

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 11 月 22 日 (22.11.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/209941 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 7/00 (2017.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/116134

(22) 国际申请日: 2017 年 12 月 14 日 (14.12.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710346445.9 2017 年 5 月 17 日 (17.05.2017) CN

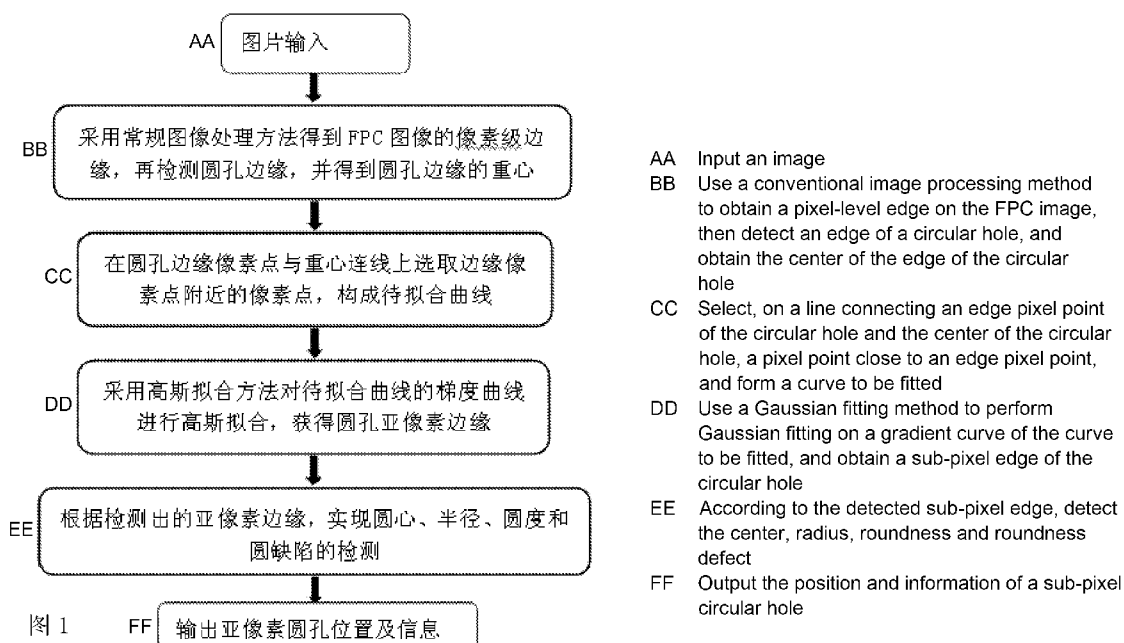
(71) 申请人: 华南理工大学 (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(72) 发明人: 罗家祥 (LUO, Jiaxiang); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 陈绪超 (CHEN, Xuchao); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 胡跃明 (HU, Yueming); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 林畅赫 (LIN, Changhe); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路 25 号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(74) 代理人: 广州市华学知识产权代理有限公司 (GUANGZHOU HUAXUE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省

(54) Title: HIGH-DENSITY CIRCUIT BOARD CIRCULAR HOLE SUB-PIXEL DETECTION METHOD BASED ON GAUSSIAN FITTING

(54) 发明名称: 一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法



(57) Abstract: A high-density circuit board circular hole sub-pixel detection method based on Gaussian fitting, comprising: S1, processing an FPC image to obtain a pixel-level edge, then detecting an edge of a circular hole to obtain the center of the edge of the circular hole; S2, selecting, on a line connecting an edge pixel point of the circular hole and the center of the circular hole, an edge pixel point and a pixel point close thereto, and forming a curve to be fitted; S3, using a Gaussian fitting method to perform Gaussian fitting on a gradient curve of the curve to be fitted, to obtain a sub-pixel edge of the circular hole; and S4, according to the sub-pixel edge of the circular hole, detecting the center, radius, roundness and roundness defect. The invention obtains, on a line connecting an

广州市天河区五山路 381 号物资大楼首层, Guangdong 510640 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格 (细则 4.17 (iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条 (3))。

edge pixel point of a circular hole and the center of the circular hole, a curve to be fitted, and is simple and robust. The Gaussian fitting method using a gradient curve is better adapted to actual situations than a step model, and detection can be performed on a circular hole of a high-density FPC.

