

基于图像背景建模的电火花检测

王鹏飞, 杨余旺, 夏吉安

(南京理工大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 电器设备发生漏电会使设备工作受到影响, 甚至引发火灾造成经济损失、威胁人身安全。电器漏电产生的电火花不同于一般火焰, 其闪动时间较短、目标较小, 导致普通传感器很难识别。为此, 提出一种基于图像背景建模的电火花检测技术。该方法使用了均值、中值背景建模, Codebook 算法背景建模以及高斯混合模型建模这四种不同的背景建模算法, 去除电火花检测时的背景干扰, 提取前景并对前景区域进行大小、颜色特征的分割, 从而识别电火花。实验结果表明, 在简单背景环境下均值、中值背景建模方法更适合进行电火花检测, 而复杂背景环境下 Codebook 算法和高斯混合模型建模的结果远优于前两种方法, 且高斯混合模型的实验结果略优于 Codebook 算法。实际应用时应根据现场环境选择最合适的方法。

关键词: 电器漏电; 电火花; 背景建模; 目标检测; 颜色特征

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)03-0154-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.03.033

Electric Spark Detection Based on Background Generation

WANG Peng-fei, YANG Yu-wang, XIA Ji-an

(School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The occurrence of electric leakage will affect the work of equipment, even cause fire, which poses a threat to property security and life safety. Electric spark is quite different from ordinary flame. The brief flashes and small areas make it difficult for common sensor to recognize. To solve this problem, we present a method of electric spark detection based on background generation. Mean background modeling, median background modeling, codebook background modeling and MOG (mixture of Gaussian) background modeling are used in this method to remove background interference. Then the area and color feature in foreground regions is used to judge whether the foreground region is electric spark. Experiments show that mean background modeling and median background modeling are more suitable for detection of electric spark in simple environment, and Codebook background modeling and MOG background modeling are superior to the first two in complex environment. Moreover, MOG background modeling is slightly better than Codebook background modeling. Which method will be chosen is defined by practical application scenarios.

Key words: electric leakage; electric spark; background generation; object detection; color feature

0 引言

随着经济社会的发展, 人们对于电器设备的依赖程度日益提高。虽然这些电器设备给人们的生活带来了极大便利, 但如果它们发生漏电产生电火花, 轻则干扰设备的正常运作, 重则引发火灾, 对人们的财产和生命安全造成极大的威胁。由于电火花的产生在设备运转过程中无法完全避免, 因此如何及时地发现电火花显得尤为重要。

目前主流的电火花检测方法包括基于单片机算法的电火花检测方法、基于电磁感应的电火花检测方法

和基于计算机视觉的检测方法。前两种方法属于接触式检测, 检测范围较窄, 且提供的可用信息, 如电火花产生的位置、大小、周围环境等较少。基于计算机视觉的电火花检测方法可以利用视场角较大的镜头进行大范围检测, 并且因为图像中包含了很多场景信息, 可以通过图像分析、机器学习、人工智能等方法将它们提取出来, 有利于后续对电火花的处理, 因此目前基于计算机视觉的电火花检测方法使用较为广泛^[1]。

基于计算机视觉的检测方法又可以分为很多种, 其中使用较为广泛的有帧差法、光流法、背景减除

收稿日期: 2017-03-28

修回日期: 2017-07-31

网络出版时间: 2017-11-15

基金项目: 江苏省科技支撑计划 (BE2012386, BE2011342); 江苏省农业自主创新项目 (CX(13)3054, CX(16)1006); 江苏省普通高校研究生创新计划项目 (KYLX16_0464)

作者简介: 王鹏飞 (1993-), 男, 硕士, 研究方向为模式识别; 杨余旺, 博士, 教授, 研究方向为大数据应用。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20171115.1438.076.html>

法^[2]。这几种方法各有利弊。帧差法简单,运行速度快,实时性好,但极易产生空洞、双影等现象,不利于后续对提取出来的对象进行分析;光流法无需知晓图像的先验背景知识,但其算法复杂,运行速度慢,实时性较差;背景减除法是通过构建一个不断更新的背景模型,将实时帧与背景模型做差得到检测目标,如何得到一个精确合理的背景模型是该方法的难点^[2]。

