

玻璃瓶口定位与缺陷检测系统设计

杨丹

(常州信息职业技术学院, 江苏 常州 213164)

摘要: **目的** 为实现玻璃瓶缺陷在线检测, 基于机器视觉设计一种瓶口定位和缺陷检测方法。**方法** 介绍系统结构, 包括相机、控制系统和剔除机构。详细论述图像处理算法, 即: 图像预处理、图像分割、瓶口定位、缺陷检测等。中值滤波完成玻璃瓶图像降噪处理, 迭代阈值实现图像分割。基于像素坐标平均法完成瓶口定位。对于瓶口断口和破损等缺陷, 分别采用径向积分投影和双圆周扫描实现瓶口缺陷检测。最后进行实验研究。**结果** 实验结果表明, 所述算法的性能指标均为 98% 左右, 实现了准确、快速、无接触检测。**结论** 该系统操作简单, 能够满足实际使用的需求。

关键词: 玻璃瓶; 缺陷检测; 定位; 图像处理

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)15-0227-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.034

Design of Glass Bottle Mouth Positioning and Defect Detection System

YANG Dan

(Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China)

ABSTRACT: The work aims to design a method of bottle mouth positioning and defect detection based on machine vision, in order to realize the on-line defect detection of glass bottle. The system structure, including camera, control system and elimination mechanism, was introduced. The image processing algorithms, such as image preprocessing, image segmentation, bottle mouth positioning and defect detection, were discussed in detail. Glass bottle image noise reduction was completed by median filtering. Image segmentation was realized by iteration threshold. The bottle mouth was positioned based on the pixel coordinate average method. The radial integral projection and double circumferential scanning were used to detect the bottle mouth defects, such as bottle mouth fracture and damage. Finally, an experimental study was carried out. The experimental results showed that the performance indexes of the proposed algorithm were above 98%, and the accurate, fast and untouched detection was achieved. The system is easy to operate and can meet the requirements of practical use.

KEY WORDS: glass bottle; defect detection; positioning; image processing

玻璃瓶具有外形美观、密封性好、化学性能稳定、可回收利用等优点, 在食品、饮料、药品等产品包装中的应用十分广泛^[1-5]。在玻璃瓶的生产制造过程中, 成品玻璃瓶往往会存在一些缺陷, 例如: 裂缝、缺口等。本身具有缺陷的玻璃瓶进入包装工序, 一旦充入液体, 比较容易发生爆炸。另外, 使用缺陷玻璃

瓶进行包装容易引发食品安全问题^[6-8], 因此, 对于玻璃瓶缺陷进行检测具有一定的现实意义。目前许多地方仍依赖或倾向于人工检测, 该方法执行效率低而且劳动负担大。另外, 受外界干扰或体能影响, 检测精度往往不高, 检测结果可靠性不高。随着工业自动化水平不断提升, 各种生产线运转速度非常快, 例如

收稿日期: 2019-09-12

作者简介: 杨丹 (1981—), 女, 硕士, 常州信息职业技术学院副教授, 主要研究方向为计算机应用、软件技术。

瓶酒灌装速度可以达到 15 000 瓶/h, 常规检测方法无法满足生产要求^[9-11]。

最近十几年, 机器视觉技术已经逐渐产业化, 其在实时在线检测中的应用日趋常态化。机器视觉检测本身就是无接触检测, 具有速度快、灵活性高、适用范围广和性能稳定等特点, 因此该领域研究已成为热点^[12-17]。众多学者提出了一些基于图像处理技术的玻璃瓶表面缺陷检测算法或系统。文中在现有研究的基础上, 基于图像处理技术设计一种玻璃瓶定位和缺陷检测系统。利用工业相机获取玻璃瓶图像, 结合相关图像处理算法实现缺陷检测, 采用剔除机构剔除缺陷玻璃瓶。最后, 通过实验验证其可行性。

