



## 一种采用航拍图像识别高压输电线路防震锤缺失的检测算法

吴志成, 林秀贵, 许家浩, 叶倩, 李庆武

引用本文:

吴志成, 林秀贵, 许家浩, 等. 一种采用航拍图像识别高压输电线路防震锤缺失的检测算法[J]. *应用科技*, 2021, 48(5): 35–41,53.

WU Zhicheng, LIN Xiugui, XU Jiahao, et al. An algorithm for missing detection of anti-vibration hammer on high voltage transmission line based on aerial image[J]. *Applied science and technology*, 2021, 48(5): 35–41,53.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.202103026>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 基于优化ResNet的输电线路航拍图像分类方法

Aerial image classification method of transmission lines based on optimized ResNet

应用科技. 2021, 48(2): 64–68 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.202007009>

### 一种多信息级联聚类输电线路检测方法

A cascade clustering transmission line detection method based on multi-information

应用科技. 2020, 47(5): 86–93 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.202002010>

### 一种基于CNN的航拍输电线路图像分类方法

CNN-based aerial image classification method for aerial transmission lines

应用科技. 2019, 46(6): 41–45 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201904008>

### 基于激光测距无人机的输电线路覆冰厚度测量

Measurement for ice thickness of transmission line based on laser ranging drone

应用科技. 2019, 46(6): 46–52 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201812007>

### 电晕电流时间序列时域特性的分析及预测

Analysis and prediction on the time domain characteristics of corona current time series

应用科技. 2018, 45(3): 39–43 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201709013>

### 特高压输电线路复杂环境中电场测量系统的电磁兼容设计

Desion of electromagnetic compatibility for electric field measurement system in complex environment of UHV transmission lines

应用科技. 2015, 42(6): 15–19 <https://dx.doi.org/10.11991/yykj.201504018>



微信公众平台



期刊网址

DOI: 10.11991/yykj.202103026

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1191.U.20210826.0843.002.html>

## 一种采用航拍图像识别高压输电线路防震锤缺失的检测算法

吴志成<sup>1</sup>, 林秀贵<sup>1</sup>, 许家浩<sup>1</sup>, 叶倩<sup>2</sup>, 李庆武<sup>2</sup>

1. 国网福建省电力有限公司 泉州供电公司, 福建 泉州 362000

2. 河海大学 物联网工程学院, 江苏 常州 213022

**摘 要:** 高压输电线上防震锤长期经受各种恶劣的自然条件影响, 容易导致重锤坠落, 如不及时更换缺失的防震锤, 会使导线疲劳断股的风险增加。为了解决高压输电线上的防震锤巡检问题, 提出一种高压输电线路上的防震锤缺失检测方法。首先使用基于 HOG 特征与 SVM 分类器对无人机航拍图像进行防震锤目标定位, 然后结合防震锤的结构对称特征, 将定位到的防震锤旋转变换至水平状态后进行垂直投影, 依据投影分布中两侧重锤投影坐标与线夹投影坐标之间的距离差异来判断防震锤是否缺失。结果表明, 该方法将二维图像数据转换为一维数据分析, 在保证准确率的同时, 简化了分析问题的难度, 处理速度快, 且极大降低了拍摄光照、目标颜色等因素对缺失检测的影响。

**关键词:** 防震锤; HOG 特征; SVM; 目标检测; 垂直投影; 缺失检测; 高压输电线; 旋转变换

中图分类号: TM75

文献标志码: A

文章编号: 1009-671X(2021)05-0035-08

## An algorithm for missing detection of anti-vibration hammer on high voltage transmission line based on aerial image

WU Zhicheng<sup>1</sup>, LIN Xiugui<sup>1</sup>, XU Jiahao<sup>1</sup>, YE Qian<sup>2</sup>, LI Qingwu<sup>2</sup>

1. Quanzhou Power Supply Company, Fujian Electric Power Company, Quanzhou 362000, China

2. College of Internet of Things Engineering, HoHai University, Changzhou 213022, China

**Abstract:** The anti-vibration hammer on the high-voltage transmission line is subjected to various harsh natural conditions for a long time, which is easy to lead to the fall of the heavy hammer to fall. If the missing anti-vibration hammer is not replaced in time, the risk of wire fatigue and strand breakage will increase. In order to solve the problem of anti-vibration hammer inspection on high-voltage transmission lines, a detection method for the absence of anti-vibration hammers on high-voltage transmission line is proposed. Firstly, using HOG features and SVM classifiers to locate the anti-vibration hammer target of UAV aerial images, next, combined with the structural symmetry characteristics of the anti-vibration hammer, the positioned anti-vibration hammer is rotated to the horizontal state and then vertically projected. According to the distance difference between the projection coordinates of the heavy hammer on both sides and the projection coordinates of the line clamp in the projection distribution, whether the shock hammer is missing or not can be judged. The result shows that this method converts two-dimensional image data into one-dimensional data analysis, which not only ensures accuracy, but also simplifies the difficulty of analysis, and the processing speed is fast, which greatly reduces the influence of shooting light, target color and other factors on missing detection.

