

基于改进 Hu 矩和矩形拟合的芯片识别定位算法

寸毛毛, 卢军

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 为了实现高质量、高精度的全自动 SIM 贴片机的视觉识别定位, 采用基于改进 Hu 矩和矩形拟合的芯片识别定位算法对芯片进行识别定位。**方法** 首先对图像进行预处理, 在 Ostu 分割的基础上提取图像的形状轮廓。然后利用相对矩和离心率特征相结合的改进 Hu 矩进行芯片的识别检测。最后在识别的基础上提取外轮廓, 通过对外轮廓的矩形拟合实现对芯片定位的目的。**结果** 识别芯片时采用改进 Hu 矩的方法, 正确率至少达到 98%, 显著提高了芯片的识别能力。芯片进行定位时, 矩形拟合定位精度在 0.5 像素之内, 位置精度高。**结论** 该方法可基本满足芯片贴装时 SIM 贴片机视觉系统对高质量和高精度的要求。

关键词: 视觉系统; Ostu 分割; 改进 Hu 矩; 矩形拟合; 识别定位

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0151-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.029

Chip Recognition and Location Algorithm Based on Improved Hu Moments and Rectangle Fitting

CUN Mao-mao, LU Jun

(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to recognize and locate the chip by means of the chip recognition and location algorithm based on the improved Hu moments and rectangle fitting, for the purpose of realizing the visual recognition and location of the automatic SIM placement machine with high quality and accuracy. Firstly, the image was pre-processed, and the contour shape of the image was extracted based on the Ostu segmentation. Then, the chip was recognized and detected with the improved Hu moments combined with the relative moments and the eccentricity characteristics. Finally, the external contour was extracted on the basis of the recognition and the chip was located through the rectangle fitting of the external contour. The experimental results showed that, for chip recognition with an improved Hu moment, the accuracy was at least up to 98%, significantly improving the ability of chip recognition. When the chip was located and the rectangle fitting positioning accuracy was within 0.5 pixels, the position precision was high. The method can basically meet the requirements of high quality and high precision for the visual system of the SIM placement machine during chip placement.

KEY WORDS: visual system; Ostu segmentation; improved Hu moment; rectangle fitting; recognition and location

贴片机是在生产线中利用贴装头把表面贴装元件放置在卡基座里的一种设备。随着电子产业的高速发展, 为了提高元件贴装的精度和质量, 生产过程中利用机器视觉技术模拟人眼的功能, 提取图像中的有用信息, 通过对信息进行加工处理和理解, 代替人工完

成对芯片的识别和定位, 使得生产线上的智能化以及生产效率得以提高。国产贴片机已普遍采用了视觉识别定位系统, 但与国外的水平相比尚有一定的差距^[1]。

SIM 贴片机进行贴装时, 需要解决的关键问题是如何在提高识别率的基础上, 精确获取目标元件的位

收稿日期: 2017-07-13

基金项目: 陕西省科技厅自然科学基金 (2016GY-049)

作者简介: 寸毛毛 (1990—), 男, 陕西科技大学硕士生, 主攻机器视觉算法。

通信作者: 卢军 (1961—), 男, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为机器视觉与智能工业机器人。

置, 进而提高贴片机的贴装质量。芯片特征图像的识别技术在机器视觉中的研究不够成熟^[2]。目前, 识别的方法主要有模板匹配法, 该算法鲁棒性高, 但对噪音敏感。识别出合格芯片后, 通过最小二乘直线拟合方法, 获取目标元件中心位置和偏转角度。最小二乘拟合简单且高效, 若出现残缺的边缘以及污染等情况, 会影响元件的位置精度和偏转角度。针对上述问题, 文中提出基于改进 Hu 矩和矩形拟合的 SIM 芯片识别定位算法。该算法基于芯片特征选用改进 Hu 矩作为特征向量进行识别, 再通过矩形拟合精确获取中心坐标和偏转角度, 最后 SIM 贴片机的视觉系统获得其特征参数, 进行全自动化贴装与识别, 并在提高贴装精度和贴装质量的基础上, 生产出合格的 SIM 芯片卡。

