

基于改进凸包检测的芯片图像字符区域定位

巢 渊, 周 伟, 单文桃, 冯俊萍

(江苏理工学院机械工程学院, 江苏 常州 213001)

摘 要: 针对半导体芯片在激光打印时可能出现字符倾斜、字符位置错误等缺陷, 提出一种基于改进凸包检测的半导体芯片图像字符区域定位方法。首先, 利用三轴图像采集平台采集多幅半导体芯片图像, 切分提取出若干单幅芯片图像; 其次, 采用 Harris 角点检测获取图像角点分布图, 改进凸包检测算法, 剔除非字符区域角点, 获取最外围角点凸包线; 最后, 拟合凸包线最小外接矩形, 定位字符区域位置。实验结果表明, 与形态学滤波定位方法、基于边缘特征的定位方法、基于字符纹理特征的定位方法和基于凸包及最小外接矩的定位方法相比, 该方法定位芯片字符区域准确度更高, 且单幅平均运行时间少于其他方法 1/2, 可有效减少计算量, 提高运算效率。

关 键 词: Harris 角点检测; 改进凸包检测; 字符定位

中图分类号: TP 391; TN 302

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2021020165

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2021)02-0165-09

Character region positioning of chip image based on improved convex hull detection

CHAO Yuan, ZHOU Wei, SHAN Wen-tao, FENG Jun-ping

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu 213001, China)

Abstract: During laser printing, the semiconductor chip may suffer many defects, such as character tilt and incorrect character position. To address these defects, a character-region positioning method for multiple semiconductor chip-images was proposed based on improved convex hull detection. Firstly, multiple semiconductor-chip images were obtained using a three-axis image acquisition platform, and several single-chip images were segmented and extracted. Secondly, the Harris corner detection was employed to produce the image corner distribution map, and the convex hull detection algorithm was improved. Then, the corners in non-character regions were eliminated, and the outermost corner convex hull line was acquired. Finally, the minimum enclosing rectangle of the convex hull was fitted, and the character region was positioned. The experimental results reveal that, compared with the morphological filtering positioning method, the positioning method based on edge features, that based on character texture features, and that based on convex hull and the minimum external moment, the proposed method can more accurately position the chip's character region, and the average running time of the single-chip image is less than half of the above-mentioned methods. Therefore, this proposed method can effectively reduce the computing load and improve the computing efficiency.

收稿日期: 2020-06-20; 定稿日期: 2020-10-19

Received: 20 June, 2020; Finalized: 19 October, 2020

基金项目: 国家自然科学基金项目(51905235); 江苏省自然科学基金项目(BK20191037); 常州市科技计划项目(CJ20190069)

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (51905235); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20191037); Changzhou Science & Technology Program (CJ20190069)

第一作者: 巢 渊(1988-), 男, 江苏常州人, 讲师, 博士, 硕士生导师。主要研究方向为表面缺陷机器视觉检测、机电一体化装备智能控制技术等。
E-mail: chaoyuan@jsut.edu.cn

First author: CHAO Yuan (1988-), male, lecturer, Ph.D. His main research interests cover surface defect detection based on machine vision, intelligent control technology of mechatronics equipment, etc. E-mail: chaoyuan@jsut.edu.cn

Keywords: Harris corner detection; improved convex hull detection; character positioning

半导体芯片是指在半导体片材上进行浸蚀、布线,制成的能实现某种特定功能的半导体器件^[1],其广泛应用于各个领域及电子产品,已经成为经济发展、国家信息安全的命脉,深刻影响着现代人类的生活。随着半导体芯片需求量不断增加、产量的不断提高,对芯片封装与质量检测的要求也不断提高。

半导体芯片字符在激光打印时可能出现字符打印倾斜、字符位置错误等缺陷^[2],文献[3]利用投影直方图以及启发式规则形成候选文字区域,提取局部二值模式(local binary pattern, LBP)作为纹理特征,提高模糊支持向量机(fussy support vector machine, FSVM)对候选文字区域进行精确定位,该方法具有较好的定位能力,提高了查全率,但定位效果受图像背景影响,易产生文字区域定位结果大于实际区域的情况。文献[4]针对文字区域定位准确率与查全率问题,对图像进行离散余弦变换,计算频域中块的纹理值与阈值相比得到候选文字块,根据文字几何属性确定文字区域,该方法能有效适应背景复杂的图像,提升了查全率和准确率,但不能准确定位文字的边缘,同时也容易产生文字区域定位大于实际区域的情况。因此,研究适用于复杂图像且精度较高的字符区域定位方法,对提高激光打印芯片字符准确性具有非常重要的意义。传统形态学滤波定位通过设置合适的滤波模板,往往能取得较理想的滤波效果,但运行时间较长,准确性有待提高^[5]。基于边缘特征的定位方法利用图像中文本与背景间较高的对比度这一特性来进行定位,但易受复杂背景干扰,且对文字大小变化敏感^[6]。基于字符纹理特征的定位方法受光照影响较大,计算量较高^[7]。

凸包的计算通常是利用图像的特征点来得到一个能够将所有特征点包围在内的、面积最小的凸多边形^[8-9]。传统的凸包检测算法在检测目标区域时,存在特征点过多、计算时间较长等缺点^[10]。在字符定位算法的不断改进与优化过程中,鲁剑和刘志^[11]通过叉乘、角度和长度等方法准确筛选凸包顶点,减少了计算量,以“伪四边形”精确拟合二维条码图像轮廓,缩短了计算时间,但对于畸变幅度较大的图像定位效果并非很理想,有待进一步提高。HASHEM 等^[12]基于朴素贝叶斯分类器将灰度图像转换为二值图像,利用形状特征和几何特征来定义

