

基于 Freeman 改进准则的输电线断股识别

刘鲲鹏¹, 王滨海^{2,3}, 陈西广³, 金立军^{1*}

- (1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804;
2. 山东电力研究院 国网公司电力机器人技术实验室, 山东 济南 250002;
3. 山东鲁能智能技术有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 为了解决输电线断股故障识别问题, 将图像处理识别技术应用到电力系统故障检测中, 在 Freeman 检测直线准则的基础上进行了改进, 提出了一种简单高效的检测输电线断股故障的算法。该算法根据输电线端点特征识别出端点, 并通过端点对输电线图像进行水平校正, 再根据输电线断股故障的特征提出用 Freeman 链码标记异常处的一些相关的点, 计算这些点与输电线边缘之间的垂直距离, 以此距离来判断输电线是否存在断股故障。理论分析和实验结果证明, 该算法可行、有效、识别率高。

关键词: 链码; 水平校正; 断股; 识别

中图分类号: TM755

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)02-0211-04

Damaged cables recognition based on improved Freeman rule

LIU Kun-peng¹, WANG Bin-hai^{2,3}, CHEN Xi-guang³, JIN Li-jun¹

- (1. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;
2. State Grid Electric Power Robotic Laboratory, Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China;
3. Shandong Luneng Intelligence Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: In order to solve the problems of transmission line fault detection, applying image recognition technology to power system fault detection, a simple and efficient algorithm to detect damaged cables was proposed. Based on Freeman rule, a new rule to mark some abnormal points was proposed according feature of damaged cable after level correction. The vertical distance between these abnormal points and the benchmark transmission line can be calculated, and used to detect damage of transmission lines. Theoretical analysis and experimental result shows that the algorithm is feasible and efficient as well as high recognition rate.

Key words: chain code; level correction; damaged cables; recognition

0 引言

输电线是电力系统的重要组成部分, 具有输送和分配电能的重要作用, 作为电能输送的主要途径, 架空输电线的可靠性是电力系统安全运行和对用户持续供电的前提, 同时也是保证系统设备安全的必要条件, 其在电力系统安全中的作用显得尤为重要。由于长期暴露在自然环境中, 输电线不仅承受正常机械载荷和电力负荷的作用, 还经受污秽、雷击、强风等侵害。多种因素将会促使输电线疲劳、氧化和腐蚀, 以至

于出现断股。如不及时发现和消除, 就可能对电力系统的安全和稳定构成威胁^[1]。

输电线巡检是有效保证输电线安全、提高供电可靠性、确保输变电路最小故障率的一项基础工作^[2]。国家电网正在大力研发基于图像的输电线路缺陷自动识别系统研究, 通过对输电线路图像的处理, 识别出输电线中的各种故障。

目前在国内外通过可见光图像识别输电线断股故障的研究尚属空白, 故笔者对输电线断股识别进行研究。

收稿日期: 2011-09-23

作者简介: 刘鲲鹏(1986-), 男, 山东日照人, 主要从事输电线故障检测方面的研究。E-mail: ilikunpeng@gmail.com

通信联系人: 金立军, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: jinlj@tongji.edu.cn

1 改进 Freeman 准则

1.1 图像分割及校正

由于获取的图像可能存在一些非线性噪声干扰,如椒盐噪声等,故需要对图像进行滤波,研究中采取中值滤波^[3],因为中值滤波既能有效地消除非线性噪声,又能很好地保留边缘信息。滤波后的图像,只需分割提取其中某些目标或者对象,即图像中特定的、具有独特性质的区域。研究中的输电线图像中输电线与背景有明显的阶跃边缘,所以本研究采用 Canny 算子对图像进行分割。Canny 算子的主要特点是:①低误判率,即尽可能少地把边缘点误认为是非边缘点;②高定位精度,即准确地把边缘点定位在灰度变化最大的像素上;③抑制虚假边缘^[4-5]。

图像进行边缘提取之后,图像成为锯齿或者阶梯状,如果应用 Freeman 链码对图像进行边缘跟踪,链码相互交替出现,这样会为后续断股识别造成较大的困难,所以针对该问题,本研究根据图像中输电线的斜率对图像进行旋转,将输电线以某个旋转中心按照一定的方向旋转成水平,即可极大地减少输电线断股识别的困难和提高识别速度。

