

文章编号 1004-924X(2013)10-2679-09

采用 Gerber 文档的印刷电路板表观检测

张 静^{1*}, 叶玉堂¹, 谢 煜¹, 刘 霖¹, 常永鑫^{1,2}

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054 2. 中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘要:对印刷电路板(PCB)进行表观检测时,传统标准板的图像建立是利用 PCB 图像自身的特征进行配准和分层的,故检测精度不高。本文从 PCB 表观检测的实际需求出发,提出了新的检测系统。该检测系统引入解析 Gerber 文档对 PCB 光电图像进行分层处理,利用形态学的方法自动修正解析后的 Gerber 文档,建立精确的标准板。根据主分量分析提取彩色图像频带丰富的信息,依据检测缺陷的尺寸大小设置各层模板及检测阈值,实现局部针对性检测,提高检测精度。实验结果表明,与传统的基于颜色分区域方法相比,基于 Gerber 的方法不仅提高了检测精度,且较大幅度地提高了自动光学检测系统的检测效率,其微小缺陷检测率高达 95.1%,25 cm×22 cm 电路板检测时间仅需 1.09 s,满足了在线检测对速度的要求。

关键词:印刷电路板(PCB);自动外观检测;缺陷检测;Gerber 文档;灰度形态学

中图分类号: TN41; TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132110.2679

Appearance detection for printed circuit board by Gerber file

ZHANG Jing¹, YE Yu-tang¹, XIE Yu¹, LIU Lin¹, CHANG Yong-xin^{1,2}

(1. School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

2. Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China)

* Corresponding author, E-mail: zhangjing619@gmail.com

Abstract: When the surface defect of a printed-circuit-board (PCB) is detected by a traditional method, it usually has lower detection accuracy for that the traditional method of standard board is built by properties of PCB image itself. According to the accurate requirements of PCB detection, this paper proposes a new detection system. In this system, the layers of PCB photoelectric image were separated by using Gerber file that have been analyzed, then the analyzed Gerber file was corrected by morphology. And a accurate standard board was built. Furthermore, the frequency information in the color image was extracted based on the principal component analysis, and the detection threshold was set according to different information on different layers. By which, the local detection of PCB was completed and detection accuracy was improved. As compared with the traditional method by color stratification, this method improves detection accuracy and detection efficiency of the system. It achieves the detecting probability of 95.1% for micro defects and the detecting time of 1.09 s for a 25 cm×22 cm PCB. The detection efficiency of automated optical inspection system can satisfy the requirement of

收稿日期:2013-04-03;修订日期:2013-05-07.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61205004);粤港关键领域重点突破项目(No. W0511159)

the PCB for defect inspection in online and real time.

Key words: printed-circuit-board (PCB); automatic visual inspection; defect detection; Gerber file, grayscale morphology

1 引言

在表观缺陷检测与识别系统中,多层印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)的表观缺陷检测较为复杂,处理算法较为繁琐。因为多层电路板的几何形状各异,且制作材料的光学特性不同,制作工艺的差异性明显。目前,由于高密度,微型化印刷电路板的广泛采用,对检测算法也提出了更多要求^[1]。

最早的印刷电路板检测算法是 Akiyama^[2]提出的模板匹配算法,以后基于该算法的改进算法不断被提出。Da-Zhi Wang^[3]等人采用了多模板匹配方法来检测 PCB 缺陷,它针对原有检测算法运行速度慢的问题,提出了一种 SBPSO(Species Based Particle Swarm Optimization)改进方法,虽然检测速度有所提高,但由于采集图像会随环境不同而改变,采用通用模板法的效果就不是很好。模式分类识别发展后, S. Somatilake^[4]等人将基于概率统计的贝叶斯决策理论用于建立标准模板;但由于贝叶斯决策理论的标准检测模板创建方法对标准图像的依赖性很强,而在实际应用中,受机械抖动、非照明光源的干扰等因素影响,即使是同一块 PCB 板,每次采集到的都不是相同的图像,故该方法实际应用效果并不理想。有关阈值设定的缺陷检测方法则由于 PCB 缺陷种类较多,各种类型的检测系统还在研究中。E. K. Teoh^[5]等人根据 PCB 的 5 类不同缺陷,设计了不同的检测算法,但由于不同缺陷需要的检测算法不同,将几种算法整合为一种算法变得较为复杂。S. Kishimoto^[6]等人采用了彩色图像,考虑利用不同光照亮度来检测不同缺陷,并需要根据切换光照、变换阈值,但这种方法对光源的依赖性太强。

