



# 基于 IBBS-SIFT 算法的 PCB 板 Mark 点定位方法

包晓敏, 吴小荣, 吕文涛  
(浙江理工大学 信息学院, 杭州 310018)

**摘要:** 针对最佳伙伴相似性(Best-buddies similarity, BBS)算法和 SIFT 算法的不足,提出了一种基于 IBBS-SIFT(Improved best-buddies similarity-scale invariant feature transform)算法的印刷电路板 Mark 点定位方法。首先对 BBS 算法进行改进,通过结合置信度图和权值,在采集的 PCB 板图像中得到与模板图像相似的多个区域;然后采用最佳相似点对匹配准则代替 SIFT 算法的欧氏距离匹配准则,用改进的 SIFT 算法对这些相似区域计算描述子并进行匹配;最后根据匹配的描述子得到主位置,通过主位置剔除误匹配点,精确定位到 Mark 点位置。实验结果表明:该方法可以有效提高 Mark 点定位效率,将耗时减至 SIFT 算法的 10%~15%,同时减少误匹配点数目,实现 Mark 点精确定位。

**关键词:** Mark 点定位;BBS 算法;主位置;PCB;SIFT 算法

**中图分类号:** TP301.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2019)05-0360-07

## Mark point positioning method of PCB board based on IBBS-SIFT algorithm

BAO Xiaomin, WU Xiaorong, LÜ Wentao

(School of Information Science and Technology, Zhejiang  
Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of best-buddies similarity (BBS) algorithm and SIFT algorithm, a Mark point positioning method of printed circuit board based on IBBS-SIFT (Improved best-buddies similarity scale-invariant feature transform) algorithm was proposed. Firstly, the algorithm of best-buddies similarity (BBS) was improved. By combining confidence map and weight, multiple regions similar to the template image were obtained in the PCB board image collected. Then, the Euclidean distance matching criterion of SIFT algorithm was replaced by the matching criterion of optimal similarity point pair, and the descriptors of these similar regions were calculated and matched by the improved SIFT algorithm. Finally, the main position was obtained according to the matched descriptor, and the mismatched points were removed by the main position to accurately locate the Mark point. Experimental results show that the algorithm proposed in this paper can effectively improve the efficiency of Mark point positioning, reduce the time consumption to 10%~15% of SIFT algorithm, and decrease the number of mismatched points and achieve accurate Mark point positioning.

**Key words:** mark point positioning; BBS algorithm; main position; PCB; SIFT algorithm

收稿日期:2018-10-23 网络出版日期:2018-12-28

基金项目:国家自然科学基金项目(61601410);浙江省重点研发计划项目(2018C01133)

作者简介:包晓敏(1965—),女,浙江杭州,教授,主要从事图像处理方面的研究。

## 0 引言

PCB 板上的 Mark 点也称为基准点, 是 PCB 板的定位标志, 通常分布在 PCB 板对角线位置。Mark 点为贴片机进行贴片和元器件检测提供位置参照, 因此对 Mark 点进行精确定位是贴片机进行贴片和元器件检测的前提。传统的 Mark 点定位有基于模板匹配<sup>[1]</sup>、霍夫变换<sup>[2-3]</sup>、最小二乘法拟合<sup>[4-7]</sup>等算法。基于模板匹配算法速度快, 满足实时性需求, 但在实际处理过程中, 由于传送带震动的影响, 采集的 PCB 板图像存在各种问题, 导致该算法定位 Mark 点成功率低; 基于霍夫变换算法定位 Mark 点抗干扰能力强, 容错性好, 但是计算量大, 实时性较差; 基于最小二乘法拟合算法可以很好地拟合圆形 Mark 点, 但是对噪声、光线变化敏感。

虽然采集的 PCB 板图像存在轻微变形、倾斜、光线变化等情况, 但是图像中的特征点未受其影响, 目前最典型的图像特征点提取算法是尺度不变特征变换 (Scale-invariant feature transform, SIFT) 算法<sup>[8]</sup>。在 SIFT 算法中描述子是 128 维, 数据量非常大, 导致匹配时间过长, 不能满足实时性的需求; 同时 SIFT 算法采用欧氏距离匹配准则, 在匹配结果中会存在一定数量的误匹配点。针对这些缺点, 研究人员提出了多种改进方法, 如: 通过主成分分析 (Principal components analysis, PCA) 对 SIFT 算法中的描述子进行降维<sup>[9]</sup>, 以满足实时性的要求, 但是匹配效果较差; 通过分级放射状分区<sup>[10]</sup>构建描述子, 将特征点邻域划分成 8 个区域, 计算得到 64 维的描述子, 将描述子的数量减少 50%, 从而减少描述子匹配时间, 提高了算法的匹配速度, 但是降低了匹配的准确度。