**Keywords:** anti-vibration hammer; HOG features; SVM; object detection; vertical projection; missing detection; high-voltage transmission line; rotation transformation

高压输电线路在电力系统中扮演着电能传输的重要角色, 架空输电线路暴露在自然环境中,

受到空气中风力的影响时刻处于震动状态<sup>[1]</sup>。高压输电线上的防震锤是为了减弱导线因微风掀起振动而设的, 防震锤安装后能产生与导线振动相位相反的运动, 从而使导线振动消除或减弱<sup>[2]</sup>。输电线路长期暴露在露天环境下, 使高压线上的防震锤经受风霜、雨雪、雷电等各种恶劣的自然条件影响, 因此重锤部分可能生锈脱落, 若不及

收稿日期: 2021-03-25. 网络出版日期: 2021-08-26.

基金项目: 国网福建电力供电公司科技项目 (QZFW2020GJT 060007).

作者简介: 吴志成, 男, 高级工程师.

李庆武, 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 李庆武, E-mail: 1834186657@qq.com.

时更换缺失的防震锤,会导致架空导线震动加剧,使导线局部疲劳断股的风险增加,最后可能造成整根导线折断的事故<sup>[3]</sup>。因此,在输电线路巡检过程中,对高压输电线路上的防震锤进行缺失检测非常重要。

国家电网公司在“十二五”规划中提出,要建立巡检设备的自动定位、跟踪、巡检全过程的数字化记录和在线智能诊断修复等功能<sup>[4]</sup>,以此可以有效地支撑对输电线路运行状态的可控、能控和在控<sup>[5]</sup>。近些年来,无人机与图像处理技术相结合的自动化设备与系统已在输电线路巡检中使用<sup>[6-9]</sup>。但是,使用无人机巡检系统对导线、杆塔、绝缘子等大目标的检测居多,对防震锤的缺失检测主要还是依据作业人员观测的方式<sup>[10]</sup>。由于防震锤悬挂于高空高压输电线上,距离地面数十米,且由于尺寸相对较小,肉眼很难准确排查防震锤是否存在缺失,人工巡检很难对高空中的防震锤进行准确有效地定位与缺失检测。本文采用机器学习与图像处理技术结合的方式,对无人机航拍图像中的防震锤进行定位、分割并作出缺失判断。

防震锤在无人机航拍图像中只占一小部分,由于其使用金属材质,重锤部分在阳光照射下容易反光,且航拍图像是在无人机上拍摄,难免存在轻微的运动模糊,会使图像的清晰度受到影响,使防震锤的定位与缺失检测存在困难。

本文分析了防震锤的结构特征与其在航拍图像中的位置、角度,提出了一种高压输电线上的防震锤缺失检测算法,首先采用方向梯度直方图(histogram of oriented gradients, HOG)特征的支持向量机(support vector machines, SVM)分类器对航拍图像中的防震锤进行定位并对定位到的防震锤区域进行缺失分析,缩小缺失检测的处理范围,然后将防震锤变换到水平状态,计算防震锤上两端重锤到线夹之间的距离差异,将二维图像转换为一维数据分析,以此来判别图像的缺失情况,降低了拍摄时的拍摄颜色和光照对检测结果的影响,适用性广,实用性强。

## 1 航拍图像中防震锤目标检测与分割

无人机航拍图像中防震锤区域的检测与分割是防震锤缺失检测的重要前提步骤,对航拍图像中的防震锤进行识别与分割,属于目标识别领域。在图像的目标识别中,机器学习由于识别性能高、鲁棒性能好以及操作便捷等优点备受关注<sup>[11]</sup>。金立军等<sup>[12]</sup>采用类 Haar 特征与级联 AdaBoost 算法的防震锤识别方法对防震锤进行识别,为防震锤的缺失检测奠定基础,王森<sup>[13]</sup>针对金立军的方法中鲁棒性不强的问题,提出了一种基于深度学习的防震锤检测方法,他们的方法对防震锤定位的准确率都很高。但是在无人机输电线路巡检中,由于缺失的防震锤与完整的防震锤特征相差较大,若仅对完整防震锤进行定位,往往会忽略缺失的防震锤,导致缺失的防震锤被漏检,那么对防震锤进行检测定位就没有意义。

本文采用 HOG 特征和 SVM 分类器对防震锤进行检测,在正样本中加入一些单个缺失的防震锤,以免缺失样本的特征与正常样本的特征差异太大,出现缺失防震锤直接被漏检的情况,使用 SVM 分类器训练的模型对航拍图像进行防震锤定位后,再将定位到的防震锤区域逐个进行缺失检测,最后得到防震锤的定位与缺失检测结果。

HOG 特征与 SVM 分类器是法国研究人员 Dalal 等<sup>[14]</sup>首先提出的用于行人检测的算法,如今目标检测的算法层出不穷,但由于 HOG 特征是在图像的局部方格单元上操作,图像的几何特性与光学特性都能很好保持,能容许样本之间的细微差异,在样本有细微变动增加的情况下不影响检测效果。基于 HOG 特征的目标识别采用了滑动窗口机制提取图像的外观边缘特征并对目标进行定位,如今已经广泛使用<sup>[15-18]</sup>。HOG 特征与 SVM 分类器进行目标检测是速度和效果综合性能较好的检测方法,因此被广泛应用与图像识别中<sup>[19-23]</sup>。使用 HOG 特征与 SVM 分类器对航拍图像中的防震锤进行定位的步骤如图 1 所示。

