

# HALCON 图像处理在纸杯缺陷检测中的应用

任鹏霏, 周传德, 胡 帅, 高晓飞

(重庆科技学院 机械与动力工程学院, 重庆 401331)

**摘 要** 针对生产厂家对纸杯缺陷的检测需求, 提出一种基于 HALCON 图像处理的纸杯缺陷检测方法。介绍了杯内污渍与杯口变形缺陷检测的算法流程, 通过频域滤波、ROI 提取、图像分割和形态学处理来识别杯内污渍, 通过图像二值化、边缘检测和特征检测来检测杯口变形。实现了对杯口变形的快速检测, 以及对杯底区和侧壁区污渍的统一检测, 降低了污渍分区检测的算法复杂度, 为 HALCON 开发平台在纸杯缺陷检测中的应用提供算法参照。

**关键词** 纸杯缺陷; HALCON; 图像处理; 缺陷检测; 算法流程

**中图分类号** TP391

**DOI** 10.19769/j.zdhy.2019.06.040

## 0 引言

一次性纸杯在生产过程中常常会出现污渍、变形等问题, 给生产厂家的经济效益带来负面影响, 因此需要在纸杯出厂前进行缺陷检测。传统的人工检测方式已不能满足现代工业发展的需求, 因此出现了越来越多的机器视觉检测系统代替人工检测的方式<sup>[1]</sup>。对于纸杯缺陷视觉检测技术, 国内研究的文章不多, 且研发平台过于单一, 可以尝试更多新型的开发平台。

HALCON 是由德国 MVTec 公司研发的一款具有非常好效能的机器视觉软件, 不仅提供了功能全面的图像处理库, 而且还提供了几乎所有最先进的技术算法包<sup>[2]</sup>。本文基于 HALCON 开发平台对纸杯缺陷检测算法展开研究, 主要是研究杯内污渍与杯口变形的缺陷图像处理技术。

## 1 杯内污渍检测算法

根据纸杯内壁灰度不均匀的规律, 将纸杯分为杯口区、侧壁区、接缝区和杯底区四个区域<sup>[3]</sup>。杯内污渍包括侧壁区与杯底区的污渍, 虽然污渍的形状、大小、灰度都是随机变动的, 但它的灰度值分布范围与纸杯差异较大, 进而导致污渍边缘的灰度变化剧烈。而频率是描述图像灰度变化程度的标准, 灰度变化剧烈的地方, 频率高; 反之频率低。因此, 对纸杯缺陷图像中污渍的识别, 可以通过频域滤波, 滤除低频部分, 保留含有污渍边缘、接缝边缘的高频部分; 设置污渍灰度阈值  $M$ , 扫描目标区域, 灰度值大于  $M$  的为污渍可疑区域; 通过区域像素面积阈值  $S$  排除接缝区, 识别出污渍区域。杯内污渍检测算法流程如下:

(1) 对图像进行频域滤波, 保留含有接缝、污渍边缘的高频部分;

(2) ROI(杯内区域)提取;

(3) 进行图像分割, 通过污渍灰度阈值  $M$  识别出污渍可疑区域;

(4) 对污渍可疑区域进行形态学处理, 通过区域像素面积阈值  $S$  排除接缝区, 识别出污渍区域。

### 1.1 频域滤波

空间域滤波是基于卷积运算<sup>[4]</sup>:

$$g(x, y) = f(x, y) \times h(x, y)$$

式中,  $f(x, y)$  为原始图像函数;  $h(x, y)$  为滤波器脉冲响应函数, 视低通或高通滤波的需要而定;  $g(x, y)$  为空间域滤波的输出图像。由卷积定理可知, 采用傅里叶变换的方法将空间域转换为频域, 可得到频域滤波计算式:

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$$

式中,  $G(u, v)$ 、 $F(u, v)$  和  $H(u, v)$  分别为  $g(x, y)$ 、 $f(x, y)$  和  $h(x, y)$  的傅里叶变换, 即相应的频谱。

频域滤波的算法实现:

(1) 通过算子 `rft_generic` 对纸杯缺陷图像进行快速傅里叶变换, 从空间域转换为频域图像;

(2) 通过算子 `gen_gauss_filter` 构造两个高斯滤波器, 参数 `Sigma1` 分别取 30 和 5;

(3) 通过算子 `sub_image` 对这两个高斯滤波器进行灰度相减, 得到一个新的滤波器;

(4) 通过算子 `convol_fft` 使用这个新滤波器对频域图像作卷积运算, 得到滤波后的频域图像;

(5) 通过算子 `rft_generic` 对滤波后的频域图像作傅里叶逆变换, 使图像从频域转换回空间域;