1 基本工作原理

机器视觉技术想要实现芯片高质量和高精度的贴装需要解决 3 个主要问题, 即对芯片进行图像收集, 对芯片图像进行高效识别和提取, 对芯片形心进行高精度定位。文中利用工业相机对 SIM 芯片进行图像收集, 并基于改进 Hu 矩和矩形拟合对芯片进行识别与定位, 其视觉算法流程图见图 1。

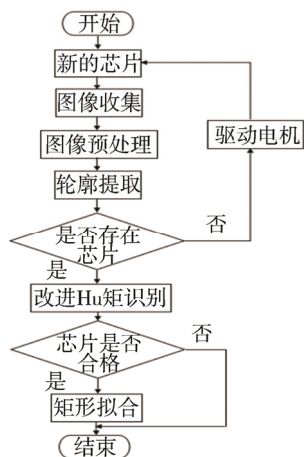


图 1 视觉工作流程

Fig.1 Visual workflow

在进行 SIM 芯片贴装工作时, 视觉系统开始收集芯片图像信息, 对图像进行预处理, 提取芯片的轮廓, 检测芯片是否存在。芯片不存在时, 驱动送料电机进行芯片的输送。芯片存在时, 采用改进 Hu 不变矩对芯片进行识别检测。如果芯片不合格, 则剔除芯片。如果芯片合格, 则对芯片进行轮廓和形心位置的提取, 来控制吸嘴进行高质量和高精度的贴装。

图像采集是指相机拍摄的光学图像转换为视频信号后, 通过数字化形成数字图像, 供计算机保存处理过程。图像的原始信息采集主要由硬件与软件部分组成的图像采集系统来完成。硬件部分主要包括电脑、相机、镜头、SIM 芯片, 实验使用的是 CMOS

工业相机, 像素 1200 万, 用来采集原始图像; 软件部分主要由 Microsoft Visual C++开发环境和主流计算机视觉开发库 (OpenCV) 组成。

2 SIM 芯片识别和定位算法

2.1 图像预处理

芯片图像预处理的目的是消除图像采集过程中的噪声干扰, 减少图像信息, 方便特征提取。通过对图像进行平滑、阈值分割以及轮廓提取等处理, 为下一步的识别定位做好准备工作^[3]。

2.1.1 阈值分割

图像分割中最常用的是阈值分割方法。阈值分割依据图像灰度级对像素集合进行划分, 把背景区域与目标区域分开, 达到图像分割的目的。阈值分割的效果取决于对阈值的选择, 设 T 为阈值, 当图像的像素值大于等于设定阈值时, 则像素值为“1”, 当图像的像素值小于设定阈值时, 则像素值为“0”, 表示为:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为图像的灰度值; $B(x, y)$ 为分割后图像的像素值。利用 OpenCV 对 SIM 芯片图像进行灰度统计, 得到的灰度直方图见图 2。

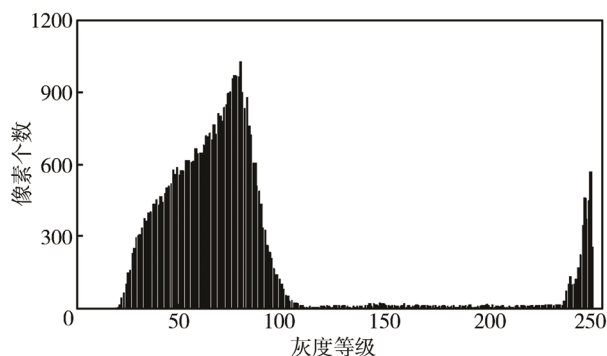


图 2 灰度直方图

Fig.2 Gray scale histogram

由灰度直方图可知芯片图像的灰度主要集中在 225~250, 背景主要集中在 25~100, 具有明显的划分。采取最大间方差法 (Otsu) 对图像进行阈值分割, 其间类方差值的表达式为:

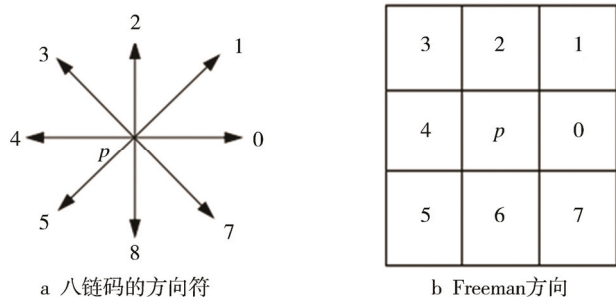
$$\delta = \omega_0 \cdot \omega_1 (u_1 - u_0)^2 \quad (2)$$

式中: ω_0 为目标区域像素点占比; u_0 为目标区域平均灰度; ω_1 为背景区域像素点占比; u_1 为背景区域平均灰度。当间类方差值最大时, 即最优阈值为 T , 通过阈值 T 进行分割处理后, 有利于图像后续处理。

2.1.2 轮廓提取与跟踪

轮廓提取是从图像中得到目标元件的轮廓, 它是目标元件识别定位的基础环节。通过掏空内部像素点

的方法,对目标元件的二值图像进行轮廓提取来获得二维轮廓。芯片轮廓提取后采用链码跟踪的方法进行图像轮廓信息的存储,链码中 8 连通码正好与像素点的实际情况相符,能准确描述中心像素与相邻像素的信息,见图 3。8 连通链码的中心像素 p 指向 8 个相邻点的方向时,如果所指方向按逆时针方向旋转 45° ,其链码值增加 1。

图 3 像素 p 的方向链码Fig.3 Directional chain code of pixel p

轮廓被链码描述时,轮廓的起点坐标和轮廓上每一点的链码值都需要储存记录。首先根据从左至右,从上至下的顺序查找轮廓起点,接着以右、右下、下、左下的规律寻找第 2 个轮廓点,最后按照类似规律找其他轮廓点,找到轮廓起点时为终止。若图像中某一像素点的上下左右邻点全为黑点,那么这个像素点不是边界点,否则是边界点。

2.2 Hu 不变矩的改进

矩的物理意义比较直观,是描述图像特征的算子。Hu^[4]在 1961 年提出了不变矩的概念,并论证了 7 个 Hu 矩在连续情况下具有平移、缩放以及旋转不变性的性质。

2.2.1 Hu 不变矩

对于 $(p+q)$ 阶数字图像的平面矩,采用黎曼积分^[5-6]将离散函数 $f(x, y)$ 的几何矩 m_{pq} 和几何中心矩 μ_{pq} 分别定义为:

$$m_{pq} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M x^p y^q f(x, y) \quad (3)$$

$$\mu_{pq} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (4)$$

式中: N, M 分别为数图像的行列数。

若图像发生平移、旋转时, m_{pq} 会随之发生变化,而 μ_{pq} 具有平移不变性,但会随旋转变化而变化。归一化中心矩可以使其具有旋转不变性和比例不变性,定义如下:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu^{\frac{p+q+2}{2}}} \quad (5)$$

Hu 利用二阶和三阶中心矩线性组合构成了 7 个具有平移、旋转和比例不变性的不变矩,定义为:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (6)$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} + \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (7)$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{03} - 3\eta_{21})^2 \quad (8)$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{03} + \eta_{21})^2 \quad (9)$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{21}) - 3(\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{03} - 3\eta_{21})(\eta_{30} + \eta_{21}) \cdot [(\eta_{03} + \eta_{21})^2 - 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2] \quad (10)$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - (\eta_{03} + \eta_{21})^2] + 4\eta_{01}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{21}) \quad (11)$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[\frac{(\eta_{30} + \eta_{31})^2 - 3(\eta_{03} + \eta_{21})^2}{3(\eta_{30} + \eta_{12})^2} \right] + (\eta_{03} - 3\eta_{21}) + (\eta_{03} - \eta_{21}) \left[\frac{(\eta_{08} - \eta_{12})^2 - 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2}{3(\eta_{30} + \eta_{12})^2} \right] \quad (12)$$