针对传统 Mark 点定位算法和 SIFT 算法的缺陷, 本文提出了一种改进算法, 称为 IBBS-SIFT 算法。首先通过改进的 BBS 算法对 PCB 板图像进行粗匹配, 得到与 Mark 点相似的区域, 然后用改进的 SIFT 算法对相似区域计算描述子并进行匹配, 并通过主位置剔除误匹配点从而精确定位 Mark 点。该算法不仅减少 Mark 点定位的时间, 而且减少误匹配点数目, 提高 Mark 点定位的精确性。

## 1 IBBS-SIFT 算法

### 1.1 BBS 算法及其缺陷

2015 年 Dekel 等<sup>[11]</sup>提出最佳伙伴相似性 (Best-buddies similarity, BBS) 匹配算法。该算法

把模板图像和测试子图划分为大小固定的像素块, 计算这些像素块颜色距离和空间距离之和, 并统计测试子图中像素块和模板图像中像素块的距离都互为最短的数量, 把数量最多的测试子图作为测试图像和模板图像最相似的区域。

然而在实际处理过程中, 一方面流水线在传送过程中持续震动, 导致采集的 PCB 板图像出现轻微变形、倾斜、光线变化等情况; 另一方面 PCB 板存在多个和 Mark 点相似的区域, 而 BBS 算法得到的匹配区域唯一, 导致 BBS 算法对 Mark 点匹配稳健性不强。

### 1.2 IBBS 算法

针对 BBS 算法的不足, 本文提出了一种改进的 BBS 算法, 即 IBBS (Improved best-buddies similarity) 算法。首先根据置信度图<sup>[12]</sup>概念, 把置信度图大小设置为  $(M-m+1) \times (N-n+1)$ , 其中:  $M$  和  $N$  分别为测试图像长和宽,  $m$  和  $n$  分别为模板图像长和宽。逐点计算每一个测试子图和模板图像像素块距离互为最短的数量, 计算结果作为该测试子图在置信度图中映射位置的像素值, 对所有测试子图处理后, 生成置信度图。然后对置信度图进行均值滤波和阈值处理, 得到相似区域。测试图像的置信度图获取过程如图 1 所示。其中: 图 1(a) 为测试图像; 图 1(b) 为模板图像; 图 1(c) 为计算得到的置信度图, 图中颜色越深表示距离互为最短的像素块数量越多, 即相似性越高。

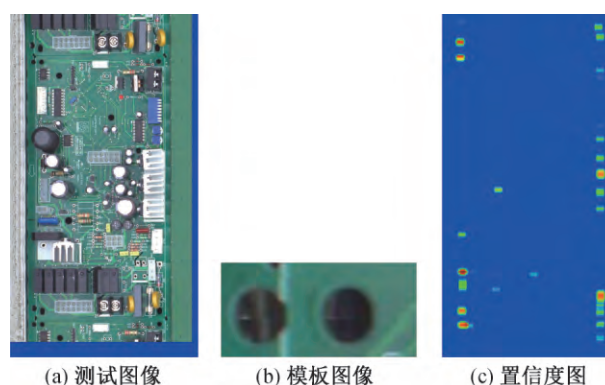


图 1 测试图像的置信度图获取过程

通过对置信度图的观察发现, 对置信度图进行阈值处理后, 在正确 Mark 点位置附近分布许多离散像素点, 因此可进行膨胀处理, 使其组合成闭合区域。膨胀处理既能加快算法的运行速度, 又能提高匹配精确性。膨胀处理的表达式为:

$$(f \oplus b)(x, y) = \max\{f(x - x', y - y') + b(x', y') \mid (x', y') \in D_b\} \quad (1)$$

式(1)中  $f$  表示原图;  $b$  代表结构元素;  $(x, y)$  表示图像中的一个像素位置,  $(x', y')$  表示结构元素的位置;  $D_b$  表示结构元素中所有元素的集合。

