火焰图像,则 $y_i = 1$, 否则 $y_i = -1$ 。该算法可以用如下凸优化问题描述:

$$\min: \frac{1}{2} \|w\|^2 = \frac{1}{2} w^T w \quad (6)$$

$$\text{s.t. } y_i(w^T x_i + b) \geq 1, i = 1, 2, \dots, n$$

通过拉格朗日变换将其变换到对偶变量^[18],用更高效的方法来求解式(6)。

$$\max: L(\alpha) = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j y_i y_j (x_i^T x_j) \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n a_i y_i = 0, a_i \geq 0$$

其中 a_i 为 Lagrange 系数,解得最优解为 $a^* = [a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*]^T$, 由此可以得到最优 w^* 和 b^* 为:

$$\begin{cases} w^* = \sum_{i=1}^n a_i^* x_i y_i \\ b^* = -\frac{1}{2} w^* (x_m + x_n) \end{cases} \quad (8)$$

式中: x_m 和 x_n 为火焰图像与非火焰图像中任意的一对支持向量,最终得到的最优分类函数为:

$$f(x) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^n a_i^* y_i (x^T x_i) + b^* \right] \quad (9)$$

4) 实验结果及分析

为了验证算法性能,本文使用 500 张照片作为单个训练集,其中 320 张为火焰照片,180 张为非火焰照片,提取出这些照片中火焰疑似区域的 R 分量、 G 分量、 B 分量、灰度值、饱和度、亮度。其中 10 张照片的数据如表 1 所示, V001~V008 为火焰照片, V009~V010 为非火焰照片,利用这些数据训练出最优分类超平面^[19],其表达式为:

$$w^T x + b = 0$$

$$w^T = [69.1261, 58.4006, -37.175, -113.7829, -50.4208, 45.1306]$$

$$b = -20.0824$$

$$(10)$$

表 1 部分训练集分类依据参数及结果

视频 编号	R 分量	G 分量	B 分量	灰度值	饱和度	亮度	分类 结果
V001	251.03	244.32	227.69	244.58	0.098	0.986	1
V002	249.93	238.39	209.83	238.58	0.170	0.983	1
V003	250.03	244.49	224.24	243.90	0.109	0.983	1
V004	237.39	161.87	58.31	172.63	0.754	0.931	1
V005	233.83	135.34	39.18	153.81	0.832	0.917	1
V006	250.32	207.09	112.71	209.26	0.553	0.983	1
V007	238.83	105.64	38.10	137.75	0.840	0.937	1
V008	250.34	178.23	76.49	188.19	0.696	0.982	1
V009	237.71	190.64	167.49	202.07	0.299	0.932	-1
V010	248.97	166.84	169.90	191.77	0.404	0.977	-1

对于测试集视频,首先利用三帧差法提取运动区域。其中一组火焰视频视频尺寸为标清 PAI 制式 720×576 ,其运动区域提取结果如图 3 所示,该运动区域分割结果如图 4 所示,对图 4 进行火焰疑似区域提取,结果如图 5 所示。

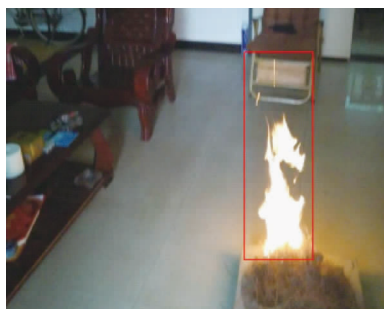


图 3 视频运动区域提取



图 4 运动区域分割



图 5 火焰疑似区域

提取疑似火焰区域的 R 分量、G 分量、B 分量、灰度、饱和度和亮度。其中 10 组测试集的运动区域分割图如图 6 所示,分类依据参数及分类结果如表 2 所示。



图 6 部分测试集运动区域分割图

表 2 部分测试集分类依据参数及结果

视频 编号	R 分量	G 分量	B 分量	灰度值	饱和度	亮度	分类 结果
C001	247.63	227.74	174.69	227.63	0.294	0.971	1
C002	249.50	228.30	197.41	231.12	0.217	0.979	1
C003	249.83	235.75	203.75	236.32	0.191	0.981	1
C004	247.84	229.04	199.70	231.25	0.207	0.976	1
C005	249.88	234.05	204.94	235.49	0.188	0.981	1
C006	251.57	243.76	227.29	244.32	0.100	0.988	1
C007	252.40	242.92	223.36	243.54	0.119	0.990	1
C008	249.30	186.21	160.07	202.10	0.400	0.978	1
C009	241.95	235.01	13.25	211.82	0.946	0.949	-1
C010	237.56	187.54	123.04	195.15	0.488	0.932	-1

由图 3~5 可知,本文算法可以准确截取运动区域,提取出颜色特性与火焰相近的区域。式(10)给出了区分火焰类与非火焰类的超平面公式。仔细观察图 6 与表 2,可以发现,本文得出的超平面公式可以有效分类火焰与非火焰。本文算法灵敏度强、可靠性高、抗干扰能力强,能有效排除与火焰颜色特性相近的灯光、宠物等的影响。在 200 个测试集中,运用本文算法仅有 6 个测试集判断错误,正确率达到了 97%,若增加训练集完善分类超平面,正确率有望得到进一步提高。

