



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104981105 B

(45)授权公告日 2018.07.13

(21)申请号 201510402393.3

H05K 3/30(2006.01)

(22)申请日 2015.07.09

H05K 13/08(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104981105 A

(43)申请公布日 2015.10.14

(73)专利权人 广东工业大学

地址 510006 广东省广州市番禺区小谷围  
岛广州大学城外环西路100号

(72)发明人 高健 曾友 岑誉 陈新 汤晖

陈云 简川霞 姜永军 卜研

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

代理人 张海英 林波

(51)Int.Cl.

H05K 3/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 103761534 A,2014.04.30,

CN 103310215 A,2013.09.18,

JP 特开2011-192035 A,2011.09.29,

CN 103729655 A,2014.04.16,

余大伟.视觉系统在贴片机贴片头定位与片  
状元件检测纠偏中的应用研究.《中国优秀硕士  
学位论文全文数据库信息科技辑》.2011,(第01  
期),全文.

叶昕.贴片机吸片状态视觉检测与纠偏系统  
的研制.《中国优秀硕士学位论文全文数据库信  
息科技辑》.2011,(第01期),全文.

审查员 黄栋栋

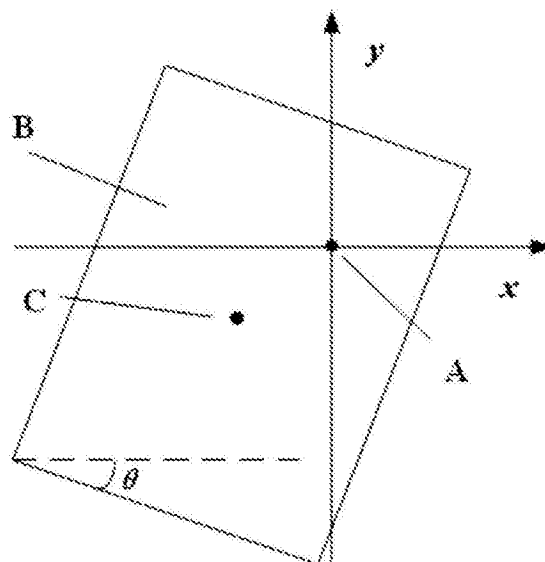
权利要求书3页 说明书16页 附图4页

(54)发明名称

一种快速精确获得元件中心和偏转角度的  
检测及纠偏方法

(57)摘要

一种快速精确获得元件中心和偏转角度的  
检测及纠偏方法,基于二值形态学和图像约化相  
结合的边缘区域自动提取方法,能够快速准确地  
找出感兴趣的边缘区域,尽量减少后续的边缘提  
取的图像范围;先粗定位获得像素级边缘,再在  
此基础上利用一维曲线拟合法快速提取亚像素  
边缘的方法,可以克服传统亚像素边缘提取算法  
基于二维图像、算法复杂的缺点,减少提取准确  
亚像素边缘的时间;基于直线海森范式的加权最  
小二乘矩形边缘拟合算法,可以检测出现在图像  
中任何位置的直线,而且能有效降低因边缘不平  
整等因素而产生的离群值对拟合精度的影响,一  
次性同时快速精确检测出多个元件的中心位置  
和偏转角度,提高视觉检测的效率。



1. 一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,通过获取元件中心和偏转角度来纠正元件贴装的偏差,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一:贴片元件的图像分割和区域特征的提取:对多元件图像进行图像分割,获得二值图像,再以面积和矩形度作为区域特征对目标的二值图像进行区域特征提取,剔除背景和噪声;

步骤二:二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取:通过二值形态学的腐蚀方法获得多个元件的内边界,再对内边界进行膨胀,获得元件边缘区域的二值图像,再从元件原灰度图像中选取特定的区域,对图像进行约化;

步骤三:元件亚像素级边缘快速提取:用Canny算子获取元件像素级边缘,再基于像素级边缘的方向,利用高斯曲线拟合法或一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘;

步骤四:元件亚像素边缘拟合与元件贴装的纠偏:利用片状元件对边相互平行、邻边相互垂直的约束条件,基于直线海森范式和Tukey权重函数的最小二乘矩形拟合法对提取的元件亚像素边缘进行拟合,获得元件的拟合矩形,最后通过矩形四个角的坐标计算获得元件中心坐标和偏转角度,判断元件是否发生偏转,并通过电机控制吸嘴向顺时针方向或逆时针方向补偿,纠正元件贴装的偏差。

2. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,其特征在于:步骤二中图像约化包括以下步骤:

(1) 通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标;

(2) 在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域,获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域。

3. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,其特征在于:步骤三中利用一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘,具体方法为:

假设在边缘点梯度方向上建立坐标系GCS,像素级边缘点坐标为 $(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ),三次多项式形式为:

$$\varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

要令目标函数I的值最小,根据多元函数极值的必要条件有:

$$\frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j = 0, 1, 2, 3)$$

$$\text{上式写成关于参数a的正规方程组,令 } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_N & x_N^2 & x_N^3 \end{bmatrix}, \mathbf{a} = (a_0, a_1, a_2, a_3)$$

$\mathbf{T}, \mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ , 则  $\frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j = 0, 1, 2, 3)$  用矩阵形式表示如

下:  $A^T A a = A^T Y$

得出参数向量  $a$  的最小二乘解为:  $a = (A^T A)^{-1} A^T Y$

令  $\varphi(x)'' = 0$  即可求得其在GCS坐标系的坐标为  $x = -\frac{a_2}{3a_3}$ , 该坐标加上像素级边缘

点的坐标, 即为亚像素点在图像坐标系的坐标, 通过坐标获取亚像素边缘。

4. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法, 其特征在于: 步骤四对元件亚像素边缘进行拟合, 通过计算每个轮廓点到矩形四条边的距离  $\delta$ , 距离最小的则判定该点属于该条边, 计算出的距离用于定义后续的权重函数, 并得到四组轮廓点集  $N_1, N_2, N_3, N_4$ , 每组点集所对应的边缘像素点数目分别为  $n_1, n_2, n_3, n_4$ , 设轮廓四个顶点分别为  $P_1, P_2, P_3, P_4$ ,  $P_1P_2$  边对应点集  $N_1: \{(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{1n_1}, y_{1n_1})\}$ ,  $P_2P_3$  边对应点集  $N_2: \{(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{2n_2}, y_{2n_2})\}$ ,  $P_3P_4$  边对应点集  $N_3: \{(x_{31}, y_{31}), (x_{32}, y_{32}), \dots, (x_{3n_3}, y_{3n_3})\}$ ,  $P_4P_1$  边对应点集  $N_4: \{(x_{41}, y_{41}), (x_{42}, y_{42}), \dots, (x_{4n_4}, y_{4n_4})\}$ , 鉴于矩形的对边相互平行, 邻边相互垂直, 建立如下的方程组:

$$\begin{cases} P_1P_2: & ax + by + c_1 = 0 \\ P_2P_3: & -bx + ay + c_2 = 0 \\ P_3P_4: & ax + by + c_3 = 0 \\ P_4P_1: & -bx + ay + c_4 = 0 \end{cases}, \quad a^2 + b^2 = 1,$$

根据基于直线海森范式的非线性最小二乘拟合算法, 设置目标函数为:

$$\begin{aligned} E(F, \lambda) = & \sum_{i=1}^{n_1} \omega(\delta_{1i})(ax_{1i} + by_{1i} + c_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \omega(\delta_{2i})(-bx_{2i} + ay_{2i} + c_2)^2 \\ & + \sum_{i=1}^{n_3} \omega(\delta_{3i})(ax_{3i} + by_{3i} + c_3)^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \omega(\delta_{4i})(-bx_{4i} + ay_{4i} + c_4)^2 \\ & - \lambda(a^2 + b^2 - 1)(n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \end{aligned},$$

式中,  $F = [a, b, c_1, c_2, c_3, c_4]$ , 要使目标函数最小化, 根据多元函数极值原理, 有  $\frac{\partial E}{\partial F} = \frac{\partial E}{\partial \lambda} = 0$ , 获得参数矩阵  $F$  后, 代入上述方程组中得到矩形四条边所在直线的方程组, 再求直线的交点坐标  $A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C), D(x_D, y_D)$ , 最后, 通过下述式子得出元件的中心与吸嘴中心的偏移量:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{x_A + x_B + x_C + x_D}{4} - x_0 \\ \Delta y &= \frac{y_A + y_B + y_C + y_D}{4} - y_0 \end{aligned},$$

式中,  $(x_0, y_0)$  为贴片头上吸嘴的中心位置坐标。

5. 根据权利要求4所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法, 其特征在于: 判断元件是否发生偏转的方法为: 设矩形的长边  $BC: -bx + ay + c_2 = 0$  与水平轴  $x$  之间的夹角为  $90^\circ$  时表示元件没有发生偏转, 则元件的偏转角为:

$$\Delta\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b}{a}\right) - 90^\circ & \left(\frac{b}{a} \geq 0, a \neq 0\right) \\ \arctan\left(\frac{b}{a}\right) + 90^\circ & \left(\frac{b}{a} < 0, a \neq 0\right) \end{cases},$$

