

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.03.014

基于轮廓曲率的 PET 瓶防盗环断裂检测*

彭玉 王耀南 周显恩 蒋笑笑 郑叶欣

(湖南大学 机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室 长沙 410082)

摘要:针对现有满瓶检测算法中缺乏聚对苯二甲酸乙二酯 (polyethylene terephthalate, PET) 瓶防盗环断裂检测算法的问题,提出一种基于轮廓曲率计算和角点检测的防盗环断裂检测算法。首先采用灰度投影法大致定位出瓶盖区域并将瓶盖所在的矩形区域设置为感兴趣区域 (ROI),再利用梯度极大值抑制法获取瓶盖边缘点,并根据提出的等腰三角形法和最近点搜索法,拟合边缘点的亚像素坐标并连接瓶盖轮廓。然后利用边缘点的路程距离比 (stretch to distance ratio, SDR) 来近似表示轮廓曲率,再根据轮廓曲率极大值检测角点,并采用角点匹配法定位支撑环。最后根据支撑环和防盗环之间存在缝隙与否,来判断防盗环是否断裂。该算法检测正确率达到 94.75%,可满足生产需要。

关键词:亚像素边缘;角点检测;轮廓曲率;瓶盖缺陷

中图分类号: TP391;TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

PET bottle tamper-evident bandbroken detection based on contour curvature

Peng Yu Wang Yaonan Zhou Xian'en Jiang Xiaoxiao Zheng Yexin

(National Engineering Laboratory for Robot Visual Perception and Control Technology, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In the paper, a polyethylene terephthalate (PET) bottle tamper-evident band broken detection algorithm based on contour curvature and corner detection is proposed to solve the problem that no existing algorithm concentrates on PET bottle tamper-evident band breakage detection. Firstly, the bottle cap area is roughly located by grayscale projection and the rectangular area of the cap is set to region of interest (ROI). Then, the cap edge point is obtained by gradient maxima suppression method, the sub-pixel edge is fit according to the given law isosceles triangle, and the bottle cap contour is connected through the nearest point search method. And then, the stretch to distance ratio (SDR) of edge point is used to approximate the contour curvature, the corner points are detected based on maximum contour curvature, and the support ring is located by corner matching method. Finally, whether the tamper-evident band broken is determined according to whether or not a gap exist between supporting ring and the tamper-evident band. The algorithm detection correct rate is 94.75%, it meets production needs.

Keywords: sub-pixel edge; corner detection; contour curvature; bottle cap defects

1 引言

随着人们生活水平的提高,每天对瓶装饮料的需求量巨大。常见的矿泉水瓶和碳酸饮料瓶都是用聚对苯二甲酸乙二酯 (polyethylene terephthalate, PET) 材料做成的,简称 PET 瓶。为了保证饮料的品质,PET 瓶的质量也是

饮料生产厂家要重视的问题。由于各大厂家设备技术等限制,灌装后的 PET 瓶可能存在无盖、高盖、歪盖、防盗环断裂等缺陷,严重影响饮料品质 and 公司形象,因此灌装后的 PET 饮料瓶必须进行详细全面的缺陷检测。传统的人工检测方法效率低、速度慢不能满足生产需要,而基于机器视觉的高速高精度满瓶检测机可以大大提高生产效率。例如德国海富公司的满瓶检测机,国内山东明佳

包装公司也设计出相关设备。

针对饮料瓶的机器视觉检测方法由来已久,已经有许多研究成果。湖南大学的段峰等人^[1-2]和周显恩等人^[3-4]研究设计一套多传感器融合智能检测机器人。周博文等人^[5]、张辉等人^[6]和王耀南等人^[7]设计一种药液可见异物检测系统。姚坤等人^[8]、黄玲等人^[9]对透明饮料瓶的液位检测进行研究。孙涛^[10]设计一种基于图像匹配的 PET 瓶封装缺陷检测算法,该算法根据边缘相似性进行缺陷判断,只能检测出变形比较大的缺陷,把断环缺陷瓶直接当成了合格瓶处理。郑云峰等人^[11]提出一种基于直线拟合算法的 PET 瓶盖检测方法,可以检测出高盖、歪盖、无盖缺陷。王贵锦等人^[12]提出一种结合对称匹配的 PET 瓶瓶盖的实时检测算法,对 PET 瓶进行对称匹配,消除拉丝等干扰,具有很高的鲁棒性。现有 PET 瓶缺陷检测算法只能分类出高盖、歪盖、无盖缺陷,没有针对防盗环断裂的检测算法。主要原因有以下几点:防盗环断裂缺陷小而细微,缺陷特征不明显,断环瓶与正常 PET 瓶很难区分,检测难度较大。