1 系统结构

通常情况下, 玻璃瓶缺陷可分为 2 类, 即: 瓶口缺陷和瓶颈缺陷。在实际生产过程中, 缺陷位置随机性比较强, 所以需要获取整个瓶口图像才能做到判断的准确性。为实现全方位监控, 所述系统配置了 4 个相机, 其中一个相机位于瓶口上方, 用于瓶口缺陷检测。另外 3 个相机分布在瓶体周围, 两两之间间隔 120°, 用于瓶颈缺陷检测。总体来说, 玻璃瓶缺陷检测系统由工业相机、主控制器和剔除机构组成, 系统结构见图 1。

系统工作原理可简要描述为: 当瓶子经过第 1 个光电开关时, 光电开关会产生一个脉冲信号并将其传送给 PLC, PLC 将该信号传送给 PC 机, PC 机作出判断, 控制第 1 个 CCD 相机进行拍照, 以获取瓶口原始图像; 同理, 触发第 2, 3, 4 个光电开关时, CCD 相机 2, 3, 4 会进行拍照以获取瓶颈原始图像, 所获取图像经工控机简单处理后, 上传至 PC 机, PC 机进

行图像处理并判断玻璃瓶是否存在缺陷; 如果检测到缺陷, PC 机将“剔除”指令传送给 PLC, 进而剔除缺陷瓶。文中选用光电开关和编码器配合的方式来准确剔除缺陷瓶, 剔除机构为一种高频高速气缸, 有效行程为 50 mm, 剔除频率不低于 5 Hz, 经实际测试可满足实际生产需求。

2 图像处理算法

在整个系统中, 检测算法至关重要, 主要包括图像预处理、图像分割、图像定位、缺陷检测等步骤。玻璃瓶缺陷检测基本流程见图 2。

2.1 图像预处理

原始数字图像在采集、传输、处理等过程中, 不可避免地受其他因素影响进而引入噪声。噪声势必影响系统对玻璃瓶缺陷的检测和识别, 所以首先要对所采集图像进行降噪处理。一般情况下, 中值滤波不仅能够去除噪声而且可以有效地保护图像边缘, 因此文中选用中值滤波对玻璃瓶图像进行降噪处理。中值滤波表达式可描述为:

$$g(x, y) = \text{mid}\{f(x-k, y-l), (k, l \in \omega)\} \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为玻璃瓶原始图像; $g(x, y)$ 为滤波处理后图像; ω 为二位模板。

2.2 图像分割

以瓶口图像识别为例, 识别之前需要提取图像特征, 比较常用提取方法就是图像分割, 以获取目标图像特征。综合考虑, 文中采用阈值分割法实现瓶口图像的分割处理。定义图像任一像素的灰度值为 $f(x, y)$, 那么阈值分割可表示为:

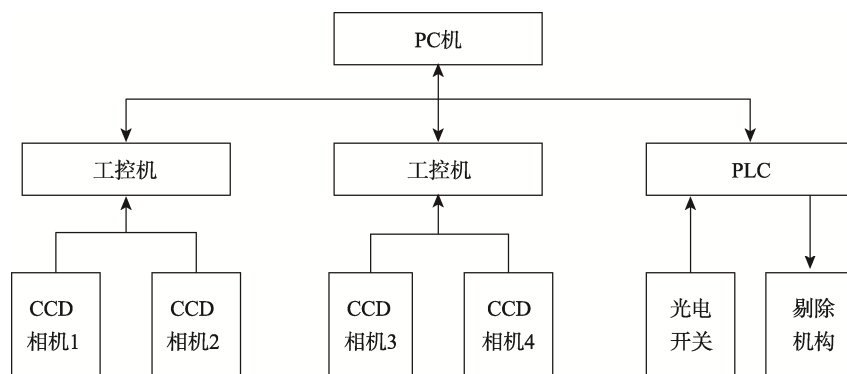


图 1 系统组成

Fig.1 System composition

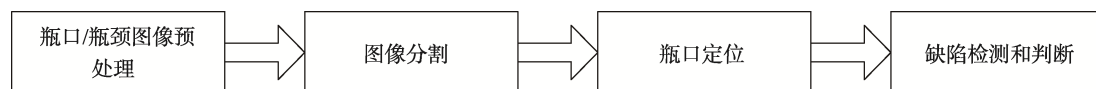


图 2 缺陷检测基本流程

Fig.2 Basic process of defect detection

$$g(x, y) = \begin{cases} 255 & f(x, y) \geq T \\ 0 & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2)$$

