

基于最小外接矩形的珠宝定位技术研究

侯占伟, 贾玉兰, 王志衡

(河南理工大学计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 图像中不规则物体长宽属性较难统一, 且传统的检测算法不够精确。针对该问题, 提出一种自动定位检测算法。该算法通过目标主轴方向估计求出珠宝最小外接矩形, 根据主轴确定目标的初始矩形, 以初始矩形的几何中心为旋转中心对其进行旋转, 从而找到最优矩形姿态, 并平移优化旋转后的矩形, 实现对珠宝轮廓的最终定位。实验结果表明, 与现有检测不规则物体最小外接矩形的算法 MBR 相比, 该算法对于珠宝轮廓的定位更加准确。

关键词: 图像处理; 最小外接矩形; 主轴; 形状定位; 珠宝轮廓; 目标识别

中文引用格式: 侯占伟, 贾玉兰, 王志衡. 基于最小外接矩形的珠宝定位技术研究[J]. 计算机工程, 2016, 42(2): 254-260, 271.

英文引用格式: Hou Zhanwei, Jia Yulan, Wang Zhiheng. Research on Jewelry Positioning Technology Based on Minimum Bounding Rectangle[J]. Computer Engineering, 2016, 42(2): 254-260, 271.

Research on Jewelry Positioning Technology Based on Minimum Bounding Rectangle

HOU Zhanwei, JIA Yulan, WANG Zhiheng

(College of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

[Abstract] The length and width of the irregular object is difficult to be unified in an image, and the traditional detection algorithm is not accurate enough. For this problem, this paper states an automatic location detection algorithm. In order to obtain the minimum bounding rectangle of the jewelry, firstly it estimates the target direction of the principal axis and the initial target rectangle related to the principal axis, following by finding out the optimal rectangle profile with the center of rotation formatted by the initial rectangle's geometric center. It performs translational optimization on the rotated shape of rectangle to achieve the final positioning of the jewelry outline. Experimental results show that this algorithm is more accurate than the existing minimum rectangle algorithm MBR for the detection of irregular object in capable to locate the exact jewelry outline.

[Key words] image processing; minimum bounding rectangle; main shaft; shape positioning; jewelry outline; object recognition

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2016.02.045

1 概述

在图像处理和计算机视觉研究领域, 物体自动定位检测一直是一个值得探讨的问题并被应用到多种领域。如文献[1]提出的车牌定位新算法, 文献[2]提出人脸瞳孔的定位, 文献[3]将物体定位运用于图像检索中。

形状可用来描述和分化对象间的不同, 并已被应用于计算机视觉的许多领域^[4], 寻找最小外接矩

形还可用于各种形式的规范化匹配, 在涉及工业零件检测、遥感影像检测、生物医学图像分析^[5-6]和文档识别^[7]中都发挥了重要作用, 如文献[8]将自适应最小外接矩形应用在 CT 重建小麦分蘖检查上提高了实时性。文献[9]将最小外接矩形应用于 3D 多视点目标检测与定位对象的变化特征中。文献[10-11]利用边界点构造了图像目标的外接多边形。文献[12]提出一种利用顶点链码与离散格林理论相结合的方式提取目标图像的最小外接矩形算

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划基金资助项目(2011A520014); 河南省高校科技创新人才支持计划基金资助项目(13HASTIT039); 河南省基础与前沿技术研究计划基金资助项目(112300410281); 河南理工大学创新型科研团队基金资助项目(T2014-3)。

作者简介: 侯占伟(1976-), 男, 副教授、博士研究生, 主研方向为图像处理、服务计算; 贾玉兰, 硕士研究生; 王志衡(通讯作者), 副教授、博士。

收稿日期: 2015-01-12

修回日期: 2015-03-06

E-mail: wzhenry@eyou.com

法。文献[13]提出一种仅使用区域的边界点代替所有内部点的 MBR (Minimum Bounding Rectangle) 算法确定目标图像的主轴和辅轴,此算法效率较高,但仍存在对于寻找最小外接矩形面积不够小的问题。

为此,本文提出一种利用投影法寻找初始矩形,然后对其进行优化的算法,提取目标的最小外接矩形,并将其应用在对珠宝定位检测上。

2 基于最小外接矩形的珠宝定位

2.1 基本流程

为降低珠宝视觉测量的难度,首先可将目标置于颜色差异明显的背景上进行拍照,然后对图像进行二值化处理将目标与背景分离开来,最后使用本

文提出的珠宝定位技术对其进行自动定位。

如图1所示为本文提出的珠宝轮廓自动定位算法流程:(1)对原图像(如图1(a))基于投影进行轮廓主轴(如图1(b)直线 l 所示)估计;(2)利用主轴与目标轮廓的2个交点(如图1(c) P_1P_2)确定长轴,并通过寻找与长轴垂直的最长线段确定短轴(如图1(c)中 w);(3)基于长轴 P_1P_2 和短轴 P_3P_4 确定初始矩形(如图1(d)中矩形 $T_1T_2T_3T_4$ 所示,其中点 Q 是其中心);(4)以点 Q 为中心旋转矩形 $T_1T_2T_3T_4$ 进行姿态优化(结果如图1(e)中矩形 $V_1V_2V_3V_4$ 所示);(5)通过矩形边的平移操作进行尺寸优化(如图1(f)中矩形 $ABCD$ 所示为求得的最终结果)。

