

# 基于视觉的金属成形工件尺寸和缺陷检测

付泽民, 王佳炜, 张锁怀, 乔涛涛

上海应用技术大学

**摘要:** 针对金属成形工件存在成形尺寸误差和外形缺陷, 使用人工抽检效率低, 不能对全部工件进行检测, 大量存在未检出残次品交于客户的问题, 提出一种基于 HALCON 视觉软件的金屬成形工件尺寸与外形缺陷检测的方案。该方案基于金属成形工件形态学和灰度值特征, 运用边缘提取和圆拟合算法, 精确检测金属成形工件内圆孔尺寸。应用阈值分割与基于形状的标准模板匹配算法对金属成形工件进行区域匹配, 检测工件外形缺陷。分别采集 50 个金属成形工件的图像并对其进行上述方法的检测, 工件尺寸的检测正确率 98.5%, 外形缺陷件检测正确率 98%。

**关键词:** HALCON; 边缘检测; 灰度阈值分割; 缺陷检测

中图分类号: TG87; TH161

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2019.02.032

## Workpiece Size and Defect Detection in Metal Forming Based on HALCON

Fu Zemin, Wang Jiawei, Zhang Suohuai, Qiao Taotao

**Abstract:** For metal forming workpieces, there are errors in forming dimensions and forming defects. The efficiency of manual sampling inspection is low, detection accuracy is low, and there is a problem that undetectable defective products are delivered to customers. A metal forming workpiece dimension based on HALCON vision software is studied. The method is based on the morphological and gray-value characteristics of metal forming workpieces. The edge extraction and circle fitting algorithm is used to precisely detect the size of round holes in metal forming workpieces. Threshold segmentation and shape-based standard template matching algorithm are used to achieve rapid matching of the target area and shape contour defect detection. The 50 metal forming workpiece images are examined respectively. The accuracy of the metal forming workpiece size is detected to be 98.5%, and the accuracy of the external defect detection is 98%.

**Keywords:** HALCON; edge detection; gray threshold segmentation; defect detection

## 1 引言

对于金属冲压折弯成形件, 其外形轮廓的形态与关键位置的尺寸是判断是合格品还是残次品的基础<sup>[1-2]</sup>。由于金属零件要经过冲压、折弯等数道成形工序, 所以成品存在大量的缺陷。目前大批量生产的金属件, 工件的尺寸与轮廓外形都是人工随机抽检, 检测效率低且随机性大。机器视觉测量速度快, 检测精度高, 用机器视觉对大批量工件进行检测可以大大提高检测效率和生产的自动化程度, 能基本解决大批量金属成形工件检测的难题<sup>[3-5]</sup>。本研究使用德国 MVtec 公司开发的标准机器视觉软件 HALCON 作为图像处理平台, 提出了一种基于 HALCON 视觉软件的金屬成形工件尺寸与缺陷检测方案, 该方案有效解决了上述难题, 实现了尺寸与缺陷检测的智能化, 提高了准确率和检测效率。

## 2 检测方案与图像处理

### (1) 检测方案的设计

基于 HALCON 软件的金屬成形工件检测系统, 主要利用机器视觉对传送带上待检的工件进行图像采集和处理, 最后检测出轮廓尺寸与缺陷。使用 Point Grey-Bumblebee XB3 BBX3-4352C 视觉相机采集金属成形工件的图像, 相机分辨率为 1280 × 960, 帧频 16FPS, 像素尺寸 3.75 μm × 3.75 μm, 使用白光 LED 作为光源。

整个检测过程: 在传送带上运输金属成形工件到达指定位置, 触发传送带上方的红外传感器, 触发计算机与相机拍摄获取图像, 图像传输到计算机, 运用计算机上预先编好的 HALCON 处理程序进行图像处理和金属成形工件尺寸与外形的各项检测, 并输出检测结果。视觉相机与检测硬件平台见图 1。

### (2) 图像采集与图像预处理

在 HALCON 中可以通过 open\_framegrabber( ) 与 rgb1\_image\_start( ) 算子, 采集金属成形工件的图像。使用 rgb1\_to\_gray( ) 算子将采集到的 RGB 图

基金项目: 国家自然科学基金(51475311)  
收稿日期: 2018 年 5 月

像转化为灰度图像。使用 `gen_rectangle()` 算子选中感兴趣的部分图像区域,去除图像中噪声信号与无用部分,提高图像处理速度。至此完成图像的采集与图像的预处理。