当 $\Delta\theta \geq 0$ 时,电机控制吸嘴向顺时针方向补偿;当 $\Delta\theta < 0$ 时,电机控制吸嘴向逆时针方向补偿,实现纠正元件贴装的偏差。

6. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,其特征在于:步骤三所述的利用Canny算子获取元件像素级边缘,即通过高斯滤波进行图像平滑处理来获得图像的像素级边缘,其中,二维高斯滤波器为:

$$\begin{aligned} G(\sigma, r, c) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + c^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-c^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= G(\sigma, r)G(\sigma, c) \end{aligned},$$

式中, $\sigma$ 为高斯函数分布系数, $r, c$ 分别为行列坐标,滤波平滑效果由 $\sigma$ 大小控制;

对高斯滤波器求导,即有 $\nabla G * f = \nabla(G * f) = \nabla h = \begin{bmatrix} h'_r \\ h'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h}{\partial r} \\ \frac{\partial h}{\partial c} \end{bmatrix}$  其中,用滤波后在待测

像素点梯度幅值表示边缘强度,即 $|\nabla h| = \sqrt{(h'_r)^2 + (h'_c)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right)^2}$  边缘的方向,即

梯度方向,用 $\vec{n} = \frac{\nabla h}{|\nabla h|} = \left(\frac{\partial h}{\partial r}\right) \vec{r} + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right) \vec{c}$  表示;

判断待测点 $e_i$ 是否为边缘,即在梯度方向上判断该点的边缘幅度是否为其领域的最大值,即是否满足 $(e_i > e_{i-1}) \wedge (e_i > e_{i+1}) \wedge (e_i \geq t)$ ,其中 $t$ 为边缘选择的阈值,采用滞后阈值分割法对边缘进行判断,将边缘点连接起来,获得图像的像素级边缘;

其中,所述滞后阈值分割法采用双阈值,即低阈值 $T1$ 和高阈值 $T2$ ,边缘幅度比 $T2$ 高的即作为合格的边缘,比 $T1$ 低的即作为不合格的边缘,介于低低阈值 $T1$ 和高阈值 $T2$ 的边缘点若能按某一路径与合格的边缘点相连时,才能作为边缘点被接受。

7. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,其特征在于:步骤一中区域特征的提取包括:区域面积、区域周长、矩形度和圆形度。

8. 根据权利要求1所述的一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,其特征在于:用于检测无引脚类元件。

## 一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子元器件表面贴装工艺中贴片机视觉系统使用的图像处理技术领域,本发明具体涉及一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法。

### 背景技术

[0002] 贴片机的多个吸嘴在吸取贴片元件时,由于元件运输、上料,吸嘴的机械定位、气动吸取等动作,可能会引起两个问题:一是吸取的元件中心与吸嘴的中心不重合;二是元件的吸取位置与目标贴装位置存在角度偏差。这些问题会对于元件的准确贴装产生严重影响,因此必须在贴装前进行位置偏差补偿和角度纠偏。本发明的目的是为了快速精确获得贴片元件的中心位置和偏转角度。

[0003] 现有对元件的检测,需要检测多幅单个元件图像,图像处理算法上多是采用模板匹配法、最小外接矩形法、最小二乘直线拟合法等。模板匹配法原理简单,但是对于不同型号的元件需要建立不同的标准元件模板,而元件型号繁多,建模需要花费大量时间和存储空间,算法的通用性和灵活性较差。最小外接矩形法通过求取元件的最小外接矩形来获得元件中心位置和偏转角度,算法简单,易于实现,但由于最小外接矩形需要包含整个元件,对于元件边缘不平整、有异物、有污损、灰度不均等情况,计算出的矩形并非元件最理想的最小外接矩形,从而影响的检测精度。最小二乘直线拟合法通过对元件四条边或长边边缘直接进行最小二乘直线拟合,获得元件的偏转角度,这种方法简单高效,但直接拟合的方法没有考虑边缘离群值等粗大误差的影响,对于不平整、有异物、有污损、灰度不均等情况,拟合精度较差。

[0004] 目前,表面贴片元件的封装形式有过百种,为每一种元件研究独立的检测算法是低效率和不现实的。根据常见元件的封装形式和引脚的空间排布,对贴片元件进行合理分类有利于提高检测算法的灵活性和通用性。将元件两端与PCB焊盘直接连接,没有专门伸出引脚的元件称为无引脚元件,如片状元件(Chip)、贴片LED、金属电极无端子面元件(MELF);将元件底部以面阵列形式排列的焊球作为连接端的元件称为球形引脚元件,如球栅阵列元件(BGA)、芯片尺寸封装元件(CSP)、倒装芯片(Flip Chip);将元件周围有向外伸出规则排列的引脚的元件称为伸出引脚元件,如四侧引脚扁平封装元件(QFP)、小外形晶体管(SOT)、小型封装元件(SOP)。本发明主要针对的是无引脚类元件,此类元件二维成像多为矩形或类矩形。而通过外形分析可知,球形引脚元件和伸出引脚元件的本体部分也多为矩形或类矩形,因此所发明的无引脚元件检测算法对其他类型元件的检测也具有一定的启发作用和指导意义。现有对无引脚类元件位置和角度的检测,主要有模板匹配法、最小外接矩形法、最小二乘直线拟合法等,其中与本发明创造最相近似的实现方案有最小外接矩形法和最小二乘直线拟合法。

[0005] 最小外接矩形法通过求取元件的最小外接矩形来获得元件中心位置和偏转角度,算法简单,易于实现,但由于最小外接矩形需要包含整个元件,对于元件边缘不平整、有异物、有污损、灰度不均等情况,计算出的矩形并非元件最理想的最小外接矩形,从而影响的

检测精度。

[0006] 最小二乘直线拟合法通过对元件四条边或长边边缘直接进行最小二乘直线拟合,获得元件的偏转角度,这种方法简单高效,但由于最小二乘法拟合直线必须满足所有边缘点到该直线的距离的平方和最小,直接拟合的方法没有考虑矩形元件对边相互平行,邻边相互垂直的约束条件和边缘离群值等粗大误差的影响,对于元件边缘不平整、有异物、有污损、灰度不均等情况,边缘离群值在直线拟合中占据的比例很大,会引起拟合直线的不准确,偏离正确的元件边缘,影响最终元件中心定位和角度检测的精度。而且加上现有的直线拟合方法中,直线方程均采用 $f(x) = kx + b$ 的表示法,这种方法默认直线必须有斜率,这对于垂直于x轴,没有斜率( $k$ 无穷大)的情况并不适用。而在图像中,直线可能出现在任何位置,使用上述的直线方程表示法必然会导致算法处理的漏洞,这会对精确获取目标位置产生严重影响。

[0007] 现有方法中的最小二乘直线拟合法,采用的直线方程都是 $f(x) = kx + b$ 的表示法,而且拟合过程没有考虑边缘离群值就直接拟合,大大影响了拟合的精度。可参考下列文献:

[0008] [1]王力.基于机器视觉的贴片元件定位系统的研究与开发[D].苏州大学,2009:49-51.

[0009] [2]李小伟.贴片元件几何尺寸精密测量系统的关键技术[D].重庆大学,2014:48-50.

[0010] [3]余大伟.视觉系统在贴片机贴片头定位与片状元件检测纠偏中的应用研究[D].苏州大学,2010:43-44.

[0011] [4]杨洪天.贴片机飞行对中图像处理和识别技术研究[D].广东工业大学,2012:37-40.

[0012] [5]叶昕.贴片机吸片状态视觉检测与纠偏系统的研制[D].苏州大学,2010:35-42.

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于提出一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,利用片状元件对边相互平行、邻边相互垂直的约束条件并引入直线海森范式及权重函数Tukey对边缘进行加权的 minimum 二乘矩形拟合,得到能代表贴片元件最理想的矩形,从而快速精确的获取元件中心和偏转角度,对元件贴装的偏差进行纠正。

[0014] 为达此目的,本发明采用以下技术方案:

[0015] 一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,通过获取元件中心和偏转角度来纠正元件贴装的偏差,包括以下步骤:

[0016] 步骤一、贴片元件的图像分割和区域特征的提取:对多元件图像进行图像分割,获得二值图像,再以面积和矩形度作为区域特征对目标的二值图像进行区域特征提取,剔除背景和噪声;

[0017] 步骤二、二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取:通过二值形态学的腐蚀方法获得多个元件的内边界,再对内边界进行膨胀,获得元件边缘区域的二值图像,再从元件原灰度图像中选取特定的区域,对图像进行约化;

[0018] 步骤三:元件亚像素级边缘快速提取:用Canny算子获取元件像素级边缘,再基于

像素级边缘的方向,利用高斯曲线拟合法或一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘;

