

一种低对比度激光光斑中心定位新方法

贾文^{1,2}, 唐慧君¹, 闫旻奇¹, 李东坚¹

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710068; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:提出一种基于边界生长的自动化低对比度激光光斑中心的定位新方法。该方法先进行自动阈值分割, 再通过边界生长将光斑图案与鬼影和噪声分开, 最后选择光斑边缘中符合圆轮廓特点的部分进行圆拟合。对比实验表明本方法精度明显优于先前的方法而且自动化程度很高, 完全满足了神光三原型装置自动准直系统对于低对比度光斑中心求取的精度要求。

关键词:激光光斑; 边界生长; 鬼影; 图像处理

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

A New Method for Calculation of the Low Contrast Laser Spot Center

JIA Wen^{1,2}, TANG Hui-jun¹, YAN Min-qi¹, LI Dong-jian¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Science, Xi'an 710068, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: A new method for the automatic calculation of the low contrast laser spot center base on contour growing. The first step of the method is automatic segmentation, then divide noise and ghost reflections from the laser spot by contour growing, in the end a circle is adopted to approximate the edge of the laser spot by the contours which are similar to a circle. Comparative tests shows that the method is more accuracy and more automatic than the previous method. The accuracy of method meets the requirements of the SG-III prototype facility.

Key words: laser spot; contour growing; ghost reflections; image processing

1 引言

在神光三原型装置的自动准直系统^[1]中, 准确求取激光光斑的中心是其中一个关键的步骤。在该系统中存在一类如图 1(a) 所示的弱对比度激光光斑图像。这一类图像对比度很低, 灰度分布也很不均匀, 常存在鬼影, 直接对其进行边缘检测难以获得比较准确的边缘, 以往的方法是在阈值分割后使用重心法^[2]求得光斑的一个很粗略的中心, 难以满足较高精度场合的要求。针对这一类图像, 本文提出一种先进行自动阈值分割后, 再通过边界生长将光斑图案与鬼影和噪声分开, 最后选择光斑边缘中符合圆轮廓特点的部分进行圆拟合的新方法。

2 预处理和自动阈值分割

由于原图的对比度非常差又有噪声, 因此先用中值滤波^[3]来消除一部分噪声, 再使用直方图均衡

化^[3]来提高对比度。接下来进行最大熵法^[4]自动阈值分割。

3 边界生长去除鬼影和噪声

上一步操作的结果图 1(c) 可以看作是由一系列灰度为 255 的 4-连接连通域, 一般情况下光斑的成像面积总是远大于鬼影和噪声的, 因此光斑所在的连通域也是最大的, 使用区域生长法^[3]标识出每个连通域, 其中最大的就是光斑所在的连通域, 去掉最大连通域外的其他连通域就可以把鬼影和噪声消除掉。

但是传统的区域生长法要对整个区域的每一个像素点进行处理, 因此在效率上相对偏低, 而且对于

作者简介: 贾文(1982-), 在读硕士, 主要研究方向为图像处理和软件开发。E-mail: davy3331@163.com

收稿日期: 2008-04-14

二值图来说一个连通域的外部边界已经代表了这个连通域外边缘的位置,完全可以满足二次拟合对光斑边缘的要求。因此,本文提出一种基于边界生长的新方法,实现的步骤如下:

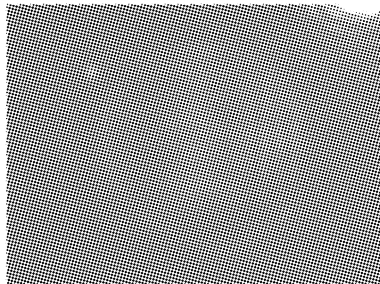
(1)对图像顺序扫描,找到第1个还没有归属的指定灰度的边界像素点,设该像素为 (x_0, y_0) ;

(2)以 (x_0, y_0) 为中心,考虑 (x_0, y_0) 的8邻域像素 (x, y) ,如果 (x, y) 没有归属且为指定灰度,则将 (x, y) 与 (x_0, y_0) 合并到同一个边界,同时将 (x, y) 压入堆栈;

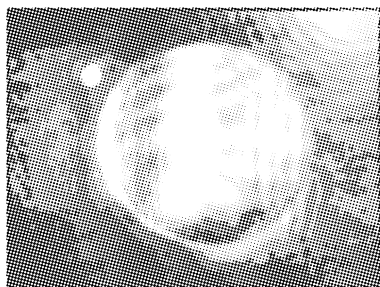
(3)从堆栈中取出一个像素,把它当作 (x_0, y_0) ,返回到步骤(2);

