

基于 Kirsch 和 Canny 算子的陶瓷碗 表面缺陷检测方法

郭 萌 胡辽林 赵江涛

西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048

摘要 提出了一种基于机器视觉的陶瓷碗表面缺陷检测方法,该方法主要通过 Kirsch 算子和 Canny 算子的结合来实现表面缺陷的边缘检测。采用传统 Kirsch 算子的 8 个方向模板分别对图像上的每一个像素点进行卷积求导,选取最大模板,确定其边缘方向,结合 Canny 算子信噪比高、检测准确度高、边缘细节保留好等特点完成表面缺陷的检测,通过缺陷的几何特征判断是否存在缺陷。实验结果表明,该算法很好地抑制了噪声干扰,提高了边缘定位准确性及检测准确度,在保留边缘信息的同时避免了伪边缘的出现。

关键词 探测器; 图像处理; 缺陷检测; Kirsch 算子; Canny 算子; 陶瓷碗; 几何特征

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201636.0904001

Surface Defect Detection Method of Ceramic Bowl Based on Kirsch and Canny Operator

Guo Meng Hu Liaolin Zhao Jiangtao

*School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology,
Xi'an, Shaanxi 710048, China*

Abstract Based on machine vision, one method used for detecting the surface defects of ceramic bowls is proposed. This method is mainly used to accomplish the edge detection of surface defects by means of Kirsch operator in combination with Canny operator. It adopts the eight direction templates from the traditional Kirsch operator to calculate the derivative convolution of every pixel point, singles out the optimal template, and determines the edge direction. The high signal-to-noise ratio, high detection accuracy and edge detail keeping of the Canny operator are combined to accomplish the detection of surface defects. Whether there is a defect or not is determined based on the the geometric features of defects. Experimental results show that this new method can effectively suppress noise disturbance, improve the edge localization and detection accuracy, keep the edge information but simultaneously avoid the occurrence of false edges.

Key words detectors; image processing; defect detection; Kirsch operator; Canny operator; ceramic bowl; geometric feature

OCIS codes 040.1880; 100.2000; 100.2960; 040.1520

1 引 言

在陶瓷碗的批量生产中,合格率是生产厂家非常关注的问题,因此对陶瓷碗的表面检测是生产过程中一个至关重要的环节。目前,国内已有关于采用机器视觉的方法进行表面缺陷的自动化检测的报道,如江南大学利用 Sobel 与分数阶微分的边缘检测算法对圣女果表面缺陷进行检测^[1],四川大学利用 Canny 算子和 Hough 变换对码坯表面缺陷进行检测^[2],浙江工业大学研究了基于机器视觉的袋泡茶包缺陷检测方法^[3]。

收稿日期: 2016-03-24; **收到修改稿日期:** 2016-05-05

基金项目: 陕西省自然科学基金(2014JM7273)

作者简介: 郭 萌(1991—),女,硕士研究生,主要从事图像处理方面的研究。E-mail: 362053422@qq.com

导师简介: 胡辽林(1968—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事传感技术与信号处理方面的研究。

E-mail: huliaolin@163.com(通信联系人)

但对陶瓷碗的检测仍采用传统的人工检测方法,采用机器视觉进行自动化检测方面的研究鲜有报道。

本文提出采用机器视觉的方法检测陶瓷碗的表面缺陷,利用 Kirsch 算子和 Canny 算子同时对图像进行边缘检测^[4-6]。边缘检测是图像处理中的关键环节,传统的边缘检测算法有 Sobel 算子、Roberts 算子、Prewitt 算子、LoG 算子、Kirsch 算子、Canny 算子及二阶方向导数等^[7-8]。Sobel 算子和 Prewitt 算子定位效果较好,但易产生多像素边缘^[9];Roberts 算子边缘定位准确度较高,但抗噪声能力较差;LoG 算子抑制噪声的同时会将尖锐的边缘平滑掉,无法实现弱边缘检测^[10];Canny 算子具有良好的信噪比、较高的检测准确度、较好的边缘连续性和完整性,但仍存在伪边缘、抗噪声能力较差等问题^[11];Kirsch 算子在保持边缘细节和抑制噪声方面有很好的效果,但边缘连续性和完整性较差^[12-15]。

