

文章编号: 2095-2163(2024)01-0130-05

中图分类号: TP317.4

文献标志码: A

# 基于 OpenCV 的 Micro-PCB 点胶表面缺陷检测系统设计

樊雅琴, 许海龙, 王甫姜

(无锡深南电路有限公司, 江苏 无锡 214142)

**摘要:** 针对 Micro-PCB 体型小、板片薄不易做表面缺陷检测的弊端, 构建了一套基于 OpenCV 视觉库, 可对点胶表面进行缺陷检测的机器视觉系统。运用图像处理中的形态学算法, 对金面表面实现  $0.2\text{mm}^2$  以上的多点状、膜破渗金和抗镀无法描述、黑色圆形点状等缺陷的检测。测试结果表明, 该系统检测精度较高且运行稳定。

**关键词:** 缺陷检测; 形态学; 机器视觉; OpenCV

## Design of OpenCV-based Micro-PCB dispensing surface defect detection system

FAN Yaqin, XU Hailong, WANG Fujiang

(Wuxi Shennan Circuits Co., Ltd, Wuxi Jiangsu 214142, China)

**Abstract:** Aiming at the drawbacks of Micro-PCB's small size and thin boards that are not easy to do surface defect detection, a machine vision system based on OpenCV vision library that can detect defects on dispensing surfaces is constructed. Using morphological algorithms in image processing, the surface of the gold surface to achieve more than  $0.2\text{mm}^2$  multi-dot, film broken gold seepage and anti-plating can not be described, black round dots and other defects in the detection. Test results show that the system has high detection accuracy and stable operation.

**Key words:** defect detection; morphology; machine vision; OpenCV

## 0 引言

机器视觉缺陷检测技术在中国的 PCB 生产应用中极其广泛, 鉴于国内众多厂家对 PCB 的缺陷检测依旧处于手工操作设备观察缺陷是否存在, 且只能通过抽检进行筛查的方式, 本文采用视觉检测技术, 规避了传统人力对 PCB 造成的板面不平整或者划伤等多次事故现象, 同时对板件的检测方式采用 100% 全检, 而非以产品规格或批料号等进行部分检。由此可见, 产线的综合效率得到了显著提升, 而且检测的精度远远超过人工的能力水平。

Micro-PCB 加工生产流程包括丝印、熔化、点胶、贴装、去胶等步骤, 因而会存在划痕、膜破渗金和抗镀、条状且有高度感缺陷、缺损而影响到产品的外观。为了增加 Micro-PCB 全产线缺陷检出能力, 需要提高对 Micro-PCB 快速检的速度及准确度, 再者要搭建稳固的产品运输传送带, 保证产品的稳定性。笔者主要借助 AVI 设备机软件处理相机采集到的 Micro-PCB 图像, 运用形态学等技术为 Micro-PCB 表面缺陷检测的实现提供可靠、稳定的保障。

## 1 机器视觉系统组成及检测原理

机器视觉系统是指利用机器替代人眼进行各种测量和判断。本系统由硬件和图像检测软件两部分组成, 主要利用机器视觉系统实现 Micro-PCB 表面缺陷的自动检测。

### 1.1 系统组成

#### 1.1.1 硬件

硬件部分主要包括编码器<sup>[1]</sup>、线阵相机、AGV 小车、传送带、电机、光源、UR 机械臂、工控机等部分, 其整体布局如图 1 所示。

#### 1.1.2 软件部分

图像检测软件主要分为上位机、数据库和算法 3 个方向。其中, 算法主要是图像检测, 通过图形化的方案识别、检测、计算出既定的目标图像, 通常包含降噪滤波、图像模板匹配等部分, 采用的技术包含 OpenCV 视觉库、Winform 界面、Spring 框架等; 后台主要是数据库的数据、图片存储等; 上位机则代表用户操作的页面, 便于操作者与系统进行实时交互。