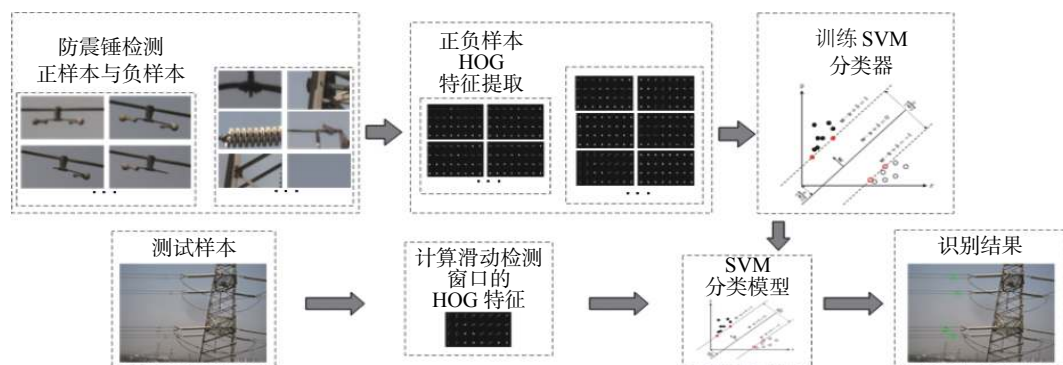


图1 使用 HOG 特征与 SVM 分类器对防震锤定位流程



### 1.1 提取样本的 HOG 特征并训练 SVM 分类模型

1) 准备大量的正负样本。其中正样本中不仅包含有未缺失的防震锤,还加入了一些存在单个缺失的防震锤,以免缺失样本的特征与正常样本的特征差异太大,出现缺失防震锤直接被漏检的情况。

2) 提取正负样本的 HOG 特征。

3) 将正负样本的 HOG 特征数据送入 SVM 训练器进行训练,得到检测模型。

### 1.2 测试样本

1) 采用固定大小的滑动窗口在测试样本上滑动,每滑到一个位置计算其 HOG 特征。

2) 将 HOG 特征送入检测模型得出检测结果。若测试样本中存在许多误检区域,说明误检区域的 HOG 特征与正样本的 HOG 特征相似,将误检区域放入负样本中,并截取一些与误检区域相类似的区域作为负样本,再进行训练。采用这种调整正负样本的方法训练多次,可以提高检测的正确率。航拍图像中防震锤定位效果示意图如图2所示。

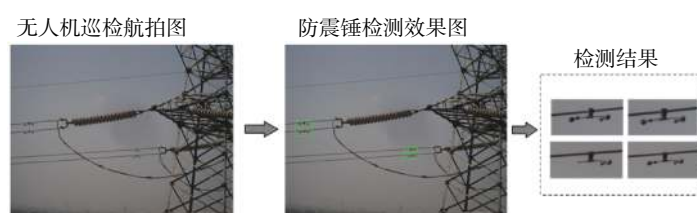


图2 防震锤定位效果

## 2 防震锤区域的缺失检测

防震锤一般由固定线夹、钢绞线与重锤3部分组成,重锤固定在钢绞线两端,使用时由固定线夹固定于高压线上,防震锤的型号总体可分为F型(对称)与FR型(非对称),不同型号的防震锤重锤摆放角度不同,但两端重锤距离固定线夹的位置相近。航拍图像中的防震锤多以天空为背景,天空背景较为纯净但是颜色略有差异。防震

锤在图像中的角度多样化,没有固定状态,且表面存在反光等现象,使防震锤二值图中呈现出重锤部分有凹陷的假象,在一定程度上影响对防震锤的缺失检测。

防震锤缺失检测需要对定位到的防震锤区域作进一步处理,判断出定位到的航拍图像中的防震锤是否存在缺失。本文根据防震锤的结构特征与其在航拍图像中的状态,提出了一种相对距离判别法来对防震锤进行缺失检测,具体步骤如图3所示。

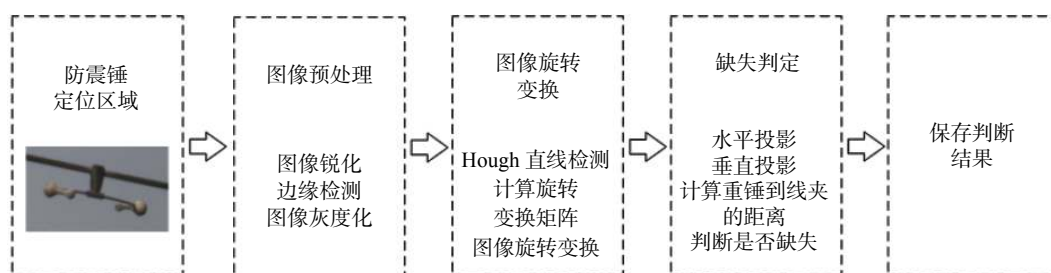


图3 防震锤缺失检测流程

### 2.1 图像预处理

1) 使用锐化增强算法对防震锤定位区域进行锐化增强,得到图像  $Img$ 。

2) 利用 Canny 边缘检测算法检测对防震锤图像  $Img$  进行检测,得到边缘图像  $Img_{Edge}$ 。

3) 对边缘图像  $Img_{Edge}$  进行灰度化处理,得到灰度化图像  $Img_{Gray}$ 。

### 2.2 图像旋转变换

1) 采用 Hough 变换检测边缘图像  $Img_{Gray}$  中的直线  $Line[i]$ ,  $i$  可取  $1, 2, \dots, n$ ,  $n$  表示检测到的直线的数量。