物体表面缺陷可分为裂纹、划痕、气泡、麻坑、落渣 5 大类,其中气泡和麻坑是陶瓷碗制作过程中最易产生的缺陷,因此,本文主要针对气泡和麻坑进行缺陷检测。实验结果表明,本文方法提高了检测准确度和生产效率,降低了生产成本。

2 系统设计

完整的机器视觉检测系统包括光源、光电传感器、图像采集、图像处理和自动分拣 5 部分,如图 1 所示。光源选用钨丝白炽灯,光线经过一层磨砂玻璃,向周围所有方向进行散射,发出均匀光,以接近相等的亮度照在待检测陶瓷碗的表面,通过 CCD 摄像,由图像采集卡传入计算机(PC)进行图像处理,根据处理结果,实现合格或不合格自动分拣。

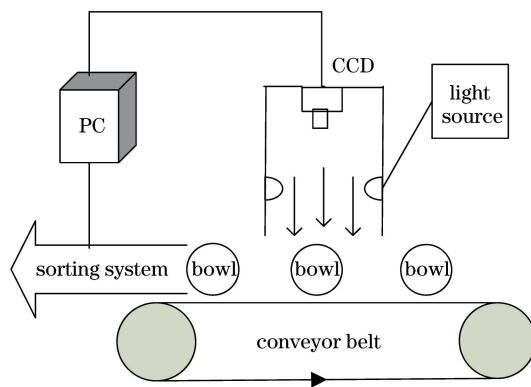


图 1 系统设计

Fig. 1 System design

3 系统图像处理

系统图像处理共分为 7 部分,如图 2 所示。前两步主要完成图像的采集和去噪。第三、四步是整个检测系统的关键环节,即采用一种基于 Kirsch 和 Canny 算子相结合的边缘检测新算法。最后对提取出来的缺陷进行几何特征测量,由几何特征判别有无缺陷。

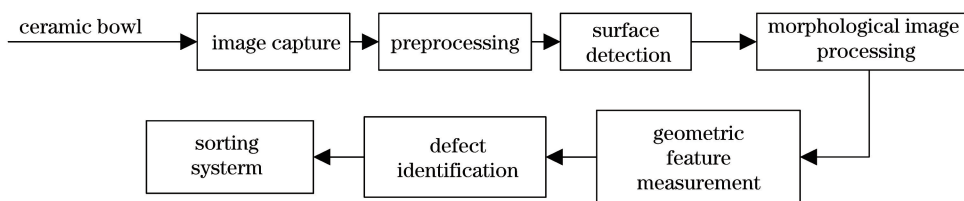


图 2 系统图像处理框图

Fig. 2 Block diagram of system image processing

3.1 图像预处理

陶瓷碗是由白色的搪瓷烧制而成,颜色单一,缺陷识别难度大。为了使缺陷更加明显,采用对比度增强和直方图均衡化的方法分别对图像进行预处理,如图 3 所示。图 3(a)为原图像,图 3(b)为对比度增强后效

果图,图 3(c)为均衡化后的效果图,图 3(d)、(e)、(f)分别为图 3(a)、(b)、(c)的直方图。预处理后,图 3(d)~(f)的灰度变化范围逐渐增大,对比度拉伸,整个图像中缺陷特征对比效果显著,这利于下一步的缺陷边缘检测。

