

# 一种改进的基于对称性的 Hough 变换圆检测算法

王红茹, 丁 文

(江苏科技大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212003)

**摘 要:** 为提高圆形轮廓目标检测的快速性, 提出一种改进的基于对称性的 Hough 变换圆检测算法. 首先对图像进行去噪和边缘提取, 并剔除边缘点中可能共线的点; 然后利用圆的对称性分两步在一维空间中利用 Hough 变换投票得到圆心坐标; 最后在一维参数空间利用 Hough 变换累加半径投票值得到半径. 对比实验表明, 提出的算法有较高的识别准确率和较高的运算速度.

**关键词:** 计算机视觉; 改进的 Hough 变换; 对称性; 圆检测; 共线点

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2014)06-0121-04

## An Improved Symmetry-Based Hough Transform Algorithm for Circle Detection

WANG Hong-ru, DING Wen

(College of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** In order to improve the rapidity of object detection with circular outlines, an improved symmetry-based Hough transform algorithm for circle detection is proposed. First, an input image is denoised by Gaussian algorithm, and its edge is detected with Canny algorithm. At the same time, the possible collinear points are removed. Then, based on circle symmetry, the coordinate of circle center is got by using Hough transform in one-dimensional space. Finally, voting with Hough transform is employed to obtain radius in one-dimensional space. Comparative experiment results indicate that the proposed algorithm has a higher recognition accuracy and quicker speed of operation.

**Key words:** computer vision; improved Hough transform; symmetry; circle detection; collinear points.

### 1 引言

在基于计算机视觉的工业产品质量检测、电路板在线质量检测、机器人导航、医学及生物学的信息获取、自动化装配中, 圆形特征的检测与识别是重要的工作之一. 而 Hough 变换<sup>[1]</sup>是图像处理中用于目标形状特征提取的一种重要方法, 它是由 Paul Hough 于 1962 年提出的. 经典的 Hough 变换常用于直线段、圆和椭圆的检测, 广义 Hough 变换可以推广至任意形状的检测. Hough 变换的优点是对于区域边界被噪声干扰或被其他目标遮盖而引起边界发生某些间断的情况, 它具有很好的容错性和鲁

棒性.

标准 Hough 变换(SHT)检测圆的基本思想是将图像空间变换到参数空间, 图像空间的点映射到参数空间为一个圆锥曲面. 采用“一对多”的机制对参数空间的坐标点进行投票, 寻找最大投票值对应的坐标点得到圆的参数. 在笛卡尔坐标系下圆的方程描述为  $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ , 找到的最大峰值所对应的点其坐标值即为圆方程中的参数  $(a, b, r)$ . 而由于圆参数为  $a, b, r$  三个, 投票累加是在三维空间进行的, 所以这种方法的计算量过大, 占用内存多, 实际应用中难以实现. 为了克服这些缺点, 很多学者提出了新的方法以改善 Hough 变换的性能.

收稿日期: 2013-08-22; 修回日期: 2013-10-11

基金项目: 江苏科技大学高级人才项目(35020902)

XU 等人<sup>[2]</sup>提出的随机 Hough 变换(RHT),通过采用随机采样、动态链表存储、收敛映射来减少计算时间和降低内存消耗,但此法会引入大量无效点从而造成很多无效累计.为此,一些学者<sup>[3-8]</sup>提出了改进的随机 Hough 变换用以降低算法运行时间,减少无效点的累计;还有一些圆形检测算法<sup>[9-11]</sup>是采取降低参数空间的维数和采取密集聚类的方法以及改进搜索方法来减少计算量、提高检测精度.目前广泛使用的开源计算机视觉库中的 Hough 变换圆检测算法便是运用轮廓点的梯度信息用两步法(先检测圆心再检测半径)来识别圆的.虽然这些算法对轮廓清晰,背景简单的图像处理有较好的效果,但是在对较大图像的处理,或者背景较复杂的条件下算法计算量大,并且算法的复杂度也很高.

本文提出一种改进的基于圆对称性的 Hough 变换算法.本算法是从降低参数空间维数、减少无效点的累计出发利用圆的几何特性来提高运行速度的.

