

激光光斑边缘提取算法应用研究

赵雁 王志乾 耿天文

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘要: 在以激光光斑为被测目标的光电测量系统中,对激光光斑边缘的提取是保证测量系统精度的首要前提。具体介绍了 Sobel 算子、Krisch 算子、Robert 算子、Canny 算子及 LOG 算子的基本原理。对实际采集到的激光光斑图像首先进行中值滤波、二值化处理,用于滤除图像中的噪声。然后分别利用上述算子对预处理后的激光光斑进行边缘提取,分析和比较实验结果后得出,在对激光光斑这一特殊的目标进行边缘提取时,LOG 算子的提取效果较好。最后,结合实验结果对各算法进行了分析总结。

关键词: 光电测量;激光光斑;图像处理;边缘提取;LOG 算子

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Research and application of edge detection algorithm for laser spot

Zhao Yan Wang Zhiqian Geng Tianwen

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130033)

Abstract: In the photoelectric measurement system with a laser spot as the research objective, the most important prerequisite to ensure the accuracy of the measuring system is the extraction of laser spot edge. This paper specifically describes the basic principles of Sobel operator, Krisch operator, Robert operator, Canny operator and Laplace of Gaussian operator. In order to filter out the image noise of the captured laser spot images, the Median filtering and Binarization processing are used, then the above operators are used to detect the edge of the pre-processed laser spot images. The analysis and comparison of experimental results show that the Laplace of Gaussian operator is better in this particular edge detection. Finally, the advantages and disadvantages of these methods were demonstrated by discussing the experimented results.

Keywords: photoelectric measurement; laser spot; image processing; edge detection; LOG operator

0 引言

一般的光电测量系统主要由照明系统、被测物体、光学成像系统、光电传感器、信号处理电路和计算机等组成,大多数的精密测量采用的都是激光作为被测基准点,因此对激光光斑的处理是决定测量精度的关键。其中一幅图像的边缘包含了大量的重要信息,图像处理的首要步骤就是边缘提取^[1]。

所谓的边缘是指其周围像素灰度有阶跃变化或屋顶变化的那些像素的集合。根据定义可知边缘的种类一般分为两种:一种是阶跃性边缘,它两边的像素灰度值分布有阶跃性突变;另一种称为屋顶型边缘,它两边的像素灰度值经历了先增加后减小的过程^[2]。因此边缘提取算法一般是通过考察图像的每个像素在某个邻域内灰度的变化,利用边缘邻近一阶或二阶方向导数变化规律来检测边缘。常用的边缘提取算子有 Sobel 算子^[3-4]、Krisch 算子^[5]、Robert 算子^[6-7]、Canny 算子^[8-10]及 LOG 算子^[11-13]。每种算子各有其应用领域,对不同类型的

图像处理所得的结果也不尽相同。本文分别介绍了上述几种边缘提取算子的基本原理,并对去噪后的图像分别采用上述几种算子进行了实验分析。

1 边缘提取算法

1.1 Sobel 算子

Sobel 算子是图像处理中边缘检测常用的算子之一,它是离散性差分算子,用来计算图像灰度函数梯度的近似值。使用此算子后图像中的任何一点都会产生一个梯度矢量,利用得到的梯度值就可以得出图像的边缘。该算子由两组 3×3 矩阵作为卷积核,如式(1)所示,分别为横向和纵向的,一个对水平边缘响应最大,一个对垂直边缘响应最大。图像中的每个点都用这两个核做卷积,取最大值为该点的输出,即可得到一幅图像的边缘。

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

1.2 Kirsch算子

1971年, R. Kirsch提出了一种能检测边缘方向的Kirsch算子新方法:它使用了8个模板来确定梯度幅度和梯度的方向。图像中的每个点都用8个掩模进行卷积,每个掩模对某个特定边缘方向做出最大响应。所有8个方向中的最大值作为边缘幅度图像的输出。最大响应掩模的序号构成了对边缘方向的编码。8个模板如式(2)所示。

$$\begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3 Robert算子

Robert边缘检测算子是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子,假设 $f(x, y)$ 是输入图像的灰度值, $g(x, y)$ 为输出的图像灰度值,经过式(3)的运算后,即可得到图像的边缘:

$$g(x, y) = \{ [\sqrt{f(x, y) - f(x+1, y+1)}]^2 + [\sqrt{f(x, y+1) - f(x+1, y)}]^2 \}^{1/2} \quad (3)$$