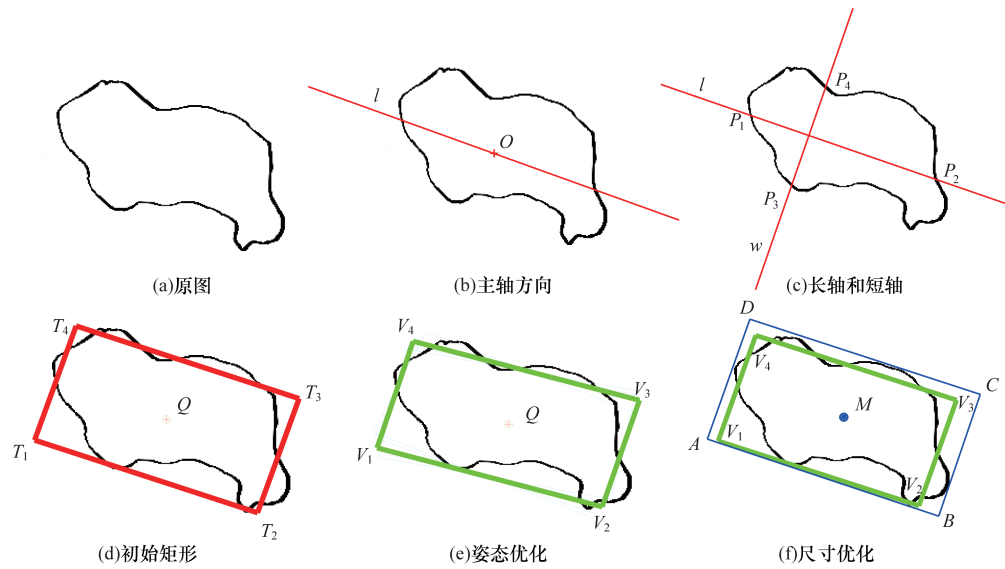


图1 本文算法流程

2.2 目标主轴方向的提取

2.2.1 目标区域的质心计算

二值图像区域的面积由下式给出:

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} B[i,j] \quad (1)$$

对于二值图像,目标的中心位置与物体的质心相同,因此,使用下式求物体的中心位置(约定 y 轴向上):

$$a \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} B[i,j] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} jB[i,j] \quad (2)$$

$$b \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} B[i,j] = - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} iB[i,j] \quad (3)$$

其中, a 与 b 是区域相对于左上角图像的中心坐标,目标的位置为:

$$a = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} jB[i,j]}{A} \quad (4)$$

$$b = - \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} iB[i,j]}{A} \quad (5)$$

2.2.2 主轴方向确定

图像中往往包含丰富的形状和空间信息,有效地描述这些信息是获得图像内目标物体最小矩形的关键。而投影则是二值图像的一种简洁表达方式,投影直方图可以把二维的形状描述问题转化为对一维波形进行分析的问题,能够有效地描述图像的形状及空间分布信息。根据投影原理,求图像中目标物体主轴的步骤如下:

(1)以目标物体的质心 M 为原点建立直角坐标系。

(2)对图像进行全扫描,求图像中过质心 M 且倾角为 $\theta \in (0^\circ, 180^\circ)$ 的直线上的所有像素点,将像素点的坐标记录在数组 $J(\theta; x_i, y_i)$ 中。

(3)记数组 $J(\theta; x_i, y_i)$ 所标志的倾角为 θ 的直线为 L ,求垂直于直线 L 的直线簇为 $\{p_i, 1=1, 2, \dots, n\}$,记直线 p_i 上像素值为1的像素数量为直线 L 与直线 p_i 交点 O 的能量值 $E(\theta, \lambda)$,其中, λ 为能量值。

(4)数组 $E(\theta, \lambda)$ 中极大值 λ 对应的角度 θ 为主轴, O 为投影中心。

实际运算过程中上述过程运算量较大,可将原

始二值图像的直角坐标系转换到极坐标系下并利用 Hough 变换技术实现,利用 Hough 变换求图像主轴方向的具体算法流程为:

(1) 建立合适的直角坐标系并映射到相应的极坐标系。

(2) 在相应的极坐标系下建立累加数组 $D(\theta, \lambda)$ 并将 $D(\theta, \lambda)$ 初始化置 0。

(3) 利用直线的极坐标方程 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 及不同的 θ 取值(从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 取值间隔为 1°),把图像上属于珠宝区域的点映射到相应的极坐标累加数组上。为提高程序的执行速度,在同样的 (θ, ρ) 的情况下,只需找到隶属于珠宝的图像点,则数组 $D(\lambda, \theta)$ 加 1,随后仅改变 (θ, ρ) 的值,接着进行运算。