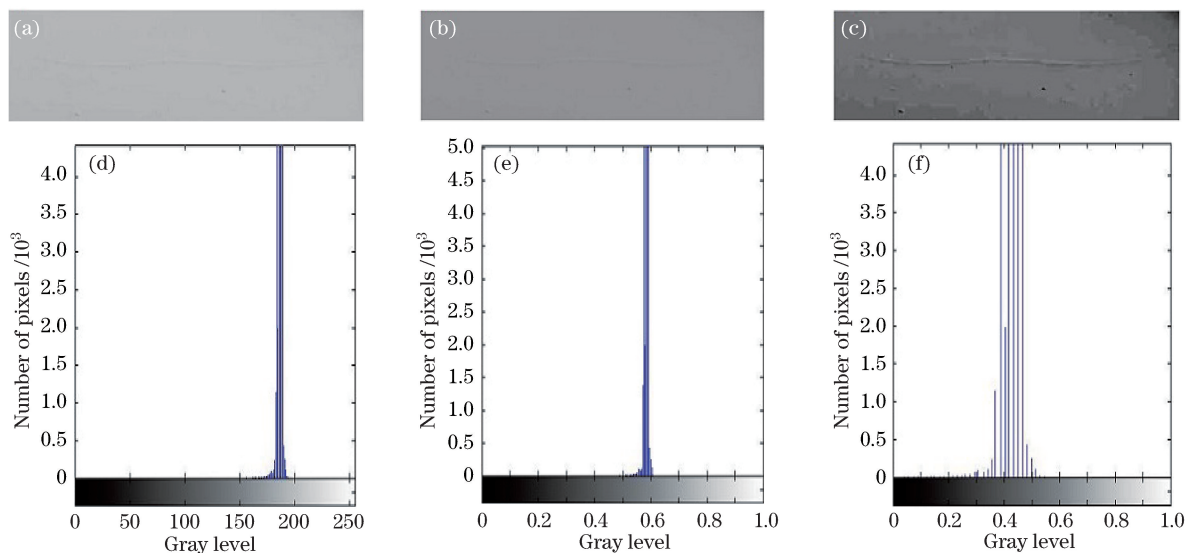


图 3 图像预处理效果及直方图。(a)原图像;(b)对比度增强图像;(c)均衡化图像;
(d),(e),(f)分别为(a),(b),(c)对应的直方图

Fig. 3 Effect of image preprocessing and histogram. (a) Original image; (b) contrast-enhanced image;
(c) equalized image; (d), (e), (f) is the corresponding histogram of image in (a), (b) and (c), respectively

3.2 Kirsch 算子和 Canny 算子相结合的边缘检测算法

3.2.1 Kirsch 算子检测

传统的 Kirsch 边缘检测算子采用 8 个不同方向的模板(M 1~M 8),如图 4 所示,对图像中的每一个像素点进行 8 个方向的卷积,选择方向响应最大的作为边缘幅度输出,计算过程如图 5 所示。图 5 中(x, y)为待处理的像素点,其中 $a_k (k=0,1,2,\dots,7)$ 为该像素点邻域内 8 个像素点灰度值。

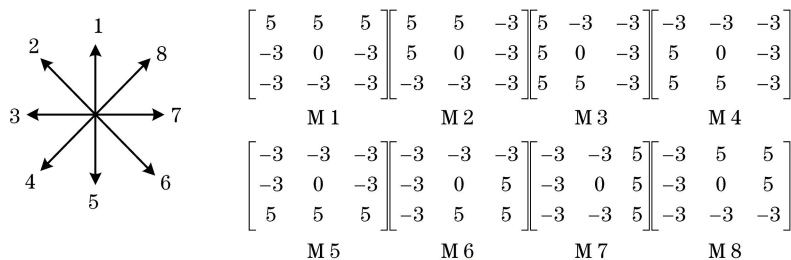


图 4 Kirsch 算子模板

Fig. 4 Templates of Kirsch operator

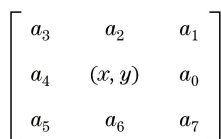


图 5 任意点(x, y)和其周围 3×3 邻域内 8 个像素点灰度值

Fig. 5 Gray values of an arbitrary pixel (x, y) and its neighboring pixels within 3×3 area

最大的边缘梯度幅值为

$$D(x, y) = \max |5r_k - 3u_k|, k = 0, 1, \dots, 7, \quad (1)$$

式中 $r_k = a_k + a_{k+1} + a_{k+2}$, $u_k = a_{k+3} + a_{k+4} + a_{k+7}$ 。若(1)式中角标取值超过 7 就用 8 去整除取余。