它是两个 2×2 模板作用的结果:

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

1.4 Canny算子

Canny把边缘检测问题转换为检测单位函数极大值问题,Canny算子是以信噪比准则、定位精度准则、单位响应准则为基础利用泛函求导的方法得到的。它的基本思想是:首先对图像选择一定的高斯滤波器进行平滑滤波,然后采用非极大值抑制技术进行处理得到最后的边缘图像。

Canny算法的实现步骤为:1)用高斯滤波器平滑图像,去除噪声;2)用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向;3)对梯度幅值应用非极大值抑制;4)用双阈值算法检测并且连接边缘。

Canny算子的基本原理如下,设二维高斯函数如式(5)所示:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + y^2)\right] \quad (5)$$

其在某一方向 n 上 $G(x, y)$ 的一阶方向导数为:

$$G_n = \frac{\partial G}{\partial n} = n \cdot \nabla G \quad (6)$$

式中: $n = \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix}^T$, $\nabla G = \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial x} & \frac{\partial G}{\partial y} \end{bmatrix}^T$, n 是方向矢量, ∇G 是梯度矢量,将图像 $f(x, y)$ 与 G_n 做卷积,同时改变 n 的方向,卷积后取得最大值时的 n 就是正交于检测边缘的方向。于是可以得出:

$$n = \frac{\nabla G f(x, y)}{|\nabla G f(x, y)|} \quad (7)$$

通过计算,若一个像素点满足以下3个条件,就被认为是图像的边缘点:1)该点的边缘强度为梯度方向上相邻3个像素点中最大;2)与其他两点的方向差小于 45° ;3)以该点为中心的 3×3 邻域中每个点的边缘强度都小于1个阈值。

1.5 LOG算子

通常使用的拉普拉斯算子是1个二阶导数,它会在边缘处产生1个陡峭的零交叉,加上噪声对边缘检测的影响,因此一般使用LOG算子。它把高斯平滑滤波器和拉普拉斯锐化滤波器结合起来,先平滑掉噪声,然后进行边缘检测,所以效果较好。常用的高斯滤波函数为:

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (8)$$

因此,LOG算子为:

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

常用的LOG算子是 5×5 的模板:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

2 实验平台及预处理

本文采用三菱公司生产的ML1013R型半导体激光器作为被测基准点,激光器的波长为658 nm,最大输出功率为50 mW。光学成像系统采用像方远心光路的反远摄结构光学镜头,具体技术指标为:焦距: $f = 30$ mm;相对孔径: $D/f = 1:7$;视场角: $2\omega = 56^\circ$;波长范围: $\lambda = 589.29 \sim 706.52$ nm。CCD相机为Lumenera公司生产的LW295相机,具体技术指标为:最大像元数 1920×1080 ,像元尺寸为 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$,信噪比64 dB,通过高速USB2.0接口与计算机相连,能直接的输出BMP图像并存储在计算机里。

图1为上述系统采集到的1幅激光光斑的原始图像。

由于中值滤波能够在滤除噪声的同时很好的保护图像的边缘,因此首先对采集到的激光光斑图像首先进行中值滤波,滤除采集过程中可能的噪声干扰,中值滤波结果

如图 2(a) 所示。中值滤波后再进行二值化处理, 将图像中所有灰度大于或等于阈值的像素灰度值设为 255, 而小于阈值的灰度值设为 0, 本文选取的阈值 $m = 225$ 。经过二值化处理后的图像将呈现出明显的黑白效果, 二值化结果如图 2(b) 所示。

