

文章编号: 1672-8785(2021)11-0041-06

基于热成像摄像机的输电导线 微风振动监测技术

曹康栖¹ 周 铁¹ 孟亚宏¹ 刘 继¹ 申 岩² 曹 越² 张钰业²

(1. 国网江苏省电力公司滨海县供电分公司, 江苏 盐城 224000;

2. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 导线微风振动的存在严重威胁着输电线路的正常运行。鉴于此, 输电导线微风振动监测系统的监测设备应具备抗磁能力强、精确度高、安装简易的特点。设计了一种基于热成像摄像机和图像处理技术的输电导线微风振动在线监测方案, 详细阐述了该方案在硬件和软件部分的实现方法。此设计可以在线实时、准确地测量导线的动弯应变大小, 并且具备抗电磁干扰的能力, 有效保证了输电导线微风振动的监测需求。

关键词: 微风振动; 热成像; 实时监测; 输电导线

中图分类号: TM755 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2021.11.006

Breeze Vibration Monitoring Technology of Transmission Line Based on Thermal Imaging Camera

CAO Kang-qi¹, ZHOU Tie¹, MENG Ya-hong¹, LIU Ji¹,

SHEN Yan², CAO Yue², ZHANG Yu-ye²

(1. Binhai County Power Supply Branch, State Grid Jiangsu Electric
Power Company, Yancheng 224000, China;

2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The existence of breeze vibration is a serious threat to the normal operation of transmission lines. In view of this, the monitoring equipment of transmission line breeze vibration monitoring system should have the characteristics of strong antimagnetic ability, high accuracy and easy installation. An online monitoring scheme of transmission line breeze vibration based on thermal imaging camera and image processing technology is designed. The implementation of the scheme in hardware and software is described in detail. The design can accurately measure the dynamic bending strain of transmission lines in real-time and online, and has the ability to resist electromagnetic interference, which effectively ensures the monitoring demand of the transmission line breeze vibration.

Key words: breeze vibration; thermal imaging; real-time monitoring; transmission line

收稿日期: 2021-07-22

作者简介: 曹康栖(1977-), 男, 江苏响水人, 高级工程师, 主要从事输变配工程管理、电力调度控制、电力基建工程建设管理等方面的研究。E-mail: zybh@vip.qq.com

0 引言

作为一种非接触式检测方法,红外热成像技术具有成像实时、操作简便、直观快速等优势,其发展也为输电线路的微风振动监测提供了新的思路。微风振动的现行测量方法是在一段时间内使用测振仪器进行现场安装测量并记录相关数据。但是由于现场测试时间有限以及测振仪器本身条件的限制,测量结果缺乏实时性。因此有必要研发输电线路微风振动在线监测系统来实时监测导线的振动情况。本文提出一种基于热成像摄像机的输电导线微风振动在线实时监测技术。采用热成像摄像机拍摄在风振中摆动的导线,利用视频处理技术、图像处理技术以及 Canny 算法对获得的红外图像进行处理,然后计算出输电导线的动弯应变,从而

间接评估导线是否发生微风振动。

1 微风振动在线监测的硬件设计

1.1 输电导线微风振动监测技术的硬件选择

本设计选择测温型热成像双光谱摄像机来获取输电线路的红外图像。它集高稳定性红外热像仪、高清可见光网络摄像机、智能云台于一体,具有精度高、距离远、直观方便等优点,可以很好地满足微风振动在线监测的需求。

1.2 总体架构及环境信息修正

本设计中在线监测系统的总体架构如图 1 所示。摄像机在线实时拍摄导线的弯曲振幅,并将数据直接上传至主机,然后主机计算得到导线微风振动的动弯应变、振动振幅和振动频率。