2.2.2 Hu 矩的改进

通过不变矩之间的比值来去掉比例因子 μ_{00} , 得到新的统一的不变矩, 且新的不变矩可忽略目标图像的面积或缩放引起的变化, 并仅与几何形状有关, 适合不同区域结构的目标元件^[7-10], 则改进的 Hu 矩定义为:

$$R_1 = \frac{\sqrt{\varphi_2}}{\varphi_1} = \frac{\sqrt{(\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2}}{\eta_{20} + \eta_{02}} = \frac{\sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}}{\mu_{20} + \mu_{02}} \quad (13)$$

R_1 去掉了 μ_{00} , 依旧满足平移、尺度和旋转不变性。同理可得: $R_2 = (\varphi_1 + \sqrt{\varphi_2}) / (\varphi_1 - \sqrt{\varphi_2})$, $R_3 = \sqrt{\varphi_3} / \sqrt{\varphi_4}$, $R_4 = \sqrt{\varphi_3} / \sqrt[4]{\varphi_5}$, $R_5 = \sqrt{\varphi_4} / \sqrt[4]{\varphi_5}$, $R_6 = |\varphi_6| / (\varphi_1 \cdot \varphi_3)$, $R_7 = |\varphi_6| / (\varphi_1 \cdot \sqrt{|\varphi_5|})$, $R_8 = |\varphi_6| / (\varphi_3 \cdot \sqrt{|\varphi_2|})$, $R_9 = |\varphi_6| / \sqrt{\varphi_2 \cdot |\varphi_5|}$, $R_{10} = |\varphi_5| / (\varphi_3 \cdot \varphi_4)$ 。

通过对改进的 Hu 矩进一步分析, 可知其都满足几何不变性。 R_1 代表形状特征的曲率半径, 当曲率半径为 1 时, 目标区域的形状为直线; 当曲率半径为 0 时, 目标区域的形状为圆。其中 R_1 的分母不可能趋于 0, 但其余不变矩可能趋于 0。改进不变矩不存在时, 分子与分母同时趋于 0; 改进不变矩无限大时, 分子不为 0 分母趋于 0。在此基础上, 为增强改进不变矩对芯片轮廓的识别能力, 增加离心率特征, 公式为:

$$e = \frac{(m_{20} - m_{02}) + 4m_{11}^2}{m_{20} + m_{02}^2} \quad (14)$$

式中: m_{11}, m_{20}, m_{20} 为图像的平面几何矩。

芯片图像最大轴与最小轴的比值就是离心率 e , 离心率 e 满足芯片图像的几何特征不变性。新的特征向量由 Hu 不变矩的特征向量和离心率的特征向量组成, 作为最终芯片轮廓识别的算子。

2.3 矩形拟合

当芯片图像进行矩形拟合时, 准确性会随着像素点的增加而提升, 但矩形拟合和像素点不是线性

关系^[13]。如果像素点的数量超过极限值,矩形拟合准确度会随着像素点的增多而降低,并且延长了运算时间。先用轮廓重心法^[11-12]获得芯片中心点的坐标,通过中心坐标把元件轮廓划分成4个区域,在每个区域中计算出离中心点最远的点,确定图像4个顶点,分别为 C_1, C_2, C_3, C_4 ,然后以4个近似顶点为界,把轮廓点分为4组,对每组的轮廓坐标进行等间隔采样,采集数量合适的像素坐标点。这种方法不仅能剔除掉一些干扰点,而且能使芯片图像具有较高的拟合准确性,在一定程度上缩短了运行时间。每组采样的像素坐标集的个数分别为 n_1, n_2, n_3, n_4 ,则每组像素点坐标表达式为:

$$\begin{cases} (X_{C_1}, Y_{C_1}) = \{(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}) \dots (x_{1n_1}, y_{1n_1})\} \\ (X_{C_2}, Y_{C_2}) = \{(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}) \dots (x_{2n_2}, y_{2n_2})\} \\ (X_{C_3}, Y_{C_3}) = \{(x_{31}, y_{31}), (x_{32}, y_{32}) \dots (x_{3n_3}, y_{3n_3})\} \\ (X_{C_4}, Y_{C_4}) = \{(x_{41}, y_{41}), (x_{42}, y_{42}) \dots (x_{4n_4}, y_{4n_4})\} \end{cases} \quad (15)$$