(6) 通过算子 `scale_image_range` 调整此时的图像灰度, 使得灰度级分布在 0 和 255 之间。

### 1.2 ROI 提取

由于检测对象是杯内污渍, 所以直接对杯内区域进

收稿日期: 2019-04-26

基金项目: 重庆市科技重大主题专项(cstc2018jszx-cyztzxX0026); 重庆科技学院研究生科技创新计划项目(YKJCX1720309)。

作者简介: 任鹏霏(1993—), 男, 硕士在读, 研究方向为机器视觉技术。

行 ROI 提取。HALCON 中通过算子 `gen_circle` 构造以纸杯中心为圆心,以中心到杯口内圆的最大距离为半径的圆形区域;再通过算子 `reduce_domain` 提取出圆形区域内的 ROI 图像。

### 1.3 图像分割

在 HALCON 中通过算子 `threshold` 对提取的 ROI 图像进行图像分割,其中使用的阈值即污渍灰度阈值  $M$ ,分离出污渍可疑区域。

### 1.4 形态学处理

污渍可疑区域中包括了污渍和接缝,由于接缝区的面积是趋于固定的,可以对污渍可疑区域进行形态学处理,通过像素面积阈值  $S$  来排除接缝区。

形态学处理的算法实现:

(1)使用算子 `connection` 对污渍可疑区域进行连通域计算;

(2)使用算子 `area_center` 对污渍可疑区域进行像素面积计算,确定接缝区的像素面积阈值  $S$ ;

(3)使用算子 `select_shape` 根据像素面积阈值  $S$  筛选出接缝区;

(4)使用算子 `difference` 排除污渍可疑区域中的接缝区,识别出污渍区域,如图 1 所示,其中红色标识为污渍区域。

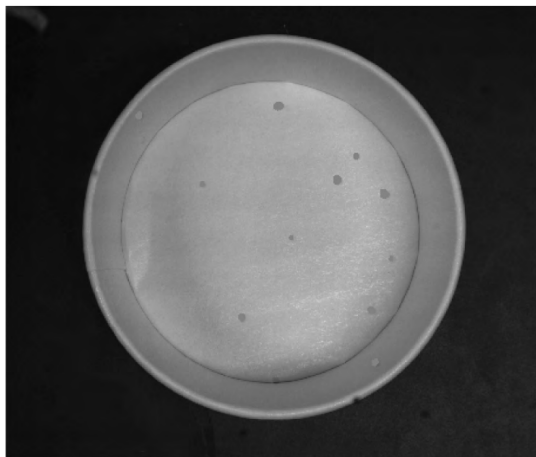


图 1 污渍检测效果

## 2 杯口变形检测算法

杯口变形是指杯口形状与正圆相比有明显差异的现象<sup>[3]</sup>。对杯口变形的检测,可以根据杯口圆度是否达到合格纸杯的要求来判断。杯口变形检测算法流程如下:

(1)对图像进行二值化处理,凸显目标区域的轮廓;

(2)对目标区域进行边缘检测,提取杯口亚像素轮廓;

(3)对目标区域的杯口圆度进行特征检测,判断是否达到合格纸杯的要求。

### 2.1 图像二值化

对图像进行二值化处理是为了凸显杯口轮廓,减少

由于纸杯灰度不均匀而造成的干扰现象。其原理为:假设输入图像  $f(x,y)$  由灰度值较大的目标对象和灰度值较小的背景组成,则可以设定一个阈值  $T$ ,  $f(x,y) \geq T$  的点称为目标点,  $f(x,y) < T$  的点称为背景点,所以,经过阈值处理后输出的图像  $g(x,y)$  为:

$$g(x,y) = \begin{cases} 255, & f(x,y) \geq T \\ 0, & f(x,y) < T \end{cases}$$

HALCON 中通过算子 `region_to_bin` 进行二值化处理,得到二值化图像。

### 2.2 边缘检测

Canny 边缘检测算法具有低失误概率、高定位精度的良好性能<sup>[5]</sup>。Canny 边缘检测的算法实现:首先对图像作高斯光滑处理,并计算局部梯度幅度和梯度方向;然后采用非最大抑制算法寻找可能的边缘点,根据当前点周围 8 个方向上相邻像素的梯度值来判断是否具有局部极大梯度值,如果是,则判为可能的边缘点,否则判为非边缘点;最后通过双门限递归寻找边缘点,设置上限阈值  $T_1$  和下限阈值  $T_2$ ,若当前点  $T > T_1$ ,则判为边缘点,若  $T < T_2$ ,则判为非边缘点,若  $T_2 < T < T_1$ ,则在领域寻找边缘点。

HALCON 中通过算子 `edges_sub_pix` 实现 Canny 边缘检测,提取出杯口的亚像素轮廓。

### 2.3 特征检测

对杯口圆度的检测,采用区域圆度算法,其计算公式如下:

$$C = \frac{F}{\max^2 \times \pi}$$

式中,  $C$  为区域圆度,  $F$  为区域面积,  $\max$  为区域中心到边缘点的最大距离。根据形状趋近正圆的程度,区域圆度取值范围为  $0 \sim 1$ 。若杯口形状越接近于正圆,则区域圆度越接近于 1。