**作者简介:** 樊雅琴(1992-), 女, 学士, 高级工程师, 主要研究方向: AI 缺陷检测方向; 许海龙(1981-), 男, 大专, 工程师, 主要研究方向: AI 缺陷检测方向; 王甫姜(1992-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: AI 缺陷检测方向。

收稿日期: 2023-06-30

哈尔滨工业大学主办 ◆ 系统开发与应用

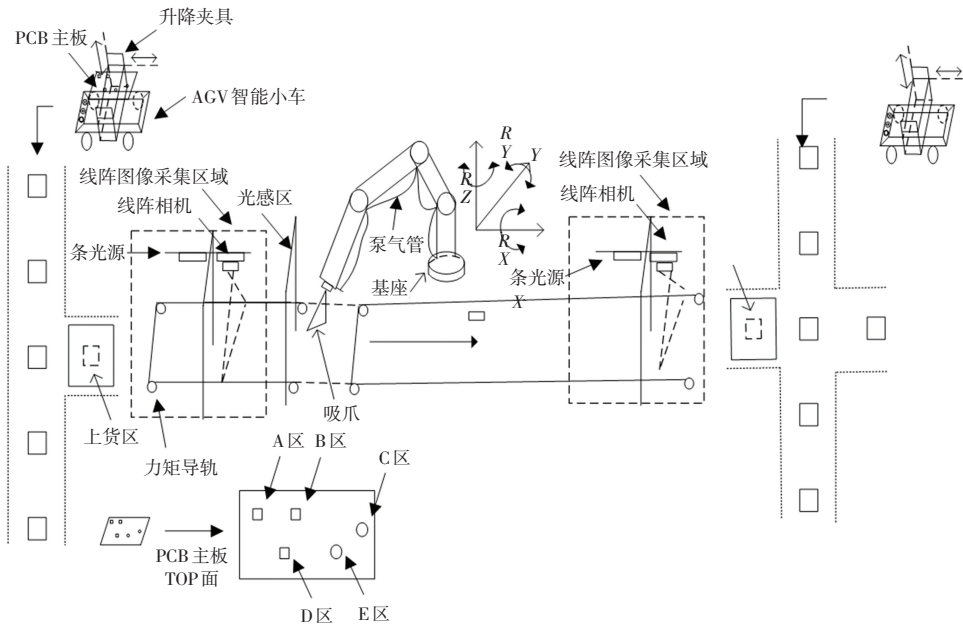


图 1 机器视觉系统硬件布局示意图

Fig. 1 Machine vision system layout schematic

## 1.2 检测过程

工业机器视觉系统主要检测步骤如下:

(1) 当传感器探测到被检测物体接近运动至线阵相机的拍摄中心时, 向图像数据采集部位接收端发送启动脉冲。

(2) 图像数据采集部位按照提前设置的程序和延时, 分别向线阵相机和照明系统发送启动脉冲。其中一个启动脉冲发送给线阵相机, 线阵相机完成当前的扫描后, 重新开始新的逐帧扫描, 或者线阵相机在启动脉冲到来之前保持等待模式, 启动脉冲来临后运行逐帧扫描。当线阵相机开始新的逐帧扫描之前启用曝光光源, 曝光时间可以提前设置。另一个启动脉冲发送给光源, 光源的打开时间需要与线阵相机的曝光时间相匹配; 线阵相机曝光后, 正式开始逐帧图像的扫描和输出。