本文考虑利用 Gerber 文档和 PCB 分层信息来动态设定阈值。Gerber 文档作为 PCB 行业的通用文件标准,目前仅用于生产加工阶段,本文首

次提出将其所具有的精确物理特性,如焊盘和导线的坐标、形状、大小等用于现阶段高密印刷电路板的表观检测。文中首先采用正则表达式方法解析 Gerber 文档,并通过匹配解析字符串数据流得到标准图像矢量图;然后,利用数学形态学方法修正解析后的矢量图,建立精确的标准板;最后,对 PCB 图像进行分层处理。分层后,根据不同的层信息,利用主分量分析方法提取频带内容丰富的灰度图像,依据检测缺陷的尺寸设置各层的检测模板大小及阈值,实现局部阈值针对性检测,以提高检测精度。

2 基本原理

2.1 Gerber 概述

在 PCB 制造业中, Gerber 文档又称为光绘文件,是软件描述线路板图像以及钻、铣数据的文档,它是线路板行业图像转换的一种标准格式^[7-8]。Gerber 格式的文件不包含元器件的电器性质和网络属性,只包含最基本的物理特性,如焊盘和导线坐标、形状、大小等。因此, PCB 板通常有与其对应的 Gerber 文档,由于 Gerber 是标准文件,且每块 PCB 板的制作无法一模一样,为避免偏差过大,本文系统通过引入 Gerber 文档,并对其进行解析来生成标准图像。接下来,又结合 Gerber 图像设计了一系列图像处理算法来提高算法处理的精度和速度。Gerber 文档包含的主要实体包括:点、直线、圆弧、圆、方、多段线以及组合图形等。其中,组合图形是由 2 个以上的基本图元组成的块,是一个整体(每个基本图元都有线宽、线的颜色等基本属性)。

Gerber 文档可以分为很多层,具体根据 PCB 板的设计层数来区分,不同层所带的信息不一样。由于 Gerber 文档是生产 PCB 的标准,因此, Gerber 文档上所具有的信息也可以成为 PCB 图像处理的标准,为此本文将 Gerber 文档引入建标和检测过程^[9],检测流程如图 1 所示。

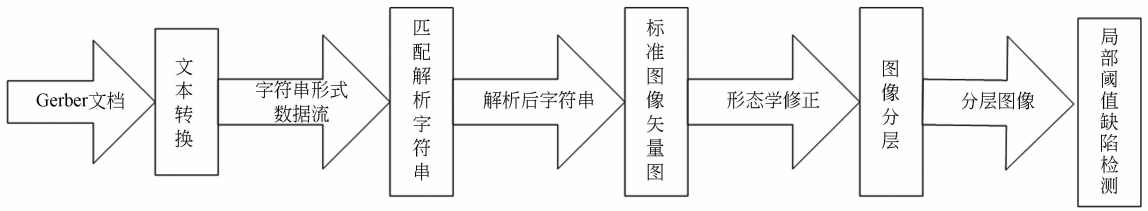


图 1 检测流程图

Fig.1 Detection flowchart

2.2 基于形态学的 Gerber 文档解析

正则表达式(Regular Expression, RE) 是计算机科学的一个概念,是一种匹配文本中字符序列句法的规则模式,起源于早期关于人类神经系统的原理研究。RE 可以用形式化语言理论的方式来表达,是一种在许多编程语言和应用程序中使用的特殊代码模式。RE 由常量和算子组成,他们分别指示普通字符(如 a~z 之间的字母)和在这些集合上运算的特殊字符(称为“元字符”)。RE 是定义复杂查询方式的一个强有力工具,它通过定义一个字符串的规则,使用某些特殊的语法结构,获得一系列符合句法规则的字符串,它允许用户灵活控制检索条件。运用 RE 强大的模式匹配功能,可以通过简单的语句实现匹配,从而完成复杂的数据处理和信息提取。采用 RE 检索、匹配符合某个模式的文本,是 Gerber 文档信息提取的基本方法和依据^[9]。由于加工工艺存在一定

偏差,因此最终制作得到的 PCB 板以功能为导向,这使其在尺寸上并不需要与 Gerber 文档的信息完全一致。本文利用模式识别中数学形态学膨胀腐蚀的原理对所得到的 Gerber 文档图像进行算法修正处理,以利于后续检测算法的进行。

