

基于 RANSAC 和灰度一致性的 PET 瓶胚口缺陷检测

尹玄武^{1,2}, 王贵锦¹, 施陈博¹, 何 贝¹, 刘 博¹, 廖庆敏²

(1. 清华大学 电子工程系, 北京 100084; 2. 清华大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055)

摘 要: 针对现代高速生产线上 PET 瓶胚口的缺陷检测问题, 提出了一种基于 RANSAC 和灰度一致性的 PET 瓶胚口缺陷检测算法。算法利用 RANSAC 方法精确定位瓶胚口区域, 然后利用瓶胚口区域内的灰度一致性进行缺陷检测。实验证明, 该算法准确率高、速度快, 对于 640×480 图像的检测速度为 10 ms/帧, 完全满足高速生产线的检测需求。

关键词: 工业检测; PET 瓶胚口; 随机抽样一致性; 椭圆拟合; 灰度一致性

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3525-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.086

PET preform defect detection based on RANSAC and uniformity of grey level

YIN Xuan-wu^{1,2}, WANG Gui-jin¹, SHI Chen-bo¹, HE Bei¹, LIU Bo¹, LIAO Qing-min²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen Guangdong 518055, China)

Abstract: To detect the defect on the mouth of the PET preform in modern high-speed production line, this paper proposed a detection algorithm based on RANSAC and the uniformity of gray level. The algorithm located the mouth of the preform accurately through the RANSAC method and then detected the defect on the surface by checking the uniformity of grey level. Experiments show the algorithm achieve short execution time and high accuracy. For a typical image of 640×480 , the execution time is in 10 ms/frame. And the algorithm can meet the real time requirements of the high-speed production line.

Key words: industrial inspection; mouth of PET preform; RANSAC (random sample consensus); ellipse fitting; grey level uniformity

PET (polyethylene terephthalate) 瓶胚是饮料包装瓶的半成品, 在生产过程中不可避免地存在缺陷, 尤以瓶胚口部分的缺陷对产品质量的影响最大, 如何在罐装前将有缺陷的瓶子剔除是 PET 瓶生产的一个重要课题。相比传统的人工检测方式利用机器视觉技术的新兴自动化检测大幅度提高了准确率, 减少了检测时间, 同时降低了生产成本^[1,2]。

瓶胚口检测中两个主要的模块是瓶口密封面区域的定位和缺陷特征检测。瓶胚口区域定位的本质是对图像中的圆形目标进行定位。许多研究人员就不同的应用情况对该问题作了讨论。Shafait 等人^[3]提出了一种基于 Hough 变换的圆形目标区域定位方法, 该方法的优点是能有效克服噪声的影响, 但复杂度较高; 李俊等人^[4]设计了一种利用圆心度函数的定位方法, 该方法必须事先已知圆的半径, 适应性差; Lin 等人^[5]采用 LSC (least-square circle) 方法进行圆形区域定位, 该方法要求解 N 阶非线性最小二乘问题, 计算量大。

缺陷特征检测方面, Duan 等人^[6]提出了一种基于神经网络的缺陷检测方法, 刘焕军^[7]提出了一种使用多核函数支持向量机的缺陷特征分类方法, 这两种方法需要大量数据进行训练, 若更换瓶型则需要重新训练, 而且难以在线上手动调整参数; 温兆麟等人^[8]提出了一种基于频域滤波的统计纹理自动

表面检测方法, 该方法对大面积物体检测结果较好, 但对目标区域面积较小的瓶胚口检测场合并不适用。

本文设计了一种新的 PET 瓶胚口缺陷检测方法, 使用基于 RANSAC 的椭圆拟合对目标区域定位, 再利用灰度一致性进行缺陷检测。

1 难点分析和算法流程

瓶胚口缺陷检测的目标区域为 PET 瓶瓶胚口的密封面, 主要存在不圆和崩损两大类缺陷。

典型的瓶胚口图像如图 1 所示。其特征和检测难点如下:

