基于直线拟合算法的 PET 瓶瓶盖检测方法

郑云峰，王贵锦，何 贝，李艳丽，林行刚
（清华大学 电子工程系，北京 100084）

摘 要：灌装 PET 瓶的实时自动检测在实际生产中具有重要的作用。在当前生产中，存在着瓶子抖动对图像算法的影响，提出了可以克服上述问题的瓶盖检测方法。采用基于直线拟合算法对灌装 PET 瓶的实时自动检测算法进行设计，通过对瓶盖所在直线的拟合以及支撑环所在直线拟合，实现了灌装 PET 瓶的液位缺陷的检测类别判断功能，并且克服了高速生产中瓶子抖动对图像采集以及瓶盖判断的干扰。实际系统监测准确率达到 99% 以上，实验证明算法有很好的鲁棒性。

关键词：PET 瓶盖；检测；直线拟合
中图法分类号：TP391 **文献标志码**：A **文章编号**：1001-3695(2011)11-4398-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2011.11.109

PET bottle cap inspection method based on linear fitting algorithm

ZHENG Yun-feng, WANG Gui-jin, HE Bei, LI Yan-li, LIN Xing-gang
(*Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing* 100084, *China*)

Abstract: The actual real-time automatic inspection of the PET bottles plays an important role in production. In the current production, shake of the bottle gives a negative influence on the inspection algorithm. This paper aimed at designing an algorithm which could overcome the problem above. Based on this linear fitting algorithm, this paper designed a real-time automatic detection method. Through inspection of the straight line through the cap and the support ring, the method could categorize the defected cap, and overcame the bottle-shaking caused by high-speed production. The accuracy rate reached more than 99% in the experiments on the online production system. Experiments show that this algorithm has good robustness.

Key words: PET bottle cap; inspection; linear fitting

0 引言

PET(polyethylene terephthalate，聚对苯二甲酸乙二醇酯)是由对苯二甲酸(terephthalic acid)和乙二醇(ethylene glycol)化合产生的聚合物，是一种塑料材质。PET 瓶是使用 PET 材料的饮料瓶。PET 塑料具有重量轻、透明度高、耐冲击、不容易碎裂等特性，也可阻止二氧化碳气体，在现实的灌装饮料生产中有着十分广泛的应用。

现代化的流水线为饮料的生产提供了便利，每条灌装饮料生产线可以每小时生产上万瓶的饮料。但同时灌装饮料生产线在灌装过程中也会遇到不合格的产品，其中主要包括瓶盖不合格和液位不合格的情况。为了保证生产产品的质量，需要对瓶子进行全方位的检测。传统的检测方式是人工对不合格瓶子进行分拣，但工作量大，且缺乏稳定性。

在瓶子检测的应用领域，已经有了许多的研究成果。湖南大学的刘焕军[1]对瓶子的智能检测方法进行了研究，主要从检测系统的设计方面进行了研究，在算法方面提出了以运用支持向量机为主的对瓶身、瓶底、瓶口和瓶内液体等方面的检测方法。广东工业大学的邹振兴等人[6]，主要从硬件的角度提出了 PET 瓶瓶盖检测的解决方案，通过检测算法可以判断瓶盖是否正常，但是在检测到异常的情况下无法判断瓶盖的异常类型。广东工业大学的孙涛[7]就 PET 瓶封装异常问题提出了图像匹配的算法，主要基于图像匹配度的算法，根据匹配度的程度判断瓶盖、瓶身是否存在缺陷，但是对瓶子状态的分类仅限于是否正常的二分判断，并无法对异常情况进行分类。

本文根据 PET 瓶瓶盖图像的特点，提出了一种基于直线拟合算法的 PET 瓶盖检测方法，对瓶盖进行检测，可以检测出 PET 瓶瓶盖包括高盖、歪盖和无盖的瓶盖异常情况，并在瓶盖轮廓线检测算法的基础上加入了对 PET 瓶支撑环的检测，通过对支撑环和瓶盖在图像上投影的直线之间的比较，使结果更加准确，并且克服了瓶子抖动造成的瓶身绝对空间位置的变动引起的对瓶盖与瓶身相对位置检测的失准问题。本文所提出的算法可以用于饮料生产线上的 PET 瓶检测系统，经过实际测试，检测准确率在 99% 以上，检测速率在 100 ms/帧，相当于可以检测 36 000 瓶/h。

本文介绍了检测算法的设计思路和具体使用的算法实现方法、实际监测方法的算法图像以及实验结果的表格，列出了具体的实验效果。

1 算法实现

1.1 瓶盖图像捕捉系统框架设计

瓶盖图像捕捉系统是检测系统中实现检测功能的重要模块，属于整个检测系统的前端，负责采集所需检测的瓶子部位的图像，并将采集到的图像传输到图像分析系统。基本的图像

收稿日期：2011-04-11；**修回日期**：2011-05-22

作者简介：郑云峰(1985-)，男(朝鲜族)，吉林延吉人，硕士，主要研究方向为图像处理算法在检测系统中的应用(zheng-yf04@mails.tsinghua.edu.cn)；王贵锦(1976-)，男，江西鹰潭人，副教授，博士，主要研究方向为图像处理与模式识别算法.