(57) 摘要: 一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法, 包括: S1、对 FPC 图像进行处理得到像素级边缘, 再检测出圆孔边缘, 得到圆孔边缘的重心; S2、在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取边缘像素点及其附近的像素点, 构成待拟合曲线; S3、采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合, 得到圆孔亚像素边缘; S4、根据圆孔亚像素边缘, 实现圆心、半径、圆度和圆缺陷的检测。通过在圆孔边缘像素点与重心连线上获得待拟合曲线的操作简单, 鲁棒性好; 采用梯度曲线的高斯拟合方法比采用阶跃模型更加符合实际情况, 能够实现高密度 FPC 圆孔的检测。

一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法

技术领域

本发明涉及图像处理技术领域，具体涉及一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法。

背景技术

FPC 由于其体积小、重量轻及具备可挠性等优点被广泛用于航天、军事、移动终端、数码相机等多个领域。目前 FPC 线路板的尺寸越来越小，对工艺的要求也越来越高。与此同时，需要更高精度的方法来检测 FPC 的各项特征以确保 FPC 的性能。其中，圆孔（包括标识孔、组装孔、定位孔、导通孔和对位孔）是 FPC 上的一项重要特征，圆孔的位置、大小及圆度等特征都会影响 FPC 的功能及性能。用光学影像的方法来检测圆孔是常用的方法。而对高密度的 FPC，用一般像素级的检测方法往往达不到我们的检测精度。针对这种情况，可以采用亚像素的方法来达到测量精度的要求。近年来，亚像素检测技术已得到了很大的发展，这些方法大致可以分为三类：基于插值的方法，基于矩的方法和基于拟合的方法。基于插值的方法计算时间短，但是精度低，抗噪性差；基于矩的方法抗噪性能强，但由于涉及到模板的计算，所以计算量很大。

发明内容

为了克服现有技术存在的缺点与不足，本发明提供一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法。

本发明采用如下技术方案：

一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，包括如下步骤：

S1 FPC 图像进行处理得到像素级边缘，再检测出圆孔边缘，得到圆孔边缘的重心；

S2 在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取边缘像素点及其附近的像素点，构成待拟合曲线；

S3 采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合，得到圆孔亚像素边缘；

S4 根据圆孔亚像素边缘，实现圆心、半径、圆度和圆缺陷的检测。

所述 S2 在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取边缘像素点及其附近的像素点，构成待拟合曲线，具体为：

设边缘像素点个数为 N , (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标, (x_c, y_c) 为重心坐标；

作一条以重心为端点，经过点 (x_i, y_i) (x_c, y_c) 的射线，然后在线上的 (x_i, y_i) 两边各取 4 个点，包括点 (x_i, y_i) 得到的 9 个点作为待拟合的曲线，所述 9 个点都在射线上。

所述 S3 采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合，得到圆孔亚像素边缘，具体为：

S3.1 待拟合曲线由 9 个点构成，用 f 表示 (x_i, y_i) 像素点的灰度值，则待拟合曲线可表示为 $f(x)$, $x=-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4$ ，依次表示 9 个点；

则 $f(x)$ 的梯度曲线：

$$g(x) = \frac{[f(x+1) - f(x-1)]}{2}$$

其中， $x=-3,-2,-1,0,1,2,3$ ；

S3.2 图像边缘沿某一梯度方向灰度的一阶导数近似为高斯分布，该高斯分布的均值即为边缘位置，故只要求得待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 的高斯均值即可得到亚像素边缘坐标；

高斯曲线的表达式为：

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}$$

其中， u 为均值， σ 为标准差，将高斯曲线两边取对数可得：

$$\ln y = -\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

可以看出，上式是一条二次曲线 $y = ax^2 + bx + c$ ，故可将待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 取对数来拟合抛物线，求出的抛物线顶点坐标即为亚像素的边缘坐标，