- 机械手的金属部分反光强烈, 与瓶颈相接处有明显的圆环特征, 会对常见的边缘检测和 Hough 变换等产生比较大的干扰;
- 底部中央有反光, 以致图像中央有较大的白色区域, 会对边缘点的搜索过程产生不利影响, 可能产生离群较远的点;
- 由于瓶体姿态的抖动, 目标区域内部可能存在黑色空洞或圆弧特征, 对缺陷检测方法的鲁棒性有较高要求。

根据图像特征设计算法流程如图 2 所示。首先, 对图像进行预处理并对目标区域进行粗分割, 在此基础上扫描获得瓶胚

收稿日期: 2011-12-30; 修回日期: 2012-02-17

作者简介: 尹玄武(1987-), 男, 吉林长春人, 博士, 主要研究方向为图像工程、工业检测(yinxuanwu@139.com); 王贵锦(1976-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为图像处理、模式识别。

口区域的内侧和外侧边缘点集;其次,利用 RANSAC 方法对边缘点集进行椭圆拟合,认为内外边缘之间的区域为目标区域,根据拟合结果判断椭圆度是否满足要求;对于椭圆度正常的图像,利用上一步得到的信息提取瓶胚口区域,然后利用灰度一致性判断是否存在崩损缺陷;最后完成检测。



图1 典型有崩损缺陷的瓶胚口图像

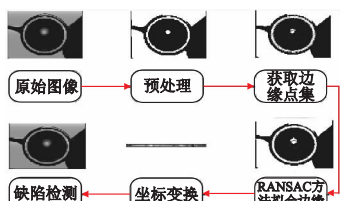


图2 检测算法流程

2 算法实现

2.1 预处理与瓶胚口区域定位拟合

为了尽量减小图像中噪声和其他因素的干扰,需要对图像进行预处理。首先对图像进行中值滤波以平滑噪声;其次对图像进行阈值分割,以对目标区域进行粗略的分割;再对图像进行闭运算以进一步消除目标区域的噪声。经过以上处理,目标区域内的噪声已经被较好地抑制。

然后对目标区域进行精确的定位。为此,在处理后的图像中由内而外扫描以获得内(外)边缘点集,然后对该边缘点集进行椭圆拟合。平面上椭圆的一般方程形如

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0$$

只要求得 A, B, C, D, E 五个参数即可知道瓶胚口区域的位置信息和瓶胚口的椭圆度信息。问题归结为从一个数据集中估计模型的参数,本文采用计算机视觉领域原生的 RANSAC 方法解决这个问题。RANSAC 是一种可以对有大量离群数据的数据集进行参数估计的通用方法,它假定样本集中包含内点(符合模型的点)和外点(不符合模型的点)^[9,10]。有别于先用尽可能多的数据得到初步估计再去掉不符合模型的点的传统方法,RANSAC 方法先采用最小的可能样本集估计模型,然后使用符合这个模型的数据点尽量扩大这个集合。其基本思路总结如下:

- 从样本集 P 中随机抽取最少的可以确定模型 M 参数的 n 个样本构成集合 S ;
- 用集合 S 求解模型 M 的参数;
- 找出集合 P 中在一定误差(t)的意义下符合模型的所有点,构成集合 S 的一致集 S^* ;
- 若集合 S^* 达到预先设定的规模,用 S^* 中的所有点重新估计模型 M 的参数,算法结束;否则重复以上过程。

根据 RANSAC 的基本思想,将已经得到的内(外)边缘点集作为样本集 P ,椭圆方程作为模型 M 。每次抽取的集合 S 包含五个样本。根据平面上椭圆的方程,计算模型 M 的参数的过程即为求解下列五阶线性方程组:

$$\begin{bmatrix} x_0 y_0 & y_0^2 & x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 y_2 & y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 y_3 & y_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 y_4 & y_4^2 & x_4 & y_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_0^2 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \\ x_3^2 \\ x_4^2 \end{bmatrix}$$

