

基于红外热像仪的火源定位方法

董 非¹, 杨卫军², 李 丹³, 方 戌¹, 林 昕⁴

(1. 应急管理部上海消防研究所, 上海 200438; 2. 上海化工应急研究院, 上海 201507;
3. 中国科学院上海高等研究院, 上海 201210; 4. 上海交通大学 继续教育学院, 上海 200240)

摘 要:为了在消防机器人上实现火源的识别与定位, 研究了基于红外热像仪的图像识别算法。利用红外热像仪感知的温度特征将疑似火源的区域从背景中分割出来; 对二值化后的图像利用 Blob 提取算法, 得到每个目标区域的像素集合; 在此基础上, 使用光流法提取图像的动态特征; 提出一种分段均值的方法, 并结合光流方向的其他特征来判定目标区域是否为火源。实验结果表明, 提出的算法能有效定位火源。

关键词:消防机器人; 火源定位; 温度阈值分割; Blob 提取算法; 光流法; 分段均值法

中图分类号: X924.4, TP242, TN215 文献标志码: A

文章编号: 1009-0029(2019)03-0394-03

在火灾事故中, 消防救援人员第一时间需要接近并进入火场, 生命安全受到极大的威胁。研究开发消防机器人代替消防员去执行危险性的任务, 可以减少出警人员的伤亡, 意义重大。而配套在消防机器人身上的火源定位装置, 可以定位火源并指挥消防机器人发射水炮, 及时有效地扑灭火灾。

现有的火灾探测技术包括感烟的、感温的、感光的等, 常应用于建筑物内探测是否有火灾发生。这些技术受限于自身的技术特点以及传感器的特性, 只能起到报警的作用, 无法在室外、远距离、动态情况下使用, 也无法测量火源的位置, 不适合应用在机器人上。针对这些问题, 图像型火源定位技术, 包括可见光视频火源探测和红外视频火源探测, 具有很大的优势。其中, 可见光相机虽然对图像细节的抓取比红外相机突出, 常用颜色特征、动态特征、纹理特征等作为检测的依据, 但是在充满烟的环境下误判率会很高, 红外热像仪可以探测物体的温度, 根据温度这一特征能有效地减小误判率。

笔者基于红外热像仪, 利用温度特征选取阈值对图像进行目标分割, 使用 Blob 提取算法提取目标区域作为候选目标, 利用动态特征从候选目标判断是否存在火源。基于光流法提取动态特征, 选取光流的均值和光流方向的方差作为重要特征来区分干扰源和火源, 基于此提出一种分段均值的方法。基于红外热像仪的火源定位算法框架, 如图 1 所示。

1 红外图像的静态特征提取

从单一帧提取的特征认为是静态特征, 如温度、圆形

度等, 从相邻帧提取的特征认为是动态特征, 如边缘抖动、面积变化、火焰闪烁、光流等。笔者所提出的算法将结合火源的静态特征和动态特征来定位火源。其中, 静态特征主要使用温度。

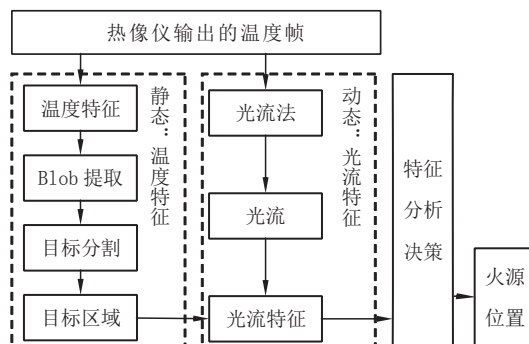


图1 算法框架图

1.1 目标分割

算法首先对红外图像进行目标分割。在红外图像中, 高热的物体表现为高亮, 温度低的物体表现为暗淡, 通过目标分割可以找到高亮的区域列为可疑目标区域。最大类间差分法 Otsu 方法是一种基于直方图的自适应阈值分割方法, 如图 2 所示。

图 2(b)是经过 Otsu 方法分割二值化后的图像, 其并不能有效滤除背景。笔者采用经验温度阈值的方法, 通过设定温度的阈值对图像进行分割, 如图 2(c)所示。



图2 Otsu方法和温度阈值法

令 A 为红外热像仪输出的灰度图像, T 为图像对应的温度, 则分割后的二值图像见式(1)。

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } (T(x, y) > T_{th}) \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

