

# 基于机器视觉的电子产品外观 表面缺陷检测方法研究

段铮昱, 文生平

(华南理工大学 聚合物新型成型装备国家工程研究中心 聚合物成型加工工程教育部重点实验室, 广州 510640)

**摘要:** 目前电子产品外观表面缺陷人工检测工作量大, 效率低而且漏检率高, 迫切需求产品缺陷的自动化检测; 实际检测中, 塑料制品表面在光照条件下会出现反光, 严重影响后续处理; 缺陷微小且与制品颜色对比不明显, 采用直接阈值无法分割; 针对这一现状将机器视觉技术与虚拟仪器相结合, 根据产品缺陷特征, 选择合适的光照方案抑制反光, 利用锐化滤波获取了缺陷部位特征清晰的图像, 并对边缘模糊缺陷有效分割; 识别结果表明, 图像处理算法稳定, 对绝大部分缺陷具有良好的检测效果。

**关键词:** LabVIEW; 注塑制品; 机器视觉; 表面缺陷

## Study on Surface Defects Detection Method of Electronic Products Based on Machine Vision

Duan Zhengyu, Wen Shengping

(National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, Ministerial Key Laboratory of Polymer Processing Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstracts:** The efficiency and accuracy of conventional surface defects detection of electronic products by artificial are relatively low, so the requirements of automatic detection of product defects increasingly urgent. In actual, the products have light reflective region on conditions of illumination, which will make the process of image processing more difficult; in addition, because the defect is very small and is not obvious compared with the color of the products, threshold directly cannot segment it. Machine vision and virtual instrument are applied to the detection. Based on the characteristics of products, select the illumination program, sharpening filter is used to obtain distinguishable defect images, fuzzy edges can be extracted effectively. Results show that image processing algorithm performs stably and can effectively detect most of the defects.

**Key words:** LabVIEW; injection product; machine vision; surface defect

### 0 引言

在注塑产品制造过程中, 由于原材料所限以及加工过程中的工艺问题等多方面的原因, 会导致产品表面出现污点、划痕、颗粒等缺陷。目前外观缺陷检测方法主要由人工检测。由于缺陷的特征差别细微, 加上所用材料和车间照明条件限制, 人眼长时间连续作业会视觉疲劳, 很容易造成误检、漏检。随着现代图像处理技术和机器视觉设备的发展, 机器视觉检测技术更广泛地应用于解决更复杂的问题<sup>[1]</sup>。与传统人工检测方法相比, 可以更方便地对微小缺陷进行采集与分析, 可以更准确、快速地完成检测。

机器视觉检测具有很强的针对性, 就电子产品外观缺陷机器视觉检测而言, 目前尚没有通用的检测设备。针对表面质量要求很高的制品表面缺陷检测一直是一个难题, 最关键的问题是抑制光滑表面的反光与分割颜色对比不明显的微小缺陷, 另外, 缺陷检测速度还要跟上生产线速度, 这对成像与图像处理算法提出了很高的要求。

本文采用 LabVIEW 软件、NI-IMAQ 视觉模块作为软件

开发平台, 针对产品缺陷特征, 以机器视觉和数字图像处理为理论基础, 实现了电子产品外观表面缺陷(划痕、斑点、颗粒)的自动化检测, 有效提高了产品缺陷检测的速度和精度。

### 1 系统硬件方案

视觉检测系统硬件主要包括以下几个部分:

光源系统: CCS 公司同轴光源与 LED 低角度环形光源。

图像采集系统: baumer 公司 500 万像素彩色 CCD 相机, NI 公司图像采集卡。

图像处理系统: 研华工控机。

测控软件系统: NI 公司 LabVIEW 软件、NI-IMAQ 视觉模块。

#### 1.1 照明方式的选择

在注塑成型过程中, 由于原料选择, 模具设计, 设备运转, 工艺参数等条件的影响, 常会使制品产生各种缺陷。仅针对几种常见的表面缺陷进行研究,

(1) 划痕: 注塑制品表面在外力刮擦作用下产生的细条型痕迹, 多数为凹陷状, 凹陷程度通常较小。

(2) 颗粒: 制品表面凸起物成颗粒状分布在整个或局部表面的现象, 颗粒与非缺陷区域过渡平缓, 无明显边界。

(3) 斑点: 制品表面受外界物质侵入或自身析出影响, 产生的与本身颜色不同的色斑。表面较为平坦, 无明显凹凸。

由于选用材质的影响, 制品表面还存在一定的镜面效应,

收稿日期:2013-10-15; 修回日期:2013-12-10。

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2012B091000014)。

作者简介:段铮昱(1988-),男,硕士研究生,主要从事工业装备的智能控制与机器视觉方向的研究。

综合上述因素的影响,本文选用 LED 低角度环形光源与同轴光源组合的正面照明方式。同轴光源具有抑制反光,且对反光表面有均匀的照明效果。底角度环形光能抑制表面纹理变化,凸显表面突出物。图像采集实验样品为国内某电子产品精密组件生产厂家实际工况条件下生产的组件样品。各类缺陷图像采集效果如图 1 所示。

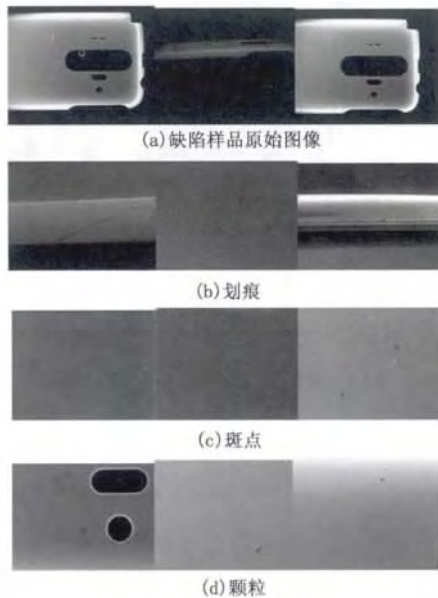


图 1 常见缺陷类型

## 2 制品缺陷检测图像处理算法研究

数字图像处理算法是系统检测软件程序的核心。通过综合运用图像处理中的图像滤波、图像分割,图像形态学等技术,系统实现了电子产品外观表面缺陷的图像获取、缺陷识别等自动化检测。缺陷检测过程算法流程图如图 2 所示。

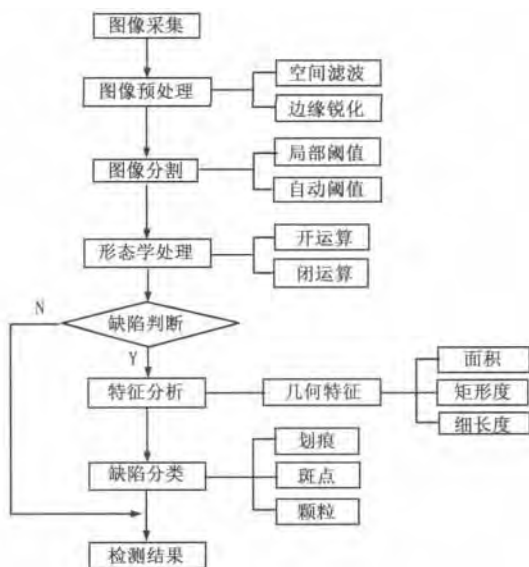


图 2 检测算法流程图

### 2.1 空间锐化滤波

预处理之前缺陷轮廓模糊,微小缺陷在分割过程中容易被

背景纹理掩盖,提高了检测难度。图像的模糊实质是因为图像受到平均或积分运算,对其进行逆运算如微分运算、梯度运算,就可以使图像清晰<sup>[2]</sup>。锐化滤波处理的目的是使边缘和轮廓线模糊的图像变得清晰,并使其细节清晰<sup>[3]</sup>。空间锐化滤波主要应用于突出灰度的过渡部分,增强图像边缘,使目标物体的边缘鲜明,以便于提取目标物体的边界、对图像进行分割,为图像的后续处理打下基础。<sup>[4]</sup>由于二阶导数对图像处理中图像中的噪声比较敏感,因此常用一阶导数来检测边缘<sup>[5-6]</sup>。锐化滤波效果对比如图 3 所示。