由于计算某点与椭圆的几何距离比较困难,这里采用点到椭圆的代数距离作为样本点与模型 M 的误差度量,其基本形式为

$$t = |x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E|$$

将某点的坐标代入上式,计算得到的 t 若小于设定的阈值,则认为该点符合该模型。

经过以上 RANSAC 过程,可以准确地得知瓶胚口区域的位置和范围。过程中与边缘点集大小 n 有关的步骤是求最大一致集,需 $O(n)$ 次乘法和加法,所以该过程的时间复杂度是 $O(n)$ 。

本算法的应用场景为高速生产线,所以要控制算法执行时间的波动。根据对大量图像的统计分析,在获得的边缘点集中,异常数据点的比例小于 5%,在迭代 10 次的情况下定位失败的概率已经达到 10^{-7} 量级,所以本文采用固定的迭代次数。

2.2 瓶胚口区域提取和缺陷检测

通过以上步骤,可以准确得知目标区域的位置信息,用一组参数 $(x_c, y_c, a_{in}, b_{in}, a_{out}, b_{out})$ 表示,其中 x_c, y_c 为中心位置, a_{in}, b_{in} 为内边缘的半长轴和半短轴, a_{out}, b_{out} 为外边缘的半长轴和半短轴。由于之前已经对目标区域的椭圆度进行了判断,只有椭圆度较小的图像才会进一步检测,所以这里可以将参数简化为 $(x_c, y_c, R_{in}, R_{out})$, 其中:

$$R_{in} = (a_{in} + b_{in})/2$$

$$R_{out} = (a_{out} + b_{out})/2$$

根据上述参数,将瓶胚口区域图像变换到极坐标中,如图 3 所示。



图3 极坐标下的瓶胚口区域图像

典型的瓶胚口图像在正常相处相邻区域之间的灰度应该具有一致性,不应该出现突变。如果灰度一致性被破坏,则认为此处存在缺陷。

设坐标变换后的图像为 I_{pol} , 大小为 $W \times H$ 。为了定量计算灰度一致性,取块的大小为 $w \times H$, 设计如下大小为 $2w \times H$ 的核算子 h , 前 w 列元素均为 -1 , 后 w 列元素均为 1 , 如下式所示:

$$h = \begin{bmatrix} -1 & \cdots & -1 & 1 & \cdots & 1 \\ -1 & \cdots & -1 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ -1 & \cdots & -1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

将 h 与 I_{pol} 进行卷积得到的结果作为块间的灰度一致性指标,若结果大于设定的阈值则认为该处存在缺陷。为了兼顾计算速度与检测准确性,这里进行卷积运算时采用的步长为 $w/2$, 即每两次计算之间有一半的面积是重合的,这样能在大幅减少计算量的同时保证对全图像的无缝覆盖。

3 实验结果

3.1 目标区域定位结果

选取两幅典型内部有反光的瓶胚口图像,一幅椭圆度正常,另一幅椭圆度异常,内部的反光导致边缘点集中存在部分离群点。用 RANSAC 方法得到的结果如图 4(a)(b) 所示。作为对照,图 4(c)(d) 使用经典的最小二乘法拟合得到的结果。

可见采用RANSAC方法对边缘点集进行拟合可以得到比最小二乘法更好的结果。其原因是最小二乘法本质上是带权的求参数过程^[11],较大的离群点会对结果产生较大影响,而RANSAC方法是不带权的投票过程,可以有效应对有较大离群点的情况。