采集系统由摄像头、稳定光源和光电开关组成。根据机械传输链道的稳定性以及硬件出发等的稳定性,可以保证采集到的图像中的瓶盖朝上,位置基本居中,如图 1 所示。

其中,光源采用背光照射,得到的图像为灰度图像。瓶盖检测算法主要针对采集到的 PET 瓶盖图像进行处理。标准的 PET 瓶盖图像如图 2 所示。

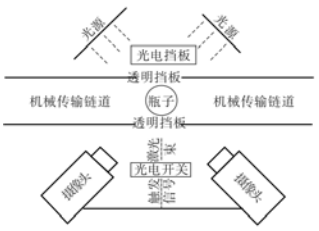


图1　瓶盖检测系统俯视图

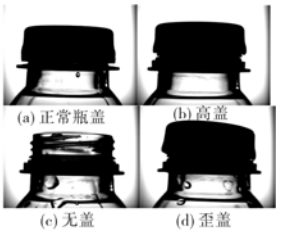


图2　瓶盖图像

1.2　瓶盖轮廓线检测算法

检测算法依据实验环境条件不同而有所区别,如果假设检测时瓶子的高度相对于摄像机稳定的情况,那么在每一幅捕捉到的瓶盖图像当中,瓶身的基本位置就是稳定的。正常的瓶盖顶端在图像中的投影轮廓是平直的,只要瓶盖的顶端轮廓线不平直,就可以推断瓶盖出现异常。所以在此部分检测算法中,将直接检测瓶盖的顶端轮廓线。通过轮廓线的方程来判断瓶盖的状态。

因为图像中瓶盖上方的位置为空白,所以通过从上到下的搜索找到瓶盖的粗略位置,并在边缘上横向寻找离散的点。最小二乘拟合方法假设 n 个点的组合$(x_i,y_i)(i=1,2,\cdots,n)$,在取定的函数类 Φ 中,求使得

$$\sum_{i=1}^{n}(f(x_i)-y_i)^2=\min$$

从集合意义上讲,给定了 n 个点,所求的函数便是与给定点之间距离平方和最小的曲线 $y=f(x)$。函数 $f(x)$ 被称为最小二乘解。求拟合函数 $f(x)$ 的方法称为曲线拟合的最小二乘法。

本方法中所求的是直线的最小二乘拟合。对应的函数表达式为

$$f(x)=kx+b$$

于是可以得到

$$k=\frac{n\sum x_iy_i-\sum x_i\sum y_i}{n\sum x_i^2-(\sum x_i)^2},b=\frac{\sum x_i^2\sum y_i-\sum x_i\sum x_iy_i}{n\sum x_i^2-(\sum x_i)^2}$$

可以求得对应的直线方程

$$y_2=k_2x+b_2$$

对于给定的直线方程,通过以下步骤对瓶盖进行处理,获取瓶盖所在的直线。处理的流程如图 3 所示。

对已知输入图像为灰度图像,通过二值化对图像进行预处理。二值化有助于减小图像的数据量,有利于提高图像的进一步处理速度。因为图像中瓶盖区域为整块连续黑色,所以通过腐蚀膨胀,可以获取以瓶盖为主体的区域,进而可以对瓶盖进行分析。通过分别对横纵坐标下的区域求得均值坐标,求得瓶盖部分的质心;求得图像中的最大的黑色区域,也就是瓶盖所在区域。最后利用瓶盖所在区域,根据质心与区域上方最远的两顶角,并根据两顶角的位置求出瓶盖所在直线。求得瓶盖所在直线方程参数为 $k=0.022\ 4$,$b=109.993\ 9$。其中 k 代表斜率,b 代表截距。

