

新型亚像素圆检测算法

张成¹,王昕¹,史健卫²,韩凡石²

ZHANG Cheng¹,WANG Xin¹,SHI Jian-wei²,HAN Fan-shi²

1.哈尔滨工业大学深圳研究生院 机械工程与自动化学科部,广东 深圳 518055

2.日东电子科技(深圳)有限公司 工程部,广东 深圳 518103

1.Division of Mechanical Engineering and Automation,Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School,Shenzhen,Guangdong 518055,China

2.Department of Engineering,Sun East Electronic Technology(Shen Zhen) Co.,Ltd.,Shenzhen,Guangdong 518103,China

E-mail:f17a@163.com

ZHANG Cheng,WANG Xin,SHI Jian-wei,et al.Novel computer vision algorithm for sub-pixel circle detection.Computer Engineering and Applications,2009,45(31):175-177.

Abstract: An improved algorithm for sub-pixel circle detection in computer vision is introduced into vision detection in this paper,according to an available theory of circle drawing of computer graphics.It can avoid multiple calculation and slow speed compared with general sub-pixel circle detection algorithms.Experiments show that the target circle can be detected in large images more fast and accurately by this method and with better anti-noisy ability.

Key words: circle detection;computer graphics;sub-pixel;midpoint Bresenham algorithm

摘要:提出了一种在计算机视觉检测中用于亚像素圆检测的快速新算法,该算法把计算机图形学中的对圆形的生成算法理论引入到视觉检测中,避免了由于亚像素圆检测带来的计算量大,速度慢的问题。实验表明,该检测方法不仅速度快,精度高,而且抗噪能力强。

关键词:圆检测;计算机图形学;亚像素;中点 Bresenham 算法

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.31.052 文章编号:1002-8331(2009)31-0175-03 文献标识码:A 中图分类号:TP301.6

1 引言

在日常生活和自动化工业生产中,对圆的检测需求不断地增加,而且要求的检测的精度越来越高,能够准确快速地检测出圆在图像中的位置并且获得圆的几何参数是视觉检测中一项重要的任务。所以,圆的检测一直受到国内外学者的关注并对其进行不断研究。

在圆检测中应用最广的方法是 Hough 变换或其改进算法^[1]。而这些算法计算比较复杂,尤其当圆的参数是三维的时候,时间和内存的消耗都很巨大,根本不能满足工业生产中的实时性要求。如果要求精度达到亚像素级,有一些有效的算法:如通过曲线拟合插值的方法进行亚像素计算^[2];有用灰度矩的思想来定位亚像素边缘^[3];还有利用空间矩亚像素算子^[4]检测的,但是这些算法计算量较大,运算速度较慢。

以上对圆进行亚像素检测的算法都不能很好地解决计算量大、速度慢与定位精度之间的矛盾问题。引入计算机图形学中圆形生成算法理论^[5]并将其改进,应用到对圆的亚像素检测

问题中,从而,避免了上述几种算法计算量大、速度慢、内存消耗大等问题。

2 算法的理论基础

在计算机图形学中,图形的扫描转换是在光栅显示器等数字设备上确定一个最佳逼近于图形的像素集过程。

为了能够最佳逼近于圆形,假设在像素级描绘圆心在 origin,半径为 R 的圆,采用改进的中点 Bresenham 画圆算法^[6]。

该方法的基本思想是:

利用圆的函数方程:

$$x^2+y^2=R^2 \quad (1)$$

构造判别式函数:

$$d=F(x,y)=x^2+y^2-R^2 \quad (2)$$

对于圆上的点,有 $F(x,y)=0$,对于圆外的点,有 $F(x,y)>0$,

对于圆内的点,有 $F(x,y)<0$ 。

如图 1 所示, P,M 点的坐标分别是 $P(x_i,y_i),M(x_i+1,y_i-0.5)$ 。

作者简介:张成(1983-),男,硕士生,主要研究领域为视觉技术在自动模板印刷机精密对位及印刷后检测系统的应用;王昕(1971-),女,博士学位,副教授,主要研究领域为自动化技术与应用、视觉技术、数控技术。