虽然 Gerber 文档给出了 PCB 精确的位置信息,但是在尺寸上其与实际采集到的真实 PCB 图像存在偏差,因此,通常情况下得到的图像在尺寸上并不是完全一致的,如图 2 所示。通过 Gerber 解析后的位图与采集得到的 PCB 图像在各个部位会存在 2~3 pixels 的偏差。如图 2(c)所示, Gerber 文档上的焊盘直径比 PCB 图像实际的大,即得到的分层图在边缘部分依然有多余的图像,这对结果会有一些影响。因此,考虑通过形态学中膨胀腐蚀原理,将图像的配准精度控制在一定范围内,以保证 PCB 图像焊盘分层的精度。

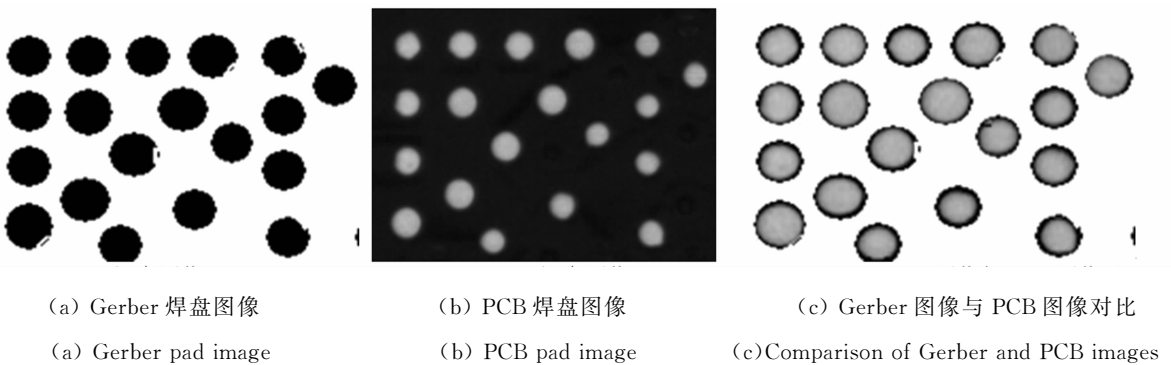


图 2 Gerber 图像与 PCB 图像像素偏差

Fig.2 Image pixel deviation between Gerber image and PCB image

2.3 主分量分析的动态阈值缺陷检测

分层后的彩色图像具有 RGB 三色通道,不同的分量图像对应一个频谱分量,图像的灰度值表现为频带的亮度信息。选取对比度大,保留的细节信息丰富的灰度图对图像做进一步处理更有利。本文利用 K-L 线性变换,即主分量分析来选择最适合的灰度图,该方法把数据的协方差矩阵对角化,对于 2 维平面的 $M \times N$ 图像,可以表示为^[10-11]:

$$C(i,j) = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f_i(x,y) - f_{i0})(f_j(x,y) - f_{j0}), \quad (1)$$

其中, $f_i(x,y)$ 表示点 x,y 在 i 频带的值; f_{i0} 为 i 频带的平均值; $f_j(x,y)$ 表示 x,y 在 j 频带的值; f_{j0} 为 j 频带的平均值。由于彩色图像只有 3 个通道,因此 i,j 的取值只有 3 种,从而得到的协方差矩阵是 3×3 的。根据协方差矩阵,可以求得特征向量,再利用由特征向量构成的变换矩阵对数据进行变换。协方差矩阵 $C(i,j)$ 中 i,j 的取值范围为 RGB 的值,即 $[0,255]$ 。找出矩阵 $C(i,j)$ 的特征值,并将其降序排列,然后用特征值对应的特征向量作为矩阵的行向量,得到特征向量矩阵 A 。

将彩色图像看成一个向量 x , 即 $x = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$, 则 $y =$

Ax , 这是一个线性变换。由于特征值按降序排列,则第一个分量即为主分量,所以主分量的图像包含了原图像的大部分信息。

图像分割就是根据需要将图像划分为有意义的若干区域或部分。本文利用图像分割将缺陷与其他部分划分开。所采用的是基于区域性质的门限,门限值与区域性质有关。对利用 Gerber 文档分层后的彩色图像,采用整体与局部图像特征相结合的方法进行动态阈值表面缺陷检测。此方法受光照和相机影响小、算法实现简单、结果精确。