(4) 统计累加数组 $D(\lambda, \theta)$ 中对应的每个 θ ,求出非零点对应的 $\lambda_{\max} - \lambda_{\min}$ 的值 λ_θ 。

(5) 求最小的 λ_θ ,则投影方向: $\theta > 90^\circ$ 时,为 $\theta - 90^\circ$; $\theta < 90^\circ$ 时,为 $\theta + 90^\circ$ 。

找到的主轴如图 1(a) 中过点 O 的直线 l ,其中,点 O 为能量聚集最大的点,直线为所求目标图像的主轴。

2.2.3 长轴和短轴的确定

首先求垂直于主轴且外接珠宝区域轮廓的 2 条包夹直线,再求主轴与这 2 个包夹直线之间的交点,则两交点之间的直线段就是珠宝的长轴长度。如图 1(c),遍历主轴 l 上的点,向上遍历和向下遍历得到的距离能量聚集最大的点 O 最远的 2 个点分别为点 P_1 和点 P_2 ,故线段 P_1P_2 即为长轴长度。在目标区域上寻找垂直于直线 l 且两端点在珠宝区域轮廓上的所有线段中最长的一条,将其两端点分别标为点 P_3 和点 P_4 ,则线段 P_3P_4 的长度即为短轴的长度。此时,可以画出如图 1(d) 所示的初始矩形 $T_1T_2T_3T_4$ 。

2.3 姿态优化

由于利用投影原理求得的主轴方向会存在一定的误差,且得到的初始矩形并不一定全部包含目标图像,因此使用旋转法验证或优化已找到的初始矩形是否为最佳。

对于旋转区间,主轴是根据投影原理找出的直线,旋转是在已找到的主轴方向上进行的操作,所以,在旋转时只需要进行小角度的旋转,这样既缩小了旋转区间减少了运算量。对于旋转方向,将图像以初始矩形的几何中心为旋转中心,以逆时针方向旋转一次,并计算旋转后矩形所包含的目标区域面积,如果比旋转前矩形所包含的珠宝面积小,就以顺时针方向开始旋转。

旋转过程步骤如下:

(1) 取初始矩形中心 $Q(x_0, y_0)$ 平移到坐标原点 O ,变换矩阵为 K_{s_1} 。

(2) 使图像绕坐标原点 O 逆时针旋转 θ 角,变换矩阵为 K_r 。

(3) 使旋转中心从坐标原点平移回原来的位置 $Q(x_0, y_0)$ 同时变换矩阵为 K_{s_2} 。故目标绕任意点 $Q(x_0, y_0)$ 的旋转过程,即为将每一像素点的齐次坐标的行向量的右乘变换矩阵:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} &= K_{s_1} \cdot K_{s_2} \cdot K_r \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta + x_0 \\ -(x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta + y_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6) \end{aligned}$$

即:

$$\begin{cases} x' = (x-x_0)\cos\theta + (y-y_0)\sin\theta + x_0 \\ y' = (x-x_0)\sin\theta + (y-y_0)\cos\theta + y_0 \end{cases} \quad (7)$$

如图 1(e) 所示,以矩形中心点 Q 旋转矩形后找到姿态最优矩形 $V_1V_2V_3V_4$ 。

2.4 尺寸优化

姿态最优矩形并不能保证在位置上正好外接于目标图像,故需将旋转后的矩形边进行平移操作。

设点 $P(x', y')$ 进行平移后移到 $P(x, y)$,其中, x 方向的平移量为 Δx ; y 方向平移量为 Δy 。点 $P(x, y)$ 的坐标为:

$$\begin{cases} x = x' + \Delta x \\ y = y' + \Delta y \end{cases} \quad (8)$$

利用齐次坐标,变换前后图像上的点 $P(x', y')$ 和 $P(x, y)$ 之间的关系可以用如下的矩阵变换表示:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

将图 1(e) 得到的矩形进行平移,得到如图 1(f) 所示的最小外接矩形 $ABCD$,其中,点 M 为此时的矩形几何中心。

3 实验结果及分析

本文将使用提出的算法作用于模拟图像与真实图像,得到的结果分别与 MBR 算法进行误差比较。其中,MBR 算法思想是:对目标图像进行边缘检测,得到二值图像后利用边界点代替所有内部点求出图像的质心,求过质心的直线集,然后求出二值图像上所有边缘点到直线集的距离,使用最小二乘法原理找到主轴方向确立长轴线和短轴线,再分别寻找目标图像轮廓上距离长轴最远的上下 2 点,及距离短轴最远的左右 2 点,令找到的这 4 个特征点为最终所需最小