本文主要针对 PET 瓶防盗环是否断裂,设计一种基于轮廓曲率计算和角点检测的防盗环断裂检测算法。

2 系统结构

系统电气结构如图 1 所示。整个系统主要包括 3 部分:传动模块、视觉检测模块和次品剔除模块。传动模块由 PLC、变频器、传送带电机、旋转编码器、传送带组成;

视觉检测模块由检测工位光电传感器、工业相机、光源、高反镜、镜头、工控机组成;次品剔除模块由剔除工位光电传感器、电磁阀、击出器组成。

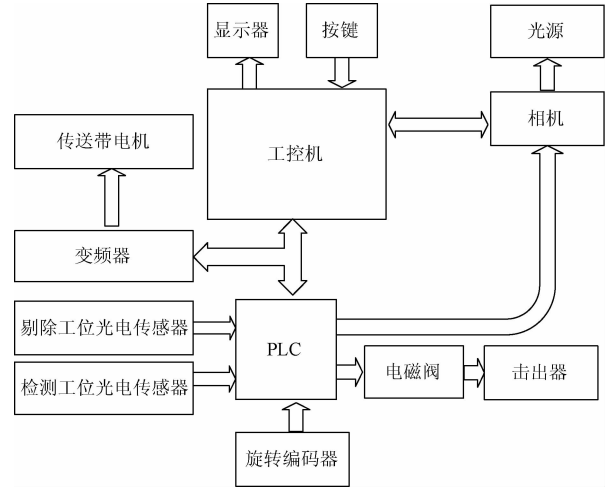


图 1 电气结构
Fig. 1 Electrical structure

系统检测如图 2 所示。PLC 控制电机带动传送带运动,旋转编码器可将送带位移转化为电脉冲数,实现 PET 瓶准确定位。当 PET 瓶经过检测工位光电传感器时,相机收到信号并触发光源控制动作,进行打光和图像采集,相机采集到的图像通过千兆网传输到工控机进行处理,得到检测结果。当 PET 瓶经过剔除工位光电传感器时,PLC 根据检测结果控制击出器剔除不合格的 PET 瓶。

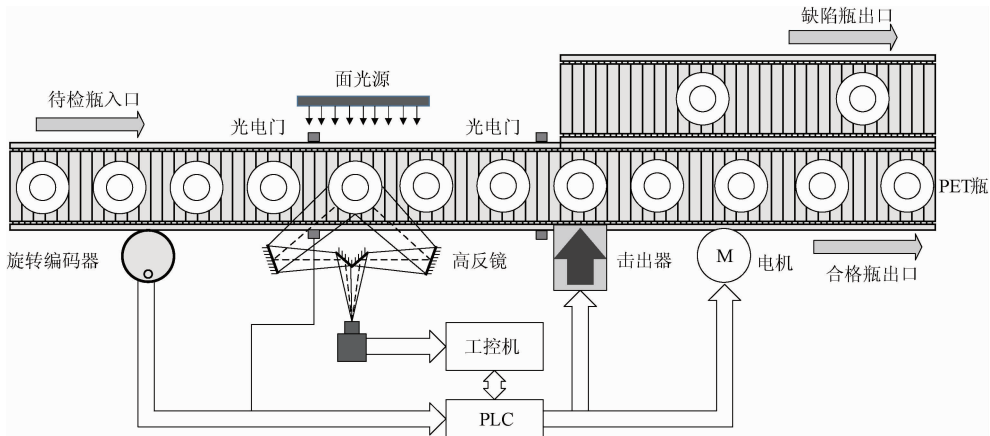


图 2 检测系统

Fig. 2 Schematic diagram of detection system

3 检测算法

饮料瓶盖主要有瓶盖主体和防盗环两部分组成,瓶盖主体与防盗环之间通过连接桥连接在一起,防盗环内

壁上均匀分布有若干条片状回旋拉力翼,这样的防盗瓶盖具有封口牢固、防漏防盗性能好、使用安全方便卫生等特点。防盗环一经开启就会断裂,在容器上留下明显的证据^[13]。国家标准 GBT 17876-2010 要求塑料防盗瓶盖在封盖后防盗环不断裂^[14]。

如图 3(a) 所示,正常瓶盖的防盗环通过连接桥与瓶盖连接固定,和支撑环之间有一条缝隙。当连接桥断裂时,防盗环失去固定而变得松动。在快速运动的流水线上,防盗环会因为重力作用而掉落到支撑环上,如图 3(b) 所示,此时支撑环和防盗环之间没有缝隙。本文通过检测支撑环与防盗环之间是否有缝隙来判断防盗环是否断裂。