检测出来的直线为防震锤固定线夹所在电线的边缘,由于电线有上下2个边缘,所以检测到的直线通常不止一条,采用 Hough 变换检测到的直线可由式(1)表示:

$$\rho_i = x \cos \theta_i + y \sin \theta_i \quad (1)$$

式中:  $\rho_i$  为第  $i$  条直线与坐标原点的距离;  $\theta_i$  为第  $i$  条直线与横坐标轴的夹角;  $(x, y)$  为直角坐标系中直线上任意一点的坐标。

2) 计算所检测的直线与横坐标轴的夹角平均值  $\theta_{ave}$ 。

设检测到的直线  $Line[1], Line[2], \dots, Line[n]$  与

横坐标轴的夹角分别为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ , 则

$$\theta_{ave} = (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n) / n$$

3) 根据所检测的直线与横坐标轴的夹角平均值计算旋转变换矩阵, 实现图像的校正, 使防震锤旋转至水平状态。

设变换后的图像各点像素坐标为 $(X', Y')$ , 原图像 $Img$ 的各点像素坐标为 $(X, Y)$ , 若图像绕着图像原点顺时针旋转, 则满足

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

式中:  $\alpha = \cos \theta$ ,  $\beta = \sin \theta$ , 且  $\theta = \theta_{ave} = (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n) / n$ 。图 4 为图像旋转示意。

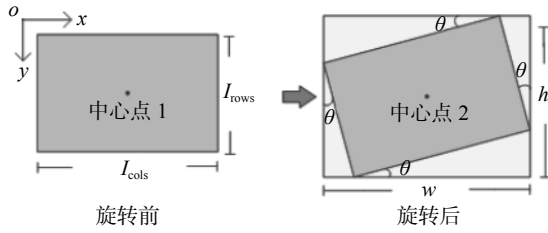


图 4 图像旋转示意

图像进行旋转变换后, 图像画布的大小从  $I_{rows} \times I_{cols}$  变成了  $h \times w$ , 且

$$\begin{aligned} h &= I_{rows} \cdot \cos \theta + I_{cols} \cdot \sin \theta \\ w &= I_{rows} \cdot \sin \theta + I_{cols} \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

式中:  $Img.rows$  表示原图像的高度;  $Img.cols$  表示原图像的宽度;  $h$  表示变换后图像的高度;  $w$  表示变换后图像的宽度。为防止图像旋转后跑出画布, 将图像绕着图像中心点  $(I_{cols}/2, I_{rows}/2)$  旋转, 图像旋转变换后的中心位置为  $(w/2, h/2)$ , 则有

$$\begin{bmatrix} X' - w/2 \\ Y' - h/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - I_{cols}/2 \\ Y - I_{rows}/2 \end{bmatrix}$$

设图像的变换矩阵为  $M$ , 则

$$M = \begin{bmatrix} \alpha & \beta & -\alpha \cdot I_{cols}/2 - \beta \cdot I_{rows}/2 + w/2 \\ -\beta & \alpha & \beta \cdot I_{cols}/2 - \alpha \cdot I_{rows}/2 + h/2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

4) 采用 OTSU 算法对防震锤图像  $Img$  进行二值分割, 得到防震锤为黑色, 背景为白色的二值图  $Img_{bin}$ 。

5) 根据图像变换公式 (2) 对图像  $Img_{bin}$  进行旋转变换, 旋转变换后图像的画布大小已经改变, 使用白色像素对空缺画布进行填充, 避免填充后对防震锤产生影响, 影响后续处理, 图像旋转变换后为  $Img_{bin}$ , 变换后的效果如图 5 所示。

