

QFP 芯片贴装定位的视觉检测算法研究

姜利

(江苏省常州技师学院, 江苏 常州 213032)

摘要:针对采用数学形态学闭运算进行 QFP 芯片引脚修复的图像检测算法实时性差问题,设计一种基于极点四边形的 QFP 芯片位置误差视觉检测算法。利用 QFP 芯片图像的 4 个极值点确定极点四边形;依据极点四边形的转角初步确定芯片的转角;利用转角和 4 个极值点确定的 4 条直线提取芯片每侧引脚顶点集;采用推广的最小二乘法对芯片每侧引脚顶点集进行矩形拟合,由拟合后的直线斜率和直线交点计算出芯片转角和中心坐标。研究表明:该算法的运行时间约为数十毫秒,检测精度达到亚像素级,具有很好的实用性。

关键词:极点四边形;矩形拟合;视觉检测

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)05-0133-03

Research on Visual Detection Algorithm of QFP Chip Placement

JIANG Li

(Changzhou Technician College Jiangsu Province, Changzhou 213032, China)

Abstract: Aimed at the poor real-time performance of image detection algorithm for QFP chip pin repair using mathematical morphology closed operation, a visual detection algorithm for QFP chip position error based on pole quadrilateral is designed. The four extreme points of QFP chip image are used to determine the polar quadrilateral, and the chip rotation angle is preliminarily determined according to the rotation angle of the polar quadrilateral. The pin vertex set on each side of the chip is extracted by the four lines determined by the rotation angle and the four extreme points, and the rectangular fitting of the pin vertex set on each side of the chip is carried out by generalized least square method. The chip rotation angle and center coordinates are calculated through fitting line slope and line intersection. The results show that the running time of the algorithm is about tens of milliseconds with detection accuracy up to sub-pixel level, which has good practicability.

Keywords: extreme point quadrilateral; rectangle fitting; visual detection

0 引言

随着电子元件封装向小型化、微型化、片式化等方向发展,表面组装技术(SMT)便成为电子元器件组装(又称为贴装)到印刷电路板(PCB)上的关键技术^[1],但由于表面组装元件的类型目前尚无统一的国际标准,用于表面贴装的元件类型很多,所以不同封装类型的元件对应的定位和识别算法也不相同。QFP 是指四周上有矩形引脚的芯片,是表面贴装芯片中的典型元件类型。由于 QFP 元件引脚中存在一段弯折,致使在摄像机获得的芯片图像中引脚区域的灰度不一致,在轮廓提取后的芯片图像中,出现引脚断裂的情况,这给 QFP 芯片位置误差检测和引脚缺陷分析带来很大困难。利用定向膨胀修复引脚的方法检测 QFP 芯片^[2],常因耗时过长,效率低下而不满足实际应用。文中试图以 QFP 的几何特征为依据,提出一种基于极点四边形的 QFP 形位检测算法,以实现 QFP 元件的位置误差实时检测,为智能视觉贴片机的研制提供重要参考依据。

1 QFP 芯片的几何特征

鲜明的几何特征是表面贴装元件最基本的特点,只有抓住了这个关键点,视觉检测工作才能高效地进行。SMT 元器件定位的最终目的是把元件引脚同对应焊盘准确对应起来,因此没有比从考虑元件脚的位置入手得到元件位置而完成元件定位来得更直观和精确的方法。QFP 形元件具有矩形的元件脚分布于元件的四周,QFP 芯片具有两个典型的几何特征。

1) 引脚等尺寸

QFP 芯片的外形及主要参数,如图 1 所示,所有引脚的尺寸都是相同的,相邻引脚的间距也是相同的。

2) 极点四边形构成平行四边形

QFP 芯片顶端引脚指的是图 2 中标出的引脚 A-引脚 D。由于 QFP 芯片的引脚是沿其芯片体中心线对称分布的,所以芯片每条边上的引脚极点可以形成平行四边形 ABCD,这里称之为 QFP 芯片的极点四边形。