可以通过统计的方法获取估计所用的参数。通过对标准瓶子的反复统计测试,可以求出估计参数 k 和 b 的估计值,同时可以根据统计误差进行区间估计。

瓶盖轮廓线检测算法在实际使用中存在着很大的弊病,在图像采集过程中,PET 瓶盖在微小振动的条件下,可以通过数理统计对参数进行估计,但是当瓶子在图像采集过程中,如果瓶子出现比较剧烈的倾斜,正常的瓶盖盖顶所在的直线将出现很大的倾斜,会使正常的瓶盖被判定为斜盖,出现误检的情况,如图 4 所示。

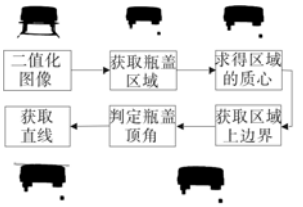


图3　直线拟合算法流程



图4　瓶子倾斜造成的误检情况

基于对以上情况的考虑,本文提出改进的直线拟合瓶盖检测算法。

1.3　综合的直线拟合瓶盖检测算法

综合的直线拟合瓶盖检测算法的思路是确定 PET 瓶身的位置。在得到瓶身位置的前提下,执行瓶盖轮廓线检测算法,获取瓶盖顶端所在直线,可以矫正瓶盖顶端直线的估计偏差,有效地消除瓶身抖动对测量结果的影响。

1.3.1　支撑环问题

观察 PET 瓶口处的图像特点可以看到,在瓶身上用于生产线抓取瓶子的固定环及 PET 瓶的支撑环。在排除瓶身缺陷的情况下,支撑环与瓶身相对位置固定,而且在侧拍的瓶盖图像中呈一条直线,与瓶盖顶端所在直线在同一平面上,如果可以检测适配环所在的直线,就可以用该条直线代表瓶身的相对位置,进而解决前述的问题。支撑环为检测算法提供了明确的改进思路。支撑环如图 5 所示。

1.3.2　支撑环检测

根据支撑环在图像中的特点,通过支撑环端点检测和计算支撑环直线两个步骤来完成支撑环的检测。

选择正常状态下支撑环附近区域,因为尽管存在抖动和倾斜的情况,可以给定变化区域,超越变化区域,瓶子不可能保持稳定平衡,将出现歪斜和倾倒的情况,此时属于物理异常状况,不属于本文考虑的范围。本文设定区域高度参数在标准支撑环位置上下 0.1 倍的图像高度。在区域中心向两侧进行搜索,搜索到在左右坐标上最外侧的亮点,便是支撑环在图像中的端点。

由于灰度图像可能存在个别的噪声,所以搜索可以使用搜索点邻域均值的方法,在连续连通域的搜索过程中,当均值发生突变时,即可判定搜索到了端点。

通过两个端点,即可直接求得支撑环所在直线。支撑环的检测结果如图 6 所示。

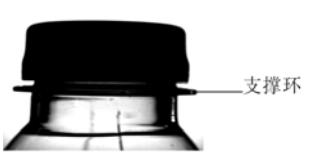


图5　支撑环示意图



图6　支撑环检测结果

1.3.3　算法综合

结合瓶盖轮廓线检测算法和支撑环检测算法,就可以得到改善后的算法。利用直线拟合方法求出瓶盖盖顶对应的直线

方程为

$$y_1 = k_1 x + b_1$$

利用支撑环检测算法求得支撑环所在直线方程为

$$y_2 = k_2 x + b_2$$

通过对这两个直线方程的斜率和距离之间的比较,判断瓶盖状态。检测算法的流程如图 7 所示。

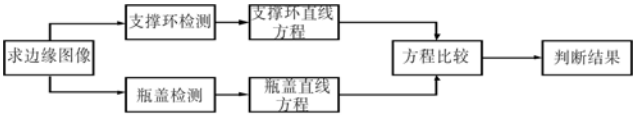


图7　瓶盖检测方法流程

1.3.4　判断瓶盖状态

之前的算法讨论只在有盖的情况下,如果属于无盖的异常状况,那么经过腐蚀膨胀,就无法在常规区域内检测到黑色像素,也就无法得到瓶盖盖顶所在直线。由此可以直接判断属于无盖的情况。如果有盖,那么执行直线拟合算法以及支撑环,就可以得到支撑环和瓶盖的直线方程:

$$y_1 = k_1 x + b_1$$

$$y_2 = k_2 x + b_2$$

通过比较两直线方程的参数来判断瓶盖的状态。首先通过两条直线斜率之间的差异来判断两条直线是否平行。如果两直线的斜率满足

$$|k_1 - k_2| < \delta_k$$

即可判定两条直线为平行。如果不满足以上条件,则瓶子为歪盖,根据实验的测量,δ_k 大约在 0.005 左右。具体的设定还需要根据图像的分辨率、瓶盖大小、检测要求的精度,以及其他影响直线方程的因素来进行调整。