式中: T 为分割阈值; $g(x, y)$ 为分割处理后图像。

所述单阈值分割方法操作简单, 便于实现。如果图像灰度直方图中 2 个峰值差距比较大, 单阈值分割就不再适用。此时可以考虑选用多个阈值并基于迭代阈值法对图像进行阈值分割。所述迭代阈值法的具体步骤如下所述。

1) 确定阈值 T 的初始值和目标数值 ε 。

2) 利用所确定阈值将图像划分为 2 个区域 R_1 和 R_2 。

3) 计算区域 R_1 和 R_2 内部所有像素的平均灰度值 u_1 和 u_2 。

4) 重新计算阈值 $T = \frac{1}{2}(u_1 + u_2)$ 。

5) 重复步骤 2—4, 直到阈值 T 满足 $T < \varepsilon$ 为止。

2.3 图像定位

以瓶口检测为例, 图像定位是检测的基础和前提。理想情况下, 瓶口圆心是固定不变的。在实际生产过程中, 机械设备的的不稳定性以及玻璃瓶本身的晃动均会导致瓶口为止出现偏差。为解决此问题, 文中通过相关算法计算玻璃瓶口圆心位置, 这样方可进行下一步检测。

以图像二值化直方图为基础, 能够比较方便地获取其白色像素数目 N 。以单个白色像素 I_i 为研究对象, 定义其坐标为 (x_i, y_i) 。那么根据对称原理, 圆心坐标可认为是所有白色像素坐标的平均值, 具体计算公式为:

$$\begin{cases} x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \\ y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \end{cases} \quad (3)$$

参考式 (3), 在光源位置、摄像机位置保持不变的条件下, 通过图像所得圆心坐标一般会在 (x, y) 附近波动, 但是偏差并不大。如果某个瓶口的圆心坐标 (x', y') 与标准值 (x, y) 相差很大, 则说明该图像内部白色像素和标准相差甚远, 可将其视作缺陷瓶进行处理。

2.4 缺陷检测

瓶口缺陷一般表现为断口和破损, 见图 3。其中断口大多发生在区域 I, 即白色亮环内部; 破损则发生在区域 II, 即圆环内部。

断口检测原理见图 4。对于瓶口断口检测主要针对区域 I 进行检测。正常情况下, 该区域是一个白色亮环, 如果存在断口就会出现黑色区域。利用前文所述方法所得圆心, 在检测区域内沿半径方向扫描, 再



图 3 瓶口缺陷
Fig.3 Bottle mouth defect

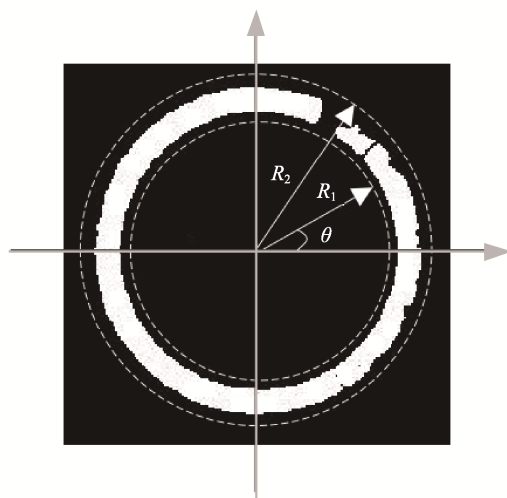


图 4 断口检测原理
Fig.4 Fracture detection principle

进行积分投影。原理可描述为: 定义圆心坐标为 (x, y) , 区域 I 的内半径为 R_1 、外半径为 R_2 ; 定义扫描线与 x 轴正半轴之间的夹角为 θ ; 定义夹角的采样步长为 θ_i , 其选取非常重要, 值过大会漏掉部分缺陷, 导致判断错误; 值过小会增加系统检测时间, 降低系统的实时性。综合考虑, 文中设定 $\theta_i = 1.5^\circ$, 这样既可以查找缺陷又能确保检测速度。

