

武汉理工大学

硕士学位论文

用于PCB板检测的AOI关键算法研究

姓名：李芬

申请学位级别：硕士

专业：通信与信息系统

指导教师：李庆

20100401

摘 要

PCB (Printed Circuit Board) 制作过程繁琐, 工序复杂, 易产生各种缺陷, 产品投入市场后检出故障的费用是装配 PCB 板时发现故障所耗费费用的许多倍, 因而缺陷检测作为 PCB 质量控制的重要手段不容忽视。随着 PCB 行业朝着超薄型、高密度、细间距、低缺陷等方向发展, 传统的 PCB 缺陷人工目检方式已远不能满足实际生产需求而被 AOI(Automatic Optic Inspection)技术替代。因此, 对于 PCB 板检测的 AOI 系统进行研究, 不断提出改进具有重要的实用价值。

本文在详细分析了国内众多厂家生产的 AOI 系统实际工程应用中存在的问题之后, 针对图像拼接过程中的严重错位、缺陷检测过程中的系统响应速度慢、缺陷漏检、识别率低等不足, 主要研究了 AOI 系统中两个重要的核心算法, 对 PCB 板的图像拼接算法做出了改进并提出了一种新的加权缺陷识别检测算法, 这些算法均以本文中的 AOI 系统为硬件平台, 在 VC++和 OpenCV 上调试运行。

本文研究的 PCB 板的图像拼接算法主要从两个方面进行了改进。首先对传统的小图像之间的拼接方式做出了改进, 提出整行缩小以及以行图像为配准图像的方式进行图像拼接, 实验结果表明此拼接方式图像的数据量相对较少速度较快, 在电脑硬件和拼图时间的允许范围之内, 误差偏差不会累积并传递, 因此不存在严重错位偏差。其次, 在传统 PCB 图像拼接算法上引入 surf 配准, 实验结果表明, 本文的拼接算法进一步的解决了因光照不均而使得图像边缘亮度变化趋势相反所造成的明显的拼接缝隙的问题, 大大提高了拼接的精度和速度, 为 AOI 系统后续准确识别 PCB 板缺陷打下了良好的基础。

本文研究的加权识别检测算法, 主要针对难以提取图像几何识别特征的电子元件。这类元件若用传统的识别检测算法, 需要储存大量标准模板进行逐个比对, 识别速度慢、学习过程繁琐。实验结果表明本文提出的加权识别算法只需较少的模板就能准确识别 PCB 板缺陷, 速度较快, 能获得较高的精度。

关键词: 自动光学检测 图像拼接 surf 配准 加权识别

Abstract

During the complex production processes of PCB, a variety of defects may emerge. Compared to the failure detection during the PCB assembly process, the cost of failure detection is much higher after the product is put into the market. Thus, as a quality control method, the failure inspection of PCB is very important. As the PCB industry is developing towards ultra-thin, high density, fine pitch, low-defect, the traditional manual inspection of PCB defect cannot meet the needs of actual production and has been replaced by AOI. Therefore, the research in the improvement of AOI system has a good application prospect.

In this paper, two important core algorithms of AOI system are mainly studied, and some improvements are proposed which are based on the detailed analysis of many existing deficiency of AOI systems in practical application, such as the serious dislocation in process of Image mosaic, and in the process of detection, the system has the problem of slow response, short precision and so on. The PCB image mosaic algorithm and defect detection algorithm which are studied in this paper are all verified in VC++ and OpenCV platform based on AOI hardware system.

The PCB image mosaic algorithm which is mainly researched in this paper is improved in two aspects. First of all, a method of decreasing every entire line image is put forward which uses the line image as the reference of registration. The experimental results indicate that this mosaic method has less data quantity and faster speed; it can also solve the serious Dislocation deviation caused by the accumulation of error in the traditional way. Secondly, the advanced surf registration algorithm is brought forward in this paper to optimize the traditional image mosaic algorithm, which can solve the problem of obviously splicing aperture caused by the opposite trend of image gray scale on edge with uneven illumination.

Traditional detection algorithm is difficult to accurately identify defects if it is difficult to extract the components' characteristic information due to the impact of

uneven illumination or noise factors. Also, traditional detection algorithm can not identify the defects for specific components with complex structure. In order to break through the limits of traditional detection algorithm, a new effective weighted algorithm for defect detection is proposed. Experimental results show that the proposed algorithm is robust in improving the accuracy of the system and just needs very few templates. It can also save system memory, and make detection much faster.

Keywords: Automatic Optic Inspection, Image Mosaic, surf Registration, Weighted Identification

独 创 性 声 明

本人声明，所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名： 李 芬 日 期： 2010.5.16

学位论文使用授权书

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权武汉理工大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存或汇编本学位论文。同时授权经武汉理工大学认可的国家有关机构或论文数据库使用或收录本学位论文，并向社会公众提供信息服务。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

研究生 (签名)： 李 芬 导师 (签名)： 李 云 日期 2010.5.16

第1章 绪论

1.1 本课题来源及研究意义

本文研究的课题来源于本人在深圳先进院实习期间，基于国家自然科学基金资助项目（NO.608060500）：印刷电路板自动光学检测仪（AOI）的实际应用型课题。

信息产业的飞速发展以及全球无线产业的快速扩张，给中国印刷电路板（Printed Circuit Board, PCB）行业带来了新的机遇。由于中国兼具成本和市场优势，PCB行业有逐渐向中国转移的趋势。据中国印制电路协会统计，仅2007年就有150万平方米PCB板在中国生产，约占世界总产量450亿美元的30%。另一方面，随着用户对电子产品微型化，高性能、超薄等要求的越来越高，一些消费类电子产品趋向于复合化发展，各个独立的功能模块集合在一块面积有限的PCB上，PCB加工质量将直接影响到产品的性能。

PCB制作过程工序繁多，每一道工序都可能会产生各种缺陷，这些细微缺陷如果不能在生产线上及早和准确地发现，可能会降低产品合格率、影响其可靠性，甚至导致整块印制板报废，进而增加生产成本。有调查显示，组装到仪器上再发现故障的费用是在装配印制电路板时发现故障所耗费用的10倍，而将产品投入市场后发现故障的费用将是在装配印制板时发现故障所耗费用的100倍，因此，缺陷检测作为PCB质量控制的重要手段，其意义不言而喻^[1]。

传统的PCB检测方式以人工目检为主，由操作人员使用发光的放大镜或校准的显微镜来完成电路板的检查。受元件尺度、检测效率等条件限制，该方式效率低下、劳动强度大、主观性强、速度低，容易使SMT生产线出现停顿。随着PCB行业朝着超薄型、高密度、细间距、低缺陷等方向高速发展，已不能快速准确的检测出缺陷，无法满足表面贴装(SMT-Surface Mounted Technology)生产线上的实际需求。现在已经被自动光学检测(AOI, Automated Optical Inspection)和自动X射线检测(AXI, Automatic X-ray Inspection)所取代，其中带X射线的检测设备在功能上优于纯光学系统。然而，AXI产品的价格是AOI产品的3-4倍，且AXI产品主要应用于产品的开发研制阶段，AOI纯光学检测则多用在SMT生产线上^[2]。

AOI的理论基础是光学原理和计算机视觉,它综合采用图像分析、机器视觉和自动控制等多种技术,对生产中遇到的缺陷进行检测和处理,是较新的确认制造缺陷的方法。AOI目前已得到越来越多的应用。它具有速度快、精度高、重复性好、操作容易等特点,可替代人工目检而用于表面贴装技术生产线上,确保生产过程中能及时发现不良品,并协助工程师对相关设备设置进行调整,从而大大降低返修成本,降低后期缺陷率。AOI检测系统对提高SMT产品质量效果明显,已成为电子制造业自动化的一个重要组成部分。^[3]因此对于PCB检测的自动光学检测系统进行研究,不断提出改进具有重要现实意义。

1.2 国内外研究现状

20世纪末,在欧美和日本,一些多年从事SMT 检测设备制造的厂商已经开始致力于研发一种能够代替人工目测的自动检测技术,并无一例外的选择了光学原理。

经过几十年的发展,AOI已逐步走向成熟,但该项技术主要掌握在国外公司手中。AOI的主要生产厂家有英国的DiagnoSYS、美国的Teradyne、Agilent(安捷伦),日本的OMRON、以色列的Optrotech、爱尔兰的MVT等公司。

AOI 的使用在中国是比较早的,早期使用此类设备的用户基本上设备全部从国外进口。2002年以前,国内呈现进口AOI一统天下的局面,而进口AOI则价格非常昂贵,存在使用繁琐、复杂,以及由于 AOI设备编程调试繁复和语言不通等造成的工程师不能充分发挥AOI设备的性能,达不到预期的检测效果等问题。2003-2006 年,中国国内的SMT 行业人士也投入到了AOI 的研发事业中,其代表是东莞的神州视觉和厦门的福兴光电,随后还有深圳振华兴科技有限公司、日东电子科技(深圳)有限公司等。通过他们的努力,基本上打破国外AOI在中国的垄断地位,同时也推动了该行业在国内的迅速发展,但由于国内AOI的研究起步较晚,仍存在许多不足之处。

1.2.1 现有技术概况

AOI 技术的形式多种多样,但其基本原理是相同的,即用光学手段获取被测物图形,一般通过一个或多个图像传感器(或摄像机)取得检测物的照明图像并将其数字化,然后以某种方法进行比较、分析、检验和判断,相当于将人

工目视检测自动化、智能化。不同 AOI 软、硬件设计各有特点，总体来看，其分析、判断算法可分为 2 种，即规则检验和图形识别检验。

1) 规则检验法是按照一些给定的规则检测图形。如以所有连线应以焊点为端点，所有引线宽度、间隔不小于某一规定值等规则检测 PCB 电路图形。规则检验法具有可以从算法上保证被检验的图形的正确性，相应的 AOI 系统具有制造容易，数据占用空间小等特点，但该方法确定边界能力较差，往往需要设计特定方法来确定边界位置。

2) 图形识别法是将 AOI 系统中存储的数字化图形与实验检测图像比较，从而获得检测结果，这种方式的检测精度取决于标准图像、分辨力和所用检测程序，能取得较高的检测精度，但所需采集数据量大，数据实时处理要求高等特点，由于图形识别法用设计数据代替规则检验法中的设计原则，具有明显的使用优越性^[4]。

目前，图形识别法已成为主流，这是由于 AOI 技术主要检测对象为 SMT 元件、PCB 电路板、焊膏印刷图形、等种类，比较复杂而且检测对象发展变化很快，相应的设计规则、标准很难全面跟上，为此，基于设计规则的规则检验法应用起来较困难，而计算机技术的快速发展解决了高速图形处理难题，使图形识别法更易实用化。

现在市场上常用的 AOI 图像识别算法又分为如下几类：

(1) 图像分析技术。目前图像分析技术主要包括模板匹配法、边缘检测法、特征提取法、灰阶解析等。如国外的 OMRON 公司采用的“颜色分析”，SAKI 和 TRI 公司采用的“灰阶解析”等。其中，模板比较法较为常用，它是通过获得一个物体图像，并用该信息产生一个刚性的基于像素的标准模板，找出模板与待检测图像之间有最小差别的位置停止搜寻^[5]。

由于元件检测图像很少完全匹配模板，所以模板是用一定数量的容许误差来确认匹配的，如果模板太僵硬，可能产生对元件的“误报”；如果模板松散到接受大范围的可能变量，也会导致误报。

(2) 运算法则技术。传统的很多 AOI 厂商采用图像配对与多种图像分析技术相结合的方法，针对不同的元器件，形成一个特定的运算法则。但是在有许多元件的复杂板上，需要形成众多的不同运算法则，要求工程师在需要改变或调整时做大量的重新编程，实际应用的灵活性较差，效率低下，精度也不理想^[6]。

(3) 统计建模技术。通过学习一系列样本,使用统计外形建模技术(SAM)来自动计算怎样识别合理的图像变化, SAM 使用自调性、基于知识的软件来计算变量,这样可减少编程时间,消除每天的调整,而且误报率也比较低^[7]。统计建模的概念最早是由美国的 Cyber Optics 公司提出的,现在国内外采用这项技术的有 Cyber Optics 公司以及中国神州视觉有限公司的 Aleader 系列^[8]。

(4) 三维立体视觉成像技术。采用 3-D 系统,则能提供有关焊膏面积、以及焊膏高度和体积的精确信息,还能根据金属痕迹、印板或焊接掩膜的表面,确定焊膏厚度,目前国外的 AOI 设备可以做到焊膏检测,如美国的 Agilent、YesTech、以色列的 Orbotech 等公司^[9]。还有一些国外其他厂家的焊膏 AOI 设备采用的是用激光三角法来检测焊膏的厚度,而国内对于焊膏检测尚且还无能为力。

1.2.2 AOI 技术有待改进关键问题

目前在整个自动光学检测技术领域,AOI 技术还十分不成熟,因此在实际应用中都不够理想。国内外 AOI 生产厂商所要攻克的技术难题有如下几个:

(1) 只能作对外观检测,AOI 系统不能检测电路错误,也无法对 BGA(Ball Grid Array,球状矩阵排列)等不可见的焊点进行检测^[10]。(2) 热干扰对 AOI 的影响(使元器件产生虚假特征)以及多焊、少锡、偏移、歪斜的工艺要求标准界定不同,容易导致误判,影响检测的准确度^[11]。(3) 虚焊的比较检测:尤其是对空焊问题的检测,是所有中、外 AOI 生产厂商都没有解决的技术难题。这一问题的解决方案,如前文所述,部分国外厂商研究出三维视觉检测,但测试的结果基本差不多,不令人满意,国内对此技术尚在研究中^[12]。

除此之外,由于发展起步相对较晚,目前国内自主研发的 AOI 检测算法复杂、烦琐且调整时间长,由于前期的 PCB 图像拼接等图像处理算法以及后期的检测识别算法都不够成熟,整个 AOI 系统不仅操作复杂,而且经常出现误判漏判等问题,检测速度慢与 SMT 生产线不协调,检测精度和速度远远不能满足实际应用的需求精度。

1.3 本文的主要研究内容

本文在阅读了大量国内外参考文献之后,针对当前国内 AOI 设备存在的误报率高、检测精度低、操作复杂以及检测速度慢等缺点出发,主要研究了一种新的拼接算法及加权识别检测算法。