图 6 为待检测图像分别按顺序进行 8 个模板边缘检测的结果,由图 6 可知,图 6(a)检测效果最为理想,

图 6(b)~(h)检测效果较差,噪声较多。因此,选用 Kirsch 算子的模板 1 进行初步检测。

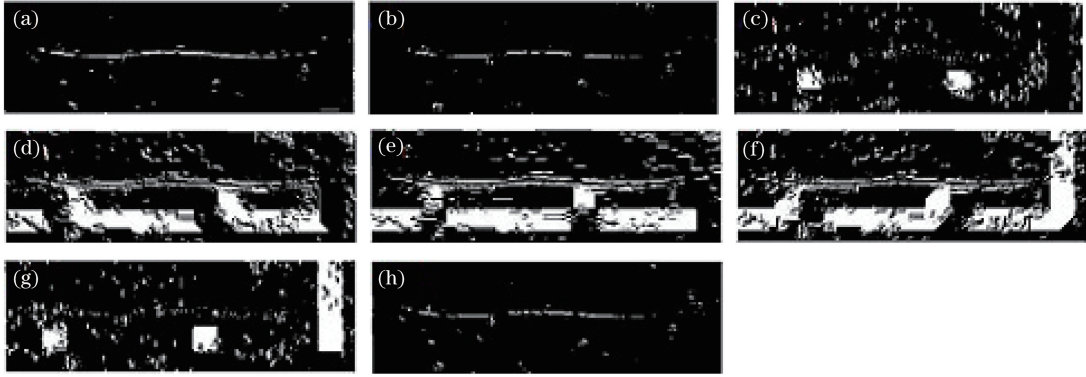


图 6 Kirsch 算子 8 种不同模板的图像处理效果。(a)模板 1; (b)模板 2; (c)模板 3; (d)模板 4; (e)模板 5; (f)模板 6; (g)模板 7; (h)模板 8

Fig. 6 Effect of images processing from eight different templates of Kirsch operator. (a) Template 1; (b) template 2; (c) template 3; (d) template 4; (e) template 5; (f) template 6; (g) template 7; (h) template 8

Kirsch 算子具有较好的检测效果及抗噪能力,但存在边缘定位不准确、阈值自适应性较差、边缘较粗等缺点。针对 Kirsch 算子存在的问题,提出了一种基于 Kirsch 算子和 Canny 算子相结合的陶瓷碗表面缺陷检测新算法。

3.2.2 Kirsch 和 Canny 算子相结合的边缘检测算法

Canny 算子采用高斯函数 $h(x, y, \sigma)$ 构造滤波器,分别按行和列对原始图像 $f(x, y)$ 进行卷积,得到平滑图像 $g(x, y)$,高斯函数和平滑图像分别为

$$h(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

$$g(x, y) = h(x, y, \sigma) * f(x, y), \quad (3)$$

式中 σ 为高斯函数的标准差, $*$ 是卷积运算符号。对比大量实验结果,确定最佳值为 $\sigma = 0.04$ 。 (x, y) 为任意点的像素坐标,平滑图像 $g(x, y)$ 在 x, y 方向的一阶微分算子分别为

$$f'_x(x, y) \approx G_x = [f(x+1, y) - f(x, y) + f(x+1, y+1) - f(x, y+1)]/2, \quad (4)$$

$$f'_y(x, y) \approx G_y = [f(x, y+1) - f(x, y) + f(x+1, y+1) - f(x+1, y)]/2, \quad (5)$$

式中 G_x, G_y 分别为平滑图像 $g(x, y)$ 在 x 方向上的一阶微分 $f'_x(x, y)$ 和 y 方向上的一阶微分 $f'_y(x, y)$ 的近似值,进而可得到梯度幅值 $M(x, y)$ 为

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (6)$$

梯度方向 $\theta(x, y)$ 为

$$\theta(x, y) = \arctan(G_y/G_x), \quad (7)$$

最后,通过插值实现局部像素的非极大值抑制,并采用双阈值法和边缘的连通性对边缘进行双重判断。

首先对预处理后的图像进行传统的 Kirsch 算子边缘检测,然后选择最佳值完成 Canny 算子检测,得到最终理想的边缘检测效果,如图 7(a)所示。由图 7(a)可知,该算法边缘的定位准确度较高,连续性和完整性较为理想,但周围存在少量的小面积干扰信号,被检测出来的干扰信息很可能是陶瓷碗制作过程中落渣或灰尘引起的碗内凹凸不平。为了不影响缺陷的几何特征计算,采用杂点消除法去除周围的干扰点,得到最终的理想效果如图 7(b)所示。

3.3 图像形态学处理

数学形态学采用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,进而达到对图像进行分析和识别的目的。腐蚀、膨胀、开运算、闭运算是数学形态学的基本算法,为了得到缺陷区域的几何特征,选用闭运算实现图像填充,填充效果如图 8 所示。