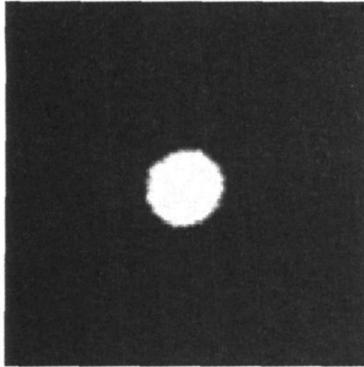
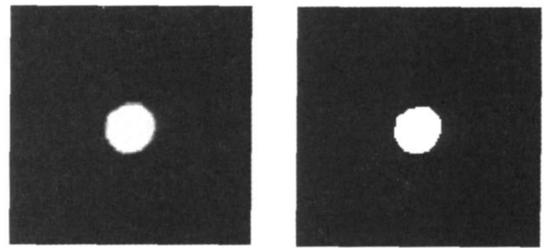


图 1 激光光斑原始图像



(a)中值滤波结果

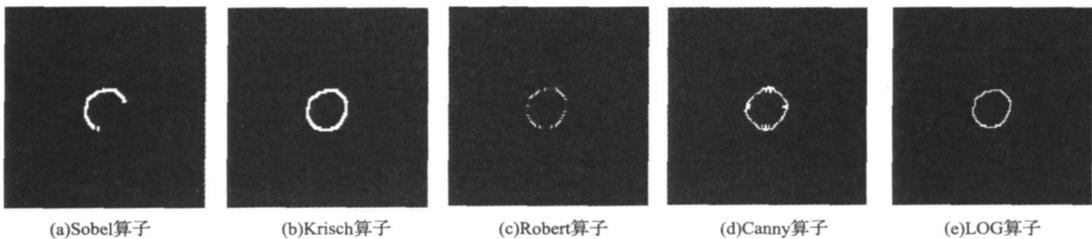
(b)二值化结果

图 2 图像预处理结果

3 实验结果及分析

3.1 实验结果

本文采用 VC++ 进行数据处理, 对预处理后的图像分别采用 Sobel 算子、Krisch 算子、Robert 算子、Canny 算子及 LOG 算子进行边缘提取, 得到如图 3 所示结果。其中 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 是分别采用 Sobel 算子、Krisch 算子、Robert 算子、Canny 算子和 LOG 算子进行边缘提取后的结果。



(a)Sobel算子

(b)Krisch算子

(c)Robert算子

(d)Canny算子

(e)LOG算子

图 3 图像边缘提取实验结果

3.2 实验结果分析

Sobel 算子是图像处理^{[14][8]}中提取边缘最常用的算子之一, 它通过求取灰度函数图像的梯度近似值来得到图像的边缘, 提取效果较好。但是, 对于本文主要研究的激光光斑这一类图像的边缘提取结果并不理想, 提取出来的边缘较宽, 并且图像的边缘有很大一部分的缺失, 并不适用于该类图像。

Krisch 算子充分的考虑了图像的 8 个方向, 其抗噪声性能较好, 能够准确的得到完整图像的边缘, 从图 3(b) 可以看出, 采用 Krisch 算子后很明显的引入了两条伪边缘线, 并且提取出来的边缘图像较宽。

Robert 算子采用对角线方向相邻两像素之差进行梯度幅度检测, 检测定位精度较高, 但是由图 3(c) 可以看出它对噪声非常敏感, 边缘并不平滑, 常产生一些孤立的点, 得到的边缘在水平方向和垂直方向不连续, 丢失了部分边缘。