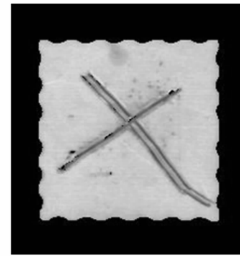
为了降低计算复杂度,并且能自适应校正各个区域的亮度差异,本文采用分块处理的方法,即将原图分成大小相同的 $N \times N$ 区域窗口,利用缺陷部分与正常表面有灰度差的特点,分割出窗口内的缺陷部分^[12-13]。在求取窗口内最大像素灰度与最小像素灰度差值 d 之前,先结合整体图像的灰度特征,先求取整幅图像的标准差 z 和均值 v ,利用下式求取动态门限值:

$$\text{threshold} = \begin{cases} z_1 + v_1 & z_1 > z \\ z_1 - v_1 & z_1 < z \end{cases}. \quad (2)$$

其中, threshold 为局部阈值, z_1 和 v_1 分别为局部的均值和标准差,当局部均值小于整体均值时,将灰度值小于 threshold 的像素判断为缺陷,这就可以很好地克服由于相机或者被测物基材所造成的颜色不均对测量结果的影响,并可以检出更轻微的划痕。由于局部阈值所设定的阈值 threshold 会随着所测缺陷尺寸的减小而增大,为了使灰度值相差较小的大面积缺陷也可以更好地测出,加入另外一个判断局部缺陷依据:

$$\begin{cases} m > z - c \cdot v \\ n > z + c \cdot v \end{cases}. \quad (3)$$

式中, c 为可调参数, m 为区域内最大像素灰度值, n 为最小像素灰度值。当局部区域灰度最大值小于式(2)整体区域代数运算部分,说明局部区



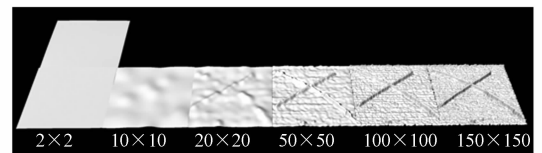
(a) 带缺陷的焊盘

(a) Defective pad



(b) 主分量图像

(b) Main component image



(c) 不同窗口大小分割仿真图

(c) Simulation of segmentation with different window sizes



(d) 分割后检测到缺陷图像

(d) Defective image detected after segmentation

图 3 带缺陷的焊盘效果图

Fig. 3 Effect diagrams of pad with defects

域中像素的灰度值很小,属于亮度较暗的缺陷区域,分类为缺陷部分;反之,当局部区域中的灰度最小值大于式(2)不等式右边部分时,则该区域属于亮度较亮的缺陷区域。

图 3 为利用该算法模拟的缺陷效果图,图 3(a)为一块带缺陷的焊盘放大图像,图 3(b)为提取主分量后的图像,图 3(c)为利用不同面积窗口进行动态阈值仿真的图像。从图 3 可以看出,随着分割区域的增多,区域边界亮度突变和形成块效应的现象减少,需要检测的缺陷更容易区分,所以可以根据被检测物体缺陷的最小尺寸来确定分割的最小模板数。文中采用了效果最好的 150×150 区域窗口,图 3(d)利用式(2)和式(3)确定局部阈值分割后的结果图像。

3 实验结果与讨论

为了验证该 Gerber 文档方法在 PCB 表面检测

中的有效性,分两部分进行实验验证:一是验证标准板的准确性;二是验证检测结果的准确性和计算速度。实验测试环境:计算机的 CPU 为 Intel(R) Core2 Duo 2.2 GHz,内存为 1 G,开发环境为 Visual Studio 2008,解析每英寸点数(DPI)为 800,待检测 PCB 实际尺寸为 $25 \text{ cm} \times 22 \text{ cm}$ ($7\,800 \text{ pixel} \times 6\,900 \text{ pixel}$)。

3.1 PCB 标准板的建立

图 4(a)~4(f)以电路板中第一层为例,描述了某型号 PCB 标准图像 Gerber 文档的解析过程,包括从基板到最后完成蚀刻、丝印层制作的过程。通过多层图像压合覆盖和膨胀腐蚀运算,最终结果显示和实际电路板相同的表面信息。图 5 将根据 Gerber 文档建立的标准图像与实际采集到的标准板图像进行对比,可以看出该方法得到的标准图像准确清晰,包含了 PCB 光学表面检测所需的所有光学信息。