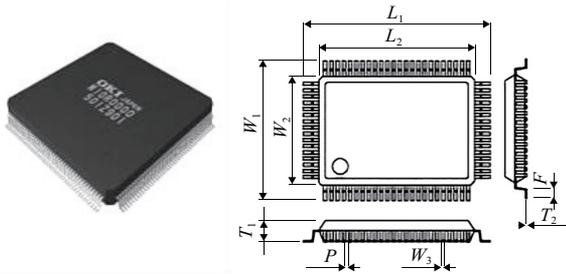


图 1 QFP 芯片的外形及主要参数

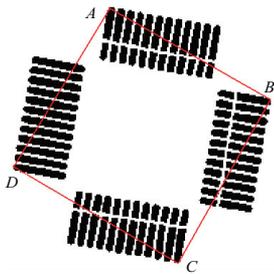


图 2 QFP 芯片图像

QFP 以上几何特征使得用与芯片体相似的矩形作为扫描路径来检测引脚尺寸成为可能。只有在 4 条边的引脚尺寸都相同的情况下,才能通过这种扫描路径把南北方向和东西方向引脚的检测统一起来进行处理。这样既简化了检测过程,又提高了检测的可靠性和快速性。

2 基于极点四边形的 QFP 芯片图像检测算法

基于极点四边形的 QFP 芯片图像检测流程的设计思路为,首先找出芯片图像的 4 个极值点,连接极值点便得到极点四边形,利用极点四边形的转角初步确定芯片的转角,根据转角和 4 个极值点可以确定 4 条直线,利用点到直线的距离提取芯片每侧引脚顶点,运用推广的最小二乘法对获取的点集进行矩形拟合得到 4 条直线,由此 4 条直线便可计算出芯片中心坐标和芯片转角;然后沿垂直于引脚的方向在距离引脚顶部 1/3 处画标尺,沿标尺方向统计与标尺相交的点对数,所述的点对数就是引脚的个数,计算引脚间距判别引脚是否存在偏折。

1) 图像预处理

对原始图像 (m, n) 进行滤波处理并选用类间最大方差法 (Otsu)^[3] 进行阈值分割,阈值为 97,分割结果如图 3 所示;然后再对目标区域像素进行八邻域扫描提取图像的边缘轮廓,如图 4 所示。

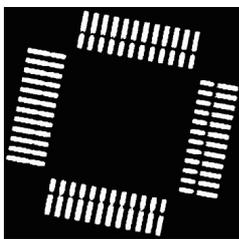


图 3 分割结果

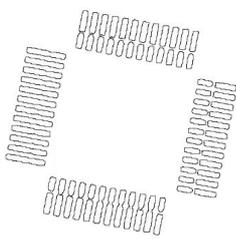


图 4 轮廓提取

2) 粗定位

根据经验,贴片机在贴装过程中,QFP 芯片在图像中的位置和转角始终在一定范围内而不会有太大的变化。在此基础上,对于 (m, n) 的 QFP 芯片图像进行区域分割,上侧:纵坐标 y 取值范围为 $[1, m/4]$;下侧:纵坐标 y 取值范围为 $[3m/4, m]$;左侧:横坐标 x 取值范围为 $[1, n/4]$;右侧:横坐标 x 取值范围为 $[3n/4, n]$ 。在上述的 4 个区域内按照一定的规则提取 4 个极值点: $L(X_{\min}, Y_L)$ 、 $B(X_B, Y_{\max})$ 、 $U(X_U, Y_{\min})$ 、 $R(X_{\max}, Y_R)$,将上述的 4 个极值点按 $U-R-B-L$ 的顺序依次相连,便得到极点四边形,结果如图 5 所示。在芯片不发生任何倾斜时,直线 UR 斜率的反正切就是极点四边形的初始角度 θ_0 ;在芯片发生某个角度倾斜时,极点四边形的转角变为 θ_{Angle} ,由此可以初步计算出芯片的转角 $\theta = \theta_{\text{Angle}} - \theta_0$ 。