式中: T_{th} 为温度阈值的经验值; (x, y) 为图像 A 像素点位置坐标。

当像素点的温度超过阈值 T_{th} 时将像素值设为 1, 否则将像素值设为 0, 由此得到二值化的图像 $b(x, y)$ 。进一步可以经式(2)得到去除背景后的目标区域 B 。

$$B(x, y) = \begin{cases} A(x, y), & \text{如果 } (b(x, y) = 1) \\ 0, & \text{如果 } (b(x, y) = 0) \end{cases} \quad (2)$$

1.2 Blob 提取算法

为了进一步对各个目标区域进行特征分析,并且能标记出最终符合判决条件的目标区域,需要利用 Blob 提取方法对目标区域进行标记。基于像素的连通性使用连通域标记算法来对目标区域进行标记,生成目标集合 S , 见式(3)。

$$S = \{s_i, i = 1, 2, \dots, n, n \leq N\} \quad (3)$$

式中: s_i 为第 i 个目标区域; n 为目标区域的个数; N 为二值图像中高亮区域的数量。

由于在 Blob 提取的过程中滤除了一部分只有几个像素的干扰区域, 所以有 $n \leq N$ 。 $s_i = \{id_k, k = 1, 2, \dots, m\}$, id_k 是像素的索引, m 为像素的个数, 即第 i 个目标区域是由 m 个像素组成, 并表示成像素索引的集合。

2 光流法提取动态特征

单独使用温度特征判断火灾是否发生会存在一定的误判, 如高温的储罐、白炽灯以及其他的高热干扰源都会影响判断的结果。火焰的动态特征明显区别于一般的干扰源。观察发现, 火焰会随着气流的流动呈现无规则的摆动。体现在火焰内部的流动方向呈现较大的波动。光流法常见于计算机视觉应用于运动物体的跟踪, 利用光流法可以提取火源的动态特征。

2.1 Lucas-Kanade 光流法

光流法以像素点的强度随时间的变化来表征物体的运动速度和方向。基于前后两帧强度一致性的假设, 可以得到光流法的核心方程, 见式(4)。

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\partial I}{\partial x}u + \frac{\partial I}{\partial y}v + \frac{\partial I}{\partial t} = I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (4)$$

式中: $I(x, y, t)$ 为像素的亮度关于空间坐标 (x, y) 和时间 t 的函数; I_x 、 I_y 和 I_t 分别为 $I(x, y, t)$ 关于 x 、 y 和 t 的偏导; (u, v) 为位于 (x, y) 处的像素点的运动速度。

Lucas-Kanade 方法假设在像素点 (x, y) 的邻近范围 O 内, 光流矢量是恒定的。根据这一假设, 利用最小二乘法原则, 可以求得像素点 p 对应的光流 (u, v) , 见式(5)。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \left[\sum_i \omega_i I_x(q_i)^2 \quad \sum_i \omega_i I_x(q_i) I_y(q_i) \right]^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_i \omega_i I_x(q_i) I_t(q_i) \\ -\sum_i \omega_i I_y(q_i) I_t(q_i) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $q_i \in O$ 为 (x, y) 周围的像素点; ω_i 为 q_i 的权重。

根据实际经验, 总是给距 (x, y) 更近的像素点分配更大的权重。

2.2 目标区域动态特征提取

据实验观察, 火焰的动态特征不同于一般的物体。火焰的摆动是杂乱无章的, 抓住这一特征可以有效区分火源和干扰源。利用上述 Lucas-Kanade 光流法, 图像内所有像素点的光流均可计算出来, 笔者只针对目标区域的动态特征进行提取分析。

选取目标区域 s_i , s_i 内的像素点的光流可以表示为

$\{(u_k, v_k), k = 1, 2, \dots, m\}$ 光流的模的均值表示为式(6)。

$$V = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sqrt{u_k^2 + v_k^2} \quad (6)$$

光流的方向可以表示为式(7)。

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{v_i}{u_i}\right), \theta_i \in [-\pi, \pi] \quad (7)$$

通过以下方法计算方向的方差, 见式(8)~式(10)。

$$\delta\theta = 1 - \bar{R} \quad (8)$$

$$\bar{R} = R/m \quad (9)$$

$$R^2 = \left(\sum_{k=1}^m \cos\theta_k \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^m \sin\theta_k \right)^2 \quad (10)$$

式中: $\delta\theta \in [0, 1]$ 即为方向的方差, $\delta\theta$ 越接近 0, 表明区域内的像素点的方向越一致; 当 $\delta\theta$ 越接近 1 时, 光流方向的变化越大。这一特性可以很好地反映火焰的动态特征。