(4)当堆栈为空时,返回到步骤(1);

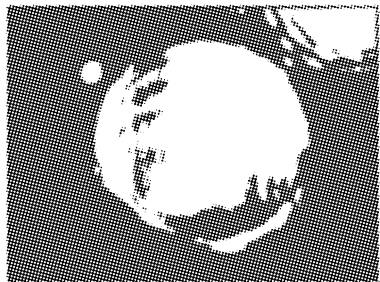
(5)重复步骤(1)~(4),直到图像中的每个指定灰度的点都有归属时,生长结束,这时所有指定灰度的边界像素点都分别属于不同的边界。根据每个连通域外部边界的位置我们就可以确定每个连通域的外边缘。



(a)原始图像



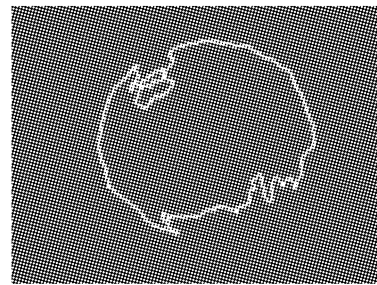
(b)经中值滤波和直方图均衡化的结果



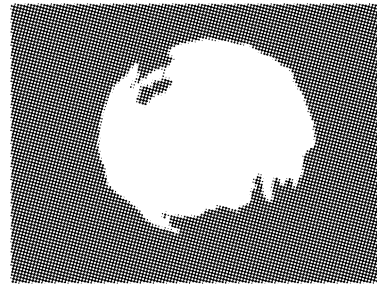
(c)最大熵法自动阈值分割结果

图1 预处理和自动阈值分割

对于本文的这类图像使用普通的区域生长法需要对大约15万个像素点进行生长,但是边界生长只需要对5000个像素点进行生长,因此效率会大大提高。



(a)边界生长找到最长边界线



(b)用255的灰度填充最长边界线

图2 边界生长去除鬼影和噪声

4 用圆形结构元素进行闭操作消除边界上的毛刺和狭窄的间断

上一步操作所得的结果如图2(b)所示,光斑的边界上存在一些毛刺,此外一些边界线处有狭窄的间断或者长细的鸿沟,因此本文采用半径为10的圆作为结构元素来进行闭操作消除这些毛刺。闭操作可以消除狭窄的间断和长细的鸿沟,填补边界中的断裂,消除毛刺使边界更为光滑,选择圆形结构元素可以使边界更符合圆的特点。此外选择在去除鬼影和噪声后进行闭操作可以避免将鬼影和噪声引入光斑。

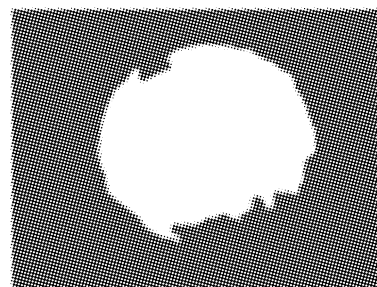
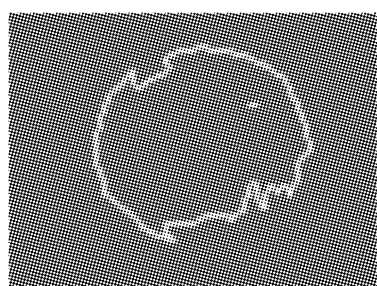


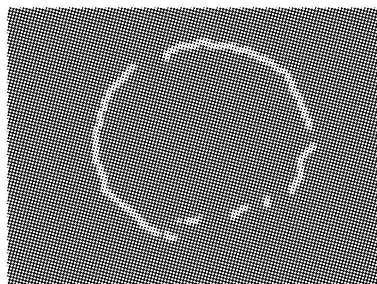
图3 用半径为10相当于以前的模板 3×3 等的圆闭操作后使用边界生长法填充空穴的结果

5 选择符合圆轮廓特点的边缘进行拟合

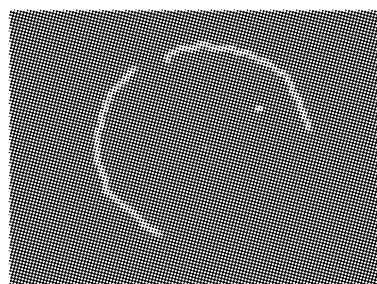
最后对于图3所得的二值图像使用LoG算子求得光斑的边缘,这里使用的是 3×3 的LoG算子,结果如图4(a)所示,可以看到我们获得光斑的边缘有些边缘段还保持着较为规则的圆轮廓,但许多部分已经由于成像时光斑某些部分对比度过低或者噪声的干扰变得曲折,这些曲折的边缘会大大的干扰拟合的结果,只有去掉这些曲折的部分,只使用其中符合圆轮廓特点的边缘段来拟合才能得到准确的中心。