在检测每一块 PCB 板时, AOI 系统都要通过摄像机来采图像集。为了确保检测精度,图像采集时对分辨率要求很高,这就使得摄像机的视野受到限制,很难一次成像得到整个 PCB 的图像。为了在低成本下获得大面积高精度图像,需要进行多次局部成像,再进行图像拼接操作获得被检测件的全景图像,为下一步的识别检测打下基础,因此采用何种拼接方式以及优秀的拼接算法使拼接后的图像最大程度地与原始图像接近,失真尽可能小,没有明显的缝合线对整个系统的拼接精度以及后续的识别准确率有着重要的影响。

目前市场上自动光学检测技术中 PCB 图像拼接算法存在的问题有计算量大,速度较慢,拼接精度差;由于存在标定误差和机械误差,运动固定的步数后对应的像素为非整数,拼接时在水平和垂直方向上均会存在像素偏差,换行后不同行列上的拼接误差会累积,造成拼接成的矩阵图存在明显错位。同时,拼接过程中存在的内存消耗过大,响应速度慢等问题使得算法性能大大降低。

针对这些问题,本文研究的 PCB 板的图像拼接算法主要从两个方面进行了改进。由于 AOI 检测系统中的 PCB 图像拼接,它是基于实际工程应用的,拼接过程中的很多错位偏差以及内存消耗过大导致内存不够以及响应时间慢等问题都是由于拼接方式不当造成的。于是本文首先是从实际工程中的拼接方式上做出了改进,其次又将新的 surf 配准引入 PCB 图像拼接算法中进行优化。

AOI 系统中的识别检测算法一直是重点也是难点,它在很大程度上决定了整个系统的性能。传统的识别方法不足之处在于:事先需要存储尽可能多的标准模板以尽可能提高检测精度,否则在测试中一旦出现新的可以接受的图像,就很难将其综合到标准中去,电脑需要非常大的存储空间。检测精度也不能令人满意,在比对图像时,传统的图像比对方法采用逐个比较的方法,首先用第一个标准去比较,如果没有通过,再用第二个标准比较,一直到标准比较完毕或是通过为止。这样标准越多,判别花费的时间越长。如果标准不多,则误判很快增加。在对电路板上的器件进行自动光学检测时,由于待识别的目标种类繁

多,且对光的反射率各不相同,因而一些复杂元器件难以提取特征信息以及光照不均匀等因素也对传统识别算法的精度造成很大影响。

针对这个不足,本文提出了一种加权识别算法,自动识别出关键检测区域与非关键检测区域,将待检测的图像先分块,也就是分割成一些小的图像矩阵,统计图像矩阵各点的样本方差,然后对图像矩阵各个点均给出一个 0-1 之间的权值,进行柔性识别检测,很好的消除了传统算法中的灰度敏感性问题,只需要较少的模板,就能达到很好的学习效果,识别的时候只需要与一个学习得到的标准模板进行匹配,识别速度快,能检测出电路板可能存在的普遍缺陷,精度也有一定提高。本文的章节安排如下:

第一章介绍了研究背景、国内外发展及技术概况、本文研究的目的意义及主要内容。

第二章介绍本课题的 AOI 检测系统的结构和工作原理,那是本文研究算法能完整实现不可缺少的平台及基础,分析了 AOI 系统的关键技术并引出本文所研究的两个关键算法即图像拼接和缺陷识别算法,分别对实际工程应用中这两个算法的现有技术及其不足之处作了研究。

第三章主要是针对传统的拼接算法的不足之处,提出了新的 PCB 拼接算法,并经过结果对比,展现本文算法的优势。

第四章是在研究国内厂商传统的识别检测方法后,针对其尚存在的识别精度低、所需建立模板过多,检测速度慢等问题,提出了一种新的缺陷检测算法即加权识别算法,有效解决由于光照不均、元器件反射率各不相同等问题造成的识别误判并大大提高了检测速度。

第五章主要是对全文做了个总结概括并对未来 AOI 的发展趋势发表了一些自己的看法。

第2章 AOI 系统关键技术分析

本文重点研究的是 AOI 系统中的两个核心算法即 PCB 板图像拼接算法以及一种新的加权识别检测算法, 由于这两个算法并不是独立实施的, 需要整个 AOI 硬件平台系统作为支撑, 本文研究的两个核心算法均需在此 AOI 系统平台上调试运行, 故以下将对此整个 AOI 系统结构及工作原理做简要分析, 然后在此基础上分析了 AOI 系统中 PCB 图像拼接现有技术方案以及存在的问题; 也对本文的另一个研究内容, 各厂家的缺陷识别检测技术及其不足之处进行了研究, 为后续本文提出的新的解决方案做铺垫。

2.1 本文 AOI 系统工作原理

本文中的 AOI 系统包含以下四个子系统: (1) 光学照明系统; (2) 精密运动平台控制系统; (3) 图像采集系统; (4) 图像识别检测系统。

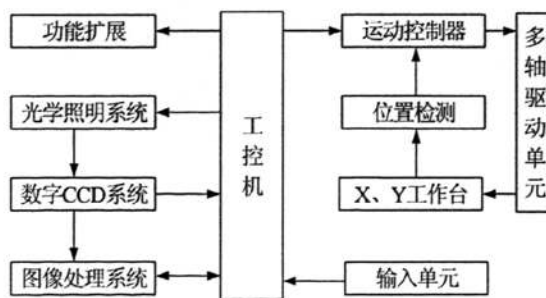


图 2-1 AOI 系统结构图

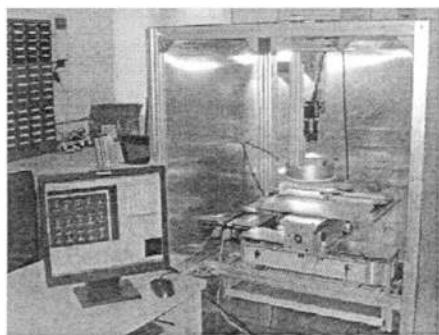


图 2-2 本文 AOI 系统实物图

本文中 AOI 系统检测 PCB 板流程为: 系统启动自检, 在成批检测前向计算机系统主机输入 PCB 标准格式文件, 通过计算机系统检测软件恢复显示 PCB 板标准全图、建立标准图模块库, 根据标准特征数据设定系统运动采集等参数;

检测时将待检 PCB 板置于工作台, 检测软件通过运动控制卡控制伺服电机进而控制工作台运动, 使得放置 PCB 板的平台相对于固定不动的摄像机作有规律的平面运动, 同时检测软件通过图像采集卡控制摄像机 CCD, 在光源照明下

获取高精度数字化的 PCB 待测图模块，将其保存入待测图像模块库等待拼接以进行缺陷检出和分析处理等；当捕捉完一个小模块图像后，工作平台被控制继续运动以便采集设备能采集下个待测图模块并送与处理，如此反复规律性连续采集直至采集完毕^[13]；检测软件进行缺陷检出分析处理时，根据已知检测精度和误差容忍度等检测要求，利用标准图模块对待测模块进行缺陷位置检出和缺陷分析，将相关信息及时反馈操作员。

2.2 AOI 系统关键技术分析

2.2.1 AOI 系统软件模块

整个 AOI 系统要完整的运行，主要包括 6 个软件模块，如图 2-3 所示：

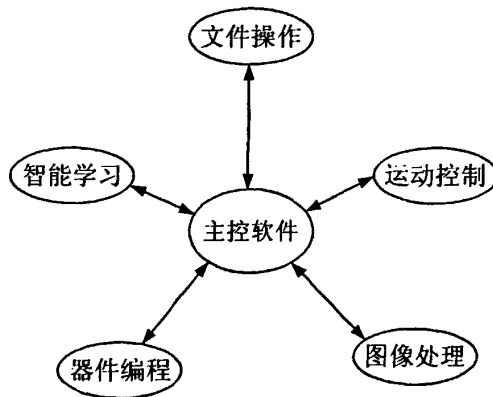


图 2-3 AOI 系统软件模块示意图

主控软件：消息处理机制实现人机交互；模块间的相互调用；程序的顺序执行

图像处理：实时采集图像数据；结合图像处理算法进行元件判定。图像处理算法是整个图像处理的核心模块。该模块将图像采集模块传来的图像 进行处理，通过软件算法发现电路板的缺陷，并将缺陷进行标示，通过显示终端显示出来，供操作人员进行分析。该模块另一功能是，操作人员在寻找缺陷时，该模块允许检修人员操作工作台，对缺陷进行定位，以利于检修人员进行人工辨识及缺陷修补。

智能学习：对检测过程中发现的缺陷进行归类，为判定同类器件提供依据。

·文件处理：设定和保存 PCB 板 NC 数据；更新元器件库；保存、打开系统参数。

运动控制：控制电机运动到目标位置；回原点。

器件编程：录入器件的 CAD 参数；提取器件的识别特征。

2.2.2 AOI 系统软件运行流程

AOI 系统运行流程图如图 2-4 所示：

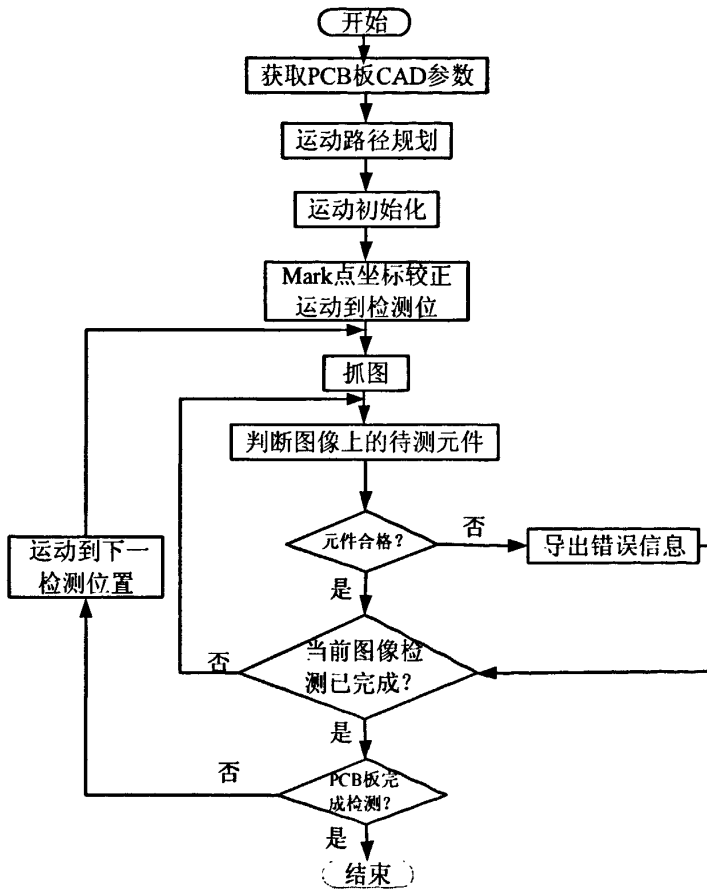


图 2-4 AOI 系统运行流程图

如流程图所示，从抓图这一步开始，下面涉及到的图像拼接以及 PCB 板的缺陷识别检测算法是整个 AOI 系统运行的核心部分，也是本文研究的重点，

本章接下来将研究本文重点研究的两个核心算法的现有技术及其不足，为本文提出的新的算法及其改进之处作良好铺垫。

2.3 PCB 图像拼接技术

2.3.1 PCB 图像拼接原理

由于系统检测在尺寸精度上的需求，摄像机需要具有高分辨率，视野有限，只能采集到局部图像，需通过 XY 平台来移动 PCB 板从而分多次获取整个 PCB 板上的元件，要完成后续的缺陷识别就必须先进行局部图像拼接获得完整的 PCB 板概略图。

PCB 概略图可以真实的再现 PCB 板上元件的位置和形状信息，为元件编程提供了直观的解决方案,为后续的缺陷检测识别打下基础。此外，它还为元件的定点运动、检测状态以及缺陷查看等提供可视化背景支持。因此，一个可靠的高精度高速度 PCB 板图像拼接算法具有很好的实际应用价值。

本文中的 AOI 系统的方法为：摄像机固定不动，将 PCB 放在两维工作台上，系统控制步进电机来驱动两维工作平台作直线运动，实现纵向和横向的连续扫描。若将 PCB 的长度分成 k 等分，若再将 PCB 的宽度分为 j 等分，则摄像机将摄取 $k*j$ 幅相同大小的图像，经过图像拼接得到整个 PCB 图像，实际工程应用中，本系统运行时需要摄取 $10*14$ 幅局部小图像进行逐一拼接。因此图像拼接的高精度高速度直接影响了后续的认识精度以及整个系统的效率，而图像拼接的精度毫无疑问与运动平台的精度息息相关。

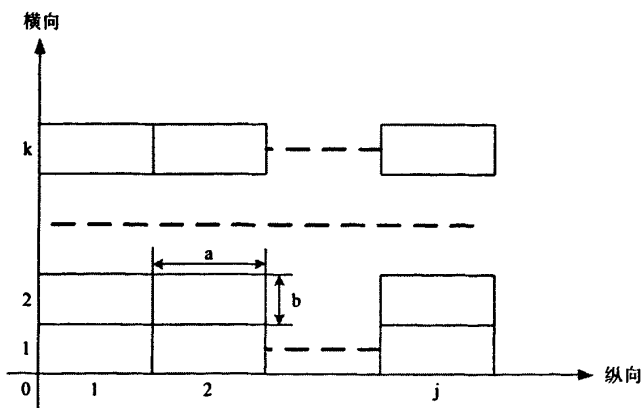


图 2-4 拼接过程示意图

基于 AOI 系统的实际工程特点, 图像拼接算法除了与算法本身的性能有关; 还与以下因素相连: AOI 系统中 PCB 板图像拼接非单纯的静态图像拼接, 每次采集完一副小图像, 精密平台需运动到下一个指定位置进行采集下一幅图像, 因此采用何种拼接方式也会对 PCB 板图像的拼接质量产生一定影响。