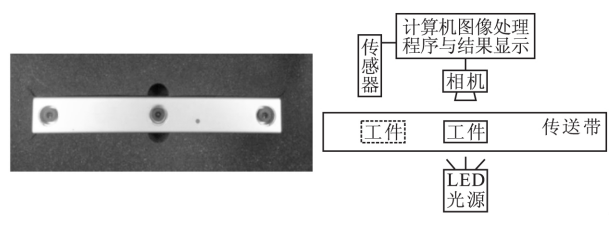


图1 检测平台与视觉相机

### 3 金属成形工件的尺寸检测

#### 3.1 边缘检测

对于金属成形工件的尺寸检测方面,重点关注其4个孔的尺寸精度。在实际检测过程中,工人使用游标卡尺对抽检的工件进行圆孔内径的检测。本次研究采用图像处理手段,对四个圆孔进行测量。首先对采集到的图像使用 `threshold()` 算子处理,选出金属板材需要处理的区域。使用 `select_shape()` 算子与 `boundary()` 算子对金属成形工件中的圆孔轮廓进行提取,并用不同颜色表示(见图2)。接着使用 Halcon 中默认的 `canny` 算子作为基础边缘检测算子,对图像中选定区域的圆孔轮廓进行边缘检测。由于 `canny` 算子只是固定的检测像素点灰度等级,并连接所有相同灰度级的像素点,从微观上看是一个不规则的近似圆,不能用于圆孔尺寸的检测,所以需要进行圆的拟合。

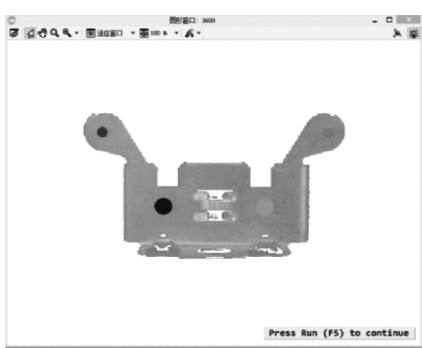


图2 金属成形工件圆孔边缘检测结果

#### 3.2 圆的拟合

圆的拟合算法是将轮廓上点到拟合圆的距离的平方进行累加求和,总和最小化后得到的点集合即为我们需要的圆孔轮廓区域。拟合函数为

$$\epsilon^2 = \sum_{i=1}^n \left[ \sqrt{(x_i - \alpha)^2 + (y_i - \beta)^2} - \rho \right]^2 \quad (1)$$

式中  $\epsilon^2$  为距离总和(单位:像素);  $(\alpha, \beta)$  为圆心点

的坐标; $\rho$  为圆的半径(单位:像素);  $(x_i, y_i)$  为圆孔轮廓上点的坐标; $n$  为轮廓上像素点的总数量。

圆的拟合在 HALCON 中有相对应的几种算子,使用 HALCON 中 `dilation_circle()`, `erosion_circle()` 形态学的膨胀与腐蚀算子与 `gen_ellipse_contour_xld()` 圆拟合算子,对图像中的圆孔轮廓进行圆拟合<sup>[6-9]</sup>。图3为微观下圆孔轮廓拟合前与拟合后的效果对比,可以明显看出拟合后的圆更能精确地表示金属成形工件中的圆孔轮廓,对拟合后的圆孔轮廓做尺寸检测,检测精度更高。

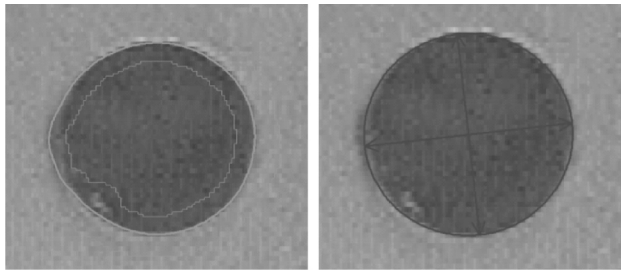


图3 圆拟合处理前后对比

#### 3.3 检测结果对比

对金属成形工件上4个圆孔进行圆拟合,测量得到圆孔尺寸检测结果如图4所示。由相机标定得到图像与真实工件之间的尺寸比例,在内部参数编程中乘以该比例,即 HALCON 中检测结果即为圆孔内径尺寸。接着对50个金属成形工件的200个圆孔内径进行视觉测量,并与人工测量结果进行对比,检测结果见表1。视觉检测正确率为98.5%,且精度更高,基本满足实际应用要求。

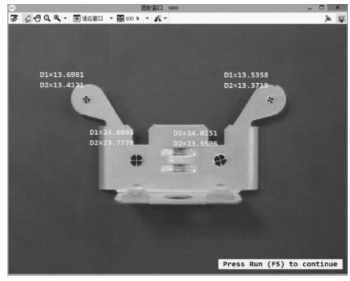


图4 金属成形工件圆孔边尺寸检测结果

表1 圆孔尺寸检测正确率

圆孔尺寸检测样品总数(个)	总圆孔数(个)	圆孔尺寸误检数(个)	尺寸检测正确率(%)
50	200	3	98.5

### 4 缺陷区域提取

外形缺陷区域的提取同样属于金属成形工件检测的一部分。金属成形工件外形缺陷主要是外轮廓的缺失与孔的不规则冲压。本次缺陷检测主要基

于形状模板的匹配检测,对金属成形标准工件进行处理,生成标准配准和检测模板,然后对采集到的待检图像利用配准模板进行图像配准对比。当待检图像与标准图像出现灰度与差别时表示该零件存在外形缺陷,配准函数为

$$s = \frac{1}{n} \sum_i d_i^T e_{q'+p'} = \frac{1}{n} \sum_i (t'_i v_{r+r'_i c+c'_i} + u'_i w_{r+r'_i c+c'_i}) \quad (2)$$

