

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.04.009

基于 POBT 的空瓶规则纹路区域缺陷检测*

郑叶欣¹ 王耀南¹ 周显恩¹ 蒋笑笑¹ 彭玉¹ 刘远强²

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院 机器人视觉感知与控制技术国家工程实验室 长沙 410082;

2. 佛山市湘德智能科技有限公司 佛山 528000)

摘要:现有的玻璃瓶瓶身质量检测方法中,缺乏对有纹理图案的玻璃瓶的缺陷检测,针对这一问题,提出了一种仅基于相位变换(phase only based transition, POBT)的玻璃瓶纹理区域缺陷检测算法。该算法采用基于灰度投影的方法求取玻璃瓶瓶身中心坐标,利用基于相位的变换方法,通过归一化过程去除玻璃瓶规则纹路区域的低频纹路分量,仅保留下缺陷图像,应用概率修正自适应阈值分割方法对经过 POBT 变换后去除纹理留下的缺陷的图像进行分割,提取缺陷,并将该分割方法与3种传统型的方法进行对比。实验结果表明,该方法可实现瓶身规则纹路区域的高速高精度缺陷检测。

关键词: 机器视觉;玻璃瓶;纹路缺陷检测;仅基于相位变换的检测;自适应阈值分割

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

Empty bottle texture area defect detection based on POBT

Zheng Yexin¹ Wang Yaonan¹ Zhou Xian'en¹ Jiang Xiaoxiao¹ Peng Yu¹ Liu Yuanqiang²

(1. National Engineering Laboratory for Robot Visual Perception and Control Technology, College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Foshan Xiangde Intelligent Technology Co. Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: To solve the problem that the existing glass bottle detection algorithm only aimed at the smooth surface with no pattern, a glass bottle texture area detection algorithm based on the POBT (phase only based transition) is proposed in the paper. The method first calculates the glass bottle center axis according to the bottle body gray projection, then obtains defect image by removing all the patterns through POBT, which including the process of normalization in frequency domain to eliminate low frequency component of the glass texture area. At last, it extracts defects by using adaptive probability refined thresholding segmentation on the POBT image and compares the segmentation method with three conventional methods. The experiment result shows that aimed to the glass bottle glass texture area, the method can achieve high-precision detection with rapid speed of the glass bottle texture area.

Keywords: machine vision; glass bottle; texture area defect detection; POBT; adaptive thresholding

1 引言

1.1 行业背景

随着工业4.0的到来,众多行业开始全面实行工业自动化,对机器视觉技术的需求变得广泛。国内处于领先水平的院校、公司、企业及研究所近几年在机器视觉技术方面进行了大量的深入研究和科学实验,取得了不小

的进步,并逐步应用到工业现场,主要涉及食品、医药、电子制造、金属加工、包装检测、汽车制造等诸多行业。在日益发展的高速啤酒瓶生产线上,空瓶检测设备已成为不可或缺的高新设备之一,成为我国饮料行业机电设备重点建设项目。为了提高生产利润,国内绝大多数啤酒制造厂家会再次利用已使用的啤酒瓶,但是回收的啤酒瓶难免在使用、运输过程中受到损坏,因此在再次利用之前必须经过清洗、检测等工序,才能确保啤酒瓶的安全使