S3.3 拟合抛物线时用最小二乘法来求得曲线参数 a, b, c ，进而得到抛物线的顶点，即高斯曲线的均值，也即亚像素坐标：

$$u = -\frac{b}{2a}。$$

所述 S4 中根据 圆孔亚像素边缘得到圆心及半径，具体为：

采用最小二乘法得到圆孔的圆心及半径

设圆的亚像素边缘包含 N 个像素点，其中 $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ 为点 (x_i, y_i) 经过高斯拟合

后的坐标，则圆曲线表达式为：

公式：

$$R^2 = (\hat{x} - A)^2 + (\hat{y} - B)^2 = \hat{x}^2 - 2A\hat{x} + A^2 + \hat{y}^2 - 2B\hat{y} + B^2$$

其中，圆心坐标为 (A, B) ，令 $a = -2A, b = -2B, c = A^2 + B^2 - R^2$ 即可得到圆曲线的另一个形式：

公式：

$$\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + a\hat{x} + b\hat{y} + c = 0$$

根据得到的亚像素边缘点和最小二乘法可求得参数 a, b 和 c ，从而得到圆心的坐标和半径分别为：

$$(A, B) = \left(\frac{a}{-2}, \frac{b}{-2} \right), R = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c}。$$

根据圆心的坐标、半径及圆孔亚像素边缘得到待检测圆的圆度：

公式：

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \left| \sqrt{(\hat{x}_i - A)^2 + (\hat{y}_i - B)^2} - R \right|}{R \times N}。$$

所述圆缺陷的检测具体包括孔偏位、孔径大小不符、外形残缺、多孔及少孔。

所述 S1 FPC 图像进行处理得到像素级边缘，再检测出圆孔边缘，得到圆孔边缘的重心，具体为：

S1.1 采集图像进行灰度化处理进行高斯去噪，然后采用 Canny 算子进行边缘检测，得到该图像的像素级边缘；

S1.2 根据边缘连通域的几何特性剔除干扰边缘，再检测圆孔边缘：

S1.2.1 利用边缘连通域的面积大小来剔除一些噪声边缘和可能存在的图像边框，设 $s < \varepsilon_1$ 或 $s > \varepsilon_2$ ，其中 s 为连通域面积， ε_1 和 ε_2 分别为连通域面积阈值下界和上界；

S1.2.2 利用边缘连通域的面积与周长关系来剔除一些类似条状的边缘， $l/s > \varepsilon_3$ ，其中 l 为连通域周长， ε_3 为连通域周长与面积比的阈值下界；

S1.2.3 采用 Hough 变换的方法检测属于圆形的边缘，通过如下公式计算圆边缘的重心：

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

其中, N 为边缘像素点的个数, (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标, (x_c, y_c) 为重心坐标。

本发明的有益效果:

本发明在圆孔边缘像素点与重心连线上获得待拟合曲线的操作简单, 鲁棒性好; 采用梯度曲线的高斯拟合方法(即边缘模型为 sigmoid 模型)比采用阶跃模型更加符合实际情况, 能够实现高密度 FPC 圆孔的检测。

附图说明

图 1 是本发明的工作流程图;

图 2 是本发明实施例待拟合曲线获取结果示意图;

图 3 是本发明实施例待拟合曲线的一阶导图;

图 4 是本发明实施例中亚像素圆孔检测效果示意图。

具体实施方式

下面结合实施例及附图, 对本发明作进一步地详细说明, 但本发明的实施方式不限于此。

实施例

如图 1 所示, 一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法, 包括如下步骤:

S1 采用常规图像处理方法得到 FPC 图像的像素级边缘, 再检测出圆孔边缘, 得到圆孔边缘的重心, 具体为:

S1.1 采用常规图像处理方法得到 FPC 图像的像素级边缘;