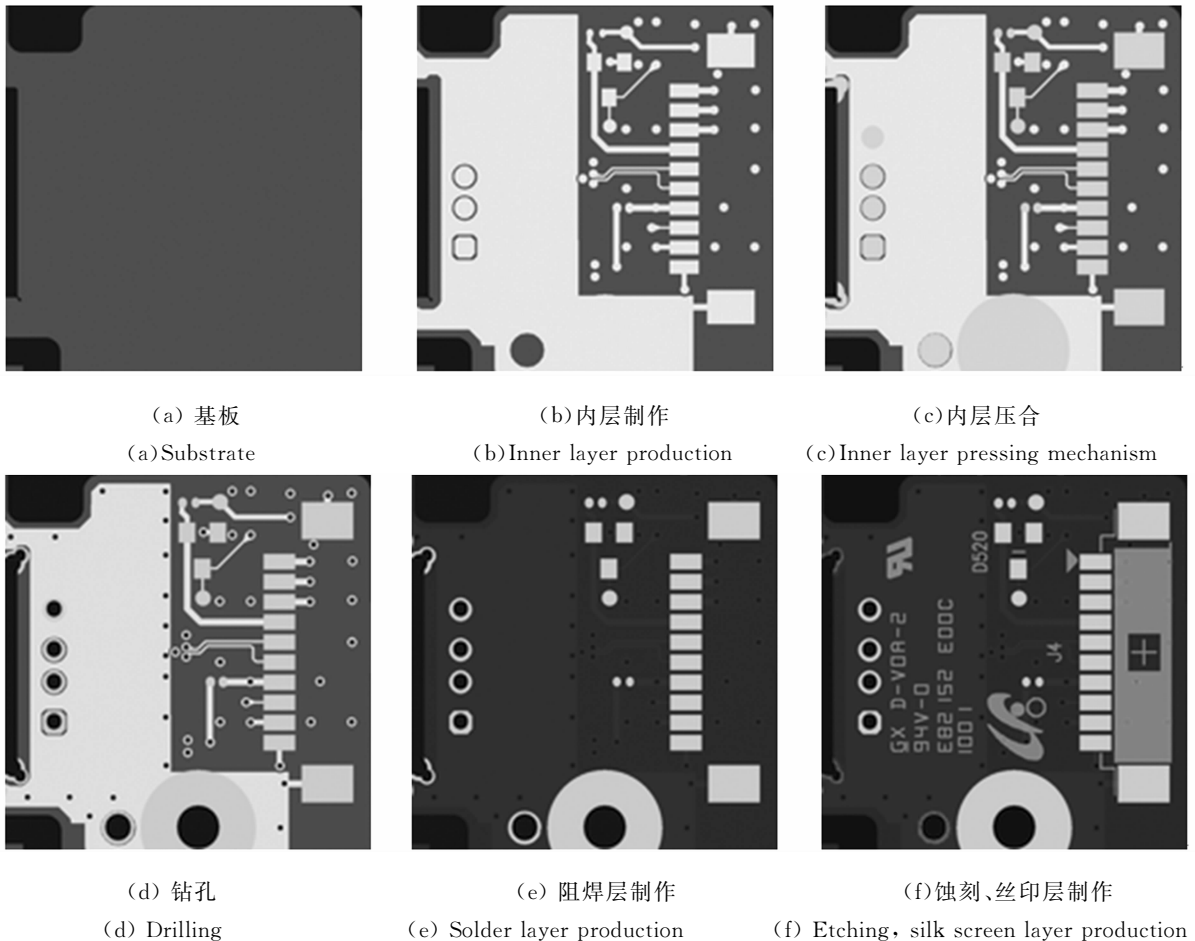
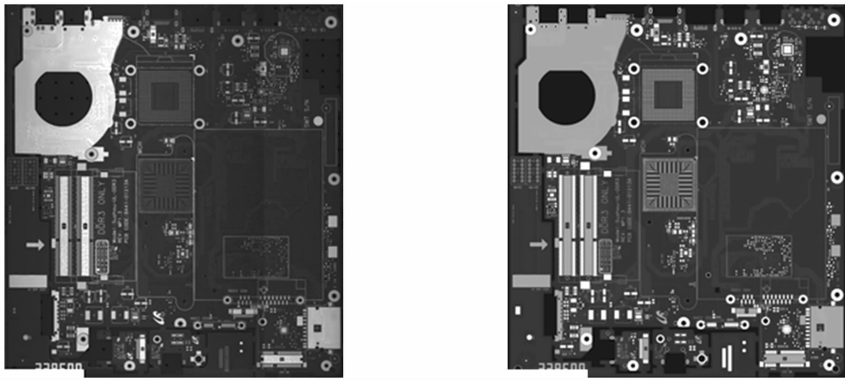