字符区域,减少了虚警区域,但适用范围不广,主要运用于场景图像字符定位。何立强等^[13]利用边缘检测进行文本区域粗定位,结合灰度检测确定文本区域中字符位置,利用纹理特征筛选部分噪声区域,获取目标文本区域,可以有效运用于复杂背景的场景图像,但图像亮度较弱或对比度较低时,会出现部分噪声,影响到图像文本定位效果稳定性。张勇和杨傲雷^[14]针对如何提高图像目标区域的定位精度与效率,提出基于凸包及最小外接矩的定位方法,根据图像分辨率确定扫描的行数,保留当前扫描行的第一个和最后一个像素点,形成一组点集,并结合 Grahams 算法获取点集凸包,该方法可有效定位图像目标区域,与利用 Hough 变换来定位图像目标区域的传统方法相比,定位速度仅为其 3/4,但需准确扫描图像边缘点集,点集个数对图像目标区域易产生较大影响,点集个数较多时定位效率降低,反之获取的凸包则不能完全包含图像目标区域,将存在一定的定位错误。

从以上研究可知,目前字符定位算法对图像质量要求较高,易产生字符区域定位结果大于实际区域的情况,且大部分集中于视频文字、场景文本等领域,而由于半导体芯片尺寸较小,难以准确辨别其字符位置,针对小尺寸的半导体芯片表面字符定位的研究较少。综上,本文提出基于改进凸包检测的芯片图像字符区域定位方法,将三轴图像采集平台采集的多幅芯片图像分割成若干单幅图像,改进凸包检测算法,获取字符区域最小外接矩形,从而定位半导体芯片字符区域位置。将本文方法与形态学滤波定位方法、基于边缘特征的定位方法、基于字符纹理特征的定位方法和基于凸包及最小外接矩的定位方法^[14]进行运行时间、定位精度等方面的实验对比与分析,以验证本文算法的有效性。

1 图像采集

1.1 多幅半导体芯片图像采集

三轴图像采集平台由滑台、相机、镜头、光源等组成,如图 1 所示,为提高半导体芯片检测效率,本文利用三轴图像采集平台一次性采集多幅半导体芯片图像,如图 2 所示,并对其进行切分,提取若干单幅半导体芯片图像,对字符区域进行定位处理,最终实现多幅半导体芯片字符区域定位。



图1 三轴图像采集平台

Fig. 1 Three-axis image acquisition platform

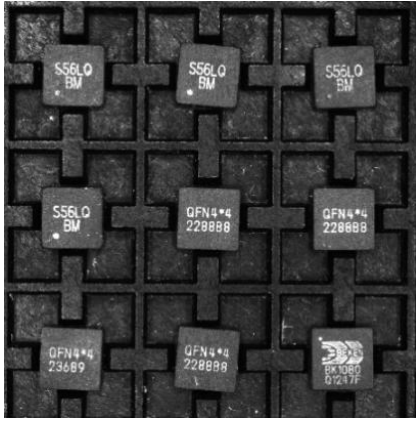


图2 多幅半导体芯片图像

Fig. 2 Multiple semiconductor chip image

1.2 单幅半导体芯片图像获取

文献[15]根据形态学处理, 针对多幅半导体芯片塑封图像, 考虑芯片塑封图像与料盘材质灰度近似, 选取单个芯片区域面积 $regionArea$ 、区域长度 $regionLength$ 、区域宽度 $regionWidth$ 以及区域占其最小外接矩形面积比值 $regionExtent$ 等4项几何属性对所有连通区域进行判定, 若以上几何属性同时处于预先设定的属性值上下限常量区间内, 则拟合此连通区域最小外接矩形, 如图3所示, 将其切分为若干单幅半导体芯片塑封图像。

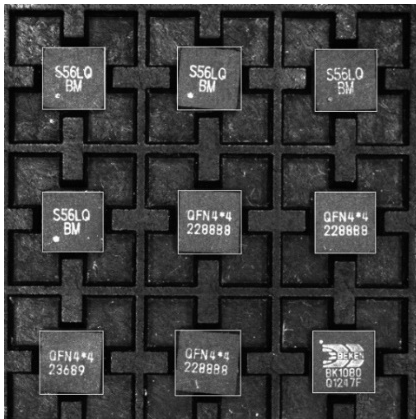


图3 拟合芯片图像最小外接矩

Fig. 3 Fitting the minimum external moment of chip image

$$\begin{cases} regionArea \in [AreaLowerLimit, AreaUpperLimit] \\ regionLength \in [LengthLowerLimit, LengthUpperLimit] \\ regionWidth \in [WidthLowerLimit, WidthUpperLimit] \\ regionExtent > 0.6 \end{cases} \quad (1)$$

其中, 根据单个芯片图像的分辨率, 设 $AreaUpperLimit$ 和 $AreaLowerLimit$ 分别为区域面积的上限和下限, 取 $AreaUpperLimit=240100$, $AreaLowerLimit=225625$; $LengthUpperLimit$ 和 $LengthLowerLimit$ 分别为区域长度的上限和下限, 取 $LengthUpperLimit=490$, $LengthLowerLimit=475$; $WidthUpperLimit$ 和 $WidthLowerLimit$ 分别为区域宽度的上限和下限, 取 $WidthUpperLimit=490$, $WidthLowerLimit=475$ 。

根据半导体芯片图像几何属性, 对芯片图像区域进行切分, 提取出若干单幅半导体芯片图像。选取图3第2行第2列半导体芯片作为后续字符区域定位方法实验对象, 如图4所示, 切分后的单幅半导体芯片图像存在倾斜问题, 影响字符区域定位准确性。为解决该问题, 本文利用霍夫变换(Hough transformation, 又称 Hough 变换)^[16-17]提取芯片图像中的最大检测直线来进行旋转校正, 并去除校正后芯片图像中存在的黑边部分, 如图5(a)所示, 本文设旋转校正后的芯片图像分辨率为 $479 \text{ pixel} \times 476 \text{ pixel}$ 。