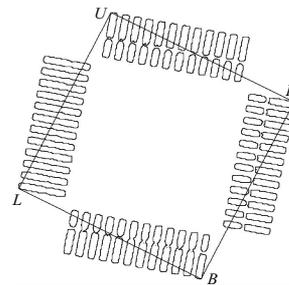


图 5 QFP 的极点四边形

3) 提取点集

利用 4 个极值点 $U(X_U, Y_{\min})$ 、 $R(X_{\max}, Y_R)$ 、 $B(X_B, Y_{\max})$ 、 $L(X_{\min}, Y_L)$ 和芯片转角 θ 可以确定 4 条直线,如图 6 所示。上侧 $L_U: y = k_U(x - X_U) + Y_{\min}$;下侧 $L_B: y = k_B(x - X_B) + Y_{\max}$;左侧 $L_L: y = k_L(x - X_{\min}) + Y_L$;右侧 $L_R: y = k_R(x - X_{\max}) + Y_R$ 。其中: $k_U = k_B = \text{atan}\theta$; $k_R = k_L = -1/\text{atan}\theta$ 。设定阈值 d ,如果芯片引脚顶部的点到本区域直线的距离小于给定的阈值,则将这些点存储于集合 Ω ,形成 4 个关于芯片引脚顶部的集合 $\Omega_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 。

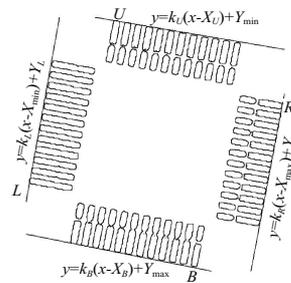


图 6 过极值点 4 条直线

4) 矩形拟合

对上步获取的点集 $\Omega_i (i = 1, 2, 3, 4)$,采用推广的矩形最小二乘法进行边缘拟合^[4]。根据矩形相邻两边斜率为倒数、对边斜率相等的关系设拟合方程为

$$D = \min \left[\sum_{i=1}^{k_1} (y_{1i} - kx_{1i} - b_U)^2 + \sum_{i=1}^{k_2} (x_{2i} + ky_{2i} - b_R)^2 + \sum_{i=1}^{k_3} (y_{3i} - kx_{3i} - b_B)^2 + \sum_{i=1}^{k_4} (x_{4i} + ky_{4i} - b_L)^2 \right]$$

然后分别对 k, b_U, b_R, b_B, b_L 求偏导数,求得斜率 k 和每条边对应的截距 b_U, b_R, b_B, b_L , 最终得到矩形拟合的 4 个直线方程: 上侧 $L_U: y = k'_U x + b_U$, 下侧 $L_B: y = k'_B x + b_B$, 左侧 $L_L: y = k'_L x + b_L$, 右侧 $L_R: y = k'_R x + b_R$ 。其中: $k'_U = k'_B = k, k'_R = k'_L = -\frac{1}{k}$ 。结果如图 7 所示, 于是联立 4 条直线方程求解得到 4 个交点, 其坐标为 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4)$, 获得芯片的位置参数如下: $c'_x = (\sum_{i=1}^4 X_i) / 4, c'_y = (\sum_{i=1}^4 Y_i) / 4, \theta' = \text{atan}k$ 。

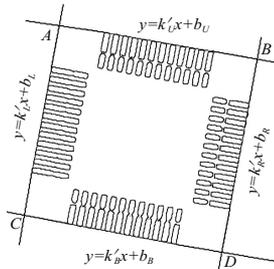


图 7 QFP 矩形拟合的结果

3 算法实现与结果分析

根据设计需要,采用 Visual C++6.0 作为开发平台,利用该平台提供的微软基础类库 MFC,构建了图像数据的读取、存储、显示,滤波处理,阈值分割,轮廓提取、边界跟踪,直线拟合,矩形拟合及图像重心计算等函数^[5],其操作界面如图 8 所示。将图片通过“打开图像”导入界面,依次点击“滤波”、“阈值分割”、“QFP 轮廓提取”、“QFP 位置误差检测”,程序便会绘出图 8 所示的拟合直线,其 QFP 元件位置偏差检测结果为: $\Delta x = -2, \Delta y = -2$, 转角偏差 $\Delta \theta = -9.9^\circ$ 。该算法的运行时间为 31 ms,检测精度达到亚像素级;采用矩形拟合,消除了拟合直线相互独立、互