图 1 微风振动在线监测系统的总体架构

在输电导线微风振动的影响因素中,温度、降雨强度、降雪强度以及湿度对监测的影响较大,因此需要在与硬件配套的软件程序中进行修正(界面见图 2)。

修正信息	
气温 (°C)	<input type="text" value="20.0"/>
相对湿度 (%)	<input type="text" value="50"/>
能见度 (km)	<input type="text" value="20.0"/>
降雨强度 (mm/h)	<input type="text" value="0.0"/>
降雪强度 (mm/h)	<input type="text" value="0.0"/>
目标距离 (m)	<input type="text" value="5"/>
启用大气修正	1.00 <input checked="" type="checkbox"/>

图 2 环境信息的修正

2 输电导线红外图像预处理

热成像摄像机在拍摄过程中会受到环境、设备、人为等其它因素的干扰。这会对接下来的图像处理和算法分析产生一定影响。因此对输电导线红外图像进行适当的预处理,从而减少噪声干扰和提高图像质量。这对后续的图像分割、定位与分析具有重大意义。

2.1 彩色图像灰度化

现场拍摄回来的图像按照程度深浅被区分为不同颜色。若直接对其进行处理,则会导致系统整体运行速度降低。另外由于输电导线微风振动的识别对图像的要求不高,因此可将彩色图像转换为灰度图像后再对其进行下一步处理。彩色图像灰度化的公式为^[1]

$$Y=0.299R+0.587G+0.114B \quad (1)$$

2.2 红外图像的去噪处理

红外辐射除了在传输过程中的衰减误差以

外, 还会受到外部环境干扰、测量仪器内部物理量的随机变化以及人为不当操作等因素的影响, 从而产生一定的噪声。为了提高红外图像的质量并尽量避免噪声的干扰, 应对红外图像进行适当的去噪处理。由于导线红外图像一般受到高斯、椒盐噪声的混合影响, 本设计采用均值滤波与中值滤波相结合的混合去噪方法对输电导线红外图像进行去噪预处理。

均值滤波的实现方法是对给定邻域内像素的灰度值进行加权平均, 其计算公式为^[2]

$$g(x,y)=\frac{1}{W}\sum_{(i,j)\in S_y}f(i,j) \quad (2)$$

式中, $g(x,y)$ 表示处理后图像位置 (x,y) 处的像素值, W 代表模板 S 内的所有系数之和, S_{xy} 表示模板的中心点为 (x,y) , $f(i,j)$ 表示待处理的图像。滤波时, 采用式(2)依次计算中心点新的像素值, 直到整幅图像完全遍历为止。

作为一种非线性滤波, 中值滤波通过将像素灰度值从小到大或从大到小进行排序, 并将得到的中间值作为该区域中心点的新值来实现, 即

$$g(x,y)=\underset{(i,j)\in S_y}{\text{median}}\{f(i,j)\} \quad (3)$$

式中, $g(x,y)$ 表示处理后图像位置 (x,y) 处的像素值, S_{xy} 表示窗口 S 的中心点为 (x,y) , 窗口 S 一般取 3×3 或 5×5 , $f(i,j)$ 表示待处理的图像, 即对中心点为 (x,y) 处的像素点求灰度值。

采用混合滤波后, 不论是高斯噪声或椒盐噪声, 还是两种的混合噪声, 均受到了明显的抑制和消减, 符合去噪处理的预期。

2.3 直方图均衡化

在拍摄导线的过程中, 天空作为拍摄背景的情形占绝大多数。恶劣的气候环境下, 背景颜色与导线很接近, 大大增加了后续图像处理的难度。因此, 在预处理时要进行图像增强。本设计采用直方图均衡化方法。在图像的直方图中, 通过增大灰度间距来增大反差, 进而使图像的细节变得更加清晰。对于一些在图像中

所占像素数较少的过渡像素, 通过灰度变换将其归并为背景点或者目标点。应用直方图均衡化方法后, 图像中的边界更加陡峭, 边缘信息也更加清晰。对示例图像(见图 3)进行直方图均衡化后的结果如图 4 所示。



图 3 示例图片



图 4 直方图均衡化结果

2.4 对灰度图进行二值化

对图像进行二值化处理可以使图像变得简单、数据量减小, 更能凸显出感兴趣目标的轮廓。用灰度值 255 表示所有灰度值大于或等于阈值的像素, 用灰度值 0 表示背景或例外对象区域。对示例图像进行二值化后的结果如图 5 所示。