背景减除法又可分为以下几种方法:Heikkila等提出的背景差分法,该方法需要先选定一幅图像作为背景模型;中值、均值法背景建模,该方法使用连续几帧的图像求取中值、均值建立背景模型;Kim等提出的Codebook背景建模方法,该方法为背景图像的每个像素建立了一个码元集;Wren等利用单高斯模型建模,该方法为背景图像的每个像素配对了一个高斯函数;Stauffer等在单高斯模型的基础上提出混合高斯模型建模(Gaussian mixture model, GMM),使用多个单高斯模型建立背景图像^[3]。经比较后,文中采用均值、中值背景建模,Codebook算法背景建模以及高斯混合模型建模这四种背景减除法得到初步的电火花候选区域,之后通过电火花面积特征和颜色特征分析得到最终的电火花检测结果。

1 电火花检测流程

- 提出的电火花检测算法流程为:
- (1)使用背景建模法去除视频帧中的背景,从而进行前景检测;
 - (2)对前景区域进行大小判别,去除不符合电火花大小特征的前景区域,得到电火花候选区域;
 - (3)对得到的电火花候选区域进行颜色分析,实现对视频中电火花的检测。

1.1 前景检测

对于视频帧中的电火花进行检测时,首先需要对视频帧中的前景进行检测,将得到的前景作为电火花的候选区域,这样可以避免对整幅图像进行分析,减少了后续步骤的处理范围,从而提高检测的速率。文中分别使用了均值、中值背景建模,Codebook算法背景建模以及高斯混合模型建模这四种不同的背景建模算法进行前景检测。

1.1.1 均值背景建模

均值背景建模是利用相机采集到的视频中连续的 N 帧,求取对应位置像素的均值作为背景图像对应点的像素值,从而建立图像作为下一帧的背景模型^[4]。

$$B(x,y)=\frac{1}{N}\sum_{i=m}^{m+n-1}G_i(x,y)$$

(1)

其中, $B(x,y)$ 表示建立的背景模型中点 (x,y) 对应的像素值,数据 $G_i(x,y)$ 表示第 i 帧中点 (x,y) 对应的

像素值。

进行电火花检测时,将检测帧与背景图像进行差分,与设定的阈值相比较,若小于阈值则该点为背景,反之为电火花。均值背景建模算法较为简单,运算速度较快,但当选取的 N 帧中某些帧有电火花产生时,出现电火花的位置在背景图像中对应位置的像素值会产生一定的偏差,影响后续帧电火花检测的准确率。

1.1.2 中值背景建模

中值背景建模同样也是利用采集到的视频中连续的 N 帧,对 N 帧中每个位置的像素值按照大小排序,选取排序后的中值作为背景图像对应点的像素值,从而建立初始的背景模型^[4]。

$$B(x,y)=\text{median}\{G_i(x,y),i=m,m+1,\cdots,m+n+1\}$$

(2)

其中, $B(x,y)$ 和 $G_i(x,y)$ 同式(1)。

进行电火花检测时,方法与均值背景建模方法相同,也是将检测帧与背景图像进行差分,然后与设定的阈值相比较,若小于阈值则该点为背景,反之为电火花。中值背景建模可以较好地排除存在电火花帧的干扰,但仍存在一定的可能性将电火花的像素值作为背景对应位置的像素值,且该方法需进行多次排序,运算速度稍慢于均值建模方法。

1.1.3 Codebook 算法背景建模

使用Codebook算法进行背景建模时,利用采集到视频中连续帧的观测值(如颜色、亮度等)为背景图像中每一个点建立对应的像素序列即码本,每个码本中包含一个或多个码元,且不同点对应的码本所含码元数不一定相同^[5-6]。假设 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_N\}$ 是背景图像中一个像素点对应的采样值, $x_i(1\leq i\leq N)$ 表示该点在选取的 N 帧中对应位置点的RGB值,其亮度值定义为 $I=R+G+B$, $CB=\{CW_1,CW_2,\cdots,CW_m\},1\leq m\leq N$,即为该点所对应的码本^[7-10]。每个码元 CW_j 包含一个RGB向量 $v_j=\{\bar{R}_j,\bar{G}_j,\bar{B}_j\},1\leq j\leq m$ (其中 $\bar{R}_j,\bar{G}_j,\bar{B}_j$ 为该类码元像素的均值)和一个6元组 $U_j=\{I_{\max j},I_{\min j},\lambda_j,T_j,t_{\text{first}j},t_{\text{last}j}\}$,其中, $I_{\max j}$ 表示该类码元中像素亮度的最大值, $I_{\min j}$ 表示该类码元中像素亮度的最小值, λ_j 表示码元出现的频率, T_j 表示码元没有被成功匹配的最大时间间隔, $t_{\text{first}j}$ 表示码元第一次成功匹配的时间, $t_{\text{last}j}$ 表示码元最后一次成功匹配的时间^[7]。