为了获取输电线的斜率,需要查找输电线在图像边缘的端点,由于处理图像的过程中是以矩阵形式进行计算,在对图像进行边缘提取并二值化后保留输电线边缘,则输电线端点在图像边缘中的单像素阵列只有 4 种 3×3 矩阵^[6],如图 1 所示。

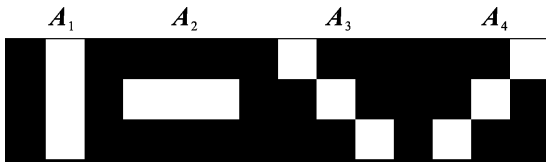


图 1 图像边缘中直线端点阵列

图 1 中阵列体现在矩阵中如矩阵 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 :

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

本研究对二值图像矩阵中的数据分别从左边缘和右边缘的第一行开始搜索检测,检测到左边缘第 1 个点 P 记录其行与列 (x_p, y_p) ,同理右边缘第 1 个点 Q (x_q, y_q) 。本研究根据两个点的坐标计算输电线的斜率:

$$k = \frac{y_p - y_q}{x_p - x_q} \quad (5)$$

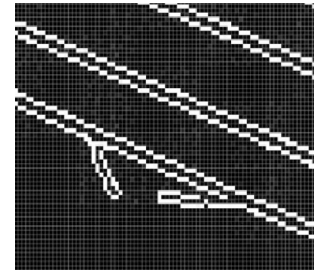
旋转中心点为 $O(x_o, y_o)$,则:

$$(x_o, y_o) = \left[\frac{x_p + x_q}{2}, \frac{y_p + y_q}{2} \right] \quad (6)$$

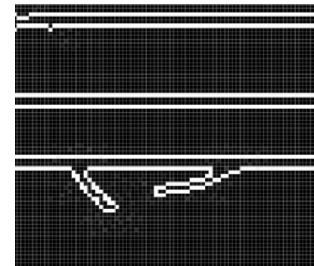
当 $k < 0$ 时,图像顺时针旋转 $\theta = \arctan|k|$ 角度;

当 $k > 0$ 时,图像逆时针旋转 $\theta = \arctan|k|$ 角度。

输电线断股故障校正前后的局部放大对比图像如图 2 所示。由图像可以清晰看出校正前的锯齿或者阶梯状的输电线边缘得到消除。



(a)校正前



(b)校正后

图 2 校正前后输电线边缘局部放大图像

1.2 改进的 Freeman 准则

离散空间中的直线呈现出连续空间的直线所不具备的一些特征,尤其是 Freeman 总结了这些特征并提出了数字直线的链码应遵循的 Freeman 准则^[6]:

(1) 一条数字直线的 8 邻域链码中最多包括两个方向,其中一个为主方向,它是决定直线方向的主要因素;

(2) 这两个方向的链码值相差为 $1(\text{mod}8)$;

(3) 主方向上链码值相同的连续像素组成一个线段子元,除去第一个和最后一个线段子元,其余各线段子元的长度至多相差一个像素。

与基于 Freeman 链码检测直线^[7]不同,图像经过校正以后输电线的阶梯明显减少,为断股故障识别减少大量的干扰。在经过充分理解和应用 Freeman 准则的前提下,笔者总结改进并提出了新的准则。准则如下:

(1) 图像中一条直线的 8 邻域链码中只包含一个方向,也即主方向;

(2) 图像中同一条链码存在非主方向的像素其链码与主方向的链码相差至少为 1;

(3) 链码与主方向链码不同且有一定距离的点不是主方向的点。

该准则适用于将图像进行如图 2(b)所示的校正之后,即输电线二值图像的边缘阶梯尽可能地减少或者消除之后。

2 输电线断股故障识别

本研究根据上述准则针对输电线断股识别提出较为高效实用的算法。扫描图像中输电线边缘,然后根据 Freeman 链码分别标识出输电线边缘链码为零和不为零的像素点并存储到存储单元中,每条像素序列为一个 Chain 序列,计算各序列中存储的 Freeman 链码不为零像素点与该序列的基准线之间的距离^[8]确定该点是否属于断股故障点。算法流程如下所述:

步骤 1: 扫描输入校正和分割后的二值图像边缘,检测并记录每一输电线的边缘像素序列的 Freeman 链码值,并将每一个边缘存储到相应单元 Chain 中。

步骤 2: 每一个序列 Chain 中检测到 Freeman 链码为零且连续最长的一段为基准线或基准链,其某一坐标为 $(L_{xi}, L_{oi}) i=1, 2, 3, 4 \dots$ 由于校正后每条序列中的基准链像素处于同一纵坐标,则 L_{oi} 不变。

步骤 3: 在当前一像素序列中计算 Freeman 链码不为零的像素点与该序列中基准链之间的垂直距离,并与阈值相比较。

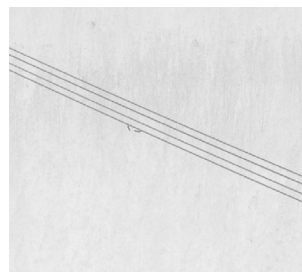
在每一序列单元 Chain 中存储各个输电线边缘像素点,且由 Freeman 链码标识。由于输电线是经过水平校正过的,则每个像素序列必定有一个基准线。根据存储顺序计算每个 Chain 中链码不为零的像素点 $(X_i, Y_i) i=1, 2, 3, 4 \dots$ 与基准线之间的距离。不为零像素点与基准线的垂直距离 S_i 为:

$$S_i = |L_{oi} - Y_i| \quad (7)$$

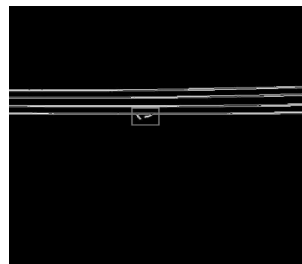
本研究根据文献^[9]和实验测试可设定阈值为 3 像素,即当 $S_i > 3$ 时,该像素点为非正常点;当 $S_i \leq 3$ 时,该像素可以忽略。当非正常点数大于 3 时可以将该处故障判为断股。

航拍输电线图像经过校正、分割及断股局部放大图像如图 3 所示,其中就存在断股故障,局部而言有两条独立的 Freeman 链码轮廓其中一条全为零,计算中可以忽略,而另一条则将各像素点存储在一个单元 Chain 中。

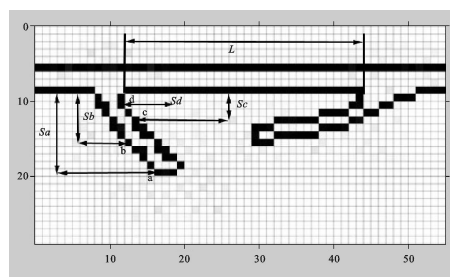
该像素序列中,本研究选点 Freeman 链码为零且



(a) 原始图像



(b) 分割并校正后图像



(c) 故障局部放大后故障像素点与基准链距离

图 3 经过处理前后及故障局部放大图

连续最长一段为基准线(即图 3(c)中 L),则其相对纵坐标 $L_{oi}=9$ 。依次计算其中链码值为非零的像素点与基准线之间的距离,如 a, b, c, d 点的 Freeman 链码均为非零,其坐标分别是 20, 17, 14, 11, 分别计算这些点与 L 之间的距离, $S_a = |20 - 9| = 11 > 3$, 则 a 点为故障点; $S_b = |17 - 9| = 8 > 3$, 则认为 b 为故障点; $S_c = |14 - 9| = 5 > 3$; d 点与 L 之间的距离 $S_d = |11 - 9| = 2 < 3$, 则该点小于阈值,则认为该点为正常点。综上所述,集合 S 中垂直距离大于 3 的点为 3 个以上,所以认为该条输电线存在断股。