2.3.2 传统 PCB 图像拼接技术分析

随着自动光学检测技术的快速发展, PCB 板图像拼接技术已成为近些年的研究热点。目前, 针对 PCB 图像的拼接有基于硬件的拼接和基于软件的拼接两种方式。

基于硬件的拼接即通过控制精密工作平台的位移和速度来实现图像的自动采集和拼接, 该方法对硬件设备要求高, 控制系统复杂, 成本较高, 拼接速度很快。如谢佳豪等在印刷电路板自动检测系统中采用步进电机等距运动进行图像拼接, 拼接精度为 20 微米^[14]; 杨先明在红外电路故障检测系统中采用计算机控制的 3D 平台带动摄像头采集图像进行拼接, 拼接精度为达到 12.5 微米^[15], 精度并不是很高不能满足实际检测需求。基于传统硬件拼接方法, 很容易产生拼接换行或换列后的错位误差, 而且图像采集拼接的精度彻底依赖于工作平台的运动精度, 所需成本很高。陈世哲在其所设计的自动视觉检测中采用了光栅定位的精密传动子系统, 确定出序列图像后一副在前一副图像中的配准位置, 进而实现图像的拼接, 拼接精度可达到亚像素级^[16]。虽然拼接精度大大提高, 但是由于采用了光栅技术, 使得系统的成本大大提高, 而且系统的稳定性降低。

现有的基于软件的图像拼接技术较新的主要有广东工业大学罗兵等于 2007 年提出的基于小波变换的 PCB 图像拼接, 分别利用有效垂直高频系数的垂直投影和水平高频系数的水平投影进行配准, 低频部分作拼接的灰度渐变平滑处理^[17]。王建晖也于 2009 年提出的基于双域特征的 PCB 图像拼接^[18], 以及较新的算法是西安电子科技大学杨艳伟于 2009 年提出的基于 SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 特征的 PCB 图像拼接技术研究等^[19]。这些拼接算法仍然存在拼接时间较长的问题, 往往在秒级甚至是十多秒, 拼接速度慢, 不易于工程上大量图像的快速拼接, 也未能解决 PCB 拼接过程中数据量过大, 内存消耗巨大影响系统运行的一些问题。

2.4 缺陷识别算法

芯片的缺陷检测识别是 AOI 检测的核心，识别精度决定系统的最快检测速度以及稳定性。需要说明的是，本文研究提出的加权识别算法主要用于检测 PCB 图像中元器件的缺陷模式，这些缺陷种类主要包括缺件，错件，芯片偏移等芯片缺陷；以及桥接，短路，短路等焊点缺陷^[20]，如图 2-5 所示。

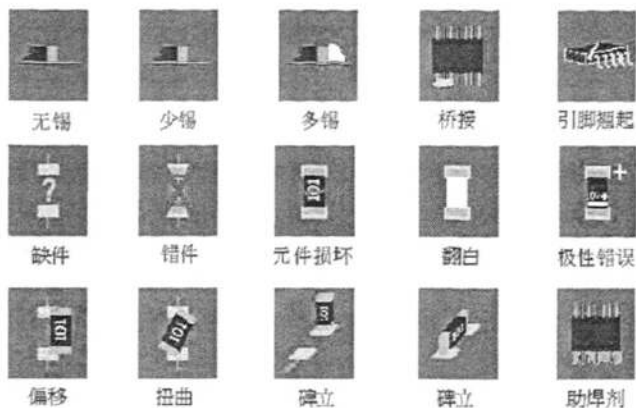


图 2-5 AOI 系统缺陷示意图

2.4.1 传统识别方法问题分析

很多 AOI 系统生产厂家一直都致力于研究 PCB 基板瑕疵的检出与识别方法，不同的厂家提出各自不同的算法。概括起来主要有基于像素的图像匹配和基于特征的分析方法。

基于像素的图像比对是首先良品图像进行统计学习,检测时将待检测品和良品的标准图像逐个像素进行对比，如果有足够多的像素差值超过预设值则判为不良品。这种方法使用简单，对用户要求不高,但工艺稍有变化时要重新学习,否则误报率升高，而且检测时间长，系统效率低下^[21]。

特征分析方法则模仿人的认知方式，通过选择一些稳定的图像属性来描述良品和缺陷的图像模式。常用特征包括形状、纹理、颜色、灰度比等属性，多个特征一起构成特征向量。特征分析方法区分良品或缺陷类型就是通过比较待测图像的特征向量与良品或缺陷的特征向量的相似度^[22]。

现有的 AOI 工程中常见的做法是搜集一些合格样品进行学习，得到一系列有效的特征向量建立相应的模板信息，然后将待检测的 PCB 板的相应的元器件

特征与这些模板一个一个进行匹配。在实际应用中存在以下问题：

1) 事先需要存储较多的特征向量以及尽可能多的标准模板数量来提高检测精度，否则在测试中一旦出现新的可以接受的图像，就很难将其综合到标准中去，如果标准不多，则误判很快增加，检测精度也不能令人满意，储存大量的标准模板，电脑需要非常大的存储空间而且常常使算法显得得很臃肿^[23]。

2) 在比对图像时，传统的图像比对方法采用逐个比较的方法，首先用第一个标准去比较，如果没有通过，再用第二个标准比较，一直到标准比较完毕或是通过为止。这样标准越多，判别花费的时间越长^[24]。

3) 对于不同元器件，由于其本身的特点各不相同，若统一提取传统方法中常用的形状、或纹理、灰度比等特征来判定，效果并不是很好，而且对不同的元器件，某些缺陷的判定方式也不尽相同，以最常见的电容和电阻举例，在判定错件的时候，电容需要提取其主体部分通过颜色度的方式来分析，而电阻则需要通过字符识别来判定^[25]。

4) 此外，PCB 板上的元器件种类繁多而复杂，由于受光照不均等影响，不易提取特征向量，对识别精度造成一些影响，另外，某些特殊元器件本身结构信息复杂，不方便提取出相应的特征向量的，为了在最大程度上提高 AOI 系统的精度，需要针对这些具体情况采取特殊方法识别检测。

2.5 本章小结

本章节主要分析了本课题的 AOI 检测系统的结构和工作原理，那是本文的主要内容所研究算法能完整实现不可缺少的平台，分析了 AOI 系统运行的关键技术着重引出了本文研究的两个核心算法，并对这两个核心算法即 AOI 系统中的 PCB 拼接技术以及缺陷识别检测算法的现有技术现状及其不足作出了研究分析，为后文的研究做出了铺垫。在下一章节将提出本文所研究的在实际 AOI 工程应用中效果较好的新的拼接方法以及引入 surf 配准的 PCB 图像拼接算法。

第3章 AOI 系统 PCB 图像拼接算法研究

在 AOI 检测中,为了保证检测精度,图像采集的分辨率一般要求达到 $20\sim 50\mu\text{m}/\text{pixel}$,因此,即使是 600 万像素的 CCD 摄像机在图像采集时,由于拍摄视野所限,不可能覆盖 PCB 的全板,只能采集到多个 PCB 板局部小图像。为确保能准确的找到需要编程的元件位置,仅通过运动平台的盲目运动是远远不够的,需要进行多次局部成像,再进行图像拼接来获得被检测件 PCB 板的全景图像,以进行后续的认识、缺陷检测等。

本章在第二章已分析一些传统拼接技术及其不足之后,围绕目前 AOI 系统实际应用中 PCB 板图像拼接尚存在的问题展开,基于以上问题,本文研究的拼接方法是基于软件和硬件系统的严格配合以达到低成本下 PCB 图像拼接的高精度和快速度,提出了一种 PCB 图像拼接的新方法及其优化,并为其它同类问题的解决提供了可能。硬件系统部分主要是指相机标定步数转化。本章将着重研究对 AOI 系统中传统 PCB 图像拼接方式的改进以及算法优化。

3.1 相机标定

相机标定必须在 AOI 系统的 PCB 图像拼接进行之前完成以确保图像拼接的精度。相机标定的作用是确定相机捕捉的像素坐标与 XY 工作台物理坐标之间的一一对应关系。避免运动平台运动特定的步数后,对应的为非整数像素,导致错位误差,影响图像拼接的质量。

无论是运动补偿还是间距测量,其最终目的均需要转化为伺服运动机构的运动,因此,必须求出像素与电极运动步距的对应关系。接下来我们在上述分析的基础上,求解像素与电极运动步距的具体步骤:

选定一块特征明显区域作为模板,先单独控制 X 方向电机转动一定的脉冲数(StepX),测量出模板在在图像 X,Y 方向上移动的像素位移 PixelX1 和 PixelY1;然后单独控制 Y 向电机转动一定的脉冲数(StepY),测量出模板在在图像 X,Y 方向上移动的像素位移 PixelX2 和 PixelY2;则图像(x1,y1)运动到(x2,y2),电极 X 向与 Y 向需要运动的步数 StepXMove 和 StepYMove 为:

$$StepXMove = \frac{k_1(y_2 - y_1) + x_2 - x_1}{1 + k_1^2} \times \frac{StepX}{PixelX_1} \quad (2-1)$$

$$StepYMove = \frac{k_2(x_2 - x_1) + y_2 - y_1}{1 + k_2^2} \times \frac{StepY}{PixelY_2} \quad (2-2)$$

其中: $k_1 = PixelY_1 / PixelX_1$; $k_2 = PixelY_2 / PixelX_2$

标定完成后, 通过标定参数便可以控制电机运动相应的像素距离。

由于运动前后识别对象均需要落在相机的有限视场内, 且标定过程受到光照不均等外部环境的影响, 标定精度不可能很高。虽然可以采用多次测量取平均值、多角度方向标定等方法确保结果正确, 但是误差还是无法消除, 标定精度只能同相机的分辨率相当。实际检测中, 该精度并不能满足 PCB 的检测需求, 以当前 AOI 系统为例: 在分辨率为 20um 时, 对于 300mm×400mm 的 PCB 板, 它的累积像素偏差可以达到 15Pixels-20Pixels。因此在将精密运动平台调到最佳合适状态后, 仍需要很好的拼接方式以及优秀的拼接算法来提高 PCB 图像拼接的速度和精度, 这将是本文第三章重点研究的内容。

3.2 本文提出的 PCB 图像拼接方法改进

PCB 板完整的高分辨率概略图最终是通过运动平台的运动并结合有关的图像拼接算法得到。对于一个完整的 PCB 板图像, 图像采集系统需采集多次获得多幅局部小图像, 这些小图像如何存取, 每幅小图像之间的拼接采取何种拼接方法直接影响了系统的内存消耗以及运行速度, 从而决定了系统的效率。

3.2.1 拼接方法改进

AOI 实际应用中, PCB 图像的拼接最常采用的逐行或逐列拼接法。拼接前, 预先设定每次移动的像素距离 (小于相机分辨率), 并且经过计算公式转换成为 X 和 Y 电机需要运动的步数。开始拼接后, 首先选定起始拼接位置, 依次移动电机到下一个相邻拼接位, 然后在预设的像素坐标处连接成一幅完整的图像; 拼接完成一行或一列图像后, 运动平台运动预先计算的换行步数, 完成换行后, 再次重复上面的拼接过程, 直到得到完整的 PCB 拼接图即可。

实际拼接的过程中, 存在以下问题: 以本文 AOI 系统中数字相机采集的单幅图像数据量为 4M (1360*1024 彩色 CCD) 为例, 一块 400mm*300mm 的 PCB,

在图像分辨率为 20um 时，若不做附加处理，其数据量可以达到 900M 以上。

而拼图时会用到图像数据的读写操作，在 AMD Athlon 4400+ (2029GHZ)，1G 内存的硬件条件下测试内存读速：拷贝 200M 的数据需要 340ms，400M 的数据需要 700ms，到 500M 时时间达到了 81S。拼图过程中，内存读写频繁、图像数据量大，内存消耗巨大严重影响了系统运行的流畅度，而且运行时间也较长；受机械误差，标定误差，回原点精度等影响，伺服电机运动相同的步数时，理论运动像素距离与实际运动像素距离间不可避免会有细小的差异，该差异会使得拼接的 PCB 图像产生失真，进而影响到后续的处理精度，甚至产生错误。

这就需要拼接过程中，缩小图像然后存储以减小内存提高速度，现有的 AOI 实际工程中常用的方法是采集单幅图像——缩小该图像——拼接到已完成缩略图的拼接方式，由于图像的像素位置信息都是整数表示的，图像缩小的过程中，当从一副大图变为一副小图时，不能保证变换后的图像也为整像素，那么边界的舍入处理，会影响最后的拼接精度。因此每次拼接的时候图像行方向上会存在舍入偏差，多次拼接后误差得到累积，换行后图像错位相对明显。

需要说明的是，传统 AOI 工程的拼接方法在拼图时，是选择上一副相邻的图像用作匹配图像。实验发现，该方式下，即使忽略掉每幅图像缩小时产生的舍入误差，能保证每两幅小图像之间拼接无明显偏差，但是行与行之间还是会有存在偏差。原因在于受光照等外部环境以及图像算法精度的影响，若在某一个特征不明显位置存在识别偏差时，该误差会一直延续和累加下去，从而影响最后的拼接结果。针对这一问题，本文提出改进后的拼接图具体制作过程如图 3-1 所示：

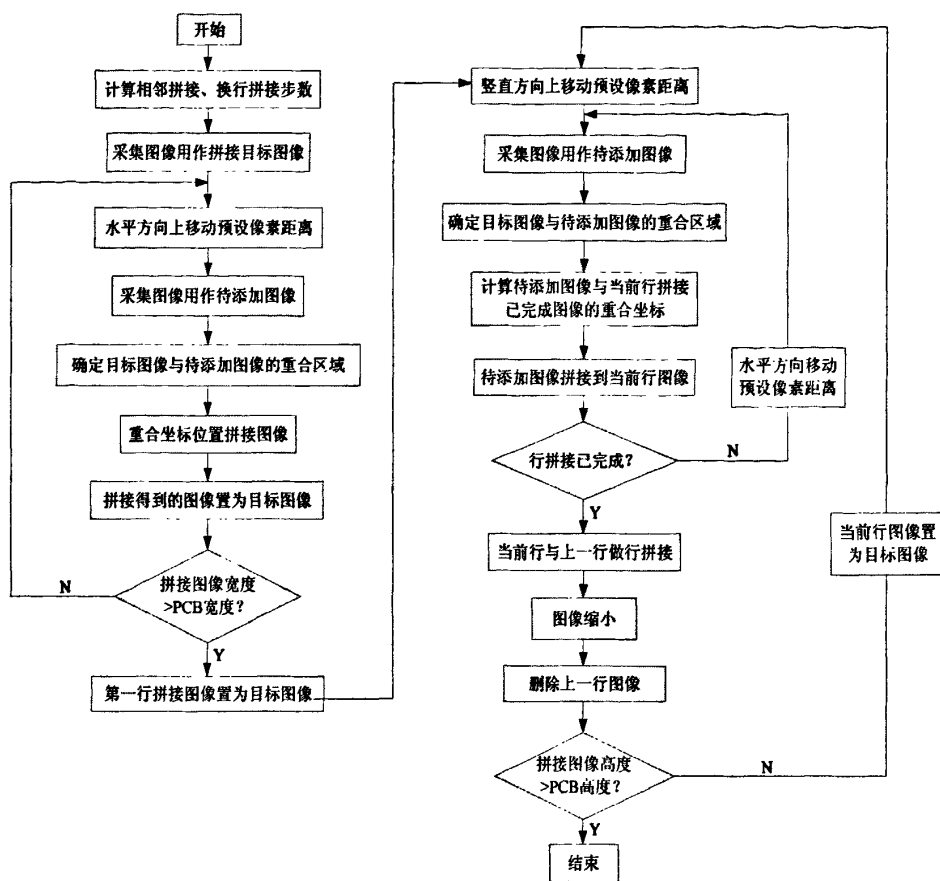


图 3-1 PCB 图像拼接算法流程图

从上述流程图中可以看出，本文采用的是整行缩小的方式进行图像拼接。也就是采集完第一副图像先存储，紧接着采集后续图像同时不断进行拼接，直到第一行或列拼接完成，将这一行或这一列缩小，同时将之前的存储图像删掉释放内存，这样内存消耗小，同时也不存在每幅图像拼接过程中边界的舍入处理导致的错位偏差，对拼接精度的提高是有所帮助的。