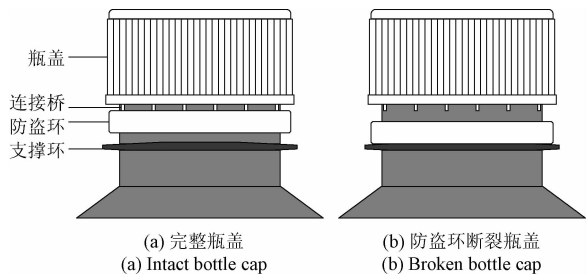


图 3 瓶盖结构

Fig. 3 Schematic diagram of bottle cap structure

现场采集到的图像如图 4 所示。可以看出好瓶盖的瓶盖轮廓中支撑环和防盗环之间有一条小缝隙,其轮廓角度最小;而坏瓶盖的瓶盖轮廓中支撑环与防盗环之间没有缝隙,其轮廓角度不是最小。根据这一特点,只要能找出瓶盖轮廓中的角点和角点角度,就能得出防盗环和

支撑环之间的缝隙大小,从而判断防盗环是否断裂。

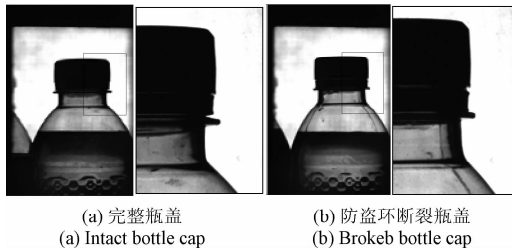


图 4 瓶盖采集图

Fig. 4 Bottle cap collection

本文算法主要包括瓶盖定位、瓶盖轮廓提取、轮廓角点检测、支撑环定位和角点分析 5 个步骤,如图 5 所示。首先确定瓶盖在图像中的位置区域并设置为感兴趣区域 (ROI),然后在 ROI 内使用梯度法检测瓶盖边缘并计算边缘点的亚像素坐标,再根据亚像素坐标得到瓶盖轮廓,接下来计算轮廓上的轮廓角点,采用轮廓角点匹配法定位支撑环,最后根据支撑环领域角点特征判断瓶盖防盗环是否断裂。由于每个 PET 瓶在采集到图像中是两个不同角度的像,一幅图中两个瓶盖的防盗环都是完好的才能判断该 PET 瓶防盗环是完好的。接下来介绍每一步骤的基本原理和详细过程。



图 5 本文算法流程

Fig. 5 Flowchart of the proposed algorithm

3.1 瓶盖定位

为了能快速定位瓶盖,本文使用基于一维投影的定位算法^[15]。把原始二维图像投影到 X 轴变成一维数据,找到左右两个瓶盖区域的 X 坐标范围 ($x_{11} \sim x_{12}$) 和 ($x_{21} \sim x_{22}$),再分别将原图 ($x_{11} \sim x_{12}$) 和 ($x_{21} \sim x_{22}$) 区域投影到 Y 轴,定位两个瓶盖的 Y 坐标范围 ($y_{11} \sim y_{12}$) 和 ($y_{21} \sim y_{22}$)。

X 轴投影如图 6 所示,首先计算灰度投影的极小值点,并定位到 X 投影最小的 3 个极小值点 x_1 、 x_2 、 x_3 ,这 3 个点可以把原图分割为 ($x_1 \sim x_2$) 和 ($x_2 \sim x_3$) 两部分,即 PET 瓶的两个成像区域。根据先验知识可知,瓶盖区域是 PET 瓶成像区域中灰度值总和最小的区域,通过手动标定得知大约 200 像素宽度的范围可包含整个瓶盖区域。可通过在 ($x_1 \sim x_2$) 内设置宽度为 200 像素的滑动窗口,来定位灰度值最小的滑动窗口范围 ($x_{11} \sim x_{12}$),即为左瓶盖的 X 坐标范围。同理可在 ($x_2 \sim x_3$) 内

定位到右瓶盖的 X 坐标范围 ($x_{21} \sim x_{22}$)。

Y 轴投影和 Y 轴投影的梯度如图 7 所示,由于瓶盖上边缘附近从上到下是从白到黑的突然变化,在梯度分布中表现为一个值为负的极小值而且是从上到下的第 1 个极小值。所以只要定位到投影梯度的第 1 个极小值坐标 y_1 ,即为瓶盖上边缘的坐标。通过手动标定可知高度为 150 像素的矩形区域可包含整个瓶盖,于是定义左瓶盖 Y 轴坐标范围为 ($y_{11} \sim y_{12}$),其中 $y_{11} = y_1 + 10$, $y_{12} = y_{11} - 150$ 。同理可找到右瓶盖的 Y 坐标范围 ($y_{21} \sim y_{22}$)。以 (x_{11}, y_{11})、(x_{12}, y_{11})、(x_{11}, y_{12})、(x_{12}, y_{12}) 四个点为顶点的矩形就是左瓶盖所在区域,以 (x_{21}, y_{21})、(x_{22}, y_{21})、(x_{21}, y_{22})、(x_{22}, y_{22}) 四个点为顶点的矩形就是右瓶盖所在区域,分别设为感兴趣区域 ROI1 和 ROI2,如图 8 所示。