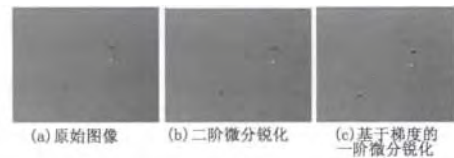


图 3 锐化滤波效果对比

设有一副原始图像  $f(x, y)$ , 则其梯度表达式为:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{[f(x, y) - f(x+1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+1)]^2} \quad (1)$$

又可写作:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

实际工程应用中,直接采用梯度算子计算量比较大,通常采用梯度模板算子。常见的算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子,如表 1 所示。通过实验, Sobel 算子最适合系统图像处理。

表 1 边缘检测算子列表

算子名	$G_x$	$G_y$	算子特点
Roberts	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	边缘定位精度高 抑制噪声能力差
Prewitt	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	定位精度较差 对噪声有抑制作用
Sobel	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	快速简单 抑制噪声

### 2.2 图像分割

图像处理过程中,人们往往只对图像的某一部分内容感兴趣,图像分割就是把图像分成各具特性的子区域并提取出感兴趣的目标。

基于阈值的分割方法通过选取一个或几个阈值把图像的灰度级分为几个部分,进而将目标区域提取出来<sup>[7]</sup>。阈值分割可用公式表示为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $f(x, y)$  是图像原始  $(x, y)$  处灰度值,  $g(x, y)$  是分割后灰度值,  $T$  为阈值。根据  $T$  取值方式的不同,阈值分割分为全局阈值处理、局部阈值处理、动态阈值处理等。

由于存在光照的不均匀,单一阈值法很难将缺陷全部分割出来,因此采用局部阈值法对图像进行处理。局部阈值处理的方法是把一幅图像分成不重叠的矩形,选择的矩形要足够小以

便每个矩形的光照都近似是均匀的,然后对每个窗口进行自动阈值处理,最后将所有图像进行捆绑,重新分析并显示结果<sup>[8]</sup>。

### 2.3 形态学图像处理

在图像获取过程中,由于相机噪声,光照不均,被测物体表面细小灰尘的影响,会使获得的图像上产生一些噪声点。形态学处理有助于去掉或加强孤立特征,例如黑色背景上的亮点<sup>[9]</sup>。

形态学变换是通过结构元素来进行运算的。在每个像素位置上结构元素与对应的区域进行特定的逻辑运算,运算结果为输出图像相应的元素,由此可以构造出不同的形态学处理运算。

(1) 腐蚀:减少被低密度邻居包围的像素的亮度,消除边界点使边界向内部收缩,作用是消除小且无意义的物体。设集合  $A$  为输入图像,集合  $B$  为结构元素,则  $A$  被  $B$  腐蚀可表示为:

$$A \ominus B = \{x: B+x \subset A\} \quad (4)$$

(2) 膨胀:增加被高密度邻居包围的像素亮度,将与物体接触的背景点合并到物体中,作用结果是填补目标中的空洞,连接相邻的物体边界。 $A$  被集合  $B$  膨胀表示为  $AB$ ,其定义为:

$$A \oplus B = [A^c \ominus (-B)]^c \quad (5)$$

式中,  $A^c$  表示  $A$  的补集。

(3) 开运算:先腐蚀后膨胀的过程称为开运算,作用是去除暗区和光滑边框中的孤立的亮点,平滑较大物体的边界。开运算的数学形式为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6)$$

(4) 闭运算:线膨胀后腐蚀的过程称为闭运算,结果是去除亮区和光滑边框中的孤立的暗点,连接临近物体同时平滑其边界。闭运算的数学形式为:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (7)$$

LabVIEW 软件的 vision 模块中 Erosion, Dilation, open, Close 函数可用来实现形态学的基本运算。通过多次实验效果对比,先开后闭的形态学处理能有效消除图像中微小的噪声点。