2.5 用 Canny 算法提取轮廓

本设计方案中采用 Canny 算法提取轮廓。该算法是一个多层次的边缘检测算法。典型的边缘检测可以显著减少图像数据, 同时保留原始图像的特性, 从而提取图像重要特征的轮廓。提取结果如图 6 所示。



图 5 二值化结果



图 6 Canny 算法的轮廓提取结果

3 输电导线微风振动监测技术的具体实现

对于经过预处理的红外图像，需要选择合适的算法来建立模板。利用视频帧间图像差异化的结果来综合评价输电导线是否发生了微风振动。本设计方案采用模板匹配法和帧差法作为算法核心来具体实现输电导线微风振动的实时监测功能。

3.1 图像分割及对感兴趣区域目标的提取

红外热成像摄像机在实验现场拍摄回来的视频中包含的物体要素越少，输电线的振幅就越明显。对视频中输电导线对象及其所处环境进行分割并对感兴趣区域进行提取，可以消除无关因素的干扰，进而初步实现热成像摄像机对输电导线微风振动监测区域的定位。

本设计方案选择 OSTU 算法作为输电导线和天空背景的分割算法^[3]。该算法是自适应阈值确定方法的一种，其原理如下：首先确定阈值 T ，使得背景区域与目标区域之间的类间方差达到最大值，进而减小虚假分割的可能

性，最终实现更好的分割效果。定义类间方差为

$$\sigma^2(T) = \omega_0(T)\sigma_0^2(T) + \omega_1(T)\sigma_1^2(T) \quad (4)$$

式中， ω_0 表示像素点位于目标区域的概率， ω_1 表示像素点位于背景区域的概率， σ 表示两个类别的方差。调整阈值 T 的取值，使得类间方差达到最大。

假设在一幅目标图像中，直方图分为 L 个等级，灰度值为 $0 \sim L-1$ ，各灰度值的像素数为 n_i ，则像素总数 N 为

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i \quad (5)$$

各个像素属于 i 等级灰度值的概率 p_i 为

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (6)$$

这幅图像的灰度平均值为

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i \quad (7)$$

当阈值确定为 T 时，灰度的平均值为

$$\mu = \sum_{i=0}^{T-1} ip_i \quad (8)$$

此时，划分为目标和背景两部分的概率分别为

$$\omega_0(T) = \sum_{i=0}^{T-1} p_i = \omega(T) \quad (9)$$

$$\omega_1(T) = \sum_{i=T}^{L-1} p_i \quad (10)$$

且

$$\omega_0(T) + \omega_1(T) = 1 \quad (11)$$

与此同时，灰度的平均值分别为

$$\mu_0(T) = \sum_{i=0}^{T-1} \frac{ip_i}{\omega_0(T)} = \frac{\mu(T)}{\omega(T)} \quad (12)$$

$$\mu_1(T) = \sum_{i=T}^{L-1} \frac{ip_i}{\omega_1(T)} = \frac{\mu - \mu(T)}{1 - \omega(T)} \quad (13)$$

因此，处理图像灰度的平均值为

$$\mu = \omega_0(T)\mu_0(T) + \omega_1(T)\mu_1(T) \quad (14)$$

可得类间方差为

$$\sigma^2(T) = \frac{[\mu \cdot \omega(T) - \mu(T)]^2}{\omega(T)[1 - \omega(T)]} \quad (15)$$