[0019] 步骤四、元件亚像素边缘拟合与元件贴装的纠偏:利用片状元件对边相互平行、邻边相互垂直的约束条件,基于直线海森范式和Tukey权重函数的最小二乘矩形拟合法对提取的元件亚像素边缘进行拟合,获得元件的拟合矩形,最后通过矩形四个角的坐标计算获得元件中心坐标和偏转角度,判断元件是否发生偏转,并通过电机控制吸嘴向顺时针方向或逆时针方向补偿,纠正元件贴装的偏差。

[0020] 更进一步说明,步骤二中图像约化包括以下步骤:

[0021] (1) 通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标;

[0022] (2) 在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域,获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域。

[0023] 更进一步说明,步骤三中利用一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘,具体方法为:

[0024] 假设在边缘点梯度方向上建立坐标系GCS,像素级边缘点坐标为 $(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ),三次多项式形式为:

$$[0025] \quad \varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

[0026] 要令目标函数I的值最小,根据多元函数极值的必要条件有:

$$[0027] \quad \frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j=0, 1, 2, 3)$$

$$[0028] \quad \text{上式写成关于参数a的正规方程组,令 } A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_N & x_N^2 & x_N^3 \end{bmatrix}, a = (a_0, a_1,$$

$a_2, a_3)^T, Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ , 则  $\frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j=0, 1, 2, 3)$  用矩阵形式

表示如下:  $A^T A a = A^T Y$

[0029] 得出参数向量a的最小二乘解为:  $a = (A^T A)^{-1} A^T Y$

[0030] 令  $\varphi(x)'' = 0$  即可求得其在GCS坐标系的坐标为  $x = -\frac{a_2}{3a_3}$ , 该坐标加上像素级

边缘点的坐标,即为亚像素点在图像坐标系的坐标,通过坐标获取亚像素边缘。

[0031] 更进一步说明,步骤四对元件亚像素边缘进行拟合,通过计算每个轮廓点到矩形四条边的距离 $\delta$ ,距离最小的则判定该点属于该条边,计算出的距离用于定义后续的权重函数,并得到四组轮廓点集 $N_1, N_2, N_3, N_4$ ,每组点集所对应的边缘像素点数目分别为 $n_1, n_2, n_3, n_4$ ,设轮廓四个顶点分别为 $P_1, P_2, P_3, P_4$ 。 $P_1P_2$ 边对应点集  $N_1: \{(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{1n_1}, y_{1n_1})\}$ ,

$P_2P_3$ 边对应点集  $N_2: \{(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{2n_2}, y_{2n_2})\}$ ,  $P_3P_4$ 边对应点集  $N_3: \{(x_{31}, y_{31}), (x_{32}, y_{32}), \dots, (x_{3n_3}, y_{3n_3})\}$ ,  $P_4P_1$ 边对应点集  $N_4: \{(x_{41}, y_{41}), (x_{42}, y_{42}), \dots, (x_{4n_4}, y_{4n_4})\}$ , 鉴于矩形的对边相互平行, 邻边相互垂直, 建立如下的方程组:

$$[0032] \quad \begin{cases} P_1P_2: & ax + by + c_1 = 0 \\ P_2P_3: & -bx + ay + c_2 = 0 \\ P_3P_4: & ax + by + c_3 = 0 \\ P_4P_1: & -bx + ay + c_4 = 0 \end{cases}, \quad a^2 + b^2 = 1,$$

[0033] 根据基于直线海森范式的最小二乘拟合算法, 设置目标函数为:

$$[0034] \quad \begin{aligned} E(F, \lambda) = & \sum_{i=1}^{n_1} \omega(\delta_{1i})(ax_{1i} + by_{1i} + c_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \omega(\delta_{2i})(-bx_{2i} + ay_{2i} + c_2)^2 \\ & + \sum_{i=1}^{n_3} \omega(\delta_{3i})(ax_{3i} + by_{3i} + c_3)^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \omega(\delta_{4i})(-bx_{4i} + ay_{4i} + c_4)^2 \\ & - \lambda(a^2 + b^2 - 1)(n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \end{aligned},$$

[0035] 式中,  $F = [a, b, c_1, c_2, c_3, c_4]$ , 要使目标函数最小化, 根据多元函数极值原理, 有  $\frac{\partial E}{\partial F} = \frac{\partial E}{\partial \lambda} = 0$ , 获得参数矩阵  $F$  后, 代入上述方程组中得到矩形四条边所在直线的方程组, 再求直线的交点坐标  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$ ,  $C(x_C, y_C)$ ,  $D(x_D, y_D)$ , 最后, 通过下述式子得出元件的中心与吸嘴中心的偏移量:

$$[0036] \quad \Delta x = \frac{x_A + x_B + x_C + x_D}{4} - x_0$$

$$[0037] \quad \Delta y = \frac{y_A + y_B + y_C + y_D}{4} - y_0,$$

[0038] 式中,  $(x_0, y_0)$  为贴片头上吸嘴的中心位置坐标。

[0039] 更进一步说明, 判断元件是否发生偏转的方法为: 设矩形的长边  $BC: -bx + ay + c_2 = 0$  与水平轴  $x$  之间的夹角为  $90^\circ$  时表示元件没有发生偏转, 则元件的偏转角度为:

$$[0040] \quad \Delta \theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b}{a}\right) - 90^\circ & \left(\frac{b}{a} \geq 0, a \neq 0\right) \\ \arctan\left(\frac{b}{a}\right) + 90^\circ & \left(\frac{b}{a} < 0, a \neq 0\right) \end{cases},$$

[0041] 当  $\Delta \theta \geq 0$  时, 电机控制吸嘴向顺时针方向补偿; 当  $\Delta \theta < 0$  时, 电机控制吸嘴向逆时针方向补偿, 实现纠正元件贴装的偏差。

[0042] 更进一步说明, 步骤三所述的利用 Canny 算子获取元件像素级边缘, 即通过高斯滤波进行图像平滑处理来获得图像的像素级边缘, 其中, 二维高斯滤波器为:



$$G(\sigma, r, c) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + c^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{c^2}{2\sigma^2}\right) \\ = G(\sigma, r)G(\sigma, c)$$

[0043] 式中,  $\sigma$  为高斯函数分布系数,  $r, c$  分别为行列坐标, 滤波平滑效果由  $\sigma$  大小控制;

[0044] 对高斯滤波器求导, 即有  $\nabla G * f = \nabla(G * f) = \nabla h = \begin{bmatrix} h'_r \\ h'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h}{\partial r} \\ \frac{\partial h}{\partial c} \end{bmatrix}$  其中, 用滤波后在

待测像素点梯度幅值表示边缘强度, 即  $|\nabla h| = \sqrt{(h'_r)^2 + (h'_c)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right)^2}$ , 边缘的方

向, 即梯度方向, 用  $\vec{n} = \frac{\nabla h}{|\nabla h|} = \left(\frac{\partial h}{\partial r}\right) \vec{r} + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right) \vec{c}$  表示;

[0045] 判断待测点  $e_i$  是否为边缘, 即在梯度方向上判断该点的边缘幅度是否为其领域的最大值, 即是否满足  $(e_i > e_{i-1}) \wedge (e_i > e_{i+1}) \wedge (e_i \geq t)$ , 其中  $t$  为边缘选择的阈值, 采用滞后阈值分割法对边缘进行判断, 将边缘点连接起来, 获得图像的像素级边缘;

[0046] 其中, 所述滞后阈值分割法采用双阈值, 即低阈值  $T1$  和高阈值  $T2$ , 边缘幅度比  $T2$  高的即作为合格的边缘, 比  $T1$  低的即作为不合格的边缘, 介于低低阈值  $T1$  和高阈值  $T2$  的边缘点若能按某一路径与合格的边缘点相连时, 才能作为边缘点被接受。

[0047] 更进一步说明, 步骤一中区域特征的提取包括: 区域面积、区域周长、矩形度和圆形度。

[0048] 更进一步说明, 用于检测无引脚类元件。

[0049] 本发明的有益效果: 1、基于二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取方法, 能够快速准确地找出感兴趣的边缘区域, 尽量减少后续的边缘提取的图像范围; 2、先粗定位获得像素级边缘, 再在此基础上利用一维曲线拟合法快速提取亚像素边缘的方法, 可以克服传统亚像素边缘提取算法基于二维图像、算法复杂的缺点, 减少提取准确亚像素边缘的时间; 3、基于直线海森范式的加权最小二乘矩形边缘拟合算法, 可以检测出现在图像中任何位置的直线, 而且能有效降低因边缘不平整等因素而产生的离群值对拟合精度的影响, 一次性同时快速精确检测出多个元件的中心位置和偏转角度, 提高视觉检测的效率。

## 附图说明

[0050] 图1是本发明的一个实施例的分割后的二值图像;

[0051] 图2是本发明的一个实施例的区域特征提取结果;

[0052] 图3是本发明的一个实施例的元件整个边缘区域的提取过程图;

[0053] 图4是本发明的一个实施例的传感器成像的实际边缘;

[0054] 图5是本发明的阶跃边缘示意图;

[0055] 图6是本发明的一个实施例的元件的像素级边缘示意图;

[0056] 图7是本发明的一个实施例的元件的亚像素级边缘示意图;