用。近年来啤酒瓶爆炸伤人事故频繁发生,啤酒瓶的缺陷检测显得尤为紧迫和重要。

本文研究的规则纹路玻璃瓶检测算法相较于现有仅针对光滑瓶身玻璃瓶的算法进行了改进,扩大了玻璃瓶的可选范围,实现高速高精度检测,具有一定实用性。

1.2 研究现状

针对玻璃瓶检测,不少大学和公司都开展了研究。在国内,湖南大学与白沙啤酒、山东大学与青岛啤酒、广西师范大学与桂林玻璃厂、广州轻工集团、北京赛腾动力科技有限公司、广州大元实业有限公司和北京四通都在进行啤酒视觉检测设备的研究。其中湖南大学、广州大元、广州轻工集团、北京赛腾动力科技有限公司在空瓶饮料检测机研究上,已制造出了样机,并正在不断的完善中。2007年,段峰^[1]首先通过实验,分析提出了一种基于边缘点直方图的瓶身瓶底检测区域的定位方法和基于连通域特征和经验规则的实时检测算法,实现了玻璃瓶检测;2009年,张莹等人^[2]通过一对一、一对多、决策有向无环图、二叉树、误差纠错码、一次性求解等分类支持向量机算法,对啤酒瓶检测算法进行了优化,实现了啤酒瓶缺陷检测的缺陷分类,但算法存在训练过程,实时性不强;2012年,山东大学李勇^[3]对机器视觉玻璃瓶在线检测系统进行了完善,实现了玻璃瓶的自动分拣;2013年,魏松林^[4]、于晓东^[5]研究了瓶颈缺陷检测分类算法,并选择合适的分割算法对缺陷进行分割。上述检测算法均实现了对光滑表面玻璃瓶的检测与分类,但它们共同的问题在于,其检测瓶型单一,对有纹路的玻璃瓶没有进行处理,且在保证检测正确率的情况下,其检测速度还无法达到国际先进水平。

针对有纹路的表面缺陷检测问题,Xie等人^[6]对于纹理分析技术进行了综述,通过纹元分析等方法对纹理图像缺陷进行分析检测;Chao等人^[7-9]对表面缺陷自动检测问题进行了大量的研究,实现了对均匀纹理溅射表面、低对比度玻璃基板及微小缺陷的检测,通过分析小波的重建实现自动检测;上述检测方法均实现了纹理区域的缺陷检测,但由于玻璃瓶检测实时性要求较高,且玻璃瓶纹路特征各异,无法保证其在玻璃瓶检测上的有效性;贺振东等人^[10-11]在铁轨检测上通过反向PM扩散对有纹路的图像进行处理,通过背景差分法去除背景影响,检测算法快速、有效,但铁轨图像灰度分布特征明显,多帧图片中对象位置、背景相似,不适用于玻璃瓶纹路区域检测;Bai等人^[12]通过对图像的重复排列形成纹路,利用相位信息实现工业生产中显著性检测,通过学习以及模板比较,判定缺陷,而玻璃瓶缺陷纹路虽然相似但并不存在重复性,不适宜实用模板比较的方法;Pang^[13]通过分区域比赛的形式区分无缺陷、弱缺陷、强缺陷的纹路缺陷信息,检测准确率高,但玻璃瓶纹路区域较小,信息量不足,

无法对其进行划分再积分累计判别。

虽然机器视觉已经在玻璃瓶质量检测领域得到了初步应用,但对于玻璃瓶纹理区域的应用却很有限,无法对带有纹路和商标的玻璃瓶瓶身进行检测,分析知其主要原因如下:1)玻璃瓶瓶身是光滑的曲面,玻璃瓶由于光线折射,纹理类模糊更难以辨别,采用传统的针对织布类纹理分析方法难以实现准确检测;2)玻璃瓶上纹路区域相对玻璃瓶瓶身整体较小,能够获取的图像信息有限,且玻璃瓶厚度不一,玻璃瓶灰度分布不均匀,加大缺陷识别的难度;3)玻璃瓶检测传送装置运动速度高,要求检测系统要有很高的处理速度。实时性较好的纹路检测方法中,2010年,Aiger等人^[14]提出了一种对于基于相位变换的检测方法,该方法无需先验知识即可对纹路区域进行缺陷检测,然而由于相位变换忽视了局部空间内容,只追求全局相似性,导致该方法无法描述缺陷细节及其局部信息。2012年,Choi等人^[15]提出了一种两步的方法,能够有效的提升局部缺陷特性,该方法首先通过全局检测的方法,初步确定缺陷大致位置,再通过概率修正的方法,提升缺陷识别的准确度。现通过基于相位变换的方法对玻璃瓶上的规则纹理区进行处理,去除玻璃瓶规则纹路区的纹理,实现针对玻璃瓶规则纹路区域缺陷检测,再利用概率修正自适应阈值分割方式提取出纹路的缺陷。该方法没有学习过程,无需训练,可快速的移除任何尺度的规则纹路,实时对玻璃瓶纹理区域进行检测,满足在线检测的需求。

