

Detect Galloping Of Transmission Line Based On Video Monitor

WU Hui¹, SUN Feng-jie²

Collage of Electrical and Electronics Engineering in North China Electric Power University, Beijing, 102206

E-mail: 1. wuhui221@163.com 2. sfj@ncepu.edu.cn

Abstract: For detecting the galloping amplitude of the transmission line, a long-distance monitor system on detecting galloping of the transmission line which can receive the video image file from a camera is set up. This system makes the image that obtained from the camera get denoised and segmented at first. Then the system gets rid of some surplus background with the way of morphology. Finally, it recognizes the location of the transmission line and calculates the amplitude of the line. With the analysis of calculation results, a conclusion of the transmission line is galloping or not is made and is took down by this system. The result of experiment shows: This system is appropriate for actual project, because of the structure of this system is not complicated and the amplitude result of the power line detected by it with a simple way to process the camera image has a low error rate.

Keywords: Image Segmentation; Image Recognition; Galloping Recognition; Transmission Line

基于视频监控的单股输电导线舞动检测

吴 慧¹, 孙凤杰²

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京, 中国, 102206

E-mail: 1. wuhui221@163.com, 2. sfj@ncepu.edu.cn

【摘要】为了检测输电线的舞动的幅度, 建立了一个远程视频监控识别系统。此系统能及时将摄像头获取的视频图像进行去噪、分割, 并用形态学方式处理掉图像的剩余背景, 最后将输电导线识别出来并根据识别出来的图像比例对输电导线位置进行计算, 以得到此输电导线是否舞动的结论以及输电导线的舞动幅度。实验结果表明: 该系统结构简单, 处理方法简单易行且对于输电导线舞动幅度的判定误差较小, 能应用到实际工程当中。

【关键词】图像分割; 图像识别; 舞动识别; 输电导线

1. 引言

架空输电线路运行过程中会因自然条件的作用而发生多种灾害事故: 覆冰、弧垂、舞动, “舞动”就是其中危害较为严重的一种。架空输电线路的“舞动”是一种空气动力不稳定现象, 是输电线路导线不均匀覆冰后在风力作用下引起的一种低频率(约为 0.1~3Hz)、大振幅(约为导线直径的 20~300 倍)的自激振动现象。舞动一般较少发生, 但一旦发生, 便持续时间长, 常为数小时。由于舞动的幅度很大, 持续时间长, 易酿成很大危害, 轻则发生相间闪络、损坏地线和导线、金具及部件, 重则造成线路跳闸停电、断线、倒塔等严重事故, 从而造成重大经济损失^[1]。因此, 为了保证电网的安全可靠运行, 引入了传统的避舞、抗舞和抑舞等措施, 近年来,

还有国内外学者提出在线监测架空输电线路的方法, 以便及时的获取输电线路的运行状况, 并预警可能发生的事。

以往设计的输电线路在线监测系统有两种, 一种是直接将获取到的视频图像传送到监视终端进行人为监控。可是这种方法有两个弊病, 第一, 用人眼观测可能不准确, 并且不能收集和统计数据; 第二, 造成不必要的人工浪费。第二种方法是在输电线上安装各种传感器, 例如加速传感器、角度传感器等, 但需要收集大量传感器参数, 并且系统复杂, 一个环节出错就可以误报或者不报警。因此, 需要设计一种新方法, 即将采集到的视频图像分别进行分割、识别和计算, 并仅将最终得到的结果即输电线路的舞动幅度大小显示在监控器上并记录下来。它不需要工作人员进行干预或监控, 却能 24 小时

不间断的监视输电线路，并在灾害发生的时候能发出警告，以便维修人员及时完成补救工作。

本文的主要工作便是将获取到的架空输电线监控视频图像进行分割，识别及计算。由于高压输电线视频图像受天气和环境的特殊性，我们要充分考虑所得到的视频图像的有噪性和多变性，选用合适的方法将分割前的图像进行预处理。再通过输电线舞动的定义和特点，制定合理的计算方法，从而找到最合适的判定临界点。

2. 舞动

2.1 舞动的原理

当水平方向的风吹到因覆冰而变为非圆断面的输电导线时，会产生一定的空气动力。在一定条件下，它将会诱发导线产生一种低频率、大幅度的自激振动。就性质而言，这种振动属于驰震，英文表示为Galloping。由于其形态上下翻飞，形如舞龙，故称为舞动(Dancing)^[2]。