对置信度图进行膨胀处理后, 计算闭合区域的面积, 闭合区域面积最大的位置即为匹配的正确位置。但是当图像中噪声较多时, 或者测试图像中存在多个和 Mark 点相似的区域时, 会影响置信度图中闭合区域的面积。因此, 本文通过设置权值提高算法的稳健性。通过统计闭合区域中最大像素值的数目, 得到该闭合区域的权值, 权值公式定义如下:

$$w = \alpha^n \quad (2)$$

其中:  $w$  表示权值;  $\alpha$  表示一个常数值, 根据实验定为 1.5;  $n$  为该闭合区域中像素最大值的数量。将  $w$  与该闭合区域的面积相乘, 最后对所有的乘积值进行降序排序, 选择排序前 30% 的闭合区域进行下一步操作。

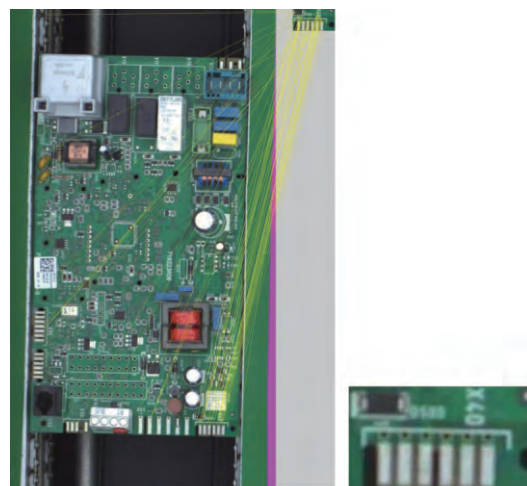
### 1.3 SIFT 算法基本原理

SIFT 算法<sup>[8]</sup>是一种基于尺度空间的图像局部特征描述算子, 该算子对图像缩放、旋转、轻微变形保持不变性。该算法由哥伦比亚大学 David G. Lowe 教授于 1999 年提出并在 2004 年改进, 在特征点检测领域得到广泛应用<sup>[13]</sup>, 同时也涌现许多改进算法<sup>[14-15]</sup>。SIFT 算法的核心步骤为: 首先通过原图和原图的降采样图与一个变化尺度的高斯核进行卷积, 生成若干组多尺度空间; 然后组内相邻尺度空间相减生成高斯差分尺度空间, 并寻找该尺度下的极值点, 通过拟合三维二次函数获得关键点, 根据关键点的信息生成描述子; 最后基于欧氏距离匹配准则对测试图像和模板图像中的描述子进行匹配。

### 1.4 SIFT 算法改进

SIFT 算法是基于欧氏距离匹配准则对测试图像和模板图像中的描述子进行匹配, 匹配的精确性与选取的阈值相关。同时由于 PCB 板本身的特性, 当基于欧氏距离匹配准则进行描述子匹配时, 会出现大量的误匹配点, SIFT 算法对测试图像和模板图像描述子匹配的结果如图 2 所示。图 2(a) 为 SIFT 算法匹配的结果图, 图 2(b) 为模板图像。在图 2(a) 中出现许多误匹配点, 因此需要对匹配准则进行改进, 减少误匹配点的数量。

在 PCB 板中存在与 Mark 点相似的区域, 基于欧氏距离匹配准则对描述子进行匹配, 会出现较多的误匹配点, 如图 2(a) 所示, 导致 Mark 点定位不够精确。本文针对这个问题, 提出了一种基于最佳相似点对的匹配准则。假定存在两个点集



(a) SIFT 算法匹配结果

(b) 模板图

图 2 SIFT 算法对测试图像和模板图像描述子的匹配结果

$P = \{p_i\}^N$  和  $Q = \{q_j\}^M$ , 其中  $N$  和  $M$  分别为  $P$  和  $Q$  点集中点的数目, 若点  $p_i$  在点集  $Q$  中的最相似点为  $q_j$ , 且点  $q_j$  在点集  $P$  中的最相似点也为  $p_i$  时, 则将  $p_i$  和  $q_j$  称为最佳相似点对 (BBP), BBP 的表达式为:

$$BBP(p_i, q_j, P, Q) = \begin{cases} 1, & N(p_i, Q) = q_j \cap N(q_j, P) = p_i \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中:  $N(p_i, Q)$  表示  $p_i$  在  $Q$  中最相似的点,  $N(q_j, P)$  表示点  $q_j$  在  $P$  中最相似的点;  $\cap$  为逻辑与符号。