本文拼接方法选取的匹配图像是以上一行已经完成的图像为基础，当摄像头或平台有个小小的角度变化时，即使某一个拼接位置存在偏差时，到下一幅图像就可以自动纠正过来，不会存在误差累积传递，对全局的把握性好，能最大程度的保证拼接结果正确。

3.2.2 实验结果比较分析

经过上述分析之后，将本文提出的新拼接方法应用于实际 AOI 工程中，在系统平台上实验，只取采集得到的 16 幅相邻局部小图像进行拼接。传统的拼接方法可得到如下实验结果：

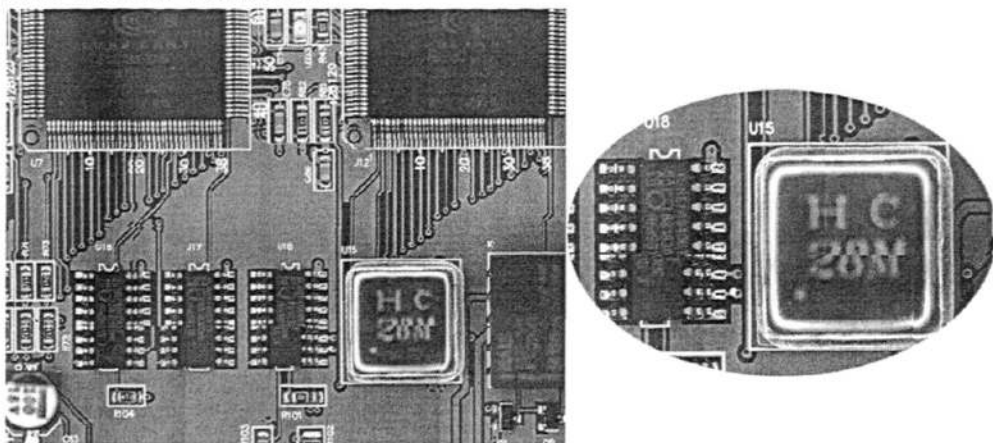


图 3-2 传统拼接方法拼接图

图 3-2 是采用传统拼接方式实验得到的图，由图像可以看出由于采集一副图像缩小后进行配准，每幅小图之间都有舍入偏差，有些小的移位。

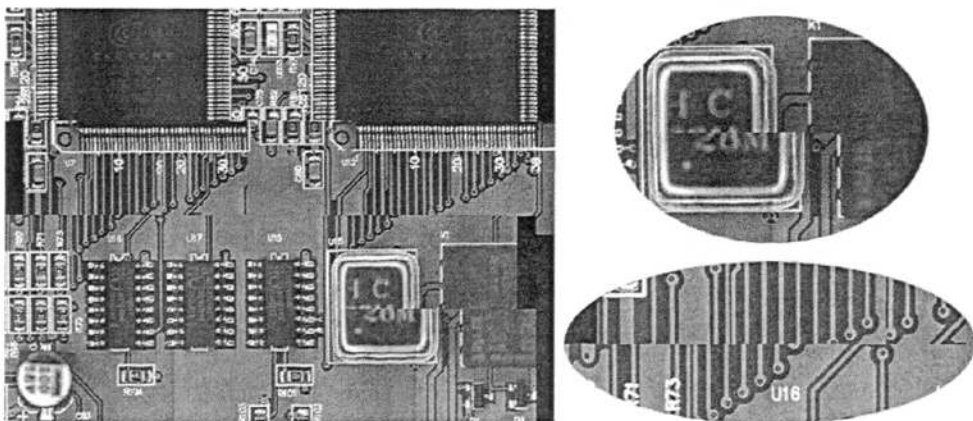


图 3-3 误差累积传递拼接图

从图 3-3 可以看出，右半部分出现严重的错位，这是由于传统拼接目标图像往往采取相邻的上一幅已拼接图像为目标图像进行配准，易产生某元器件发生偏移导致后续跟着偏移产生错位拼接，因此本实验过程中，稍稍移动一下相机，

当相机不是绝对垂直放置的时候,由于 HC28M 该元件高度较高,而相机的景深小(1mm 左右),在倾角影响下,会产生字符偏移,后面的图像全以前一副为标准配准,就全跟着偏移,这样就产生了严重的错位。

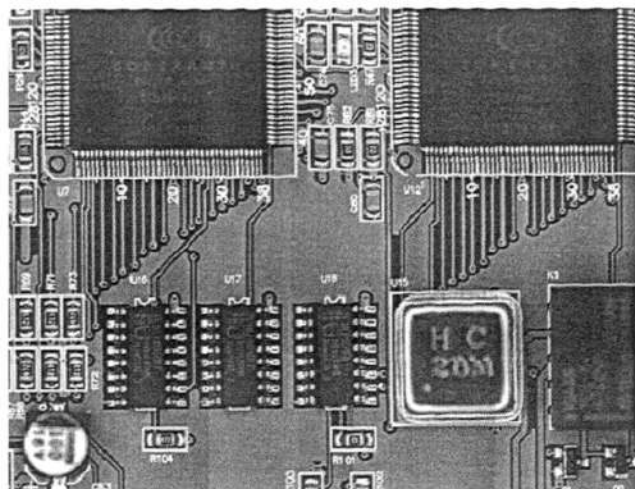


图 3-4 本文提出拼接方法结果图

图 3-4 为本文提出的拼接方式实验结果图,拼接完成整行才换行的方式下,行方向上没有存在缩小引起的错位偏差,同时列方向上的位置识别由于发生在图像缩小之前,因此也不存在缩小误差,而且由于标准图像有改进,是以拼接完的每一行作标准,即使相机有了小小角度调整,某处发生偏移,也能通过以之前行为标准进行调整矫正,误差偏差不会累积并传递,因此不存在严重错位偏差。

实验结果表明,采取本文提出的整行缩小的方式进行图像拼接,图像的数据量相对较少,在电脑硬件和拼图时间的允许范围之内。以 300×400 的 PCB 为例,它的数据量最多达到 80M,内存消耗少,不影响系统性能,拷贝一次时间为 16ms,在该方式下,图像拼接一次消耗时间可控制在 150ms 内,该速度能与位置切换和图像采集的速度相匹配,不会出现传统实际工程中系统运行拼接过程中“卡壳”的现象。拼接的时间最终取决于电机运动与相机采图时间之和。

仔细分析图 3-5 可以看出,拼接方法做出改进之后,相对传统工程应用的拼接效果,无明显的错位移位,在系统内存消耗和拼接运行的时间上都有提高,但是仍然依稀可以看到某相邻两图像间存在拼接的痕迹线。

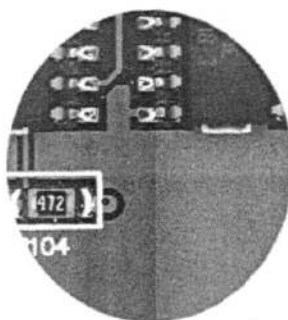


图 3-5 局部图像拼接缝隙

这是由于摄像头分辨率非常高，PCB 图像会被放大许多倍，容易受光照不均匀等对采集到的图像影响很大，表现为图像中间亮、周围渐暗，两幅拼接图像的重叠配准部分的灰度变化趋势是相反的，如何有效的提取每幅图像间的相同特征点进行配准来实现无缝拼接对整个 PCB 图像拼接的精度影响是很大的。此外，PCB 图像纹理有其特点，一种合适的配准算法可以将这些纹理特点加以利用减少拼接算法的复杂度，提高系统运行速度。接下来的 3.3 节，将围绕这个问题，将 surf 配准引入本文研究的 PCB 图像拼接算法，进一步对本章的图像拼接结果进行改善，获得更高的拼接精度和速度。

3.3 基于 surf 配准的 PCB 图像拼接算法

图像拼接算法的核心是图像配准，图像配准主要指对参考图像和待拼接图像中的匹配信息进行提取，在提取出的信息中寻找最佳的匹配，完成图像间的对齐^[26]。图像配准的精度很大程度上决定了图像拼接的精度。待拼接的图像之间，可能存在平移、旋转、缩放等多种变换或者大面积的同色区域等很难匹配的情况，一个好的图像配准算法应该能够在各种情况下准确找到图像间的对应信息，将图像对齐。

surf 算法是由 Herbert Bay 等人 2006 年澳大利亚的 EECV 会议上提出性能较好的应用于人脸识别、家居分类、图像配准等的新算法，surf 算法计算量较小、速度快，精度高，是现阶段较先进配准算法 sift 的改进算法^[27]。本人在研究过程中分析了 PCB 图像拼接的特点后，尝试将 surf 算法引入 PCB 拼接算法，改善实际工程中存在的由于图像光照不均造成的两幅局部图像边缘变化趋势相反而造成的拼接缝隙问题。

3.3.1 PCB 图像 surf 配准

图像拼接是找出两幅图像间相同或相似度较大的对应特征点进行配准，再进行融合得到完整的图像，实际工程中的 PCB 图像间存在这么多的变化，如何找出这些对应点进行精确配准是关键。图像配准需要考虑的三个主要问题主要是，图像之间的变换性质，关于特征的选择，以及特征之间的对应关系及匹配。接下来将结合 PCB 图像的拼接逐一进行分析。

AOI 系统运行过程中，由于是通过控制精密运动平台的运动改变位移来采集不同的局部 PCB 图像，而在采集相邻两图像时摄像头和 PCB 板之间不可避免会有平移量，因此待配准的两局部 PCB 图像之间存在平移变换。另外，在工作台有微小的移动或 PCB 板放置时存在的小角度偏斜，会使两幅局部图像之间存在一定的旋转角度，因而两幅图像间也存在一定的旋转变换；再有就是微小的尺度差异，主要来自于照片采集过程以及缩小过程中的舍入偏差。也就是为了提高 PCB 图像拼接精度，最好能让拼接算法实现尺度不变和旋转不变。

本文采用的方法是先找到图像中一些比较突出的不会因为光照条件的改变而消失或变化的稳定点，比如角点、暗区域的亮点、亮区域的暗点、边缘点等，既然两幅局部 PCB 图像中有相同的景物，那么提取出的稳定点之间也会有相互对应的匹配点。用找灰度图的局部最值的方法来寻找稳定点，由于数字图像是离散的，想通过求导或求最值这些操作都需使用滤波器，若使用同一尺寸的滤波器对不同大小的图像而言，效果并不好，可能出现一方取得最值而另一方没有取得最值的情况^[28]。本文中引入 surf 算法采用图像金字塔尺度空间的方法解决这一问题。

尺度空间理论最早出现于计算机视觉领域时其目的是模拟图像数据的多尺度特征。图像的尺度空间 $L(x, y, \sigma)$ 表示为高斯尺度函数 $G(x, y, \sigma)$ 和图像 $I(x, y)$ 的卷积，通常定义为：

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (3-1)$$

其中 $*$ 表示对 x, y 的二维卷积， σ 为尺度空间因子， $G(x, y, \sigma)$ 为高斯二维函数定义如下：

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (3-2)$$

DoG(Difference-of-Gaussian)尺度空间中检测局部极值以作为特征点，以使特

征具备良好的独特性和稳定性。DoG 算子定义为两个不同尺度的高斯核的差分, 其具有计算简单的特点, 是归一化 LoG (Laplacian-of-Gaussian) 算子 $\sigma^2 \nabla^2 G$ 的近似^[29]。

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (3-3)$$

其中 k 为常量。

2006 年 Bay 等人研究发现 Hessian 矩阵比 DOG 算法更先进, 在时间和精确性上表现都更为优异, 其行列式被广泛用来确定尺度以及位置^[30]。本文选用 Hessian 矩阵来提高计算速度和精度。

对于图像 I 中任意一点 $X = (x, y)^T$ 在尺度 δ 处的 Hessian 矩阵定义为:

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{yx}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

其中, $L_{xx}(x, \sigma)$ 是图像 I 与二阶高斯滤波二阶导 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\delta)$ 在点 $X = (x, y)^T$ 的卷积, 依次可类推 $L_{yy}(x, \sigma)$ 与 $L_{xy}(x, \sigma)$ 的含义。本文中引入 surf 算法用矩形滤波 (box filters) 近似高斯二阶导数, 用积分图像来提高计算速度, 计算这些滤波器的图像卷积。

假设点 $X(x, y)$ 为图像 $I(x)$ 中的某个像素点, 其积分图像为 $I_T(x)$ 可定义为:

$$I_T(X) = \sum_{i=0}^{x} \sum_{j=0}^{y} I(i, j) \quad (3-5)$$

积分图像 $I_T(X)$ 表示以像素点 $X(x, y)$ 和原点为顶点的矩形区域内所有像素之和, 在原始图像上不断扩大矩形方框滤波器的大小来形成不同尺度的图像金字塔。然后在不同的尺度空间下寻找极值^[31]。