- [0057] 图8是本发明的一个实施例的元件的边缘点的矩形拟合示意图；
- [0058] 图9是本发明的一个实施例的元件检测结果图示；
- [0059] 图10是本发明的一个实施例的计算机模拟真实元件生成的元件标准图像图示；
- [0060] 图11是本发明的对于图10的矩形拟合的结果图示；
- [0061] 图12是本发明的贴片元件的位置和角度偏差的示意图。

## 具体实施方式

[0062] 下面结合附图并通过具体实施方式来进一步说明本发明的技术方案。

[0063] 贴片在整个贴装过程中,当基准点被定位并转化到机器坐标系后,PCB上元件的目标贴装位置就已经确定了。随后,贴片头带动吸嘴运动到供料器上方吸取贴片元件准备进行贴装。由于元件运输、上料,吸嘴的机械定位、气动吸取等动作,这时可能会引起两个问题:一是吸取的元件中心与吸嘴的中心不重合;二是元件的吸取位置与目标贴装位置存在角度偏差,如图12所示。这些问题会对于元件的准确贴装产生严重影响,因此必须在贴装前进行位置偏差补偿和角度纠偏。

[0064] 本发明提出一种快速精确获得元件中心和偏转角度的检测及纠偏方法,通过获取元件中心和偏转角度来纠正元件贴装的偏差,包括以下步骤:

[0065] 步骤一、贴片元件的图像分割和区域特征的提取:对多元件图像进行图像分割,获得二值图像,再以面积和矩形度作为区域特征对目标的二值图像进行区域特征提取,剔除背景和噪声;

[0066] 步骤二、二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取:通过二值形态学的腐蚀方法获得多个元件的内边界,再对内边界进行膨胀,获得元件边缘区域的二值图像。最后从元件原灰度图像中选取特定的区域,将图像简约化,减少后续图像处理的范围,从而提高图像处理的速度和精度的方法。对于图像约化的具体操作是通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标,然后在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域即可获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域;

[0067] 步骤三:元件亚像素级边缘快速提取:用Canny算子获取元件像素级边缘,再基于像素级边缘的方向,利用高斯曲线拟合法或一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘;

[0068] 步骤四、元件亚像素边缘拟合与元件贴装的纠偏:利用片状元件对边相互平行、邻边相互垂直的约束条件,基于直线海森范式和Tukey权重函数的最小二乘矩形拟合法对提取的元件亚像素边缘进行拟合,获得元件的拟合矩形,最后通过矩形四个角的坐标计算获得元件中心坐标和偏转角度,判断元件是否发生偏转,并通过电机控制吸嘴向顺时针方向或逆时针方向补偿,纠正元件贴装的偏差。

[0069] 图像分割是指将原图像中的目标区域进行划分,将其分割为目标区域和背景区域两类的处理方法。因此,图像分割又称为图像的二值化。在贴片元件的图像中,目标区域为贴片元件,其在光源的照射下呈现高亮度,很容易从背景中识别出来,因此采用最常用的全局阈值分割法进行图像分割,分割后的二值图像如图1所示,经过步骤一的区域特征提取,剔除不符合要求的对象,即剔除背景和噪声,考虑到多个吸嘴上的贴片元件形状均为矩形,形状大小相同,所以选择区域面积和矩形度作为区域特征对二值图像进行筛选,获得如图2

所示的提取结果。

[0070] 进入步骤二,二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取,以往为了提取物体的边缘,常常是基于阈值分割后的二值图像的。这样边缘的提取精度很大程度上收到图像分割的影响。由于光照和环境的变化,图像分割的阈值也会发生变化,加上分割算法的准确度问题,分割出来的图像就不能精确表示目标区域了。若对此二值图像做边缘检测,提取出的边缘并不能代表原图像目标的边缘,从而影响后续边缘拟合的精度。因此本发明提出一种基于二值形态学和图像约化相结合的感兴趣区域提取方法,准确地找出感兴趣的边缘区域用于后续的边缘提取。

[0071] 所谓形态学处理是指用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像的形状以达到图像分析和识别的目的。形态学是由一组代数运算子组成,其基本运算有腐蚀、膨胀、开运算和闭运算等。

[0072] (1) 腐蚀:腐蚀是一种在结构元素约束下消除目标图像部分边界点,使其边界向内部收缩的算法,具有收缩目标图像、消除细小连接和物体的作用。设二值图像为 $F$ ,目标区域为 $X$ ,腐蚀后的二值图像为 $E$ 。当结构元素 $S$ 的原点移动到点 $(x, y)$ 处时,记作 $S_{xy}$ ,若 $S_{xy}$ 完全包含在 $X$ 中,则腐蚀后图像上该点为1,否则为0。图像 $F$ 被结构元素为 $S$ 腐蚀的运算用集合的方式表示如下:

$$[0073] \quad E = F \ominus S = \{(x, y) | S_{xy} \subseteq X\}$$

[0074] (2) 膨胀:膨胀是腐蚀运算的对偶运算,是一种在结构元素约束下将与目标区域相接触的背景点合并到该目标物之中,使目标边界向外部扩张的算法,具有扩张目标图像、填充物体内部孔洞的作用。若结构元素 $S$ 的原点移动到点 $(x, y)$ 处时, $S_{xy}$ 中包含至少一个目标区域 $X$ 中的点时,则膨胀后的图像 $D$ 上该点为1,否则为0。图像 $F$ 被结构元素为 $S$ 膨胀的运算用集合的方式表示如下:

$$[0075] \quad D = F \oplus S = \{(x, y) | S_{xy} \cap X \neq \emptyset\}$$

[0076] (3) 开运算和闭运算开运算是使用同一个结构元素进行先腐蚀再膨胀的运算。开运算用来消除图像中细小对象、在纤细点处分离物体、平滑物体边界而又不明显改变其面积和形状。闭运算是使用同一个结构元素进行先膨胀再腐蚀的运算。闭运算用来填充物体内部细小孔洞、连接断开的邻近目标、平滑物体边界而又不明显改变其面积和形状。设二值图像为 $F$ ,结构元素为 $S$ ,则开运算和闭运算的定义分别如下面两个公式所示。

$$[0077] \quad F \circ S = (F \ominus S) \oplus S$$

$$[0078] \quad F \bullet S = (F \oplus S) \ominus S$$

[0079] 腐蚀和膨胀最有用的地方在于可以计算元件区域的边界。如果想计算出区域的内边界,只需对区域进行适当的腐蚀,然后从原区域中减去腐蚀后得到的区域即可: $\beta(F) = F - (F \ominus S)$ 。

[0080] 式中, $\beta$ 表示区域边界, $F$ 表示原区域, $S$ 表示适当的结构元素。但是上述边界的提取是基于二值图像的,而且该边界是近似值,不能作为贴片元件原灰度图像的边缘使用。为了找出原灰度图像的边缘所在细小区域,用于精确提取元件的真实边缘,可以用一个形状为矩形的结构元素对元件区域边界进行膨胀,然后基于膨胀后的区域对原灰度图像进行约化

处理。

[0081] 通过二值形态学的腐蚀方法获得多个元件的内边界,再对内边界进行膨胀,获得元件边缘区域的二值图像,再从元件原灰度图像中选取特定的区域,将图像简约化,减少后续图像处理的范围,从而提高图像处理的速度和精度的方法,所谓约化是指从灰度图像中选取特定的区域,将图像简约化,减少后续图像处理的范围,从而提高图像处理的速度和精度的方法。对于贴片元件图像约化的具体操作是通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标,然后在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域即可获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域。以单个元件为例,整个边缘区域的提取过程如图3所示。

[0082] 由于受到摄像机、光源、环境、传输等因素的影响,采集到的图像往往存在噪声。噪声会使边缘的灰度值出现过多突变,使边缘出现位移,影响边缘的提取,降低最终拟合和定位的精度,因此在边缘提取前需要进行边缘的平滑处理。均值滤波的处理速度快,但它的频率响应不是旋转对称的,即各项异性的,不能完全消除噪声,同时会导致边缘过分模糊;中值滤波处理速度慢,且滤波窗口越大,速度越慢,不适合贴片视觉系统图像处理的实时性要求;高斯滤波是旋转对称的,即各向同性的,既能满意地抑制噪声,又能减少对边缘的模糊,处理速度和效果都较好,而且高斯滤波器的可分特性在后续处理中能起到重要作用,因此采用高斯滤波进行图像平滑处理,二维高斯滤波器为:

$$[0083] \quad G(\sigma, r, c) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + c^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{c^2}{2\sigma^2}\right) \\ = G(\sigma, r)G(\sigma, c)$$