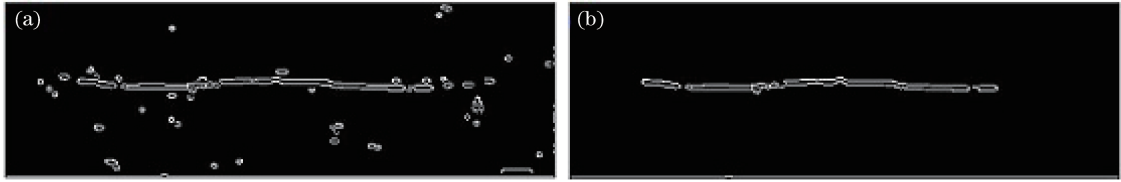


图 7 (a)边缘检测图像;(b)消除噪声图像

Fig. 7 (a) Edge detection image; (b) noise-eliminated image



图 8 形态学处理效果

Fig. 8 Effect of morphological processing

3.4 缺陷区域几何特征提取

经过系统图像处理,缺陷与背景得到分离。此处通过对缺陷区域的面积、周长和圆形度的测量和计算,实现有无缺陷的判断。

设 (x, y) 为像素坐标, $P(x, y)$ 为像素值, R 为缺陷区域像素点集合, n 为像素个数,缺陷面积定义为

$$A = \sum_{(x,y) \in R}^n P(x, y) \quad (8)$$

设 N_x 为 x 方向上的像素个数总和, N_y 为 y 方向上的像素个数总和, N_{sum} 为划痕边缘像素个数总和, $N_{\text{sum}} - N_x - N_y$ 为斜方向上像素个数总和,则缺陷周长为

$$L = \sqrt{2}(N_{\text{sum}} - N_x - N_y) + N_x + N_y \quad (9)$$

根据缺陷的周长和面积,定义圆形度为

$$C = \sqrt{\frac{L^2}{4\pi A}} \quad (10)$$

缺陷形状越复杂,圆形度 C 值越大, C 的取值只有 $C \geq 1$ 和 $C = 0$ 两种。 $C = 0$ 时,判断无缺陷; $C \geq 1$ 时,判断有缺陷。

4 实验与分析

系统选用 CCD 面阵摄像头(C-STYLE,广东省深圳市精视睿电子科技有限公司,中国),分辨率为 640 pixel \times 480 pixel,焦距为 2.8~12 mm。为实现陶瓷碗表面缺陷检测的自动化,提高检测效率,在 Matlab 环境下开发软件。

为了进一步验证改进算法的优越性,用两个陶瓷碗进行实验验证,结果如图 9 所示。图 9(a)和图 9(e)分别为两个陶瓷碗表面原图像;图 9(b)和图 9(f)分别为各自图像预处理结果,缺陷部分明显突出;图 9(c)和图 9(g)分别为 Kirsch 算子边缘检测结果,出现边缘定位不准确、边缘较粗、伪边缘等问题;再经过 Canny 算子处理后,定位准确度提高,边缘细化,伪边缘基本消失,利用小面积消除法,去除检测出的噪声点,结果如图 9(d)和图 9(h)所示。

实验采集了 315 张图片作为样本,进行处理得到数据。表 1 为随机抽取的 20 个陶瓷碗的表面特征几何数据,对其进行人工检测,发现该算法检测结果与人工检测结果十分吻合,表明该算法检测准确性较高。

为验证该算法的准确性,采用 6 种不同算法(含该算法)进行检测,以人工检测为标准,统计出每种方法误判的数目。误判有两种情况,一是将无缺陷误判为有缺陷;二是将有缺陷判为无缺陷。设实验中被误判的样本数目为 n ,测试样本数目为 N ,则准确度为

$$P = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \times 100\% \quad (11)$$