在测试图像和模板图像中, 经过计算得到一系列描述子, 每一个描述子为 128 维, 一对描述子的距离可以定义为:

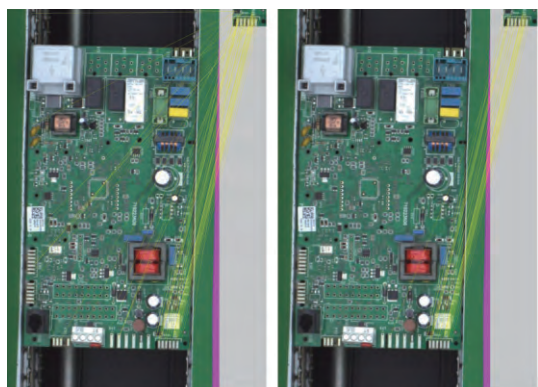
$$D(d_1, d_2, \dots, d_{127}, d_{128})^T = X(x_1, x_2, \dots, x_{127}, x_{128})^T - Y(y_1, y_2, \dots, y_{127}, y_{128})^T \quad (4)$$

式(4)中  $D$  表示向量  $X$  和向量  $Y$  的向量差,  $d$  表示  $D$  中的一个维度;  $X$  表示测试图中的一个描述子向量,  $x$  表示向量  $X$  中的一个维度;  $Y$  表示模板中的一个描述子向量,  $y$  表示向量  $Y$  中的一个维度。则一对描述子的距离值可以定义为:

$$|D| = \sum_{i=1}^{128} (d_i)^2 \quad (5)$$

当模板图像和测试子图中的描述子都互为最小距离时, 则这一对描述子为最佳相似点对, 基于最佳相似点对匹配准则将这一对描述子定为相匹配的描述子。SIFT 算法和改进的 SIFT 算法匹配结果如图 3 所示。图 3(a) 为 SIFT 算法匹配结果, 存在大量误匹配点; 图 3(b) 为改进的 SIFT 算法匹配结果, 可以发现误匹配点大量减少。





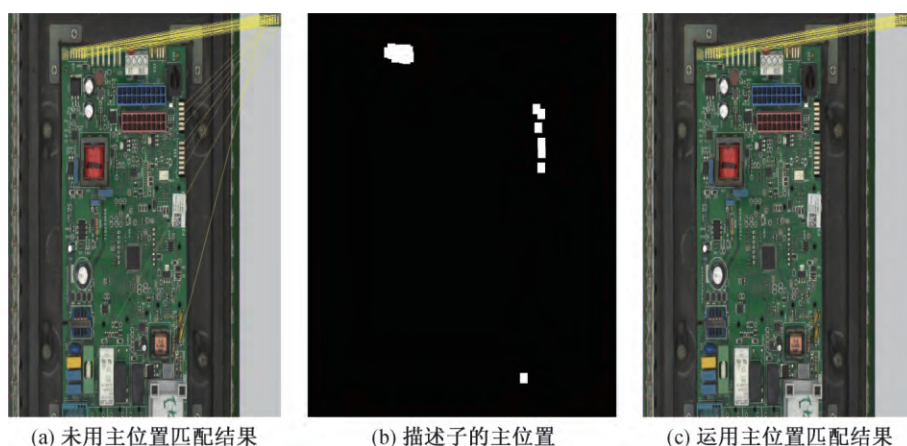
(a) SIFT算法匹配结果 (b)改进的SIFT算法匹配结果

图3 SIFT算法和改进的SIFT算法匹配结果

### 1.5 Mark 点定位

首先通过 IBBS 算法得到相似区域,然后利用

改进的 SIFT 算法对相似区域计算描述子并进行匹配,减少了误匹配点,但仍存在少量误匹配点,所以还需要进一步处理。当获得匹配点后,对其进行膨胀处理,将离散的像素点组合成闭合区域,闭合区域面积最大的位置作为主位置,剔除在主位置之外的匹配点,通过这样处理可以精确定位到 Mark 点位置。未运用主位置匹配和运用主位置匹配结果如图 4 所示。图 4(a)为未运用主位置的匹配结果,图 4(b)为匹配描述子的主位置,图中白色区域表示在测试图像中描述子的聚集位置,图 4(c)为运用主位置匹配结果。从图 4 可以发现,运用主位置可以剔除误匹配点,精确定位 Mark 点。