3.3 预警信息的无线发送

由于火灾监测预警系统存在较小的误差,所以在决策系统做出判断后,仍然需要把最终决策权交给居民用户^[20]。针对目前微信 APP 在国内的热门程度,本系统采用微信发送的形式,将预警信息发送给居民用户。居民只需要打开微信 APP,登录自己绑定的账号就可以收到来自家中火灾监测预警系统发来的预警信息。

通过 Python 可以实现微信信息的发送。itchat 是一个开源的微信个人号接口,在 Python 中安装好 itchat 相关组

件后,就可以使用该库进行微信网页版中的所有操作。基于此,系统通过网络连接,在树莓派端实现了微信机器人的登录。当决策系统判定发生火情时,就会通过调用 API 接口,查找绑定的居民信息,并向该居民的微信账号发送一张当前时刻的监测图像,如图 7 所示。



图 7 微信预警截图

4 结 论

本文采用树莓派作为硬件基础,结合 Python 语言编写的火焰识别算法完成监测预警系统,通过体积更小、成本更低的树莓派微型主机完成了算法的移植,在很大程度上解决了智能算法对个人计算机的依赖性。由于 Raspbian 系统和 Python 语言的开源性,大大降低了整套系统的软件设计成本。在火焰识别算法上,本文通过传统数字图像处理算法,根据火焰的动态特性与静态特性对火焰区域进行了分割,并用 SVM 进行了分类,在测试中准确率达到 97%,但仍存在一定误差。下一步将考虑对家庭火灾的数据进行采集,增加训练集来提高分类的准确度,进一步降低误报与漏报的可能性。

参考文献

- [1] 李杨,郭培源,刘波,等.基于嵌入式技术的居室健康环境监测系统[J].电子技术应用,2014,40(8):24-26,30.
- [2] 于志强,温志渝,谢瑛珂,等.基于树莓派的多参数水质检测仪控制系统[J].仪表技术与传感器,2015(6):20-23,27.
- [3] 胡娟.基于超声波与图像识别的盲人导航眼镜研究与实现[D].成都:电子科技大学,2016.
- [4] 罗顺元,李志强,马文颢.基于树莓派的无人值守信息处理系统[J].计算机测量与控制,2018,26(9):227-231.

- [5] 薛海彬,彭小苗,颜锦奎.基于树莓派的频率合成器系统[J].电子测量技术,2018,41(16):125-131.
- [6] 汪雅琴,夏春蕾,戴曙光.混合样本训练方式的手写数字识别[J].电子测量技术,2018,41(18):52-56.
- [7] 余路,卜乐平.火焰图像识别中常用算法综述[J].信息技术,2014(3):189-193.
- [8] 许宏科,房建武,文常保.基于亮度与火焰区域边缘颜色分布的火焰检测[J].计算机应用研究,2010,27(9):3581-3584.
- [9] Çelik T, Demirel H. Fire detection in video sequences using a generic color model[J]. Fire Safety Journal, 2009,44(2):147-158.
- [10] 姚树响.基于图像型的火灾探测及定位技术的研究[D].重庆:重庆大学,2008.
- [11] 王媛彬,马宪民.基于图像特征的火灾火焰识别方法[J].消防科学与技术,2012,31(2):126-128.
- [12] 赵建.基于三帧差法的运动目标检测方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [13] 崔杰,胡长青,徐海东.基于帧差法的多波束前视声呐运动目标检测[J].仪器仪表学报,2018,39(2):169-176.
- [14] 池利阳,李民政,吴新强.一种运动目标检测实时性和鲁棒性的方法[J].计算机应用与软件,2015,32(2):132-134.
- [15] 孙斌,陈小惠,王贵圆,等.色彩传递算法在不同色彩空间中的成像效果研究[J].电子测量与仪器学报,2017,31(10):1641-1645.
- [16] 王闯.基于颜色特征和运动特征的火焰检测方法研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [17] 柴茜,王慧琴,廖雨婷,等.基于 HMM-SVM 的图像型火焰识别[J].计算机工程与应用,2015,51(13):202-205.
- [18] 孙福志,于军琪,杨柳.火灾识别中 RS-SVM 模型的应用[J].计算机工程与应用,2010,46(3):198-200.
- [19] 邱毅,崔宪伟.基于云平台的远程图像采集系统设计[J].电子测量技术,2018,41(6):142-146.
- [20] 汪成龙,林浩斌,马秋立,等.基于 OpenCV 的实验室监控预警系统[J].电子测量技术,2018,41(12):119-123.

作者简介

汪乐章,本科生,主要研究方向为计算机视觉、人工智能。
E-mail: 247692050@qq.com

林娴,本科生,主要研究方向为计算机视觉、虚拟现实。

唐伊文,本科生,主要研究方向为计算机视觉、虚拟现实。

张国平,教授、博士生导师,主要研究方向为信号与信息处理、光电信息技术等。