待处理的图像若还有噪声, 将影响边缘检测的结果, 所以在采集到图像后, 先要灰度化图像并进行高斯去噪。高斯滤波是一种常用的平滑滤波, 适用于消除高斯噪声, 广泛应用于图像处理的减噪过程。高斯滤波的具体操作是, 用一个模板扫描图像中的每一个像素, 用模板确定的领域内像素的加权平均灰度值去代替模板中心像素点的值。对高斯滤波后的图像采用 Canny 算子进行边缘检测, 得到图像的像素级边缘。

S1.2 根据边缘连通域的几何特性剔除干扰边缘, 再检测圆孔边缘:

用 canny 算子得到的边缘中由很多的非圆孔边缘, 若直接从这些边缘中检测圆孔的边缘将会使计算量过大, 因此有必要先通过边缘连通域的几何特性来剔除掉一部分非圆孔边缘; 然后可以在剩下的边缘中用 Hough 变换的方法来检测

出圆孔边缘。

a、利用边缘连通域的面积大小来剔除一些噪声边缘和可能存在的图像边框等， $s < \varepsilon_1$ 或 $s > \varepsilon_2$ ，其中 s 为连通域面积， ε_1 和 ε_2 分别为连通域面积阈值下界和上界。此步骤将那些面积太小和太大的边缘剔除掉；本实例中， $\varepsilon_1 = 10000$ ， $\varepsilon_2 = 70000$ 。

b、利用边缘连通域的面积与周长关系来剔除一些类似条状的边缘， $l/s > \varepsilon_3$ ，其中 l 为连通域周长， ε_3 为连通域周长与面积比的阈值下界。此步骤将明显不是圆形的类似条状的边缘剔除掉；本实例中 $\varepsilon_3 = 0.02$ 。

c、采用 Hough 变换的方法检测属于圆形的边缘，通过如下公式计算圆边缘的重心：

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

其中， n 为边缘像素点的个数， (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标， (x_c, y_c) 为重心坐标。

S2 在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取一个边缘像素点及其附近的像素点，构成待拟合曲线；

具体为：

设边缘像素点个数为 N ， (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标， (x_c, y_c) 为重心坐标；

作一条以重心为端点，经过点 (x_i, y_i) 的射线，然后在线上的 (x_i, y_i) 两边各取 4 个点，包括点 (x_i, y_i) 得到的 9 个点作为待拟合的曲线，所述 9 个点都在射线上。

S3 采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合，得到圆孔亚像素边缘，具体为：

S3.1 待拟合曲线由 9 个点构成，用 f 表示 (x_i, y_i) 像素点的灰度值，则待拟合曲线可表示为 $f(x)$ ， $x = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4$ ，依次表示 9 个点；如图 2 所示，

则 $f(x)$ 的梯度曲线：

$$g(x) = \frac{[f(x+1) - f(x-1)]}{2}$$

其中， $x = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ ；如图 3 所示。

S3.2 图像边缘沿某一梯度方向灰度的一阶导数近似为高斯分布，该高斯分布的均值即为边缘位置，故只要求得待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 的高斯均值即可得到亚像素边缘坐标；

高斯曲线的表达式为：

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}$$

其中， u 为均值， σ 为标准差，将高斯曲线两边取对数可得：

$$\ln y = -\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

可以看出，上式是一条二次曲线 $y = ax^2 + bx + c$ ，故可将待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 取对数来拟合抛物线，求出的抛物线顶点坐标即为亚像素的边缘坐标，

S3.3 拟合抛物线时用最小二乘法来求得曲线参数 a, b, c ，进而得到抛物线的顶点，即高斯曲线的均值，也即亚像素坐标，可使计算简单化：

$$u = -\frac{b}{2a}。$$

注意，这里求得的坐标是相对边缘点坐标的偏移量，故最后圆孔的亚像素边缘坐标为边缘点坐标沿其与重心点连线方向加上偏移量 u 的值。

3.4、重复操作，得到所有边缘点的坐标位置即可完成圆孔的亚像素检测，如图 4 所示。

S4 根据圆孔亚像素边缘，实现圆心、半径、圆度和圆缺陷的检测。

采用最小二乘法得到圆孔的圆心及半径

设圆的亚像素边缘包含 N 个像素点，其中 $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ 为点 (x_i, y_i) 经过高斯拟合后的坐标，则圆曲线表达式为：

$$R^2 = (\hat{x} - A)^2 + (\hat{y} - B)^2 = \hat{x}^2 - 2A\hat{x} + A^2 + \hat{y}^2 - 2B\hat{y} + B^2$$