外接矩形与目标图像的 4 个切点,最后根据长轴方向和短轴方向即可求得目标图像的最小外接矩形。

3.1 图像模拟实验

3.1.1 实验图像

实验中所用的模拟图像来源于在 Visio 中先画出矩形框然后在框中添加各种不规则的图形,使得

已画的矩形框理论上正好为这些不规则图形的最小外接矩形。如图 2(a)所示列出了 21 个不规则图形及其理论最小外接矩形框;如图 2(b)所示为使用 MBR 算法对这 21 个不规则图像提取的外接矩形结果;如图 2(c)所示为使用本文的算法对这 21 个不规则图形提取的外接矩形结果。

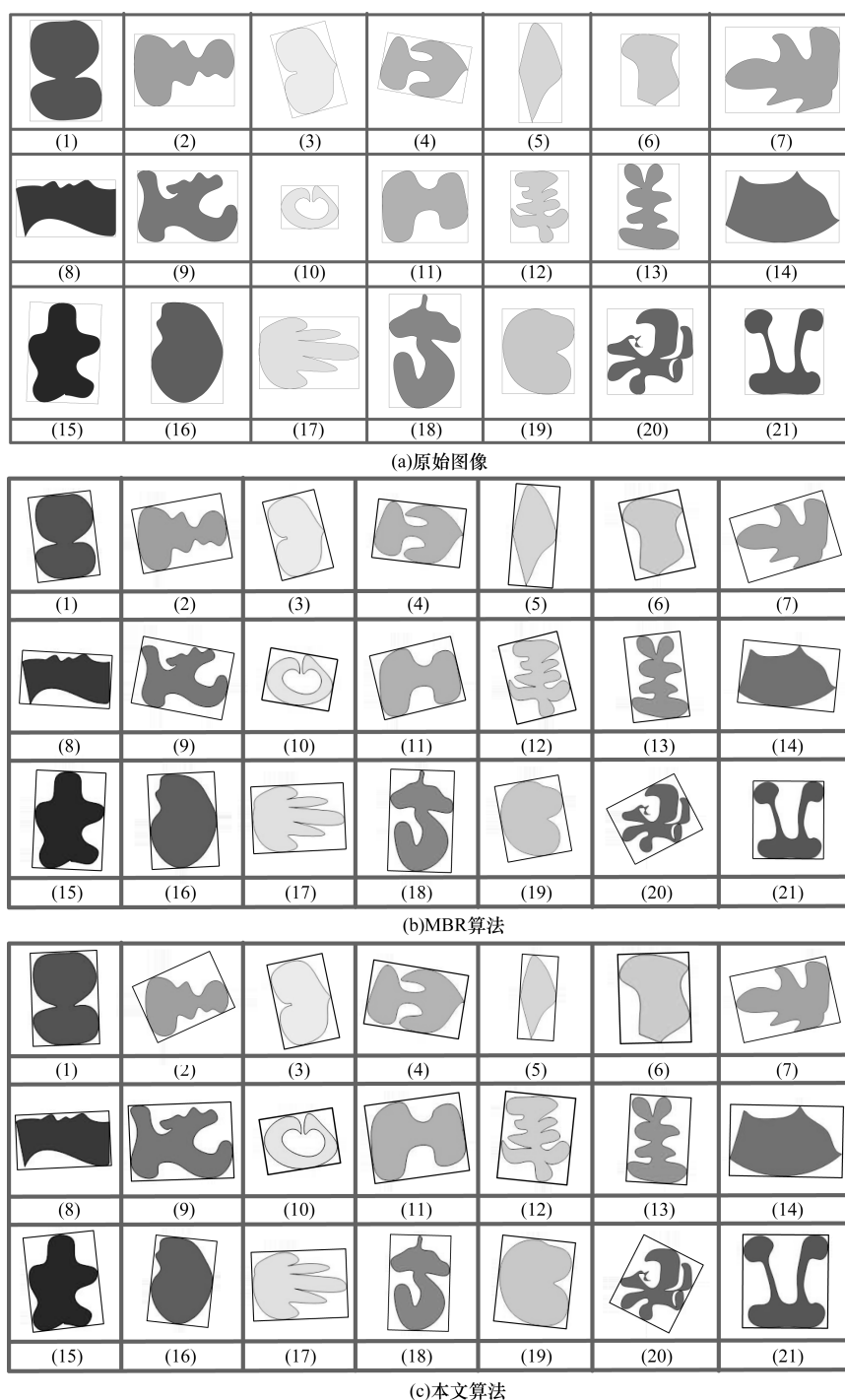


图 2 原始图像及 2 种算法提取结果对比

实验中发现,本文算法在提取图像最小外接矩形时非常稳定,但在投影和旋转时会产生微小误差,因此,这里针对这 21 个不规则图形,定义下列误差

将本文算法和 MBR 算法进行对比:相对误差为各个算法求取的最小外接矩形的面积与理想面积的差的比值;矩形度差为物体面积与各个算法求取的最小

外接矩形面积的比值与理想情况下的比值的差,体现了物体对求取的最小外接矩形的充满程度;偏心率差为各个算法求取的最小外接矩形的长轴和短轴的比值,与理想最小外接矩形的长轴和短轴的比值之差;偏心率体现的是伸长度,反映了一个区域的紧凑性;中心距偏差为各个算法求出的最小外接矩形的几何中心,与理想最小外接矩形的几何中心的欧氏距离跟理想最小外接矩形对角线一半的比值,体现了求取的外接矩形中心的偏离度。