收稿日期:2008-06-04 修回日期:2008-10-10

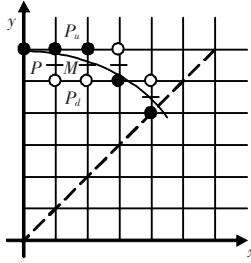


图1 中点 Bresenham 画圆算法原理图

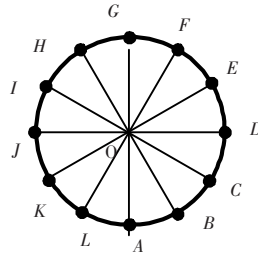


图2 求半径 R' 示意图

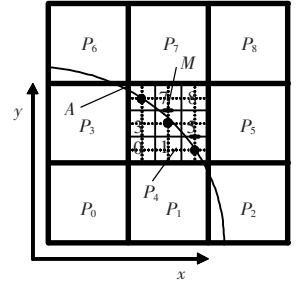


图3 亚像素检测原理图

当 $d=F(x_M, y_M)<0$ 时, 取 $P_u(x_i+1, y_i)$;
 当 $d=F(x_M, y_M)>0$ 时, 取 $P_d(x_i+1, y_i-1)$;
 当 $d=F(x_M, y_M)=0$ 时, 约定取 P_u 。
 误差项的递推:
 $d \leq 0$ 时
 $d=F(x_i+2, y_i-0.5)=(x_i+2)^2+(y_i-0.5)^2-R^2=d+2x_i+3$
 $d > 0$ 时
 $d=F(x_i+2, y_i-1.5)=(x_i+2)^2+(y_i-1.5)^2-R^2=d+2(x_i-y_i)+5$
 判别式的初始值:
 设 $x=0, y=R$, 得
 $d_0=F(x+1, y-0.5)=F(1, R-0.5)=1+(R-0.5)^2=1.25-R$

3 算法原理与描述

通过视觉系统采集到灰度图像后, 对其进行自适应性阈值化, 边缘提取、边缘跟踪得到边缘图像信息, 即边缘点集的坐标序列 $\{(x_i, y_i), i=0, 1, \dots, N\}$, 然后估算出圆的粗略位置与几何参数, 最终利用中点 Bresenham 算法, 进行圆的亚像素最佳逼近, 通过判断最佳逼近的圆与目标图像的重合程度来确定目标圆的准确位置以及几何参数。

3.1 算法原理

为了减少计算量, 增加计算速度, 引入边缘跟踪算法减少无效边界点的计算, 获得边缘信息, 即圆上像素的个数, 以及每个像素的位置坐标。这样就很容易粗略计算出目标圆的几何中心 $O'(x', y')$ 以及圆的半径 R' , 来减少搜索的范围, 如图 2 所示。计算如下:

$$x' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, y' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (3)$$

由于圆上像素信息已知, 通过计算多个直径距离来获得平均值 R' , 考虑到能够对缺陷圆进行检测, 在求平均值前, 把获得到的多个直径数值中的几个最大值和最小值排除掉。

当目标圆的几何中心 $O'(x', y')$ 以及圆的半径 R' 确定后, 在 $O'(x', y')$ 和 R' 有效区域内应用中点 Bresenham 算法, 图 3 是亚像素检测的基本原理图。

如图 3 所示, 目标圆 O 在 $P_i(i=0, \dots, 8)$ 共 9 个像素区域的真实曲线轨迹, 为了简单地表达该亚像素的算法原理, 将像素 P_4 平均分成 3×3 的子像素 $j(0, \dots, 8)$, 设 A 的坐标为 $A(x_j, y_j)$, 则可以推导出子像素 6 的中心坐标为 $(x_j+1/6, y_j-1/6)$, M 点的坐标为 $M(x_j+1/2, y_j-1/3)$, 为了计算简单设 $x''=x_j+1/6, y''=y_j-1/6$, 则子像素 6 的中心坐标为 (x'', y'') , M 点的坐标为 $M(x''+1/3, y''-1/6)$, 应用中点 Bresenham 画圆算法, 计算出亚像素中圆描绘

的误差项的递推:

当 $d \leq 0$ 时
 $d=F(x_i+1/3, y_i-1/6)=(x_i+1/3)^2+(y_i-1/6)^2-R^2=d+2/3x_i+1/3$
 当 $d > 0$ 时
 $d=F(x_i+2/3, y_i-1/6)=(x_i+2/3)^2+(y_i-1/6)^2-R^2=d+2/3(x_i-y_i)+5/9$
 判别式的初始值:
 $d_0=F(x_0+1/3, y_0-1/6)=F(1/3, R-1/6)=1/9+(R-1/6)^2-R^2=5/36-1/3R$

因为上述算法, 把每个像素又平均分成子像素, 这样就使中点 Bresenham 算法对圆形的最佳逼近达到了亚像素级, 虽然受到客观像素的影响不能在真正的输出设备上显示出来, 但是, 该方法在完全可以应用到圆形检测中, 该文是为了表达方便, 才将每个像素平均分成 3×3 的子像素, 实际上, 可以根据具体的检测精度要求, 将每个像素分成 10×10 的子像素, 这样圆的检测精度将会更高, 但是, 速度将会有所降低。

3.2 算法描述

该新算法流程图如图 4。

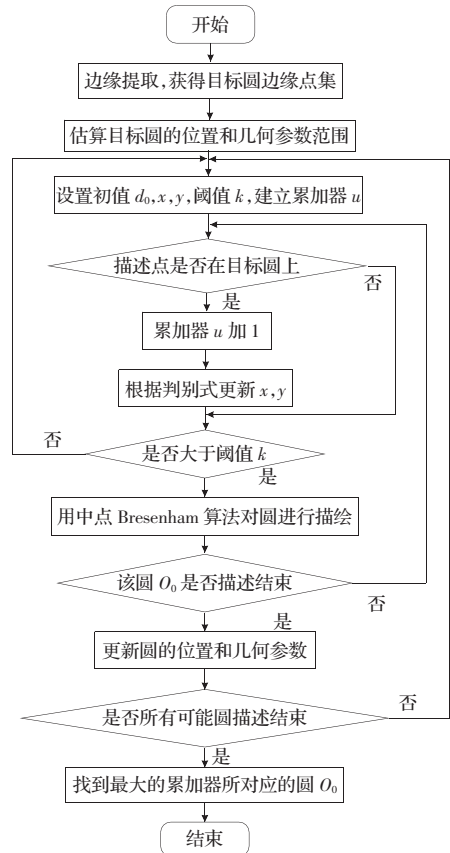


图4 新算法流程图

4 实验及其结果分析

对于以上的算法,采用硬件 PIV2.8 GHz 的处理器以及 256 M 的 RAM,用 VC++6.0 编程实现。实验分为用 332×240 像素的人工合成图和实拍图进行检验算法的效果。图 5 是人工合成图,其中图 5 中的(c),(d)加入了椒盐噪声,实验结果如表 1。

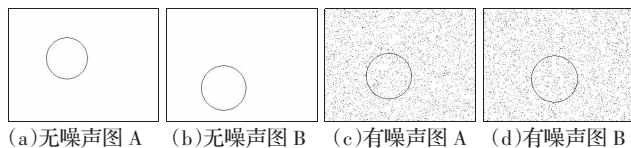


图 5 人工合成图

表 1 人工合成图检测结果对照表 像素

图编号	1	2	3	4	5	6	7	8	
圆几何	圆半径	44.50	48.00	49.00	50.00	45.00	46.50	47.00	47.50
参数真	X 坐标	124.50	121.00	135.00	149.00	238.00	136.50	128.00	133.50
实值	Y 坐标	105.50	168.00	143.00	149.00	236.00	137.50	138.00	107.50
圆几何	圆半径	44.53	47.99	48.98	49.97	45.039	46.45	47.02	47.46
参数检	X 坐标	124.47	121.02	135.08	149.06	238.02	136.49	127.96	133.47
测值	Y 坐标	105.56	167.93	143.03	148.97	236.04	137.51	138.01	107.50