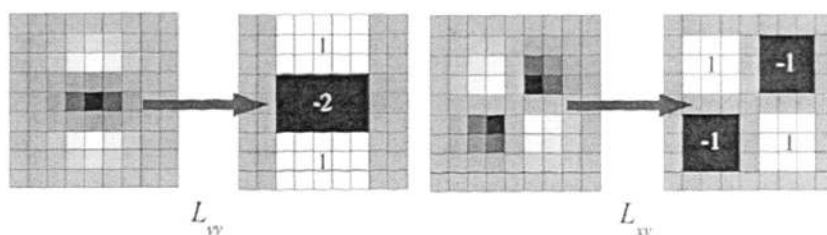


图 3-6 使用均值滤波所得二阶高斯滤波近似值

把两幅原始图像想象成是连续的, 分解成许多不同空间分辨率的子图像,

分别以它们作为底面作四棱锥高分辨率(尺寸较大)的子图像放在下层,低分辨率(尺寸较小)的图像放在上层,从而形成一个金字塔形状,每一个截面与原图像相似,那么两个金字塔中必然会有包含大小一致的物体的无穷个截面,通过对低分辨率、尺寸较小的上层进行分析所得到的信息可以用来指导对高分辨率、尺寸较大的下层进行分析,从而大大简化分析和计算^[32]。

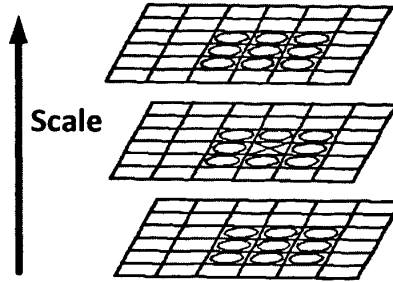


图 3-7 在特征空间中的 $3 \times 3 \times 3$ 的区域中检测极大或极小值

在每一个尺度下搜集极值点作为特征点,检测尺度空间的极值时,图中标记为 \times 的像素点需要和相同尺度的 8 个相邻像素以及与之相邻的两个尺度中的 9 个像素进行比较也就是在共 26 个像素点中寻找极值点,以确保在尺度空间和二维图像空间中都检测到局部的极值。如果某像素是 $3 \times 3 \times 3$ 邻域中的极大或极小值,则初步确定该点为一个特征点,记录下该点所在的尺度和在图像中的坐标。为了确定图像的特征点。

将 Hessian 矩阵函数用泰勒公式展开:

$$H(X) = H + \frac{\partial H^T}{\partial X} + \frac{1}{2} X^T \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} X \quad (3-6)$$

特征点的位置由上式的极值决定,即:

$$X = - \frac{\partial^2 H^{-1}}{\partial X^2} \frac{\partial H}{\partial X} \quad (3-7)$$

找到稳定点之后需要确定相同的稳定点是否处在图像的同一配准位置,本文选择在稳定点上附加特征向量使之成为更稳固精确的特征点,也就是说形成了多维向量。

需要考虑的是待拼接的 PCB 图像间存在着旋转变换,为了保证 PCB 图像拼接中的旋转不变性,在特征点周围选取一个与尺度相应的邻域,求出主方向,

主方向确定实质上是对关键点附加详细的局部特征信息,其中 SIFT 采用在一个正方形邻域内统计所有点的梯度方向,找到占 80%以上的方向作为主方向;而 SURF 则选择圆形邻域,并且使用活动扇形的方法求出特征点主方向,以主方向对齐即完成旋转不变^[33]。

首先以特征点为中心,计算半径为 6σ (σ 是该特征点尺度)的邻域内此特征点分别在 x 、 y 方向的 Haar 小波响应(Haar 小波边长取 4σ),并给这些响应值赋高斯权重系数来符合客观实际,使靠近特征点的响应影响较大,而远离特征点的响应影响较小,得到一系列的响应向量。

其次用 $\pi/3$ 的弧形窗口绕着原点旋转,遍历整个圆形区域,计算次区域内的 Haar 小波响应的向量和,选择最长矢量的方向为该特征点的主方向。通过对特征点逐个进行计算,得到每一个特征点的主方向。如图 3-8 所示:

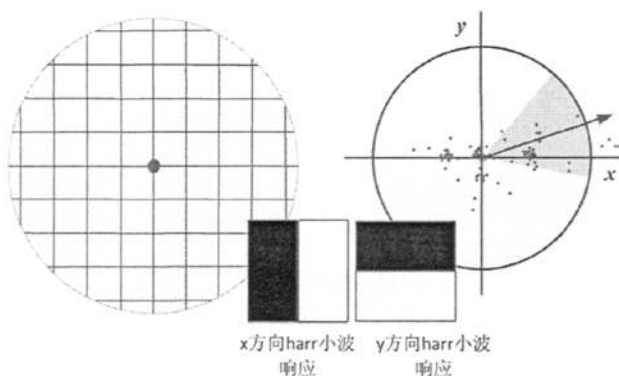


图 3-8 主方向确定示意图

然后,在这个已确定的主方向上分别构造大小为 20σ 的矩形窗口,将此窗口继续分成 $4*4$ 的子区域。针对每一个子区域,进行 $5\sigma \times 5\sigma$ 的取样计算以主方向为轴的法线方向和水平方向上的 Harr 小波响应,记为 dx 和 dy 。这样,每一个小的子区域得到一个四维向量:

$$VS = \left[\sum d_x, \sum d_y, \sum |d_x|, \sum |d_y| \right] \quad (3-8)$$

以主方向为中心轴可以在每个特征点建立坐标, SIFT 在特征点选择一块大小与尺度相应的方形区域,分成 16 块,统计每一块沿着八个方向占的比例,而 SURF 分成 64 块,统计每一块 $dy, dx, |dx|, |dy|$ 的累积和,形成 64 维向量, surf-64

维向量具有更好的区分性, 采用它作为特征描述算子, 再进行归一化则完成了对比度不变与强度不变^[34]。

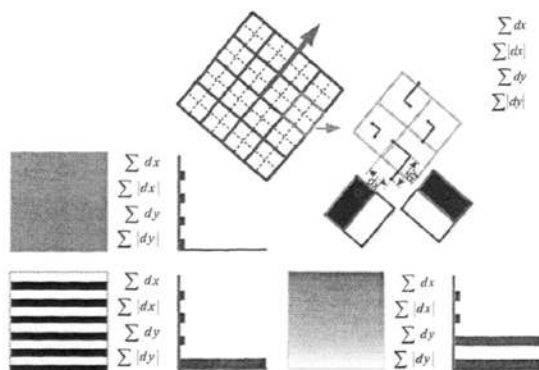


图 3-9 特征向量形成示意图

在经过上述一系列步骤检测出每幅带拼接的 PCB 局部图像合适的 surf 特征点后, 接下来需要进行特征匹配。特征匹配常用的方法有不变矩、相关系数法以及 Hausdorff 距离等^[35], 由于本文中提取的特征向量还包含其领域信息, 因此本文选自最近邻次近邻的配准方式。

若两幅待拼接图像为 I_A 和 I_B , $P_A = \{p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1m}\}$ 为图像 I_A 的特征点集, $P_B = \{p_{12}, p_{22}, \dots, p_{n2}\}$ 是图像 I_B 的特征点集。分别为 P_A 和 P_B 建立以特征点尺度 σ 的哈希映射表 F_A 和 F_B , 则 P_A 和 P_B 被细化成:

$P_A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}, P_B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 。按 σ 值从小到达排序, A_i 和 B_i 分别表示两幅图像中具有相同 σ 值的特征点集。

从 P_A 到 P_B 方向查找匹配点, 对于 P_A 中任意的特征点 p_{1k} 依据本身的 σ 值通过 F_B 映射到 $\sigma - \gamma_1 \leq \sigma + \gamma_2$ 的子集 $Q = \{B_i, B_{i+1}, \dots, B_j\}$ 上, γ_1 和 γ_2 为用于控制搜索范围的弹性参数。

然后在子集 Q 中搜索此特征点的最近邻 P_{nn} 和次近邻 P_{sn} , 并计算它们的比值, 若它们的比值小于预先设定的某一阈值 ε , 则认为该特征点 p_{1k} 和 P_{nn} 匹配^[36], 实验表明, 本文选择 $\varepsilon = 0.5$ 时, 匹配正确率较高。

依次重复上述不走完成每个特征点的匹配, 得到一个匹配对集合 $G_1 = \{N_1, N_2, \dots, N_S\}, N_k = (p_{k1}, p_{j2})$ 。同样道理, 从从 P_B 到 P_A 方向查找匹配, 得到匹配对集合 G_2 最后由 G_1 和 G_2 交集取得最终的匹配对集合 G 。

Surf 拼接算法优化流程图如图 3-10 所示:

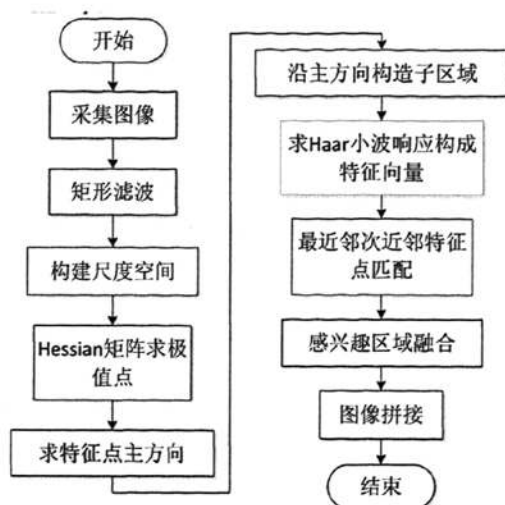


图 3-10 surf 配准的 PCB 拼接优化流程图

3.3.4 优化实验结果分析

基于 surf 配准的 PCB 图像拼接优化算法的实现是以本文的 AOI 系统为硬件平台，在 VC2008 和 OpenCV2.0 的环境下调试运行的。以下为系统平台采集到的两幅待拼接的局部图像 A 和图 B，见图 3-11 与 图 3-12 所示。

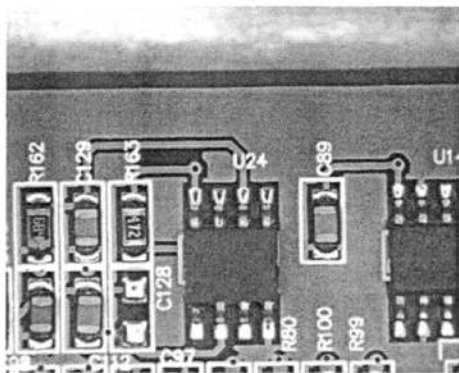


图 3-11 原图 A

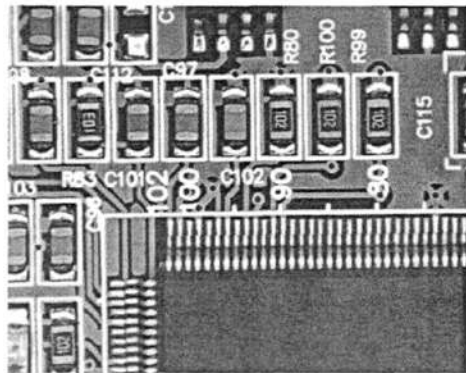


图 3-12 原图 B

用上文中分析的算法，提取特征点后的两幅图像见图 3-13 和 3-14，提出的特征点均用红色小圈标记。

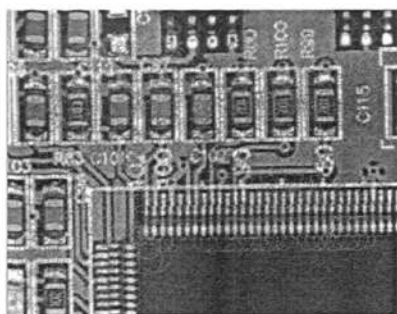


图 3-13 图 A 特征点检测

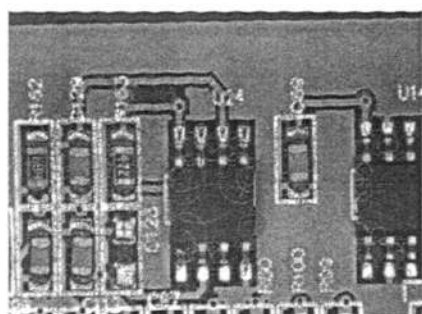


图 3-14 图 B 特征点检测

接下来，将两幅图像中所提取出来的特征点进行配准后结果参见图 3-15，白色虚线标出的区域为 配准区域

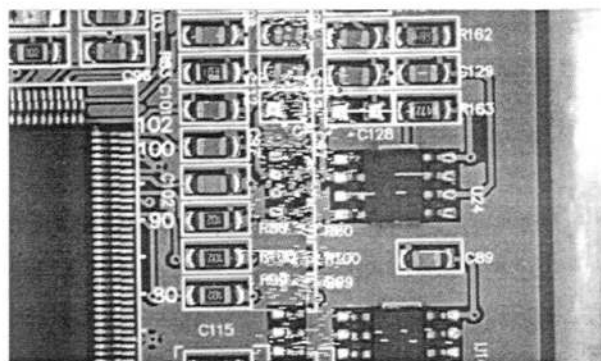


图 3-15 两幅图像的配准

经过上述步骤，两幅局部 PCB 小图像最终拼接完成得到的完整图像见图 3-16。

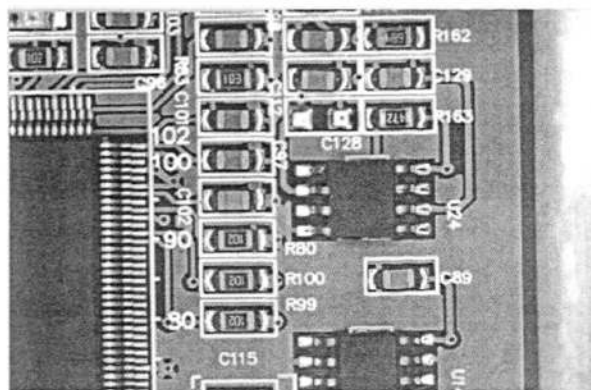
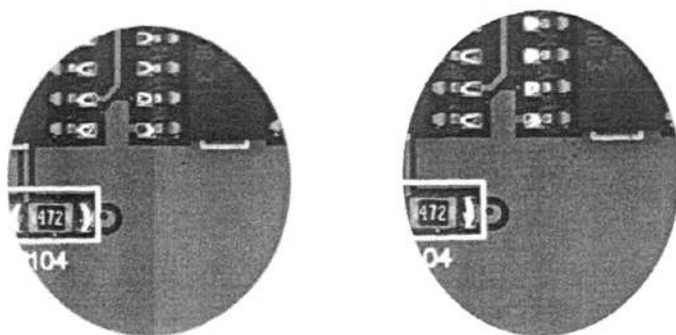