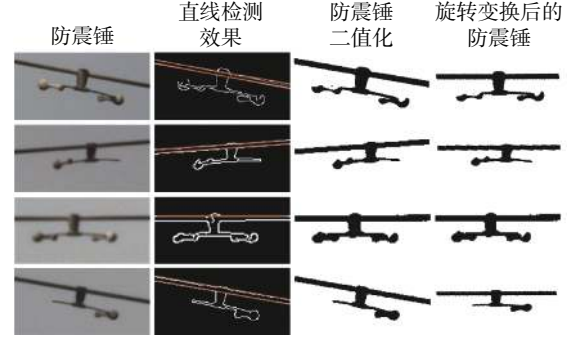


图 5 防震锤旋转变换效果

### 2.3 防震锤的缺失判定

1) 对图像  $Img_{Rot}$  进行水平投影, 求出防震锤所悬挂的高压电线的直径。

已知图像  $Img_{Rot}$  的高度为  $h$  像素, 宽度为  $w$  像素, 统计图像  $Img_{Rot}$  中每一行黑色像素的总数, 记为  $h_{or}[j]$ ,  $j$  表示图像的行数,  $j \in \{0, 1, \dots, h-1\}$ , 根据每行的黑色像素画出水平投影图, 将  $j$  从 0 取到  $h-1$ , 记录首个  $h_{or}[j] \geq a \cdot w$  时对应的行数  $j_1$  与首个  $h_{or}[j] < a \cdot w$  对应的行数  $j_2$ , 且  $j_2 > j_1$ ,  $a$  为一个常系数, 若电线横穿整个画布, 则  $a$  可取 1, 但二值图像进行旋转后, 画布大小已经改变, 且二值化图像边缘不平整, 为使电线的直径计算准确, 实验中  $a$  可取  $[0.5, 0.7]$ , 电线的直径为  $di$ ,  $di = j_2 - j_1$ 。

2) 对图像  $Img_{Rot}$  进行垂直投影, 求出两侧防震锤到线夹的距离。

统计图像  $Img_{Rot}$  中每一列黑色像素的个数, 记为  $v_{er}[k]$ ,  $k$  表示图像列数,  $k \in \{0, 1, \dots, w-1\}$ , 根据每列黑色像素画出垂直投影图。防震锤水平投影与垂直投影进行缺失检测的原理如图 6 与图 7。

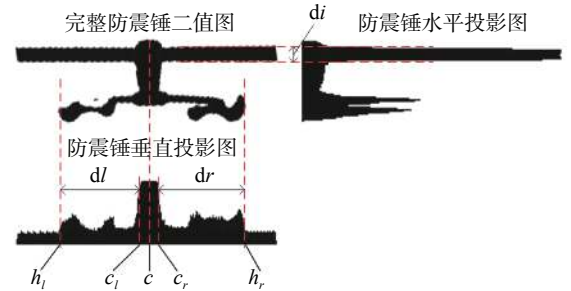


图 6 完整的防震锤投影检测示意

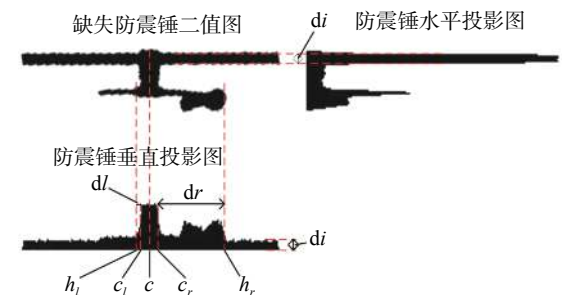


图 7 缺失的防震锤投影检测示意

在图像的每一列中,防震锤线夹部分所在列的黑色像素总和最多,记录 $v_{er}[k]$ 中的最大值为 $v_{max}$ ,由于 $v_{max}$ 可能对应垂直投影图中的多个横坐标,因此从垂直投影图中找到线夹的两侧对应的横坐标,再进行防震锤到线夹的距离计算,具体步骤如下:

首先,找出左侧防震锤重锤与线夹的相对距离 $dl$ 。

将 $k$ 从0取到 $h-1$ ,找出首个满足条件 $v_{er}[k] \geq a_1 \cdot di$ 的 $k$ 值,记作 $h_l$ ,同时找出首个满足条件 $v_{er}[k] \geq v_{max} - b$ 的 $k$ 值,记作 $c_l$ , $a_1$ 与 $b$ 皆为常系数,则 $dl = |c_l - h_l|$ 。由于电线的直径比防震锤上钢绞线的直径大,比防震锤上重锤部分的直径小,为避免防震锤缺失后钢绞线对缺失检测的影响,实验时取 $a_1 = 2$ 。若防震锤未缺失,定位到重锤部分对应位置,若防震锤缺失,定位到线夹的边缘位置。为减少垂直投影锯齿现象对线夹部分定位的影响, $b$ 取 $[0, 5]$ 皆可。

其次,找出右侧防震锤重锤与线夹的相对距离 $dr$ 。

将 $k$ 从 $h-1$ 取到0,找到首个满足条件 $v_{er}[k] \geq a_1 \cdot di$ 的 $k$ 值,记作 $h_r$ ,同时找出首个满足条件 $v_{er}[k] \geq v_{max} - b$ 的 $k$ 值,记作 $c_r$ ,则

$$dr = |c_r - h_r|$$

最后,比较 $dl$ 与 $dr$ 的差异,判断是否缺失。

若 $dl \geq a_2 \cdot dr$ ,则防震锤右侧缺失,若 $dr \geq a_2 \cdot dl$ ,则防震锤左侧缺失,否则防震锤不存在缺失,其中 $a_2$ 为缺失判定阈值,防止误检和漏检,实验中

$a_2$ 可取 $[2, 3]$ 。

### 3 实验结果与分析

为验证本文方法的可行性,采用大疆无人机搭载相机至高压输电线周围,以镜头微斜向上且与防震锤间无遮挡的角度拍摄防震锤,获得高压电力线上的防震锤图像。实验从防震锤定位的准确性测试和防震锤缺失检测的准确性测试两方面进行测试。