热成像摄像机在现场实验所拍视频中的待处理图像与经预处理后用 OSTU 算法分割的效果图分别如图 7 和图 8 所示。



图 7 视频中的待处理图像

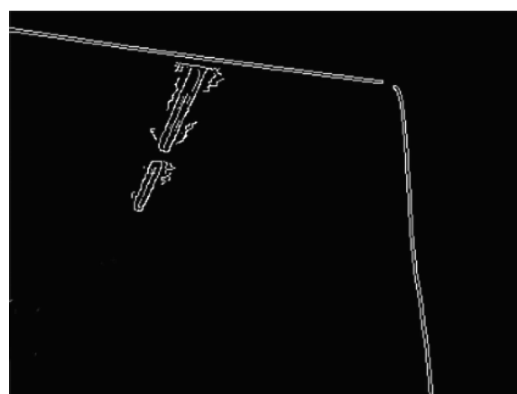


图 9 未经 ROI 提取时导线的红外图像

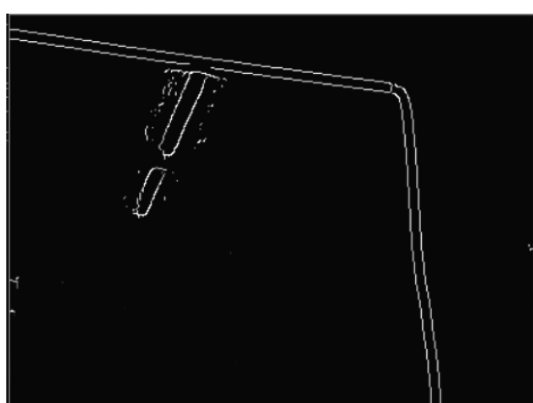


图 8 预处理后的 OSTU 分割效果

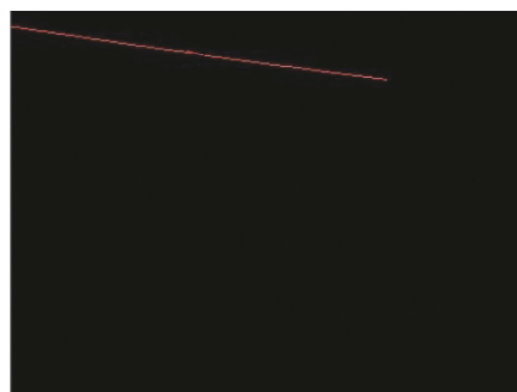


图 10 经 ROI 提取后导线的红外图像效果图

本设计采用 ROI 智能编码技术对输电导线红外视频的感兴趣区域进行提取^[4]。它可以在不损失图像质量的前提下, 根据要求优化视频编码性能, 最终实现感兴趣区域提取和区域定位。在监控画面中, 天空、耐张塔等区域是不需要监控的。智能 ROI 编码技术可以在画面中自由选择感兴趣的区域, 即对重要或移动的区域进行高质量的无损编码, 而对不移动、不被选择的区域则降低码率和图像质量, 压缩甚至不传输这部分区域的视频。

图 9 和图 10 分别为未经 ROI 提取的红外图像和基于 Visual Studio 2019+OpenCV 的红外热成像视频 ROI 目标提取的效果图。可以看出, 去除包括背景以及非水平悬挂导线部分在内的无关因素对记录及测量输电导线的垂直振幅有极大的帮助。

3.2 输电导线的视频差异化分析算法

输电导线红外视频差异化分析算法是输电

导线微风振动监测技术的核心算法。通过将视频中背景与目标分离, 分析并跟踪在摄像机内出现的目标, 从而得到导线振动时的信息。本设计采用帧间差分法对视频图像进行处理(流程见图 11)^[5]。

设 $f_k(x, y)$ 为视频序列图像, 其中 $k=0, 1, 2, \dots, N$, N 为视频图像的总帧数, (x, y) 为每一帧图像中各点的像素, 则

$$d_k(x, y) = |f_k(x, y) - f_0(x, y)| \quad (16)$$

$$D_k(x, y) = \begin{cases} 1, & d_k(x, y) \geq T \\ 0, & d_k(x, y) < T \end{cases} \quad (17)$$

式中, $d_k(x, y)$ 为图像 $f_k(x, y)$ 和 $f_0(x, y)$ 的差分图像, $f_k(x, y)$ 为 k 时刻的视频图像帧, $f_0(x, y)$ 为静止时的标准图像帧, T 是阈值。