2.2 舞动的特性

舞动发生时，输电导线沿水平方向、垂直方向运动，且有扭动。由于覆冰截面形状通常为垂直放置的椭圆，受到的风动力主要为上升方向，受力分析如图1，于是架空线上某点的运动轨迹近似为垂直方向长轴的椭圆（如图2所示）。舞动的时间可能很长，例如2008年冰雪灾害事故中，长达70小时的舞动，造成大量输电线路杆塔倒塌。舞动的幅度有时非常大，据资料显示，500kv输电线路采用的导线外径26.82mm，而在08年事故中，部分地区舞动幅度达到8米以上^[3]，是输电线直径的300多倍。长时间舞动，会造成包括铁塔螺栓在内的金属器具严重磨损，而大幅度的舞动所产生的拉力，可能使已经磨损的线路断裂、脱落，最终导致线路跳闸。

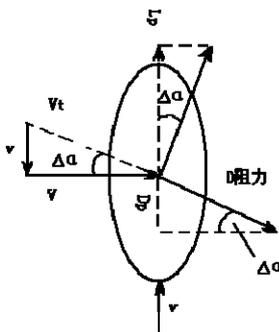


Figure 1. wire stress

图1. 导线受力图

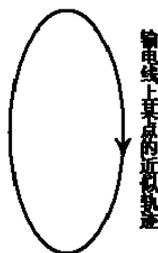


Figure 2. wire galloping section

图2. 导线舞动截面图

3. 图像处理与识别

3.1 图像技术简介

图像技术的两个重大分支便是图像处理与图像识别，图像处理与图像识别在实际工程应用中密不可分的。图像处理包括图像编码、图像增强、图像压缩、图像复原、图像分割等。图像识别技术是对预处理后的图像进行分类的方法。它在分割后的图片上，利用提取的特征，对图片进行标记、测量，最后达到识别的目的。

3.2 图像的处理

本文主要介绍图像处理中的分割原理。图像分割有三种不同的途径：其一是将各像素划归到相应的物体或区域的像素聚类方法，即区域法；其二是通过确定区域间的边界来实现分割的边界方法；其三是首先检测边缘像素，再将边缘像素连接起来构成边界形成分割^[4]。本文将要用到的是区域法，利用二维最大类间方差法（2D-OTSU）法选取最佳阈值将图片进行二值化。但是二值化的过程遇到一个严重问题，就是信号都是有噪声的，噪声可能影响到二值化的结果，为解决这一问题，要先对信号进行平滑滤波，去噪^[5]。

3.3 图像的认识

图像识别技术是在分割的图片的基础上选取需要提取的特征；并对某些参数进行测量；再从测量结果中提取这些特征；最后根据测量结果作分类^[6]。其中，结构元素的选取尤为重要，它必须结合要识别物体的特征而存在，这样，与结构元素形状或特点接近的特征便能被识别出来。由于输电线形状比较规则，本文选用八连通方法对图像进行识别，能简单准确的将输电线标记出来，不会被漏判或者错判。

4. 输电线舞动检测实验

4.1 图像的分割

输电线舞动有三种模式：横向，纵向和扭转。扭转舞动一般用抑舞方式解决，再由于摄像头是装在电线杆上水平拍摄的，所以本文是将输电线的横向位移作为舞动幅度的判定依据。

拍摄无风情况下，输电线正常状况的实验室模拟图片作为基准图片（如图3）。再拍摄实验室中模拟得到的舞动图片（如图4）。首先，对图3和图4的图像依次进行灰度、去噪、增强等一系列处理，然后再对图像进行分割。与一维直方图的分割方法相比，二维最大类间

方差法能有更好的分割精度和准确度。二维直方图中，横坐标表示该点的灰度值*i*，纵坐标表示该点的邻域平均值*j*。用直方图中任意点(*s, t*)进行分割的时候，得到图像背景与目标的差分值：

$$B(s, t) = \omega_0(s, t)[(u_{0i} - u_{zi})^2 + (u_{0j} - u_{zj})^2] + \omega_1(s, t)[(u_{1i} - u_{zi})^2 + (u_{1j} - u_{zj})^2] \quad (1)$$

其中， $\omega_0(s, t)$ 和 $\omega_1(s, t)$ 分别表示背景类和目标类在整幅图像中所占的比例， u_{0j} 和 u_{1j} 分别表示背景类和目标类的灰度均值， u_{0i} 和 u_{1i} 分别表示背景类和目标类像素点对应的邻域均值*j*的均值， u_{zi} 表示整幅图像的灰度均值， u_{zj} 表示整幅图像像素点邻域均值*j*的均值。