式中  $s$  为待检图像中相对对应点处的方向向量的点积的和,即为变换后模板在点  $q'$  处的相似度量。

模板匹配算法是标准模板图像通过仿射变换后与待检测图像中的对应点进行匹配。假定  $p_i = (r_i, c_i)^T$  为金属成形工件标准模板图像上的点的集合,点的方向向量  $d_i = (t_i, u_i)^T, i = 1, \dots, n$ 。假定  $q = (r, c)$  为金属成形工件待检测图像中一点,点的方向向量  $e_{r,c} = (v_{r,c}, w_{r,c})^T$ 。将  $p_i$  通过仿射变换为点  $p' = Ap_i$ ,  $p'$  的方向向量  $d'_i = (A^{-1})^T d_i$ 。待检测的金属成形工件图像中点  $q' = (r, c)^T$  对应点  $p'_i$ , 方向向量  $d'_i$ 。当相似度量  $s$  与定义的阈值相同时,说明该点  $q' = (r, c)^T$  符合金属成形工件标准模板的匹配,若所有假设点都与标准模板匹配,即金属成形工件被判断为无外形缺陷工件,至此完成外形缺陷的检测。

基于形状的模版匹配原理,假设一个图像为所要使用的标准模版图像,对该图像使用 threshold 算子进行灰度化处理,然后利用 gen\_rectangle() 算子选定 ROI 区域,使用 reduce\_domain() 算子得到配准区域 ROI 在标准图像中的位置,最后使用 create\_shape\_model() 算子创建基于形状的配准模板。对需要检测的图像使用 find\_scaled\_shape\_model() 算子进行与上述模板图像基于形状的匹配。

通过以上方法,基本完成对外形缺陷零件进行检测,检测结果如图 5 所示。

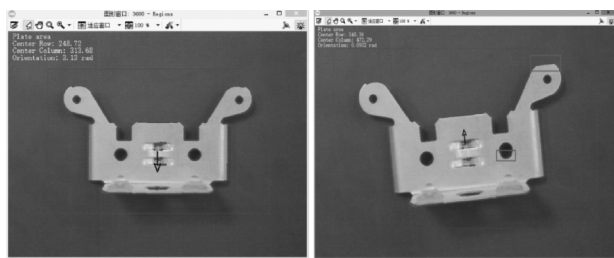


图 5 金属成形工件外形缺陷检测结果

右图中方框区域为金属成形工件的外形缺陷部分,检测结果以方框表示。同样对 50 个外形有缺陷的工件进行视觉测量,检测结果见表 2。

对金属成形工件基于模板匹配方法的外形缺陷

检测,对外轮廓缺陷检工件检出率高,基本满足实际应用要求。

表 2 外形缺陷检测正确率

外形缺陷 样品总数(个)	外形缺陷 未检出数(个)	外形检测 正确率(%)
50	1	98

## 5 结语

(1) 本方案使用机器视觉对金属成形工件的尺寸与缺陷进行检测,相对人工抽检检测,基本可以完成全部零件的检测,适用于大批量工件检测,大大提升了检测速度与检测效率。

(2) 分别对 50 个金属成形工件进行了关键圆孔尺寸的检测与外形缺陷的检测,检测正确率分别达到 98.5% 与 98%,满足生产线检测要求。

## 参考文献

- [1] 黄柳倩. 基于机器视觉的冲压件缺陷检测系统研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2012.
- [2] 何金彪, 周永霞. 基于机器视觉的罐盖缺陷检测[J]. 中国计量学院学报, 2015, 26(3): 269-273.
- [3] 陈艺峰. HALCON 在工件二维尺寸检测上的应用[J]. 机电技术, 2011, 34(4): 12-13.
- [4] 王梅, 梁锦华. 蜂窝纸芯成形质量在线检测系统的开发[J]. 包装工程, 2013, 34(23): 88-91.
- [5] 孙怀远, 廖跃华, 周夫之, 等. 基于 HALCON 的药品包装瓶批号检测技术研究[D]. 上海: 上海理工大学, 2008.
- [6] 彭飞, 陈维荣, 冒波波, 等. 基于 Canny 边缘检测和聚合连续法的路轨边缘提取方法[J]. 铁道学报, 2012, 34(2): 52-57.
- [7] 李渊, 乔兵, 陆宇平. 基于聚类方法的圆拟合算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(22): 206-208.
- [8] 张瑾, 高军, 付衍文. 一种基于改进动态阈值的缺陷提取算法[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 107-111.
- [9] Sonka M, Hlavac V, Ceng R B D M. Image processing analysis and machine vision[J]. Journal of Electronic Imaging, 2014(82): 685-686.

第一作者: 付泽民, 副教授, 上海应用技术大学机械工程学院, 201418 上海市

First Author: Fu Zeming, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China