图4 单幅半导体芯片塑封图像

Fig. 4 Plastic packaging image of single semiconductor chip

半导体芯片图像倾斜角度的计算式为

$$l^2 = (L_{\max} - x)^2 + x^2 \quad (2)$$

依据半导体芯片在水平方向的偏移距离 x , 取其较小值为

$$x = \frac{L_{\max} - \sqrt{2l^2 - L_{\max}^2}}{2} \quad (3)$$

半导体芯片图像倾斜角度 α 计算式为

$$\alpha = \arcsin \frac{x}{l} = \arcsin \frac{L_{\max} - \sqrt{2l^2 - L_{\max}^2}}{2l} \quad (4)$$

其中, $L_{\max}$ 为半导体芯片最小外接矩形尺寸; l 为芯片尺寸; x 为芯片在水平方向的偏移距离。图 5(b) 为 Hough 变换校正图像的参数示意图。

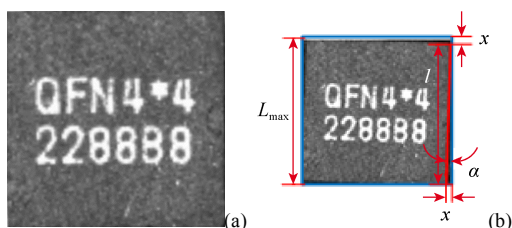


图 5 Hough 变换校正((a) Hough 变换校正结果; (b) Hough 变换校正参数示意图)

Fig. 5 Hough transform correction ((a) Result of Hough transform correction; (b) Illustration of Hough transform correction parameters)

2 改进凸包检测的字符区域定位方法

2.1 算法思想

由于半导体芯片本身尺寸较小, 在进行表面字符激光打印时, 会产生字符打印倾斜、字符过大、字符打印位置错误等各种缺陷, 因此, 需要对单幅半导体芯片图像进行字符定位处理。本文通过检测半导体芯片图像角点, 获取图像角点分布图, 改进凸包检测算法, 提出了半导体芯片图像字符区域定位方法, 算法流程如图 6 所示。

2.2 获取角点分布图

为去除采集半导体芯片图像时产生的噪声, 采用 5×5 高斯滤波器^[18-19]对图像进行卷积, 以平滑图像, 减少边缘检测器上明显的噪声影响。角点是二维图像亮度变化剧烈的点, 也可是图像边缘曲线上曲率最大的点。角点在保留图像图形重要特征的同时, 可以有效地减少信息的数据量, 使其信息含量很高, 有效地提高计算的速度。由于 Harris 角点检测算法^[20-22]计算简单且提取的特征点均匀合理, 因此本文将采用其对校正后的图像进行角点检测, 获取图像角点分布图, 如图 7 所示。

2.3 改进凸包检测算法

凸包检测基本思想为, 给定平面上的一些点, 用最少的点连成一个凸多边形, 使得平面内所有点皆在此多边形内或多边形上, 这个凸多边形就是给定点的二维凸包, 最常用的凸包算法是 Graham 扫描法(Graham's scan), 其思想是先找到凸包上的一个点, 然后从那个点开始按逆时针方向逐个找凸包上的点, 主要通过排序、扫描来实现, 但是存在特征点过多, 运算时间较长等缺点^[23]。一般凸包内的区域为目标区域, 凸包外的为背景区域, 传统凸包

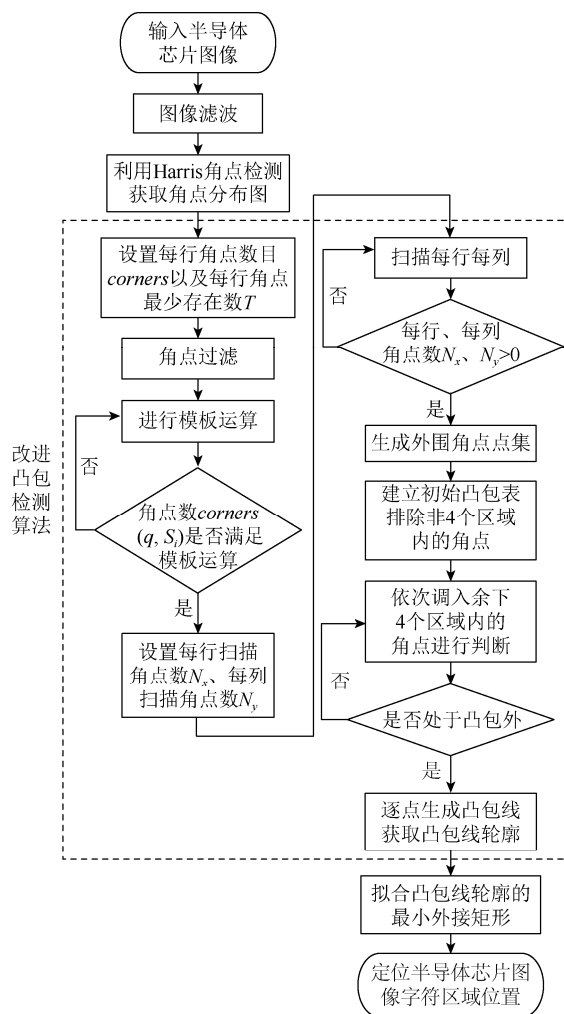


图 6 半导体芯片图像字符区域定位算法流程图

Fig. 6 Flow chart of semiconductor chip image character region positioning algorithm

