

基于机器视觉的玻璃瓶口缺陷检测方法

罗时光

(吉林化工学院, 吉林 132022)

摘要: **目的** 为提高玻璃瓶口缺陷检测精度, 确保生产线包装效率。**方法** 基于机器视觉设计一种瓶口缺陷检测方法, 并简要介绍检测系统的整体框架。分别论述基于最大熵值法的图像分割方法、瓶口定位方法以及图像特征提取方法, 其中图像特征主要包括周长、圆弧度、相对圆心距离。利用 BP 神经网络实现瓶口缺陷的准确识别, 将瓶口破损程度转换为具体数值, 最后进行实验验证。**结果** 文中检测方法对破损瓶口的检测成功率为 99%, 对于不同的破损类型均有较高的检测准确度。**结论** 基于机器视觉的玻璃瓶口缺陷检测方法能够满足生产线对准确性和实时性的要求。

关键词: 机器视觉; 瓶口检测; 图像处理; BP 神经网络

中图分类号: TP391; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0183-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.035

Glass-bottle Defect Detection Method Based on Machine Vision

LUO Shi-guang

(Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the glass-bottle defect detection accuracy and ensure production line packaging efficiency. A bottle defect detection method was designed based on machine vision. The overall framework of detection system was briefly introduced. The methods of image segmentation based on maximum entropy, bottle positioning and image feature extraction were respectively discussed. Image features mainly included the perimeter, circularity and relative distance of circle's center. The accurate bottle defect recognition was realized with BP neural network and the bottle damage degree was converted into a specific value. Finally, the experimental verification was carried out. The success rate of the proposed detection method for the damaged bottle was 99%. It had higher detection accuracy for different damage types. The glass-bottle defect detection method based on machine vision can meet the requirements of production line for accuracy and real-time performance.

KEY WORDS: machine vision; bottle detection; image processing; BP neural network

玻璃瓶在食品、药品、饮料等产品包装中得到了广泛的应用^[1]。传统的玻璃瓶检测方法为人工检测, 存在效率低、劳动强度大等问题, 而且检测精度易受外界因素的影响, 结果可靠性不高^[2-3]。随着工业自动化的发展, 生产线速度不断提高, 人工检测无法满足速度要求^[4-6]。

近年来, 机器视觉技术发展迅速, 已被用于多种产品的在线检测^[7-11]。国外自 20 世纪 80 年代便开始研究机器视觉如何用于玻璃瓶缺陷的检测和分类。例

如, Yoshida 等利用光电传感器和弧形光源获取瓶口图像, 基于径向扫描完成瓶口缺陷的检测, 不过其计算过程比较复杂^[12]; Shafait 等以矿泉水瓶口为研究对象, 利用 Hough 变换实现瓶口定位, 但该方法对样本图像的要求较高, 否则无法进行准确定位^[13]。国内, 湖南大学最早对玻璃瓶的机器视觉检测技术进行了研究, 并研制出相关智能检测设备, 但是检测速度不高^[14]; 马思乐等基于最小二乘法设计了一种玻璃瓶口的定位算法并实现缺陷检测, 不过算法的抗干扰能

收稿日期: 2017-08-09

基金项目: 吉林化工学院重大科技项目 (2016019)

作者简介: 罗时光 (1983—), 男, 吉林化工学院讲师, 主要研究方向为图像处理与模式识别。

力一般^[15];王贵锦等基于对称匹配算法设计了一种实时 PET 瓶瓶口检测算法,但该方法无法进行缺陷分类^[16]。在现有研究的基础上,文中基于机器视觉设计一种玻璃瓶瓶口检测方法,阐述其图像处理、缺陷检测和分类的方法,并进行实验验证。

1 系统构架

玻璃瓶检测系统的结构见图1,整个系统主要包括 CCD 成像单元、图像采集与处理模块、控制模块等。成像单元包括 CCD 工业相机、LED 光源,主要负责原始图像采集,直接将模拟视频信号传送到图像处理子系统,玻璃瓶的检测项目包括瓶口、瓶底和瓶身等,因此需要在不同位置放置 CCD 工业相机和 LED 光源。图像采集与处理模块主要负责模拟视频信号接收及其数字化处理,即对所获取图像进行处理和运算,同时将处理结果发送至监控管理模块。控制模块包括工控机、PLC、光电传感器、击瓶器、变频器等,可以实现传送带上玻璃瓶定位、不合格玻璃瓶剔除以及传送带速度控制,工控机用于实时显示、统计、记录各数据。