Codebook算法的思想是假设所有的背景像素值都分布在码元圆柱体内,码元圆柱体表面就构成了一个判别界面,落在码元圆柱体表面的即为前景像素,如图1所示。为介绍后续码元的匹配,引入两个概念:颜色失真度以及亮度函数^[8]。

颜色失真度为:

$$\text{colordist}(x_i, v_i) = \frac{\|x_i\|^2 \|v_i\|^2 - \langle x_i, v_i \rangle^2}{\|v_i\|^2} \quad (3)$$

其中

$$\|x_i\|^2 = R^2 + G^2 + B^2$$

$$\|v_i\|^2 = \bar{R}_i^2 + \bar{G}_i^2 + \bar{B}_i^2$$

$$\langle x_i, v_i \rangle^2 = (\bar{R}_i R + \bar{G}_i G + \bar{B}_i B)^2$$

亮度函数为:

$$\text{brightness}(I, \langle I_{\min}, I_{\max} \rangle) = \|x_i\| \in \langle I_{\text{low}}, I_{\text{hi}} \rangle \quad (4)$$

$$\delta = \text{colordist}(x_i, v_i) \leq \varepsilon \quad (5)$$

其中

$$I_{\text{low}} = \alpha I_{\min}$$

$$I_{\text{hi}} = \min \left\{ \beta I_{\max}, \frac{I_{\min}}{\alpha} \right\}$$

$\varepsilon, \alpha, \beta$ 为先验参数。

Codebook 算法背景建模的详细过程如下^[6]:

(1) 码本清空。

(2) 计算训练视频帧中每个像素的亮度值,并根据式(7)和式(8)寻找与该值匹配的码元。

(3) 若码本为空或未能成功匹配码元,则在码本中创建对应的新的码元,若匹配成功则更新对应码元的内容。

(4) 训练完成后,利用每个码元未成功匹配的最大时间间隔进行冗余码元的消除,从而得到初始的背景图像码本。

进行电火花检测时,将检测帧每个点的信息与该点在背景图像中所对应的码本中的码元进行匹配,若匹配成功即表明该点为背景,否则该点为电火花^[9-10]。

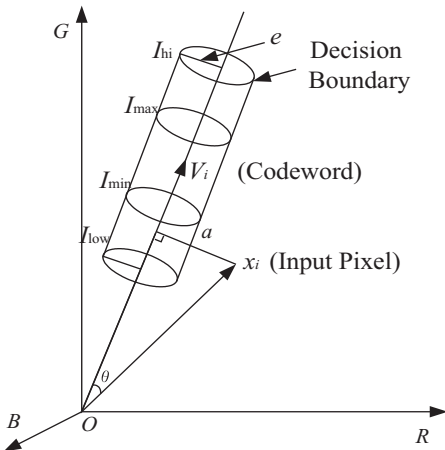


图 1 Codebook 算法示意图

1.1.4 混合高斯背景建模

混合高斯模型是在单高斯模型的基础上建立的,可以将混合高斯模型理解为多个单高斯模型的集

合^[11]。基于混合高斯模型的方法的基本过程如图 2 所示。

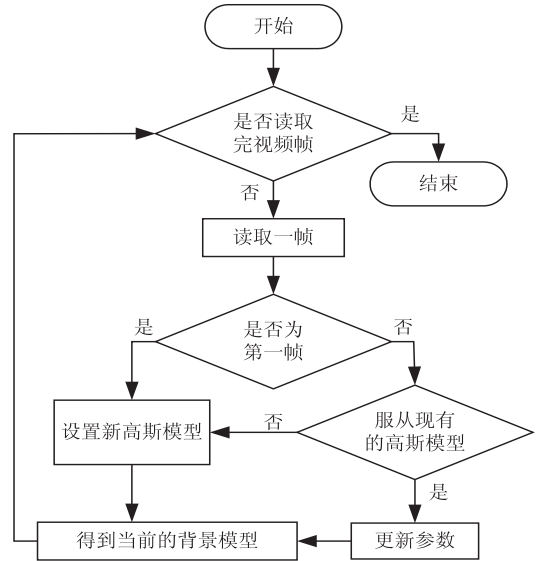


图 2 混合高斯背景建模算法流程

混合高斯模型为每个像素建立 K 个高斯分布模型,通常为 3~5 个。假设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_t\}$ 是背景图像中一个像素点对应的采样值, $x_i (1 \leq i \leq t)$, 则观察到当前像素值 x_i 的概率为:

$$P(x_i) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \eta(x_i, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (6)$$