(a) 未用主位置匹配结果

(b) 描述子的主位置

(c) 运用主位置匹配结果

图4 未运用主位置和运用主位置匹配结果

## 2 实验与结果分析

本文实验的运行环境为: Intel 酷睿 i5-2400 处理器, 频率为 3.1 GHz, 内存 4 GB, 运行平台是 Windows 2007, 编程语言是 C++ 结合 OpenCV, 其中 OpenCV 版本是 3.2。

### 2.1 IBBS 算法和其它算法比较

实验中将 IBBS 算法与 BBS<sup>[11]</sup>、基于 BBS 改进的 GBBS<sup>[12]</sup> 进行比较, 同时也与常见的传统模板匹配算法进行比较, 包括差值平方和 (Sum of squared differences, SSD)、差值绝对和 (Sum absolute difference, SAD)、归一化互相关 (Normalized cross correlation, NCC)<sup>[16-17]</sup>、颜色直方图 (Histogram match, HM)<sup>[18]</sup> 等算法。其中 SSD 和 SAD 算法对模板图像和测试图像进行像素做差处理, 差值最小的位置为匹配位置; NCC 算法通过计算模板图像和测试图像的互相关性, 确定匹配的位置; HM 算法通过比较颜色直方图相似度确定匹配位置。由于

IBBS 算法可以得到多个相似区域, 因此将相似区域中乘积值最大的闭合区域所在位置与其他算法匹配到的位置进行比较。

为了验证 IBBS 算法的稳健性, 对 500 张存在轻微变形、倾斜、光线变化等情况的 PCB 板图像进行实验。本文使用重叠率来评估各算法粗匹配的优劣, 重叠率 *score* 定义为:

$$score = \frac{R_T \cap R_G}{R_T \cup R_G} \quad (6)$$

其中:  $R_G$  表示真实的 Mark 点位置, 即人工手动定位到的 Mark 点位置;  $R_T$  表示各算法粗匹配位置。将  $R_G$  与  $R_T$  的交集和并集的面积比值作为重叠率, 显然 *score* 的值越大, 则粗匹配越接近实际位置, 即粗匹配效果越好。计算整个测试图集中每一张测试图像的重叠率, 统计重叠率大于某个阈值的测试图像在整个测试图集中的比例, 定义为成功率。在  $[0, 1]$  范围内等间隔取阈值, 计算每种算法在不同阈值下的成功率, 从而得到每种算法在该测试图集中的工作特性曲线 (Receiver Operating Characteristic

Curve, ROC)。ROC 与横纵坐标相交构成闭合区域的面积称为 ROC 下面积 (Area Under Curve, AUC), AUC 可以用来表示算法的稳健性。

各算法在测试图像集的 ROC 如图 5 所示。由图 5 可知, IBBS 算法的 AUC 得分为 0.620, 比 GBBS 高 3.3%, 比 BBS 高 13.1%, 且明显高于传统的模板匹配算法, 故 IBBS 算法较其它算法稳健性更强。

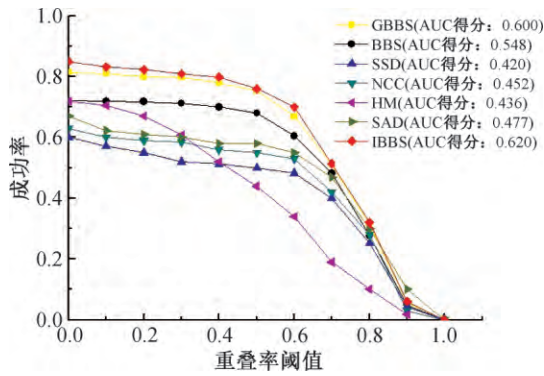


图 5 各算法的 ROC

2.2 描述子匹配成功率比较

SIFT 算法基于欧氏距离匹配准则匹配描述子, 而本文改进的 SIFT 算法基于最佳相似点对匹配准则匹配描述子, 故本文只对最佳相似点对匹配准则和欧氏距离匹配准则进行比较。描述子匹配成

功率指成功匹配到 Mark 点位置的描述子在全体描述子中的占比, 两种匹配准则下的描述子匹配成功率如表 1 所示。由表 1 可知, 不管是基于欧氏距离匹配准则还是基于最佳相似点对匹配准则, 测试图像像素越小, 描述子匹配成功率越高, 但是对于同一像素大小的 PCB 板图像, 基于最佳相似点对匹配准则的描述子匹配成功率比基于欧氏距离匹配准则高 10%。

