

基于 AOI 的印刷电路图像对准算法研究

郭峰林, 管庶安, 孔 岩

(武汉工业学院数学与计算机学院, 武汉 430023)

[摘要] 基于 AOI 的 PCB 检测系统中, 样本 PCB 图像与待测 PCB 图像之间存在错位偏差, 需要对准后才能进行下一步的检测工作。首先, 依据 PCB 线路特征, 定义了样本图像边缘点的概念, 制订了边缘点抽样规则。针对待测 PCB 图像, 提出了基于样本边缘点对准强度评价函数, 建立了对准评价模型及对准快速算法。最后, 通过 PCB 对准实验以及大量的实际测试应用, 证明对准强度评价模型能准确地描述待测 PCB 图像与样本图像间的对准程度, 对准模型为后期的缺陷搜索提供了可靠的偏移参数。

[关键词] PCB 缺陷检测; 图像对准; 边缘点抽样; 对准强度

[中图分类号] TP391.41 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)11-0103-04

1 前言

在基于机器视觉的印刷电路板缺陷检测系统(AOI)中, 采用摄像机对 PCB 进行拍照, 将样本板和被测板的图像进行比较, 从而发现 PCB 中的缺陷^[1]。本文采用参考对比法进行 PCB 缺陷检测。由于样本图像与待测图像间有偏移, 在缺陷检测之前, 必须将样板图像与被测 PCB 图像进行对准, 只有对准后, 才能搜索待检 PCB 与样本 PCB 的差别之处, 进而发现缺陷问题。

常规的 PCB 图像对准方法一般为定位点检测法, 即在 PCB 的边角部位设置圆形定位标记, 然后利用 Hough 变化法进行圆形定位标记的检测^[2,3]。这种算法简单, 易于操作, 但需要设置定位点, 难以达到 PCB 生产厂家无损检测的要求。另一种方法是由 Besl 和 McKay 提出的一种优化算法为迭代最近点(ICP)算法^[4], 通过不断重复运动变换, 确定最近点, 来求运动变换的过程并逐步改进。这种算法的优点是可对含噪声的图像进行精确对准, 但是这类算法的计算量太大, 并且有可能陷入局部极值点^[5]。

本文在分析印刷电路板图像偏移特征之后, 提出一种图像边缘强度对准模型, 利用该模型评价样

本 PCB 图像与待测 PCB 图像间的对准程度, 从而准确地计算出它们之间的平移和旋转参数。由于选取的图像对准模型具有全局性和均衡性, 因此, 算法的时间复杂度低、实时性好、对准精度高。

2 采集到的 PCB 图像间存在移位偏差的原因

在中小型 PCB 生产企业中, 出于成本考虑, PCB 的下料和丝网漏印阶段多数是半自动化工作, 在同批次 PCB 中, 每块 PCB 的覆铜线路部分与基板的相对位置都存在不同程度的偏移, 这种偏移包括一定量的平移或旋转角度。对于单面 PCB 而言, 这种偏移量要比双面 PCB 大得多。根据统计, 一般地, 偏移量最大不超过 ± 5 mm, 旋转角度最大不超过 $\pm 2^\circ$ 。另外, 在 AOI 检测系统中, 由于摩擦等因素的影响, 运动机构也会产生一定的移位偏差, 从而摄像机采集到的图像在不同程度上与样本图像也有位移偏差。待测图像与样本图像间的位移偏差需要对准后, 才能采用参考对比法或非参考比较法对 PCB 图像进行缺陷搜索。

3 PCB 样本图像边缘点抽样

样本 PCB 图像和待测 PCB 图像间的偏差, 主要

[收稿日期] 2012-07-16

[基金项目] 湖北省自然科学基金项目(2004ABA033); 湖北省教育厅科研项目(B20101703)

[作者简介] 郭峰林(1969—), 男, 湖北武汉市人, 副教授, 研究方向为图像处理和智能检测; E-mail: cflguo@gmail.com

由水平移位、垂直移位以及旋转3种因素产生。为了精确计算偏差值,实现图像对准,先对样本图像进行分析、边缘点抽样,提取图像线路特征点。

假定 PCB 图像为 8 位灰度图像,图像大小为 $2\ 592 \times 1\ 944$ 像素,分辨率为 620 dpi,图像对应的 PCB 规格约 $106\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 。PCB 图像中有效信息只有两种,即覆铜区和底板区,分别用 1,0 代表。

