

文章编号: 1001-5078 (2006) 010-0995-03

一种改进的二维 Hough 变换提取激光光斑参数方法

章秀华, 杨坤涛

(华中科技大学光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 文章提出了一种改进的二维 Hough 变换提取激光光斑参数的方法。根据不共线三点决定一个圆的原理, 利用目标图像任一边缘点的梯度方向信息, 按规则选取目标边缘上的其它两个点, 将三个边缘点作为一组数据, 求解圆形目标的方程。对参数空间中的二维矩阵数组投票, 得到圆形目标的中心坐标。对归一化半径直方图进行滤波, 求得圆形目标的半径。将该算法运用于实际探测到的激光光斑图像, 在运行时间及定位目标图像的准确度上都取得了较好的结果。

关键词: 激光光斑; 二维 Hough 变换; 梯度方向信息; 参数空间

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

An Improved 2D Hough Transform Method for Extracting Laser Spot Parameter

ZHANG Xiu-hua, YANG Kun-tao

(Institute of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: An improved 2-dimensional Hough transform method to extract the laser spot parameters is proposed. Based on the gradient direction information of the selected first edge pixel in the image, the two others points are selected, and the three points are used as a group to compute the circle equation. It uses a 2-dimensional accumulator array for circle center and a normalized 1-dimensional radius histogram for circle radius respectively, and validates their existence by radius histogram. The proposed method is applied into the processing of real laser spot image, it has acquired good result in calculation time and detection accuracy.

Key words: laser spot; 2D Hough transform; gradient direction information; parameter space

1 引言

激光光斑检测是光学测量中常用的关键技术。当测距范围变化较大时, 激光光斑存在散斑, 加之被测目标反射特性的变化, 造成 CCD 摄像机采集到的光斑信号强度分布极不均匀。根据光斑图像仍能给出圆形光斑的大部分轮廓这一特点, 可采用 Hough 变换来计算激光光斑参数^[1-2]。Hough 变换在检测已知形状的目标, 具有受曲线间断影响小的优点, 即使目标有少许缺损或污染也能被正确识别。理论上, 使用 Hough 变换进行光斑检测的算法的时间复杂度为 $O(n^3)$, 通过降低参数空间的维数可以将复杂度降低。典型的二维 Hough 变换算法是基于边

缘梯度方向信息的 Hough 变换^[3-4], 但此变换的性能受梯度估计精确性的影响很大, 尤其在信噪比下降时算法的性能会大大降低。另外, 梯度方向信息的运用涉及到三角函数的计算, 需要耗费相当的算法运行时间。

针对基于梯度方向信息的二维 Hough 变换的这些不足, 本文介绍一种改进的二维 Hough 变换方法, 将选定的第一个边缘点的梯度方向信息作为其它两个边缘点选择的依据, 将三个选定点作为一组,

作者简介: 章秀华 (1976 -), 女, 博士生, 主要从事光电信息检测及光电图像和光电信号处理研究。E-mail: anyyzh@sina.com
收稿日期: 2006-03-28

利用其坐标数据求解圆的方程。遍历整个圆形目标的边缘点,在参数空间利用二维矩阵累加和一维归一化半径直方图来分别计算光斑的中心与半径。该方法避免了在算法中使用梯度方向信息直接进行计算导致的定位不精确性,同时也免去了计算三角函数的麻烦。

2 圆形目标参数计算

2.1 圆变换公式

任何一圆形目标轮廓可用下列多项式表示:

$$x^2 + y^2 - 2ax - 2by + c = 0 \quad (1)$$

根据三个不共线点能且只能决定一个圆的特点,定义圆上三个点 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) , 将三个点的坐标代入公式 (1), 可得:

$$\begin{cases} x_1^2 + y_1^2 - 2ax_1 - 2by_1 + c = 0 \\ x_2^2 + y_2^2 - 2ax_2 - 2by_2 + c = 0 \\ x_3^2 + y_3^2 - 2ax_3 - 2by_3 + c = 0 \end{cases} \quad (2)$$

运用克拉默法则, 可通过下面的公式计算得到系数 a , b 和 c

$$\begin{cases} a = D_1 / D \\ b = D_2 / D \\ c = D_3 / D \end{cases} \quad (3)$$

其中,

$$D_1 = \begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 & 2y_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & 2y_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & 2y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} 2x_1 & x_1^2 + y_1^2 & 1 \\ 2x_2 & x_2^2 + y_2^2 & 1 \\ 2x_3 & x_3^2 + y_3^2 & 1 \end{vmatrix}$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 2x_1 & 2y_1 & x_1^2 + y_1^2 \\ 2x_2 & 2y_2 & x_2^2 + y_2^2 \\ 2x_3 & 2y_3 & x_3^2 + y_3^2 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 1 \\ 2x_3 & 2y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