设欧氏距离为:

$$\begin{aligned} d_{\text{Euclidean}} &= ([x_1, y_1], [x_2, y_2]) \\ &= \sqrt{((X_{\text{MBR}} - X_{\text{real}})^2 + (Y_{\text{MBR}} - Y_{\text{real}})^2)} \end{aligned} \quad (10)$$

相对误差为:

$$\eta = \frac{|S_{\text{MBR}}| - S_{\text{real}}}{S_{\text{real}}} \quad (11)$$

矩形度差为:

$$R = \left| \frac{A}{S_{\text{MBR}}} - \frac{A}{S_{\text{real}}} \right| \quad (12)$$

偏心率差为:

$$E = \left| \frac{L_{\text{MBR}}}{W_{\text{MBR}}} - \frac{L_{\text{real}}}{W_{\text{real}}} \right| \quad (13)$$

中心距偏差为:

$$\xi = \frac{d_{\text{Euclidean}}}{2H_{\text{real}}} \quad (14)$$

其中, A 表示不规则图形的区域面积; S_{real} 表示真实外接矩形面积; L_{real} 表示真实外接矩形长轴长; W_{real} 表示真实外接矩形短轴长; H_{real} 表示真实外接矩形对角线长; $(X_{\text{real}}, Y_{\text{real}})$ 表示真实外接矩形中心坐标; S_{MBR} 表示算法确定的最小外接矩形面积; L_{MBR} 表示算法确定的最小外接矩形长轴长; W_{MBR} 表示算法确定的最小外接矩形短轴长; $(X_{\text{MBR}}, Y_{\text{MBR}})$ 表示算法确定的最小外接矩形的中心坐标。

3.1.2 结果分析

如表 1 给出了针对这 21 个不规则图形本文算法和 MBR 算法对于每个模拟图的各个误差值。图 3 给出了利用本文算法和 MBR 算法的误差曲线,其中,图 3(a)是在求取最小外接矩形时与真实值的相对误差曲线;图 3(b)是在求取最小外接矩形时与真实值的中心距偏离的误差曲线。可以看出:(1)从相对误差的平均值(0.3%)来看,本文算法提取的物体最小外接矩形的面积更接近真实矩形面积;(2)从矩形度来看,本文算法提取的物体最小外接矩形使物体填充的更饱满;(3)从偏心率来看,本文算法提取的物体最小外接矩形与真实外接矩形的长宽比值更接近;(4)从中心距偏离来看,本文提取的物体最小外接矩形的中心位置比 MBR 算法更精确。实验结果表明,本文提出的求物体最小外接矩形算法具有很好的鲁棒性和准确性。

表 1 误差比较 1

编号	相对误差		矩形度差		偏心率差		中心距偏差	
	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法
1	0.000	0.013	0.000	0.010	0.008	0.010	0.014	0.021
2	0.002	0.040	0.001	0.023	0.041	0.001	0.064	0.104
3	0.004	0.014	0.003	0.010	0.016	0.001	0.017	0.008
4	0.003	0.061	0.002	0.039	0.013	0.028	0.007	0.008
5	0.001	0.007	0.001	0.004	0.041	0.013	0.029	0.017
6	0.002	0.019	0.001	0.012	0.025	0.037	0.034	0.067
7	0.003	0.017	0.002	0.009	0.122	0.126	0.060	0.080
8	0.005	0.105	0.003	0.068	0.002	0.072	0.020	0.022
9	0.001	0.157	0.001	0.085	0.001	0.029	0.010	0.047
10	0.006	0.053	0.003	0.026	0.023	0.029	0.029	0.022
11	0.000	0.001	0.000	0.001	0.023	0.086	0.020	0.091
12	0.007	0.025	0.004	0.014	0.010	0.092	0.007	0.045
13	0.002	0.024	0.001	0.013	0.015	0.055	0.009	0.041
14	0.001	0.021	0.001	0.014	0.002	0.054	0.008	0.015
15	0.001	0.002	0.001	0.001	0.077	0.002	0.029	0.006
16	0.007	0.022	0.005	0.016	0.020	0.000	0.013	0.004
17	0.002	0.003	0.001	0.002	0.006	0.003	0.010	0.006
18	0.002	0.006	0.001	0.004	0.004	0.004	0.013	0.008
19	0.004	0.053	0.003	0.040	0.015	0.012	0.007	0.034
20	0.000	0.032	0.000	0.015	0.128	0.218	0.008	0.024
21	0.003	0.007	0.001	0.003	0.037	0.004	0.026	0.018
平均值	0.003	0.032	0.002	0.020	0.030	0.042	0.021	0.033