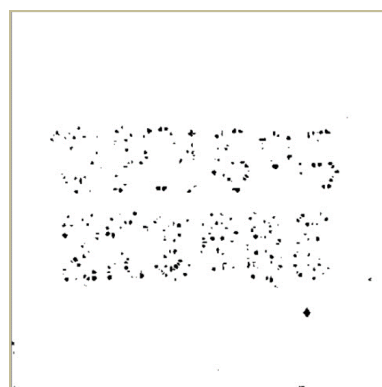


图 7 角点分布图

Fig. 7 Distribution of corner points

检测算法特征点过多且凸包中含有较多的背景区域, 计算量较大。因此为准确获取最外围角点的凸包线并绘制轮廓, 针对传统凸包检测存在的问题, 本文通过角点过滤、模板运算、外围角点点集获取、初始凸包表建立以及凸包线生成等 5 个环节改进传统凸包检测算法, 其步骤如下:

步骤 1. 角点过滤。为有效地将角点分布图中非字符区域角点进行剔除, 设 $corners$ 为角点分布图中每一行的角点数目, 设置每行角点最少存在数 T 以及行数 i 。若 $corners(i) > T$, 则判定为字符区域角点, 保留第 i 行角点; 若 $corners(i) < T$, 则判定为非字符区域角点, 去除第 i 行角点。由于芯片字符区域存在角点较多, 而非字符区域因图像噪声影响存在少量的角点, 在高斯滤波参数设为 5×5 的条件下, 取 $T=3$ 可获得较好的非字符区域角点过滤效果。

步骤 2. 模板运算。角点过滤可以粗略滤除一些非字符区域角点, 但也会存在漏检的角点。为此针对 1.2 描述的单幅芯片图像分辨率, 定义 3 个模板 $S1=10 \text{ pixel} \times 50 \text{ pixel}$, $S2=20 \text{ pixel} \times 50 \text{ pixel}$ 和 $S3=30 \text{ pixel} \times 50 \text{ pixel}$, 进行模板运算。设置 N_i 为 3 个模板最少存在的角点数, 判断角点 q 处于字符区域内的公式为

$$\text{if } \begin{cases} corners(q, S1) \geq N1 \\ corners(q, S2) \geq N2 \\ corners(q, S3) \geq N3 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{(角点 } q \text{ 处于字符区域内,} \\ \text{保留角点 } q) \end{matrix}$$

else 角点 q 处于字符区域外, 滤除角点 q (5)

其中, $corners(q, S_i)$ 为角点 q 处落在模板 S_i 里的总角点数。以单幅芯片图像分辨率 $479 \text{ pixel} \times 476 \text{ pixel}$ 以及高斯滤波参数 5×5 进行实验时, 取 $N1=4, N2=7, N3=12$ 可获的较好的检测效果, 模板运算结果如图 8 所示。

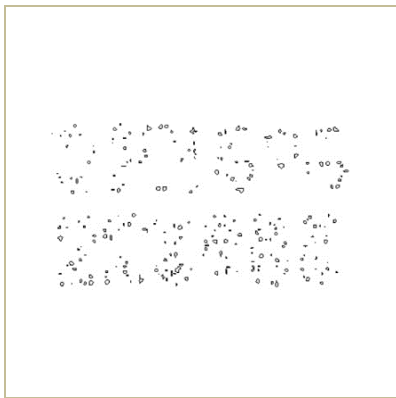


图 8 滤除非字符区域角点

Fig. 8 Filtering corner points of non-character region

步骤 3. 外围角点点集获取。提取模板运算后的字符区域角点点集, 设置 x, y 轴对字符区域角点点集进行扫描, 设置 P_x, P_y 分别为 x, y 轴上角点, 定义 x 轴每行扫描后的角点数为 N_x , 定义 y 轴每列

扫描后的角点数为 N_y , 如图 9 所示, 从图像左上角依次扫描出 x 轴存有角点的前 3 行 (x_1, x_2, x_3)、后 3 行 (x_4, x_5, x_6), 获取 x 轴扫描出的角点集 $\{P_1, P_2, \dots, P_{13}, P_{14}\}$, 则本例中 x 轴方向有 14 个角点; 再从图像左上角依次扫描出 y 轴存有角点的前 3 列 (y_1, y_2, y_3)、后 3 列 (y_4, y_5, y_6), 获取 y 轴扫描出的角点集 $\{P_{15}, P_{16}, \dots, P_{20}, P_{21}\}$, 则本例中 y 轴方向有 7 个角点, 将 x, y 轴扫描出的所有角点放入轮廓顶点集 Top , 即

$$Top = \begin{cases} P_x = 0, N_x = 0 \\ P_x \neq 0, N_x > 0 \end{cases} \cup \begin{cases} P_y = 0, N_y = 0 \\ P_y \neq 0, N_y > 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中, 若 $N_x=0$, 则 x 轴上角点 $P_x=0$, 扫描下一行; 若 $N_x>0$, 则将每行扫描后的角点放入轮廓顶点集 Top 。同理, 若 $N_y=0$, 则 y 轴上角点 $P_y=0$, 扫描下一列; 若 $N_y>0$, 则将每列扫描后的角点放入轮廓顶点集 Top 。 $Top = \{P_1, P_2, \dots, P_{13}, P_{14}\} \cup \{P_{15}, P_{16}, \dots, P_{20}, P_{21}\}$, 根据 Top 中轮廓顶点信息, 可以初步获取轮廓最外围角点点集。

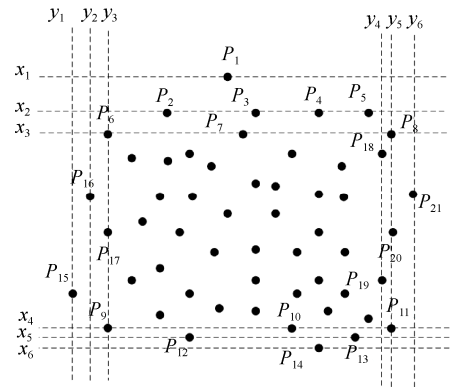


图 9 最外围角点示意图

Fig. 9 Illustration of outermost corner points

步骤 4. 初始凸包表建立。点集中处于坐标极值的点一定在凸包上, 如图 10 所示, 按 x, y 坐标进行排序, 从轴 x_1 处开始顺时针读入轮廓最外围角点点集中处于坐标极值的点, 扫描完成后获得角点点集的排序表, 将排序表中处于极值的点 x 与 y 坐标点提取出来, 获得初始凸包表 $P = \{P_1, P_{21}, P_{14}, P_{15}\}$ 。