2 空瓶缺陷检测系统

2.1 电气控制系统

图1所示为玻璃瓶检测系统中瓶身检测工位的电气控制系统。该系统由工控机和PLC控制器组成。为了匹配玻璃瓶检测的运行速度和图像采集速度,保证采集的图像质量,避免图像模糊和多瓶误触发,该系统通过检测工位光电传感器触发PLC相机,通过该触发信号采集玻璃瓶瓶身图像。通过采集旋转编码器脉冲数检测玻璃瓶在传送带上的运行速度,通过脉冲数得到每帧图像的位置信息,该位置信息用于玻璃瓶定位,同时监控是否会出现倒瓶危险。工控机功能如下:1)运行检测软件;2)完成图像分析和缺陷分类;3)保存缺陷数据,工作人员可以通过网络对视觉检测装置工作状态进行监视。

2.2 光学反射结构

如图2所示,采用一套光学反射系统,利用一台相机完成对瓶身近180°画面的拍摄。图2(a)为镜面反射结构俯视示意图,光线穿过瓶身通过5面镜面反射,拉长相机和空瓶之间的距离,得到玻璃瓶全身图像。摄像机位

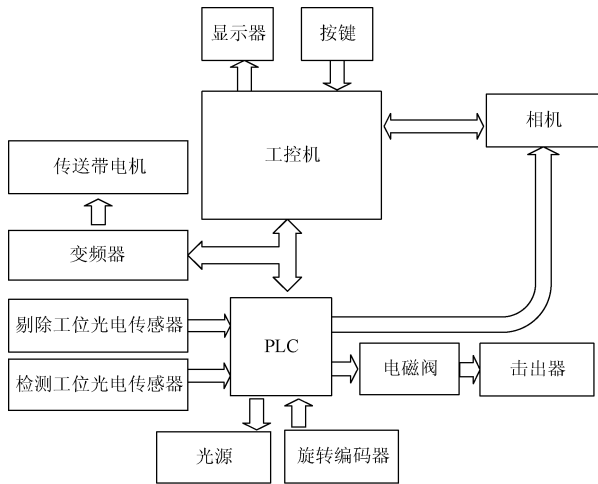
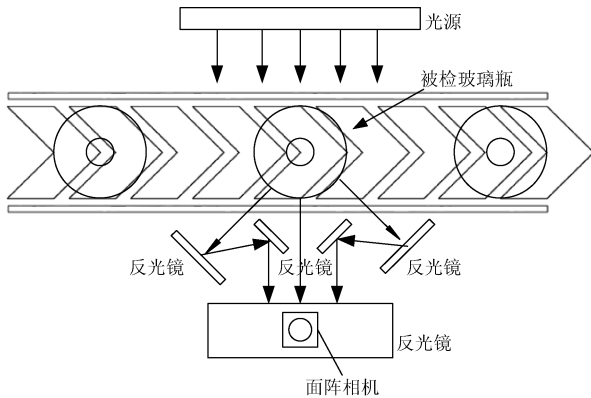