### 2.4 特征分析与缺陷分类

特征分析是为了得到可以有效识别缺陷的分类信息。图像有很多类型的特征值,如:几何特征、灰度值及纹理等,几何特征在缺陷区域描述时应用最多,且是最有效的。几何特征包括几何体的边界描述和区域描述。常用的区域描述子有区域的面积、矩形度、圆形度和细长度等<sup>[10]</sup>。

缺陷分类是根据特征分析提取到的特征值,对缺陷进行相应的分类,以确定缺陷类型。缺陷分类属于模式识别的范畴,常见的模式识别方法有匹配、最佳统计、神经网络和模糊系统等。由于仅研究 3 种缺陷,使用最小距离分类器,可以提高识别效率。

## 3 缺陷识别结果与分析

颗粒、划痕、斑点缺陷图像预处理及分割处理结果如图 4 所示。

低角度环形光源与同轴光源相组合能有效抑制反光,采集系统获得的原始图像制品表面成像清晰,亮度比较均匀,颗粒、划痕缺陷部位明显,仅轻微反光存在于样品边缘弧形过渡部分。

滤波增强了缺陷边缘灰度平坦区域的微小突变,同时消除了灰度值缓慢变化的背景,灰度图中微小缺陷得到增强,为后续图像分割处理打下了基础。

局部阈值处理降低了光照不均等外界干扰对灰度值造成的影响。数学形态学操作消除了微小颗粒对检测的干扰。

从上述识别结果可以看出,本文的检测算法可以在理想精度下识别出样品中的颗粒、划痕、斑点缺陷。

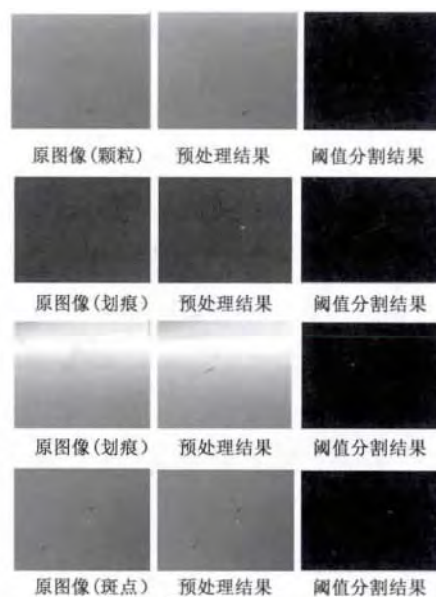


图4 缺陷检测结果

## 4 结论

本文针对注塑制品的缺陷分类及其特征,提出了低角度环形光源与同轴光源相配合的暗场照明方式,获取了样品缺陷特征明显的清晰图像,为后续处理打下了基础,之后针对缺陷边缘模糊的情况,选取了梯度空间锐化滤波、局部阈值处理算法,并对分割后图像进行形态学处理。实验证明,算法性能稳定,能够在满足精度要求条件下有效检测出绝大部分缺陷。

### 参考文献:

- [1] 张鑫. 基于图像处理的注塑制品缺陷检测方法研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2009: 6-8.
- [2] 刘直芳, 王运琼, 等. 数字图像处理与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 张昱. 基于机器视觉的 TFT-LCD 屏 mura 缺陷检测技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006: 25-26.
- [4] National Instruments Corporation. NI Vision for LabVIEW User Manual [Z]. 2005.
- [5] Gonzales R C, Woods R E. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [6] 徐全生, 杨彬, 等. 空间滤波与图像锐化技术在质量检测中的应用 [J]. 沈阳工业大学学报, 2004: 34-36.
- [7] 姜希. 手机面板表面质量在线检测系统的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009: 30-32.
- [8] National Instruments Corporation. NI Vision for LabVIEW Help [Z]. 2010.
- [9] 汪志亮. 面向 OLED 制造过程的缺陷检测算法研究与系统开发 [D]. 广州: 广东工业大学, 2012: 20-21.
- [10] 李健, 韩玮, 等. 一种皮革表面缺陷检测分类方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (12): 2733-2735.