其中，圆心坐标为 (A, B) ，令 $a = -2A, b = -2B, c = A^2 + B^2 - R^2$ 即可得到圆曲线的另一个形式：

$$\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + a\hat{x} + b\hat{y} + c = 0$$

根据得到的亚像素边缘点和最小二乘法可求得参数 a, b 和 c ，从而得到圆心的坐标和半径分别为：

$$(A, B) = \left(\frac{a}{-2}, \frac{b}{-2} \right), R = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c}。$$

根据圆心的坐标、半径及圆孔亚像素边缘得到待检测圆的圆度：

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |\sqrt{(\hat{x}_i - A)^2 + (\hat{y}_i - B)^2} - R|}{R \times N}$$

本示例中，左边圆的圆心坐标为 (745.26, 1341.54)，半径为 145.60，右边圆的圆心坐标为 (1765.84, 1289.65)，半径为 144.92，左边圆的圆度为 0.95，右边圆

的圆度为 0.91。

通过得到的圆孔参数与标准文件进行比对，可检测出一些主要的圆孔缺陷：

孔偏位： $\max(|A - A_s|, |B - B_s|) > \varepsilon_4$ ，其中 (A_s, B_s) 是标准文件中圆心的位置，本实例中左边圆为 (750,1340)，右边圆为 (1300,1390)， ε_4 是位置偏差的阈值上界，本实例中， $\varepsilon_4 = 20$ 。因此本实例中的圆不存在孔偏位。

孔径大小不符： $|R - R_s| > \varepsilon_5$ ，其中 R_s 是标准文件中圆的半径，本实例中 $R_s = 145$ ， ε_5 是圆孔半径的阈值上界，本实例中， $\varepsilon_5 = 10$ 。因此本实例中的圆不存在孔径大小不符。

外形残缺： $\rho < \varepsilon_6$ ，其中 ε_6 是圆孔圆度的阈值下界，本实例中， $\varepsilon_6 = 0.75$ 。因此本实例中的圆不存在外形残缺。

多孔：检测出圆孔的个数比标准文件中圆孔的个数多，本实例不存在多孔。

少孔：检测出圆孔的个数比标准文件中圆孔的个数少，本实例不存在少孔。

上述实施例为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受所述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化，均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种基于高斯拟合的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，其特征在于，包括如下步骤：

S1 FPC 图像进行处理得到像素级边缘，再检测出圆孔边缘，得到圆孔边缘的重心；

S2 在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取边缘像素点及其附近的像素点，构成待拟合曲线；

S3 采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合，得到圆孔亚像素边缘；

S4 根据圆孔亚像素边缘，实现圆心、半径、圆度和圆缺陷的检测。

2、根据权利要求1所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，其特征在于，所述S2在圆孔边缘像素点与圆孔重心连线上选取边缘像素点及其附近的像素点，构成待拟合曲线，具体为：

设边缘像素点个数为 N , (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标, (x_c, y_c) 为重心坐标；

作一条以重心为端点，经过点 (x_i, y_i) (x_c, y_c) 的射线，然后在线上的 (x_i, y_i) 两边各取4个点，包括点 (x_i, y_i) 得到的9个点作为待拟合的曲线，所述9个点都在射线上。

3、根据权利要求1所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，其特征在于，所述S3采用高斯拟合方法对待拟合曲线的梯度曲线进行高斯拟合，得到圆孔亚像素边缘，具体为：