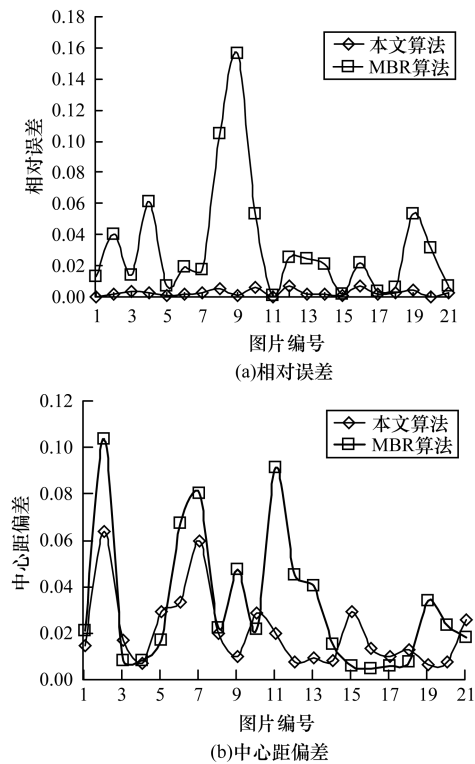


图 3 模拟图像相对误差及中心距偏离曲线

3.2 真实图像实验

由于珠宝的形状较为复杂,且无法直接确定最理想化的最小外接矩形。在图像处理中,当无法确定理想值时,需采用多人描述的算法求出平均值作为最优值。因此,对于实验需求的每一个珠宝都找多个人来刻画它的最小外接矩形,然后计算被多个人描述出来的珠宝的最小外接矩形的面积、长轴、短轴以及中心坐标求平均值作为理想值,以此来比较不同算法的误差,这样更具有真实性和公平性。

图 4 中对每一个珠宝使用 3 幅图展示,第 1 列为珠宝原图,第 2 列为使用 MBR 算法得出的结果,第 3 列为利用本文算法得出的结果。实验中,将珠宝按凹凸性分为实体图形、空心图形和混合图形 3 类:图 4(a)类别 1 属于“实体珠宝”,即珠宝分布较集中,没有镂空;图 4(b)类别 2 属于“空心珠宝”,即珠宝呈环形一类,如项链、戒指;图 4(c)类别 3 属于“混合型珠宝”,即珠宝当中有镂空。从实验结果来看,本文算法能够准确得到珠宝的中心位置与尺寸大小,获得的最小外接矩形位置和尺寸恰好能够包含整个珠宝。图 5 给出了利用本文算法和 MBR 算法的误差比较,其中,图 5(a)是在求取最小外接矩形时各个算法与理想值的相对误差的对比;图 5(b)是在求取最小外接矩形时各个算法与理想值的中心距偏离的对比图。可以看出,使用本文算法在求取最小外接矩形时具有明显优势。

