

图像处理中处理重叠椭圆轮廓的改进算法

刘 鑫, 张赤斌*

(东南大学机械工程学院, 江苏 南京 211189)

摘 要: 为了提取数字图像处理中重叠椭圆的真实轮廓信息, 将一种改进的 K-means 聚类法和图像轮廓凹点筛选方法相结合。新方法相比已有的重叠椭圆检测算法, 能提高处理复杂重叠椭圆轮廓的能力, 并明显提升了图像轮廓凹点检测方法的鲁棒性。新算法有较好的稳定性, 提取的重叠椭圆轮廓信息与真实轮廓误差明显减小。

关键词: 重叠椭圆; 凹点筛选; K-means; 稳定性

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2018)01-0019-05

Improved Algorithm for Processing Oval Contour in Image Processing

LIU Xin, ZHANG Chi-bin*

(Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: In order to extract the real contour information of overlapping ellipses in digital image processing, this paper combines an improved K-means clustering method with the image contour pits filter method. Compared with the existing overlapping ellipse detection algorithm, the method can improve the ability of dealing with complex overlapping elliptical contour and significantly improve the robustness of the image contour pitting detection method. The experimental results showed that the proposed algorithm has good stability, the error between the extracted elliptical contour information and the real contour is significantly reduced.

Key words: overlapping ellipse; pits filter; K-means; stability

现阶段采用数字图像处理的方法提取图形的几何特征的研究, 已经逐渐深入各个科研领域。在图像中, 通过提取椭圆解决实际问题的方法逐渐普遍, 如视觉图像方面的人脸识别应用^[1], 工业过程工件尺寸、中心的检测^[2], 医学领域的粘连细胞分割、识别问题^[3], 天文领域对日食图片的标准化和排序处理^[4], 军事领域中舰船螺旋桨产生的大量气泡尺寸分布的计算^[5]等。Hough 变换是检测椭圆的有效且广泛使用的方法, 其优点在于受噪声和间断点的影响较小, RHT(Randomized Hough Transform)在检测简单椭圆时获得了不错的效果, 通过对五点椭圆检测法的优化得到三点椭圆检测法^[6]、几何对称法^[7]、极点-极弦的性质算法^[8]等, 而对于多重叠、多遮挡类型的椭圆簇检测, 出现无法检测或偏差较大的结果。为此, 相关研究机构^[9-12]已经对椭圆重叠检测算法进行研究, 但在准确性、稳定性上有待提升。本文将比较目前已有的椭圆重叠检测算法, 对其细节进行优化, 并提出改进的 K-means 聚类法, 合理匹配由凹点分割的曲线段。

1 重叠椭圆识别算法的总体流程

本文识别重叠椭圆的算法总体流程如图 1。首先需要对待图像进行预处理; 其次, 提取重叠图像的特征多边形, 判断特征多边形的凹点位置, 用凹点将边缘图像进行分段; 最后利用 K-means 方法对各分段进行

收稿日期: 2017-01-28

基金项目: 国家自然科学基金(51375090)

作者简介: 刘鑫(1992—), 男, 江苏南通人, 硕士研究生, 主要从事机械电子设备的设计及开发方面的研究。

通信作者: 张赤斌(1968—), 男, 天津人, 教授, 博士, 主要从事机电控制及自动化、智能控制及微机应用、纳米理论及技术的研究。

迭代匹配,直至获得整体最优解,绘出各重叠椭圆曲线。

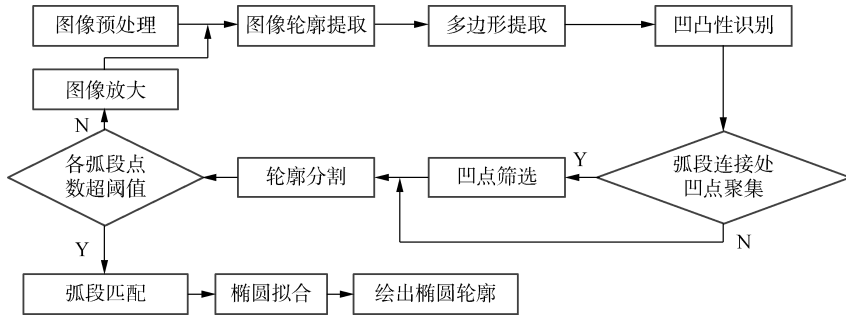


图 1 算法总体流程图

2 凸性曲线段的获取

2.1 特征多边形的提取

本文以计算机合成的图像为例,如图 2(a)。由于边缘检测后的图像边界点较多,如图 2(b),且连通区域内会出现个别点的跳跃,对后续凹点检测方法将造成误判。为了减少计算量和保留图像特征点,本文采用经典的道格拉斯-普克算法,通过抑制共线点所获得的近似多边形代替 canny 边缘检测,如图 2(c)。