这里以瓶口检测为研究对象,瓶口检测项目包括瓶口是否存在异物、裂纹或缺口等。照明装置选用圆环形 LED 光源,光源放置在空瓶正上方、CCD 和瓶口之间,由上向下照射。光线经反射后将图像采集至图像传感器。

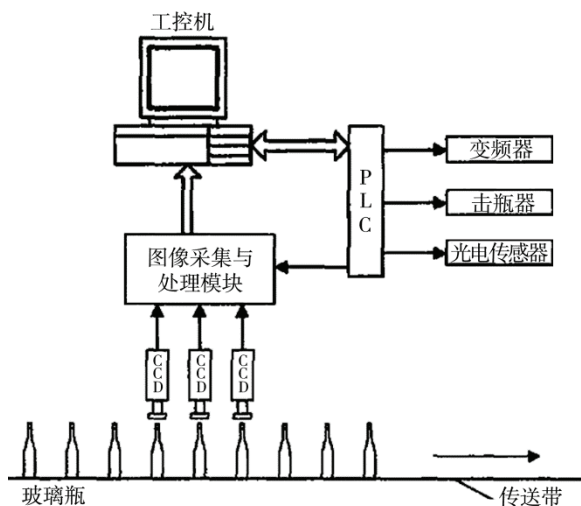


图1 玻璃瓶检测系统
Fig.1 Glass-bottle detection system

2 图像处理

图像处理过程通常由图像预处理、图像分割、特征提取、缺陷分类等环节组成。考虑到 CCD 相机总体性能不错,图像形成、传输过程并不会受噪声影响,再加上背景图像和特征图像对比度较高,因此这里暂不考虑图像预处理。

2.1 图像分割

这里基于最大熵值法实现图像分割。在玻璃瓶口检测过程中,图像本身一般不存在噪声,结构简单,可认为只有目标和背景这2个特征。设定一个分割阈值 T ,将图像分成目标区域和背景区域。如果某区域灰度值大于 T ,则代表目标区域;如果某区域灰度值小于 T ,则代表背景区域。熵值可定义为:

$$H = -\int_{-\infty}^{\infty} p(x) \cdot \ln p(x) dx \quad (1)$$

式中: $p(x)$ 为像素 x 的发生概率。若灰度级 x 像素数量用 n_i 表示,图像总像素数量用 N 表示,则有:

$$p(x) = n_i / N \quad (2)$$

背景区域可表示为所有灰度值小于 T 的像素之和,其概率可描述为:

$$P_b = \sum_{x=0}^{T-1} p(x) = \sum_{i=0}^{T-1} n_i / N \quad x = 0, 1, 2 \dots T-1 \quad (3)$$

目标区域可表示为所有灰度值大于等于 T 且小于 L 的像素之和,其概率可描述为:

$$P_o = \sum_{x=T}^L p(x) = \sum_{i=T}^L n_i / N \quad (4)$$

式中: $x = T, T+1, T+2 \dots L$; L 为图像灰度级数。那么背景和背景区域熵可分别定义为:

$$H_b(T) = -\sum_{x=0}^{T-1} (p_x / P_b) \ln(p_x / P_b) \quad x = 0, 1, 2 \dots T-1 \quad (5)$$

$$H_o(T) = -\sum_{x=T}^L (p_x / P_o) \ln(p_x / P_o) \quad x = T, T+1, T+2 \dots L \quad (6)$$

$$H(T) = H_b(T) + H_o(T) \quad (7)$$

基于最大熵法原理可以看出,所求阈值应使 $H(T)$ 取最大值,则有:

$$T = \arg \max(H(T)) \quad (8)$$

2.2 瓶口定位

在实际生产过程中,传送带上玻璃瓶会存在位置偏差。在图像处理之前,需要对瓶口进行定位处理,一般通过定位圆心来检测。利用2条圆弧中垂线的交点确定圆心进而定位瓶口位置。具体算法流程如下所述。