[0084] 式中, $\sigma$ 为高斯函数分布系数, $r, c$ 分别为行列坐标,滤波平滑效果由 $\sigma$ 大小控制。由公式可知,二维高斯滤波器是可分的,因此能被高效地计算出来。设滤波前后图像函数分别为 $f(r, c)$ 和 $h(r, c)$ ,则滤波过程可以用卷积表示:

$$[0085] \quad h(r, c) = G(\sigma, r, c) * f(r, c)$$

[0086] 经过高斯滤波后,图像的边缘得到了平滑,同时高斯滤波器的可分特性为后面的边缘提取做了有效准备。

[0087] 边缘是指图像中像素灰度有阶跃变化或屋顶状变化的那些像素的集合。由于图像传感器的特性和光学的衍射效应等影响,边缘并不是理想的阶跃边缘,而变成斜坡边缘,表现为前景灰度渐变过渡到背景灰度,如图4所示,可以看出理想的阶跃边缘处于渐变过渡的灰度中。传统的边缘检测都是基于像素级的,由于边缘平滑过渡和光照变化的影响,阈值选择不同,所提取的边缘信息也不同,这将对边缘的精确定位造成严重影响。因此要实现高精度的边缘提取,必须对边缘进行亚像素定位。由图5阶跃边缘示意图可以看出,边缘点的亚像素位置为边缘灰度分布的一阶导数极大值点或者二阶导数过零点处,可通过边缘点附近灰度的分布情况来求取边缘点的亚像素位置。为此,本发明提出先对元件边缘做粗定位,获得其像素级边缘幅度和方向,再进行亚像素精度定位的算法流程。

[0088] 像素级边缘粗定位:

[0089] 1. 最佳边缘检测准则:为了对边缘检测算法做出合理、有效的评价,Canny提出了最佳边缘检测的三个准则:

[0090] (1) 信噪比准则:具有最大输出信噪比,即对边缘点的错检率和漏检率都要低;

[0091] (2) 定位精度准则:具有好的定位性能,检测出来的边缘应尽可能靠近真实边缘的中心,即边缘位置的方差要最小化;

[0092] (3) 单边缘响应准则:对于每个真正的边缘只返回唯一的边缘,避免多重响应,即单边缘产生多边缘的概率要低,伪边缘响应得到最大的抑制。

[0093] 2. 非最大抑制和滞后阈值分割:符合上述准则的理想边缘滤波器能用高斯滤波器的一阶导数来近似,该滤波算子称为Canny算子。由于对高斯滤波器求导后再和图像函数进行卷积与先对图像进行高斯滤波再进行求导的结果一样,即可以先平滑滤波消除噪声,再锐化得到边缘细节。

[0094] 为了更精确地进行矩形拟合,还需进行亚像素边缘提取,步骤三用Canny算子获取元件像素级边缘,再基于像素级边缘的方向,利用一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,快速提取亚像素边缘的方法,减少提取准确边缘的时间,如图6所示。最后进入步骤四,基于直线海森范式和Tukey权重函数的最小二乘矩形拟合法对提取的元件亚像素边缘进行拟合,获得元件最理想的拟合矩形,如图7所示,再通过矩形四个角的坐标可计算得到元件中心坐标和偏转角度,如图8所示。

[0095] 本发明提出的基于二值形态学和图像约化相结合的边缘区域自动提取方法,能够快速准确地找出感兴趣的边缘区域,尽量减少后续的边缘提取的图像范围;另外还提出先粗定位获得像素级边缘,再在此基础上利用一维曲线拟合法快速提取亚像素边缘的方法,可以克服传统亚像素边缘提取算法基于二维图像、算法复杂的缺点,减少提取准确亚像素边缘的时间;更进一步的本发明还提出基于直线海森范式的加权最小二乘矩形边缘拟合算法,可以检测出现在图像中任何位置的直线,而且能有效降低因边缘不平整等因素而产生的离群值对拟合精度的影响,一次性同时快速精确检测出多个元件的中心位置和偏转角度,提高视觉检测的效率。关键点在于对元件边缘区域的约化过程和加权的加权最小二乘矩形拟合算法对元件亚像素边缘进行拟合,可以将边缘离群值的影响降到最低,提高边缘拟合的精度。欲保护点是基于二值形态学和图像约化的相结合的元件边缘区域自动提取方法和加权的加权最小二乘矩形拟合算法,可以一次性同时对多个元件进行边缘拟合,快速精确获取元件中心和偏转角度。

[0096] 更进一步的说明,步骤二中图像约化包括以下步骤:

[0097] (1) 通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标;

[0098] (2) 在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域,获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域。

[0099] 所谓约化是指从灰度图像中选取特定的区域,将图像简约化,减少后续图像处理的范围,从而提高图像处理的速度和精度的方法。对于贴片元件图像约化的具体操作是通过二值形态学的膨胀处理后,记录膨胀区域像素点坐标,然后在原灰度图像中选取相应的坐标点,摒弃其他无用的区域即可获得我们感兴趣的元件边缘所在的细小区域。

[0100] 更进一步的说明,步骤三中利用一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,获取亚像素边缘,具体方法为:

[0101] 假设在边缘点梯度方向上建立坐标系GCS,像素级边缘点坐标为 $(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ),三次多项式形式为:

$$[0102] \quad \varphi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

[0103] 要令目标函数I的值最小,根据多元函数极值的必要条件有:

$$[0104] \quad \frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j = 0, 1, 2, 3)$$

$$[0105] \quad \text{上式写成关于参数a的正规方程组,令 } A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_N & x_N^2 & x_N^3 \end{bmatrix}, a = (a_0, a_1,$$

$a_2, a_3)^T, Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ , 则  $\frac{\partial I}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1}^N x_i^j [y_i - \sum_{j=0}^3 a_j x_i^j] = 0 \quad (j = 0, 1, 2, 3)$  用矩阵形式

表示如下:  $A^T A a = A^T Y$

[0106] 得出参数向量a的最小二乘解为:  $a = (A^T A)^{-1} A^T Y$

[0107] 令  $\varphi(x)'' = 0$  即可求得其在GCS坐标系的坐标为  $x = -\frac{a_2}{3a_3}$ , 该坐标加上像素级

边缘点的坐标,即为亚像素点在图像坐标系的坐标,通过坐标获取亚像素边缘。

[0108] 为要更精确地进行矩形拟合,还需进行亚像素边缘提取。现有文献中对多种亚像素边缘检测算法作出了比较,包括插值法、曲面拟合法、空间矩法,这些算法都是基于二维图像的,求解比较复杂。其中曲面拟合法是按照图像灰度分布函数对整幅图像目标的灰度进行曲面拟合,定位精度高,但参与曲面拟合的像素点数目较多,影响了算法的运算速度。考虑到经过像素级粗定位后,边缘强度和方向已经准确地提取出来,可以将亚像素边缘检测的二维曲面拟合法转化为一维曲线拟合法,根据边缘方向的一维灰度值分布计算亚像素边缘位置。由于基于三次多项式的最小二乘曲线拟合法比较简单,易于实现,且对小块数字图像已足够精确。因此,采用三次多项式对边缘点及其梯度方向上邻域点(一般为3~4个点)的梯度值进行拟合,获得边缘点梯度方向上的连续梯度函数,该函数的极大值点即为边缘点的亚像素坐标。

[0109] 更优的,利用一维的三次多项式最小二乘曲线拟合法,快速提取亚像素边缘的方法,减少提取准确边缘的时间,其提取速度快于高斯曲线拟合法的提取速度。

[0110] 根据贴片元件的分类及几何特征的分析可知,大多数无引脚元件的形状为矩形或者圆柱形,其通过摄像机投影成为二维图像后均呈现矩形的形状。因此,利用最小二乘法将元件图像边缘拟合成矩形即可方便快捷的获得元件的中心位置和偏转角度,而且球形引脚元件和伸出引脚元件的本体部分也多为矩形或近似矩形,该方法对于研究这两类识别算法也有一定的指导意义。然而,矩形并不像直线和圆那样可以用一个方程表示,它没有特定的矩形方程用于进行拟合。考虑到矩形是由四条边组成,在直线海森范式的最小二乘拟合算法的基础上,可以用四条直线分别对元件的四条边进行拟合,建立四条边所在直线的方程组,再计算四条直线的交点,获得矩形的四个顶点坐标,从而确定元件的中心位置和偏转角

度。

[0111] 基于直线海森范式的最小二乘拟合对于给定点集中小的离群值而言是鲁棒的,但对于较大的离群值而言则会影响直线拟合的质量。这里所谓的离群值就是指与正确拟合出来的直线偏差很大的点,如果拟合算法对于离群值的影响可以降到最低,甚至消除离群值的影响时,该拟合算法的鲁棒性就好。由于无引脚元件并非全部都是标准的矩形,其边缘轮廓并非由四条直线段组成,而且加上元件边缘污染、破损和图像背景的影响等原因,无引脚元件的边缘点会出现很多影响拟合精度的离群值。由于拟合直线必须满足所有边缘点到该直线的距离的平方和最小,这样离群值在直线拟合中占据的比例很大,从而引起拟合直线的不准确,偏离正确的元件边缘。为了减少这些离群值的影响,可以引入权重函数,为每个点引入不同的权重  $\omega_i$ ,对于远离直线的点给予远小于1的权重。这样,误差最小化的过程将变为:

$$[0112] \quad \varepsilon^2(a, b, c, \lambda) = \sum_{i=1}^n \omega_i (ax_i + by_i + c)^2 - \lambda(a^2 + b^2 - 1)n$$