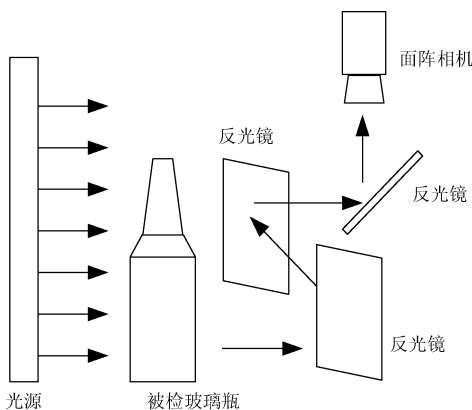
图1 电气控制结构

Fig.1 The structure of electrical control



(a) 镜面反射结构俯视图

(a) Plan view of specular reflection structure



(b) 镜面反射结构侧视图

(b) Side view of specular reflection structure

图2 光学反射结构

Fig.2 Schematic diagram of specular reflection structure

于传送带旁,反光镜上方,直接采集最终包含多角度的玻璃瓶的反射图像。图2(b)为镜面反射结构侧面示意图,通过两次反射,将瓶身两面近180°的画面采集于一块镜

面中,最终将多角度图像反射到面阵相机中。

图像通过3次光路反射,一张图像中可以同时得到两个角度的图像,对称的分布于图像的左侧和右侧。处理该图像时,对图像进行对称分割,分别针对左侧图像和右侧图像进行单独的缺陷检测处理。进行缺陷判定时,若左右两侧图像中任一图像判定为缺陷图像,则该整幅图像判定为缺陷图像;若左右两侧图像均判定为无缺陷图像,则该整幅图像判定为无缺陷图像。

3 缺陷检测算法

玻璃瓶规则纹路区域缺陷检测算法,通过对采集到的玻璃瓶瓶身图像进行定位,提取出纹路区域,然后针对纹路区域进行缺陷检测。该算法包括玻璃瓶瓶身图像采集、玻璃瓶瓶身及规则纹路区域定位、规则纹路背景去除、概率修正自适应阈值分割缺陷检测4个步骤,如图3所示。

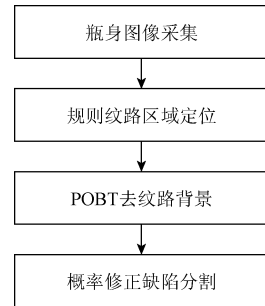


图3 玻璃瓶规则纹路缺陷检测流程

Fig.3 Flow chart of bottle texture area defect detection

3.1 纹路部位定位

在对图像进行检测处理时,除了需要检测瓶身区域,还有很多冗余信息。如果直接处理,会增加检测的复杂程度,减缓检测速度。所以,首先需要对玻璃瓶身整体进行定位,再截取玻璃瓶瓶身上规则纹路部分进行检测。瓶身的标定区域及玻璃瓶规则纹路区域如图4所示,其中A、B为玻璃瓶边缘,C所在虚线为玻璃瓶的对称中心轴。

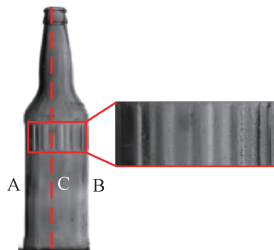


图4 玻璃瓶规则纹路检测区域

Fig.4 Bottle texture area

由于缺陷检测算法应用于实时检测系统中,采集图像时待检测的玻璃瓶处于高速运动状态,每次玻璃瓶瓶

身在图像中的位置不一,而玻璃瓶瓶身高度一定,纹路区在瓶身上的相对位置固定,所以只需确定瓶身的水平位置即可。现提出一种基于灰度投影^[16]搜索对称中心坐标的方法:由于玻璃瓶瓶身为半径不同的柱体结构组合而成,外形特征具有规律,呈中心轴对称,对瓶身图像分析可知,瓶身部分较暗,灰度值较小,背景全白,灰度值较大,故通过对竖直方向上灰度值的累加,可快速有效的分割玻璃瓶瓶身与背景,再利用中心对称的特征,确定玻璃瓶的对称中心轴。由此,提出的基于灰度投影梯度的中心坐标搜索算法如下:

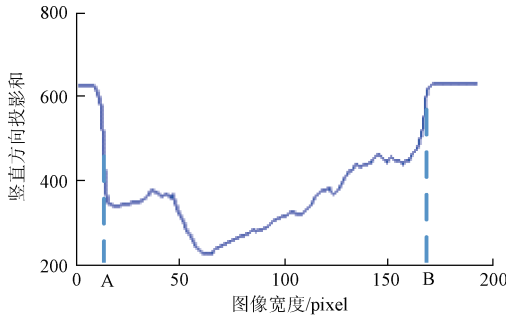
设输入宽度为 M ,高度为 N 的灰度图像, x 为图像行坐标, y 为图像列坐标, $I(x, y)$ 为图像上坐标位置为坐标 (x, y) 处的灰度值。

1) 图像在竖直方向上的投影可以表示为以下形式:

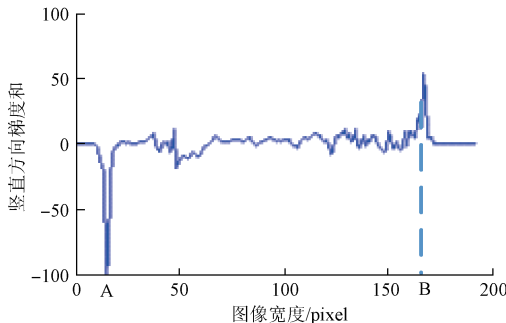
$$S(x) = \sum_{y=1}^N I(x, y) \quad x = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

图 5(a) 所示为图 4 沿竖直方向的投影和曲线图,其中点 A、B 分别对应着玻璃瓶的左边界与右边界。随着图像宽度增加由曲线可知,图像两侧的投影值较高,且投影值变化较为稳定平缓,其他位置不具备这样的特征。

2) 求取竖直投影水平方向梯度值。由于玻璃瓶瓶身边缘处投影变换幅度较其他处大,故可以通过边缘梯度来确定玻璃瓶边缘。这里通过求取原输入图像水平方向的梯度算子来计算玻璃瓶边缘。设求得得到竖直投影水平方向的梯度为 $G(x)$ 。



(a) 玻璃瓶竖直方向投影和
(a) Bottle vertical projection sum



(b) 玻璃瓶竖直方向梯度
(b) Bottle vertical gradient sum

图 5 玻璃瓶投影及梯度曲线

Fig. 5 Bottle projection and gradient curve

$$G(x) = S(x) - S(x - 1) \quad (2)$$

图 5(b) 所示为图 4 的投影水平方向梯度变化曲线,边界点 A、B 处出现了明显的峰值,边界点 A、B 的梯度绝对值远大于其他区域。

3) 分别从左、右往中心搜索梯度值最小、最大点,搜索到的最小、最大点对应的横坐标即为玻璃瓶的左、右边界。玻璃瓶的中心位置即为二者的中间位置。

$$\begin{cases} X_a = \arg \text{Min} \{ G(x) \} \\ X_b = \arg \text{Max} \{ G(x) \} \\ X_c = \frac{X_a + X_b}{2} \end{cases} \quad (3)$$

由于玻璃瓶是轴对称的,故搜索到边界点后,可通过求取两边界的对称轴来确定玻璃瓶的中心轴位置。

同一类型的玻璃瓶的纹路区域在瓶身上的位置是相对固定的,确定玻璃瓶瓶身的中心轴后,根据玻璃瓶的规格型号,直接提取玻璃瓶瓶身纹路区相对应的纵坐标段,即可提取到相应需要处理的纹路区域。

3.2 基于 POBT 的去纹路分割

去除玻璃瓶瓶身规则纹路是检测规则纹路区缺陷的重要一步。所谓去除玻璃瓶瓶身规则纹路,就是克服由于玻璃瓶瓶身纹路导致的光线反射或暗或亮灰度不均的影响,提高缺陷在玻璃瓶上的可识别性,为分离缺陷与玻璃瓶瓶身无缺陷区域做准备。