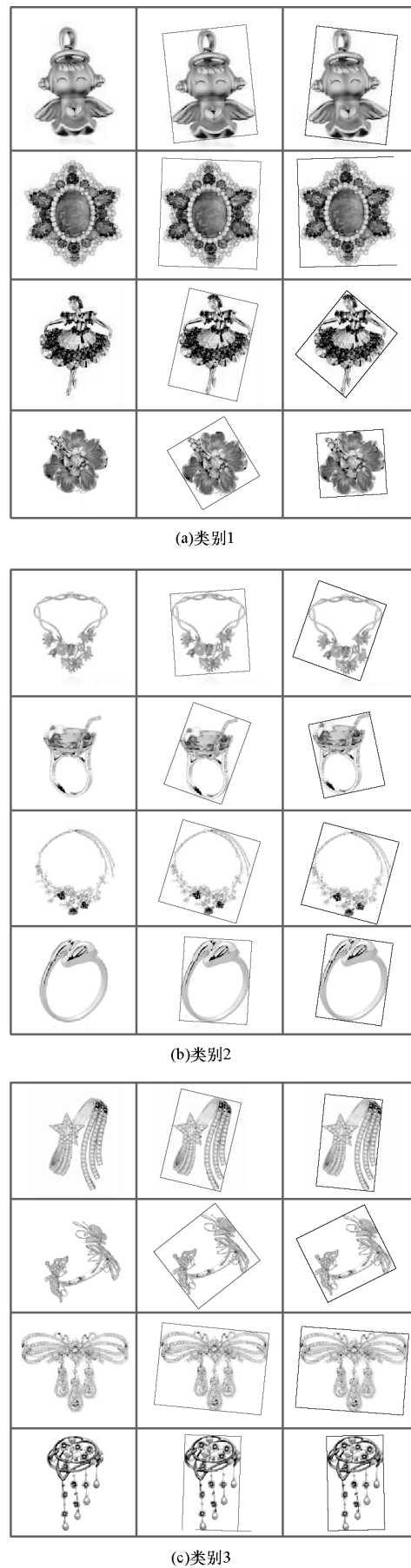


图 4 真实图与各个算法处理结果的比较

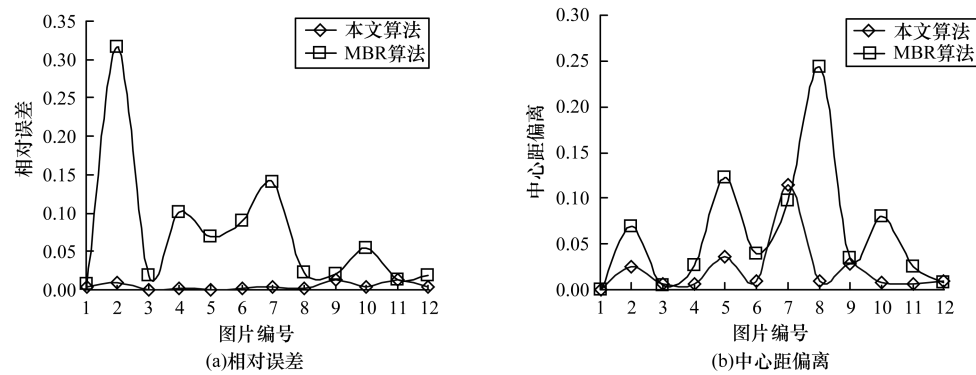


图 5 真实图像相对误差及中心距偏离曲线

表 2 给出了采用本文算法和 MBR 算法找到的最小外接矩形得到的各个误差比较,分别对应每种类别的 4 幅图像。表 3 给出了各个算法的误差平均值,平均值 1~平均值 3 分别对应类别 1~类别 3。

表 2 误差比较 2

类别	相对误差		矩形度差		偏心率差		中心距偏差	
	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法
类别 1	0.004	0.008	0.002	0.004	0.002	0.007	0.000	0.000
	0.010	0.316	0.005	0.133	0.018	0.155	0.026	0.069
	0.000	0.019	0.000	0.001	0.018	0.018	0.006	0.004
	0.002	0.101	0.001	0.058	0.007	0.045	0.006	0.027
类别 2	0.000	0.070	0.000	0.015	0.006	0.156	0.037	0.123
	0.002	0.090	0.000	0.011	0.028	0.054	0.009	0.039
	0.004	0.139	0.001	0.033	0.111	0.017	0.114	0.097
	0.003	0.019	0.001	0.003	0.010	0.017	0.009	0.007
类别 3	0.003	0.023	0.001	0.006	0.003	0.031	0.010	0.244
	0.014	0.021	0.003	0.004	0.003	0.016	0.028	0.034
	0.004	0.055	0.001	0.012	0.011	0.022	0.009	0.081
	0.013	0.014	0.004	0.004	0.006	0.002	0.006	0.026

表 3 真实图像误差平均值

平均值	相对误差		矩形度差		偏心率差		中心距偏差	
	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法	本文算法	MBR 算法
平均值 1	0.004	0.111	0.002	0.049	0.011	0.056	0.009	0.025
平均值 2	0.002	0.080	0.000	0.015	0.039	0.061	0.042	0.067
平均值 3	0.008	0.028	0.002	0.006	0.005	0.018	0.013	0.096
总平均值	0.005	0.073	0.002	0.024	0.019	0.045	0.022	0.063

从表 3 可得出,本文算法要优于 MBR 算法,按类别得到的误差平均值来看,本文算法在提取类别 2 珠宝的最小外接矩形时误差最小,效果最好。

4 结束语

本文提出的基于最小外接矩形的珠宝轮廓自动定位算法,在提取主轴方向时,投影法虽会产生微小误差,但结果精确;在对初识矩形进行旋转时,利用先判断顺时针旋转还是逆时针旋转的算法,减少了旋转次数和旋转运算量,缩小了寻优区间。实验结

果证明了该算法的可行性。

参考文献

- [1] Yu Shouyuan, Li Baopu, Zhang Qi, et al. A Novel License Plate Location Method Based on Wavelet Transform and EMD Analysis[J]. Pattern Recognition, 2015, 48(1): 114-125.
- [2] Zhang Gang, Chen Jiansheng, Su Guangda, et al. Double-pupil Location of Face Images[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(3): 642-648.