1) 针对阈值分割处理的图像进行边界检测,并获取瓶口边缘图像。

2) 从边缘图像中随机选取一点并记作 A 点,沿瓶口边缘隔固定像素点后选取第2点并记作点 B ,可得 AB 弦。如此重复,可得到一系列相同的弦。

3) 根据步骤2)所有弦的集合,每2条弦就可以计算出一个圆心坐标。

4) 分析动态链表内结点值,其中最大结点值所

对应坐标就是圆心坐标。

3 特征提取与缺陷识别

对瓶口图像进行分析可以得到相关几何特征参数。通过对比各项特征，这里确定采用周长、面积、圆形度、相对圆心距离这 4 个特征作为缺陷评估参数。

3.1 特征提取

3.1.1 周长

周长是指图像连通区域边界上所有像素点的数量总和。如果瓶口没有破损，则连通域为一个整体，此时周长最大，可记作 $L_{\max}$ ，另外，噪声周长可定义为 $L_{\min}$ 。如果瓶口存在破损，连通区域比较零散，会出现多个周长数值，最大数值也会相应减小。理论上，上述数值介于 $L_{\min}$ 和 $L_{\max}$ 之间，因此图像连通域的周长可作为一种瓶口特征参数。

3.1.2 面积

面积是指连通区域内所有像素点的数量之和，可用 A_j 描述。面积计算方法可表示为：

$$A_j = \sum_x \sum_y f(x, y) \quad (9)$$

如果瓶口没有破损，则连通域为一个整体，此时面积最大且只有一个面积值；如果瓶口存在破损，面积数值势必会减小，面积值的数目也会增加。

3.1.3 圆形度

圆形度是指与区域形状复杂程度有关的特征量，可通过面积和周长计算得到。具体计算方法为：

$$e = \frac{4\pi A_j}{L^2} \quad (10)$$

式中： e 的数值在 0~1 之间。标准圆的圆形度为 1，其他形状的圆形度均小于 1。如果连通区域形状越接近圆，那么 e 值就会越大；相反，则 e 值越小。如果瓶口没有破损，则其圆形度近似为 1；一旦出现破损，瓶口圆形度至少为 2 个，其值与 1 相差较大。

3.1.4 相对圆心距离

相对圆心距离是指连通区域与瓶口圆心之间的距离。假定连通域为 $f(x, y)$ ，其 $p+q$ 阶矩可表示为：

$$M_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (11)$$

连通域的面积可用零阶矩表示，即：

$$M_{00} = A_j = \sum_x \sum_y f(x, y) \quad (12)$$

同理，一阶矩可表示为：

$$M_{10} = \sum_x \sum_y x f(x, y) \quad (13)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y y f(x, y) \quad (14)$$

那么连通区域质心位置可表示为：

$$\bar{x} = M_{10} / M_{00} \quad (15)$$

$$\bar{y} = M_{01} / M_{00} \quad (16)$$

在 Hough 圆变换中已求得瓶口圆心坐标，记作 (a, b) 。相对圆心距离 r 的求解公式为：

$$r = \sqrt{(\bar{x} - a)^2 + (\bar{y} - b)^2} \quad (17)$$

3.2 缺陷识别

这里采用 BP 神经网络实现瓶口缺陷的准确识别。网络为 3 层神经网络，即输入层、隐含层和输出层。输入层输入量为 4 个，分别为上述的周长、面积、圆形度和相对圆心距离。输出层输出量只有 1 个，表示瓶口的完整程度，其值为 0 则表示瓶口完好无损；其值为 1 则表示瓶口破损严重；数值越接近 0，表示瓶口完整度越好；数值越接近 1，表示瓶口破损越严重。转换公式为：

$$x = \mathbf{w}_1 \times \mathbf{p} + \mathbf{b}_1 \quad (18)$$

$$y = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (19)$$

$$A = \mathbf{w}_2 \times y + \mathbf{b}_2 \quad (20)$$

式中： x 和 y 为中间变换量； $\mathbf{w}_1$ 和 $\mathbf{w}_2$ 为神经网络权值矩阵； $\mathbf{b}_1$ 和 $\mathbf{b}_2$ 为神经网络阈值矩阵； $\mathbf{p}$ 为特征矩阵，包含周长、面积、圆形度、相对圆心距离等信息。