图 3-16 引入 surf 配准拼接所得图像



改善前的拼接缝隙

改善后拼接图

图 3-17 引入 surf 配准前后拼接图像局部放大对比

从两幅图像上的对比可以明显的看出，经本文算法进一步改善后的图像已完全没有因光照不均等各因素引起的拼接图像所存在的痕迹线。极大的提高了拼接精度，此外，引入 surf 配准后，拼接运行所需的时间从原来的 20216.3ms 减少到 3506.98ms，拼接速度有了很大的提高。

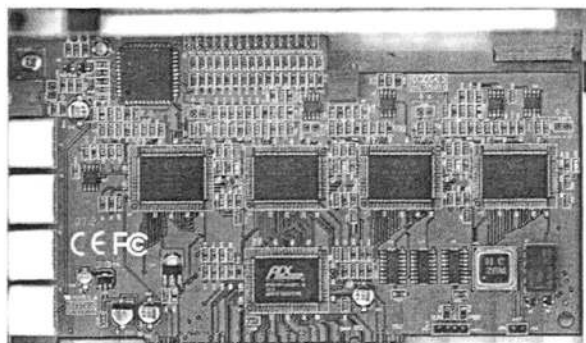


图 3-18 本文拼接算法得到完整的 PCB 板概略图

3.4 本章小结

AOI 检测系统中的 PCB 图像拼接，不同于一般的数字图像拼接，它是基于实际工程应用的，因此不同的拼接方式对整个的拼接结果都会有很大的影响，本章主要分析了传统拼接方式的不足之处，并做出了很好的改进，并且将 surf 配准引入本文研究的 PCB 拼接算法，大大提高了拼接的精度和速度。接下来的第四章，将着重介绍 AOI 系统中的另一个重要的用于缺陷检测的核心算法，加权识别算法。

第 4 章 AOI 系统加权识别算法研究

在整个 AOI 系统中，缺陷检测识别算法是最为核心的算法，识别算法的精度在很大程度上决定了整个 AOI 系统的精度。同时又由于不同的 PCB 板，电路板的形状，元器件种类及位置等又各不相同，每一次更换其他不同的 PCB 板后，AOI 系统需要重新对新的 PCB 板进行学习，即使是同一块 PCB 板，元器件种类又很繁多且复杂。因此识别算法也是整个系统算法中最为复杂的部分，本章研究提出了一种加权识别算法，对实际工程中传统算法的不足之处进行了改进。

4.1 创建芯片信息

对不同的电子元件而言，它所包含的关键图像特征不同，基于这些特征的图像定位算法和检测算法有所区别。因此，在 PCB 检测开始之前，有必要对元件进行编程，即确定元件的封装模式、检测区域、搜索区域以及有关的坐标信息、偏转角度等，从而为后续检测提供依据。本文所述的 AOI 系统主要有两种方式创建芯片信息。

第一种是 CAD 参数直接导入。AOI 系统一般与 SMT 配套使用，元件的 X、Y 坐标，角度，封装等参数可以直接从 SMT 得到（xls, txt 等格式文件）。转换之后，通常需要一定的微调，微调就是对所有的框做同样处理，包括旋转，镜像，移动，缩放四个操作^[37]。

大多数情况下，是没有 CAD 数据的 PCB 板需要检测，这个时候，PCB 板的参数需要用户自己来创建芯片信息，也就是需要用户首先对元器件进行编程，本文中系统采用的方式是基于颜色聚类 and 连通域分析的编程自动提取，来简化编程过程，有些局部区域存在不是很准确的情况，需要用户进一步对这些局部区域所需检测的元器件手动画框，参见图 4-1。

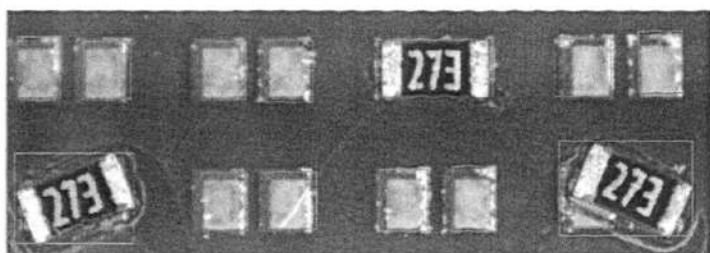


图 4-1 元器件编程手动画框

提取连通区域，进行区域二值化后进行连通域检测，从而提取出最大连通域，经过一系列滤波处理消除连通域内的缺陷，然后利用最小惯性中心矩识别角度偏移，提取出芯片旋转后的特征区域，进而确定芯片信息，如图 4-2 所示。

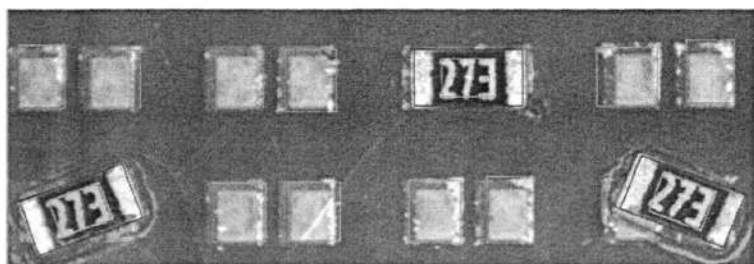


图 4-2 特征区域提取

最终通过元件编程存储的芯片信息，包括芯片类型，元件名称，坐标信息以及偏角等等，详情可参见图 4-3。需要说明的是，元件编程是在图像拼接算法执行完之后进行的，接下来就是执行后面的识别算法，因而这些信息的提取是后续的识别工作不可缺少的基础条件。

编号	元件名称	X (mm)	Y (mm)	偏角	阈值	封装样式	材料	光照强度	附加
3	273	556.67	259.17	0	90	B0402		160	
4	New	223.33	258.33	0	90			160	
5	New	434.17	261.67	0	90			160	
6	New	280.83	260.83	0	90			160	
7	New	378.33	260.83	0	90			160	
8	273	721.67	358.33	-21	90	B0402		160	
9	273	254.17	365	19	90	B0402		160	

图 4-3 元器件编程后部分信息列表

4.2 加权识别算法

在第二章已经分析到，传统的 AOI 识别算法受到光照不均使元器件产生差异化提取特征困难以及一些本身结构复杂的元器件难于提取特征等等因素，需要用到像素匹配方法，但传统的像素匹配存在以下问题。

首先，相似度量判断的时候，通常认为两个像素点匹配时需要有一个判断阈值，该阈值过大会发生误判，而过小不能消除灰度敏感性。采用多模板可以消除图像对灰度误差的敏感。多模板与单模板的差别体现在图像像素差值上面，差值的分布情况决定了当前待测图像是某一种芯片而不是其它的种类。考虑到像素差值有一定的规律，实际检测过程中不同模板芯片差值较大的部分一般分布在芯片边界、纹路等特征明显的区域；因此，有一些厂家在识别过程中手动将这一些敏感区域标记出来，在识别过程中这些区域不参与识别^[38]。但是这样一来，如果这些区域有明显的缺陷就没法检测，而且由于有人为的干预会存在一定的主观性。另外，为提高判断可靠性，模板数量会不断增加，导致的直接结果将是速度的下降速度过慢。

为解决上面的问题，本文针对因为各种因素难于提取特征向量的元器件，提出了一种加权识别算法，自动识别出关键检测区域与非关键检测区域，将待检测的图像先分块，也就是分割成一些小的图像矩阵，统计图像矩阵各点的样本方差，然后给出一个 0-1 之间的权值，通过正态分布给出权值，进行柔性识别检测，只需要较少的模板，就能达到很好的识别效果。

需要说明的是，考虑到有光照不均等因素的影响，为了尽可能消除图像识别过程中的存在的灰度敏感问题模板学习前必须进行滤波处理，消除高频噪声的影响，否则可能会导致图像各像素点方差值整体偏大，影响加权识别的精度。本文为了达到更好的识别效果，在图像预处理阶段采用中值滤波做了一下简单处理，排除标准样本在学习过程中带来的一些细节影响误差。

4.2.1 加权训练

本文提出的加权算法的基本思想是先将每个待检测图像分块，图像按照像素点就 $j*j$ ($j=0, 1, 2\cdots R$) 区域划分为 $m*n$ 个子块，在本文的实际工程中，取 $j=4$ ，即将每幅子图像就像像素点按 $4*4$ 区域化分为 $m*n$ 个子块，假设有 s 幅模板供学习，先针对这 s 幅模板中每一个处在相同位置的小区域，求取它们各自的像

素均值, 然后根据这些均值信息, 求取不同模板之间相同区域的方差信息, 根据这个方差信息给出对应的权值, 并将这 $m \times n$ 个子块的像素均值信息保存, 可以得到一个均值图像。

具体描述为, 在添加第 K 个标准图像模板时, 对上述的 $m \times n$ 二维矩阵, 它在 i 行 j 列位置的方差求取方法如下:

首先求取该位置的一阶均值:

$$E(X_k(i, j)) = \sum_{l=0}^k X_l(i, j) / k = [(k-1) \cdot E(X_{k-1}(i, j)) + X_k(i, j)] / k \quad (4-1)$$

求取该位置的二阶均值:

$$E(X_k^2(i, j)) = \sum_{l=0}^k X_l^2(i, j) / k = [(k-1) \cdot E(X_{k-1}^2(i, j)) + X_k^2(i, j)] / k \quad (4-2)$$

那么, 在添加第 K 个新的样本图像后, i 行 j 列位置的方差可以表示为:

$$D(i, j) = \sqrt{E(X_k(i, j))^2 - E(X_k^2(i, j))} \quad (4-3)$$

方差值的大小反应该区域附近不同模板之间像素灰度变化的程度, 若不同模板间灰度差别越平缓, 则方差越小, 反之, 不同模板间灰度差别越明显, 则方差越大。

至此, 在第 i 行 j 列位置的方差值求得之后, 做方差归一化处理, 下一步求取加权系数。基本思想是: 如果某个子块处的灰度与其他 $s-1$ 个样本中同一个子块之间的灰度差别越小, 也就是方差越小, 则该区域中的像素点对样本的分类影响程度较大, 也就是表征该区域能较好的表征这类样本的特征, 相应的加权系数赋予较大值。否则, 方差值越大, 则表明该子块的像素点的灰度特征不能很好的表征这类样本的特征, 相应的加权系数赋予较小的值。本文定义加权系数 $a(i, j)$ 表示第 i 行 j 列位置子块像素区域的权重。经过训练需要根据方差值为每一个图相的子区域确定一个权值, 加权值的求解过程如下:

先初始化各点的权值, 将各个点的权值取相同的值, 比如可以取各点的权值均为 1, 在 s 规模下, 若矩阵点的方差越大就说明不同的模板间该点的像素差值越大, 那么学习后对应的该点的加权值就应该越小, 学习完成后更新所有加权值。

方差值与加权系数之间的转换关系可以用线性, 正态, $1/(x+1)$ 等分布给出。经过实验比较发现, 通过正态分布给出加权值, 实验效果较好。因此, 本文加

权系数用标准正态分布函数给出：

$$\alpha(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4-4)$$

其中，将归一化后的方差 x 当作输入，然后加权系数 $\alpha(i, j)$ 当作输出， σ 的取值取决于判断算法的苛刻程度。

保存 $E(X_k(i, j))$ ， $E(X_k^2(i, j))$ ， $D(i, j)$ 以及 K 值和 (i, j) 位置的加权值，依次 $m \times n$ 个位置进行权值计算，用相同方法求取其他子块在后续识别所需的权值信息，直至图像的 $m \times n$ 个子区域全部运行完毕。

本文提出的加权训练的程序流程图如图 4-4 所示：

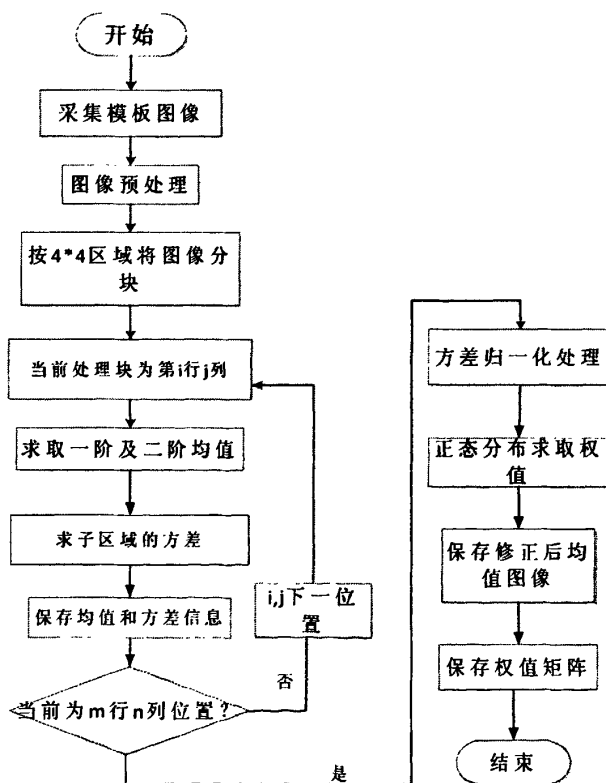


图 4-4 加权训练流程图

加权训练实例化，以电阻为例。原始的 5 个合格样本图像如下图所示：

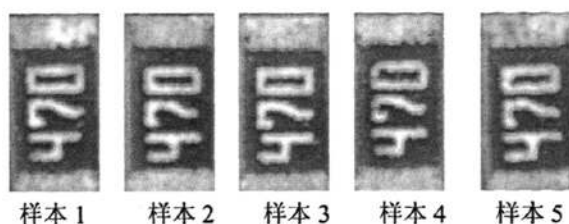


图 4-5 加权学习样本图像

以本文 AOI 系统平台为基础，在 VC++2008 上面调试运行，训练后的结果如下：

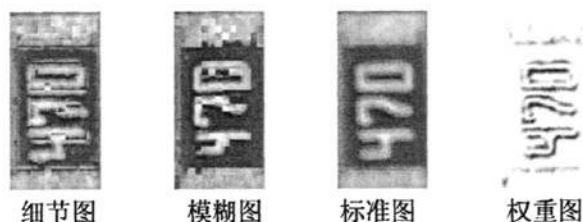


图 4-6 加权训练后的图像

图 4-6 中的四幅图像是用同一批模板训练，即图 4-5 中的 5 个样本图像经过训练得到的。实质上训练得到的数据还包括一个 .img 后缀的文件，存储的是训练得到的相应的权值信息和方差的信息，由于是以二进制表示的无法直接显示，或许识别过程中可以调用。