其中, $\eta(x_i, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t})$ 表示 t 时刻第 i 个高斯分布,

$$\eta(x_i, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{i,t}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_i - \mu_{i,t})^T \Sigma_{i,t}^{-1} (x_i - \mu_{i,t})}$$

$\mu_{i,t}$ 表示 t 时刻第 i 个高斯模型所对应的均值向量, $\Sigma_{i,t}$ 表示高斯模型所对应的协方差矩阵^[12-13]; x_i 表示 t 时刻该点的像素值; $\omega_{i,t}$ 表示 t 时刻所建立的混合高斯模型中第 i 个高斯模型所对应的权值,并且 $0 \leq \omega_{i,t} \leq 1$, $\sum_{i=1}^K \omega_{i,t} = 1$; n 表示 x_i 的维数。

但在实际操作中因为算法复杂性较高,实时性较差,因此通常假设视频图像中的彩色通道是独立的,减少算法的计算量,提高实时性。按照上述思路可以得到上式中协方差的矩阵估计为 $\Sigma_{i,t} = \sigma_{i,t}^2 x_t$ ^[14]。

后续将当前像素值与第 i 个高斯模型进行匹配时需要比较该像素值与第 i 个高斯分布的 2.5 倍标准差,如果满足 $|x_t - \mu_{i,t}| \leq 2.5 \times \sigma_{i,t-1}$, 则表明此像素与该高斯模型相匹配,反之则说明该像素不属于该高斯型^[14]。对于成功匹配当前像素的高斯模型需要更新对应的参数,更新规则如下:

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \times \omega_{i,t-1} + \alpha \quad (7)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) \times \mu_{i,t-1} + \rho \times x_t \quad (8)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho) \times \sigma_{i,t}^2 + \rho (x_t - \mu_{i,t-1}) \times (x_t - \mu_{i,t-1})^T \quad (9)$$

其中, α 为参数更新速率; ρ 的计算方式如下:

$$\rho = \alpha \times \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} |P_t|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_t)^T P_t^{-1} (x_t - \mu_t)} \quad (10)$$

对于未能成功匹配的高斯模型,其均值和方差保持不变,权值按式(11)进行调整^[15]。

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \times \omega_{i,t-1} \quad (11)$$

这样操作之后使得有较多像素相匹配的模型的权值增加,与较少像素相匹配的模型的权值减少,更新完权值后,通常还需进行归一化操作。若当前像素与现有模型均不相匹配,则根据当前像素创建一个新模型,若此时模型数已达上限 K 个,则用新的模型取代 ω/σ 最小的模型。然后将得到的 K 个模型按 ω/σ 从大到小的顺序排列,取满足式(12)的前 B 个高斯模型作为背景模型。

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{i=1}^b \omega_{i,t} > T \right) \quad (12)$$

进行电火花检测时,将检测帧每个点的信息与各高斯模型逐一匹配,与任一模型匹配成功即表明该点为背景,否则该点为电火花。

1.2 面积分割

对于图像中的电火花检测仅通过背景减除法得到的前景目标还不足以准确地检测到电火花,拍摄过程中可能会有其他运动目标,如行人、动物等,经过这些运动目标均会对电火花的检测造成一定的干扰。考虑到电火花相对于大部分干扰目标而言面积较小,因此先对提取出的前景图像按照目标的连贯性划分候选子区域,之后对各子区域中目标面积大小进行分析,根据设定的阈值得到更新后的电火花候选区域。

1.3 颜色特征分析

仅根据前景目标面积大小就判定目标为电火花是不够严谨的,还需在此基础上进一步判断其颜色特征以确定目标是否为电火花。通过在 RGB 空间和 YCbCr 空间的颜色特征综合判断目标是否为电火花。