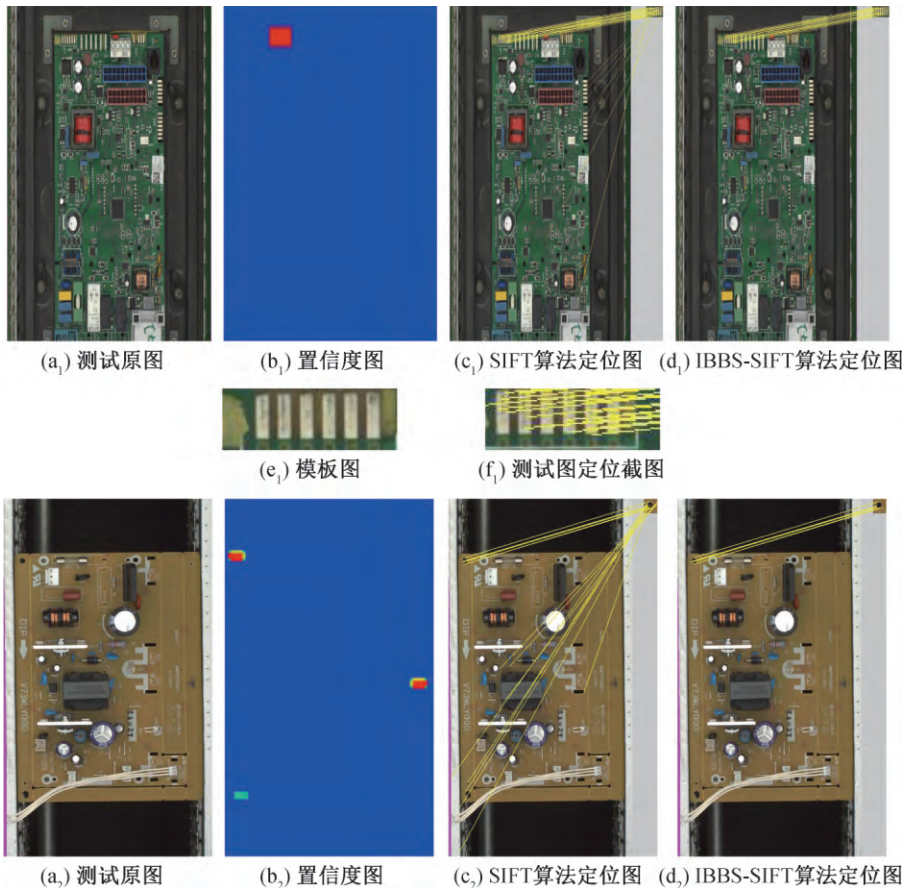
表 1 不同匹配准则下的描述子匹配成功率 %

匹配准则	图像大小/像素			
	1570×4000	1570×2000	1170×1140	512×512
欧氏距离	65.68	68.80	70.78	71.39
最佳相似点对	77.90	78.28	79.89	82.64

2.3 IBBS-SIFT 算法与其他算法比较

2.3.1 精确性比较

采用本文提出的 IBBS-SIFT 算法进行 Mark 点定位, 测试了 4 种不同大小的 PCB 板图像, 每种 PCB 板测试图像为 1000 张, 从中随机抽取 4 组作为示例展示, 并与传统 SIFT 算法比较, 结果如图 6 所示。图 6(a<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的测试原图, 图 6(b<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的置信度图, 图 6(c<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的 SIFT 算法定位图, 图 6(d<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的 IBBS-SIFT 算法定位图, 图 6(e<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的模板图, 图 6(f<sub>i</sub>) 为示例 *i* 的测试图定位区域截图, *i* = 1, 2, 3, 4。