其中第一幅图像是提取的细节图，第二幅图像为模糊图像，模糊信息是保存的低频信号，是对图像做滤波后的结果图，目的是排除标准模板的细节影响。

前面两幅图是用 4×4 分块后，提取熵值得到的。图像的熵值可以反应图像的细节信息。熵是图像所具有的信息量的度量，纹理信息也属于图像的信息。若没有纹理，则灰度共生矩阵接近于零阵，则熵值接近为 0；若分布着较少的纹理，则该图像的熵值较小；若图像充满细纹理，则灰度共生矩阵数值近似相等，则该图像的熵值最大^[39]。比方说，边界的像素熵大，如果提取边界的话，那么边界对应的特征应该在第一副图上会有表示，可以进行对应的特征比对。

第三幅图是通过求样本图像中个点像素的灰度平均值得到的标准图像。四幅图是加权系数的空间分布图，是加权系数的图像化表示，分了 256 个灰度级，黑色的地方表示权值比重小，白色地方的权值比重大，0 为全黑，1 为全白。由这个加权系数的空间分布图像可以看出，在电阻边缘及字符边缘处的权重值较

小接近于 0，这就基本消除了边缘处的细节信息，或者噪点对系统识别精度的影响。

4.2.2 加权识别

在样本学习训练结束后，对应的识别过程如下：

按照前文分析的方法，同样将待检测图像按像素 4*4 区域化分为 $m*n$ 个子块计算第 k 个子区域的像素点的灰度信息的一阶以及二阶均值，比较其与经过加权训练得到的标准模板对应子区域的像素灰度信息的均值之差，并乘以该子区域对应的加权系数，将 K 进行移位依次用同样的方法求取所有的子区域与标准模板对应区域的像素差与加权系数的乘积，求取所有子区域的像素差值的加权和值，原问题用公式具体描述为：

$$Sa = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n |X(i, j) - E(i, j)| \cdot \partial(i, j) \quad (4-5)$$

$\partial(i, j)$ 为此子区域的加权值， $E(i, j)$ 为标准模板灰度值， $X(i, j)$ 为待识别模板灰度值。

实际处理过程中，需要先设定一个标准加权和值 $Thres$ ，定义设定的标准加权和值 $Thres$ 和计算的加权和值 Sa 之差为 Υ 。

归一化处理，求 $\Upsilon = (|Sa - Thres| / Thres) * Scale$ ， $Scale$ 为归一化后的规模，当 $Scale$ 取值为 100 时， Υ 在 0-100 之间取值。用 Υ 与设定的固定阈值比较确定芯片是否合格。本算法中，假设我们允许的最大像素偏差值为 C ，那么 $Thres$ 值就应该为 A 与所有矩阵点的当前加权值的乘积之和，即：

$$Thres = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n C \cdot \partial(i, j) \quad (4-6)$$

允许的像素偏差值 C 是一个变量，该变量应该和所有方差的平均值有关（除去最大值和最小值，最大值和最小值之间的值才参与求和），方差平均值越大则表明当前模板对灰度差值要求越低，对应的 C 值越大，反之则越小。

本文提出的加权识别过程的程序流程图如图 4-7 所示：

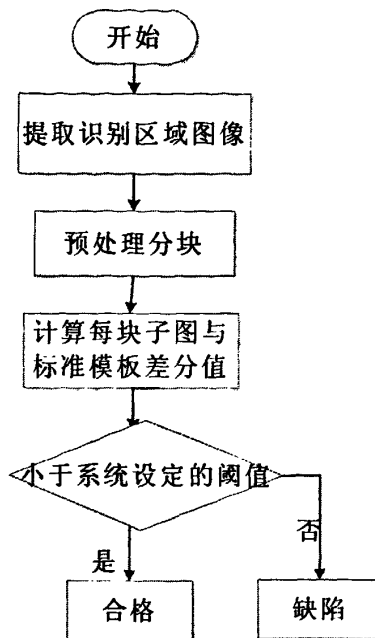


图 4-7 加权识别流程图

4.2.3 加权算法分析

本文研究的加权识别算法，不需要像传统算法那样，采用很多个标准模板来消除图像对灰度误差的敏感度，只需要学习不超过 5 个模板就能很好的消除灰度敏感度，达到很好的识别精度。对于芯片敏感区域，方差值肯定会比较大，因此经过学习，给予的权值比较小，可以起到消除敏感目的。对于灰度整体亮度有变化的情况，经过模板学习之后，像素的平均值会变化同时对应的加权值变小，对应的 V_a 和 V_b 的值都会偏小，经过归一化处理后对灰度的敏感性会降低，从而在一定程度上减小误判。

在进行匹配识别的时候也不需要像传统方法那样，与已建立的逐个标准模板进行一一匹配，只需要与训练得到的一个标准图像进行比较识别，此外，经训练后所存储的模板二进制信息在识别时也可以做辅助用。大大减少了系统检测的运行时间，效率得到很大的提高。

在实际工程应用中，本算法需要注意和解决的问题有： C 值与方差平均值之间的转换关系，本文的算法尚能根据方差平均值给出大致的 C 值的变化范围，

但不能确定 C 值与方差平均值之间的精确的对应转换关系，需要进一步的深入研究，C 值不能放的过宽，不然在芯片很相似时也可能存在误判问题（如颜色接近电容），实际处理可以根据芯片种类分别界定一个 C 值范围。

提取参数	
芯片高度：	72
芯片宽度：	38
允许水平偏移：	8
允许垂直偏移：	8
相似度判断阈值：	80

图 4-8 阈值调整界面图

该方式对灰度接近的芯片识别可能比较实用，但对于差值明显区别大的图像，同样需要应不会超过 5 个。

4.3 加权识别算法实现结果

本章的算法均以本文 AOI 系统平台为基础，在 VC++2008 和 OpenCv2.0 上面调试运行。本章介绍的识别算法是以第二章分析的元器件编程和第三章的 PCB 图像拼接算法顺利实现为前提的。检测过程如下：

首先，通过元器件编程，确定待检测元器件边框，框选分为“自动编程”和“手动编程”两类；“自动编程”添加了连通域检测，可以自己校正边框，小部分元器件需要手动编程进一步调整实际框选大小，如图 4-9 所示。

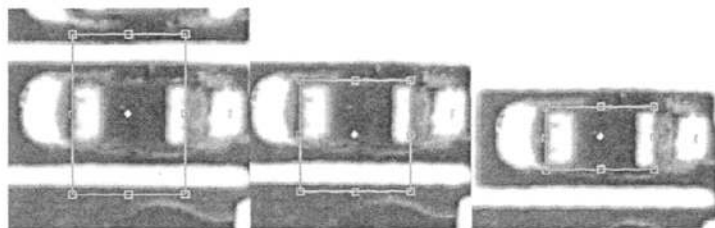


图 4-9 元器件编程

接下来,单击“全部学习”,即进行本文的加权训练学习,将模板信息保存到“template”文件夹,GridView 控件对应修改行数据。

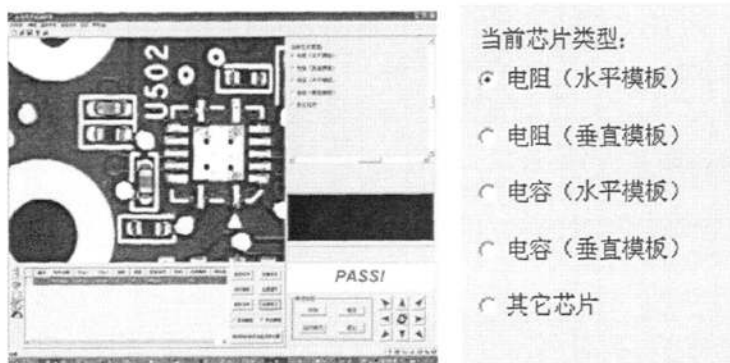


图 4-10 学习过程界面

然后,选择“当前芯片类型”确定芯片种类,不同的芯片在参数设定上会有所不同,电阻,电容的识别分成 3 个区域中间区域和两边的白色区域。其中中间的区域识别条件比较苛刻,两边相对宽松。

主体识别用 OCV,OCV 要先做二值化,然后计算偏角,接下来做归一化,然后与标准的信息比较。比较的时候可以把电阻分块,然后计算每块中的黑白点数量,然后计算该块的加权差值同设定阈值比较。其它类芯片整体为一个区域。

最后,单击“操作按钮”区域的“开始”,进行检测,检测结果输出在下面的图示区域。

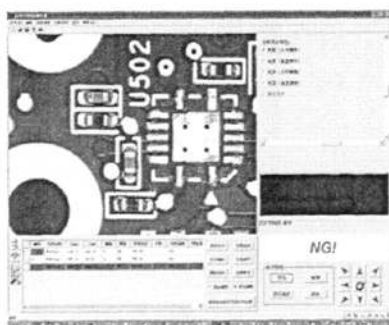


图 4-11 缺陷输出界面

测试结果可以在列表栏内观看,当一行为红色显示时,表示该行对应的元件不合格,单击列表框的最左边一列单元格,会选中对应的一行,对应的图像

区域的元件框会处于被选中状态，进而可以查看错误元件图像信息。对本文第三章中拼接完整的那副 PCB 图像进行检测，共输出 12 个错误，最终的检测结果输出如下：

	序号	缺陷编码	备注
1	10	Err001	第10个元件，2部分出错
2	10	Err001	第10个元件，2部分出错
3	8	Err001	第8个元件，2部分出错
4	415	Err001	第415个元件的主体部分出错
5	16	Err001	第16个元件，2部分出错
6	418	Err001	第418个元件的主体部分出错
7	418	Err001	第418个元件的主体部分出错
8	155	Err001	第155个元件的主体部分出错
9	414	Err001	第414个元件的主体部分出错
10	419	Err001	第419个元件的主体部分出错
11	419	Err001	第419个元件的主体部分出错
12	420	Err001	第420个元件的主体部分出错

图 4-12 缺陷输出列表

加权识别算法检测出的一些典型缺陷详细信息如图 4-13 所示：

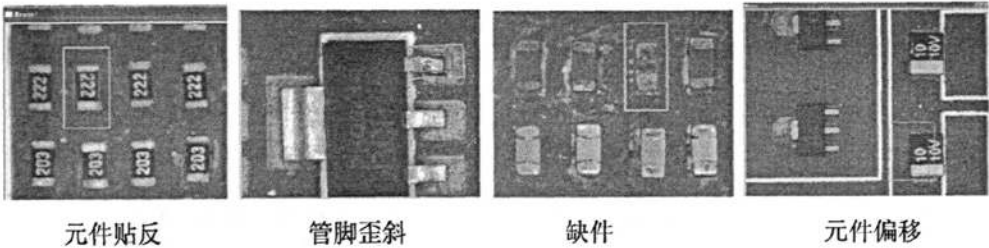


图 4-13 部分缺陷详细示意图

结果分析：以上检测结果为第三章中拼接得到的完整的 PCB 板检测所得到的缺陷列表，由该列表可知，共检测出 12 个缺陷，缺陷种类多集中在图 4-13 中所示的元器件贴反，管脚歪斜，缺件以及元器件偏移四类。

本文提出的加权识别算法与传统的识别算法相比，优点是只需要学习 3 至-5 个样本（最多 5 个）就能达到较高的识别精度，在识别的时候只需要与学习存储得到的一个标准模板图像以及权值信息进行比较匹配，不需要像传统算法中那样，与存储的众多标准模板信息进行一个一个匹配，在保证高精度的同时大大的提高了 AOI 系统的检测效率。

4.4 本章小结

针对一些传统识别检测算法通常难以准确识别缺陷的元器件，如因光照不

均或噪点影响等因素造成特征信息难以提取的元器件以及自身结构较复杂的特殊元器件，本文研究了一种加权识别算法，将图像分成许多个子块，通过训练给出权值，进行柔性识别检测。实验结果表明只需较少的模板就能准确识别 PCB 板缺陷，有效解决了传统识别算法中检测速度慢以及消耗内存过大等问题。

第 5 章 总结与展望

5.1 论文总结

随着电子行业的快速发展，AOI 系统在 PCB 板的检测中已经发挥着越来越重要的作用，基本完全的代替了传统的人工目检，如何尽可能提高 AOI 系统的性能，达到尽可能高的检测识别精度有着重要的实际应用意义。

本文在详细分析了国内众多厂家生产的 AOI 系统实际工程应用中存在的问题之后，针对图像拼接过程中的严重错位、缺陷检测过程中的系统响应速度慢、缺陷漏检、识别率低等不足，主要研究了 AOI 系统中两个重要的核心算法，即 PCB 板的图像拼接算法以及后续的认识检测算法并作出了改进，均取得了良好的效果。

本文研究的 PCB 板的图像拼接算法主要从两个方面进行了改进。首先由于 AOI 检测系统中的 PCB 图像拼接，不同于一般的数字图像拼接，它是基于实际工程应用的，需要在采集多幅局部小图像的过程中同时进行拼接操作制作概略图，为下一步的识别检测打下基础，因此不同的拼接方式对整个系统的拼接结果都会造成很大的影响。

本文首先分析了传统拼接方式上做出了两点改进，一个是将传统拼接方式中每拼接完一副图像先缩小然后继续拼接下一副图像的方出了很好的改进，拼接完成整行才缩小换行的方式下，使得行方向上不会存在缩小引起的错位偏差，同时列方向上的位置识别由于发生在图像缩小之前，因此也不存在缩小误差，另外，将图像拼接的标准图像有改进，是以拼接完的每一行作标准，即使相机有了小小角度调整，某处发生偏移，也能通过以之前行为标准进行调整矫正，实验结果表明，采取本文提出的整行缩小的方式进行图像拼接，图像的数据量相对较少，在电脑硬件和拼图时间的允许范围之内，误差偏差不会累积并传递，因此不存在严重错位偏差。

其次，将 surf 配准引入本文所研究的 PCB 图像拼接算法，实验结果表明引入 surf 配准算法后，进一步的解决了因光照不均而使得图像边缘亮度变化趋势相反所造成的明显的拼接缝隙的问题，大大提高了拼接的精度和速度。为 AOI 系统后续准确识别 PCB 板缺陷打下了良好的基础，具有一定的实际应用意义。

