

文章编号: 2095-2163(2024)01-0200-05

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

# 基于改进 Canny 算子的树障与导线边缘检测算法

穆晓飞<sup>1</sup>, 刘红喜<sup>2</sup>, 方俊<sup>1</sup>

(1 吉林化工学院 信息与控制工程学院, 吉林 吉林 132022; 2 长春工程学院 电气与信息工程学院, 长春 130012)

**摘要:** 针对目前输电线路通道树障检测中, 树障与导线的边缘信息难以提取、不清晰以及连续性差等问题, 提出一种基于改进 Canny 算子的树障与导线边缘检测算法。首先使用可以去噪保边的双边滤波取代传统 Canny 算子中的高斯滤波, 使得树障与导线图片的边缘信息得以确保清晰, 同时图片边缘更加细腻; 然后使用基于 Scharr 算子  $3 \times 3$  的梯度模板代替  $2 \times 2$  的模板来改进梯度计算方法, 在水平和垂直方向上扩充了  $45^\circ$  和  $135^\circ$ , 两个方向的梯度模板加权求和; 其次, 对改进后的梯度幅值实施非极大值抑制, 减少边缘检测带来的不利影响以使边缘变细; 最后使用双阈值算法确定真实与虚假边缘, 实现目标图片的边缘检测, 减少干扰。实验结果表明, 图片的边缘清晰度分别为 8.53、0.474、12.93。改进后的算法对树障与导线边缘检测的结果相对于传统算法具有更好的边缘清晰度, 可以清晰地观察树障与导线。

**关键词:** 树障与导线边缘检测; Canny 算子; 双边滤波; Scharr 算子; 边缘清晰度

## Tree barrier and wire edge detection algorithm based on improved canny operator

MU Xiaofei<sup>1</sup>, LIU Hongxi<sup>2</sup>, FANG Jun<sup>1</sup>

(1 School of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin Jilin 132022, China;

2 School of Electrical and Information Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** In view of the marginal information of the tree barrier and the wire is difficult to extract, unclear and with poor continuity in the current transmission line channel tree barrier detection, the tree barrier and wire edge detection algorithm based on the improved Canny operator is proposed. Firstly, the bilateral filter that can remain edge while removing noise is used to replace the Gaussian filter in the traditional Canny operator so that we can ensure the marginal information of the tree barrier and the wire picture is clear, as well as the edge of the picture is more delicate. Then, a gradient template based on Scharr operator  $3 \times 3$  is used to replace the  $2 \times 2$  template to improve the gradient calculation method, and the weighted sum of gradient templates in  $45^\circ$  and  $135^\circ$  directions is expanded in the horizontal and vertical directions. Secondly, non-maximum suppression is applied to the improved gradient amplitude to reduce the adverse effects of edge detection to make the edge thinner. Finally, the double threshold algorithm is used to determine the real and false edges to achieve the target image edge detection and reduce interference. The results of the experiment indicate that the marginal sharpness of the pictures is 8.53, 0.474 and 12.93 respectively. Compared with the traditional algorithm, the improved algorithm detects the edge of the tree barrier and the wire with better marginal clarity and can clearly observe the tree barrier and the wire.

**Key words:** Tree barrier and wire edge detection; Canny operator; bilateral filtering; Scharr operator; edge clarity

## 0 引言

随着国家电网智能化的发展, 输电线路可视化在电网智能化中发挥着重要的作用, 输电线路运行的稳定性和可靠性将是保障国家及民生的重要支撑之一。当前中国植被茂密, 森林树木覆盖面较广, 而

在输电线路铺设过程中, 会将不可避免的穿越林带。大量的树障隐患和天气隐患极易引起线路的突发跳闸事故, 导致输电线路停止运行, 那么判断树障对输电线路的影响, 确保输电线路正常运行是十分有必要的, 因此树障和导线信息是主要关键点。

目前国内行业针对输电线路树障和导线信息的

**基金项目:** 吉林省教育厅科学技术研究项目 (JKH20210691KJ)。

**作者简介:** 穆晓飞 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机视觉与图像处理; 方俊 (1999-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习、计算机视觉、图像处理。