1.3.1 RGB 颜色空间电火花像素规则

RGB 颜色模式是通过 R(红)、G(绿)、B(蓝)三个颜色通道的变化及相互混合叠加来表示自然界中的各种颜色。电火花像素在 RGB 颜色空间中对应的 B 通道的颜色值大于 R 通道和 G 通道的颜色值, R 通道和 G 通道的颜色值近似相等。根据这些性质和大量实验分析,在 RGB 空间中为电火花像素建立了如下判别式:

$$B > G \approx R \quad (13)$$

$$R_{\text{mean}} > R_t; G_{\text{mean}} > G_t; B_{\text{mean}} > B_t \quad (14)$$

其中, R_{mean} 、 G_{mean} 、 B_{mean} 分别表示电火花候选子区域 R、G、B 三个通道的均值; R_t 、 G_t 、 B_t 分别表示 R、G、B 三个通道的阈值。

满足上述公式的区域即为电火花候选区域,设置对应的 F_{rgb} 为 1,否则为 0。

1.3.2 YCbCr 颜色空间电火花像素规则

YCbCr 是一种主要用于数字电视系统的颜色空间,与需要三个独立视频信号同时传输的 RGB 视频信号相比,YCbCr 进行了一定的压缩,节约了大量的频宽。其中 Y 为亮度组件,Cb 和 Cr 为色度组件,它与人类的视觉很相近,人眼对亮度变化的捕捉能力极其敏锐,而电火花的亮度远高于周围环境,因此可以利用该特性更好地分析图像,提取电火花目标。YCbCr 可以通过线性变换与 RGB 空间进行相互转换,转换规则如下^[15]:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (15)$$

$$\text{Cr} = (R - Y) \cdot 0.713 + \delta \quad (16)$$

$$\text{Cb} = (B - Y) \cdot 0.564 + \delta \quad (17)$$

$$R = Y + 1.403 \cdot (\text{Cr} - \delta) \quad (18)$$

$$G = Y - 0.714 \cdot (\text{Cr} - \delta) - 0.344 \cdot (\text{Cb} - \delta) \quad (19)$$

$$B = Y + 1.773 \cdot (\text{Cb} - \delta) \quad (20)$$

其中, δ 的取值取决于图像的深度,8 位图像 δ 取 128,16 位图像 δ 取 32 768,浮点图像 δ 取 0.5。

因 RGB 空间中亮度对于 R、G、B 三个通道都有一定的依赖性,因此不能将亮度与色度分割开,但用色度表示电火花的颜色的鲁棒性要优于用亮度表示电火花的颜色,而 YCbCr 颜色空间也正好满足此特性。RGB 空间中建立的电火花判断规则移植到 YCbCr 空间表示为^[15]:

$$Y(i,j) > Y_{\text{mean}} \quad (21)$$

$$\text{Cb}(i,j) < \text{Cb}_{\text{mean}} \quad (22)$$

$$\text{Cr}(i,j) > \text{Cr}_{\text{mean}} \quad (23)$$

其中, Y_{mean} 、 Cb_{mean} 和 Cr_{mean} 为图像在 YCbCr 空间三个通道的均值; $Y(i,j)$ 、 $\text{Cb}(i,j)$ 和 $\text{Cr}(i,j)$ 为位置 (i,j) 的像素所对应的三个通道的值。

满足上述公式的区域即为电火花候选区域,设置对应的 F_{YCbCr} 为 1,否则为 0。

1.3.3 综合判断

在单一颜色空间下进行电火花判断存在一定的误差性,因此将 RGB 空间和 YCbCr 空间的判定结果相结合,仅当 F_{rgb} 和 F_{YCbCr} 均为 1 时,认为候选区域确实为电火花,这样可以在一定程度上提高检测的准确性。

2 实验结果及分析

对于文中设计的电火花检测算法,首先分别使用均值、中值背景建模,Codebook 算法背景建模以及高斯混合模型建模这四种不同的背景建模算法提取出初步的电火花候选区域,然后对得到的候选区域进行面

积分割和 RGB 颜色空间和 YCbCr 颜色空间颜色特征分析,并对四种方法得到的实验结果进行比较分析。

在 Inter Core i5-2320 CPU 平台上,在 MATLAB R2015a 开发环境中实现了该电火花检测算法,并选择了两段拍摄环境差异较大的视频进行实验测试。其中 Darkroom1.avi 和 Darkroom2.avi 是在暗室环境中录制的,视频中电火花背景较为简单,Open env1.avi 和 Open env2.avi 是在开放环境中录制的,视频中电火花背景较为复杂。