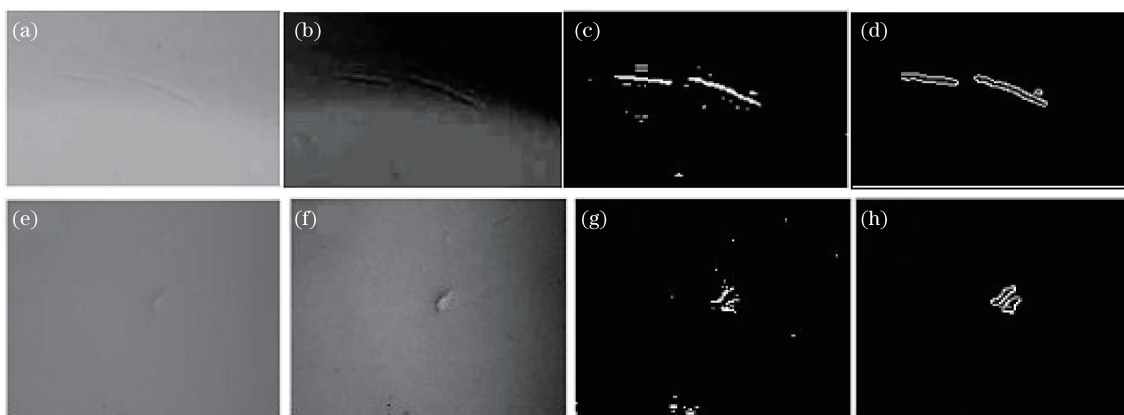


图 9 两组陶瓷碗表面缺陷检测效果。(a)(e)原图像；(b)(f)预处理图像；
(c)(g)Kirsch 算子处理图像；(d)(h)新算法处理图像

Fig. 9 Effect of defect detection of two groups of ceramic bowl surfaces. (a)(e) Original images;
(b)(f) preprocessed images; (c)(g) Kirsch operator processed images; (d)(h) new algorithm processed images

通过计算可得该算法的检测准确度高达 95.3%，处理效果较好，其他 5 种算法检测准确度相对较低，见表 2。

表 1 20 组机器视觉检测与人工检测结果对比分析

Table 1 Comparative analysis detection results between 20 groups results from machine vision detection and manual detection

| No. | Area /pixel | Perimeter /pixel | Circularity /($^{\circ}$) | Machine detection result | Manual detection result | No. | Area /pixel | Perimeter /pixel | Circularity /($^{\circ}$) | Machine detection result | Manual detection result |
|-----|-------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----|-------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 875 | 1291.341 | 12.315 | Defective | Defective | 11 | 398 | 290.450 | 4.107 | Defective | Defective |
| 2 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine | 12 | 862 | 635.077 | 6.102 | Defective | Defective |
| 3 | 1101 | 1083.740 | 9.213 | Defective | Defective | 13 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine |
| 4 | 696 | 742.128 | 7.935 | Defective | Defective | 14 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine |
| 5 | 346 | 305.972 | 4.640 | Defective | Defective | 15 | 739 | 922.677 | 9.575 | Defective | Defective |
| 6 | 472 | 510.019 | 6.617 | Defective | Defective | 16 | 1151 | 726.894 | 6.044 | Defective | Defective |
| 7 | 858 | 947.585 | 9.125 | Defective | Defective | 17 | 625 | 482.065 | 5.439 | Defective | Defective |
| 8 | 911 | 252.303 | 2.355 | Defective | Defective | 18 | 1329 | 693.352 | 5.365 | Defective | Defective |
| 9 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine | 19 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine |
| 10 | 372 | 514.511 | 7.526 | Defective | Defective | 20 | 0 | 0 | 0 | Fine | Fine |

表 2 6 种算法的检测准确度比较

Table 2 Detection accuracy comparison from six kinds of algorithms

| Algorithm | Number of errors | Accuracy /% |
|---------------|------------------|-------------|
| LoG | 68 | 78.3 |
| Roberts | 52 | 83.3 |
| Sobel | 43 | 86.2 |
| Canny | 38 | 87.7 |
| Kirsch | 24 | 92.3 |
| New algorithm | 15 | 95.3 |

5 结 论

提出了一种检测陶瓷碗表面缺陷的新方法。该方法基于模板匹配的 Kirsch 算子和基于微分的 Canny 算子的结合，完成了陶瓷碗表面的缺陷检测。实验结果表明，该算法的准确度高达 95.3%，大大提高了陶瓷碗表面缺陷检测的效率，实现了目标与背景的完全分离，为后续的缺陷形状和等级分类研究提供了指导。