3.2 轮廓提取

由于瓶盖支撑环和防盗环之间的缝隙比较小,基于

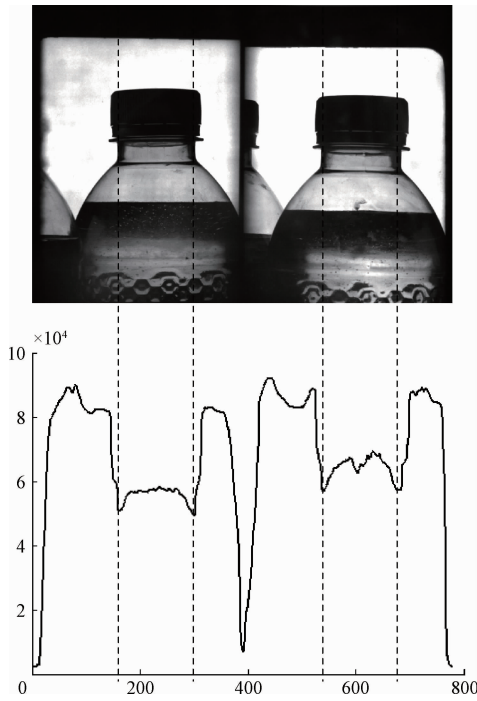


图6 X轴投影
Fig.6 Projection of X-axis

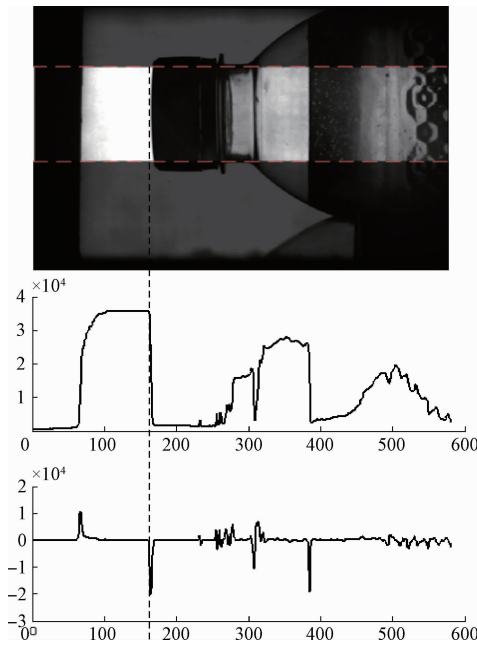


图7 Y轴投影
Fig.7 Projection of Y-axis

曲率计算的角点检测结果依赖于轮廓提取的结果,为了得到准确平滑的瓶盖轮廓,减少干扰角点,本文使用了亚像素精度的边缘检测方法^[16]。常见的亚像素检测有插值法^[17]和高斯拟合法^[18],插值法误差大,高斯拟合法准确率高但是计算量大,为兼顾准确率和运算速度,本文提

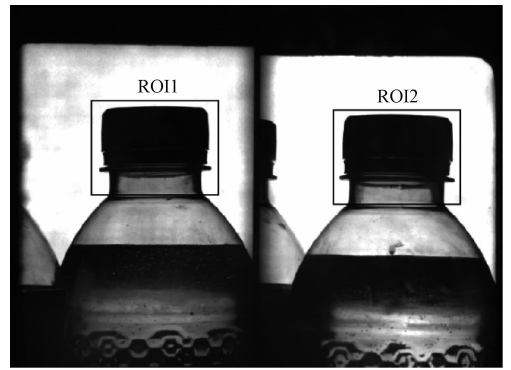


图8 定位结果
Fig.8 Location result

出一种等腰三角形拟合的亚像素坐标计算方法,具体流程如下。

1) 采用梯度极大值抑制法获取边缘点。使用 Sobel 算子,分别计算图像中每个点水平方向和垂直方向的梯度绝对值 g_x 、 g_y ,如果 g_x 是左右邻域的极大值且大于梯度阈值 T_g ,或 g_y 是上下邻域的极大值且大于梯度阈值 T_g ,则认为该点为边缘点。

2) 计算亚像素坐标。尚雅层提出的梯度方向高斯曲线拟合亚像素定位算法^[15]是在边缘附近选取一系列点,求得这些点的梯度值,然后运用高斯曲线来对这些点的梯度值进行拟合,最后通过拟合求得高斯曲线的对称轴位置即为亚像素位置。该方法选取的一系列待拟合点一般为 7 个点左右,数量多且距离跨度大,对于相邻较近的边缘不适用。本文提出一种改进方法,只选择边缘点附近 3 个点进行拟合。如图 9 所示,3 个待拟合点可唯一确定一等腰三角形,其中梯度最小的点 $P_{\min}(x_{\min}, g_{\min})$ 在底边和斜边相交的顶点上,梯度最大的点 $P_{\max}(x_{\max}, g_{\max})$ 和 P_{\min} 在同一条斜边上,梯度居中的点 $P_{\text{mid}}(x_{\text{mid}}, g_{\text{mid}})$ 在另一条斜边上。通过式(1)、(2)求得等腰三角形的中线位置即为亚像素边缘位置。