**通讯作者:** 刘红喜 (1977-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 计算机视觉、机器学习。Email: liuhongxi@ccit.edu.cn

收稿日期: 2022-12-28

提取方法有巡检机器人、无人机拍摄等机器巡检和人工巡检等方式。因为输电线路巡检工作负荷巨大,每年巡检也会消耗很多的人力物力,传统的人工巡检模式难以发现和获取树障和导线信息,不能及时掌握线路状态。机器巡检在边缘检测的基础上代替传统人工巡检产生了许多便利<sup>[1-3]</sup>,相对于人工巡检节省了许多不必要的时间,利用边缘检测对输电线路通道的信息进行获取,但是机器巡检输电线路树障碰到庞乱复杂的地形状况则不便于机器巡检正常运作。

边缘信息主要存在于所检测的区域与背景之间,可以使图片进行明显的分割。近年来,边缘检测算法常应用在较多不同的场景,目前图像处理中常见的边缘检测传统算法分为一阶算子 Prewitt, Roberts, Sobel 等,以及二阶算子 Laplacian 等。前面两种皆是通过微分算子的方法来检测图片的边缘,还有一种是 Canny 算子,其主要把多种算法进行融合完成边缘检测,但存在着图片平滑效果不好,检测精度降低,边缘信息的严重缺失以及连续性不足等缺点。很多的专业研究者对 Canny 算法进行了不同的完善,文献[4-9]均在 Canny 的滤波方向进行了改进,使得边缘信息明显,平滑效果增强。文献[6-8, 10-13]关于 Canny 梯度幅值和方向的计算增加了 45°和 135°,使得对目标边缘定位准确,增加边缘的连续性和封闭性。文献[14-17]则对于 Canny 阈值算法进行了改进提升,清晰地检测出图片的强边缘与弱边缘。文献[18]针对输电导线进行边缘检测,使得导线边缘效果有了明显的提升。

上述算法虽然对 Canny 边缘检测算法进行了优化提升,但是对于输电线路树障等复杂环境的问题并没有得到明显地改善。因此若减少上述问题的出现,遇到复杂地形或天气影响正常巡检等,可通过边缘检测对树障和导线信息的提取,为保障输电线路正常运行奠定了基础。如何利用边缘检测实现对树障和导线信息的提取并提高图片的边缘清晰度,是值得深入研究的问题。

结合上述思考,本文基于改进 Canny 算子提出了一种对树障与导线边缘信息提取的新方法。该方法通过改进传统 Canny 算子的滤波算法、计算梯度模板的值和多方向的非极大值抑制,解决了传统 Canny 算子存在边缘模糊、平滑效果不佳、边缘信息连续性不足等问题。通过改进的 Canny 边缘检测算法,使得树障与导线边缘清晰度精度有了明显的提高。

## 1 传统 Canny 边缘检测算法

在对输电线路树障和导线的图片进行信息提取中,会受到导线及周围环境的影响。传统的 Canny 算法首先对图片进行降噪处理,然后检测目标的轮廓得到边缘信息,其算法实现过程主要包括以下 5 个步骤:

(1) 图片灰度化。将彩色图片转变为灰度图片,使矩阵简化,减少计算过程。

(2) 高斯滤波。实际图片均存在噪声,噪声会导致图片边缘信息的缺失。为了解决噪声对图片的影响,选取高斯滤波减少噪声,对图片平滑处理。具体公式为

$$\omega_{ij} = \frac{1}{k_i} \exp\left(-\frac{|x_j - x_i|}{\sigma_s^2}\right) \quad (1)$$

式中: $\omega$  是权重, $i$  和  $j$  是像素索引, $K$  是归一化常量。

(3) 梯度幅值计算。边缘区域是图片区域属性强度突变的地方,通过梯度幅值计算识别边缘区域。高斯滤波后,图片在  $x$  和  $y$  方向像素梯度分别记为  $G_x(i, j)$  和  $G_y(i, j)$ , 则该点的梯度值及梯度方向如式(2)、式(3)所示:

$$G_{xy}(i, j) = \sqrt{G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2} \quad (2)$$