在实验中, 将视频流中输电导线静止时的图像作为标准模板并进行一定的处理, 再对待测视频所有的测帧进行模板匹配, 从而确定视频中导线的垂直振幅和振动频率。采用帧间差分法检测运动目标简单实用且速度极快, 能够

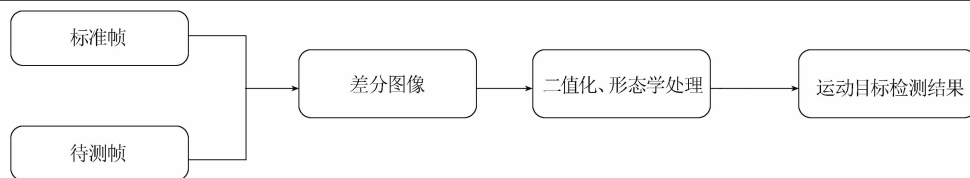


图 11 帧间差分法流程图

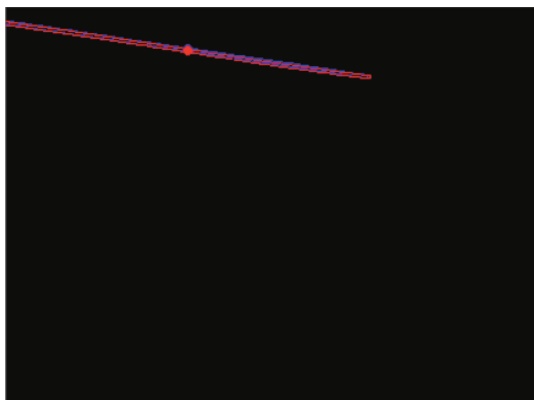


图 12 导线静止原始帧

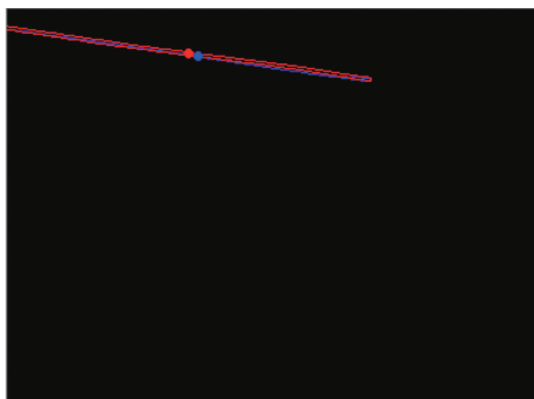


图 13 导线微风振动监测视频的测试帧

满足实时性视频监控的需求，并对监控场景的光照有一定的鲁棒性。图 12 和图 13 所示分别为输电导线微风振动监测视频中创建的原始帧模板和测试帧。

通过对比图 12 和图 13 可以看出，在导线的红外监测视频中，测试帧相比于原始帧有了位置的变化。两幅图在经过前面程序处理后相减并取绝对值，该值即为导线在微风作用下的

振幅。

4 总结

本文基于现有输电导线微风振动测量方法的不足，提出了一种可解决目前问题的新型微风振动在线监测技术。其中，硬件部分选择测温型热成像双光谱摄像机来实现对输电线路在线检测的图像采集。软件部分采用均值滤波与中值滤波混合的滤波方式进行图像去噪；采用基于阈值的分割方法来分割输电导线及背景，并采用 ROI 智能编码技术提取视频中输电导线所处的感兴趣区域，最后采用帧间差分法得到导线的振动信息。在本文提出的热成像监测方案的基础上，还可利用红外图像的特点来实现安防、电力设备的损坏与消防监控等功能，从而实现一机多用。因此，这是一个非常有价值的研究方向。

参考文献

- [1] 黄新波, 张焯, 程文飞, 等. 基于图像匹配的输电导线舞动监测方法 [J]. 高电压技术, 2014, 40(3): 808-813.
- [2] 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.
- [3] 赵梦. 基于红外图像的电力设备故障分析研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [4] 陈子龙. 向指静脉识别系统的 ROI 提取算法研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.
- [5] 李媛. 视频的运动目标检测跟踪算法研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2020.