参 考 文 献

- 1 Du Yongzhong, Ping Xueliang, He Jiawei. Surface defect detection and classification system for cherry tomatoes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S1): 194-199.
杜永忠, 平雪良, 何佳唯. 圣女果表面缺陷检测与分级系统研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1): 194-199.
- 2 Xiang Shoubing, Su Guangda, Chen Jiansheng, *et al.* Brick stack anomaly detection and recognition based on machine vision[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(7): 0715002.
向守兵, 苏光大, 陈健生, 等. 基于机器视觉的码坯异常检测与识别[J]. 光学学报, 2011, 31(7): 0715002.
- 3 Yang Qinghua, Wang Ling, Xun Yi, *et al.* Method based on machine vision for teabag defects detection[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2015, 43(2): 163-167.
杨庆华, 王 玲, 荀 一, 等. 基于机器视觉的袋泡茶包缺陷检测方法[J]. 浙江工业大学学报, 2015, 43(2): 163-167.
- 4 Pan Weiqing, Zhao Xiaobo. Measurement of steel ball surface flaw based on dual wavelength interferometry and digital phase detection[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(5): 0508007.
潘卫清, 赵晓波. 钢球表面缺陷的双波长干涉数字相位检测[J]. 中国激光, 2014, 41(5): 0508007.
- 5 Xie Yong, Zhang Yilai, Huang Hua. Research on integrated and automatic system for ceramic tiles' surface-defect detection[J]. China Ceramics, 2008, 44(4): 56-58.
谢 永, 章义来, 黄 华. 墙地砖表面缺陷自动检测集成系统的研究[J]. 中国陶瓷, 2008, 44(4): 56-58.
- 6 Li Junshan, Ma Ying, Zhao Fangzhou, *et al.* A novel arithmetic of image edge detection of Canny operator[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(S1): 50-54.
李俊山, 马 颖, 赵方舟, 等. 改进的 Canny 图像边缘检测算法[J]. 光子学报, 2011, 40(S1): 50-54.
- 7 Duan Ruiling, Li Qingxiang, Li Yuhe, *et al.* Summary of image edge detection[J]. Optical Techique, 2005, 31(3): 415-419.
段瑞玲, 李庆祥, 李玉和, 等. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005, 31(3): 415-419.
- 8 Su Junhong, Liu Shengli. Measure system of surface flaw and morphology analysis of cylindrical high precision parts[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(4): 041202.
苏俊宏, 刘胜利. 圆柱型高精零件表面缺陷检测及形貌分析[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(4): 041202.
- 9 Yuan Chunlan, Xiong Zonglong, Zhou Xuehua, *et al.* Study of infrared image edge detection based on Sobel operator[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(1): 85-87.
袁春兰, 熊宗龙, 周雪花, 等. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(1): 85-87.
- 10 Li Hongan, Zhang Fei, Du Zhuoming, *et al.* A new LOG edge detection algorithm based on synthetic aperture radar image[J]. Journal of Graphics, 2015, 24(3): 413-417.
李洪安, 张 飞, 杜卓明, 等. 针对合成孔径雷达图像的新型 LOG 边缘检测算法[J]. 图学学报, 2015, 24(3): 413-417.
- 11 Chen Hao, Ma Caiwen, Chen Yuecheng, *et al.* Fast template matching arithmetic based on image gray statistic[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(6): 1586-1590.
陈 皓, 马彩文, 陈岳承, 等. 基于灰度统计的快速模板匹配算法[J]. 光子学报, 2009, 38(6): 1586-1590.
- 12 Sun R H, Liu D Y, Xu T, *et al.* New adaptive technique of Kirsch method for structural reanalysis[J]. AIAA Journal, 2014, 52(3): 486-495.
- 13 Kang G Y, Guo S Z, Wang D C, *et al.* Image retrieval based on structured local binary Kirsch pattern[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2013, 96(5): 1230-1232.
- 14 Kang Mu, Wang Baoshu. Adaptive Kirsch edge-detection method[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2009, 37(4): 47-50.
康 牧, 王宝树. 自适应 Kirsch 边缘检测算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 47-50.
- 15 Raafat H, Taboun S. An integrated robotic and machine vision system for surface flaw detection and classification[J]. Computers & Industrial Engineering, 1996, 30(1): 27-40.