图 4 各层面图像合成过程

Fig. 4 Image synthesis process at all levels



(a) 实际采集图像

(b) Gerber 合成后图像

(a) Actually captured image

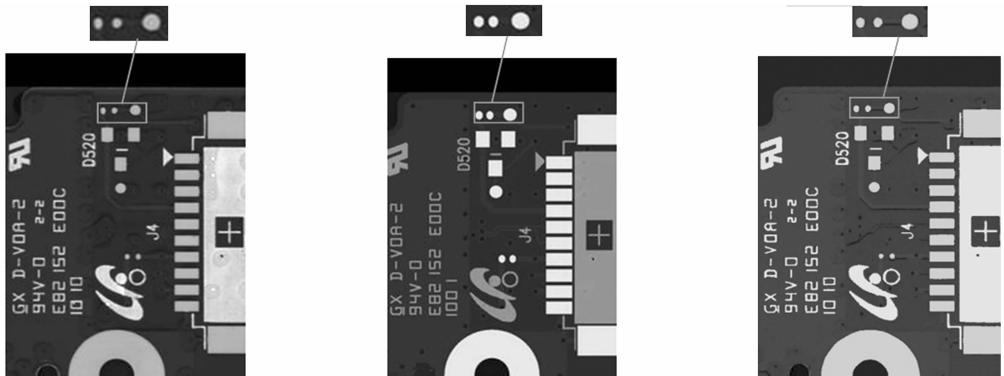
(b) Gerber synthetic image

图 5 实际采集图像与 Gerber 合成图像对比

Fig. 5 Comparison of capture image and Gerber synthetic image

在标准板的建立上,基于贝叶斯决策理论的色彩分割成为传统的 PCB 建立标准板的方法^[14]。如前面分析的那样,这种方法对标准图像的依赖性很高,如果采集到的标准图像质量很好,则建立的等标准模板误差就低。但是在工业应用中,由于机械抖动、CCD 噪声等的影响,使得采集到的图像很难达到理想标准。这也成为基于贝叶斯决策理论的色彩分割建标方法中的一个难点问题。而基于 Gerber 文档解析的建标方法对生产线上客观条件要求较低,这是因为 Gerber 文档包

含了 PCB 的物理位置信息,而这些信息不受外界影响,因此,基于 Gerber 文档解析算法得到的标准检测模板更加贴合真实的 PCB 图像,具有更高的精度,便于后续处理。图 6 为分别采用两种方法的建标结果对比。图 6(b)为采用贝叶斯分类器建标的细节图,图 6(c)为基于 Gerber 文档解析得到建标细节图。比较两幅图,图 6(c)在对比度、亮度、均匀度方面均优于图 6(b)。由放大的局部线路细节图可以看出,图 6(c)中线路边缘信息比图 6(b)更加清晰完整。



(a) 实际采集的标准板

(b) 贝叶斯决策理论建立标准板

(c) Gerber 解析建立标准板

(a) Actually captured standard board

(b) Standards board established by

(c) Standards board established by Gerber

Bayesian decision theory

analysis

图 6 Gerber 解析结果与贝叶斯决策理论建立标准板对比

Fig. 6 Comparison of standards board established by Gerber analysis and Bayesian decision theory