玻璃瓶上的规则纹路区域图像如图 6 所示。对于有纹路的玻璃瓶,玻璃瓶瓶身纹路在光照反射下呈现出不同的明暗变化;由于玻璃瓶瓶身呈现竖直形状,玻璃瓶纹路其实是玻璃瓶瓶身部分特定区域凹陷或凸起,导致对于面光源照射的反光不均,在图像上呈现为不同亮度,出现明纹、暗纹。分析图 6 可知,玻璃瓶瓶身规律纹路大多为宽度相同的竖直纹路的明暗交替,虽然由于光照以及瓶身呈竖直圆柱体的原因,不同部位的纹路反射的灰度值大小不一,但是在每一个竖直小块中,灰度值分布相对均匀,且其纹路边缘均为竖直线条,规律特性可识别;而缺陷部分在图像中无明显规则,边缘无规律,无特定出现的位置。相较于背景纹路,缺陷无规律。由此将规则纹路背景视为规律出现的信号,缺陷部分视为无规律出现的不规律信号,以此区分玻璃瓶瓶身规则纹路区域中的背景区域与缺陷区域。

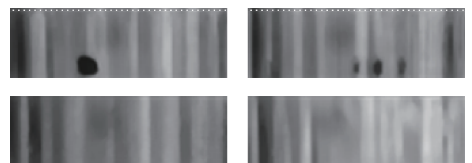


图 6 玻璃瓶规则纹路区域

Fig. 6 Bottle texture areas

在纹路缺陷检测中,由于纹理表面具有规律,在频谱空间中的频率分量的传播是各向同性的,故常用频域信息对其进行检测^[17]。在图像处理中,常通过傅里叶变换来获取图像的频域信息,反映图像的变化。在傅里叶变换中,相位和频率代表着不同的信息,起到不同的作用,而在一些情况下,仅仅通过相位信息,也能得到图片的重要特征^[8]。通过对频域图片的重建可以发现,相位图的重建保存了原图的重要特征。图7所示为对玻璃瓶规则纹路区域依据相位、频率进行了重建。由图7(b)可知,仅仅通过相位变换去除了大部分原图中灰度变换区域,仅仅留下边缘小细节;比较图7(c)可知,经过频率逆变换图像依旧保留许多灰度信息,无法去除纹路区域,与原图进行比较无法得到原图的大部信息,无法识别出原图特征。

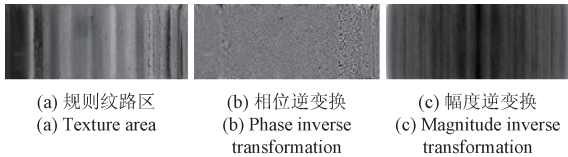


图7 玻璃瓶规则纹路区域频域逆变换比较
Fig.7 Comparison of inverse transformation of bottle texture frequency domain

基于以上的分析,提出基于相位变换(phase only based transition, POBT)的玻璃瓶纹路区图像重建方法,去除玻璃瓶规则纹路部分背景信息。设输入宽为 W , 高为 H , 灰度范围为 L 的单灰度图像在空间域中表示为 $f(x, y)$ 。

1) 对其进行离散傅里叶变换:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (4)$$

式中: $j = \sqrt{-1}$, $F(u, v)$ 为原图像在频域表现形式, u, v 为变换的空间频率。由于是复数矩阵,故原表达式又可表达为幅值与相位的形式,写成:

$$F(u, v) = |F(u, v)| e^{j\phi(u, v)} \quad (5)$$

其中,频率的幅值为:

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)} \quad (6)$$

频率的相位为:

$$\phi(u, v) = \arctan \left\{ \frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right\} \quad (7)$$