(3) 图像数据采集部位接收信号, 并通过 A/D 转换将模拟信号数字化, 或者是直接接收线阵相机数字化后的数字视频数据。

(4) 图像数据采集部位将数字图像存储在工控机中, 工控机上的图像检测软件对图像进行处理、分析和识别, 获得检测结果。

(5) 处理结果将控制流水线的动作、进行定位、纠正运动的误差等。

## 2 基于 OpenCV 的 Micro-PCB 缺陷检测

### 2.1 图像采集

图像采集主要是通过线阵相机正面打光采集

Micro-PCB 表面图像。由于镜头的畸变影响误差, 像素点之间的距离千差万别, 故需要进行线阵的标定。通过 OpenCV 内置函数 `videoCapture(url)` 可以打开和配置图像采集设备<sup>[2]</sup>, 再通过 `read()` 函数实时抓取帧信息。如图 2 所示, 线阵相机的采集垂直视线对准待扫描区域, 并保持与 PCB 板面互相平行, 避免产生桶形畸变或枕形畸变影响到图像检测的精度。

### 2.2 图像预处理

相机拍摄的源图片为三通道彩色图像, 需要将彩色图像转变成灰度图像, 将颜色分量按照一定的权重系数加权求和, 加权求和数学模型如式 (1) 所示:

$$f = \omega_1 R + \omega_2 G + \omega_3 B \quad (1)$$

其中,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  3 个参数值代表颜色的各个权重系数, 权重系数的线性组合保证了图像表达后不失真。

根据多次测试、打光、更换产品, 最后实践得知, 选择权重系数为 0.288、0.598、0.114 的配置比例能较好满足系统的检测指标。

由于 PCB 产线现场环境的复杂性, 包括室内光源干扰以及温度的变化, 均会对采集图像产生噪声影响, 而噪声会降低图像的分割、提取、计算的精度, 引起测量准确度降低, 因此需要对出机图像提前进行降低噪声处理。常用的去噪方法有均值滤波、中值滤波、维纳滤波<sup>[3]</sup>。

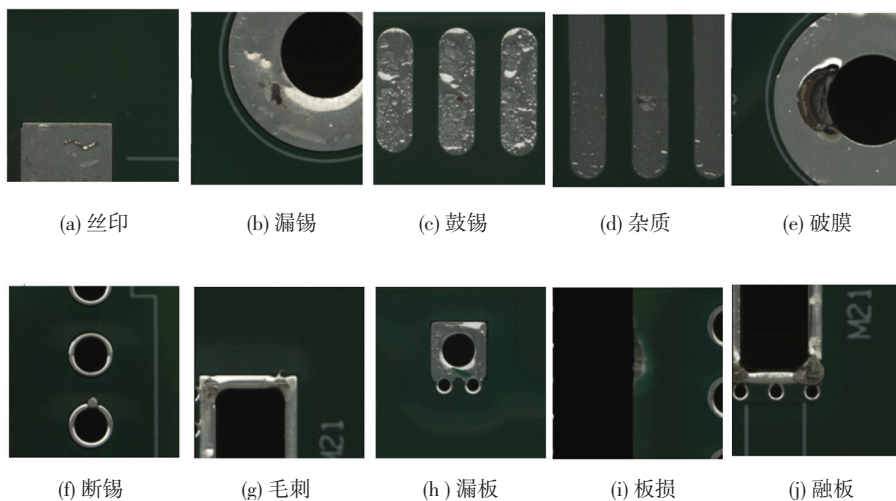


图2 线阵相机采集图像(部分截图)

Fig. 2 Linear array camera captured images (partial screenshots)

均值方式滤波通常采用邻域平均法,将图像的局部均值代替原先图像的像素点。若有一幅  $M * N$  像素大小的图像  $g_n(i,j)$ , 经过均值处理之后得到  $Z(i,j)$ , 如式(2)所示:

$$Z(i,j) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m g_n(i,j) \quad (2)$$

其中,  $Z(i,j)$  代表图像平均像素值,  $g_n(i,j)$  代

表该幅图像中第  $n$  个位置点的像素值。滤波去噪的方式多种多样,中值滤波、均值过滤等都是比较大众化的非线性滤波方法,在去噪的同时,能较好维护边缘信息。两种降噪方式都可以平滑图像噪声干扰,算法都比较简单,中值、均值处理后的效果如图3、图4所示。