#### 3.1 防震锤定位的准确性测试

将无人机航拍图像分为训练样本集和测试样本集,其中训练样本集中有280张包含防震锤的航拍图像,280张图像中包含昏暗天气图像、轻微运动模糊图像与正常晴天拍的图像,测试样本集中包含昏暗光线航拍图像。运动模糊航拍图像与正常光照航拍图像各35张,航拍图像的大小为 $2048 \times 1536$ 。为避免过拟合现象产生,测试样本集中的图像与训练样本集中的图像互不相同。从所有的训练样本中截取共1500张防震锤图片作为正样本集,截取了2700张非防震锤图片作为负样本集。将正负样本分别提取HOG特征并投入SVM分类器中进行训练,根据训练结果调整数据集后再训练一次。

使用精确率和召回率来评价防震锤检测的准确性,3种类型的防震锤检测情况如表1所示。其中,

表1 不同类型的航拍图像中防震锤检测数据分析

航拍图像类型	防震锤实际数量	正检数	误检数	精确率/%	召回率/%
正常图像	189	187	6	96.89	98.94
昏暗光线图像	194	189	3	98.44	98.43
轻微抖动图像	193	188	9	95.43	97.40

$$\text{精确率} = \frac{\text{正检数}}{\text{正检数} + \text{误检数}}$$

$$\text{召回率} = \frac{\text{正检数}}{\text{所有的正样本数}}$$

由表1中的数据分析可以看出,使用HOG特征与SVM分类器训练的模型对正常光照的航拍图像、光线昏暗的航拍图像与无人机抖动时的航拍图像的精确率与召回率都比较高,通过召回率能看出航拍图像中的防震锤的漏检情况。

光线昏暗的情况下对检测的准确率没有很大影响,反而误检率数目有所降低,原因是航拍图像中通常包含电力塔和其他电力设备,难免存在与防震锤相近的结构,且由于金属材质在光线较强时会存在反光原,昏暗光线下的防震锤结构与

其他结构区别增大,且几乎不存在反光现象,使误检率降低。航拍图像在无人机上拍摄,难免存在轻微的抖动现象,使得拍摄到的航拍图像有了轻微运动模糊,对轻微抖动图像进行检测时,误检数量稍有增加,但是召回率与正常图像的差距不大。无人机航拍图像存在严重运动模糊时,防震锤的结构特征发生较大的变化,精确率与召回率都比较低,实验的意义不大。

部分检测结果示意如图8所示,其中图8(a)、图8(b)两列分别为正常光照时的航拍图像与检测结果;图8(c)、图8(d)两列为无人机轻微抖动时的航拍图像与检测结果;图8(e)、图8(f)两列为无人机在黄昏时刻光线昏暗时拍的照片。图8(c)中存



在一个误检区域,由于表 1 中的训练数据集的正负样本仅调整了一次,若再整理一些误检测区域和与物检测区域相近的区域投入负样本中进行训练,误检数量能明显降低。

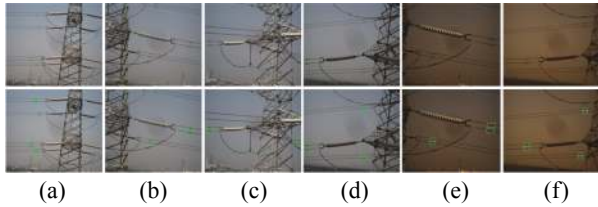


图8 使用 HOG 特征与 SVM 分类器对防震锤的检测效果

表2 防震锤缺失检测数据分析

测试图像总数	判别正确数量	判别错误数量	无法判别数量	误判率/%	漏判率/%
1400	1349	34	17	2.46	1.21

测试样本集中部分样本如图 9 所示,防震锤的角度各异,背景颜色变化不一。在防震锤缺失判断中,Hough 直线检测与 OTSU 图像二值化是图像能否被判别与能否被准确判别的关键步骤。若图像太模糊、边界不清晰等都可能影响缺失检测的准确性。

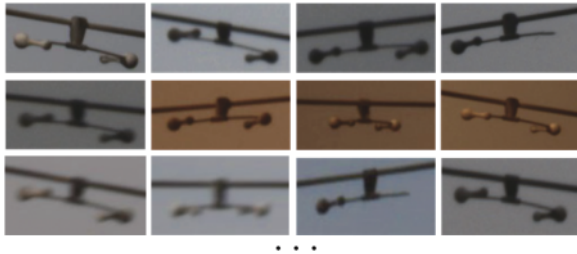


图9 防震锤缺失检测测试样本集中部分样本

由于防震锤为金属材质,在光照较强时,防震锤重锤部分表面存在严重反光,使得重锤的颜色与天空背景颜色融为一体,在缺失判断过程中,二值化图中的重锤部分凹陷严重,容易将反光严重的部分识别为缺失部分,实验证明缺失检测的误检图像部分为反光严重的图像,部分为存在遮挡的图像。测试图像中无法识别的图片大多为运动模糊剧烈、背景干扰严重与遮挡面积较大的图像等,判别错误样本与无法判别样本示意如图 10。图 10 中 a 行表示防震锤判别错误的样本示意, b 行表示无法判别的防震锤样本示意。防震锤缺失判定的主要步骤为 Hough 直线检测、OTSU 图像二值化、图像旋转校正、水平投影确定电线直径与垂直投影确定两端重锤到线夹之间的距离。缺失的防震锤检测过程示意如图 11。图 11 中分别包含防震锤较小、光线昏暗、