HALCON 中通过算子 `circularity` 来实现区域圆度算法,检测出目标区域的圆度特征。

## 3 实验结果分析

为了测试杯口变形与杯内污渍检测算法的稳定性和效率,搭建视觉系统对 100 个待检纸杯在相同光照环境下进行原始图像采集,通过 HALCON 平台实现这两种缺陷检测算法的测试,得到的实验结果如表 1 所示。

表 1 测试统计表

缺陷类型	样本数	误检率	漏检率	正确率	单个样本测试时间/s
杯口变形	100	0	0	100%	0.251
杯内污渍	100	0	2%	98%	0.667

(下转第 103 页)

将通过软件分析获得的表 2 数据代入式(7)中,可以得到每一阶对应的临界转速。其中支架的第一阶频率值为 31.995 Hz,对应的临界转速为 1 919 r/min,由于其余阶固有频率值更大,因此对应的临界转速也更大。

为了确保在观影过程中的动作一致性、舒适性和安全性,故动感座椅运行时的最高转速必须低于该支架一阶临界转速的 75%<sup>[5]</sup>。通过设计转速和分析结果对比,动感座椅设计的设计运行最高转速为 1 200 r/min,低于一阶临界转速 1 919 r/min,且低于一阶临界转速的 75%(1 440 r/min)。因此可以得出动感座椅在运行过程中不会发生共振,可以保证动感座椅的舒适性和可靠性,保障观众在观影过程中的体感一致。

#### 4 结语

(1)用仿真软件搭建动感座椅底座模型并进行有限元分析,其中简化处理是关键。

(2)振型和固有频率依靠软件的模态分析得出,动感座椅底座的振动方程得到模态矩阵并取 10 阶结果。

(3)动感座椅设计的实际运行最高转速为 1 200 r/min,低于一阶临界转速 1 919 r/min,且低于一阶临界转速的 75%(1 440 r/min),因此动感座椅支架在工作运转过程中不会出现共振现象。

(4)该动感座椅支架有限元模态分析,为其下一步进

行优化设计提供了依据,有利于提高动感座椅的可靠性与寿命。

#### 参考文献

- [1] 王红州,邹晓晖,陈润六.新型动感座椅设备的仿真与制造[J].装备制造技术,2017(2):68-70.
- [2] 占晓煌,吴石,占晓明.基于 ANSYS 的某机床主轴基座的模态分析[J].科技视界,2014(9):9-27.
- [3] 许本文,焦群英.机械振动与模态分析基础[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [4] 傅志芳,华宏星.模态分析理论与应用[M].上海:上海交通大学出版社,2000.
- [5] 薛华夏,俞竹青.某型机载雷达天线稳定平台的设计及有限元分析[J].制造业自动化,2015,37(9):120-123.
- [6] 李先鹏,陈光阔,韩兴昌.扭矩轴类零件有限元分析方法探讨[J].制造业自动化,2015(4):86-87.
- [7] 袁世鹏,卢彬,方云生,等.基于 ANSYS 的提升机主轴装置模态分析[J].煤矿机械,2014,35(7):94-95.
- [8] 陈新.机械结构动态设计理论方法及应用[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 陈翔,崔志琴,李凯,等.6V150 发动机曲轴的自由模态计算分析[J].机械工程与自动化,2014(1):21-23.
- [10] 林荣川,郭隐彪,魏莎莎,等.液压缸临界载荷计算和最优设计[J].中国机械工程,2011(4):389-393.

(上接第 99 页)

由实验结果分析得出:杯口变形检测算法的测试效果很好,准确度高,检测效率高;杯内污渍检测算法出现了漏检的情况,是因为接缝边缘的杯内污渍检测效果不好,可考虑把接缝边缘的杯内污渍作为接缝区污渍来研究,这样可以避免此杯内污渍检测算法的漏检情况。

#### 4 结语

本文提出了基于 HALCON 的杯内污渍与杯口变形缺陷检测算法,并通过实验验证了检测效果,满足纸杯缺陷检测的基本需求。实现了对杯口变形的快速检测,以及对杯底区和侧壁区污渍的统一检测,降低了污渍分区检测的算法复杂度,为 HALCON 研发平台在纸杯缺陷

检测中的应用提供了算法参照。

#### 参考文献

- [1] 高雅,秦文华,代作晓,等.基于机器视觉的纸杯缺陷检测系统设计[J].电子技术,2017,46(8):29-31.
- [2] 吴雪芬,李昊昱,陈功,等.HALCON 软件在车牌图像处理中的应用[J].电子质量,2014(12):49-54.
- [3] 高雅.纸杯缺陷快速检测技术研究[D].曲阜:曲阜师范大学,2018.
- [4] 汤勃,孔建益,伍世虔.机器视觉表面缺陷检测综述[J].中国图象图形学报,2017,22(12):1640-1663.
- [5] 黄亮,左小清,冯冲,等.基于 Canny 算法的面向对象影像分割[J].国土资源遥感,2011(4):26-30.