通过式 (18—20) 的转换，瓶口检测结果仅为一个数字。对任意瓶口，只需将其特征向量代入逻辑转换内，便可计算出相关数值，可用数值大小评估缺陷的具体情况。

4 实验与分析

为验证所述缺陷检测方法的可行性和有效性，这里进行了相关实验研究。实验环境：工业相机为 TXC12 千兆相机；环形 LED 光源和面光源；图像分辨率为 1024×768；帧率为 33 帧/s。以某品牌的啤酒瓶为例，样本数目为 500，其中完好样本 400 个，不同程度瓶口破损样本 100 个。随机抽取并进行图像采集，检测结果见表 1。

表 1 检测结果
Tab.1 Test results

样本类型	检测个数	成功个数	错误个数	检出率/%	误检率/%
完好瓶	400	397	3	99.25	0.75
破损瓶	100	99	1	99	1
总数	500	496	4	99.2	0.8

受实验条件限制，实验样本只有 500 个，样本数量相对较少。由表 1 的检测结果分析可以看出，所述检测方法对破损瓶口检测成功率为 99%，误检率仅为

1%。实验表明,该方法具有较高的成功率。任取一个玻璃瓶,其瓶口图像处理过程见图2。

瓶口图像处理结果大体可以分成8类,见图3。由结果可以看出,无论瓶口是否存在破损、破损程度大小、

内环还是外环破损,均能被检测出来,说明检测结果满足准确性要求。将该检测方法应用到实际生产中,经生产测试,检出率会受生产环境影响出现小幅下降,但仍可满足企业对系统的准确性和实时性的要求。