程序中用到微粒群算法求

$$B(s_0, t_0) = \max_{0 \leq s, t \leq L-1} \{B(s, t)\} \quad (2)$$

的最大值时的(*s*₀, *t*₀)参数，以得到最佳分割阈值，即分别得到将输电线分割出来的基准与舞动图像（如图5与图6）。最后将分割出来的两幅图以数字状态分别存在两个独立的二维数组中。

分割后的图片，除了存在需要被识别的目标外，还存在一些背景元素，由于与需要识别的目标相比，背景元素较小，线条较细，便可以用形态学上的腐蚀进行消除，再用膨胀法对图像中的目标输电线进行还原。由于输电线分割出来是个连通区域，所以用全方位腐蚀的结构元素A对图像P1进行全方位腐蚀得到P2，再对结果图像进行纵向膨胀即P3，得到图7与图8。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ 分别为腐蚀和膨胀算法}$$

的结构元素，用下面2个公式进行计算。

$$P_2 = P_1 \ominus A = \{x : A + x \subset P_1\} \quad (3)$$

$$P_3 = P_2 \oplus B = \bigcup \{P_2 + b : b \in B\} \quad (4)$$

图3与图4均为已灰度化的实验室拍摄的模拟输电线图片；图5、图6、图7与图8都来自采用VC6.0软件在PC上进行编写的程序，并且经过调试的结果图。

4.2 图像的识别

由上面得到的输电线图像的二值化图可知，当像素值为1的时候，该像素表示的黑点，当像素值为0的时候，该像素点表示白色点。图像识别中，标记是非常重要的环节，如果仅仅用识别图像中的黑点，就可能将噪声点当作输电线处理了，所以我们需要更精确的识别算法。

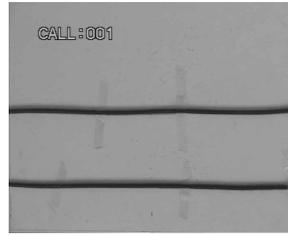


Figure 3. without wind

图3. 无风时基准图像

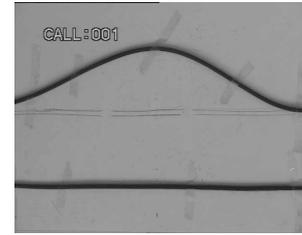


Figure 4. galloping simulation

图4. 模拟的舞动图像

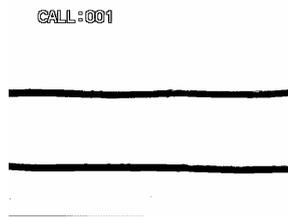


Figure 5. segmentation of standard

图5. 分割后的基准图像

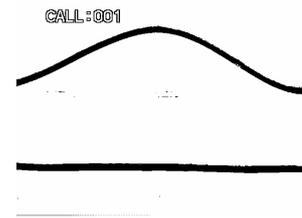


Figure 6. segmentation of galloping

图6. 分割后的舞动图像

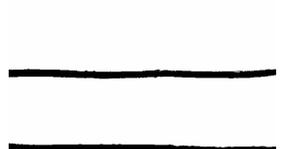


Figure 7. processed standard

图7. 处理后的基准图像



Figure 8. processed galloping

图8. 处理后的舞动图像

再考虑到输电线的特点，是个长条状的连通区域，便能用八连通算法对图像中的连通区域进行标记。这样，非联通的噪音便不会被标记成输电线，毛刺也能被消除掉。八连通算法是这样实现的，首先读取第*i*行，第*j*列的像素点，如果读到的结果是“1”，那么便以这个点位中心，分别读取九宫格的外围八个点的数值，如果全为“1”那么将这个点判断为输电线区域，标记为“2”。将下面那根输电线图案标记为“3”以示区别。运行程序后得到的结果是，图像中背景的部分，用数字0代替，而输电线部分分别用标记2和标记3表示，并将标记都存在一个与图像分辨率一致的二维数组中。于是，只需要读取此标记数组，便能知道两条输电线在某个横向位