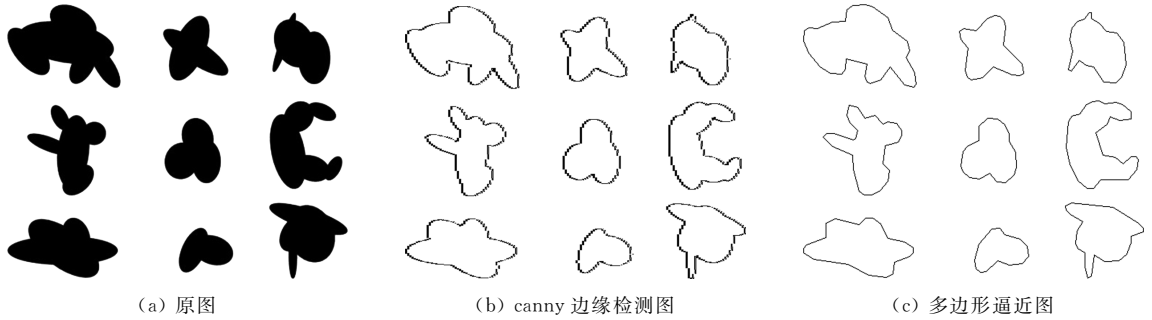


图 2 图像初期处理

2.2 凹点的识别与筛选

使用凹凸性原理对已获得的重叠椭圆多边形图像再次进行处理,已知本文的轮廓点遍历方向为逆时针方向,依次取多边形轮廓上 p_i, p_j, p_k 三点,计算向量叉乘 $\vec{p_i p_j} \times \vec{p_j p_k}$ [11]。根据右手定则,若拇指垂直于纸面向外则为凸点,否则为凹点,如此遍历,以某一图像为例,判断结果如图 3(a),但连接曲线段交界处可能存在多个凹点满足向量叉乘判断条件,因此,需对凹点进行筛选,以 F 为轮廓遍历起始点, O 为中心点,圆圈代表凹点位置, F 沿轮廓逆时针转动,绘出边缘点距中心点的距离与点序的曲线图,如图 3(c),凹点的位置出现在曲线的极小值点或拐点位置。此外,靠近中心点的凹点将更能反映曲线的原特征。因此,可在凹点聚集的位置处,筛选出距离中心点最近的凹点,代替原众多聚集的凹点簇,如图 3(b)。将筛选前后凹点在轮廓中进行次序对比,见表 1。

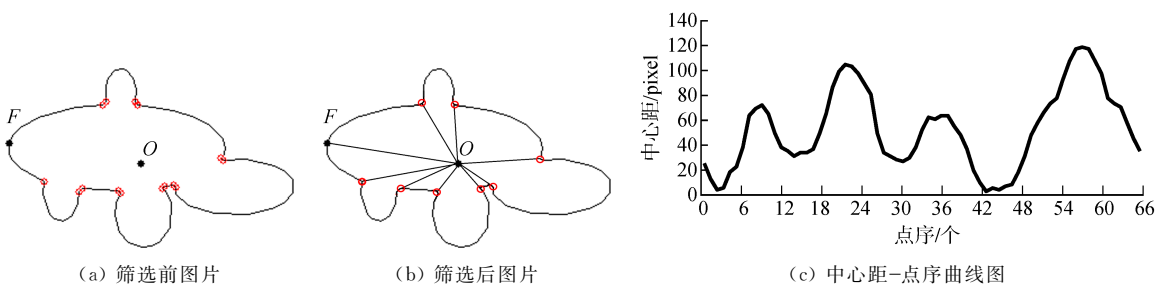


图 3 凹点筛选过程

表 1 凹点筛选记录表

筛选状态	凹点序							
	1	2	3	4	5	6	7	8
筛选前	4	11、12	14、15	26、27	29、30	40、41	48、49	57、58
筛选后	4	12	14	27	29	41	48	58