S3.1 待拟合曲线由9个点构成，用 f 表示 (x_i, y_i) 像素点的灰度值，则待拟合曲线可表示为 $f(x)$, $x=-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4$ ，依次表示9个点；

则 $f(x)$ 的梯度曲线：

$$g(x) = \frac{[f(x+1) - f(x-1)]}{2}$$

其中， $x=-3,-2,-1,0,1,2,3$ ；

S3.2 图像边缘沿某一梯度方向灰度的一阶导数近似为高斯分布，该高斯分布的均值即为边缘位置，故只要求得待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 的高斯均值即可得到亚像素边缘坐标；

高斯曲线的表达式为：

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}$$

其中, u 为均值, σ 为标准差, 将高斯曲线两边取对数可得:

$$\ln y = -\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2} + \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$$

可以看出, 上式是一条二次曲线 $y = ax^2 + bx + c$, 故可将待拟合曲线即梯度曲线 $g(x)$ 取对数来拟合抛物线, 求出的抛物线顶点坐标即为亚像素的边缘坐标,

S3.3 拟合抛物线时用最小二乘法来求得曲线参数 a, b, c , 进而得到抛物线的顶点, 即高斯曲线的均值, 也即亚像素坐标:

$$u = -\frac{b}{2a}。$$

4、根据权利要求 1 所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法, 其特征在于, 所述 S4 中根据 圆孔亚像素边缘得到圆心及半径, 具体为:

采用最小二乘法得到圆孔的圆心及半径

设圆的亚像素边缘包含 N 个像素点, 其中 $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ 为点 (x_i, y_i) 经过高斯拟合后的坐标, 则圆曲线表达式为:

公式:

$$R^2 = (\hat{x} - A)^2 + (\hat{y} - B)^2 = \hat{x}^2 - 2A\hat{x} + A^2 + \hat{y}^2 - 2B\hat{y} + B^2$$

其中, 圆心坐标为 (A, B) , 令 $a = -2A, b = -2B, c = A^2 + B^2 - R^2$ 即可得到圆曲线的另一个形式:

公式:

$$\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + a\hat{x} + b\hat{y} + c = 0$$

根据得到的亚像素边缘点和最小二乘法可求得参数 a, b 和 c , 从而得到圆心的坐标和半径分别为:

$$(A, B) = \left(\frac{a}{-2}, \frac{b}{-2} \right), R = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c}。$$

5、根据权利要求 4 所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法, 其特征在于, 根据圆心的坐标、半径及圆孔亚像素边缘得到待检测圆的圆度:

公式:

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \left| \sqrt{(\hat{x}_i - A)^2 + (\hat{y}_i - B)^2} - R \right|}{R \times N}。$$

6、根据权利要求5所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，其特征在于，所述圆缺陷的检测具体包括孔偏位、孔径大小不符、外形残缺、多孔及少孔。

7、根据权利要求1所述的高密度电路板圆孔亚像素检测方法，其特征在于，所述S1 FPC图像进行处理得到像素级边缘，再检测出圆孔边缘，得到圆孔边缘的重心，具体为：

S1.1 采集图像进行灰度化处理进行高斯去噪，然后采用Canny算子进行边缘检测，得到该图像的像素级边缘；

S1.2 根据边缘连通域的几何特性剔除干扰边缘，再检测圆孔边缘：

S1.2.1 利用边缘连通域的面积大小来剔除一些噪声边缘和可能存在的图像边框，设 $s < \varepsilon_1$ 或 $s > \varepsilon_2$ ，其中 s 为连通域面积， ε_1 和 ε_2 分别为连通域面积阈值下界和上界；

S1.2.2 利用边缘连通域的面积与周长关系来剔除一些类似条状的边缘， $l/s > \varepsilon_3$ ，其中 l 为连通域周长， ε_3 为连通域周长与面积比的阈值下界；