图 3 和图 4 为部分实验结果图(为方便呈现结果,图片均经过裁剪,只保留关键部分),方框内为经识别后标记的火花区域。图 3 为 Darkroom2.avi 中的一火花帧经四种不同方法处理后得到的火花区域,结果表明在暗室环境下,这四种方法得到的火花区域大致相同。图 4 为 Open env1.avi 中的一火花帧经四种不同的方法处理后得到的火花区域,从识别结果可以看出,在开放环境下均值背景建模与中值背景建模检测出的火花区域有一定的误差,两者均将图片右上角的非火花区域识别为火花区域,且识别出的火花范围较后两

种方法小;Codebook 背景建模方法与混合高斯背景建模方法识别出的火花范围较为准确。

完整的实验结果如表 1 所示。从表中可以获悉,当电火花检测背景较为简单时,四种方法的准确率相差无几,但使用均值背景建模或者中值背景建模方法时其每帧的处理速度要远快于使用 Codebook 背景建模和混合高斯背景建模方法。当电火花检测的背景较为复杂时,Codebook 背景建模和混合高斯背景建模这两种方法的准确度远高于均值背景建模和中值背景建模,且混合高斯背景建模检测的准确率略高于 Codebook 背景建模,均值背景建模和中值背景建模的方法准确率较低,不适用于复杂环境下的电火花检测。

根据上述实验结果可得,对于背景单一的电火花检测环境可使用均值或中值背景建模的方法来进行处理,运行速度快,且精度较高;对于复杂背景下的电火花检测,为了达到较高的检测精度,则需要牺牲检测速度,使用 Codebook 背景建模或者混合高斯背景建模的方法,若对检测精度有非常高的要求,混合高斯背景建模的方法更为适用。



图 3 Darkroom2.avi 视频中电火花帧截图及各方法实验结果



图 4 Open env1.avi 视频中电火花帧截图及各方法实验结果

表 1 电火花检测部分统计结果

背景建模方法	视频	总帧数	准确检测帧数	漏检帧数	误检帧数	准确率 / %	平均处理时间 / (ms / 帧)
均值背景建模	Darkroom1.avi	5 310	5 287	6	17	99.57	17.32
	Darkroom2.avi	6 052	6 017	6	29	99.42	17.26
	Open env1.avi	3 613	3 289	5	319	91.03	18.29
	Open env2.avi	4 218	3 808	8	402	90.28	18.31
中值背景建模	Darkroom1.avi	5 310	5 293	5	12	99.68	18.14
	Darkroom2.avi	6 052	6 029	7	16	99.62	18.27
	Open env1.avi	3 613	3 387	2	224	93.74	18.97
	Open env2.avi	4 218	3 886	6	338	92.13	18.86
Codebook 背景建模	Darkroom1.avi	5 310	5 293	8	9	99.68	58.32
	Darkroom2.avi	6 052	6 034	9	9	99.70	58.26
	Open env1.avi	3 613	3 555	6	52	98.39	59.21
	Open env2.avi	4 218	4 153	5	60	98.46	59.16
混合高斯背景建模	Darkroom1.avi	5 310	5 295	7	8	99.72	60.57
	Darkroom2.avi	6 052	6 037	8	7	99.75	60.49
	Open env1.avi	3 613	3 579	5	29	99.06	61.23
	Open env2.avi	4 218	4 181	6	31	99.12	60.45

3 结束语

针对检测电器漏电产生的电火花,提出了基于计算机视觉的四种检测方法,这四种方法使用不同的算法进行背景建模,然后对图像进行差分得到初步的电火花候选区域,接着对候选区域根据电火花的面积特征进行分割,最后进行颜色特征分析,从而得到检测帧中的电火花区域。实验结果表明,四种方法对于电火花检测有着各自的适用场景。均值、中值背景建模算法运行速度很快,但仅对电火花检测背景简单、单一的情况适用,对于复杂背景下的电火花检测则需要使用速度相对较慢的 Codebook 背景建模法和混合高斯背景建模法,其中混合高斯背景建模法的检测精度要略高于 Codebook 背景建模法的精度。目前如何针对不同的场景使用合适的检测方法还需要人为判断,如何利用算法识别场景,根据检测环境的复杂程度自适应地选择最为适宜的方法将是日后重点研究的方向。

参考文献:

[1] MARUTA H, NAKAMURA A, YAMAMICHI T, et al. Image based smoke detection with local hurst exponent[C]//Proceedings of 17th IEEE international conference on image processing. [s. l.]: IEEE, 2010; 4653-4656.