(下转第 271 页)

- [6] He Lihan, Lawrence C. Exploiting Structure in Wavelet-based Bayesian Compressive Sensing [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57 (9): 3488-3497.
- [7] 王夏黎. 智能交通视频监控技术研究与应用 [D]. 西安: 西北大学, 2004.
- [8] Kang Liwei, Lu Chun-shien. Distributed Compressive Video Sensing [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Washington D. C. , USA; IEEE Press, 2009: 1169-1172.
- [9] Patrick L, Liao Xuejun, Yuan Xin, et al. Coded Aperture Compressive Temporal Imaging [J]. Optics Express, 2013, 21(9): 10526-10545.
- [10] Yasunobu H, Gu Jinwei, Mohit G, et al. Video from a Single Coded Exposure Photograph Using a Learned over-complete Dictionary [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Washington D. C. , USA; IEEE Press, 2011: 287-294.
- [11] Dikpal R, Ashok V, Rama C. P2C2: Programmable Pixel Compressive Camera for High Speed Imaging [C] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C. , USA; IEEE Press, 2011: 329-336.
- [12] Yuan Xin, Patrick L, Liao Xuejun, et al. Low-cost Compressive Sensing for Color Video and Depth [D]. Issachar, USA; Cornell University, 2014.
- [13] 刘方, 杜平安. 基于 Bayer 彩色滤波阵列插值算法的研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [14] Shapiro J M. Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
- [15] Chen Yingwei, Pearlman W A. Three-dimensional Subband Coding of Video Using the Zero-tree Method [C] // Proceedings of Symposium on Visual Communications and Image Processing. Berlin, Germany; Springer, 1996: 1302-1312.
- [16] Xiong Zixiang, Guleryuz O G, Orchard M T. A DCT-based Embedded Image Coder [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1996, 3(11): 289-290.
- [17] Baraniuk R G, Volkan C, Duarte M F, et al. Model-based Compressive Sensing [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2010, 56(4): 1982-2001.
- [18] He Lihan, Chen Haojun. Tree-structured Compressive Sensing with Variational Bayesian Analysis [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(3): 233-236.
- [19] Hemant I, Sunil R J. Spike and Slab Variable Selection: Frequentist and Bayesian Strategies [J]. Annals of Statistics, 2005, 33(2): 730-773.
- [20] Crouse M S, Nowak R D, Baraniuk R G. Wavelet-based Statistical Signal Processing Using Hidden Markov Models [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(4): 886-902.
- [21] Yuan Xin, Yang Jianbo, Patrick L, et al. Adaptive Temporal Compressive Sensing for Video [D]. Issachar, USA; Cornell University, 2013.
- [22] Bioucas D J M, Figueiredo M A. A New Twist: Two-step Iterative Shrinkage/Thresholding Algorithms for Image Restoration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(12): 2992-3004.
- [23] Michal A, Michael E, Alfred B. k-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54(11): 4311-4322.
- [24] Tropp J A. Greed is Good: Algorithmic Results for Sparse Approximation [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(10): 2231-2242.
- [25] 许凯, 秦昆, 刘修国, 等. 高斯混合模型云变换算法及其在图像分割中的应用 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(10): 1163-1166.
- [26] 张慧, 成礼智. A^{\sim} -线性 Bregman 迭代算法 [J]. 计算数学, 2010, 6(1): 97-104.

编辑 顾逸斐

(上接第 260 页)

- [3] Lee Y H, Kim B, Kim H J. Efficient Object Identification and Localization for Image Retrieval Using Query-by-region [J]. Computers & Mathematics with Applications, 2012, 63(2): 511-517.
- [4] Rosin P L. Measuring Shape: Ellipticity, Rectangularity, and Triangularity [J]. Machine Vision and Applications, 2003, 14(3): 172-184.
- [5] Nakagawa Y, Rosenfeld A. A Note on Polygonal and Elliptical Approximation of Mechanical Parts [J]. Pattern Recognition, 1979, 11(2): 133-142.
- [6] Sychra J J, Bartels P H, Taylor J, et al. Cytoplasmic and Nuclear Shape Analysis for Computerized Cell Recognition [J]. Acta Cytologica, 1975, 20(1): 68-78.
- [7] Alt H, Hurtado F. Packing Convex Polygons into Rectangular Boxes [C] // Proceedings of Japanese Conference on Discrete and Computational Geometry. Berlin, Germany; Springer-Verlag, 2000: 67-80.
- [8] Jiang Ni, Yang Wanneng, Duan Lingfeng, et al. Acceleration of CT Reconstruction for Wheat Tiller Inspection Based on Adaptive Minimum Enclosing Rectangle [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 85(5): 123-133.
- [9] Ozuysal M, Lepetit V, Fua P. Pose Estimation for Category Specific Multiview Object Localization [C] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C. , USA; IEEE Press, 2009: 778-785.
- [10] 杨四海, 陈锻生, 谢维波. 图像目标外接多边形及凸壳的一种构造方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(10): 1263-1268.
- [11] 杨四海, 陈锻生, 谢维波. Hough 变换的特性分析: 一种全局观点 (II) [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(1): 25-30.
- [12] 卢蓉, 范勇, 陈念年, 等. 一种提取目标图像最小外接矩形的快速算法 [J]. 计算机工程, 2010, 36(21): 178-180.
- [13] Chaudhuri D, Samal A. A Simple Method for Fitting of Bounding Rectangle to Closed Regions [J]. Pattern Recognition, 2007, 40(7): 1981-1989.

编辑 刘冰