3) 连接边缘点。(1) 选择一个边缘点作为轮廓跟踪起始点 P_0 ,加入轮廓链表;(2) 计算 P_0 八邻域内未加入轮廓链表的边缘点与 P_0 的亚像素距离,选择距离最近的点作为下一个轮廓跟踪起始点 P_0 ,并加入轮廓链表;(3) 重复步骤(2)直到超出 ROI 边界,结束轮廓跟踪。

$$x'_{\text{mid}} = x_{\text{mid}} + \frac{(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})(g_{\text{mid}} - g_{\text{min}})}{g_{\text{max}} - g_{\text{min}}} \quad (1)$$

$$x_{\text{sub_pixel}} = \frac{x_{\text{mid}} + x'_{\text{mid}}}{2} \quad (2)$$

3.3 角点检测

角点检测的算法很多。通过搜索轮廓边缘的曲率值来提取角点是角点检测的常用方法^[19],基于轮廓曲率的角点检测算法,可以根据曲率大小比较各个角点的角度

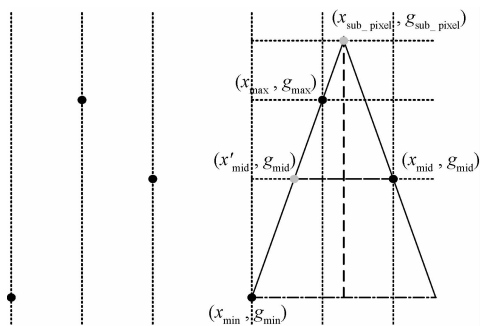


图 9 等腰三角形法

Fig. 9 Isosceles triangle method

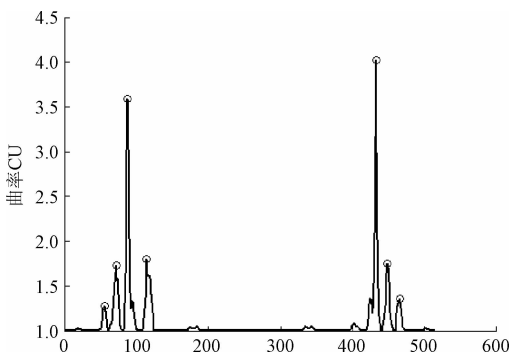


图 11 轮廓曲率

Fig. 11 Contour curvature

大小,可以很好区分出 PET 瓶支撑环和防盗环之间的缝隙大小。由于图像轮廓并不是连续曲线,直接计算曲率对于图像轮廓并不方便,本文提出使用轮廓上两点之间的路程距离比 (SDR) 来近似表示曲率并判定曲率局部极大值为角点。此时的曲率取值范围为 1 到无穷大,曲率越大角点角度越小,缝隙越窄。

首先介绍一下路程距离比 (SDR) 的概念。如果 $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_j, \dots, E_{n-1}, E_n$ 是 n 个边缘点组成的轮廓链表, $E_i(x_i, y_i), E_j(x_j, y_j)$ 是轮廓上的两个边缘点, E_i, E_j 之间的 SDR 为:

$$SDR_{(i,j)} = s_{(i,j)} / d_{(i,j)} \quad (3)$$

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4)$$

$$s_{(i,j)} = \sum_{k=i}^{j-1} \sqrt{(x_k - x_{k+1})^2 + (y_k - y_{k+1})^2} \quad (5)$$

式中: $d_{(i,j)}$ 表示 E_i 到 E_j 的直线距离, $s_{(i,j)}$ 表示沿轮廓路径从 E_i 到达 E_j 经过的路程,如图 10 所示。 $SDR_{(i,j)} \in [1, +\infty)$, 如果 $SDR_{(i,j)} = 1$, E_i, E_j 之间的轮廓是一段直线,如果 $SDR_{(i,j)} > 1$, E_i, E_j 之间的轮廓是一段曲线或拐角,而且 $SDR_{(i,j)}$ 越大 E_i, E_j 之间的轮廓弯曲程度越大。

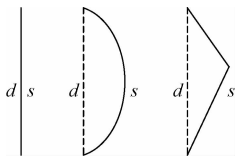


图 10 路程距离比

Fig. 10 Stretch to distance ratio (SDR)