[2] SHON D, KANG M, SEO J, et al. Early fire detection using multi-stage pattern recognition techniques in video sequences [C]//Proceedings of frontier and innovation in future computing and communications. [s. l.]: [s. n.], 2014; 161-168.

[3] 刘鑫, 刘辉, 强振平, 等. 混合高斯模型和帧间差分相融合的自适应背景模型[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(4): 729-734.

[4] CHEN Y T, CHEN C S, HUANG C R, et al. Efficient hierarchical method for background subtraction[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(10): 2706-2715.

(上接第 153 页)

[5] ALIEVA T, BASTIAANS M J. On fractional Fourier transform moments[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2000, 7(11): 320-323.

[6] LIEBLING M, BLU T, UNSER M. Fresnelets: new multiresolution wavelet bases for digital holography[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(1): 29-43.

[7] 赵洁, 王大勇, 李艳, 等. 数字全息显微术应用于生物样品相衬成像的实验研究[J]. 中国激光, 2010, 37(11): 2906-2911.

[8] 张志会, 王华英, 刘佐强, 等. 基于快速傅里叶变换的相位解包裹算法[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(12): 59-65.

[9] 王华英, 刘佐强, 廖薇, 等. 基于最小范数的四种相位解包裹算法比较[J]. 中国激光, 2014, 41(2): 122-127.

[5] WU M, PENG X. Spatio-temporal context for codebook-based dynamic background subtraction [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2010, 64(8): 739-747.

[6] PAL A, SCHAEFER G, CELEBI M E. Robust codebook-based video background subtraction[C]//Proceedings of international conference on acoustics speech and signal processing. Dallas, USA: IEEE, 2010.

[7] 郭春生, 王盼. 一种基于码本模型的运动目标检测算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(7): 1079-1083.

[8] SIGARI M H, FATHY M. Real-time background modeling/subtraction using tow-layer codebook model[C]//Proceedings of international multi-conference on engineers and computer scientists. Hong Kong, China: [s. n.], 2008.

[9] 叶勇, 管业鹏, 李晶晶. 基于混合高斯模型与码本算法的前景目标检测[J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 1-4.

[10] 张军, 代科学, 李国辉. 基于 HSV 颜色空间和码本模型的运动目标检测[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(3): 423-427.

[11] ZIVKOVIC Z. Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction[C]//Proceedings of 17th international conference on pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2004; 28-31.

[12] DRD R. Gaussian mixture models[J]. Encyclopedia of Biometrics, 2009, 3(4): 93-105.

[13] WANG Yanjiang. An improved adaptive background modeling algorithm based on Gaussian mixture model[C]//Proceedings of international conference on signal processing. [s. l.]: IEEE, 2009.

[14] LUO Jinmian, ZHU Juan. Adaptive Gaussian mixture model based on feedback mechanism[C]//Proceedings of international conference on computer design and applications. Chengdu, China: [s. n.], 2010.

[15] 余家奎. 基于视频的火花和烟雾检测算法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.

[10] 郭恒光, 瞿军. 基于小波域双谱分析的磨粒图像多尺度形状特征提取[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(9): 224-226.

[11] 赖建新, 胡长军, 赵宇迪, 等. OpenMP 任务调度开销及负载均衡分析[J]. 计算机工程, 2006, 32(18): 58-60.

[12] 马旭龙, 林峰. 基于 OpenMP 的快速并行分层算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(4): 747-753.

[13] 邹贤才, 李建成, 汪海洪, 等. OpenMP 并行计算在卫星重力数据处理中的应用[J]. 测绘学报, 2010, 39(6): 636-641.

[14] 奎因. 并行程序设计 C/MPI 与 OpenMP[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[15] 潘哲郎, 李仕萍, 钟金钢. 用数字全息层析成像技术测量毛细管的内径及壁厚[J]. 光学精密工程, 2013, 21(7): 1643-1650.