采样后,对图像进行矩形拟合时,通过相互平行和垂直的几何特征,可得矩形四边所在直线,由方程组定义为:

$$\begin{cases} k_1x + k_2y + b_1 = 0 \\ k_2x + k_1y + b_2 = 0 \\ k_1x + k_2y + b_3 = 0 \\ k_2x + k_1y + b_4 = 0 \end{cases} \quad (16)$$

式中: k_1, k_2 为直线方程的常数; b_1, b_2, b_3, b_4 为直线方程的截距。

将等距离采样后的像素点坐标代入式(16),得到约束最小二乘方程为:

$$r = \min \left[\sum_{i=1}^m r_i^2 \right] \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & x_{11} & y_{11} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & x_{1n_1} & y_{1n_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_{21} & y_{21} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x_{2n_2} & y_{2n_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & x_{31} & y_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & x_{3n_3} & y_{3n_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{41} & y_{41} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_{4n_4} & y_{4n_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_{n_1+n_2+n_3+n_4} \end{bmatrix} \quad (18)$$

式中: $m \leq \min(n_i)$; $\|r\|$ 为采样后的像素点到拟合后的直线距离的平方和,平方距离越小表示准确性越高。通过求解最小二乘得到参数 $(b_1, b_2, b_3, b_4, k_1, k_2)^T$ 的值,将其代入直线方程组,计算出矩形拟合后的4个顶点坐标 (C_1, C_2, C_3, C_4) ^[14-15]。目标元件中心坐标的计算为:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_{C_1} + x_{C_2} + x_{C_3} + x_{C_4}}{4} \\ y_0 = \frac{y_{C_1} + y_{C_2} + y_{C_3} + y_{C_4}}{4} \end{cases} \quad (19)$$

此外,目标元件轮廓的 C_2C_3 边与 x 水平轴相互垂直时,表示没有发生偏转,因此,通过矩形拟合后的斜率,计算出目标元件的偏转角度:

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{k_2}{k_1}\right) - 90^\circ & \left(\frac{k_2}{k_1} \geq 0, k_1 \neq 0\right) \\ \arctan\left(\frac{k_2}{k_1}\right) + 90^\circ & \left(\frac{k_2}{k_1} < 0, k_1 \neq 0\right) \end{cases} \quad (20)$$

当偏转角度大于等于0时,顺时针方向进行补偿;当偏转角度小于0时,逆时针方向进行补偿。

3 实验结果与分析

3.1 改进 Hu 矩算法的芯片识别

利用改进 Hu 矩算法对不同类型 SIM 芯片进行识别实验,芯片的类型较多,选择常见的 24C02 芯片和 4442 芯片进行实验,每种芯片收集 200 幅图片作为实验样本,采用传统 Hu 矩算法和改进 Hu 矩算法对 SIM 芯片进行识别,通过计算芯片数量和正确识别率的关系来分析算法的识别性能,见图 4。可以看出,改进后的 Hu 矩算法对芯片具有更好的识别能力。

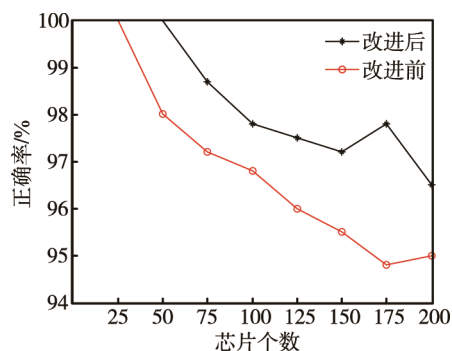


图 4 Hu 改进前后算法识别效果

Fig.4 The algorithm recognition effects before and after the improved Hu

4442 芯片旋转不同角度、平移不同位置后,芯片识别系统利用单目相机获得的 8 种不同位姿见图 5。利用改进后的 Hu 矩算法对 4442 芯片不同位姿(图 5a—h)和 24C02 芯片(图 5i)进行欧式距离相似度计算,计算结果见表 1。