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)}\right) \quad (3)$$

(4) 非极大值抑制。在相应梯度方向上,遍历梯度矩阵上的全部像素点,并且保留边缘梯度方向含有极大值的像素点,通过实行非极大值抑制令边缘变细。

(5) 阈值处理连接边缘。此步骤确定边缘是否为真实边缘。在图片非极大值抑制后,实施双阈值选择,像素点梯度值大于高阈值则为真实的边缘,反之像素点梯度值小于低阈值则为非边缘。确定好边缘点之后,依次连接,这就是边缘信息。

## 2 Canny 边缘检测改进算法

### 2.1 滤波算法的改进

由于传统 Canny 边缘检测算法选取的是高斯滤波进行去噪,其只关注空间位置信息,会导致图片模糊严重,平滑处理效果欠佳。因此,为了提高图片的边缘清晰度和平滑效果,选取双边滤波取代高斯滤波,不仅要考虑空间位置上远近程度的影响,还要考虑像素差的影响,并在滤波时保证一定的边缘信息。双边滤波的具体公式为

$$\omega_{ij} = \frac{1}{k_i} \exp\left(-\frac{|x_j - x_i|}{\sigma_s}\right) \exp\left(-\frac{|y_j - y_i|}{\sigma_r}\right) \quad (4)$$

式中:  $y$  表示像素的强度值, 所以当强度相差较大(边缘轮廓)时, 权重将相应较小, 滤波效果也会较小。  $\sigma_s$  表示空间距离权重,  $\sigma_r$  表示像素值权重。

## 2.2 梯度算法的改进

在传统的梯度算法中, 采用  $2 \times 2$  的梯度模板来进行梯度计算, 并且只考虑了  $X$  方向和  $Y$  方向的梯度幅值。文献[19]采用了 Sobel 算子代替传统梯度算法, 能够高效地获取边缘信息, 不过对于图片中较弱的边缘提取结果不好。Sobel 算子在计算图片中较小的值时, 则会引起计算导数的精度下降; 在梯度的方向靠近水平或垂直时, 其准确性也会降低, 所以需要将像素值间的差距变大即可改善问题。Scharr 算子是在 Sobel 算子的基础上进行不同程度的优化, 其主要思想是扩大模板的权重系数, 以增加像素值之间的差异。Scharr 算子和 Sobel 算子的计算速度较为相同, 但是准确度更高, 特别是在计算小核的情况下。在 Sobel 算子的基础上, 其水平和垂直的方向上扩充了  $45^\circ$  和  $135^\circ$  两个方向的梯度模板, 以合计权重<sup>[20-21]</sup>。

因非极大值抑制需要梯度的幅度和相位, 所以两个相互垂直的角度分别求非极大值抑制, 然后把得到的图片进行融合。图片与 4 个方向的算子进行卷积运算, 先进行傅里叶变换, 相乘之后再傅里叶逆变换实现卷积操作, 矩阵模板如式(5)~式(8)所示:

$$P_0 = \begin{pmatrix} -3 & 0 & 3 \\ -10 & 0 & 10 \\ -3 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$P_{45} = \begin{pmatrix} -10 & -3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 \\ 0 & 3 & 10 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$P_{90} = \begin{pmatrix} -3 & -10 & -3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 3 & 10 & 3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$P_{135} = \begin{pmatrix} 0 & -3 & -10 \\ 3 & 0 & -3 \\ 10 & 3 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

设:  $A_1$  为水平和垂直方向的梯度,  $\theta_1$  为其相位, 得到式(9)、式(10):

$$A_1 = \sqrt{P_0^2 + P_{90}^2} \quad (9)$$

$$\theta_1 = \arctan \frac{2(P_{90} + P_0) \times 180}{\pi} \quad (10)$$

$A_2$  为  $45^\circ$  和  $135^\circ$  方向的梯度,  $\theta_2$  为其相位, 得到式(11)、式(12):

$$A_2 = \sqrt{P_{45}^2 + P_{135}^2} \quad (11)$$

$$\theta_2 = \arctan \frac{2(P_{135} + P_{45}) \times 180}{\pi} \quad (12)$$

## 2.3 非极大值抑制的改进

非极大值抑制的目的是准确地找到边缘的特征点, 当梯度变化呈现边缘, 由于梯度变化大的区域较为宽阔, 因此利用水平、垂直、 $45^\circ$  以及  $135^\circ$  这 4 个方向的梯度确定法向, 在法向上判断是否是极大值, 如果是则保留, 反之则抑制。接着遍历梯度矩阵上的所有点, 保留边缘方向上具有极大值的像素。