3 凸性曲线段的匹配

3.1 曲线段的拟合方法

重叠椭圆轮廓经过凹点的分割,形成各分散的曲线段,采用最小二乘法拟合椭圆。二次曲线表示为

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0 \tag{1}$$

其中, (x, y) 为曲线上的点坐标, A, B, C, D, E, F 是二次曲线的参数,若二次曲线为椭圆,需满足 $B^2 - AC < 0$,因此 A 必不为 0,可消去非自由变量,于是式(1)两边可同时除以 A ,得下式。

$$x^2 + axy + by^2 + cx + dy + e = 0 \tag{2}$$

依据最小二乘法原理,拟合的目标函数为

$$P(a, b, c, d, e) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 + ax_iy_i + by_i^2 + cx_i + dy_i + e)^2 \tag{3}$$

求 P 取最小值时,二次曲线对应的 5 个参数值 a, b, c, d, e ,进一步计算椭圆的中心点坐标、长短轴长度、转角值。由式(3)可得,曲线段中像素点的个数越多,拟合的椭圆就更加逼近原椭圆,如果某一曲线段像素点数相对较少或者小于 5 个,可对图像进行放大,放大后的图像仍可保留原重叠轮廓的绝大多数特征,且对于像素较少的曲线段的拟合提供了足够的拟合样本点。

3.2 曲线段的优化匹配

对于重叠椭圆较为复杂的情形,即部分椭圆存在贯穿或同一椭圆被分成多个零散曲线段的现象,使得最小二乘法不能达到理想的检测效果,重叠椭圆轮廓的各曲线段需要合理匹配,最终拟合出准确的椭圆。通过两个限制条件和平均距离偏差的方法^[11]在检测相对简单的重叠椭圆时效果很好,但在检测复杂轮廓时,由于平均距离偏差阈值在匹配过程中固定不变,将导致该阈值无法同时满足图像中的复杂重叠轮廓,需采用渐变的阈值,从而不断迭代选择符合条件的曲线段进行匹配。本文采用拟合误差^[12]和自定义的平均距离误差作为曲线段匹配的判断依据,拟合误差的计算公式为

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n \frac{|x_i^2 + ax_iy_i + by_i^2 + cx_i + dy_i + e|}{N} \tag{4}$$

其中, ϵ 为曲线段的拟合误差值, N 为曲线段像素点的个数, (x_i, y_i) 为图像像素点坐标值。

如图 4,连接曲线段上一像素点 $A_i(x_{ai}, y_{ai})$ 与圆心 $O_1(x_1, y_1)$ 交拟合椭圆于点 $B_i(x_{bi}, y_{bi})$,平均距离误差用 δ 表示,即

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n |A_iB_i|}{N} \tag{5}$$

A_iB_i 为线段的长度, N 为曲线段像素点的个数,线段 A_iO_1 所在的直线方程为

$$\frac{y - y_1}{y_{ai} - y_1} = \frac{x - x_1}{x_{ai} - x_1} \tag{6}$$

令 $m = \frac{y_{ai} - y_1}{x_{ai} - x_1}, n = y_1 - mx_1$,可得

$$y = mx + n \tag{7}$$

把式(7)带入已拟合的椭圆方程式(2),可整理得

$$(1 + am + bm^2)x^2 + (an + 2mnb + md + c)x + bn^2 + dn + e = 0 \tag{8}$$

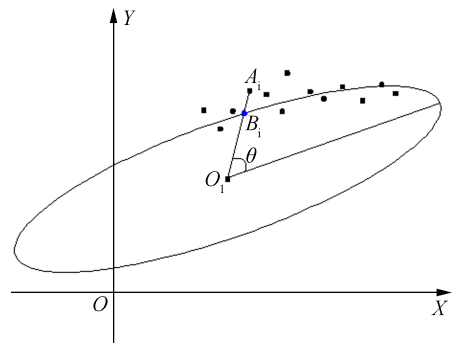


图 4 平均距离误差定义

任取其中一解 x_0 , 令 $k_1 = 1 + am + bm^2$, $k_2 = an + 2mnb + md + c$, $k_3 = bn^2 + dn + e$ 得

$$x_0 = \frac{-k_2 + \sqrt{k_2^2 - 4k_1k_3}}{2k_1} \quad (9)$$

则 x_0 在线段 A_iB_i 延长线上所对应的 y_0 , (x_0, y_0) 是 B_i 或者是 B_i 关于 O_1 的对称点, 但两者与圆心的距离相同, 故用两点式就可求得线段 B_iO_1 的长度, 同理求得 A_iO_1 的长度, 两者之差即为 A_iB_i 。