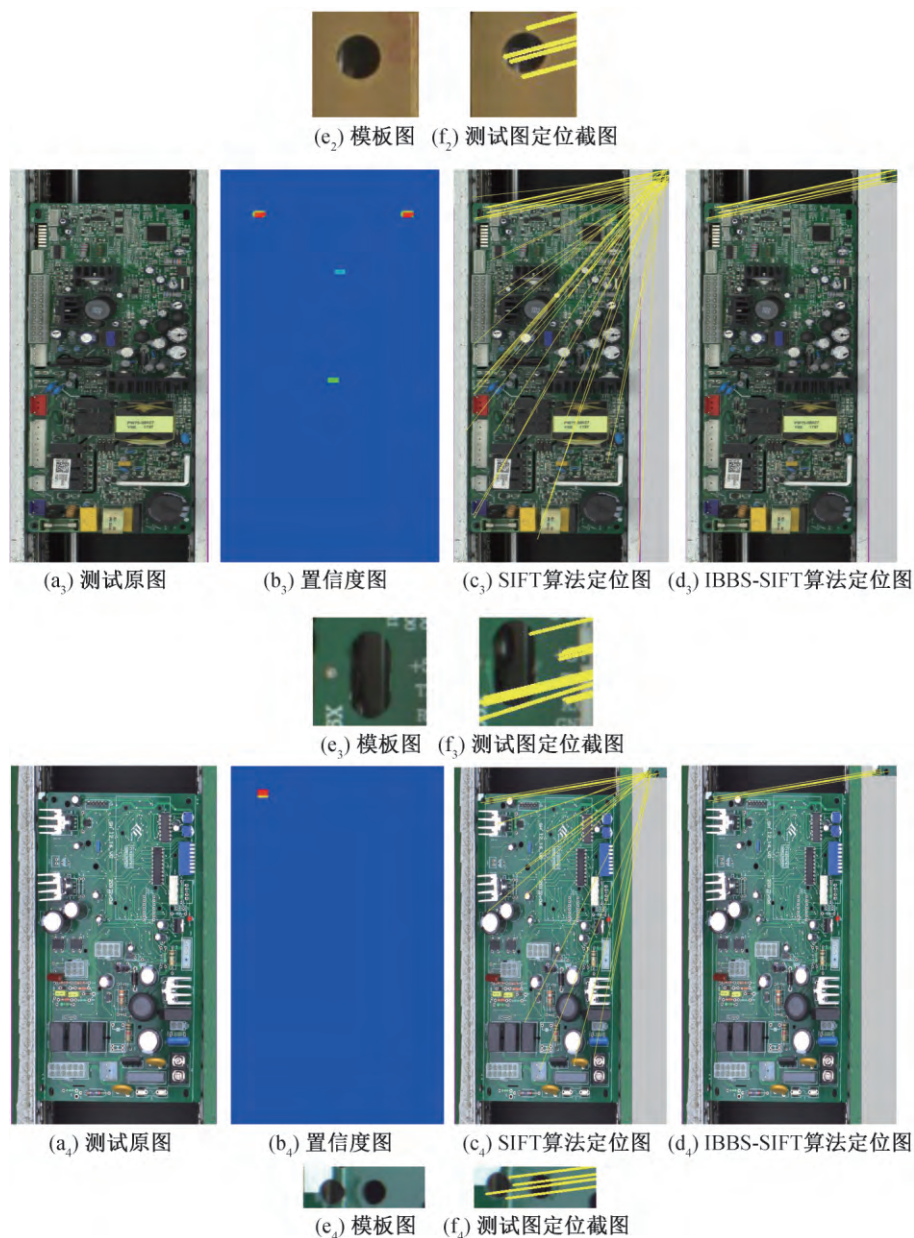


图 6 SIFT 算法和 IBBS-SIFT 算法 Mark 点定位结果图

从图 6 中可以发现, SIFT 算法对 Mark 点定位存在大量的误匹配点, 并且误匹配点分布散乱; 而 IBBS-SIFT 算法剔除误匹配点, 从而精确定位到 Mark 点。

### 2.3.2 定位时间比较

由于采集的 PCB 板图像不仅质量高, 而且图像信息复杂, 因此运行时间长, 所以定位时间也是衡量算法优劣的重要依据。将 IBBS-SIFT 算法和 SIFT 算法、基于 SIFT 改进的 GSIFT 算法<sup>[10]</sup> 进行比较。测试图像集为 4 种不同大小, 每种 1000 张的 PCB 板图像集, 分别计算 3 种算法对每一组 PCB 板图像的平均定位时间, 结果如表 2 所示。由表 2 可知, 在

这 3 种算法中, IBBS-SIFT 算法的平均定位时间最短, 且图像像素越高, 该算法的时间优越性越明显。当图像像素较高时, IBBS-SIFT 算法的定位时间是 SIFT 算法的 10%~15%, 是 GSIFT 算法的 14%~20%, 可以大大减少程序的耗时, 满足 PCB 板实时检测的需求。