对于检测合成图一般只需要时间 3~4 s, 不仅定位精度很高,而且在准确的粗略搜索范围确定后,该算法有很强的抗噪声干扰的能力,定位一般误差为±0.04 像素。

该文的算法主要在自动模板丝印机中进行了实际系统实验。图 6 为印刷机的在运行中采集的电路板的标志点的原始图像,图像尺寸为 640×480,其实际范围是 7 m×5 m。图 7~图 9 分别是对原始图形自适应性阈值化,边缘提取,边缘跟踪。



图 6 原始图像 图 7 阈值化图像 图 8 边缘提取 图 9 边缘跟踪

表 2 是该文的算法与改进 Hough 变换的圆检测结果的对照表,从表 2 中可以看出,该算法和改进 Hough 变换的检测的圆心坐标和半径参数相比,最大差值不超过 0.3 像素,平均值稳定在 0.1 像素左右。同样可以说明该算法是切实可行的。但

是,在算法的运算时间上,改进 Hough 变换至少需要 40~50 s,而该算法仅需 3~4 s,是改进 Hough 变换算法时间的 10 多倍。另外,该算法同样对圆的局部缺陷或凸起,有很好的适应性。

表 2 实拍图检测结果对照表 像素

图编号	1	2	3	4	5	6	7	8	
Hough 变换	圆半径	48.26	49.68	49.28	48.98	48.86	48.37	48.60	47.91
(1/10 像素)	X 坐标	272.67	232.15	324.88	243.06	240.56	271.05	275.90	279.45
圆检测值	Y 坐标	210.99	197.02	220.28	215.04	188.57	198.82	195.64	199.19
该算法(1/	圆半径	48.20	49.81	49.27	49.10	49.05	48.19	48.68	48.10
10 像素)	X 坐标	272.76	232.17	325.02	243.32	240.81	271.02	275.64	279.45
圆检测值	Y 坐标	210.80	197.07	220.18	214.72	188.27	198.58	195.61	198.98

5 结论

提出了一种对圆亚像素检测的新算法,该算法将计算机图形学中圆的逼近生成理论应用到对圆亚像素的检测问题中,避免了如 Hough 变换等算法中有巨大的计算量大,消耗大量内存,效率不高等问题,却可以同时检测出圆心位置及其半径。实验结果表明,该算法不仅速度快,精度高,而且在有噪声干扰的情况下,目标圆的局部有一定的畸变,该算法也能较快速、精确地对圆进行检测。

参考文献:

- [1] 梁萧颖.基于 Hough 变换的多适应性圆检测[J].机械与电子,2007,9:74-75.
- [2] Truchetet F,Laligant O.Subpixel edge detection for dimensional control by artificial vision[J].Journal of Electronic Imaging,2001,10(1):234-239.
- [3] 张永宏.基于灰度矩的 CCD 图像亚像素边缘检测算法研究[J].光学技术,2004,30(6):693-698.
- [4] Kris J,Dimitris A.Subpixel edge localization and the interpolation of still images[J].IEEE Trans on Image Processing,1995,4(3):285-295.
- [5] 孙家广.计算机图形学[M].3 版.北京:清华大学出版社,1999.
- [6] 和青芳.计算机图形学原理及算法教程:Visual C++版[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [7] Cox I J,Kilian J,Leighton T,et al.Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J].IEEE Transactions on Image Processing,1997,6(12):1673-1687.
- [8] 陈海永.DCT 域图像水印算法的研究[D].哈尔滨理工大学,2005:31-38.
- [9] 孙圣和,陆哲明,牛夏牧,等.数字水印技术及应用[M].北京:科学出版社,2004:74-76.

(上接 174 页)

- [4] 陈心浩,陈军波,陈亚光.基于 Turbo 码的信息隐藏技术[J].计算机工程与应用,2004,40(15):62-64.
- [5] 茹国宝,杨锐,夏双奎,等.基于 Turbo 码的图像数字水印技术[J].武汉大学学报:理学版,2003,49(5):633-636.
- [6] Shoemaker C.Hidden bits:A survey of techniques for digital watermarking[EB/OL].(2002).http://www.vu.union.edu/~shoemakc/water-

marking/.