当凹点数大于等于 4 的重叠椭圆轮廓, 将曲线段分为相应段数, 结合 K-means 聚类算法^[13]进行拟合:

1) 分别以 $p, q, p+q$ 为下标, 代表原曲线段、新曲线段以及临时合并的曲线段, 判断曲线段能否匹配的条件包括 $c\epsilon_{p+q} \leq \epsilon_p + \epsilon_q$, $c\delta_{p+q} \leq \delta_p + \theta_q$ 以及椭圆长短轴比例达到设定阈值, 阈值系数 c ($0 < c \leq 1$) 越高, 对于曲线段匹配精度的要求越高, 初始阶段选取一个较高的 c 值作为阈值系数, 曲线段之间进行两两匹配, 相邻段不需匹配, 通过严格的筛选, 满足判断条件的原曲线段分成 K 个类的曲线段, 曲线段的集合表示为 $C = \{c_i, i=1, 2, \dots, K\}$, 未满足的原曲线段自动成为候选曲线段。

2) K-means 聚类算法的类别中心选为椭圆的五个系数 a, b, c, d, e , 相似性和距离度量 $J(C_k)$ 即为拟合误差和平均距离误差的平方 $J(C_w) = \sum_{(x_i, y_i) \in C_w} (\delta_i + \epsilon_i)^2$ 。 ϵ_i 和 δ_i 分别为第 w 个聚类的拟合误差和平均距离误差。聚类目标 $J(C)$ 即为 $J(C) = \sum_{w=1}^k J(C_w)$ 。

为使聚类目标 $J(C)$ 最小, 需逐步降低阈值系数 c 的大小, 阈值系数 c 每降一步都需用候选曲线段逐次与已有的 K 个类的曲线段进行循环匹配, 不断迭代, 以保证合并的曲线段的拟合误差和平均距离误差最小, 若某一曲线段匹配成功则将此时候选曲线段归并进 K 个类的曲线段, 调整 K 个类的类别中心, 若未匹配成功, 则候选曲线段自动成为下一阶段的候选曲线段。直到阈值系数 c 降低到最低承受阈值或候选曲线段匹配完成, 这时候选曲线段个数为 0, 则转第 4 步, 否则, 转下一步。

3) 若第二步之后仍有候选曲线段, 则表明剩余候选曲线段不属于目前 K 个类中的任何一类, 需要重新选择候选曲线段中的某一曲线段为第 $K+1$ 类, 用剩余曲线段仅对第 $K+1$ 类进行逐步匹配, c 值仍从最大值开始逐步减小, 直至曲线段匹配完成或阈值系数降低到最低承受阈值。

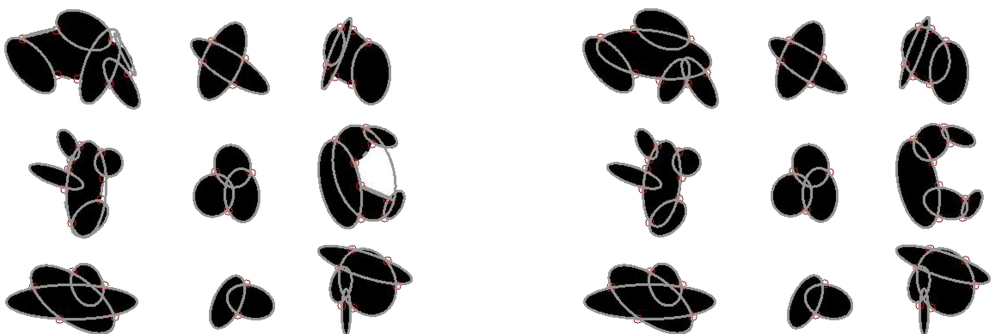
4) 检查候选曲线段个数是否为 0 或聚类中心参数不再发生变化, 否则继续第三步。