为减少判断点数, 降低运算量, 依据式(7)划分出 A, B, C 和 D 4 个区域, 排除非 4 个区域内的角点, 即轮廓内部不属于凸包边上的角点

$$\begin{cases} \text{区域 } A = P_1 \rightarrow P_{21} \rightarrow P_{18} \rightarrow P_8 \rightarrow P_5 \rightarrow P_1 \\ \text{区域 } B = P_{21} \rightarrow P_{20} \rightarrow P_{14} \rightarrow P_{13} \rightarrow P_{11} \rightarrow P_{19} \rightarrow P_{21} \\ \text{区域 } C = P_{14} \rightarrow P_{15} \rightarrow P_9 \rightarrow P_{12} \rightarrow P_{14} \\ \text{区域 } D = P_{15} \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_{16} \rightarrow P_{15} \end{cases} \quad (7)$$

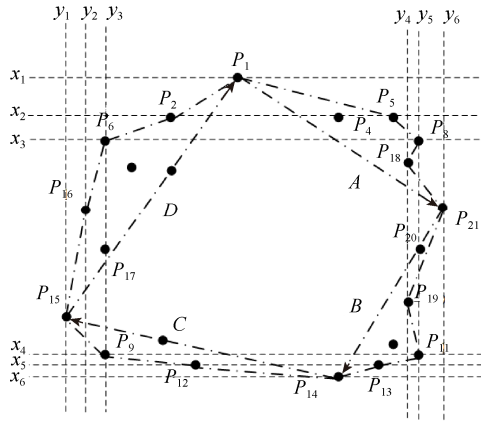


图 10 初始凸包表示意图

Fig. 10 Illustration of initial convex hull list

步骤 5. 凸包线生成。为准确判断 A, B, C, D 等 4 个区域内的角点, 是否为外围轮廓角点, 可依次调入判断, 若当前判断点处于当前凸包内, 则调入下一非凸包表内的角点进行判断; 若当前判断点处于当前凸包外, 则保留该判断点, 并将其插入离当前凸包最近边的 2 端点之间, 判断 4 个区域内的角点处于凸包外的计算式为

$$M(P_a, P_b, K) = (x_{P_b} - x_K)(y_{P_a} - y_K) - (y_{P_b} - y_K)(x_{P_a} - x_K) < 0 \quad (8)$$

其中, P_a, P_b 为当前凸包一条边的 2 个端点; K 为 A, B, C, D 等 4 个区域内的角点; $(x_K, y_K), (x_{P_a}, y_{P_a}), (x_{P_b}, y_{P_b})$ 分别为 P_a, P_b, K 的坐标。

利用式(8)依次判断 A, B, C, D 等 4 个区域内的角点, 直至全部判断结束, 将满足条件的 4 个区域内的角点逐点连接成凸包线, 如图 11 所示。

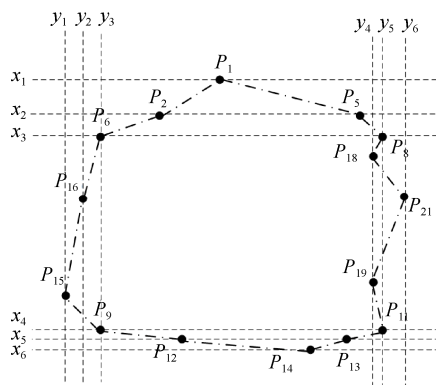


图 11 凸包线示意图

Fig. 11 Illustration of convex hull line

2.4 拟合轮廓

利用改进凸包检测算法, 剔除角点分布图中非字符区域角点, 通过排除轮廓内部不处于坐标极值

的角点减少判断点数, 生成字符区域角点凸包线, 如图 12(a)所示; 通过最小外接矩拟合凸包线轮廓, 获取半导体芯片图像字符区域位置, 如图 12(b)所示。

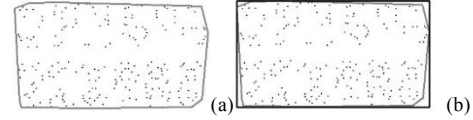


图 12 拟合字符区域最小外接矩((a)字符区域角点凸包线; (b) 拟合凸包线最小外接矩)

Fig. 12 Fitting the minimum external moment of character region ((a) Convex hull line of corner points in character region; (b) Fitting the minimum external moment of convex hull line)

3 实验结果与分析

3.1 定性实验对比与分析

本文通过三轴图像采集平台拍摄半导体芯片图像, 实验环境为 4 核 CPU 2.4 GHz、内存 8 GB、Visual Studio 2013。在单幅芯片图像尺寸以及滤波参数相同的环境下进行实验, 根据角点分布图, 图 13(a)利用传统凸包检测算法获取外围角点最小凸包, 图 13(b)为传统凸包检测算法定位结果, 不难发现, 传统凸包检测算法无法准确定位出半导体芯片图像字符区域位置, 精度较低, 且需要循环扫描判断每一个角点是否在凸包外, 计算量较大。为证明本文算法有效性, 将文献[14]的定位方法运用于本文实验。首先对图像进行旋转校正、二值化等处理; 然后扫描图像, 保留当前扫描行的第一个与最后一个像素点, 如图 13(c)所示; 最后利用 Grahams 算法获取点集凸包定位图像目标区域, 如图 13(d)所示。从图 13(d)可以看出, 该方法存在一定的定位偏差, 受图像影响较为严重, 若滤波参数设置较大或二值化阈值选取较大, 易产生较多角点, 影响运行效率; 若滤波参数设置较小或二值化阈值选取较小, 则检测到的角点减少, 图像目标区域定位准确性将大幅度降低。