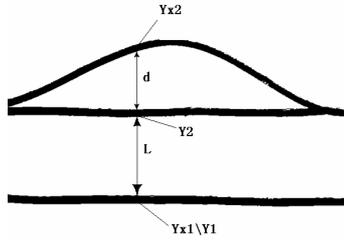


Figure 9. calculate of galloping amplitude

图 9. 舞动计算

Table 1. data of experiments

表 1. 两次实验数据

第一次实验结果	实测结果	机测结果
上侧线舞动距离	7.71	7.68202
下侧线舞动距离	0	0.096629
第二次试验结果		
上侧线舞动距离	7.8	7.86321
下侧线舞动距离	1.5	1.567825

注：标准参考间距第一次取 8.6，第二次取 8.9。

置 x 的纵向坐标 Y_{x1} , Y_{x2} , 用于后面的计算。

4.3 舞动的计算

输电线路的位置发生了改变，但到底改变了多少，究竟有没有达到舞动的程度，需要定量的计算才能得到结果。为了方便比较，将基准图像与检测图像重合在一起，如图 7 所示，在当下 x 坐标下，测到基准图片的纵坐标分别为 Y_2 , Y_1 ，而检测图像中输电线路纵坐标为 Y_{x1} , Y_{x2} ，两输电线路间距的像素为 $L = Y_1 - Y_2$ ，同一根输电线路的位移像素为 $d = Y_{x2} - Y_2$ 。由于图片中其中一根输电线路的舞动幅度和两线间距的像素差比例与实际情况下输电线路舞动幅度和两线间距是成正比的，于是有 $D/L = A/d$ ，其中 D 为两根输电导线的间距， A 为所测输电线路的舞动幅度。

以实验图片中纵向位移最大的点为例，由于 $D/A = L/d$ ，由程序得出 $L = 178$, $d = 159$ ，人工测量到 $D = 8.6\text{cm}$ ，所以算出 $A = 7.68202\text{cm}$ ，而用人工测量到舞动幅度的结果是 $A = 7.71\text{cm}$ ，计算出误差为 0.363%。

上面的计算只取了幅度最大的点用来计算，但实际的编程中，是将输电线路上的每个点都进行舞动检测，并取舞动幅度最大的点作为舞动检测的结果，这样的

话，即使拍摄到的并列的两条输电线路并不平行，也能分别算出准确的舞动幅度。下表是将两次实验数据进行对比的结果，第一次实验仅仅挪动下侧输电线路的位置，第二次实验两根输电线路的位置都发生改变。两次实验结果误差均不超过 1%，故认为此方法能在实际工程当中应用。

5 结束语

舞动是输电线路安全的重大隐患之一。因此，对高压输电线路进行监控是非常必要的，本文将视频图像处理融入到高压输电线路舞动的检测当中，构建了一个独立的监控处理系统，在此系统中完成图像的分割处理计算功能，再将结果传送到远程终端，极大的缩小了远程传输的数据量。该系统结构简单，程序的移植性好，通信网络压力小，非常适合在实际工程当中应用推广。但不足的地方是，此算法忽略了输电线路的直径，如果输电线路膨胀或者覆冰，将使计算的误差增大。

References (参考文献)

- [1] Zhang Ming, Cheng Xiongbo. Galloping principle and anti-galloping research of overhead transmission line[J]. *Journal of Hubei Electric Power*, 2008, 32(1):43-46.
张鸣, 程雄波. 架空输电线路导线舞动机理及防舞动研究[J]. 湖北电力, 2008, 32(1):43-46.
- [2] Zhang Zhongting. Design principle of overhead transmission line[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010, 136.
张忠亭. 架空输电线路设计原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010, 136.
- [3] Lu Ming, Sun Xinliang, Yan Dong. Cause of conductor galloping tower collapse at Yaoshao 500kv transmission line[J]. *Electromagnetic arrester*, 2008, (3):3.
卢明, 孙新良, 阎东. 姚邵线舞动倒塔事故分析及对策[J]. 电瓷避雷器, 2008, (3):3.
- [4] Li Yong. Image segmentation technology study[J]. *Science and Technology Advisory Guide*, 2007, (5):167.
李勇. 图像分割技术探究[J]. 科技咨询导报, 2007, (5):167.
- [5] Liu He. Digital Image Processing and Applications[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006, 116-118.
刘禾. 数字图像处理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006, 116-118.
- [6] Bobo Duan, Chunyang Yang, Wei Liu, Xuezhi Wen, Huai Yuan. A Study on Hybrid Approaches in Image Recognition System. Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2007:1072~1076.
- [7] Yang Shuying. VC++ Image Processing System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.