[0113] 因为我们的目的是使远离直线的点获得较小的权重,所以权重函数的设计必须是基于点到直线的距离  $\delta_i = |ax_i + by_i + c|$  的。但是在没有拟合出直线时并不能计算这些距离,解决问题的方法是使用多次迭代的方式来拟合直线。第一次迭代使用的权重  $\omega_i = 1$ ,即执行一个标准的直线拟合来获得一条近似直线,并计算点到该直线的距离  $\delta_i$ 。定义一个权重函数  $\omega(\delta)$ ,可通过已计算出的距离来决定权重大小,这些权重将用于后续的迭代处理中。为了使距离较远的离群值的权重足够小,可以选用Tukey权重函数,其定义为:

$$[0114] \quad \omega(\delta_i) = \begin{cases} [1 - (\frac{\delta_i}{\tau})^2]^2 & (|\delta_i| \leq \tau) \\ 0 & (|\delta_i| > \tau) \end{cases}$$

[0115] 式中,参数  $\tau$  称为削波因子,表示用户所设定的距离,  $\delta_i$  为某点到直线的距离。由上公式可见,当点到直线的距离大于所设定的距离时,这些点被完全忽略(权重为零);当点到直线的距离小于等于所设定的距离时,这些点的权重在0~1之间滑动变化,越接近理想拟合直线的点,所获得的权重越大。由此可将离群值的影响降到最低。然而,离群值的是根据削波因子划定,因此削波因子的设置应该具有通用性。从数据本身来推出削波因子会更加方便,可以通过基于点到直线距离的标准差来实现。因为我们想得到的是离群值,所以不能使用正规标准差,而需要使用一种对离群值而言鲁棒的标准差。一般情况下,下式可以用来计算这个鲁棒的标准偏差:

$$[0116] \quad \sigma_\delta = \frac{\text{median}|\delta_i|}{0.6745}$$

[0117] 式中,median函数表示求取数据的中间值。削波因子  $\tau$  设置为  $\sigma_\delta$  的一个小倍数,通常取  $\tau = 2\sigma_\delta$ 。

[0118] 更进一步的说明,步骤四对元件亚像素边缘进行拟合,通过计算每个轮廓点到矩形四条边的距离  $\delta$ ,距离最小的则判定该点属于该条边,计算出的距离用于定义后续的权重函数,并得到四组轮廓点集  $N_1, N_2, N_3, N_4$ ,每组点集所对应的边缘像素点数目分别为  $n_1, n_2, n_3, n_4$ ,设轮廓四个顶点分别为  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 。  $P_1P_2$  边对应点集  $N_1: \{(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{1n_1}, y_{1n_1})\}$ ,

$P_2P_3$ 边对应点集  $N_2: \{(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{2n_2}, y_{2n_2})\}$ ,  $P_3P_4$ 边对应点集  $N_3: \{(x_{31}, y_{31}), (x_{32}, y_{32}), \dots, (x_{3n_3}, y_{3n_3})\}$ ,  $P_4P_1$ 边对应点集  $N_4: \{(x_{41}, y_{41}), (x_{42}, y_{42}), \dots, (x_{4n_4}, y_{4n_4})\}$ , 鉴于矩形的对边相互平行, 邻边相互垂直, 建立如下的方程组:

$$[0119] \quad \begin{cases} P_1P_2: & ax+by+c_1=0 \\ P_2P_3: & -bx+ay+c_2=0 \\ P_3P_4: & ax+by+c_3=0 \\ P_4P_1: & -bx+ay+c_4=0 \end{cases}, \quad a^2+b^2=1,$$

[0120] 根据基于直线海森范式的最小二乘拟合算法, 设置目标函数为:

$$[0121] \quad \begin{aligned} E(F, \lambda) = & \sum_{i=1}^{n_1} \omega(\delta_{1i})(ax_{1i}+by_{1i}+c_1)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \omega(\delta_{2i})(-bx_{2i}+ay_{2i}+c_2)^2 \\ & + \sum_{i=1}^{n_3} \omega(\delta_{3i})(ax_{3i}+by_{3i}+c_3)^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \omega(\delta_{4i})(-bx_{4i}+ay_{4i}+c_4)^2 \\ & - \lambda(a^2+b^2-1)(n_1+n_2+n_3+n_4) \end{aligned},$$

[0122] 式中,  $F=[a, b, c_1, c_2, c_3, c_4]$ , 要使目标函数最小化, 根据多元函数极值原理, 有  $\frac{\partial E}{\partial F} = \frac{\partial E}{\partial \lambda} = 0$ , 获得参数矩阵  $F$  后, 代入上述方程组中得到矩形四条边所在直线的方程组, 再求直线的交点坐标  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$ ,  $C(x_C, y_C)$ ,  $D(x_D, y_D)$ , 最后, 通过下述式子得出元件的中心与吸嘴中心的偏移量:

$$[0123] \quad \Delta x = \frac{x_A + x_B + x_C + x_D}{4} - x_0$$

$$[0124] \quad \Delta y = \frac{y_A + y_B + y_C + y_D}{4} - y_0,$$

[0125] 式中,  $(x_0, y_0)$  为贴片头上吸嘴的中心位置坐标。

[0126] 更进一步的说明, 判断元件是否发生偏转的方法为: 设矩形的长边  $BC: -bx+ay+c_2=0$  与水平轴  $x$  之间的夹角为  $90^\circ$  时表示元件没有发生偏转, 则元件的偏转角为:

$$[0127] \quad \Delta \theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b}{a}\right) - 90^\circ & \left(\frac{b}{a} \geq 0, a \neq 0\right) \\ \arctan\left(\frac{b}{a}\right) + 90^\circ & \left(\frac{b}{a} < 0, a \neq 0\right) \end{cases},$$

[0128] 当  $\Delta \theta \geq 0$  时, 电机控制吸嘴向顺时针方向补偿; 当  $\Delta \theta < 0$  时, 电机控制吸嘴向逆时针方向补偿, 实现纠正元件贴装的偏差。

[0129] 更进一步的说明, 步骤三所述的利用Canny算子获取元件像素级边缘, 即通过高斯滤波进行图像平滑处理来获得图像的像素级边缘, 其中, 二维高斯滤波器为:

$$\begin{aligned} G(\sigma, r, c) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+c^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-c^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= G(\sigma, r)G(\sigma, c) \end{aligned},$$



[0130] 式中, $\sigma$ 为高斯函数分布系数, $r,c$ 分别为行列坐标,滤波平滑效果由 $\sigma$ 大小控制;

[0131] 对高斯滤波器求导,即有  $\nabla G * f = \nabla(G * f) = \nabla h = \begin{bmatrix} h'_r \\ h'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h}{\partial r} \\ \frac{\partial h}{\partial c} \end{bmatrix}$ , 其中,用滤波后在

待测像素点梯度幅值表示边缘强度,即  $|\nabla h| = \sqrt{(h'_r)^2 + (h'_c)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right)^2}$ , 边缘的方

向,即梯度方向,用  $\vec{n} = \frac{\nabla h}{|\nabla h|} = \left(\frac{\partial h}{\partial r}\right) \vec{r} + \left(\frac{\partial h}{\partial c}\right) \vec{c}$  表示;

[0132] 判断待测点 $e_i$ 是否为边缘,即在梯度方向上判断该点的边缘幅度是否为其领域的最大值,即是否满足  $(e_i > e_{i-1}) \wedge (e_i > e_{i+1}) \wedge (e_i \geq t)$ ,其中 $t$ 为边缘选择的阈值,采用滞后阈值分割法对边缘进行判断,将边缘点连接起来,获得图像的像素级边缘;

[0133] 其中,所述滞后阈值分割法采用双阈值,即低阈值 $T1$ 和高阈值 $T2$ ,边缘幅度比 $T2$ 高的即作为合格的边缘,比 $T1$ 低的即作为不合格的边缘,介于低低阈值 $T1$ 和高阈值 $T2$ 的边缘点若能按某一路径与合格的边缘点相连时,才能作为边缘点被接受。

[0134] 由公式可知,二维高斯滤波器是可分的,因此能被高效地计算出来。设滤波前后图像函数分别为 $f(r,c)$ 和 $h(r,c)$ ,则滤波过程可以用卷积表示:

[0135]  $h(r,c) = G(\sigma,r,c) * f(r,c)$

[0136] 经过高斯滤波后,图像的边缘得到了平滑,同时高斯滤波器的可分特性为后面的边缘提取做了有效准备。

[0137] 判断待测点 $e_i$ 是否为边缘,可在梯度方向上判断该点的边缘幅度是否为其领域的最大值,即是否满足  $(e_i > e_{i-1}) \wedge (e_i > e_{i+1}) \wedge (e_i \geq t)$ ,其中 $t$ 为边缘选择的阈值,这过程称为非最大抑制。然而,若选择高阈值,边缘会被分割成若干段;若选择低阈值,又会出现很多不相关的伪边缘。对此,应该采用一种特殊的边缘分割方法:滞后阈值分割。滞后阈值采用双阈值,即低阈值 $T1$ 和高阈值 $T2$ 。边缘幅度比 $T2$ 高的立即作为合格的边缘,比 $T1$ 低的立即作为不合格的边缘。介于低阈值和高阈值的边缘点若能按某一路径与合格的边缘点相连时,才能作为边缘点被接受。通过滞后阈值分割,边缘点被连接起来,最终获得图像的像素级边缘如图9所示。