定义轮廓上 E_{k-step} 与 E_{k+step} 之间的路程距离比 $SDR_{(k-step, k+step)}$ 为边缘点 E_k 的曲率 $CU_{(k)}$ 。

取 $step = 5$, 得到图 11 中所示曲线。 CU 的极大值点就是瓶盖轮廓的角点。

3.4 缺陷判断

如图 12 所示,瓶盖轮廓中最突出的两个角点就是支

撑环的左右两端点,找出轮廓角点中 X 坐标最小和 X 坐标最大的两个角点 ($E_{leftpoint}, E_{rightpoint}$) 就能确定支撑环所在直线。

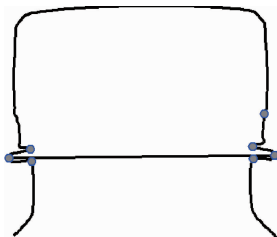
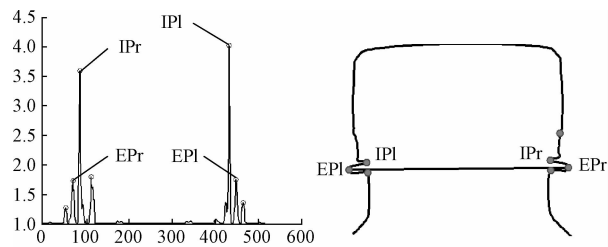


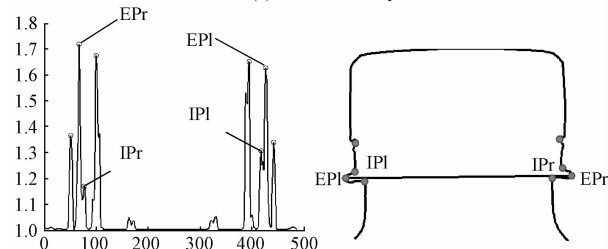
图 12 支撑环定位

Fig. 12 Support ring positioning

如果瓶盖防盗环完好无缺,支撑环与防盗环之间的缝隙是很窄的,缝隙顶点的曲率比相邻的支撑环端点的曲率大。如图 13(a) 所示,如果防盗环断裂,支撑环与防



(a) 完整瓶盖
(a) Intact bottle cap



(b) 防盗环断裂瓶盖
(b) Broken bottle cap

图 13 角点分析

Fig. 13 Corner point analysis

盗环之间没有缝隙,支撑环两端点的曲率将是相邻角点中的极大值。如图 13 (b) 所示,图中 EPl、EP_r 是支撑环左右两端点,IP_l、IP_r 是支撑环与防盗环的缝隙顶点。

只要图像中左右两个瓶盖支撑环的 4 个端点中,有一个端点的曲率是相邻角点中的极大值,就可判断该 PET 瓶的防盗环断裂。

4 实验结果

实验平台如图 14 所示,其中工业相机 Baumer TXG12 (1296x966),IPC (Inter CORE i3 2350,4 G 内存),SIMATIC S7-300,千兆网卡,CCS 面光源。实验对象为矿泉水 500 ml 的饮料瓶。利用本系统获得 400 副实验图像 (图像的分辨率为 780 × 582,灰度级数为 256)。编程环境为 Windows7 操作系统下的 MATLAB 2014a 软件平台。



图 14 设备实物
Fig. 14 Photo of the equipment

为验证边缘提取过程的梯度阈值参数 T_g 对检测结果的影响,并选取最佳参数值。本文设计以下实验。选取 400 幅图,人工标定出每幅图的防盗环断裂情况,便于与检测结果比较并计算正确率。使用本文算法进行 53 次实验,计算每次试验的检测正确率和轮廓提取正确率。每次试验唯一变化参数为 T_g 的值,变化范围从 7 ~ 60,每次加 1。实验结果如图 15 所示。横坐标表示 T_g 的值,纵坐标表示正确率。实线是轮廓提取正确率,虚线是检测结果正确率。

平均检测时间为 286.5 ms/瓶、143 ms/半瓶 (其中轮廓提取为 130 ~ 140 ms,其他为 4 ms)。

从实验结果中可以看出 T_g 取值为 47 左右时,检测正确率最高,达到 94.75%,轮廓提取正确率达到 98.75%。检测错误一般是误检,即把好瓶检测为坏瓶。错误来源大致有两类,第 1 类是轮廓提取误差最终导致检测错误;第 2 类是瓶盖本身很难辨别,肉眼标定时都不能区分安全环是否断裂。其中轮廓提取错误主要来源有毛刺、重影、双边缘等。