定义每条扫描线的径向积分投影为 $HR(\theta_i)$, 可从 θ_1 到 θ_n 对 $HR(\theta_i)$ 进行扫描并计算以下几个数值, 见式 (4—6)。

1) $HR(\theta_i)$ 上相邻 2 点之间差的绝对值:

$$E_s = |HR(\theta_i) - HR(\theta_{i+1})| \quad (4)$$

2) $HR(\theta_i)$ 上相邻 10 个点中, 前 5 个点之和与后 5 个点之和差的绝对值:

$$E_l = \left| \sum_{i=k}^{k+4} HR(\theta_i) - \sum_{i=k+5}^{k+9} HR(\theta_i) \right| \quad (5)$$

3) $HR(\theta_i)$ 上连续 8 点的平均值:

$$E_v = \sum_{i=k}^{k+7} HR(\theta_i) / 8 \quad (6)$$

假设瓶口存在缺陷的可信度为 P , 鉴于缺陷处 $HR(\theta_i)$ 变化比较大而且 $HR(\theta_i)$ 值比较小, 可定义阈值

T_1 , T_2 , T_3 和 T_4 。判断规则如下所述。

1) 如果 $E_s > T_1$, 则将可信度 P_1 累加到可信度 P , 其中 P_1 为该规则对应的可信度。

2) 如果 $E_1 > T_2$, 则将可信度 P_2 累加到可信度 P , 其中 P_2 为该规则对应的可信度。

3) 如果 $E_v > T_3$, 则将可信度 P_3 累加到可信度 P , 其中 P_3 为该规则对应的可信度。

计算结束后, 如果 $P > T_4$, 则认为存在缺陷。在实际应用过程中, 参数可选定为: $T_1=550$, $T_2=4500$, $T_3=3000$, $T_4=50$, $P_1=6$, $P_2=9$, $P_3=25$ 。

对于瓶口破损检测主要针对区域 II 进行检测, 从图 4 可以看出, 破损地方会出现大量白色像素, 可在该区域内部绘制 2 个同心圆, 检测生成圆的路劲是否存在白色像素, 此时漏检概率比较低。但是, 有时会检测到一些独立的白色像素, 即干扰点。为排除该干扰点, 可对白色像素区域进行扫描, 检测白色像素个数, 如果检测区域内部白色像素个数大于 2, 可认为此处为破损点; 否则就是干扰点。

3 实验研究

为验证所述控制方法的可行性和有效性, 文中进行了相关实验研究。文中选择 1000 幅完整图像和 1000 幅缺陷瓶口图像, 测试算法实际性能。

瓶口检测结果用“缺陷”和“非缺陷”来描述; 对象本身是否有缺陷用“完整”和“不完整”来描述。为便于分析, 可作以下定义: 检测结果为“缺陷”的“不完整”样本定义为真正 (T_p); 检测结果为“非缺陷”的“不完整”样本定义为假负 (F_N); 检测结果为“缺陷”的“完整”样本定义为假正 (F_p); 检测结果为“非缺陷”的“完整”样本定义为真负 (T_N)。

评价指标选用精确率 (P_r)、召回率 (R_c) 以及正确率 (A_{cc}), 具体计算公式为:

$$P_r = \frac{T_p}{T_p + F_p} \quad (7)$$

$$R_c = \frac{T_p}{T_p + F_N} \quad (8)$$

$$A_{cc} = \frac{T_p + T_N}{T_p + T_N + F_p + F_N} \quad (9)$$

如果把完整瓶口检测为缺陷, 精确率就会降低; 如果把不完整瓶口检测为非缺陷, 召回率就会降低, 这 2 种情况都会导致正确率降低。检测结果见表 1, 算法性能指标见表 2。实验结果表明, 所述算法性能指标均在 98% 以上, 算法性能较好, 能够满足玻璃瓶缺陷检测要求。

文中基于 OpenCV 视觉处理类库, 使用 C++ 语言实现了检测系统核心算法和界面设计, 并在研华 IPC-610 系列工控机上进行验证。实验对象为青岛啤酒空瓶, 样本总量为 100 个, 其中瓶口存在缺陷的啤