## 2 原理分析

### 2.1 剔除可能共线的像素点

理论上,圆上的像素点基本都是非共线点.对经过边缘检测的二值图像去除可能共线的像素点后剩下的便是大部分在曲线上的点,通过此步可以大量减少无效点的累计.虽然由于摄像机镜头畸变而导致实际获取的图像会有直线不直的现象,或者检测直径较大的圆时有部分轮廓上的连续像素点也可能是共线的,但是大部分的共线像素点被剔除而大部分的曲线像素点将被保留.考虑像素点 8 邻域内可能为共线点的情况有 4 种(如图 1 所示),分别设标志为  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ .对二值边缘图像上所有像素值为 255 的像素点的 8 邻域像素点灰度值进行检查,若出现  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$  任意一种情况则将该像素点的值设为 0.

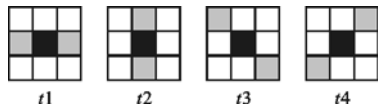


图 1 边缘点 8 邻域内的 4 种情况

### 2.2 圆心的检测

在笛卡尔坐标系中圆的方程可表示为  $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ , 圆心坐标为  $(a, b)$ . 由于圆是中心对称图形,图 2(a)中  $m_i$  和  $n_i$  为水平扫描线  $H_i$  与圆的交点,  $a_i$  为它们的中点.则水平扫描线与圆的交点的中点满足  $a = a_{i-1} = a_i = a_{i+1} = \dots = a_{i+k}$ .通过

水平扫描可得到圆心坐标的  $a$  值.具体方法是创建一维累加动态数组  $pxcount[]$ ,数组长度为图像宽度  $imwidth$ ,对上一步处理后的边缘图像的每一行从左到右对像素值为 255 的像素点向右查找下一像素值为 255 的点,若找到则计算两点的中点横坐标值  $x_i$ .同时对应数组中的  $pxcount[x_i]$  加 1,利用 Hough 变换原理累加计数.最后统计一维数组  $pxcount$  中的最大累加值,该累加值对应的  $x_i$  即为坐标  $a$  的值.同理,垂直扫描,同样建立一维数组  $pycount[]$ ,数组长度为图像高度  $imheight$ ,垂直扫描找到中点投票最大值对应的  $y_i$  即为坐标  $b$  的值,如图 2(b) 所示.

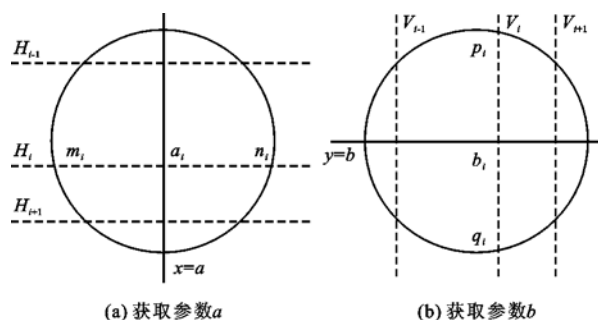


图 2 圆心的检测

### 2.3 半径的检测

创建半径一维累加动态数组  $prcount[]$ ,数组长度为

$rscope = (\text{int}) \sqrt{(\text{double})(imwidth \times imwidth + imheight \times imheight)}$ .

将上一步处理后的图像的边缘点代入圆方程  $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ ,运用 Hough 变换原理对每个边缘点计算得到的  $r_i$  在一维数组中累加,最终统计一维数组中最大累加值,其对应的  $r$  即为圆半径值.

## 3 完整的算法流程

(1)对输入图像进行高斯模糊去除噪声,用 Canny 算子进行边缘检测得到二值边缘图像  $imBw$ .

(2)判断  $imBw$  中每一个边缘像素点的 8 邻域值是否为  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$  中的任意一种情况,若是,则将该像素点置为 0,对所有边缘点进行处理后的图像保存二值图像  $imdst$ .

(3)水平扫描图像  $imdst$ ,对每个像素值为 255 的边缘点  $p_{i,j}$ ,向右搜索找到最近的值为 255 的像素点  $p_{i+1,j}$ ,在一维数组中用 Hough 变换累加两点的中点坐标值  $x_i$ ,寻找投票最大值对应的  $x_i$ ,得到

坐标  $a$ .

(4)垂直扫描图像  $imd_{st}$ ,对每个像素值为 255 的边缘点  $p_{i,j}$ ,向下搜索找到最近的值为 255 的像素点  $p_{i,j+1}$ ,在一维数组中用 Hough 变换累加两点的中点坐标值  $y_j$ ,寻找投票最大值对应的  $y_j$ ,得到坐标  $b$ .