### 3.2 防震锤缺失检测的准确性测试

定位到航拍图像中高压线上的防震锤位置后,对防震锤所在的图像区域进行缺失检测。取航拍图像中的防震锤正确检测样本与训练样本集中的部分图像作为防震锤准确性检测的测试样本集,共取训练样本与测试时正检样本共 1400 张进行测试,实验数据如表 2 所示。其中,

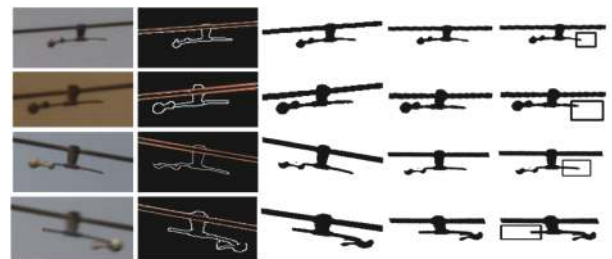
$$\text{误判率} = \frac{\text{判别错误数量}}{\text{测试图片总数} - \text{无法判别数量}}$$

$$\text{漏判率} = \frac{\text{无法判别数量}}{\text{测试图片总数}}$$

正常光照和轻微运动模糊的防震锤图像检测过程示意。



图10 判别错误与无法判别的防震锤示意



(a) 防震锤图 (b) 直线检测效果图 (c) 二值图 (d) 旋转校正图 (e) 缺失检测示意图

图11 防震锤缺失检测过程示意

### 3.3 防震锤定位与缺失检测的总体效果分析

对航拍图像进行防震锤定位后,将定位到的防震锤进行缺失检测,再将检测结果反馈至航拍图像上,用绿色框表示定位到无缺失的防震锤,用红色框表示定位到缺失的防震锤,检测效果如图 12 所示。图 13 给出了防震锤缺失检测软件界面,该软件的功能包括图像读取、防震锤定位与缺失检测等,同时可进行多次图像增强;展示界面原图、检测效果图、缺失的防震锤定位图与检测结果图;该软件能生成相关工作报告,工作报

告包含图像中定位到的防震锤总数量、缺失防震锤数量、缺失防震锤的位置与方位。

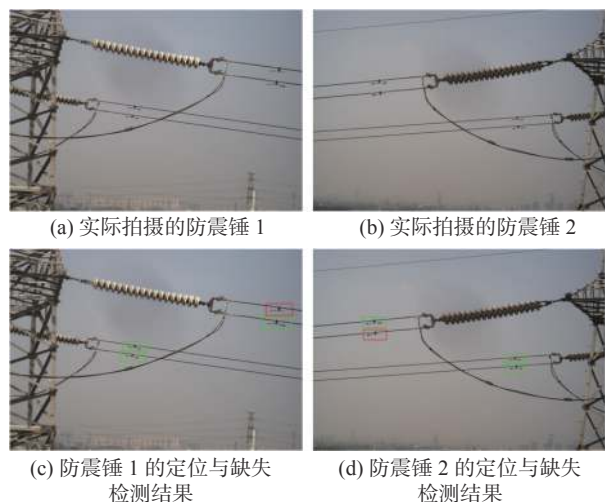


图 12 航拍图像中防震锤缺失检测效果



图 13 防震锤缺失检测软件界面

## 4 结论

由于防震锤在航拍图像中的占比很小,因此在使用无人机进行巡检时常常被忽略,在以往的研究中对于输电线路防震锤目标检测的论文较少,对其进行缺失检测也少有看到。本文使用机器学习的方法,再结合防震锤的结构特征,实现对防震锤的缺失检测。首先使用 HOG 特征值与 SVM 分类器对航拍图像中的防震锤进行定位,然后对定位的防震锤进行缺失检测:

1) 通过 Hough 直线检测求得防震锤所在高压线在图中的斜率。

2) 对图像进行二值分割,并根据求得的斜率将防震锤旋转至水平状态。

3) 对旋转后的图像进行水平投影与垂直投影,通过投影图分别求出防震锤两端重锤到线夹之间的距离,根据两侧重锤到线夹之间的距离差异判断出防震锤是否缺失。

实验证明,该方法对航拍图像中高压线上的

防震锤缺失检测的准确率较高,对光线昏暗的图像与存在轻微运动模糊的图像检测率都较高,且计算简单,将复杂的二维图像分析转换为简单的一维数据分析,在保证检测准确率的同时简化了分析问题的难度,加快了处理速度,具有较高的工程应用价值。