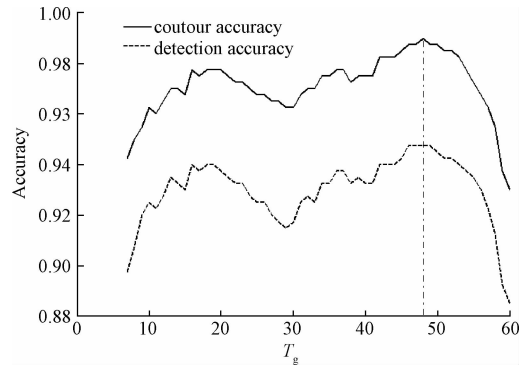


图 15 T_g 对正确率的影响

Fig. 15 The influence of T_g on accuracy

轮廓提取部分占用时间长,而且检测结果受到边缘轮廓提取的结果影响,提升边缘检测的性能具有重大意义,后续将进一步研究改进轮廓提取算法。

本文的第 2 个实验是比较 3 种轮廓提取算法的结果。选取两幅图像,每幅图中有两个瓶盖,分别命名为 1_left、1_right、2_left、2_right。对这 4 个瓶盖分别使用 method1、method2、method3 进行轮廓提取。其中 method1 是本文算法;method2 与 method1 类似,不同点在于没有计算亚像素坐标,直接采用像素级边缘点进行轮廓提取;method3 是文献 [18] 中的基于插值的亚像素边缘检测方法。轮廓提取结果如图 16 所示。为了便于观察,图 16 中只截取支撑环右端点的一小部分轮廓,并放大显示。由于 method3 采用全局灰度阈值进行插值轮廓提取,没有结合梯度信息,结果并不理想。method2 提取的轮廓边缘毛刺较多。method1 提取的轮廓光滑且贴合真实边缘,结果明显优于其他两种算法。

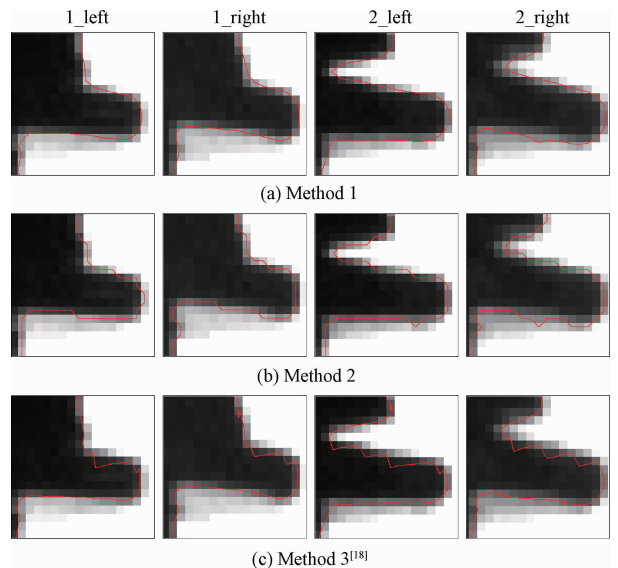


图 16 轮廓提取算法

Fig. 16 Contour extraction algorithm

5 结 论

本文针对 PET 瓶防盗环断裂缺陷,提出了一种基于轮廓角点曲率分析的检测方法,和一种等腰三角形拟合的亚像素边缘检测方法。对 400 幅现场采集的图像进行测试,防盗环断裂缺陷的检测能达到 94.75% 的正确率,轮廓提取正确率达到 98.75%。不足之处在于轮廓提取时速度慢,容易出错,主要原因是 PET 瓶盖有毛刺、污物和重影干扰,导致边缘检测时容易检测出多余的边缘点,以后的研究将重点克服这一问题。