2.3 分段均值法

火焰的不规则运动会导致光流方向呈现不规则运动。因此, 光流方向的方差是火焰区别于其他干扰源的重要动态特征。火焰光流波动较大的地方集中在火焰的上方以及烟雾部分, 而火焰中下部的光流波动并不是很明显, 且经过图像分割后, 得到的正是火焰的中下部。因此, 目标区域的光流方向的方差特征并不能明显地区分干扰源和火源。

笔者提出一种分段均值法来判断是否有火源。火焰光流的一个重要特征是从上到下火焰的不规则运动强度逐步递减, 将火焰分为上(L1)、中(L2)、下(L3)三段, 用光流模值的均值表示三段内光流的运动强度, 可以得到 $\bar{V}_{L1} > \bar{V}_{L2} > \bar{V}_{L3}$, 其中 \bar{V}_{L1} 、 \bar{V}_{L2} 和 \bar{V}_{L3} 分别表示火焰 L1、L2 和 L3 内光流的模的均值。分段均值法如图 3 所示。

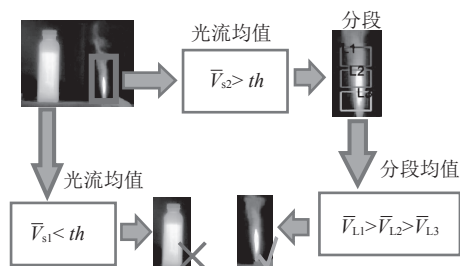


图3 基于分段均值的决策流程

在图3中, 首先对目标区域的像素对应的光流计算模值, 并求取均值。当均值小于设定的阈值时, 表明该区域是静态的, 直接判定为非火源区域, 否则, 将目标区域分成上中下三部分并且分别求均值, 记为 \bar{V}_{L1} 、 \bar{V}_{L2} 、 \bar{V}_{L3} , 当 $\bar{V}_{L1} > \bar{V}_{L2} > \bar{V}_{L3}$ 时判定该区域为火源。

3 实验

本次实验采用的红外热像仪, 如图4所示。该设备的分辨率为 384×288 , 帧率为 50 fps, 其测温范围为 $-20 \sim 600^\circ\text{C}$ 。

图5是对连续多帧的检测结果。图5(a)、图5(e)和

图 5(i) 分别是第 n 帧、 $n+1$ 和 $n+2$ 帧的原始温度灰度图像, 图 5(b)、图 5(f) 和图 5(j) 是与图 5(a)、图 5(e) 和图 5(i) 对应的二值化后的图像, 图 5(c)、图 5(g) 和图 5(k) 是对应的光流分布图。图 5(d)、图 5(h) 和图 5(l) 利用笔者提出的分段均值法得到的检测结果。

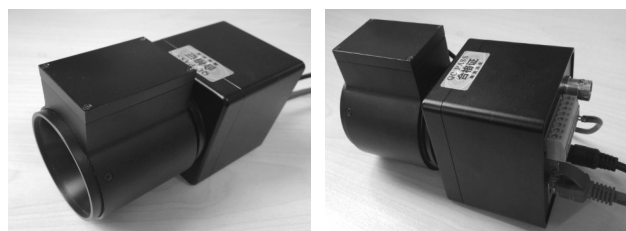


图 4 红外热像仪

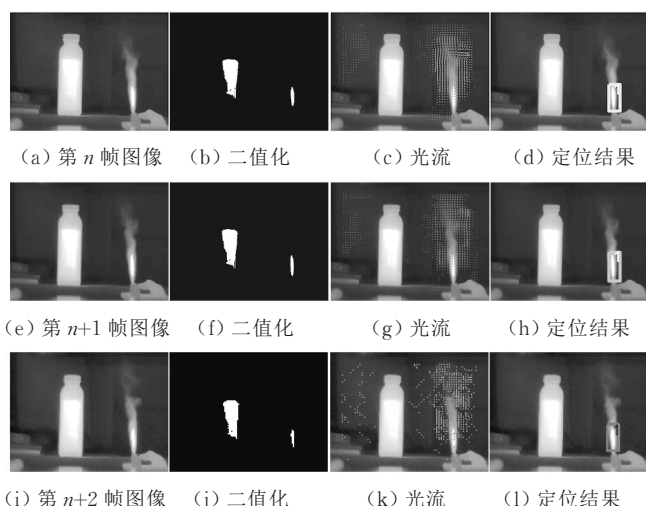


图 5 基于红外热像仪的火源定位结果

图 5(b)、图 5(f)、图 5(j) 是利用温度阈值法分割后的二值化图像, 图中两块高亮区域分别是干扰源和火源。由此可见, 经过温度阈值法可以有效地从背景中将目标区域分离出来, 但不能消除温度相近的干扰源的干扰, 需要进一步利用动态特征消除干扰。