由于无人机对电力线巡检时通常以平行角度拍摄电力线,所以防震锤的背景多为天空背景。若防震锤的背景复杂,会影响到缺失检测的准确率。因此对复杂背景的防震锤进行缺失检测还需进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 刘新慧. 输电线路导线断股与损伤的图像识别算法研究 [D]. 西安: 西安工程大学, 2018.
- [2] 宋伟, 左丹, 邓邦飞, 等. 高压输电线路防震锤锈蚀缺陷检测 [J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(S1): 113-117.
- [3] 化雪丽, 孙毅. 防震锤的物理学原理及应用 [J]. 科技风, 2019(2): 31.
- [4] 赵志刚, 梁利辉. 直升机作业在超高压输电线路巡视与带电检修中的应用 [J]. 河北电力技术, 2013, 32(4): 9-11.
- [5] 胡彩石, 吴功平, 曹珩, 等. 高压输电线路巡线机器人障碍物视觉检测识别研究 [J]. 传感技术学报, 2008, 21(12): 2092-2096.
- [6] 刘狄. 输电线路远程智能图像识别巡检技术研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [7] 王银立. 输电线路导线断股及绝缘子自爆的图像识别算法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [8] 何思远, 刘刚, 王玲, 等. 基于无人机的输电线路设备识别方法研究 [J]. 红外与激光工程, 2013, 42(7): 1940-1944.
- [9] 姚京松, 杜勇, 吴军, 等. 基于无人机巡检的输电线路故障智能定位方法与研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019(3): 11-14, 18.
- [10] 焦红. 直升机巡检输电线路图像中防震锤的识别定位 [D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- [11] 张中伟. 无人机自动目标识别算法研究综述 [C]//2019 年 (第四届) 中国航空科学技术大会论文集. 沈阳: 中国航空学会, 2019: 331-337.
- [12] 金立军, 闫书佳, 刘源. 基于类 Haar 特征与级联 AdaBoost 算法的防震锤识别 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9): 1806-1809.
- [13] 王森. 输电线路图像上防震锤检测算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [14] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]//2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, USA: IEEE, 2005: 886-893.

(下转第 53 页)



- [17] IOFFE S, SZEGEDY C. Batch normalization: accelerating deep network training by reducing internal covariate shift[C]//Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning. Lille, France: JMLR. org, 2015: 448–456.
- [18] SZEGEDY C, VANHOUCKE V, IOFFE S, et al. Rethinking the inception architecture for computer vision[C]//Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, USA, 2016: 2818–2826.
- [19] TRAN D, RAY J, SHOU Zheng, et al. ConvNet architecture search for spatiotemporal feature learning [EB/OL]. (2017–08–16)[2021–02–27]. <https://arxiv.org/pdf/1708.05038v1>.
- [20] FEICHTENHOFER C, PINZ A, WILDES R P. Spatiotemporal residual networks for video action recognition[C]//Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems. Barcelona, Spain, 2016: 3476–3484.
- [21] SRIVASTAVA N, MANSIMOV E, SALAKHUTDINOV R. Unsupervised learning of video representations using LSTMs[C]//Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning. Lille, France, 2015: 843–852.

### 本文引用格式:

席志红, 冯宇. 基于改进型 C3D 网络的人体行为识别算法 [J]. 应用科技, 2021, 48(5): 47–53.

XI Zhihong, FENG Yu. A human behavior recognition algorithm based on improved C3D network[J]. Applied science and technology, 2021, 48(5): 47–53.

(上接第 41 页)

- [15] 尚俊. 基于 HOG 特征的目标识别算法研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [16] 耿庆田, 赵浩宇, 于繁华, 等. 基于改进 HOG 特征提取的车型识别算法 [J]. 中国光学, 2018, 11(2): 174–181.
- [17] 邓小宁, 孙琳, 陈念年, 等. 基于 HOG 特征的财务报表图像识别 [J]. 电子设计工程, 2019, 27(10): 87–91.
- [18] NAIEMI F, GHODS V, KHALES H. An efficient character recognition method using enhanced HOG for spam image detection[J]. Soft computing, 2019, 23(22): 11759–11774.
- [19] 任彧, 顾成成. 基于 HOG 特征和 SVM 的手势识别 [J]. 科技通报, 2011, 27(2): 211–214.
- [20] 徐超, 高梦珠, 查宇锋, 等. 基于 HOG 和 SVM 的公交乘客流量统计算法 [J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 446–452.
- [21] 李星, 郭晓松, 郭君斌. 基于 HOG 特征和 SVM 的前向车辆识别方法 [J]. 计算机科学, 2013, 40(S2): 329–332.
- [22] 徐渊, 许晓亮, 李才年, 等. 结合 SVM 分类器与 HOG 特征提取的行人检测 [J]. 计算机工程, 2016, 42(1): 56–60, 65.
- [23] 卜庆志, 裘君, 胡超. 基于 HOG 特征提取与 SVM 驾驶员注意力分散行为检测方法研究 [J]. 集成技术, 2019, 8(4): 69–75.

### 本文引用格式:

吴志成, 林秀贵, 许家浩, 等. 一种采用航拍图像识别高压输电线路防震锤缺失的检测算法 [J]. 应用科技, 2021, 48(5): 35–41, 53.

WU Zhicheng, LIN Xiugui, XU Jiahao, et al. An algorithm for missing detection of anti-vibration hammer on high voltage transmission line based on aerial image[J]. Applied science and technology, 2021, 48(5): 35–41, 53.