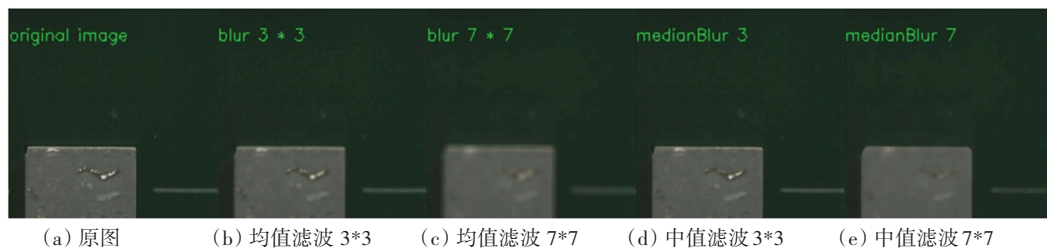


图3 丝印源图经过中值、均值处理后图片效果

Fig. 3 Image effect of silk screen source image after median and mean processing

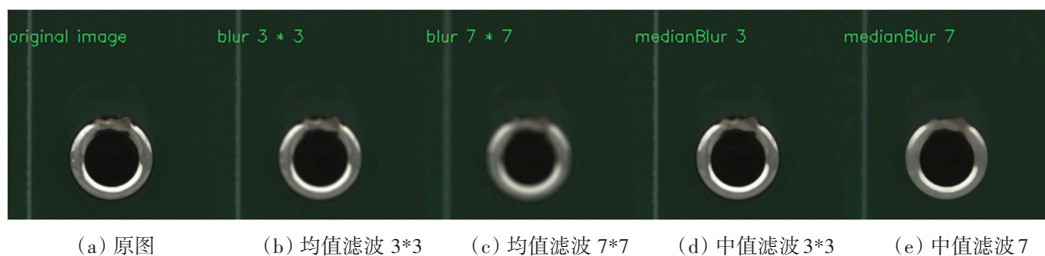


图4 漏锡源图经过中值、均值处理后图片效果

Fig. 4 Image effect of tin leakage source image after median and mean processing

### 2.3 数学形态学识别算法

本文在 Micro-PCB 表面缺陷的检测过程中,传送导轨速度过快会导致线阵相机采集的图片存在抖动失真,从而导致源图中不同组件位置成像在一定程度上的偏移。本文主要采用模板匹配<sup>[4]</sup>算法,实现 Micro-PCB 板面(如图1)A区、B区、C区、E区、F

区下的定位与检测。

源图中获取匹配模板,之后便可将模板与诸多图片进行计算类比,对比值达到设定的相似度,即可确定待检测区域的不同坐标和朝向。基于 Micro-PCB 灰度值与基于 Micro-PCB 形状匹配过程如图5所示:

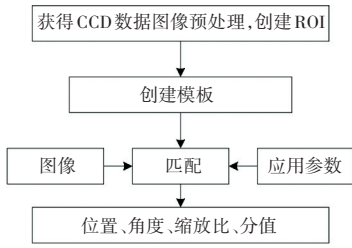


图 5 匹配过程

Fig. 5 Matching Process

本实验机器视觉系统采用相似度函数<sup>[5]</sup> SAD 以及 SSD 将模板与图像进行滑窗式匹配, SAD 和 SSD 计算公式分别如式(3)和式(4)所示:

$$SAD(r,c) = \frac{1}{n} \sum_{(u,v) \in T} |t(u,v) - f(r+u,c+v)| \quad (3)$$

$$SSD(r,c) = \frac{1}{n} \sum_{(u,v) \in T} x \cdot |t(u,v) - f(r+u,c+v)|^2 \quad (4)$$

式中:  $t(r,c)$  表示图像  $T$  行  $r$  列  $c$  的灰度值,  $f(r+u,c+v)$  表示图像  $r+u$  行  $c+v$  列的灰度数值。