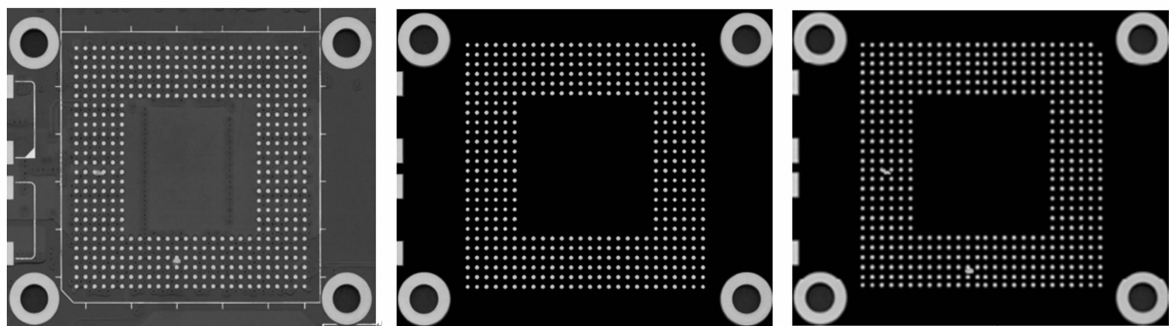
3.2 检测缺陷

将各层图像分离后,每层图像的颜色基本一致,反映的信息基本相同,这样有利于在图像二值化时根据图像信息选择合理的动态阈值,以及根

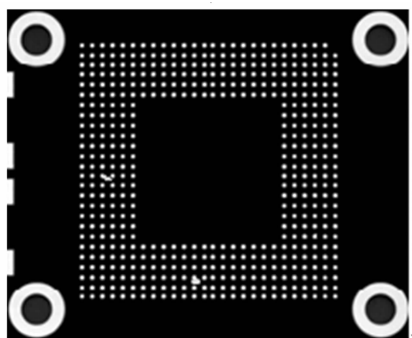
据各层的特征设定缺陷面积阈值。将各层单独检测的结果合并到一起,得到最终的整图检测结果。本文以球栅阵列(Ball Grid Array,BGA)结构的 PCB 区域作为研究对象,BGA 是电路板检测中要

求较严格的区域,也是误检率要求较低的区域,图 7(a)是从图 5(a)某型号电路板中截取到的部分图像,图 7(b)为利用 Gerber 文档解析后的 BGA 标准图像,图 7(c)为分层后的图像,图 7(d)为按

照 2.3 节公式(1)提取的主分量图像,图 7(e)是利用动态阈值检测到的缺陷图像,从图中可以看到细微的缺陷均已检出^[13]。



(a) 待测原始图像 (b) Gerber 解析后 BGA 标准图像 (c) BGA 分层后图像
 (a) Original image to be tested (b) BGA standard image after Gerber analysis (c) BGA image after stratification



(d) 主分量图像
 (d) Main component image



(e) 分割后检测到的缺陷图像
 (e) Defective image detected after segmentation

图 7 BGA 最终缺陷检测结果

Fig. 7 Final detection results of BGA defects

为了衡量自动光学检测系统的性能,本文分析了系统实际检测效率及缺陷检测的漏判数和正确率。实验中选取 50 块某型号 25 cm×22 cm 电路板和 4 种不同尺寸的电路板做为实验样本,检测样品的缺陷均已做标记,检测效率和缺陷结果分析如表 1 和表 2 所示。从表 1 和表 2 可以得出:采用 Gerber 文档的 PCB 表观检测算法的电路板检测时间比传统算法的减少一半,缺陷的漏检率为零,总体误判率低于 10%,满足工业生产实时检测的需求。

表 1 PCB 光电图像系统实际检测效率
 Tab. 1 Detection efficiency of PCB photoelectric image systems

PCB 尺寸 /pixel	传统算法检 测时间/ms	基于 Gerber 文档 检测时间/ms
4 561×7 128	419.65	236.3
6 768×7 520	682.55	361.1
7 123×964	189.75	99.25
7 800×6 900	1 087.3	566.2

表 2 PCB 光电图像系统实际检测缺陷分析

Tab. 2 Defect analysis of detection for PCB photoelectric image systems

缺陷类型	缺陷数	错判数	漏判数	正确率/(%)
线路缺陷	20	1	0	95.1
焊盘缺陷	29	4	0	86.2
BGA 缺陷	23	2	0	91.3
钻孔缺陷	27	3	0	88.9
基板缺陷	19	1	0	94.7
丝印层缺陷	8	1	0	87.5

4 结 论

本文从 PCB 外观检测的实际需求出发,提出一种采用 Gerber 文档精确建标和检测的方法,该方法分析了 Gerber 的数据结构,采用正则表达式进行自上而下的分析提取出所需信息,然后通过

形态学算法对 Gerber 文档解析后的图像进行修正,使其和实际标准 PCB 图像更加吻合。成功运用解析后的 Gerber 文档对彩色图像进行分层,根据主分量分析提取彩色图像中频带丰富的信息,最后,利用局部阈值的算法检测出 PCB 不同物理层图像中的细小缺陷。该方法能将快速准确解析出的 Gerber 文档用于 PCB 光电图像的分层,根据不同的层设置各自的检测阈值,实现局部针对性检测。实验结果表明,与传统的基于颜色分区方法相比,基于 Gerber 方法的检测速度减少一半,缺陷的漏检为零,总体误判率低于 10%,满足工业生产线对于精度及实时检测的需求。目前该解析方法已经应用在工业 PCB 检测中,反映良好。在以后的工作中,将对 Gerber 文档的解析和应用做进一步的优化处理,使其能更好的在工业检测领域发挥作用。

参考文献:

- [1] MAR N S S, YARLAGADDA P K D V, FOOKES C. Design and development of automatic visual inspection system for PCB manufacturing [J]. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2011, 27(5):949-962.
- [2] TEOH E K, MITAL D P, LEE B W, *et al.*. Automated visual inspection of surface mount PCBs [J]. *Signal Processing and System Control Factory Automation*, 1990, 576-580.
- [3] WANG D Z, WU C H, ANDREW I, *et al.*. Fast Multi-template matching using a particle Swarm optimization algorithm for PCB inspection[C]. *Conference European Workshops on the Theory and Applications of Evolutionary Computation*, 2008, 4974:365-370.
- [4] SOMATILAKE S, CHALMERS A N. An image based food classification system [C]. *Proceedings of Image and Vision Computing, New Zealand*, 2007:260-265.
- [5] EOH E K T, TSENG C C, CHENG M S, *et al.*. Electric contacts inspection using machine vision [J]. *Image and Vision Computing*, 2010, 28(6):890-901.
- [6] CHIU S N, PERN M H. Reflection-area-based feature descriptor for solder joint inspection [J]. *Machine Vision and Applications*, 2007, 8:95-106.
- [7] 刘建伟,梁晋,梁新合,等.大尺寸工业视觉测量系统 [J]. *光学 精密工程*, 2010, 18(1):126-134.
- [8] LIU J W, LIANG J, LIANG X H, *et al.*. Industrial vision measuring system for large dimension work-pieces [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1):126-134. (in Chinese)
- [9] WEI ZH, ZHANG G J, LI X. The application of machine vision in inspecting position-control accuracy of motor control systems [C]. *Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems, Shenyang, P. R. China: ICEMS*, 2001:1031-1038.
- [10] 姚蛟,叶玉堂,张静,等. PCB 自动光学检测中 Gerber 文件的解析研究 [J]. *计算机工程与设计*, 2012, 33(6):2481-2485.
- [11] YAO J, YE Y T, ZHANG J, *et al.*. Research of parsing Gerber file in PCB automatic optical inspection [J]. *Computer Engineering and Design*, 2012, 33(6):2481-2485. (in Chinese)
- [12] 吴福培,邱泳聪,张宪民,等.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, 17(10):2586-2593.
- [13] WU F P, KUANG Y C, ZHANG X M, *et al.*. Pattern matching and based PCB solder parameter adaptive joint inspection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10):2586-2593. (in Chinese)
- [14] 王映辉.人脸识别原理、方法与技术 [M].北京:科学出版社, 2010, 41-42, 124-130, 225-240, 142-

150.

WANG Y H. *Recognition Theory, Methods and Techniques* [M]. Beijing: Science press, 2010, 41-42, 124-130, 225-240, 142-150. (in Chinese)

- [12] KISHIMOTO S, KAKIMORI N, YAMAMOTO Y, *et al.*. A Printed Circuit Board (PCB) inspection system employing the multi-lighting optical system [C]. *8th IEMT International Electronic Manufacturing Technology Conference, IEEE*, 1990, 120-129.

- [13] 黄杰贤,李迪,叶峰,等. 挠性印制电路板焊盘表面

缺陷的检测[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(11): 2443-2553.

HUANG J X, LI D, YE F, *et al.*. Detection of surface deflection of solder on flexible printed circuit [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(11): 2443-2553. (in Chinese)

- [14] HAE-WON OH, TAE-HYUNG PARK. Gerber-character recognition system of auto-teaching program for PCB assembly machines [C]. *SICE Annual Conference*, 2004, 1:300-305.

作者简介:



张 静(1984—),女,河南洛阳人,博士研究生,主要从事基于视觉的高端光学设备及仪器研发、图像处理算法的研究。E-mail: zhangjing619@gmail.com



常永鑫(1983—),男,河南新乡人,博士研究生,2010年于重庆大学获得硕士学位,主要从事信息获取与处理,光电图像目标识别与跟踪的研究。E-mail: cyongxin@126.com



谢 焜(1985—),男,广西贺州人,博士研究生,主要从事现代光电测控仪器设计、光学设计、光电图像检测的研究。E-mail: xyxygood@gmail.com



叶玉堂(1946—),男,重庆忠县人,教授,博士生导师,1970年本科毕业于北京大学物理系,1981年于电子科技大学获得硕士学位,主要从事光电测量与控制,单片光电集成电路及光电对抗的研究。E-mail: ytye@uestc.edu.cn



刘 霖(1979—),男,成都龙泉人,博士,博士生导师,2006年、2009年于电子科技大学分别获得硕士、博士学位,主要从事光电集成和激光微细加工方面的研究。E-mail: juanxiul@uestc.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)