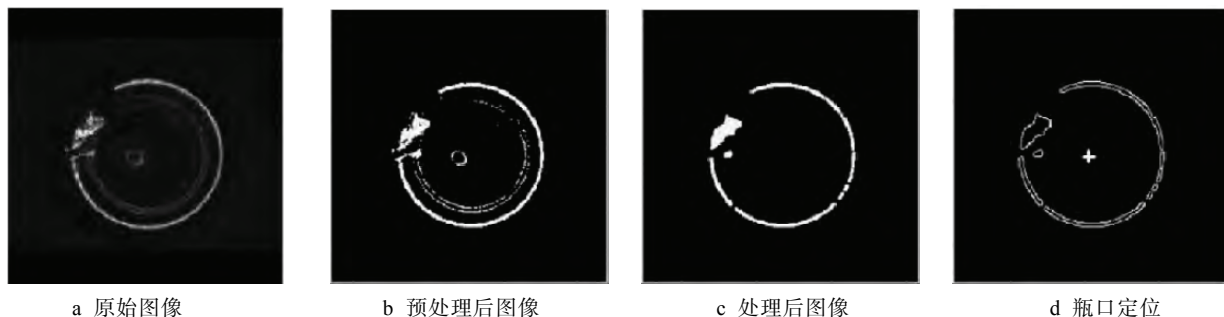


图2 瓶口图像处理流程
Fig.2 Bottle image processing flow

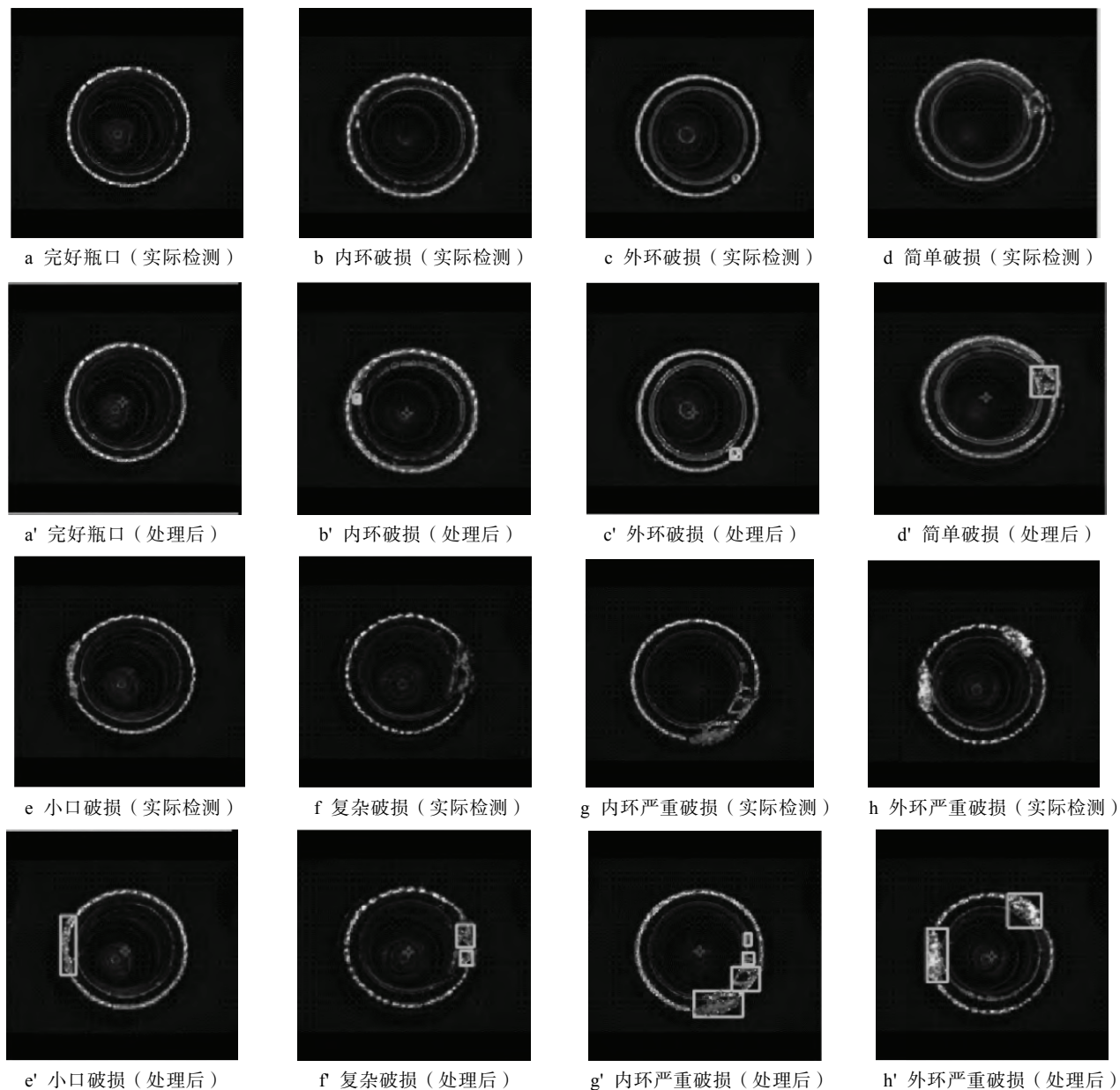


图3 图像处理结果
Fig.3 The image processing results

5 结语

玻璃瓶在食品、药品、饮料等产品包装中的应用十分广泛,瓶口破损不仅会影响包装效率,而且存在卫生隐患。为解决该问题,以玻璃瓶瓶口检测为研究对象,基于机器视觉设计一种检测方法,并阐述了具体的图像处理和缺陷识别方法。实验结果表明,对于不同程度的破损,文中检测方法均具有较高检测精度,可满足生产线包装要求,对提高生产线包装效率具有一定的实际意义。

参考文献:

- [1] 杨红亮,徐国宝,刘新乐,等. 基于机器视觉的偏口桶旋压盖一体机应用研究[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 135—140.
YANG Hong-liang, XU Guo-bao, LIU Xin-le, et al. Research and Application of Eccentric Bung-hole Cap Screwing-pressing Machine Based on Robot Vision Technique[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 135—140.
- [2] 张萍,朱政红. 机器视觉技术及其在机械制造自动化中的应用[J]. 合肥工业大学学报, 2007, 30(10): 1292—1295.
ZHANG Ping, ZHU Zheng-hong. Machine Vision Technique and Its Application to Automation of Mechanical Manufacture[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2007, 30(10): 1292—1295.
- [3] SONG Li-mei, WANG Peng-qiang, CHANG Yu-lan, et al. A Non-contact Real-time Measurement of Lamp Dimension Based on Machine Vision[J]. Optoelectronics Letters, 2015, 11(2): 145—148.
- [4] 李杨果,王耀南,王威. 基于机器视觉的大输液智能灯检机研究[J]. 光电工程, 2006, 33(11): 69—74.
LI Yang-guo, WANG Yao-nan, WANG Wei. Intelligent Transfusion Liquor Inspector Based on Machine-vision[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(11): 69—74.
- [5] 王耀南,陈铁健. 智能制造装备视觉检测控制方法综述[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(3): 273—286.
WANG Yao-nan, CHEN Tie-jian. Control Methods of Intelligent Manufacturing Equipment Visual Inspection[J]. Control Theory & Applications, 2015, 32(3): 273—286.
- [6] 楚广生. 基于图像处理的自动调光系统[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12): 69—72.
CHU Guang-sheng. Auto Exposure System Based on Image Processing[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34(12): 69—72.
- [7] 周显恩,王耀南,李康军,等. 一种多次随机圆检测及拟合度评估的瓶口定位法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(9): 2021—2029.
ZHOU Xian-en, WANG Yao-nan, LI Kang-jun, et al. One Kind of Multiple Round Random Testing and Assessment of the Bottle Fitting Location Method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(9): 2021—2029.
- [8] 刘焕军,王耀南,段峰. 基于支撑向量机的空瓶智能检测方法[J]. 控制与决策, 2005, 20(12): 1434—1437.
LIU Huan-jun, WANG Yao-nan, DUAN Feng. Empty Intelligent Detection Method Support Vector Machine[J]. Control and Decision, 2005, 20(12): 1434—1437.
- [9] FUANG H. Automatic Thresholding for Detect Defect[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27: 1644—1649.
- [10] 张晓琳,毛建旭,龚全华,等. 软袋组合盖质量视觉检测系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(2): 236—240.
ZHANG Xiao-lin, MAO Jian-xu, GONG Quan-hua, et al. Research on Visual Detection System for Combination of Covers Quality of Soft Infusion[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(2): 236—240.
- [11] 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.
- [12] YOSHIDA H. Bottle Mouth Defect Inspection Apparatus: USA, 4775889[P]. 1988-10-04.
- [13] SHAFAIT F, IMRAN S M, KLETTE-MATZAT S. Fault Detection Machine and Localization in Empty Water Vision[C]// IEEE E-Tech, 2004.
- [14] 吴成中,王耀南,冯明涛,等. 基于神经网络的医药微弱异物视觉检测机器人[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1746—1756.
WU Cheng-zhong, WANG Yao-nan, FENG Ming-tao, et al. Neural Network Based Pharmaceutical Weak Foreign Body Visual Inspection Robot[J]. Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(12): 1746—1756.
- [15] 马思乐,黄彬,何印洲,等. 智能空瓶检测系统瓶底快速定位实现[J]. 自动化仪表, 2012, 33(10): 39—41.
MA Si-le, HUANG Bin, HE Yin-zhou, et al. Empty Bottle Intelligent Detection System to Quickly Locate[J]. Process Automation Instrumentation, 2012, 33(10): 39—41.
- [16] 王贵锦,刘博,何贝,等. 应用对称匹配的PET瓶瓶盖缺陷实时检测[J]. 应用科学学报, 2014(6): 617—624.
WANG Gui-jin, LIU Bo, HE Bei, et al. Application of PET Bottle Defect Symmetry Matching Real-time Detection[J]. Journal of Applied Sciences, 2014(6): 617—624.