酒瓶数量为 15 个。重复进行 100 次实验。实验结果表明, 检测成功率可以达到 98% 以上, 单瓶检测所需时间为 70 ms 左右, 满足相关生产线的包装要求。实际检测效果见图 5。

表 1 检测结果

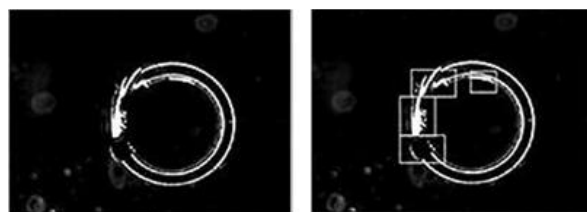
Tab.1 Test results

T_p	F_N	F_p	T_N
992	16	25	1005

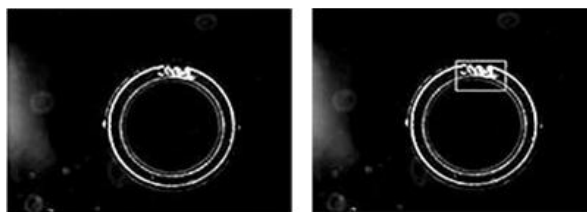
表 2 算法性能指标

Tab.2 Algorithm performance index

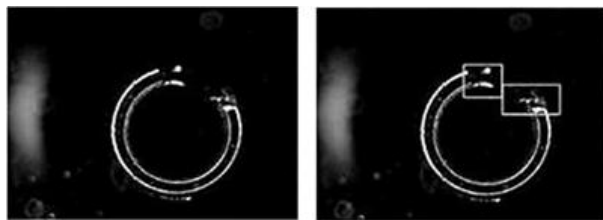
$P_r/\%$	$R_c/\%$	$A_{cc}/\%$
97.54	98.41	98.00