以水平方向为例, 图 1 表示在水平方向可能出现两种非极大值抑制的情况:

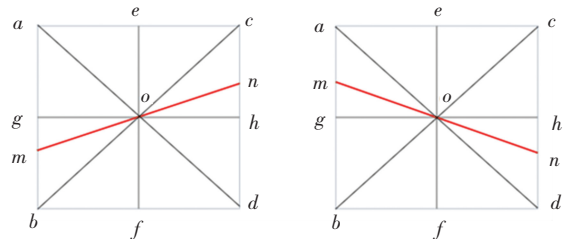


图 1 水平方向像素梯度图

Fig. 1 Horizontal pixel gradient plot

由图 1 可见,  $a, b, c, d, e, f, g, h$  分别是  $o$  所在平面 8 种区域的 8 个方位点, 图中的红线  $mn$  表示  $o$  的梯度方向,  $i, j$  表示像素索引点, 那么水平方向的角度范围在  $337.5^\circ \leq (i, j) \leq 22.5^\circ$  或  $157.5^\circ \leq (i, j) \leq 202.5^\circ$  之间。同理可知  $45^\circ$  方向的角度范围在  $22.5^\circ \leq (i, j) \leq 67.5^\circ$  或是  $202.5^\circ \leq (i, j) \leq 247.5^\circ$ ; 垂直方向的角度范围在  $67.5^\circ \leq (i, j) \leq 112.5^\circ$  或是  $247.5^\circ \leq (i, j) \leq 292.5^\circ$ ;  $135^\circ$  方向的角度范围在  $112.5^\circ \leq (i, j) \leq 157.5^\circ$  或是  $292.5^\circ \leq (i, j) \leq 337.5^\circ$ 。

通过改进的非极大值抑制, 消释了边缘检测带给图片的模糊影响, 将目标图片的边缘变细, 更加清晰。

## 2.4 阈值的选取

在经过了前述非极大值抑制对边缘的细化后, 目标图片的实际边缘信息虽然有了明显的改观, 但是在边缘线提取出时, 由于一些干扰的情况, 会使边缘产生连续性差的现象。为了使图片的边缘信息更加清晰及边缘连接, 使用双阈值的方法选取高低阈值, 对边缘信息得到进一步处理。双阈值的基本实现过程如下:

(1) 由目标图片选取合适的高阈值  $hi$  以及低阈



值  $l_0$ 。

(2) 得到非极大值抑制的图片后, 重新确定高低阈值, 即  $h_i \times \max$ 、 $l_0 \times \max$  ( $\max$  为接受一个参数, 返回对应的最大值)。

(3) 若选取的目标像素点梯度值超过高阈值  $h_i$  时, 则保留该点; 反之, 目标像素点梯度值少于低阈值  $l_0$  时, 则放弃该点; 假如目标像素点在高阈值  $h_i$  和低阈值  $l_0$  之间, 则看是否连接到真正边缘点, 是则被保留, 不是则被丢弃。