参考文献

- [1] 段峰,王耀南,刘焕军. 基于机器视觉的智能空瓶检测机器人研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(5):624-627,662.
DUAN F. WANG Y N, LIU H J. Study on machine vision base dempty bottle in spector [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2004, 25(5):624-627,662.
- [2] 段峰. 啤酒瓶视觉检测机器人研究[D]. 长沙:湖南大学,2007:82-92.
DUAN F. Study on visual empty bottle in spector for beerbottle [D]. Changsha: Hunan University, 2007: 82-92.
- [3] 周显恩,王耀南,朱青,等. 基于机器视觉的瓶口缺陷检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(5):702-713.
ZHOU X EN, WANG Y N, ZHU Q, et al. Research on defect detection method for bottle mouth based on machine vision [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(5):702-713.
- [4] 周显恩,王耀南,李康军. 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 X EN, WANG Y N, LI K J. New bottle mouth positioning method based on multiple randomized circle detection and fitting degree evaluation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(9): 2021-2029.
- [5] 周博文,王耀南,葛继,等. 基于机器视觉的医药注射剂智能检测系统研究[J]. 机器人,2009,31(1):53-60.
ZHOU B W, WANG Y N, GE J, et al. A machine-vision-based intelligent inspection system for pharmaceutical injections[J]. Robot,2009,31(1):53-60.
- [6] 张辉,师统,何世超,等. 基于逆向 P-M 扩散的医用输液容器组合盖缺陷检测系统[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(5):692-700.
ZHANG H, SHI T, HE SH CH, et al. Defect detection system of medical infusion container combination cover based on reverse P-M diffusion [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(5): 692-700.
- [7] 王耀南,吴成中,张辉. 医药输液视觉检测机器人关键技术综述[J]. 机械工程学报,2013,49(7):130-140.
WANG Y N, WU CH ZH, ZHANG H. Review on key technology of the machine vision inspection robot on pharmaceutical injection [J]. Journal of Mechanical Engineering,2013, 49(7):130-140.
- [8] 姚坤,葛广英,肖海俊,等. 基于 OpenCV 的透明瓶装无色液体液位实时检测[J]. 计算机测量与控制,2015,23(1):34-36.
YAO K, GE G Y, XIAO H J. Real-time detection of colorless liquid level in transparent bottle based on openCV [J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(1):34-36.
- [9] 黄玲,张叶林,胡波,等. 基于机器视觉的透明瓶装液体液位自动检测[J]. 自动化与仪表,2012,27(2):57-60.
HUANG L, ZHANG Y L, HU B. Automatic detection of liquid level in transparent bottle based on machine vision [J]. Automation & Instrumentation, 2012, 27(2): 57-60.
- [10] 孙涛. 基于图像匹配的 PET 饮料瓶封装缺陷检测研究[D]. 广州:广东工业大学,2008.
SUN T. PET bottle packaging defect detection based on image matching [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2008.
- [11] 郑云峰,王贵锦,何贝,等. 基于直线拟合算法的 PET 瓶瓶盖检测方法[J]. 计算机应用研究,2011,28(11):4398-4400.
ZHENG Y F, WANG G J, HE B, et al. PET bottle cap inspection method basedon linear fitting algorithm [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(11): 4398-4400.
- [12] 王贵锦,刘博,何贝. 应用对称匹配的 PET 瓶瓶盖缺陷实时检测[J]. 应用科学学报,2014,32(6):617-624.
WANG G J, LIU B, HE B. Real-time PET cap defect inspection based on symmetry match [J]. Journal of Applied Sciences,2014, 32(6): 617-624.
- [13] 罗达. 基于两步法的饮料塑料防盗瓶盖切割机设计[J]. 机电工程,2012,29(7):814-816.
LUO D. Slitting machine for beverage plastic closures withtamper-evident band based on two-steps process [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012, 29(7):814-816.

- [14] GB/T 17876-2010. 包装容器塑料防盗瓶盖[S].
GB/T 17876-2010. Packaging container-tamper-evident plastic closure[S].
- [15] 尚雅层,陈静,田军委. 高斯拟合亚像素边缘检测算法[J]. 计算机应用,2011, 31(1): 179-181.
SHANG Y C, CHEN J, TIAN J W. Sub-pixel edge detection algorithm based on Gauss fitting[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(1): 179-181.
- [16] 高希报. 图像中几种实用的目标定位方法研究与应用[D]. 南京:南京理工大学,2005: 38-40.
GAO X B. Several objects in an image positioning method research and application [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005: 38-40.
- [17] 蔡述庭,郭金华. 基于机器视觉双尖灯泡灯丝同轴检测系统[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(9): 2591-2595.
CAI SH T, GUO J H. Double pointed bulb filament coaxial detection based on machine vision[J]. Computer Engineering and Design, 2015, 36(9): 2591-2595.
- [18] 杜培明,张自强. 基于亚像素精度的锯齿角度测量[J]. 软件导刊,2016, 15(1): 164-167.
DU P M, ZHANG Z Q. Sawtooth angle measurement based on sub-pixel accuracy [J]. Software Guide, 2016, 15(1): 164-167.
- [19] 章为川,孔祥楠,宋文. 图像的角点检测研究综述[J]. 电子学报,2015, 43(11): 2315-2321.
ZHANG W CH, KONG X N, SONG W. Review of image corner detection algorithms[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(11): 2315-2321.

作者简介



彭玉(通讯作者),2014年于湖南大学获得学士学位,现为湖南大学硕士研究生,主要研究方向为机器视觉。

E-mail:pengyu1990@hnu.edu.cn

Peng Yu(Corresponding author) received B. Sc. from Hunan University in 2014. Now she is M. Sc. candidate in Hunan University. Her main research interest includes machine vision and real-time image processing.



王耀南,1995年于湖南大学获得博士学位,现为湖南大学教授、博士生导师,主要研究方向为智能控制,模式识别。

E-mail:yaonan@hnu.edu.cn

Wang Yaonan received Ph. D. from Hunan University in 1995. Now he is a professor and Ph. D. supervisor. His main research interests include intelligent control and pattern recognition.