S1.2.3 采用Hough变换的方法检测属于圆形的边缘，通过如下公式计算圆边缘的重心：

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

其中， N 为边缘像素点的个数， (x_i, y_i) 为第 i 个像素点的坐标， (x_c, y_c) 为重心坐标。

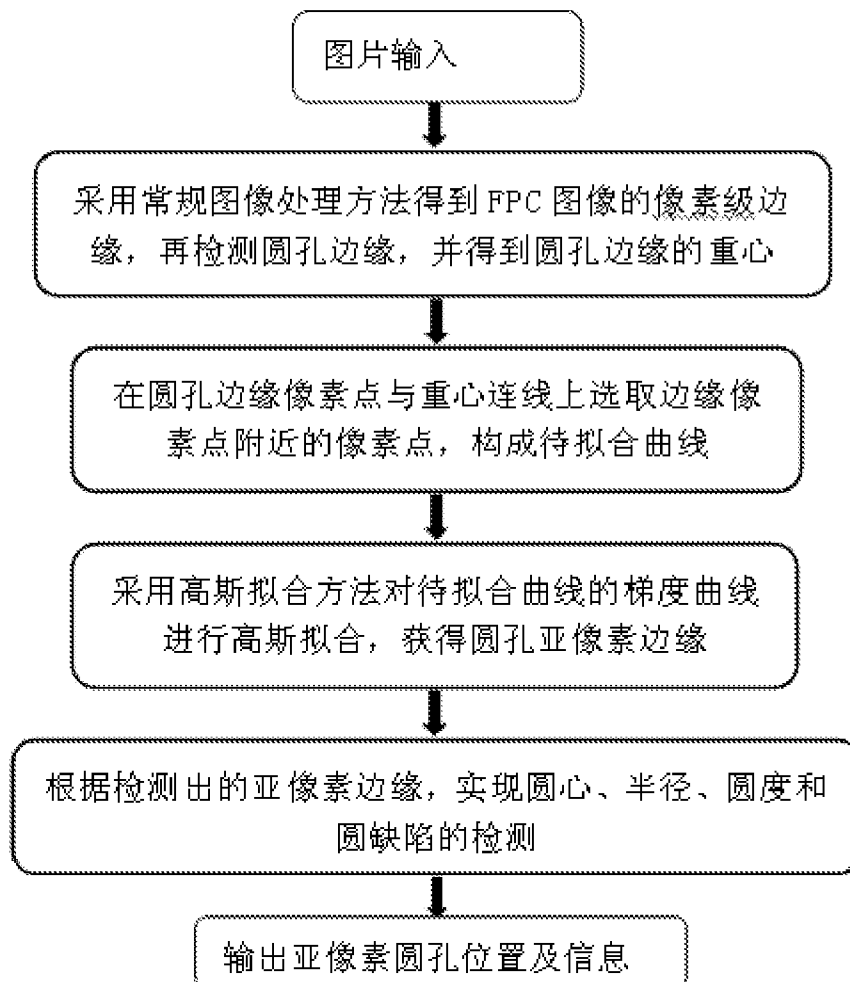


图 1

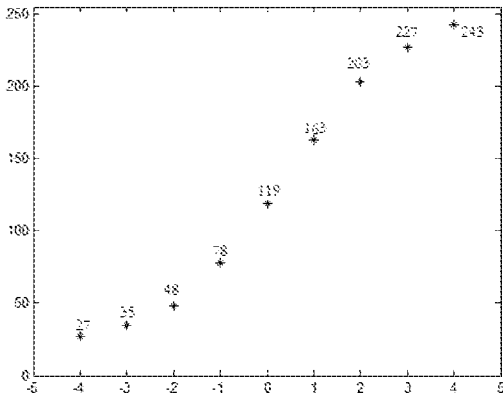


图 2

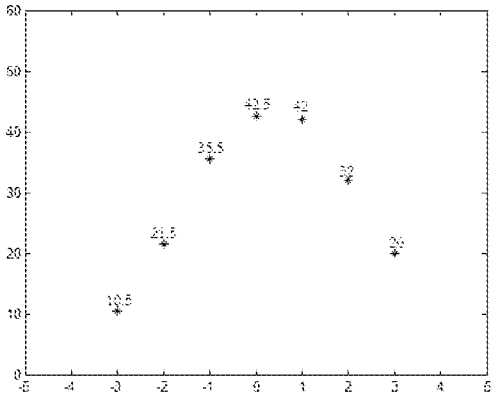


图 3

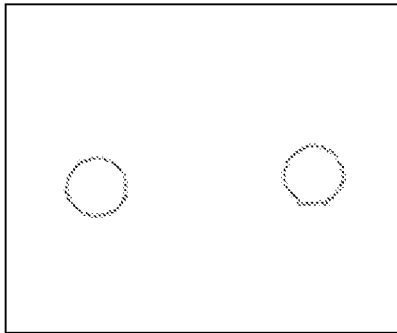


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2017/116134**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G06T 7/00 (2017.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, GOOGLE: 电路板, 圆孔, 缺陷, 检测, 亚像素, 高斯拟合, IC, PCB, hole, defect, sub pixel, Gauss, simulation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107301636 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 27 October 2017 (27.10.2017), claims 1-7	1-7
A	CN 101334263 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 31 December 2008 (31.12.2008), description, pages 2-9, and figure 1	1-7
A	CN 101839690 A (HOHAI UNIVERSITY, CHANGZHOU) 22 September 2010 (22.09.2010), entire document	1-7
A	CN 103886597 A (WUHAN LICHENG WEIYE TECHNOLOGY CO., LTD.) 25 June 2014 (25.06.2014), entire document	1-7
A	US 2004109599 A1 (SEONG IK CHO et al.) 10 June 2004 (10.06.2004), entire document	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 March 2018	Date of mailing of the international search report 16 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer DONG, Libo Telephone No. (86-10) 53961431

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/116134

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104050660 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY) 17 September 2014 (17.09.2014), entire document	1-7