在实际 Micro-PCB 环境中会存在不稳定的干扰噪声, 诸如光照强度、信号干扰等, 故需要归一化相关系数, 如式(5), 使其对光照变化敏感度降低, 算法具有较强的鲁棒性能。归一化相关系数匹配适合于轻度的噪声干扰、光照柔性变化或轻度的障碍物遮挡。

$$ncc(r,c) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{(u,v) \in T} \frac{t(u,v) - m_t}{\sqrt{s_t^2}} \cdot \frac{f(r+u,c+v) - m_f(r,c)}{\sqrt{s_f^2(r,c)}}}{\sqrt{s_f^2(r,c)}} \quad (5)$$

目前 Micro-PCB 应用较多采用基于形状的模板匹配, 基于形状的匹配可以减轻遮挡与光照失衡对结果的判断, 同时起到忽略匹配过程中物件的转动角度、位置偏移、大小不均变化等影响的作用。

通过物件匹配, 则是一种高级的匹配方法。当多个物体之间存在大量偏移, 基于形状的匹配需要验证多个模板, Micro-PCB 做为一种精密行业的产品元件, 微元件之间的距离、坐标为固定数值, 故通过基于模板匹配的方法仅仅匹配得到某个物体即可保证额外的区域探寻视角趋势、步长、距离等, 极大节省算法运算的时长, 效率得到最大提高。

本文采用误差平方和的方式来衡量原图与模板区别。设  $f(x,y)$  为  $M \times N$  的源图,  $h(u,v)$  为  $U \times V$  的模板图像, 公式为  $F(x,y) = \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [f(x+u,y+v) - h(u,v)]^2$ , 经整理后, 如式(6)所示:

$$F(x,y) = \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [f(x+u,y+v)]^2 - 2 \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [f(x+u,y+v) \cdot h(u,v)] + \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [h(u,v)]^2 \quad (6)$$

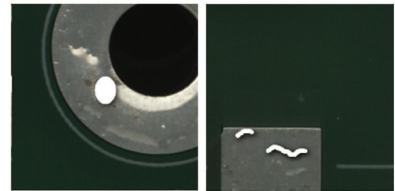
当  $F(x,y)$  匹配失败的时候, 则采用归一化互相关算法<sup>[6]</sup>作为误差平方和来进行匹配, 如式(7)所示:

$$R(x,y) = \frac{\sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} h(u,v) \cdot \frac{1}{\sqrt{\sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [f(x+u,y+v)]^2}}}{\frac{1}{\sqrt{\sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} [h(u,v)]^2}}} \quad (7)$$

上述两种相似函数在相对稳定时, 可以精准匹配源图像; 当检测环境发生变化, 如遮挡比较严重或者光照比较严重时, 计算结果值误差偏大, 从而影响 Micro-PCB 的生产过程。

### 2.4 缺陷检测

通过上述处理过程之后, 运用 OpenCV 里的函数方法便可得到 Micro-PCB 板面的余铜、线细、破盘、多孔等点、线缺陷<sup>[7]</sup>, 同时可以得到对应的像素面积大小、最大外接矩形、坐标等等。图 6 为部分缺陷效果图。



(a) 源图点缺陷 (b) 源图线缺陷

图 6 缺陷效果图

Fig. 6 Defect rendering

### 3 结束语

利用本文设计的 Micro-PCB 检测系统, 通过对近 49 512 个成品的数据收集与检测, 其检出率为 99.5%, 漏报率为 0, 过杀率为 0.3%, 错检率为 0.2%, 基本实现了快速、精准对板面的缺陷进行检测的效果。通过 OpenCV 对采集的图像进行形态学处理以此达到对 Micro-PCB 实现零漏检的目标, 同时该系统的实时性和准确性均能满足客户对系统的要求, 可以减少由于板件缺陷导致整机产品的报废。

(下转第 139 页)