a 破损和断口



b 破损



c 断口

图 5 实际检测效果

Fig.5 Actual detection effect

4 结语

以玻璃瓶口缺陷检测为研究对象, 基于机器视觉确定了一种瓶口定位和缺陷检测系统。在论述系统结构的基础上, 重点论述了图像处理算法, 包括预处理、图像分割、瓶口定位、缺陷检测等。实验结果表明, 所述算法性能指标均较高, 能够满足玻璃瓶包装检测要求。对包装等行业产品缺陷检测具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 高绍嵩, 范洪达, 魏宇. 基于机器视觉的玻璃瓶检测系统[J]. 海军航空工程学院学报, 2006, 21(2): 285—288.
GAO Shao-song, FAN Hong-da, WEI Yu. Glass Bottle Inspector System Based on Machine Vision[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2006, 21(2): 285—288.
- [2] 谢道平. 基于小波变换多尺度的图像边缘检测方法研究[J]. 大众科技, 2017, 19(11): 3—5.
XIE Dao-ping. A Study of Image Edge Detection Based on Multi-scale Wavelet[J]. Popular Science & Technology, 2017, 19(11): 3—5.
- [3] 倪洁, 王俊平, 杨国钰, 等. 一种柔性形态学参数对称对数图像处理新算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2017, 44(5): 25—31.
NI Jie, WANG Jun-ping, YANG Guo-yu, et al. New Soft Morphological Parameterized Symmetric Logarithmic Image Processing Filtering Algorithm[J]. Journal of Xidian University, 2017, 44(5): 25—31.
- [4] 张文娟, 康家银. 一种用于图像降噪的自适应均值滤波算法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(12): 2496—2498.
ZHANG Wen-juan, KANG Jia-yin. Adaptive Mean Filtering Algorithm for Image Denoising[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2011, 32(12): 2496—2498.
- [5] 孙晓娜, 刘继超, 高国华. 基于视觉的乳品包装日期喷码缺陷检测技术[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 100—103.
SUN Xiao-na, LIU Ji-chao, GAO Guo-hua. Study on Visual Code-based Defect Detection Technology for Production Date of Dairy Packaging[J]. Food & Machinery, 2018, 34(10): 100—103.
- [6] 庄开岚, 王吉忠, 周洁. 机器视觉技术在角度检测方面的应用研究[J]. 装备制造技术, 2011(4): 9—10.
ZHUANG Kai-lan, WANG Ji-zhong, ZHOU Jie. Application of Machine Vision in Angle Inspection[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(4): 9—10.
- [7] 杨马英, 郑亚飞. 基于视觉反馈的机械臂预测控制[J]. 浙江工业大学学报, 2016, 44(3): 260—265.
YANG Ma-ying, ZHENG Ya-fei. Predictive Control of Manipulators Based on Visual Feedback[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2016, 44(3): 260—265.
- [8] 张铖伟, 王彪, 徐贵力. 摄像机标定方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 174—179.
ZHANG Cheng-wei, WANG Biao, XU Gui-li. Camera Calibration Method of Research[J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(11): 174—179.
- [9] 李文育, 张二虎, 于佳, 等. 基于机器视觉的印刷图像色彩在线检测系统设计[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(2): 159—164.
LI Wen-yu, ZHANG Er-hu, YU Jia, et al. The Design of Online Detection System for Printing Image Color Based on Machine Vision[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(2): 159—164.
- [10] 汤子夜, 朱林, 丁宇韬, 等. 图像边缘检测的优化算法研究[J]. 科技创新与生产力, 2019(2): 71—74.
TANG Zi-ye, ZHU Lin, DING Yu-tao, et al. Optimization Algorithm of Image Edge Detection[J]. Technology Innovation and Productivity, 2019(2): 71—74.
- [11] 李军成, 肖健, 李兵. 基于图像处理的玻璃瓶口裂纹检测系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(11): 3619—3622.
LI Jun-cheng, XIAO Jian, LI Bing. Design and Implementation of Glass Bottle Crack Detection System Based on Image Processing[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(11): 3619—3622.
- [12] 夏贤华, 谢经明, 柯丰恺, 等. 基于机器视觉的玻璃瓶在线检测系统研究与开发[J]. 机械与电子, 2013(11): 67—70.
XIA Xian-hua, XIE Jing-ming, KE Feng-kai, et al. Research and Development of Glass Bottle Online Detection System Based on Machine Vision[J]. Machinery & Electronics, 2013(11): 67—70.
- [13] 彭玉. 饮料空瓶检测机器人的瓶口缺陷识别算法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2017: 18—35.
PENG Yu. Research on Bottle Mouth Defect Recognition Algorithm for Empty Beverage Bottle Detection Robot[J]. Changsha: Hunan University, 2017: 18—35.
- [14] 胡方尚, 郭慧. 基于 ROI 模板的印刷品图像配准方法[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 582—586.
HU Fang-shang, GUO Hui. Printing Image Registration Based on ROI Template[J]. Journal of Donghua University(Natural Science), 2016, 42(4): 582—586.
- [15] 张树君, 陈大千, 辛莹莹, 等. 基于图像的 PET 瓶瓶盖和液位的检测设备[J]. 轻工机械, 2012, 31(2): 71—74.
ZHANG Shu-jun, CHEN Da-qian, XIN Ying-ying, et al. Detection Device of PET Bottle and Liquid Based on Image[J]. Light Industry Machinery, 2012, 31(2): 71—74.
- [16] 何庆飞, 陈小虎, 姚春江, 等. 基于最小二乘支持向量分类机的齿轮泵故障诊断研究[J]. 流体机械, 2019, 47(8): 32—36.
HE Qing-fei, CHEN Xiao-hu, YAO Chun-jiang, et al. Gear Pump Fault Diagnosis Research Based on Least Squares Support Vector Classification Machine[J]. Fluid Machinery, 2019, 47(8): 32—36.
- [17] 童季刚, 廖菲, 罗良传. 一种机器视觉的瓶罐缺陷检测系统设计[J]. 机电工程技术, 2016, 45(8): 28—31.
TONG Ji-gang, LIAO Fei, LUO Liang-chuan. Design of Bottle Cap Encapsulation Testing Based on Machine Vision[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(8): 28—31.