定义 $p(x, y)$ 为 PCB 图像中任意点,图像边缘点为 $p(x, y, d)$,其中 x, y 为 p 在图像中的像素坐标, d 为 p 处的覆铜区边缘法向角 φ 的编码。为了计算方便,将 φ 量化为 8 个离散值,分别编码为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 每个离散值代表 45° 范围,如图 1 所示。

由于 PCB 中以水平和垂直线路为主,抽样时保存这两个方向的特征边缘点即可。在全部边缘点中,先抽取 $d = 2$ 和 $d = 6$ 的特征边缘点,假设共有 q 点,这些点均落在覆铜区水平边缘上;再抽取 $d = 0$ 和 $d = 4$ 的特征点,假设共有 p 点,这些点均落在覆铜区垂直边缘上。接着,从 q 个水平边缘点中等间隔抽取 M 点,形成集合 S_x 。

$$S_x = \{p_m(x, y, d), |d = 2, 6, m = 1, 2, \dots, M\}$$

从 p 个垂直边缘点中等间隔抽取 N 点,形成集合 S_y 。

$$S_y = \{p_n(x, y, d), |d = 0, 4, n = 1, 2, \dots, N\}$$

S_x 和 S_y 分别用于垂直对准和水平对准的特征边缘点集合。由于抽样点在整幅图像上分布密度均匀,

$$g_0(x, y) = \frac{1}{6} \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^3 [f(x+i, y+j) - f(x-i, y+j)], g_4(x, y) = -g_0(x, y)$$

$$g_2(x, y) = \frac{1}{6} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^3 [f(x+i, y+j) - f(x+i, y-j)], g_6(x, y) = -g_2(x, y) \quad (1)$$

对应的卷积模板如图 2 所示。

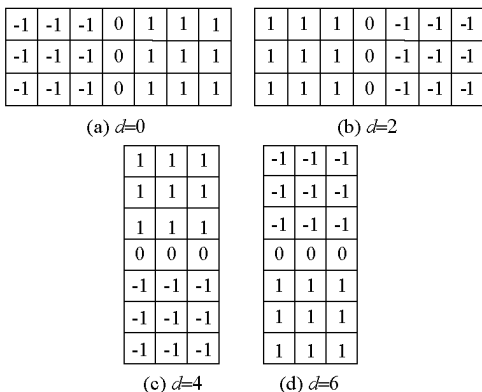
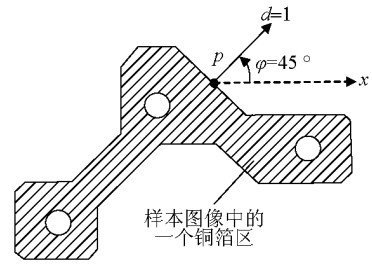
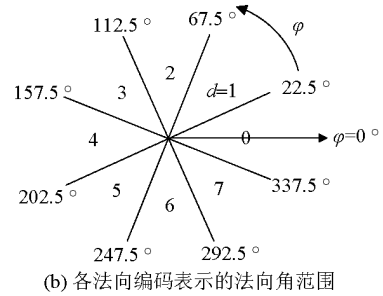


图 2 法向为 0, 4, 2, 6 对应的卷积模板

Fig. 2 Normal vector codes 0, 4, 2, 6 corresponding convolution template



(a) 覆铜区边缘点 p 的法线



(b) 各法向编码表示的法向角范围

图 1 覆铜区边缘点法线及其编码方法

Fig. 1 Edge point normal vector and normal vector coding method in copper-clad area

因此适合全局对准。

4 基于 PCB 图像边缘强度的对准模型

记 PCB 图像上的像素点为 $f(x, y)$, 定义 $f(x, y)$ 在 (x, y) 点的关于法向 d 的 3×7 模板梯度为 $g_d(x, y)$, 法向为 0, 2, 4, 6 的模板梯度公式见式 1。