表 2 不同算法 Mark 点定位时间 s

算法	图像大小/像素			
	1570×4000	1570×2000	1170×1140	512×512
SIFT 算法	50.20	22.50	13.06	2.03
GSIFT 算法	43.50	18.20	9.50	1.80
IBBS-SIFT 算法	6.30	3.20	1.80	1.10

### 3 结 语

针对 BBS 算法和 SIFT 算法对 Mark 点进行定位存在的缺陷,本文提出了 IBBS-SIFT 算法。第一步提出一种基于 BBS 改进的 IBBS 算法,通过 IBBS 算法获得测试图像和模板图像相似的区域;第二步用最佳相似点对替代欧氏距离匹配准则,用改进后的 SIFT 算法计算相似区域的描述子,然后对测试图像和模板图像中的描述子进行匹配;第三步确定 Mark 点位置,匹配结束后大量匹配点定位到了测试图像中 Mark 点的位置,但仍存在少量误匹配点,因此把匹配点聚集的位置定为主位置,把主位置之外的匹配点判定为误匹配点从而进行剔除,最终精确定位到 Mark 点位置。该方法通过 IBBS 算法减少了计算时间,采用改进的 SIFT 算法提高了匹配的正确率,结合主位置的方法提高了定位的精确性,因此 IBBS-SIFT 算法既可以提高运行效率,又可以减少误匹配点的数量,实现 PCB 板 Mark 点精确定位。但是当 Mark 点存在遮挡等情况,本文算法的定位准确度不高,容易出现误匹配,这也是今后要研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] Quyang W, Tombari F, Mattoccia S, et al. Performance evaluation of full search equivalent pattern matching algorithms [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2011, 34 (1): 127-143.
- [2] 周欣,魏海坤,张侃健,等.PCB 板 Mark 点的定位算法研究[J].工业控制计算机,2018,31(4):111-112.
- [3] 陈小艳,王强,李柏林.改进的 Hough 变换检测圆方法[J].计算机系统应用,2015,24(8):197-201.
- [4] 陈若珠,孙岳.基于最小二乘法的椭圆拟合改进算法研究[J].工业仪表与自动化装置,2017(2):35-38.
- [5] 王万国,王仕荣,徐正飞.基于边界的最小二乘椭圆拟合改进算法[J].计算机技术与发展,2013(4):67-70.
- [6] 熊风光,李希,韩雯.基于整体最小二乘的椭圆拟合方法[J].微电子学与计算机,2017,34(1):102-105.
- [7] 刘政,熊昊,肖森林,等.基于 PCA 和分段 RHT 的 PCB 板圆 Mark 点定位[J].重庆理工大学学报(自然科学),2017,31(1):93-99.
- [8] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 581-588.
- [9] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors [C]//IEEE Compute Society Conference Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2004:506-513.
- [10] 冯文斌,刘宝华.改进的 SIFT 算法图像匹配研究[J].计算机工程与应用,2018,54(3):200-205.
- [11] Dekel T, Oron S, Rubinstein M, et al. Best-buddies similarity for robust template matching [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2015: 2021-2019.
- [12] 王刚,孙晓亮,尚洋,等.一种基于最佳相似点对的稳健模板匹配算法[J].光学学报,2017,37(3): 274-280.
- [13] 刘佳,傅卫平,王雯,等.基于改进 SIFT 算法的图像匹配[J].仪器仪表学报,2013,34(5):1107-1112.
- [14] 吴丽君,文吉成,陈志聪,等.改进 SIFT 算法实现图像的快速匹配[J].福州大学学报(自然科学版),2017,45(6):801-809.
- [15] 完文韬,杨成禹.改进的 SIFT 算法在图像特征点匹配中的应用[J].长春理工大学学报(自然科学版),2018,41(1):44-47.
- [16] 贺一楠,耿娟,秦军,等.结合 Forstner 与 NCC 约束的 UAV 图像配准研究[J].国土资源遥感,2015,27(1): 48-54.
- [17] 孙卜郊,周东华.基于 NCC 的快速匹配算法[J].传感器与微系统,2007(9):104-106.
- [18] 曹一溪,王斌.基于颜色直方图匹配的半透明材质估计[J].计算机辅助设计与图形学学报,2015,27(3): 441-450.

(责任编辑:康 锋)