Canny 算子是使用比较广泛的算子之一, 因为它提出了目前为止最为严格的边缘检测的 3 个准则, 而且它相对

简单的算法运算速度较快, 它的定位精度及抗噪声性能都较优。但由图 3(d) 可以看出, 采用 Canny 算子提取激光光斑图像后会造成长变边缘的丢失。

LOG 算子是各向同性的, 能够有效的抑制伪边缘。从图 3(e) 中可以明显看出采用 LOG 算子能得到比较完整的边缘, 并且没有伪边缘的产生。

4 结 论

本文以光电测量中最常用的激光光斑作为研究目标, 研究对其进行边缘提取的方法。为了滤除噪声的影响, 首先采用中值滤波器滤除噪声干扰, 然后进行二值化处理。对二值化处理后产生的黑白图像分别采用 Sobel 算子、Krisch 算子、Robert 算子、Canny 算子及 LOG 算子进行边缘提取。采用 VC++ 进行数据处理, 对得到的结果进行比较分析, 可以看出, 对于激光光斑这一类图像来说, 采用 LOG 算子提取边缘得到的效果最好。LOG 算子能完整的检测出激光光斑图像的边缘, 有效的抑制伪边缘, 并且通过适当的选择 LOG 算子能够能到不同宽度的边缘图像。

参考文献

- [1] 张震. 数字图像处理中边缘提取和去噪算法研究 [D]. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2009.
- [2] 李小文. 利用拉普拉斯-高斯模板进行边缘检测[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 1997(2): 53-55.
- [3] 方翰华, 陈新华, 沈国新, 等. 基于FPGA 图像滤波算法硬件化设计[J]. 电子测量技术, 2009, 32(12): 68-71.
- [4] 吴晖辉, 张宪民, 洪始良. 综合边缘和颜色特征的IC 类贴装器件的检测[J]. 光学精密工程, 2009, 17(9): 2283-2291.
- [5] 朱柱. 边缘检测技术研究[D]. 苏州: 苏州大学硕士学位论文, 2010.
- [6] 刘煜, 李言俊, 张科. 一种多像素图像边缘提取方法[J]. 光子学报, 2007, 36(2): 380-384.
- [7] 史博, 汪霖, 曹建福. 立体零件加工质量的在线图像检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 2039-2044.
- [8] 邓仕超, 刘铁根, 萧泽新. 应用 Canny 算法和灰度等高线的金相组织封闭边缘提取[J]. 光学精密工程, 2010, 18(10): 2314-2323.
- [9] 张小洪, 杨丹, 刘亚威. 基于 Canny 算子的改进型边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2003(29): 113-115.
- [10] 李滚, 严发宝, 苏艳蕊, 等. 基于 CANNY 算子的自适应双阈值油罐油位红外成像检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(9): 44-50.
- [11] 严国萍, 戴若愚, 潘晴, 等. 基于 LOG 算子的自适应图像边缘检测方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 85-87, 102.
- [12] 王芬芬, 白秋果, 王彪, 等. 基于多结构元素的形态学抗噪边缘检测算法[J]. 电子测量技术, 2008, 31(4): 36-38.
- [13] 曾朝阳, 赵继广. 火炮身管疵病深度测量系统[J]. 光学精密工程, 2010, 18(10): 2221-2230.
- [14] 陈淑丹, 汶德胜, 杨文才, 等. 基于 DSP 的空间瞬态光信号图像处理[J]. 电子测量技术, 2009, 32(6): 65-67.
- [15] 赵春晖, 王炜薇, 崔颖. 基于 FPGA 的镜像阈值层叠滤波器实现方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(11): 42-47.
- [16] 黄云开, 郑政, 杨柳. 基于 MATLAB 的三维超声成像及图像处理[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(4): 840-847.
- [17] 白皓, 王小青, 陈永强. 改进的基于 curvelet 域的 SAR 图像降斑方法[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(6): 34-38, 48.
- [18] 郑培秋, 郝永平. 嵌入式红外图像处理系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(5): 45-48.

作者简介

赵雁, 女, 1958 年 11 月出生, 高级实验师, 主要研究方向为光电测量与瞄准技术。

E-mail: zhaoyan1115@sina.com

王志乾, 男, 1969 年 10 月出生, 研究员, 博士, 主要研究方向为光电测量与数字信号处理。

E-mail: zhiqian_wang@sina.com

耿天文, 男, 1980 年 7 月出生, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为电子学系统软硬件设计与开发。

E-mail: hero_gt_w@yahoo.com.cn