图 5 芯片不同位姿
Fig.5 Different positions and orientations of chip

表 1 不同位姿图的 Hu 相似度
Tab.1 Hu similarity of different posture maps

图像	图5a	图5b	图5c	图5d	图5e	图5f	图5g	图5h	图5i
图5a	0	0.0434	0.0257	0.0547	0.0186	0.0360	0.0180	0.0518	0.4797
图5b	0.0434	0	0.0622	0.0245	0.0548	0.0240	0.0526	0.0269	0.4901
图5c	0.0257	0.0622	0	0.0687	0.0296	0.0430	0.0163	0.0596	0.5185
图5d	0.0547	0.0245	0.0687	0	0.0523	0.0216	0.0512	0.0266	0.3974
图5e	0.0186	0.0548	0.0296	0.0523	0	0.0557	0.0321	0.0518	0.5078
图5f	0.0360	0.0240	0.0430	0.0216	0.0557	0	0.0521	0.0152	0.4282
图5g	0.0180	0.0526	0.0163	0.0512	0.0321	0.0521	0	0.0584	0.5060
图5h	0.0518	0.0269	0.0596	0.0266	0.0518	0.0152	0.0584	0	0.4067
图5i	0.4797	0.4901	0.5185	0.3974	0.5078	0.4282	0.5060	0.4067	0

由表 1 可知，不同芯片的改进 Hu 相似度相差 1 个数量级，在此基础上对 8 种不同位姿的芯片图进行识别实验，每种位姿芯片图收集 2000 次，总共得到 2000 个样本数，测试样本和训练样本各占总体的 1/2，通过识别的实验结果可知，改进 Hu 算法对 8 种不同位姿的芯片正确识别率达到 98%以上。

3.2 矩形拟合算法的芯片定位

SIM 芯片进行定位时，首先通过改进 Hu 矩识别算法，在不同芯片中识别出 4442 芯片，见图 6。在识别的基础上，通过文中所述算法和模版匹配算法，提取 4442 芯片的轮廓和形心，形心用十字标记，效果见图 7，得到的特征参数见表 2。



图 6 芯片识别效果
Fig.6 Chip recognition effect



图 7 芯片特征效果
Fig.7 The chip feature map

表 2 不同算法结果
Tab.2 The results of different algorithms

工件号	标准坐标	标准 转角/(°)	文中算法				模板匹配算法			
			计算坐标	坐标 误差	计算 转角/(°)	角度 误差/(°)	计算坐标	坐标 误差	计算 转角/(°)	角度 误差/(°)
1	283,190	-75	283.41, 190.16	0.44	-75.07	0.07	283.84, 190.78	1.15	-75.12	0.12
2	45,173	61	44.80, 172.89	0.23	60.05	0.05	44.46, 173.76	0.89	59.91	0.09
3	45,176	62	45.16, 176.32	0.36	61.92	0.08	45.31, 176.99	0.98	62.1	0.1
4	149,183	0	149.35, 183.21	0.41	0	0	149.50, 183.77	0.92	0	0

从表 2 可以看出，文中算法优于通常的模版匹配算法，因为文中算法对芯片进行矩形拟合时，保证了 SIM 芯片四边的矩形特征，且在该算法下芯片中心偏移误差在 0.5 个像素之内，偏移角度在 0.10°之内，满足高精度、高质量的贴装要求。

4 结语

为了提高 SIM 芯片视觉系统的贴装精度和贴装

质量，提出了一种基于改进 Hu 矩和矩形拟合的 SIM 芯片识别定位算法，该算法在图像离散的状态下通过不变矩的比值，确保改进的 Hu 矩仅与几何形状有关，且还保持了平移、尺度以及旋转不变性，明显提升了芯片的正确识别率。通过芯片矩形拟合进行特征提取，定位精度高，使得 SIM 贴片机在视觉识别定位方面有较高的准确性和精度，满足实际生产中的贴装要求，具有很高的使用价值。

参考文献:

- [1] 李云岗. 我国 SIM 卡市场成熟中见竞争[J]. 金卡工程, 2007, 11(2): 24—25.
LI Yun-gang. China's SIM Card Market in Mature Competition[J]. Golden Card Project, 2007, 11(2): 24—25.
- [2] 于仕琪, 刘瑞祯. 学习 OpenCV(中文版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
YU Shi-qi, LIU Rui-zhen. Learning OpenCV (Chinese Version)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [3] 李俊山, 李旭辉. 数字图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
LI Jun-shan, LI Xu-hui. Digital Image Processing[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [4] HU M. Visual Pattern Recognition By Moment Invariants[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 1962, 8(2): 179—187.
- [5] 许宏宇, 刘天生, 窦雪. 基于改进的 Hu 不变矩的图像检索技术研究[J]. 电子世界, 2014, 12(15): 64—68.
XU Hong-yu, LIU Tian-sheng, DOU Xue. Research on Image Retrieval Based on Improved Hu Invariant Moments[J]. Electronic World, 2014, 12(15): 64—68.
- [6] 蒲兴成, 王涛, 张毅. 基于改进 Hu 矩算法的 Kinect 手势识别[J]. 计算机工程, 2016, 23(7): 165—172.
PU Xing-cheng, WANG Tao, ZHANG Yi. Kinect Gesture Recognition Based on Improved Hu Moments[J]. Computer Engineering, 2016, 23(7): 165—172.
- [7] 张恒博, 商周, 李灵华. 一种基于改进 Hu 矩的图像检索方法[J]. 大连民族学院学报, 2011, 8(5): 499—501.
ZHANG Heng-bo, SHANG Zhou, LI Ling-hua. An Image Retrieval Method Based on Improved Hu Moments[J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2011, 8(5): 499—501.
- [8] 李中生, 赵彬, 刘振宇, 等. 基于 SIFT 和 Hu 特征融合的单目视觉识别算法研究[J]. 微型机与应用, 2013, 37(13): 41—45.
LI Zhong-sheng, ZHAO Bin, LIU Zhen-yu, et al. Monocular Vision Recognition Algorithm Based on SIFT and Hu Feature Fusion[J]. Microcomputer and Applications, 2013, 37(13): 41—45.
- [9] 吴国楠, 周超超, 尹文波. 基于 Harris 角点与改进 Hu 矩的电子稳像算法[J]. 计算机工程, 2013, 23(3): 300—305.
WU Guo-nan, ZHOU Chao-chao, YIN Wen-bo. Electronic Image Stabilization Algorithm Based on Harris Corner and Improved Hu Moment[J]. Computer Engineering, 2013, 23(3): 300—305.
- [10] 张儒良, 席泓, 王林. 一种基于 Hu 不变矩的匹配演化算法[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 10(5): 11—15.
ZHANG Ru-liang, XI Hong, WANG Lin. A Matching Evolution Algorithm Based on Hu Moment Invariants[J]. Journal of Southwestern Normal University (Natural Science Edition), 2012, 10(5): 11—15.
- [11] 姜利. 基于矩形拟合的 Chip 元件位置误差视觉检测算法[J]. 机械制造与自动化, 2013, 42(5): 72—74.
JIANG Li. Visual Detection Algorithm for Position Error of Chip Element Based on Rectangular Fitting[J]. Mechanical Manufacture and Automation, 2013, 42(5): 72—74.
- [12] 郭进, 刘先勇. 机器视觉标定中的亚像素中心定位算法[J]. 传感器与微系统, 2008, 14(2): 106—108.
GUO Jin, LIU Xian-yong. Sub-pixel Location Algorithm in Machine Vision Calibration[J]. Sensor and Microsystem, 2008, 14(2): 106—108.
- [13] 蔡竟. 一种基于矩形拟合的 LED 贴片元件定位算法[J]. 科学技术与工程, 2014, 28(21): 271—274.
CAI Jing. An Element Placement Algorithm for LED Placement Machine Based on Rectangle Fitting[J]. Science and Engineering, 2014, 28(21): 271—274.
- [14] HU Min-qing, LIU Bing. Mining and Summarizing Customer Reviews[C]// Tenth Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2004.
- [15] 曾友, 高健, 岑誉. 贴片元件的海森范式加权最小二乘矩形拟合算法[J]. 机械设计与制造, 2016, 15(4): 28—31.
ZENG You, GAO Jian, CEN Yu. Patch Elements on Huyssen Weighted Least Squares Fitting Algorithm of Rectangular[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2016, 15(4): 28—31.