[0138] 更进一步的说明,步骤一中区域特征的提取包括:区域面积、区域周长、矩形度和圆形度。

[0139] 由于噪声和背景的影响,在对图像进行分割后,还很能存在一些非贴片元件的对象,这些对象会对后续元件的检测造成很大影响,因此还需要对二值化后的图像进行目标区域特征的提取,剔除不符合要求的对象。常用的区域特征主要有:

[0140] (1) 区域面积与区域周长:区域面积定义为目标区域内所有像素点个数,区域周长定义为区域边界的长度。将区域边界的每个像素看成一个点,将连接这些点组成的曲线长度作为边界的周长。

[0141] (2) 矩形度:矩形度是描述目标区域形状与矩形相似的程度。其定义为目标区域面积与其最小外接矩形的比值,即:

$$[0142] \quad R = \frac{A_S}{A_R} \quad (3.18)$$

[0143] 式中,  $A_S$ 表示目标区域的面积,  $A_R$ 表示目标区域最小外接矩形的面积。

[0144] (3) 圆形度: 与矩形度类似, 圆形度是描述目标区域形状与圆形相似的程度。根据圆面积和周长的计算公式, 定义其圆形度计算公式为:

$$[0145] \quad C = \frac{4\pi A_S}{L_S^2} \quad (3.19)$$

[0146] 式中,  $A_S$ 表示目标区域的面积,  $L_S$ 表示目标区域的周长。

[0147] 考虑到多个吸嘴上的贴片元件形状均为矩形, 形状大小相同, 所以选择区域面积和矩形度作为区域特征对二值图像进行筛选, 筛选后结果如图2所示。

[0148] 贴片元件检测算法的实验验证和分析

[0149] 为了验证所提元件检测算法的可行性和有效性, 利用计算机生成一张  $1600 \times 200$  的共有十个贴片元件的标准图像, 并对图像进行均值滤波, 使其与摄像机采集的图像情况尽可能相符。为模拟真实元件图像边缘不平整等情况, 进一步对标准图像中元件的边缘进行不同程度污损处理, 如图10所示。十个元件的中心行列坐标和偏转角度分别为  $(105, 100, 4^\circ)$ 、 $(94, 250, -1^\circ)$ 、 $(100, 400, 2^\circ)$ 、 $(99, 550, 3^\circ)$ 、 $(103, 700, -5^\circ)$ 、 $(104, 850, 3^\circ)$ 、 $(94, 1000, -1^\circ)$ 、 $(100, 1150, 2^\circ)$ 、 $(99, 1300, 4^\circ)$ 、 $(102, 1450, -5^\circ)$ 。所提算法机器视觉软件 HALCON 实现, 矩形拟合的效果如图11所示。将拟合计算的结果与标准的元件中心坐标和偏转角度比较, 从下表1可以看出, 拟合算法计算出的中心位置与标准位置的误差均在 0.5 像素以内, 偏转角度与标准偏转角度的误差均在  $1^\circ$  以内。重复检测实验十遍, 计算得到平均检测时间为 55ms。该检测算法能够精确识别多个元件, 满足多吸嘴贴片机视觉系统的速度和精度要求。

[0150] 表1矩形拟合算法的误差分析(单位: pixel)

[0151]

元件	1	2	3	4	5
标准位置	(105, 100)	(94, 250)	(100, 400)	(99, 550)	(103, 700)
计算位	(105.13, 100)	(93.55, 249)	(100.04, 399)	(98.92, 549)	(102.75, 699)

[0152]

置	.07)	86)	.95)	65)	.75)
位置误差	0.1476	0.4712	0.0640	0.3590	0.3535
标准转角	4°	-1°	2°	3°	-5°
计算转角	3.93°	-0.40°	1.82°	3.10°	-4.86°
角度误差	-0.07°	0.6°	-0.18°	0.10°	0.14°
元件	6	7	8	9	10
标准位置	(104, 850)	(94, 1000)	(100, 1150)	(99, 1300)	(102, 1450)
计算位置	(103.96,850 .09)	(93.55,249. 86)	(100.04,1150.2 4)	(98.99,1299.6 7)	(102.10,1450.1 1)
位置误差	0.0985	0.1360	0.2500	0.3301	0.1487
标准转角	3°	-1°	2°	4°	-5°
计算转角	3.34°	-0.43°	2.1°	4.44°	-4.64°
角度误差	0.34°	0.57°	0.10°	0.44°	0.36°

[0153] 综上,针对贴片元件种类繁多的特点,将元件分成无引脚、球形引脚、伸出引脚三

类,以提高检测算法的通用性和灵活性。针对无引脚元件,提出了加权最小二乘矩形拟合算法用于检测元件的中心位置和偏转角度。首先,对元件图像进行了阈值分割和区域特征提取,剔除背景,获得目标的二值图像;为了进一步剔除无用背景,本发明提出了二值形态学和图像约化相结合的元件边缘区域自动提取方法,尽可能减少了后续图像处理的范围;然后,为了克服亚像素边缘提取基于二维图像、提取算法复杂的缺点,根据最佳边缘检测准则,结合非最大抑制和滞后阈值分割对约化后的贴片元件边缘区域进行像素级边缘提取,进而利用较快速的一维曲线拟合法提取出亚像素精度边缘;最后根据无引脚元件的几何特征,提出了基于直线海森范式和Tukey权重函数的最小二乘矩形拟合算法对元件亚像素边缘点进行拟合,以降低因边缘不平整而产生的离群值对拟合精度的影响,大大提高了多个元件检测的精度和速度。仿真实验结果表明元件中心位置定位误差小于0.5像素,偏转角度小于 $1^{\circ}$ ,检测时间55ms,该算法是可行性和有效性的,在满足精度要求的同时大大提高了多个元件检测的速度。

[0154] 更进一步的说明,用于检测无引脚类元件。本发明主要针对的是无引脚类元件,此类元件二维成像多为矩形或类矩形。而通过外形分析可知,球形引脚元件和伸出引脚元件的自体部分也多为矩形或类矩形,因此所发明的无引脚元件检测算法对其他类型元件的检测也具有一定的启发作用和指导意义。

[0155] 对于无引脚元件,其连接部分在元件主体两端,因此该类元件的中心位置和偏转角度只需通过分析主体部分即可。以往对无引脚元件的研究,多以最具代表性的片状元件为对象。对片状元件的检测方法主要由模板匹配法、最小外接矩形法、最小二乘直线拟合法等。模板匹配法原理简单,但是对于不同型号的贴片元件需要建立不同的标准元件模板,而贴片元件型号繁多,建模需要花费大量时间和存储空间,算法的通用性和灵活性较差。现有技术通过求取片状元件的最小外接矩形来获得元件中心位置和偏转角度,算法简单,易于实现,但由于最小外界矩形需要包含整个片状元件,对于元件边缘有异物、污染等情况,计算出的矩形并非片状元件最理想的最小外接矩形,从而影响的检测精度;或通过获得元件长边的边缘点,再对长边边缘进行最小二乘直线拟合,获得元件的偏转角度,这种方法简单高效,但对于边缘缺损、污染等情况,拟合精度较差。针对上述问题,本发明提出的一种基于直线海森范式的加权最小二乘矩形边缘拟合算法,该算法在对片状元件进行快速亚像素边缘提取后,利用片状元件对边相互平行、邻边相互垂直的约束条件并引入直线海森范式及权重函数Tukey对边缘进行加权的加权最小二乘矩形拟合,得到能代表贴片元件最理想的矩形,从而获得精确的元件中心和偏转角度。

[0156] 以上结合具体实施例描述了本发明的技术原理。这些描述只是为了解释本发明的原理,而不能以任何方式解释为对本发明保护范围的限制。基于此处的解释,本领域的技术人员不需要付出创造性的劳动即可联想到本发明的其它具体实施方式,这些方式都将落入本发明的保护范围之内。