不相关的问题,检测精度与实时性均满足贴片机的需求。

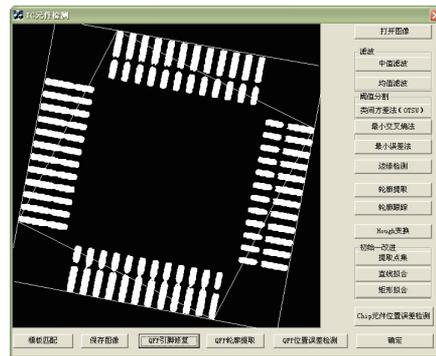


图 8 QFP 基于极点四边形的检测界面

4 结语

通过图像预处理、粗定位、边缘分割、精定位等步骤,利用基于极点四边形的矩形拟合算法对 QFP 图像进行了定位误差的分析与计算。实验结果表明:利用推广的最小二乘法实现矩形拟合,保证了 QFP 元件 4 条边的矩形特性,更精确地表达了芯片的位置误差。该算法不但精度高,而且实时性较好,能够很好地满足贴片机高速、高精度的要求。

参考文献:

[1] 黄银花. 高速高精度贴片机表面贴装生产关键技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2018.
 [2] 毛磊. 贴片机高精度视觉检测技术的研究[D]. 南京:河海大学,2008.
 [3] 寸毛毛. 典型封装芯片表面贴装在线视觉识别与定位的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2018.
 [4] 冯有前. 数值分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
 [5] 罗振威. 基于机器视觉的贴片机定位算法研究[D]. 岳阳:湖南理工学院,2020.

收稿日期:2021-05-06

(上接第 129 页)

3 结语

本文通过对减速器零件真实数据进行采集和处理,构造零件信息的层次化模型,分别针对几何形状、位姿约束和物理状态三层信息进行逆向建模,获取与真实零件互相映射的数字孪生体。在此基础上融合装配过程中的资源层、工艺层和环境层实时数据,提出了产品装配数字孪生体的表达方法,并最终构建了减速器数字孪生仿真系统。该方法与现有解决方案相比,在方便性和交互性方面都有了不同程度的改进与提高。

参考文献:

[1] 张映锋,张党,任杉. 智能制造及其关键技术研究现状与趋势综述[J]. 机械科学与技术,2019,38(3):329-338.
 [2] LIN M, SAN L J, DING Y. Construction of robotic virtual laboratory system based on Unity3D[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,2020,768(7):072084.
 [3] 赵琪,孙红,孙艳梅,等. 基础医学虚拟仿真实验教学平台构建研究[J]. 实验技术与管理,2016,33(11):135-138.

[4] 佚名. 数字孪生——在产线投资之前就知道它是否可行[J]. 智慧工厂,2019(1):28-29.
 [5] GLAESSGEN E, STARGEL D. The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles [C]//53 rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference< BR> 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference< BR> 14th AIAA. Honolulu, Hawaii. Reston, Virginia: AIAA, 2012:1818.
 [6] TUEGEL E J, INGRAFFEA A R, EASON T G, et al. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin[J]. International Journal of Aerospace Engineering, 2011:154798.
 [7] TAO F, CHENG J F, QI Q L, et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 94(9/10/11/12): 3563-3576.
 [8] UHLEMANN T H J, LEHMANN C, STEINHILPER R. The digital twin: realizing the cyber-physical production system for industry 4.0[J]. Procedia CIRP, 2017, 61: 335-340.
 [9] 丁雨,林木. 基于 Unity3D 的减速器装配虚拟实训[J]. 中国设备工程,2018(2):99-100.

收稿日期:2021-04-06