$g_4(x, y)$ 和 $g_0(x, y)$ 是检测垂直边缘的梯度, 当沿水平方向从垂直边缘的亮区(底板区)进入黑区(覆铜区)时, $g_4(x, y)$ 取得正极大值, $g_0(x, y)$ 取得负极大值; 而从黑区进入亮区时, $g_0(x, y)$ 取得正极大值, $g_4(x, y)$ 取得负极大值。相应地, $g_6(x, y)$ 和 $g_2(x, y)$ 用于检测水平方向边缘梯度。

将边缘点抽样集合 S_x 和 S_y 合并为集合 S , $S = S_x \cup S_y$ 。由于 $S_x \cap S_y = \emptyset$, 故 S 中共有 $M + N$ 点。由于样本 PCB 图像与待测 PCB 图像的错位包括平移和旋转。记它们间的平移量和旋转量分别为 dx , dy, α 。用 dx, dy, α 的各种组合值对 S 中的各点作平移和旋转变换, 记为 S' 。

定义 S' 与图像 $f(x, y)$ 的边缘对准强度为 $E(dx, dy, \alpha)$, 即

$$E(dx, dy, \alpha) = \frac{1}{M+N} \sum_{k=1}^{M+N} g_d(p_k), p_k \in S' \quad (2)$$

式(2)中, d 为 p_k 的 d 分量。显然, 通过式(2)可以看出 S' 中击中或贴近 $f(x, y)$ 的对应的水平或垂直边缘的点越多, $E(dx, dy, \alpha)$ 的值越大。当 $E(dx, dy, \alpha)$ 取得最大值时, 对应的 dx, dy, α 即样本与图像对准时的平移和旋转量。

5 PCB 图像对准算法设计与实现

PCB 样本图像与待测图像的对准算法实现分两步。首先对样本 PCB 图像进行边缘点抽样, 再根据边缘对准强度函数, 评价图像对准程度, 获得量化的平移及旋转角度 dx, dy, α 。

在样本边缘点采集中, 实际的图像边缘点数量大, 为了提高计算速度, 在抽样时, 仅保留表征 PCB 覆铜线路特征的部分边缘点, 在对准阶段也仅需计算特征边缘点。实际工程计算中, 取水平边缘点 $M=500$ 、垂直边缘点 $N=500$ 就能充分满足对准要求。若 $M <$ 实际水平边缘点数 p , 则取 $M = p$; 若 $N <$ 实际垂直边缘点数 q , 则取 $N = q$; 实践表明, 只要 M 和 N 均大于 300, 皆能较好地实现对准。

待测 PCB 图像与样本图像对准需要计算边缘强度, 并将其作为对准程度评价依据。在实际工程中, 当样本图像与 PCB 图像平移量在 ± 500 像素点 (± 20 mm) 内、旋转角度在 $\pm 2^\circ$ 内时, 要求能实现全局对准。并且对准的精度达到平移误差 ± 1 像素点, 旋转角度误差 $\pm 0.05^\circ$ 。如果采用常规循环搜索, 则水平、垂直方向平移单位像素再加上旋转角度单位增量 0.05° , 则循环次数将达到 $1\,000 \times 1\,000 \times$

$(4 \div 0.05) = 80\,000\,000$ 次, 每次循环中还含有 1 000 次求梯度运算。显然不能满足工程应用中的实时处理要求, 因此有必要设计快速算法。

快速算法基本思想是解除水平、垂直平移量和旋转量 3 个对准参量之间的相互制约关系, 使得 3 个参量能独立进行对准运算, 则可将对准循环次数降低到 $1\,000 + 1\,000 + (4 \div 0.05) = 2\,080$ 次, 计算量降低了 38 500 倍。

以水平 S_x 方向对准为例, 算法设计如下:

1) 令 S_x 中边缘点沿水平方向整体滑动, 步长为 1, 滑动范围为 $n = -500 \sim 500$ 像素;

2) 求 PCB 图像水平方向对准强度 $E_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M g_d(x, y)$;

3) 重复步骤 1) 和 2), 直到 n 循环完成;