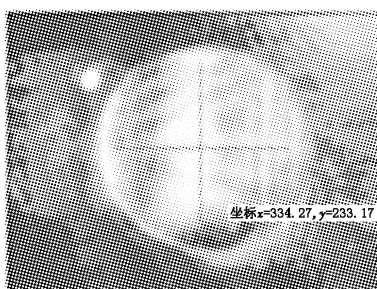
(a) LoG 算子求得图 3 的外边缘



(b) 去掉不符合圆轮廓特点的边缘点



(c) 留下大段平滑的边缘



(d) 最后拟合的结果

图4 选则符合圆轮廓特点的边缘进行拟合

对于一个完美的数字图像的圆,沿图像 X 轴方向逐行检索,可以看作是沿 X 轴划线,该线遇到圆边缘的次数应为:没有与圆相交时为 0;在圆的顶部与底部与圆相切时为 1 次,与圆相交时为 2 次。同理,对于 Y 轴方向逐列检索也是这样的。

对于光斑的边缘沿 X 轴逐行或 Y 轴方向逐列检索时遇到光斑的边缘多于两次时,那么可以肯定其中某次遇到的边缘点是不符合圆的。一般的,每行或每列第一次和最后一次遇到的边缘点更可能是符合圆的边缘段上的,因此将第一次与最后一次之间遇到的边缘点删去。对图 4(a) 执行这个操作所得图像如图 4(b) 所示,原来光斑边缘上比较曲折的

结构都被去掉了,剩下的都是比较平滑的边缘段。

由于孤立的小段边缘很可能是不规则边缘的一部分,所以把它们去掉,留下大段符合圆的边缘如图 4(c) 所示。

对图 4(c) 进行带有大误差点排除的最小二乘法圆拟合^[5] 就可以获得较为准确的圆心了,这种圆拟合方法根据实际半径与拟合半径的均方误差把误差较大的点排除并反复迭代,对于边缘不规则起伏有很好的鲁棒性和精确性。

6 实验结果分析

神光三原型装置自动准直系统对于这种低对比度光斑中心求取的误差要求为 6 个像素以内,本文方法完全达到了该系统的精度要求。图像分割加重心法与本文方法的比较,如表 1 和图 5 所示。

表 1 对图 1(a) 图像分割加重心法与本文方法比较(单位:像素)

方法	圆心 X 坐标	圆心 Y 坐标	与真值差
图像分割 + 重心法	338.82	211.12	23.053
本文方法	334.27	233.17	1.919
理论真值	336	234	

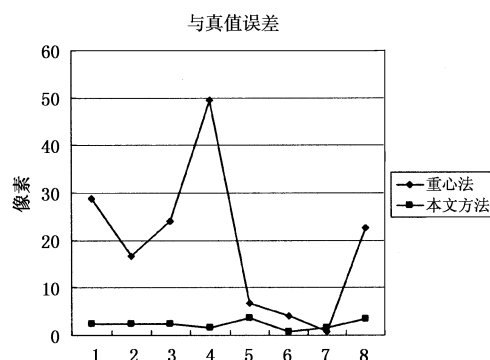


图5 图像分割加重心法与本文方法的比较

7 结论

本文提出一种基于边界生长法的自动化低对比度激光光斑中心的定位新方法,对比实验表明本方法精度明显优于先前的方法而且自动化程度很高,达到了神光三原型装置自动准直系统对于低对比度光斑中心求取的精度要求。

参考文献:

- [1] 陈庆灏,徐仁芳,彭增云,等. 用于激光核聚变装置的光路自动准直[J]. 光学学报,1995,15(5):531-533.
- [2] 吕凤年,刘代中,徐仁芳,等. 图像处理在光路自动准直系统中的应用[J]. 光学技术,2005,5(31):3.
- [3] Zhang Yu-jin. Image project (media), image analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 222 - 223. (in Chinese)
- [4] KapurJ N, SahooP K, WongA K C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. CVGIP.,1985,29:273-285.
- [5] 孔兵,王昭,谭玉山. 基于圆拟合的激光光斑中心检测算法[J]. 红外与激光工程,2001,31(3):275-279.