图 5(c)、图 5(g)、图 5(k) 是光流分布结果, 图中红色箭头表示光流, 箭头的长度表示光流的大小, 箭头的方向表示光流的方向。火焰部分的光流呈现出火焰的动态特征, 而且, 越接近火焰部分光流运动越显著, 光流方向的变化越不规则。

图 5(d)、图 5(h)、图 5(l) 是利用分段均值方法的识别结果。其中, 方框框选的部分即为定位到的火源, 方框上的编号表示火源的序号。上述实验结果显示, 利用红外热像仪, 笔者提出的基于光流特征的分段均值方法, 能有效识别并定位火源。

4 结 论

笔者基于红外热像仪实现了一种火源识别和定位算法。算法利用红外图像的温度特征对图像进行分割, 对分割后的图像应用 Blob 提取, 得到目标区域。应用 Lucas-Kanade 光流法提取目标区域动态特征, 并就光流特征提出一种分段均值方法来从目标区域中检测火源。实验结

果表明该方法能有效地区分干扰源和火源。

参考文献:

- [1] 卞永明, 陈玮湛, 孙舒婷, 等. 消防机器人火源单目探测方法研究[J]. 机电一体化, 2014, 20(11): 15—19.
- [2] 刘媛珺. 双波段野外火灾图像识别及目标定位方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- [3] YUAN C, ZHANG Y M, LIU Z X. A survey on computer vision based technologies for automatic forest fire detection using uavs and remote sensing techniques[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2015, 45(7): 783—792.
- [4] ÇETIN A E, DIMITROPOULOS K, GOUVERNEUR B, *et al.* Video fire detection—Review[J]. Digital Signal Processing, 2013, 23(6): 1827—1843.
- [5] 徐爱俊, 方陆明, 楼雄伟. 基于可见光视频的森林火灾识别算法[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 14—20.
- [6] KIM J H, LATTIMER B Y. Real-time probabilistic classification of fire and smoke using thermal imagery for intelligent fire-fighting robot[J]. Fire Safety Journal, 2015, 72: 40—49.
- [7] 黄庆东. 基于红外热成像的火灾检测算法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [8] YUAN C, LIU Z, ZHANG Y. Fire detection using infrared images for UAV-based forest fire surveillance[C]//International Conference on Unmanned Aircraft Systems, 2017: 567—572.
- [9] YUAN C, LIU Z, ZHANG Y. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques[C]//2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015: 639—643.
- [10] 赵萌, 吴爱国, 杜春燕, 等. 火灾烟雾的轮廓光流矢量分析[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2016, 49(5): 457—464.

Thermal infrared camera based fire source tracking algorithm

DONG Fei¹, YANG Wei-jun², LI Dan³,
FANG Shu¹, LIN Xin⁴

(1. Shanghai Fire Research Institute of MEM, Shanghai 200438, China; 2. Shanghai Chemical Emergency Research Institute, Shanghai 201507, China; 3. Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China; 4. School of Continuing Education, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to help fire robot find and locate source of fire, an image recognition algorithm based on thermal infrared camera is investigated. Fire candidate regions can be extracted from the background by temperature characteristics from thermal infrared camera; the pixels of each candidate region can be extracted by Blob extraction algorithm from the binarized image; given that, the motion features are extracted by optical flow method; a segment average method was proposed, combining with the feature of optical flow to

消防车工况及装备状态实时监测系统设计

钟琳¹, 陈强¹, 吴艳国², 朱义¹

(1. 应急管理部上海消防研究所, 上海 200032; 2. 应急管理部消防产品合格评定中心, 北京 100077)

摘要:提出消防车工况及装备状态实时监测系统。系统基于物联网、传感器、异构通信协议解析等, 实现车辆底盘总线协议读取、上装设备实时感知、车载装备实时管理和车辆工况及装备状态实时监测。系统由四个部分组成, 通过车内有线/无线网络连接。系统逻辑结构由远程控制单元、车辆控制部分和分散控制单元组成。研究为后续系列消防车状态感知及数字化调度管理打下了技术基础。