针对上述问题, 本文改进凸包检测算法, 滤除非字符角点, 如图 13(e)所示(同图 12(a)), 将其运用到小尺寸的半导体芯片图像字符定位领域, 图 13(f)为半导体芯片字符区域定位图像, 通过图 13(b)、图 13(d)及图 13(f)对比发现, 本文方法可准确提取出所有字符区域角点, 滤除非字符区域的角点, 降低计算量, 未产生字符区域定位结果远大于实际区域的情况, 可有效地定位出半导体芯片图像

字符区域。

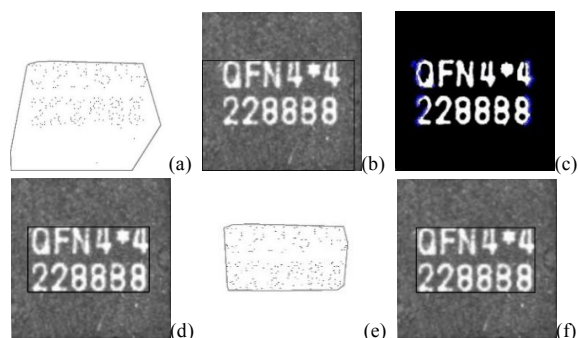


图 13 半导体芯片图像字符区域定位对比图
(a)传统凸包检测算法; (b)传统凸包检测算法定位结果;
(c)基于凸包及最小外接矩的定位方法; (d)基于凸包
及最小外接矩的定位结果; (e)改进凸包检测算法;
(f)改进凸包检测算法定位结果)

Fig. 13 Comparison image of semiconductor chip image character region positioning ((a) Traditional convex hull detection algorithm; (b) Positioning result of traditional convex hull detection algorithm; (c) Positioning method based on convex hull and the minimum external moment; (d) Positioning result based on convex hull and the minimum external moment; (e) Improved convex hull detection algorithm; (f) Improved positioning result of convex hull detection algorithm)

3.2 定量实验对比与分析

为验证本文方法的准确性, 选取 70 幅不同单个芯片图像作为实验对象, 对其进行定位精度的实验, 图 14 为本文方法对所有芯片图像中 3 种类型

芯片字符区域的定位结果。

以图 14(a)为例, 将本文定位方法与形态学滤波定位方法、基于边缘特征的定位方法、基于字符纹理特征的定位方法和基于凸包及最小外接矩的定位方法进行对比。由于实验对象数量较多, 本文仅以 70 幅芯片图像中 10 幅芯片图像字符区域定位面积数据作为展示, 见表 1。其余 60 幅图像字符区域面积数据与其接近。以图形编号 1 为例, 形态学滤波定位字符区域面积为 72 036 pixel×pixel, 边缘特征定位字符区域面积为 72 887 pixel×pixel, 字符纹理特征定位字符区域面积为 74 282 pixel×pixel, 凸包及最小外接矩方法定位字符区域面积为 70 949 pixel×pixel, 而本文方法定位字符区域面积为 69 064 pixel×pixel, 可以发现, 本文方法定位字符区域面积较小。

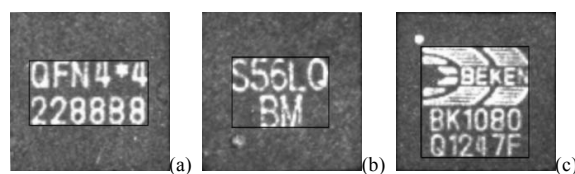


图 14 3 种类型芯片字符区域定位结果((a)芯片图像类型 1 定位结果; (b)芯片图像类型 2 定位结果;
(c)芯片图像类型 3 定位结果)

Fig. 14 Positioning results of three types of chip character area ((a) Positioning result of chip image type 1; (b) Positioning result of chip image type 2; (c) Positioning result of chip image type 3)

表 1 5 种方法定位字符区域面积比较(pixel×pixel)

Table 1 Comparison of four methods for positioning character region (pixel×pixel)

定位方法	图形编号(n)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
形态学滤波	72 036	72 327	72 781	72 056	72 418	72 351	73 142	72 983	72 581	72 157
边缘特征	72 887	72 791	73 094	72 851	73 146	73 420	73 587	73 209	72 998	72 783
字符纹理	74 282	74 766	75 128	74 352	74 517	74 853	75 579	75 341	74 610	74 393
凸包及最小外接矩方法	70 949	71 650	72 007	71 824	72 087	71 193	72 033	71 864	71 347	70 769
本文方法	69 064	70 964	70 998	69 865	69 126	70 067	69 176	69 847	69 893	69 261

图 15 为 5 种定位方法对比图像, 为有效对比 5 种方法的定位精度差异, 截取部分局部放大图, 如图 16 所示, 可更清晰地展现 5 种方法的定位精度差异, 其中红色框线为根据字符区域长度、宽度等属性特征人工标注的理想外接矩形, 黑色框线为本文定位方法, 白色框线为形态学滤波定位, 绿色框线为边缘特征定位, 蓝色框线为字符纹理特征定位, 黄色框线为凸包及最小外接矩方法定位。可以发现, 凸包及最小外接矩方法定位与人工标注的理想外接矩形近似, 但左侧框线相距较远, 本文定位

方法与人工标注的理想外接矩形接近重合, 而其他方法相离较远。因此本文方法准确度较高。

为验证本文定位方法的运行效率, 提取 50 幅不同单个芯片图像, 对 5 种定位方法进行运行时间对比, 见表 2。不难发现, 本文定位方法总运行时间与单幅平均运行时间均少于其他定位方法, 相对形态学滤波定位, 本文定位方法单幅平均运行时间仅为 1/4; 相对边缘特征定位, 本文方法仅为 1/3, 相对字符纹理特征定位, 本文方法仅为 1/6, 相对凸包及最小外接矩方法定位, 本文方法仅为 1/6。