4 实验与结果

为检测本文算法, 并与单阈值的椭圆匹配算法^[12]进行比较。实验平台为主频 4 GHz、内存 8 G 的 PC 机, 基于 visual studio 2010 编译器, 使用 C++ 语言实现图像算法。

4.1 合成的二值图像测试

对图 2(a) 进行处理, 单阈值的椭圆匹配算法得到图 5(a), 其识别出的椭圆总个数和正确拟合重叠椭圆轮廓分别为 41 个和 5 个。根据本文算法得到重叠椭圆拟合图像为图 5(b), 其识别出的椭圆总个数和正确拟合重叠椭圆轮廓分别为 32 个和 9 个, 符合实际的椭圆情况。对比发现, 单阈值的椭圆匹配算法在检测凹点较少的椭圆或相对简单的重叠椭圆轮廓时与本文算法接近, 反之, 则存在准确性和稳定性的问题。



(a) 单阈值的椭圆匹配算法的应用

(b) 本文算法的应用

图 5 合成的二值图像测试结果

4.2 自然图像的测试

取自然图像图 6(a)进行测试,其中硬币数为 5,一角硬币 4 枚,一元硬币 1 枚。单阈值的椭圆匹配算法检测结果如图 6(b),本文算法检测结果如图 6(c)。最后,采用随机霍夫椭圆检测算法识别该自然图像的过程中,由于轮廓点对于椭圆中心点的投票过少,未能超过阈值,故认为其非椭圆而无法进一步识别。



图 6 自然图像测试结果

根据本实验可知,对于同一重叠椭圆轮廓,若某个椭圆的轮廓在重叠轮廓中仅有一个曲线段时,单阈值的椭圆匹配算法与本文算法的拟合准确度类似,且曲线段点数越多,最小二乘法拟合就越精确;若某个椭圆的轮廓在重叠轮廓中被分为多个部分,则本文基于 K-means 的匹配算法则更具准确性和稳定性。

参考文献:

- [1] Varun R, Kini Y V, Manikantan K, et al. Face recognition using hough transform based feature extraction[J]. Procedia Computer Science, 2015, 46: 1491 - 1500
- [2] Hahn K, Jung S, Han Y, et al. A new algorithm for ellipse detection by curve segment [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(13): 1836 - 1841
- [3] 邱立英, 林丽群. 基于主凹点检测的血细胞图像去粘连分割算法研究[J]. 微型机与应用, 2017, 36(7): 43 - 45
- [4] Krista L D, McIntosh S W. The standardisation and sequencing of solar eclipse images for the eclipse megamovie project [J]. Solar Physics, 2015, 290(8): 2381 - 2391
- [5] 孙春生, 张晓晖, 韩宏伟. 测量水中微气泡尺度分布的图像处理[J]. 光电工程, 2012, 39(1): 7 - 11
- [6] 袁理, 叶露, 贾建禄. 基于 Hough 变换的椭圆检测方法[J]. 中国光学与应用光学, 2014(4): 379 - 384
- [7] Ho C T, Chen L H. A fast ellipse/circle detector using geometric symmetry[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(1): 117 - 124
- [8] 杨忠根, 栾晓明, 胡辉. 利用极点-极弦性质提取椭圆[J]. 哈尔滨工程大学学报, 1997, 18(5): 70 - 77
- [9] 穆晶晶, 赵昕玥, 何再兴, 等. 基于凹凸变换与圆周拟合的重叠气泡轮廓重构[J]. 浙江大学学报(工学版), 2017, 51(4): 714 - 721
- [10] 李小敏, 汪源源, 余锦华. 凸性连通分支搜索的多椭圆检测[J]. 光程, 2009, 36(12): 107 - 113
- [11] Zhang W H, Jiang X, Liu Y M. A method for recognizing overlapping elliptical bubbles in bubble image[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(12): 1543 - 1548
- [12] 黄青山. 高重叠椭圆形气泡群的图像法研究//中国化工学会. 2015 年中国化工学会年会论文集[C]. 中国化工学会, 2015: 16
- [13] 王千, 王成, 冯振元, 等. K-means 聚类算法研究综述[J]. 电子设计工程, 2012, 20(7): 21 - 24

(责任编辑: 湛 江)