(5)将图像  $imd_{st}$  中的所有像素点带入方程  $(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$  中,在一维数组中用 Hough 变换累加各候选  $r$  值,找到最大投票值对应的候选  $r$  值,若最大投票数  $r_{countmax} < T \times 2\pi r$  ( $T=0.4$ ) 则判断为没有检测到圆.

#### 4 实验结果与分析

为验证本文算法的可行性,在同样的运行环境(配置为 Intel 酷睿双核 i5-2450M(2.5 GHz)内存为 1 GB 的计算机上用 Visual Studio 2010 编程)下,进行了对比仿真实验.

图 3 为一大大小为  $400\text{pixel} \times 400\text{pixel}$  的简单合成图像,由图 4 可以看出在剔除可能共线的点之后,使得参与之后运算的无效点大量减少.图 5(a)和图 5(b)分别是采用 OpenCV 中的两步法和本文提出的算法对图 3 的检测结果.表 1 是两种方法检测结果的定量表示.由图 5 和表 1 可以看出,本文提出的算法具有更高的检测精度,并且算法运行速度有很大程度提高.

表 1 两种算法对图 3 的检测结果对比

|                 | 圆心坐标      |           | 半径  |     | 执行 20 次<br>平均运行<br>时间/ms |
|-----------------|-----------|-----------|-----|-----|--------------------------|
|                 | 检测值       | 真实值       | 检测值 | 真实值 |                          |
| OpenCV 中的<br>算法 | (226,248) | (229,246) | 68  | 69  | 23                       |
| 本文提<br>出的算法     | (229,246) | (229,246) | 69  | 69  | 4                        |



图 3 简单的合成图像

图 6(a)和图 6(b)是两张大小分别为  $640\text{ pixel} \times 480\text{ pixel}$  和  $800\text{ pixel} \times 600\text{ pixel}$  的实际图像.图 7、图 8 分别为采用 OpenCV 中的算法和本文算法



图 4 剔除可能共线点后的二值图

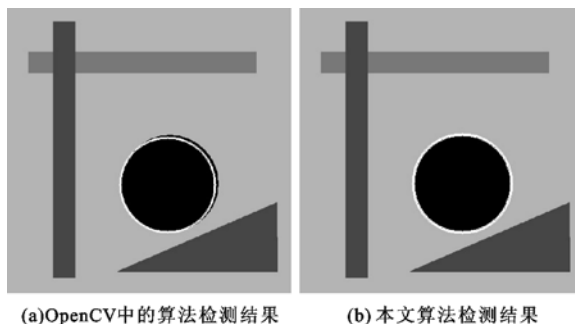


图 5 简单图像的检测结果

对图 6(a)和图 6(b)的检测结果.

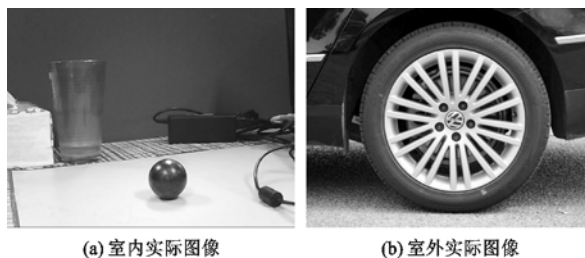


图 6 复杂图像

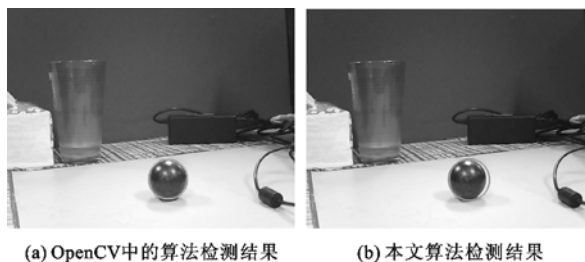


图 7 室内图像检测结果

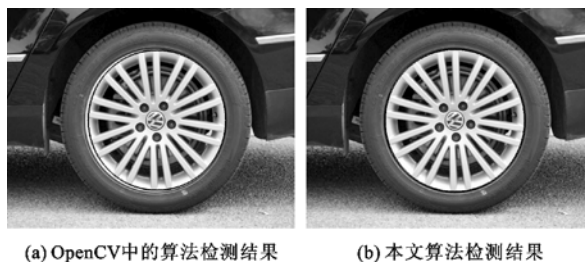


图 8 室外图像检测结果

由图 7、图 8 和表 2 可以看出,本文提出的算法对实际图像具有更高的检测精度,且比 OpenCV 中

的两步法运行速度提高 4~5 倍左右.