1/2，因此本文方法速度更快，效率更高。

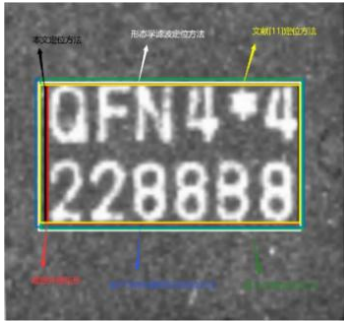


图 15 5 种定位方法对比图像

Fig. 15 Comparison image of five positioning methods

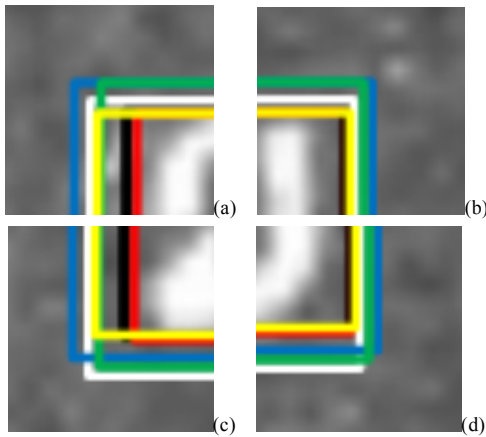


图 16 局部放大图((a)左上角放大图; (b)右上角放大图; (c)左下角放大图; (d)右下角放大图)

Fig. 16 Partial enlarged images ((a) Enlarged image in upper left corner; (b) Enlarged image in upper right corner; (c) Enlarged image in lower left corner; (d) Enlarged image in lower right corner)

表 2 5 种方法定位时间比较

Table 2 Comparison of four methods for positioning time

定位方法	图像总数 (n)	总运行 时间(s)	单幅平均 运行时间(s)
形态学滤波	50	19.561	0.391
边缘特征	50	16.356	0.327
字符纹理	50	28.655	0.573
凸包及最小外接矩方法	50	9.219	0.184
本文方法	50	4.728	0.095

3.3 影响因素分析

根据实验结果与分析，可知本文方法的定位效果主要受 2.3 节所述的每行角点最少存在数 T 影响。设置 T 主要是为滤除非字符区域的角点，以提高字符区域定位的准确性。虽然模板运算可以剔除漏检的角点，但图像边缘噪声产生的角点难以去除，因此在角点过滤时选取合适的 T 值对准确提取字符区域至关重要。在高斯滤波参数为 5×5 的基础上，本

文取 $T=3$ ，如图 17(b)所示。非字符区域角点过滤效果较好，而当 $T=1$ 时，如图 17(a)所示，有部分非字符区域角点并未滤除，需要通过模板运算进行筛选过滤，但模板运算对图像边缘角点滤除效果还有待提高。当 $T=5$ 时，从图 17(c)可以发现，随着 T 值不断增大，字符区域每行角点数目小于 T 值处，角点被自动过滤。图 17(c)中字符区域底部有 2 处角点被过滤，影响了字符区域定位准确性。因此，经高斯滤波平滑图像后，在角点过滤环节应根据实际情况选取合适的每行角点最少存在数 T ，以提高芯片图像字符区域定位准确性。

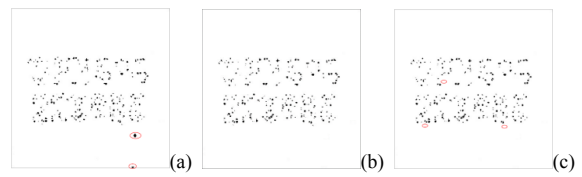


图 17 不同 T 值角点过滤效果

Fig. 17 Filtering results of corner points with different T values ((a) $T=1$; (b) $T=3$; (c) $T=5$)

4 结 论

本文针对半导体芯片字符在激光打印时可能出现字符打印倾斜、字符打印位置错误等缺陷，提出一种基于改进凸包检测的多幅半导体芯片图像字符区域定位方法。通过三轴图像采集平台获取多幅半导体芯片图像，切分提取出若干单幅芯片图像，将凸包检测算法进行改进，拟合凸包线最小外接矩形，最终定位字符区域位置。实验结果表明，与形态学滤波定位方法、基于边缘特征的定位方法、基于字符纹理特征的定位方法和基于凸包及最小外接矩的定位方法相比，本文方法定位半导体芯片字符区域位置准确度更高、运算速度更快、效率更高。本文定位方法目前已应用于半导体芯片封装缺陷视觉检测的图像预处理环节，并取得了较好的图像字符区域定位结果，能有效提高半导体芯片封装表面字符缺陷的视觉检测效率。

参考文献 (References)

- [1] 张步阳. 半导体芯片封装过程中视觉定位关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
ZHANG B Y. Research on key technologies of machine vision based positioning for semiconductor chip packaging[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016 (in Chinese).
- [2] 卜德帅. 基于机器视觉的 SOT 芯片外观缺陷检测系统设计[D]. 南京: 东南大学, 2014.
BU D S. System design of appearance defect detection of SOT