3 结果分析

经过 VC++ 编程测试^[10],系统界面如图 4 所示,系

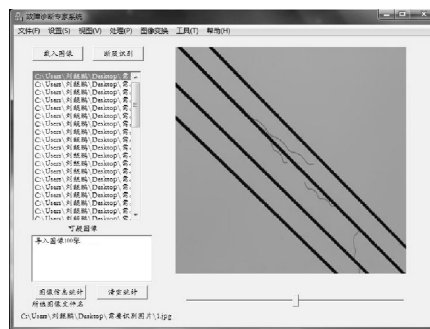


图 4 断股识别系统界面

统导入 100 张图像,其中带有断股故障的图像有 10 张,其余全部为正常输电线图像。

识别结果如表 1 所示,10 张断股图像全部检测出,误将正常图像判为故障有 4 张。诊断结果中 3 类误判图像如图 5~7 所示。

表 1 断股识别结果

识别结果	实际	
	无故障	故障
无故障	86 张	0 张
故障	4 张	10 张



图 5 误判一

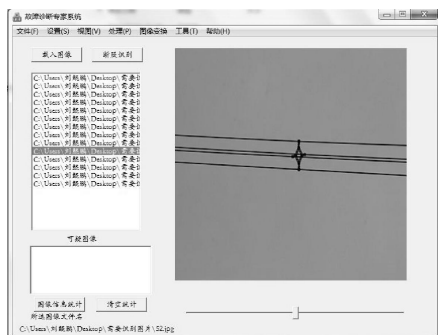


图 6 误判二



图 7 误判三

由表 1 可知,该系统故障识别率为 100%,误判率为 $4/100 \times 100\% = 4\%$,可以比较准确地将带有断股故障的图像识别出来,可能有较低的几率误判。

对误判图像进行分析,可以得到故障诊断系统误判的 3 类原因:①如图 5 所示,有两条线路交叉,在校

正的时候会出现错误,则计算 Freeman 链码与系统指定基准线间距离时出现误判;②如图 6 所示的输电线中包含间隔棒,图像校正后系统会将间隔棒中 Freeman 链码不为零的像素点点误认为故障点;③如图 7 所示的铁塔的存在导致 Freeman 链码不为零的像素点增多,进而会误判。

4 结束语

综上所述,该算法能够在理想条件先比较准确和高效的识别出输电线断股故障。笔者通过充分学习理解 Freeman 检测直线的准则,在将图像进行校正后,并根据输电线故障的特征提出关于输电线断股故障描述的准则。在新准则基础上找出输电线异常点,并计算与基准线的距离。该算法能够比较有效地识别断股故障,且识别率高,满足工程需要,实用价值高,提高了电力系统故障诊断效率。断股诊断系统对存在铁塔、间隔棒和交叉输电线的图像尚有误判,主要是该算法对环境背景过于敏感,这为后续科研工作提出了新的要求。

参考文献 (References):

- [1] 岳国庆. 高低压电力电缆线路的运行维护[J]. 山西煤炭, 2005,25(3):33-34.
- [2] 陈 刚. 电力线路巡检管理系统的研究[D]. 贵州:贵州大学电气工程学院,2006.
- [3] 张旭明,徐滨士,董世运. 用于图像处理的自适应中值滤波[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(2):295-299.
- [4] 李 博,王治平,刘俊标. 基于 Canny 算子的新型盲用图形生成技术[J]. 现代科学仪器,2011(3):17-20.
- [5] 陈 强,朱立新,夏德深. 结合 Canny 算子的图像二值化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(6):1302-1305.
- [6] 郭晶莹,吴 晴,商庆瑞. 基于 Matlab 实现的指纹图像细节特征提取[J]. 计算机仿真,2007,24(1):182-185.
- [7] FREEMAN H. Boundary encoding and processing[C] //Picture Processing and Psychopictorics. New York:Academic, 1970:241-266.
- [8] CHAN T S, YIP R K K. Line detection algorithm [C] //Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition. Vienna:[s.n.], 1996:126-130.
- [9] RYUICHI I, FUJIO T. Detection System of Damaged Cables Using Video Obtained from an Aerial Inspection of Transmission Lines[C] //Power Engineering Society General Meeting, Denver:[s.n.], 2004:1857-1862.
- [10] 左 飞,万普森,刘 航. Visual C++ 数字图像处理开发入门与编程实践[M]. 北京:电子工业出版社,2008.

[编辑:张 翔]