公式 (1) 可被写为下列形式:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = a^2 + b^2 - c \quad (4)$$

与公式 (1) 相比较可以看出, 圆心 (x_0, y_0) 及半径 R 可分别由 (a, b) 和 $\sqrt{a^2 + b^2 - c}$ 决定。 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) 为原图像经边缘算子检测后的图像上的三个边缘点坐标。一个二维累加器矩阵用来计算目标图像的中心点 (a, b) , 相应的半径 $\sqrt{a^2 + b^2 - c}$

由一维归一化半径直方图计算得到。在目标图像中选择每三个边缘点作为一组, 用来计算可能的圆心及半径, 遍历整个图像上的所有边缘点, 用计算得到的值分别对二维矩阵及一维矩阵数组进行投票, 选取投票最大值对应的参数作为目标图像的圆心及半径。

2.2 归一化半径直方图的分析

考虑到圆形目标的离散化及边界圆的变形对半径检测的影响, 可使用公式 (5) 对所得半径直方图进行滤波, 以得到对目标圆的无偏估计^[5]。

$$t = \frac{1}{4\sqrt{2}} \left[-\frac{3r}{2(r-2)}, 1, 1, 1, \frac{3r}{2(r+2)} \right] \quad (5)$$

r 为直方图上的半径值。在本文算法中, 将前面所求得的半径直方图归一化, 再将归一化的半径直方图与公式 (5) 的滤波器进行卷积。在卷积得到的半径直方图结果中, 寻找使得直方图值为最大的半径值, 即为所求圆形目标的半径。

3 边缘点的选取

目标图像上的每三个边缘点作为一组, 用来计算可能的目标中心和半径。选取的基本原则是尽量避免三个点的距离太近, 以防将目标上近距离不共线的点作为实际的边缘点, 造成计算错误。这里的目标图像为经 Sobel 检测算子处理及二值化和细化后的边缘图像, 边缘点的梯度方向信息也可通过边缘检测算子得到。

以目标轮廓上估计的圆心为中心, 将目标轮廓分为四个部分: $0 \sim 90^\circ$, $90 \sim 180^\circ$, $180 \sim 270^\circ$ 及 $270 \sim 360^\circ$ (0°)。如图 1 所示。

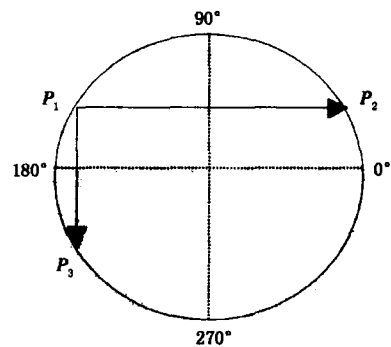


图 1 圆形目标轮廓上三个边缘点的选择

Fig 1 the selection of three points in the circle object

首先搜寻目标轮廓上不为 0 的像素点, 作为三个边缘点中的第一个点。根据第一点已知的梯度方向信息进行判断, 若属于 $0 \sim 90^\circ$ 则由第一点从右到左寻找不为零的点即为第二点, 从上至下寻找不为零的点作为第三个点; 同理, 若属于 $90^\circ \sim 180^\circ$ 则由第一点从左到右寻找第二点, 从上至下寻找第三个点; 若属于 $180 \sim 270^\circ$ 则由第一点从下

到上右寻找第二点,从左至右寻找第三个点;属于 270~360°则由第一点从下到上右寻找第二点,从右至左寻找第三个点。具体的选择流程可见表 1,表 1 列出了当第一点的梯度方向属于不同范围时第二点及第三点的选择步骤。

将选中的三个点作为一组,用来计算可能的目标中心及半径,通过搜寻目标图像上的所有边缘点,将对应的三个点作为一组,对参数空间的二维及一维矩阵进行投票,选出最大值所对应的参数即为目标图像的圆心及半径。每一个点的梯度方向信息不用来直接计算目标图像的几何参数,仅作为选取第二个及第三个边缘点的方向指示。即使梯度方向存在一定的误差,也不会对目标中心的计算有很大影响。