- chips based on machine vision[D]. Nanjing: Southeast University, 2014 (in Chinese).
- [3] 李丽洁, 李金, 宋阳, 等. 基于 LBP 和 FSVM 的视频文字定位方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(24): 144-146.
LI L J, LI J, SONG Y, et al. Video text localization method based on LBP and FSVM[J]. Computer Engineering, 2011, 37(24): 144-146 (in Chinese).
- [4] 宁仲, 唐雁, 张宏, 等. 一种基于频域纹理特征的图像文字定位算法[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2014, 51(2): 306-312.
NING Z, TANG Y, ZHANG H, et al. An algorithm for text detection in images based on frequency domain texture[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2014, 51(2): 306-312 (in Chinese).
- [5] 蒋天立, 彭华, 巩克现. 多尺度形态学滤波下的宽带信号检测方法[J]. 信号处理, 2014, 30(9): 1055-1063.
JIANG T L, PENG H, GONG K X. Signal detection in wideband reconnaissance using multi-scale morphological filter[J]. Journal of Signal Processing, 2014, 30(9): 1055-1063 (in Chinese).
- [6] 张海云, 张凤荔, 刘伟, 等. 改进的视频帧中文本区域定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(7): 189-192.
ZHANG H Y, ZHANG F L, LIU W, et al. Improved algorithm for text region localization in video frames[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(7): 189-192 (in Chinese).
- [7] 潘勇, 赵佳乐, 徐志刚, 等. 基于纹理特征的低照度环境下车牌定位与识别算法[J]. 公路交通科技, 2015, 32(7): 140-148.
PAN Y, ZHAO J L, XU Z G, et al. An algorithm of license plate location and recognition in low illuminance environment based on texture feature[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32(7): 140-148 (in Chinese).
- [8] 鲁文超, 段先华, 徐丹, 等. 基于多尺度下凸包改进的贝叶斯模型显著性检测算法[J]. 计算机科学, 2019, 46(6): 295-300.
LU W C, DUAN X H, XU D, et al. Bayesian model saliency detection algorithm based on multiple scales and improved convex hull[J]. Computer Science, 2019, 46(6): 295-300 (in Chinese).
- [9] 邹盼盼, 陆平, 朱恒亮, 等. 基于主体区域保持的图像缩放算法[J]. 图学学报, 2016, 37(2): 230-236.
ZOU P P, LU P, ZHU H L, et al. An novel image resizing method based on important area maintain[J]. Journal of Graphics, 2016, 37(2): 230-236 (in Chinese).
- [10] 姚泽烽, 程显毅, 谢璐. 基于 ORB 和最小凸包的感兴趣区域检测方法研究[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(10): 3186-3188.
YAO Z F, CHENG X Y, XIE L. Study on detection of ROI based on ORB and minimum convex hull[J]. Application Research of Computers, 2018, 35(10): 3186-3188 (in Chinese).
- [11] 鲁剑, 刘志. 基于改进凸包算法的移动端条码图像定位与校正[J]. 浙江工业大学学报, 2010, 38(6): 661-665.
LU J, LIU Z. An approach for smart phone barcode positioning and correction based on an improved convex hull algorithm[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2010, 38(6): 661-665 (in Chinese).
- [12] HASHEM A R A, IDRIS M Y I, AHMAD A E B A. Comparative study of different binarization methods through their effects in characters localization in scene images[J]. Data & Knowledge Engineering, 2018, 117: 216-224.
- [13] 何立强, 刘浩, 陈永. 边缘与灰度检测相结合的场景图像文本定位[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1601-1609.
HE L Q, LIU H, CHEN Y. Text extraction from scene image based on edge and gray-scale detection collaboration[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(12): 1601-1609 (in Chinese).
- [14] 张勇, 杨傲雷. 基于凸包及最小面积外接矩形的 QR 码定位[J]. 电子测量技术, 2017, 40(4): 152-156.
ZHANG Y, YANG A L. QR code location based on convex hull and minimum area bounding rectangle[J]. Electronic Measurement Technology, 2017, 40(4): 152-156 (in Chinese).
- [15] 巢渊. 基于机器视觉的半导体芯片表面缺陷在线检测关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
CHAO Y. Research on key techniques for semiconductor chip surface defect online detection based on machine vision[D]. Nanjing: Southeast University, 2017 (in Chinese).
- [16] 冯雷, 耿英楠. 基于 hough 变换的倾斜文档图像快速校正[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版, 2017, 46(2): 219-222.
FENG L, GENG Y N. Fast correction of skew document image based on hough transform[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition, 2017, 46(2): 219-222 (in Chinese).
- [17] XU C, GOVINDARAJAN L N, CHENG L. Hand action detection from ego-centric depth sequences with error-correcting Hough transform[J]. Pattern Recognition, 2017, 72: 494-503.
- [18] 姒绍辉, 胡伏原, 顾亚军, 等. 一种基于不规则区域的高斯滤波去噪算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(11): 313-316.
SI S H, HU F Y, GU Y J, et al. Improved denoising algorithm based on non-regular area Gaussian filtering[J]. Computer Science, 2014, 41(11): 313-316 (in Chinese).
- [19] PAK J M. Gaussian sum FIR filtering for 2D target tracking[J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2020, 18(3): 643-649.
- [20] 王民, 周兆镇, 李昌华, 等. 基于像素点灰度差的 Harris 角点检测算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(6): 227-230.
WANG M, ZHOU Z Z, LI C H, et al. Harris corner detection algorithm based on pixel point gray difference[J]. Computer Engineering, 2015, 41(6): 227-230 (in Chinese).
- [21] 苏婷, 金龙旭, 李国宁, 等. 基于改进 Harris 算法的图像角点检测[J]. 半导体光电, 2015, 36(3): 495-499.
SU T, JIN L X, LI G N, et al. Image corner detection based on improved Harris algorithm[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2015, 36(3): 495-499 (in Chinese).
- [22] 李冰, 吕进来, 郝晓丽. 基于模板边缘的自适应 Harris 角点检测算法[J]. 现代电子技术, 2019, 42(11): 40-44.
LI B, LÜ J L, HAO X L. Adaptive Harris corner detection algorithm based on template edge[J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(11): 40-44 (in Chinese).
- [23] 高晨, 张亚军. 基于凸包算法的指尖识别方法[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2017, 44(2): 70-75.
GAO C, ZHANG Y J. Fingertip recognition based on a convex hull algorithm[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science Edition, 2017, 44(2): 70-75 (in Chinese).