关键词:消防车; 消防装备; 状态监测; 物联网

中图分类号: X924.4, TU998.131 **文献标志码:** A

文章编号: 1009-0029(2019)03-0397-03

消防车作为消防作战的主要力量和装备的载体, 是消防应急快速、有效处置的关键因素。至 2015 年底, 全国消防部队在用消防车辆装备已达 34 682 辆, 有效确保了全国消防处置工作的顺利开展。在日益严峻的火灾形势面前, 消防车的出动数量呈现逐年上升的趋势。据统计, 2013—2015 年, 全国消防共出动车辆分别为 183.2、205.6、206.2 万辆次。为保证消防车辆能够发挥正常功能, 确保车辆工况不但是日常管理的需求, 同样是保障救援的基础和现场指挥员排兵布阵的前提。

在出警数量与日俱增的同时, 灾害规模与处置难度也在逐渐增大。在 2015 年北京某商城仓库火灾扑救中, 现场调集 10 个全勤指挥部和 60 个中队、161 辆消防车、850 余名官兵参加了战斗, 现场发放个人防护装备 28 种 6 312 件, 更换空气呼吸器瓶 2 200 余个。单场重特大火灾的发生规模、处置需要的装备数量种类、参与救援的人数增加, 使得消防指挥调度难度也同步增大, 寻求科学的装备调度

指挥手段成为目前消防部队现实的迫切需求。

笔者以消防车为装备调度指挥切入点, 针对主战消防车运行状态、上装装备、配置装备等详细参数、工况、数量、种类情况, 利用物联网、传感器、异构通信协议解析等关键技术, 解决消防车辆底盘系统、水泵系统、罐体系统、随车配置的装备种类数量状态不清、数量不定、工况不明的问题, 形成实时化、动态化、精确化的车辆及装备数据元, 满足消防指挥中心在常态、突发事件和大型活动时期指挥和管理决策的需要以及跨地区、跨部门、跨行业协同合作的实战要求, 最大程度地提高消防战斗力。

1 系统功能设计

笔者提出的消防车工况及装备状态实时监测系统, 以 CAN 总线解析技术、车辆装备运行工况技术和车载装备管理技术为重点, 研究与研制一系列实用、可靠、专用的监测装备。其中, CAN 总线解析技术主要针对消防车实战需要, 研发具有读取、解析等功能的通用 CAN 总线解析装置; 消防车装备运行管理及车载装备管理主要针对消防战时和日常使用特点, 开展状态采集、数量清点、数据传输等方面的研究。

1.1 物联网及通信解析技术

(1) CAN 车辆总线控制技术。消防车底盘 CAN 总线技术是一种综合计算机、自动控制、通信、显示、转换技术的集成数字技术。CAN 总线结构是全开放、全数字、分布式控制和实时控制的双向串行通信的拓扑网络, 通常以 CIA 国际标准 CANOE 和 J1939 协议为框架, 实现底盘装备、仪器仪表、智能操作与控制的微型计算机控制; 同时, 运用友好的人机界面使整机的各项功能得以安全、顺利地实现。

(2) 车辆装备运行工况技术。结合现有车辆设施管理模式, 分析车辆设施状态关键因素, 确立车辆设施管理关键因子。车辆设施管理系统可以及时帮助指挥员及管理人员获得车辆上装的水泵、水罐等状态和信息的第一手资料。因此, 系统及时地采集数据并进行整合, 最终显示在软件界面上, 并确保信息的正确和及时是最基本的要求, 此外还有可靠性(要保证软件的稳定性)、可用性(在较短的时间内完成操作)、良好的升级和可维护性、可操作性(可以在不同操作系统环境中使用)等。

(3) 物联网物品管理技术。物联网技术是指通过条码、射频识别、传感器等各种信息传感设备, 实时采集任何

decide whether the target zone is fire. Experimental results indicate that the proposed algorithm can track fire effectively.

Key words: fire robot; fire source tracking; temperature threshold segmentation; Blob extraction algorithm; optical flow; segment average method

作者简介: 董非(1990—), 女, 山东人, 应急管理部上海消防研究所研究实习员, 硕士, 主要从事消防机器人研发工作, 上海市杨浦区民京路 918 号, 200438。

通信作者: 林昕(1977—), 女, 上海交通大学副教授。

收稿日期: 2018-11-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0810204-03)