A	CN 102034101 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 27 April 2011 (27.04.2011), entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/116134

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107301636 A	27 October 2017	None	
CN 101334263 A	31 December 2008	None	
CN 101839690 A	22 September 2010	None	
CN 103886597 A	25 June 2014	None	
US 2004109599 A1	10 June 2004	KR 20040050569 A	16 June 2004
CN 104050660 A	17 September 2014	None	
CN 102034101 A	27 April 2011	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/116134

A. 主题的分类

G06T 7/00(2017.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, GOOGLE: 电路板, 圆孔, 缺陷, 检测, 亚像素, 高斯拟合, IC, PCB, hole, defect, sub pixel, Gauss, simulation

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 107301636 A (华南理工大学) 2017年 10月 27日 (2017 - 10 - 27) 权利要求1-7	1-7
A	CN 101334263 A (东南大学) 2008年 12月 31日 (2008 - 12 - 31) 说明书第2-9页, 附图1	1-7
A	CN 101839690 A (河海大学常州校区) 2010年 9月 22日 (2010 - 09 - 22) 全文	1-7
A	CN 103886597 A (武汉力成伟业科技有限公司) 2014年 6月 25日 (2014 - 06 - 25) 全文	1-7
A	US 2004109599 A1 (CHO, SEONG IK等) 2004年 6月 10日 (2004 - 06 - 10) 全文	1-7
A	CN 104050660 A (华中科技大学) 2014年 9月 17日 (2014 - 09 - 17) 全文	1-7
A	CN 102034101 A (广东工业大学) 2011年 4月 27日 (2011 - 04 - 27) 全文	1-7

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 3月 10日

国际检索报告邮寄日期

2018年 3月 16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

董立波

电话号码 (86-10)53961431

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/116134

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107301636	A	2017年 10月 27日	无			
CN	101334263	A	2008年 12月 31日	无			
CN	101839690	A	2010年 9月 22日	无			
CN	103886597	A	2014年 6月 25日	无			
US	2004109599	A1	2004年 6月 10日	KR	20040050569	A	2004年 6月 16日
CN	104050660	A	2014年 9月 17日	无			
CN	102034101	A	2011年 4月 27日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)