(4) 将候选好的点进行连通, 形成边缘轮廓, 得到边缘信息。

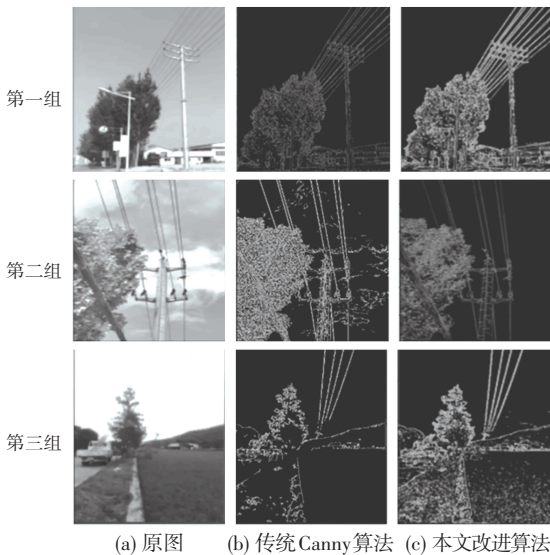
### 3 实验结果与分析

#### 3.1 实验环境与配置

实验使用 64 位 Windows10 操作系统, 处理器型号为 AMD Ryzen 7 PRO 4750U with Radeon Graphics 1.70 GHz, 内存为 16.0 GB, 显卡型号为 AMD Radeon™ Graphics, 显存 512 MB。该算法的实验基于 OpenCV 软件库和 Python 语言, 在 Pycharm 集成开发环境下运行。

#### 3.2 图片可视化结果

实验所用图片均来自实际生活, 在此选取 3 组照片进行测试, 并与传统 Canny 算法比较, 对比效果如图 2 所示:



(a) 原图 (b) 传统 Canny 算法 (c) 本文改进算法

图 2 场景、不同算法树障与导线效果图

Fig. 2 Tree barriers and wires in different scenarios

由图 2 可见, 本文改进的 Canny 算法与传统 Canny 算法相比, 树障与导线的边缘更为清晰。

#### 3.3 实验评价指标结果对比

为了比较各个边缘检测算法和本实验改进算法

的结果, 选用图片边缘清晰度 (Image Edge Definition, IED)<sup>[22]</sup> 作为评价指标, 见表 1。IED 的数值越大, 则表明该图片的边缘清晰度更高, 其计算公式为

$$IED = 10 \left| \lg \left( \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{M-1} G^2(i, j) \right) / ((A - 2) \cdot (B - 2)) \right| \quad (13)$$

式中:  $G(i, j)$  为图片在坐标  $(i, j)$  处像素点亮暗程度,  $A, B$  分别表示目标边缘图片像素点的长度距离和宽度距离。

表 1 不同边缘检测算法的 IED 值

Table 1 IED values for different edge detection algorithms

边缘检测算法	第一组	第二组	第三组
Roberts	6.84	0.371	9.54
Prewitt	6.93	0.382	9.9
Sobel	6.97	0.385	10
Scharr	7.03	0.394	10.1
Laplacian	6.89	0.386	9.9
LOG	6.90	0.380	9.81
Canny	3.95	0.244	5.33
改进算法	8.53	0.474	12.93

根据 IED 评价指标显示, 对于 3 幅图的测试结果显示, 本文的改进算法均优于 Roberts、Prewitt、Sobel、Scharr、Laplacian、LOG 边缘检测算法。在与传统 Canny 边缘检测算法中, IED 值提升明显, 均在 2 倍左右, 这表明改进算法可以更好的提升边缘清晰度, 使得边缘信息清晰。

### 4 结束语

针对输电线路通道树障检测中存在的问题, 本文基于 Canny 算子进行改进, 提出了一种新的边缘检测算法并进行研究及对比实验, 由此得出以下结论:

(1) 本文利用双边滤波替换高斯滤波后, 目标图片的边缘区域较为清晰, 去噪效果良好, 为后续实验提供良好的基础。

(2) 利用 Scharr 算子, 并在水平方向和垂直方向的基础上扩充了  $45^\circ$  和  $135^\circ$  方向的梯度模板。通过扩大系数权重和方向, 使得边缘提取的结果优化。在非极大值抑制和阈值的选取后, 最终的边缘清晰度相对于其他传统算法有了明显的提升。

(3) 实验结果表明, 图片的边缘清晰度分别为 8.53、0.474、12.93。该改进算法可以清晰地找到输电线路通道树障和导线的边缘信息。

经过多次实验发现, 在树障和导线交错复杂的情况下还需要进一步提高, 并完善算法对这种场景的实验效果。 (下转第 208 页)