表 1 第一个点的边缘方向为不同值时第二及第三个边缘点的选取规则表

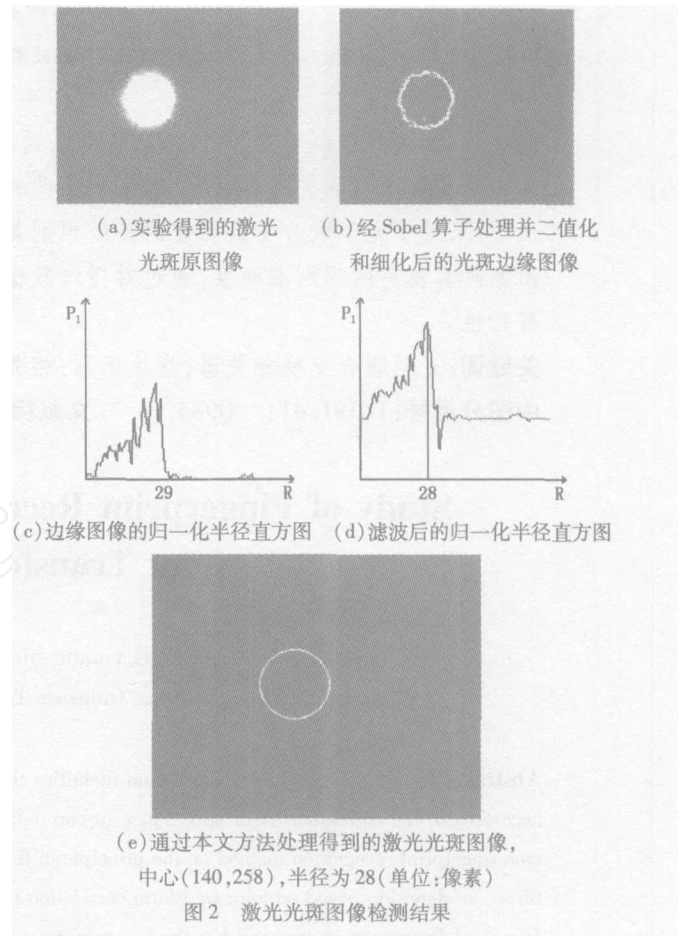
Tab 1 rules in searching the second and third points when falls into different ranges

	第二个点	第三个点
一像限 (0~90°)	右 左	上 下
二像限 (90~180°)	左 右	上 下
三像限 (180~270°)	下 上	左 右
四像限 (270~360°)	下 上	右 左

4 实验结果及结论

将本算法运用于实际探测到的激光光斑图像参数的检测。实验中所用的光源为 VA - 1064nm - 10mW 的固体红外激光器,将 CCD 摄像机所拍摄到的激光光斑图像输入计算机进行实时处理。激光器发出的光经过准直扩束,所以光斑信号形状比较规则,从而保证了检测过程中光斑中心的准确定位。图 2 所示为实验中探测到的激光光斑图像及其处理结果。(a)为激光光斑原图像;(b)为激光光斑经 Sobel 算子检测后的边缘图,并经过了二值化和细化;(c)为计算得到的一维归一化半径直方图;(d)为滤波后的归一化半径直方图,纵坐标最大值所对应的横坐标即为光斑的半径。(c)中最大值所对应的光斑半径为 29 个像素单位,经滤波后最大值所对应的光斑半径为 28 个像素单位;(e)为利用文中所介绍的算法检测到的光斑大小及位置示意图,光斑的中心坐标为 (140, 258),半径大小为 28,单位为像素,整个算法运行的复杂度为 $O(n)$ 。直接利用 Hough 变换进行检测的光斑中心为 (140, 258),半径为 28 个像素单位,但运算的复杂度为 $O(n^3)$ 。上述中心点的横坐标为光斑中心距图像最上端的距离,

纵坐标为光斑中心距图像最左边的距离。两种方法计算所得的结果为中心坐标及半径值完全相同,但在实际的算法运行时间上,却相差了两个数量级。在一些实时动态的激光参数测量系统中,本文所介绍的算法与传统的 Hough 变换相比,具有很强的实用意义及应用前景。



参考文献:

- [1] 杨耀权,等.用 Hough 变换提高激光光斑中心定位精度的算法 [J]. 光学学报, 1999, 19(12): 1655 - 1660.
- [2] Yang Yaoquan An algorithm of locating laser spot center [A]. IEEE, Proceeding of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation [C]. 2000, 1373 - 1375.
- [3] Alberto S Aguado, M Eugennia Montiel, Mark S Nixon. On using directional information for parameter space decomposition in ellipse detection [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(3): 369 - 381.
- [4] 刘勋,毋立芳,林娟.一种改进的 Hough 变换提取圆的方法 [J]. 信号处理, 2004, 20(6): 623 - 627.
- [5] Dimitrios Iannou, Walter Huda, Andrew f Laine. Circle recognition through a 2D Hough Transform and radius histogramming [J]. Image and Vision Computing, 1999, 17: 15 - 26.