本文提出了一种有效的加权识别检测算法,针对因为光照不均或存在噪点等因素使得元件图像亮度变化大难于提取特征或是元器件自身结构复杂在前期无法自动获取特征信息的元器件,就用本文提出加权识别算法,自动识别出关键检测区域与非关键检测区域,统计图像矩阵各点的样本方差,通过训练给出权值,进行柔性识别检测,只需要较少的模板,就能达到很好的识别效果。实验结果表明,本文提出的这种识别方法,在精度和速度上都有很大的提高。

5.2 本文的不足之处

5.2.1 本文需改进问题

本文研究的拼接算法和识别算法虽然对传统 AOI 算法在实际工程应用中的一些问题做出了改进,但仍存在一些不足之处,需要继续改进,概括起来主要有以下几点:

(1) 只能作对外观检测, AOI 系统不能检测电路错误,也无法对 BGA(Ball Grid Array,球状矩阵排列)等不可见的焊点进行检测。

(2) 只能检测识别出 PCB 板哪些元器件有缺陷,并能将缺陷标记出来,但是不能自动将缺陷归类,说出是哪种缺陷尚需人工进一步确认是那种缺陷然后做出相应处理。

(3) 对虚焊的检测精度尤其是对空焊问题的检测,仍需要进一步的研究^[40]。

(4) 缺陷检测过程中,由于热干扰对 AOI 的影响(使元器件产生虚假特征)以及多焊、少锡、偏移、歪斜的工艺要求标准界定不同等,不可避免仍有误报产生,识别精度仍然无法达到百分之百。基于以上几点本文研究存在的待改进之处,结合现阶段 AOI 技术的应用情况,笔者展望一下 AOI 未来的发展趋势。

5.2.2 展望 AOI 技术未来发展方向

过去十年, AOI 技术发展迅速,已日臻完善,从最初单纯地检测存在还是缺少焊点,发展到现在的完整的缺陷识别检测系统。而且,由于市场竞争激烈,众多生产厂家及学者仍致力于 AOI 系统的不断完善。在未来的几年中, AOI 的检测算法将逐步精确,误报率将会趋近于“零”,与此同时,随着图像处理、模式识别以及机器视觉等技术的发展, AOI 技术将进一步朝着以下方向发展:

(1) AOI 技术将向智能化方向发展。这是由于在 SMT 的微型化、高密度

化、快速组装化、品种多样化发展特征下,检测信息量大而复杂,无论是在检测反馈实时性方面,还是在分析、诊断的正确性方面,依赖人工对 AOI 获取的质量信息进行分析、诊断几乎已经不可能,这就需要 AOI 还具有自动纠正错误的功能。为此,代替人工进行自动分析、诊断的智能 AOI 技术成为发展的必然。

(2) AOI 要适应印刷机的变化,目前的 AOI 系统通常是用来检测单板的,但现在某些印刷机有时多板同时印刷的,像阴阳板这样的情况现在也比较常见,那么检测的时候 AOI 的程序就需要是两个或者多个 PCB 的检测程序同时运行,才能达到要求。

(3) 现在的 AOI 虽然用的是 3CCD 的相机,抓取的彩色的图像,大部分的算法只提取了颜色中的部分信息,例如灰度,来进行图像的识别,或者将 RGB 颜色空间的三个通道分别处理后再合成,或者将 RGB 空间转化成为 HSI 空间或者其他颜色空间后再转换回 RGB 颜色空间,这些方法对彩色图像处理的效果都不是很明显,因为 RGB 颜色空间三通道之间的相关性很高,遗憾的到目前为止,人类对大脑的颜色处理机制仍未完全理解,还处于一个试验和探索阶段,目前已成为图像处理技术一个难题^[41]。因此,如何充分利用 RGB 三颜色通道的信息,是彩色图像处理的关键,也是 AOI 技术的一个飞跃。

(4) AOI 技术还将朝着应用多元化的方向发展。目前,市面上所见的 AOI 基本只应用于表面贴装技术,应用最多的是 PCB 板的检测。但最近 ALEADER 公司开发出一款新的 AOI 因为其独特的计算方法可以运用在其他的外观检测上面,比如铆钉检测、针脚检测等等,使得 AOI 系统技术在应用领域上又迎来了一个崭新的春天^[42]。让 AOI 不再局限于 SMT 应用笔者认为未来几年的发展方向。

参考文献

- [1] 罗兵. SMT 产品质量机器视觉检测中的机器学习[J]. 电子质量, 2009 年 01 期.
- [2] 赖宇锋; 程良伦. 基于小波变换与相位相关的 PCB 图像拼接算法[J]. 计算机应用研究, 2009 年 09 期
- [3] Fupei Wu; Xianmin Zhang; Yongcong Kuan; Zhenzhen He. An AOI algorithm for PCB based on feature extraction[C] . Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008.
- [4] 胡文娟. 基于机器视觉的 PCB 光板缺陷检测技术研究[D]. 武汉理工大学, 硕士学位论文, 2006 年.
- [5] 鲜飞. AOI 技术在 SMT 生产上的应用[J]. 电子质量, 2008 年 04 期.
- [6] 赵万金. 图像自动拼接技术研究与应[D]. 苏州大学硕士学位论文, 2008 年.
- [7] Zhang Jing; Wang Chang-shun; Liao Wu-ling. An Image Mosaics Algorithm Based on Improved Phase Correlation Environmental[C] . Volume 2, 4-5 July 2009 Page(s):383 - 386.
- [8] 谭颖. 自动光学检测技术及其对 PCB 板检测的应用研究[D]. 华南理工大学硕士学位论文, 2006 年.
- [9] Nam-Hyeong Kim; Byeong-Doo Choi; Sung-Jea Ko. Real-time inspection system for printed circuit boards.Industrial Electronics[C] . IEEE International Symposium on. Volume 1, 12-16 June 2001 Page(s):166 - 170 vol.1 .
- [10] 兰海滨; 王平. 基于角点检测的彩色图像拼接技术[J]. 计算机工程与设计, 2009 年 14 期.
- [11] 李云霞; 曾毅; 钟瑞艳; 郭涛. 基于 SIFT 特征匹配的图像拼接算法[J]. 计算机技术与发展, 2009 年 01 期.
- [12] Guangjun Zhang, Junji He, Xiuzhi Li. 3D vision inspection for internal surface based on circle structured lightSensors and Actuators [C] . Physical, Volume 122, Issue 1, 29 July 2005, Pages 68-75.
- [13] 何梓滨, 段发阶, 贾建禄, 严海领. 基于 USB 通信的印制电路板 AOI 视觉检测系统 [J] . 《电子产品世界》, 2008 年 5 期.
- [14] 周定富, 何明一, 杨青. 一种基于特征点的稳健无缝图像拼接算法[J] . 测控技术, 2009 年 06 期 .
- [15] Ionescu; Sasarman. Automated optical inspection of geometrical shapes[C]. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998. Volume 1, 18-21 May 1998 Page(s):14 - 17 vol.

- [16] Milea, C.; Svasta, P. Using distributed neural networks in automated optical inspection[C]. Electronics Technology: 24th International Spring Seminar on 5-9 May 2001 Page(s):286 - 288 .
- [17] 王建晖. 基于双域特征的PCB图像拼接[J]. 浙江大学学报(工学版). 2009年01期.
- [18] 吴福培, 邝泳聪, 张宪民, 欧阳高飞. 基于模式匹配及其参数自适应的PCB焊点检测[J]. 《光学精密工程》, 2009年10期.
- [19] Dawson, Ben. Applying automated optical inspection[C]. Evaluation Engineering, v 44, n 7, p 62-67, July 2005.
- [20] 任斌; 程良伦. PCB贴片安装缺陷自动光学检测系统关键技术[J]. 东莞理工学院学报, 2009年01期.
- [21] Reed, J.M.; Hutchinson, S. Image fusion and subpixel parameter estimation for automated optical inspection of electronic components[C]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on. Volume 43, Issue 3, June 1996 Page(s):346 - 354.
- [22] 张伟. AOI设备中的图形识别实现研究[D]. 同济大学软件工程学位论文, 2008年.
- [23] 汪华琴. 基于特征点匹配的图像拼接方法研究[D]. 华中师范大学硕士学位论文, 2007年.
- [24] Jie Zhao; Hui-Juan Zhou; Guo-Zun Men. A method of sift feature points matching for image mosaic[C]. Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on Volume 4, 12-15 July 2009 Page(s):2353 - 2357 .
- [25] 洪始良, 邝泳聪, 梁经伦, 张宪民. 可重构PCB元件自动光学检测算法研究[J]. 《制造业自动化》. 2009年5期-
- [26] 罗兵, 曾歆懿, 季秀霞. SMT产品缺陷及相应的AOI检测方法[J]. 《电子质量》-2006年6期.
- [27] Hsin Rau; Chien-Hung Wu; Wei-Jung Shiang; Yi-Tse Fang. Fuzzy reasoning for pcb inspection[C]. Machine Learning and Cybernetics, 2009 International Conference on Volume5 .Publication Year: 2009 , Page(s): 3052-3057.
- [28] 翁毅志. PCB外层AOI缺陷的分类[J]. 印制电路信息, 2003年7期.
- [29] Mashohor, S.; Evans, J.R.; Arslan, T. . Genetic algorithm based printed circuit board inspection system[C]. Consumer Electronics, 2004 IEEE International Symposium on .Publication Year: 2004 , Page(s): 519 - 522.
- [30] Hosang Jung, Bongju Jeong. Analysis of the wavelet-based image difference algorithm for PCB inspection[C]. Volume: 4 .Publication Year: 2002 , Page(s): 2108 - 2113 vol.4.
- [31] Hyun Joon Shin. High-Density PCB Inspection and System with Multi SV-GMR Sensor Eddy-Current Testing Probe[C]. Magnetics Conference, 2006. INTERMAG 2006. IEEE International . 2006 , Page(s): 523 - 523.

- [32] 王宇; 王涌天; 刘越. 基于 SIFT 和小波变换的图像拼接算法[J]. 北京理工大学学报. 2009 年 05 期 .
- [33] Lingjia Gu; Shuxu Guo; Ruizhi Ren; Shuang Zhang. Target Image Mosaic Algorithm Based on Interest Points Matching[C] . International Conference on Communications, Circuits and Systems. Publication Year: 2007 , Page(s): 755 – 759
- [34] 罗兵; 曾歆懿; 季秀霞. SMT 产品缺陷及相应的 AOI 检测方法[J]. 电子质量, . 2006 年 06 期 .
- [35] Kong, Fan-Hui. A New Method of Inspection Based on Shape from Shading.Image and Signal Processing[C] . CISP '08. Congress on Volume 2, 27-30 May 2008 Page(s):291 - 294 .
- [36] Muresan, Marius; Pitica, Dan. OrCAD Link Tool for Automated Optical Inspection of Assembled Boards[C] . Electronics Technology, 29th International Spring Seminar onMay 2006 Page(s):304 - 308.
- [37] 罗兵; 章云. SMT 产品质量 AOI 快速检测方案[J] . 电子质量, 2007 年 02 期.
- [38] Sassanapitak, S.; Kaewtrakulpong, P. An efficient translation-rotation template matching using pre-computed scores of rotated templates[C] . 6th International Conference onVolume 02, May 2009 Page(s):1040 - 1043.
- [39] Belbachir, A.N.; Lera, M.; Fanni, A.; Montisci, A. An automatic optical inspection system for the diagnosis of printed circuits based on neural networks[C] . Industry Applications Conference, Conference Record of the 2005. Volume 1, 2-6 Oct. 2005 Page(s):680 - 684 Vol. 1.
- [40] 邴守东; 姚立新. 自动光学检测仪工作台运动控制系统的研究[J] . 电子工业专用设备, 2009 年 06 期 .
- [41] 吴梅珠; 吴小龙. 精细线路 PCB 对 AOI 检测技术的挑战[J]. 印制电路信息 , 2009 年 12 . 期 .
- [42] 伍绍贤. AOI 技术应用、市场及发展状况[C] . 2007 - 2007 中国高端 SMT 学术会议.

致 谢

在我的硕士论文即将完成之际，我首先要感谢我的导师李庆教授。从论文开题到本文完成至始至终都是在李老师的悉心指导和帮助下完成的。在近 3 年时间里，李老师除了在学术上给予我严谨细心的指导外，在生活中也给予我们无微不至的关怀。李老师严谨求学的治学理念、忘我的敬业精神以及待人诚恳、谦虚豁达的生活态度给我留下了深刻的印象，让我受益匪浅。在此，谨代表本人向李庆老师致以崇高的敬意及真挚的感谢。

此外，本文研究课题基于国家自然科学基金资助项目（NO. 608060500）。在此项目进行期间，本人得到了深圳先进院张丰硕士、王峰硕士、赵慧斌硕士等人的大力支持和帮助，他们对我在研究过程中遇到的许多疑难问题都给予了耐心细致的解答，并提供了一些很好的建议，在此表示我最衷心的感谢。也非常感谢一起工作的诸多同事在实习期间对我的帮助和照顾。

感谢与我同一个导师的吴文单、邹敏、彭艳芳、郑伟等同学以及诸位师兄妹，在我的学习和生活中，大家互相关心，相互激励，共同进步，这 3 年里他们给了我许多有益的建议和帮助。

非常感谢自大一开始 7 年来和我一同走过的信息学院的所有老师和同学们，很庆幸能与他们一起度过我人生中最美好这一段时光，陪我一起成长，留下终生难忘的回忆。

深深的感谢养育我多年的父母亲，感谢他们多年来对我的理解、关爱和支持，他们是我的精神支柱和前进的动力！感谢我的弟弟，他身上坚韧不拔、勇敢乐观的生活态度深深的影响了我。

非常感谢答辩小组以及论文评审的各位专家和老师们！

感谢所有关心、帮助过我的老师同学、朋友和亲人！

作者在攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] Li Qing,Li Fen,Zhang Yangshi.An Enhanced Anti-jamming Capability Method for Frequency Hopping synchronization System. International Symposium on Intelligent. Information Technology Application Workshops. 2008. IITAW'08. Shanhai:IEEE,2008:236-238.
- [2]李庆, 李芬。基于 Surf 特征配准的 PCB 图像拼接算法优化。中国科技论文在线, 2010 年。