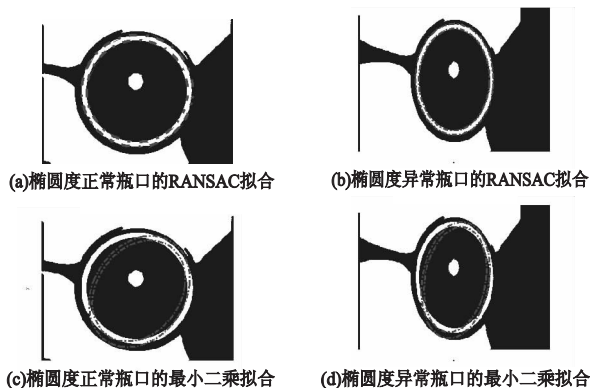


图4 拟合结果

3.2 崩损缺陷检测结果

选取四幅比较有代表性的瓶胚口图像。利用灰度一致性方法检测崩损缺陷,结果如图5所示。



图5 崩损缺陷检测结果,箭头指向的标记处即为检测到的缺陷位置

本文构造的核算子 h 在纵向(即直角坐标系中的法向)对图像进行了均值滤波,能够很好地对抗由瓶胚姿态或光源方向造成的纵向灰度不均匀,而对由缺陷造成的横向灰度突变响应相当灵敏。从图5中可看出该检测方法不仅能检测缺陷的有无,而且能准确定位缺陷的位置,可以为设备的调试提供非常有价值的信息。

3.3 数据集测试结果

测试数据集共有513幅图像,其中有缺陷图像104幅,正常图像409幅。取不同的检测阈值对算法进行测试,所得结果如表1所示。

表1 检测正确率统计结果

阈值	错检数	错检率/%	漏检数	漏检率/%	总正确率/%
1 000	9	2.20	1	0.96	98.1
2 000	3	0.73	1	0.96	99.2
3 000	2	0.49	3	2.88	97.5

从表1中可以看出,降低阈值会使漏检率降低,升高阈值

会使错检率降低,根据实际情况综合选取阈值可以取得令人满意的检测性能。

本文算法在CPU为双核1.83 GHz、内存为2 GB DDR2的工控机上检测图像大小为 640×480 的速度为10 ms/帧,完全可以满足高速生产线的实时检测要求。

4 结束语

本文针对高速生产线上的PET瓶胚口的缺陷检测问题设计了相应的检测算法,能够对瓶胚口区域准确定位并检测缺陷。正确率和检测速度能够满足线上检测要求,在实际应用中应根据现场情况综合调节检测阈值、核算子大小等参数,以取得平衡的检测性能。

参考文献:

- [1] 韩彦芳,施鹏飞. 基于数字图像处理的表面缺损检测技术[J]. 测控技术,2005,24(9): 15-18.
- [2] 胡怀中,张新曼,刘瑞玲. 机器视觉技术及应用[M]. 北京: 高等教育出版社,2009.
- [3] SHAFAIT F, IMRAN S M, KLETTE-MATZAT S. Fault detection and localization in empty water bottles through machine vision[C]// Proc of E-tech. Piscataway: IEEE Press,2004: 30-34.
- [4] 李俊,杨新,和桂芬,等. 定位基因芯片探针点的圆心度方法[J]. 生物医学工程学杂志,2002,19(1): 97-100.
- [5] LIN C S, LUE Li-wen. An image system for fast positioning and accuracy inspection of ball grid array boards[J]. Microelectronics Reliability,2001,41(1): 119-128.
- [6] DUAN Feng, WANG Yao-nan, LIU Huan-jun, et al. Empty bottle inspector based on machine vision[C]// Proc of the 3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2004: 3845-3850.
- [7] 刘焕军. 基于多核支持向量机集成的智能玻璃制品检测算法[J]. 计算机测量与控制,2011,19(2): 359-362.
- [8] 温兆麟,陈新,李克天,等. 统计纹理的自动表面检测[J]. 计算机应用研究,2007,24(8): 193-194,197.
- [9] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM,1981,24(6): 381-395.
- [10] 吴福朝. 计算机视觉中的数学方法[M]. 北京: 科学出版社,2008.
- [11] STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C. 机器视觉算法与应用[M]. 杨少荣,译. 北京: 清华大学出版社,2008.