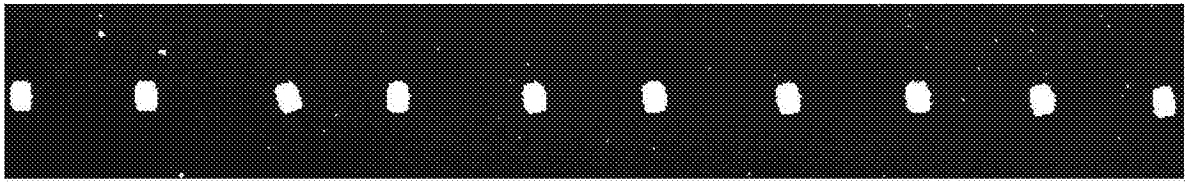


图1

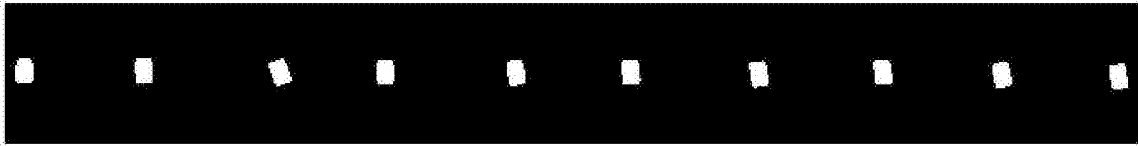


图2

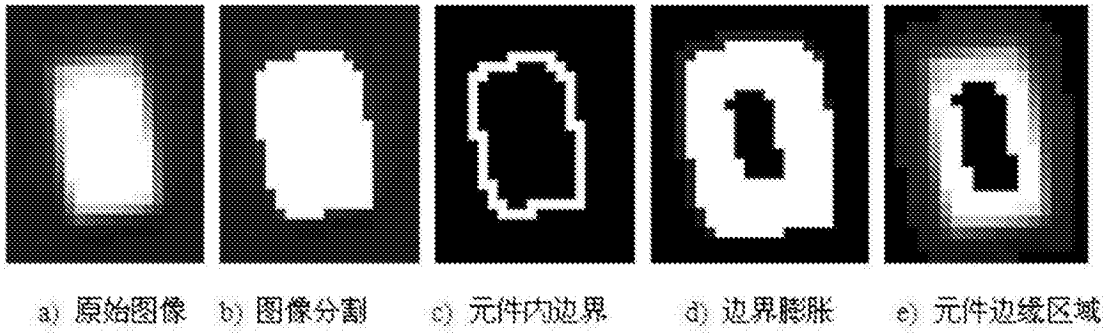


图3

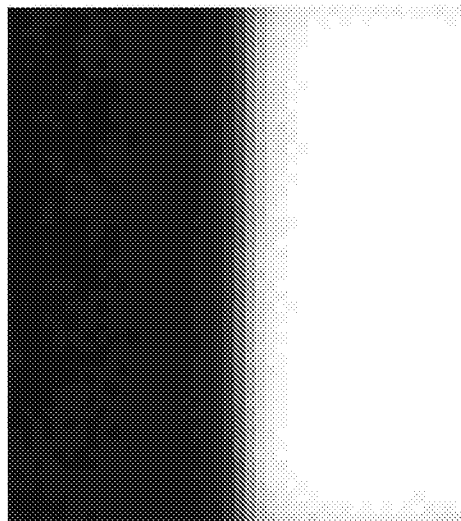


图4

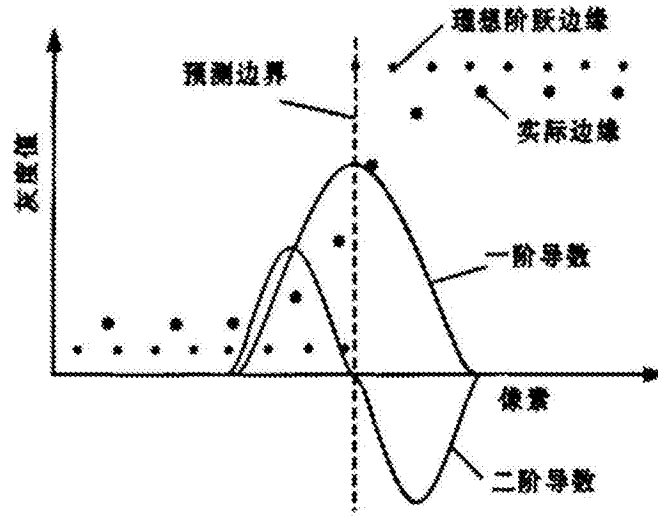


图5

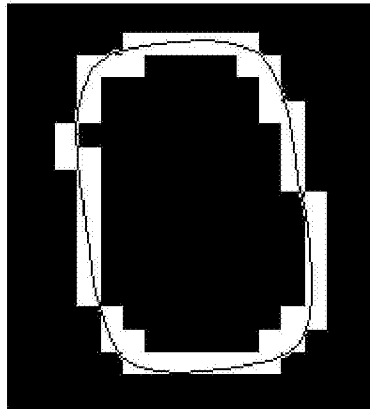


图6

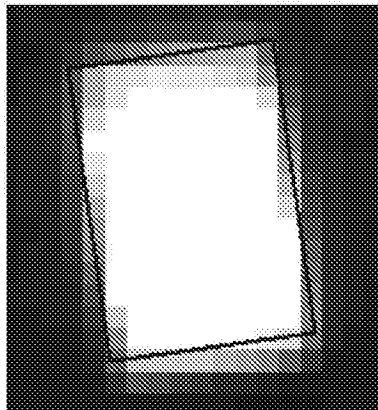


图7

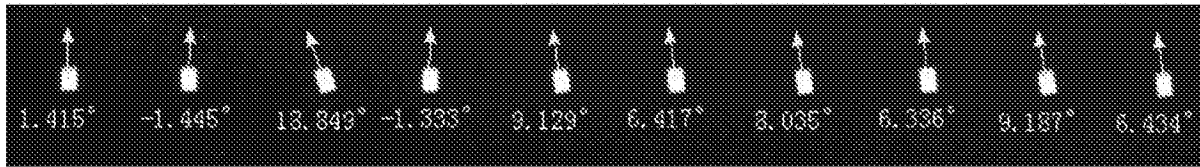


图8

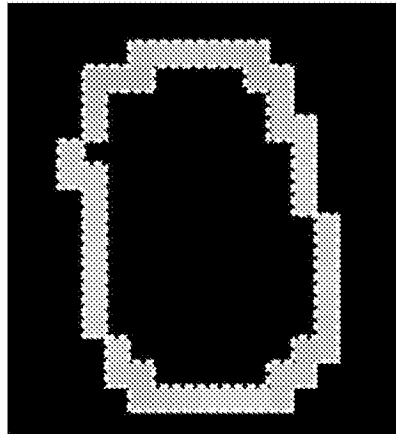


图9

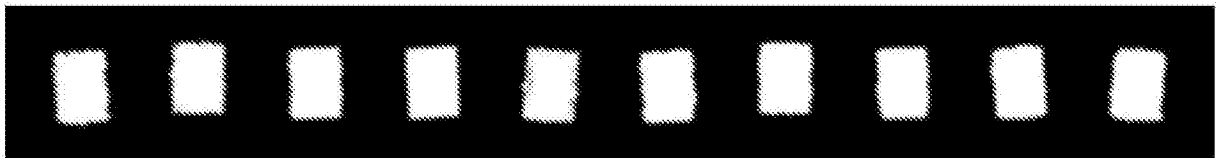


图10

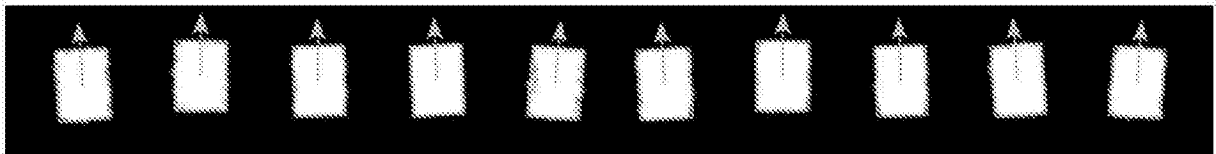


图11

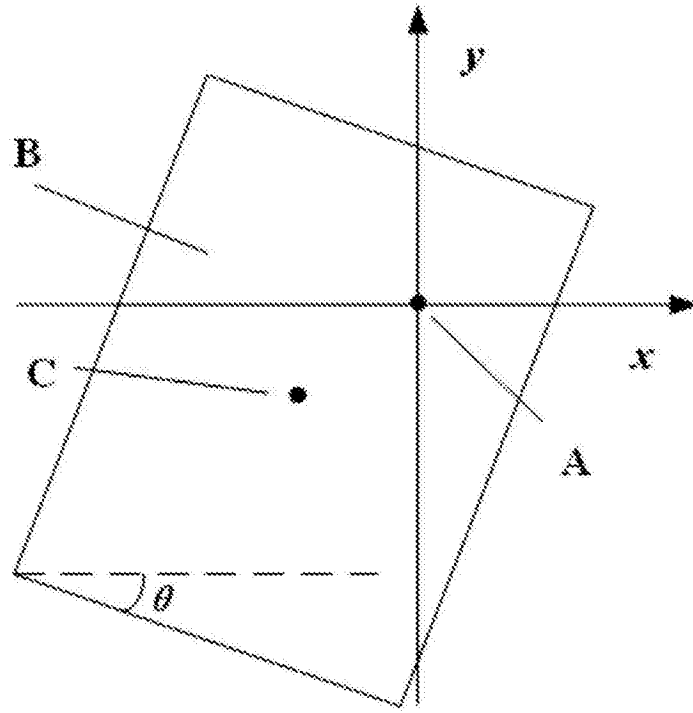


图12