4) 比较最大 E_x , 即可得水平方向对准偏移 dx 。

采用同样方法对竖直方向、旋转角度进行对准计算, 最后获取对准参数 dx, dy, α 。

6 实验结果及分析

PCB 图像对准算法采用 Windows XP 操作系统, i3-550 CPU, 2G 内存, 在 Visual C++ 6.0 环境下进行编程实现。首先选取一个标准 PCB 作为样本, 对样本进行边缘点采样, 得到水平方向边缘点 356 个, 垂直方向边缘点 379 个。然后选取 4 块待测 PCB 与样本进行对准实验, 每块待测 PCB 执行了 100 次对准操作, 记录统计的偏移量均值及方差、对准强度和耗时均值及最大最小值。实验结果见表 1。

表 1 对准实验结果

Table 1 Registration experimental results

编号	平移 (dx)		平移 (dy)		偏角 (D_α)		对准强度 (E)			耗时/ms		
	均值/mm	方差	均值/mm	方差	均值/mm	方差	均值/mm	最大/mm	最小/mm	均值	最大	最小
1	-7.85	2.61	-1.76	8.54	0.17	0.48	118.53	205.6	79.7	17.95	29.16	9.81
2	-12.38	5.43	-3.11	7.68	0.09	0.37	120.32	178.7	81.4	18.50	23.57	12.52
3	-13.17	4.27	1.98	6.17	-0.46	0.51	115.67	192.9	83.1	17.87	28.28	12.98
4	40.92	6.56	2.03	6.36	-0.63	0.39	111.35	142.4	80.9	27.55	45.11	21.64

从表中的测试数据可以看出, 第 4 块 PCB 对准时间相对较长, 这是由于它相对于样本 PCB 图像的偏移量较大。另外, 偏移量的方差较大的原因主要是由于运动机械产生的错位。快速对准算法耗时基本

在 50 ms 内完成, 对整体检测总耗时的影响不大。

7 结语

通过本文的分析和实验可以看出, 在样本图像

的边缘点抽样基础上,待测 PCB 图像的对准强度评价模型能够很准确地描述 PCB 图像的移位和旋转偏差。采用这种快速搜索算法,在最短时间内实现图像对准。相较于常规搜索算法,搜索时间大大缩短,极大地提高检测系统的实时性。本文中对准强度评价模型及快速算法已在广东梅州泰源科技有限公司合作项目全自动印刷电路板缺陷检测系统中得到应用,从大量 PCB 检测的实际结果来看,该算法的对准速度快、准确度高,为后期的缺陷搜索提供了可靠的偏移参数。

参考文献

- [1] Moganti, Madhav, Ercal, et al. Automatic PCB inspection systems [J]. 1995, 14 (3): 6 - 10.
- [2] 张利, 高永英, 汪浩, 等. PCB 板检测中的定位研究 [J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(8): 659 - 661.
- [3] 郭世钢. 印制电路板图像对准算法研究 [J]. 计算机应用, 2009(12): 220 - 224.
- [4] 张鸿宾, 唐积尧. 多视点距离图像的对准算法 [J]. 自动化学报, 2001, 1(27): 39 - 46.
- [5] 韩斌, 刘以安, 吴小俊, 等. 印刷缺陷检测中的图像对准 [J]. 华东船舶工业学院学报: 自然科学版, 2002, 16(2): 37 - 40.

A study for printed circuit board image registration algorithm based on AOI

Guo Fenglin, Guan Shu'an, Kong Yan

(College of Mathematics and Computer Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

[**Abstract**] In the printed circuit board defect inspection based on AOI, there are some dislocate deviation between sample PCB image and the PCB image, which make the need of the image registration to be processed. First of all, define the sample image edge point concept according to the PCB line features, formulate the edge points sampling rules. Then, in the view of the PCB image, propose the registration intensity evaluation based on the sample edge points, and establish of evaluation model and fast algorithm for registration. Finally, through the PCB registration experiment and plenty of application testing, prove that the alignment intensity evaluation model can accurately describe the alignment level for the sample PCB image and the tested PCB image, which can provide reliable migration parameters for the defects search for later period.

[**Key words**] PCB defect inspection; image registration; edge points sampling; registration strength