表 2 运用两种算法对图 6(a)和  
图 6(b)各检测 20 次的平均时间

|               | OpenCV 中的算法 | 本文算法 |
|---------------|-------------|------|
| 图 6(a)检测的运行时间 | 21          | 5    |
| 图 6(b)检测的运行时间 | 42          | 8    |

## 5 结束语

本文提出用于检测圆形轮廓的改进 Hough 算法. 首先运用标准高斯变换进行去噪处理、Canny 算子进行边缘提取,并在边缘像素点 8 邻域内剔除可能共线的边缘点,以减少后续圆心坐标和圆半径计算时的工作量;然后利用图像中的少数点(边缘点)在一维空间中采用 Hough 变换求取圆心坐标和圆半径. 仿真实验验证了本文所提出的算法的有效性.

## 参考文献:

- [1] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京: 国防工业出版社,1998.
- [2] Xu L, Oja E. A new curve detection method: Randomized Hough Transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(5): 331-338.
- [3] S H Chiu, J J Liaw, K H Lin, et al. A fast randomized Hough transform for circle/circular arc recognition [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, 24(3):457-474.
- [4] Akihiko Torii, Atsushi Imiya. The randomized-hough

- transform-based method for great-circle detection on sphere [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28 (10): 1186-1192.

- [5] Lianyuan Jiang. Efficient randomized hough transform for circle detection using novel probability sampling and feature points[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2012, 123 (20): 1834-1840.
- [6] 刘延杰,赖日飞,荣伟彬,等. 基于改进随机 Hough 变换的快速中心检测方法[J]. 纳米技术与精密工程, 2011, 9(4): 298-304.
- [7] 蒋联源,苏勤,祝英俊. 快速随机 Hough 变换多圆检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45 (17): 163-166.
- [8] 张道德,胡新宇,杨光友. 一种改进的随机 Hough 变换圆检测算法[J]. 电子器件, 2009, 32(3): 721-724.
- [9] 秦开怀,王海颖,郑辑涛. 一种基于 Hough 变换的圆和矩形的快速检测方法[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(1):109-115.
- [10] 于永彦,王志坚. 一种从图像中检测多种圆的新方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(11): 194-196.
- [11] Christopher Hollitt. A convolution approach to the circle Hough transform for arbitrary radius[J]. Machine Vision and Applications, 2013, 24(4): 683-694.

## 作者简介:

王红茹 女,(1979-),博士,讲师. 研究方向为智能机器人技术.

丁文 男,(1989-),硕士. 研究方向为机器视觉.

(上接第 120 页)

- [2] Hristidis V, Papakonstantinou Y. DISCOVER: Keyword search in relational databases[C]// Proceedings of the 28th VLD Conference, Hongkong, China; IEEE, 2002:670-681.
- [3] Zhan J, Wang S. ITREKS: Keyword search over relational database by indexingtuple relationship [C] // Proc of the 12th Int'l Conf. on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA 2007). Bangkok: Springer-Verlag, 2007: 67-78.
- [4] MARKUS SOBEK. A survey of google's pagerank [DB/OL] [2013-08-22] (2006-05-01). <http://pr.efactory.de>.
- [5] Wen Jijun, Wang Shan. SEEKER: keyword-based information retrieval over relational databases [J]. Journal of Software, 2005, 16(7):1270-1281.
- [6] Jianhua Feng, Guoliang Li, Jianyong Wang. Finding top-k answers in keyword search over relational data-

bases using tuple units[J]. Compute Sci & Technol. 2011, 23(7):1035-1049.

- [7] Bhalotia G, Hulgeri A, Nakhey C, et al. Keyword searching and browsing in database using BANKS[C] // ICDE. San Jose: IEEE, 2002: 431-440
- [8] Agrawal S, Chaudhuri S, Das G. DBXplorer: A system for keyword-based search over relational databases [C]// IDCE. San Jose: IEEE, 2002: 5-16.

## 作者简介:

莫红枝 女,(1981-),本科,实验师,研究方向为计算机网络.

甘井中 男,(1970-),硕士,高级工程师,研究方向为计算机软件.

吕洁 女,(1979-),硕士,副教授,研究方向为计算机研究技术.