如果两条直线为平行,需要进一步计算两条直线的距离。两条平行直线的距离可以通过以下公式求得:

$$d = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{1 + k^2}}$$

如果满足

$$|d - d_s| < \delta_d$$

则瓶盖合格,反之,则为高盖。其中 d_s 为提前标定的瓶盖和支撑环之间的标准距离。分类判定如图 8 所示。

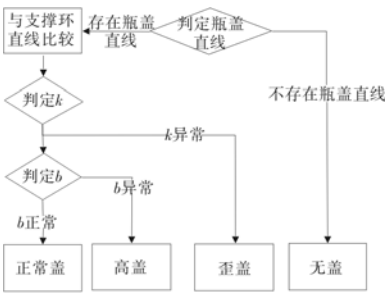


图8　瓶盖异常分类判定示意图

2　实验结果

根据以上所述,基于对瓶盖轮廓线检测算法和支撑环检测算法的综合算法的思路和方法,对算法进行了设计和具体实现,对于各种情况下的瓶盖图像进行了实验和系统测试。

在本文进行的实验中,PET 瓶盖的宽度为 440 ~ 460 像素(窄处—宽处),将歪盖定义为左右高度偏差 20 像素以上;如果两直线平行,高度高于正常高度 20 像素以上视为高盖。具体的实验效果如图 9、10 所示。



(k_1=0.0170,b_1=99.4728;k_2=0.0179,b_2=301.7669)

图9　正常矿泉水瓶瓶盖检测结果



(k_1=0.0985,b_1=69.9608;k_2=0.0361,b_2=307.6988)

图10　歪盖矿泉水瓶瓶盖检测结果

以上图像是在实际生产线上完成的测试,所以存在比较明显的震动情况。可以看到,支撑环所在直线的参数具有较大的变化。如果仅仅使用瓶盖轮廓线算法检测瓶盖所在的直线方程,方法存在很大的误差,会造成很大的误检率。只根据瓶盖轮廓线算法进行在线实验检测,得到准确率结果如表 1 所示。

表 1　瓶盖轮廓线检测算法 PET 瓶检测系统实验结果

实验组	检测数量	误检数量	准确率/%	总准确率/%
正常盖	100	32	68.00	77.5
高盖	100	26	74.00	
歪盖	100	28	72.00	
无盖	100	4	96.00	

将综合的瓶盖检测算法应用到 PET 灌装生产线进行在线检测实验,得到如表 2 所示的检测准确率结果。本算法检测准确率可以达到 99.40% 。

表 2　综合的瓶盖检测算法 PET 瓶检测系统实验结果

实验组	检测数量	误检数量	准确率/%	总准确率/%
正常盖	500	3	99.40	99.40
高盖	500	4	99.20	
歪盖	500	4	99.20	
无盖	500	1	99.80	

在奔腾 D 3.0 GHz,1 GB 内存,操作系统为 Windows XP 操作系统下,250 ×250 分辨率的图像检测速度可以达到 100 ms/帧。

综合的瓶盖检测算法相比于瓶盖轮廓线检测算法在检测准确率方面有了显著的提高,达到了 99% 以上的水平。

3　结束语

本文提出的瓶盖检测算法通过对 PET 瓶盖盖顶直线和支撑环直线的检测,完成了对 PET 瓶盖的检测以及异常分类的功能,并且很好地克服了 PET 瓶在实际检测中可能存在的震动造成的歪斜带来的检测误差。算法在实际应用中,需要根据具体的检测环境和条件对检测参数进行调整,并配合生产线上的硬件系统进行系统的调试和优化。

参考文献:

[1] 刘焕军. 灌装自动化生产线上视觉检测机器人研究[D]. 长沙:湖南大学,2007.

[2] YORK D. Least squares fitting of a straight line with correlated errors [J]. Earth and Planetary Science Letters,1969(5):320-324.

[3] 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.

[4] 段峰,王耀南,段伟,等. PLC 在直线式空瓶检测机中的应用[J]. 包装与食品机械,2001,19(6):35-36.

[5] 路鹏,陈乐. 饮料液位自动检测系统设计[J]. 机电工程, 2009,26(2):49-51.

[6] 邹振兴,谢云,林奇鸿,等. 基于 SOPC 技术的 PET 瓶缺陷检测系统设计[J]. 现代电子技术,2009(10):58-61.

[7] 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.