2) 对每一个复数进行归一化处理。即将实数部分、虚数部分均除以其幅值 $|F(u, v)|$ 。即:

$$F'(u, v) = \frac{F(u, v)}{|F(u, v)|} \quad (8)$$

3) 将进行处理后的频域的傅里叶图像进行反变换,得到空间图像。

对其进行离散傅里叶变换的逆变换:

$$f'(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F'(u, v) e^{j2\pi(ux/M+vy/N)} \quad (9)$$

最终得到的输出图像即为 $f'(x, y)$ 。

在 POBT 去纹路算法进行的过程中,并不需要分析傅里叶图像,因为归一化过程是对所有频率范围内的图像进行归一化^[14]。所以通过 POBT 的变换,可以一次去除所有大小、频率的规律图像。图8所示为进行 POBT 的典型图像。观察图像可知,纯色色块中不同灰度值的规律色块已经被完全移除,仅留下能够识别原图的图像边沿。可以看到,即使是纯色均匀的色块的边界,以及均匀变化的色块条边界,在图像中也已经被移除掉。

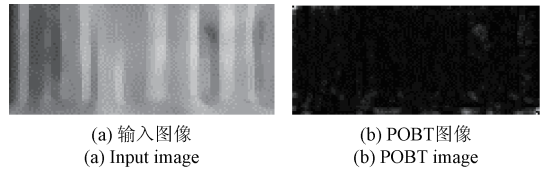


图8 POBT 典型图像
Fig.8 Typical images of POBT

3.3 概率修正自适应阈值分割

通过适当的平滑方法,或者通过不同层级的图像反向重建,重建图像可去除规则、重复的纹路区域,仅增强局部异常区域,由此通过阈值分割区分缺陷区域与背景连续区域^[18]。进行 POBT 变换后,去除了玻璃瓶瓶身背景纹路等大量信息,需要对 POBT 图的缺陷进行分割与判别。POBT 图像主要包含3种类型的像素:背景、缺陷、噪声。其中缺陷和噪声的灰度值较高,背景灰度值低。由于缺陷随机出现,无规律,灰度值最高,而噪声、背景等残余信息规律性相对较强,灰度相对较低,因此可以将 POBT 变换后的图像视为像素点是否是缺陷的概率映射图^[15]。通过寻找合适的阈值,将图像二值化,去除非缺陷区域(噪声、背景),保留缺陷区域。

设 $P(x, y)$ 为经过 POBT 变换后宽为 M , 高为 N , 灰度级为 L 的灰度图像。

1) 对图像进行高斯滤波,进行高斯滤波后的图像为 $P'(x, y)$ 。通常在图像恢复和重建中,需去除噪声并保留有意义的细节(如边缘),才能保证图像本身的功能^[13]。由于图像进行 POBT 变换后,可能导致误差噪声累计等问题,对缺陷分割结果产生重大影响,故通过高斯滤波来平滑 POBT 图片,去除噪声影响。

2) 计算 POBT 变换后灰度值不为0的点,取其平均灰度值,计算平均概率,以其为基础进行二值分割。

$$thresh = \frac{1}{Num} \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} P'(x, y) + C \quad (10)$$

式中: Num 为图像为中灰度值非零的像素点的个数, C 为判定常数。

高斯去噪后,图像分为缺陷类与背景类。将 POBT

图片视为缺陷的概率分布,求取 POBT 图片灰度值非零点的灰度平均值,作为这两类的初始分割。由于 POBT 图像反映的是像素是否是缺陷的概率映射,通常,缺陷区的概率值应远大于图像的平均概率值,即其灰度值应大于图片的平均灰度值,因此通过平均值将图像初步分割为目标类和背景类。

3) 以目标类为基础,对图像进行分割优化。通过步骤 2) 已经初步分割了缺陷区域与无缺陷区域。计算缺陷区域与无缺陷区域的灰度分布如下:

$$p(g_k | a_i) = p(P'(x,y) = g_k | a_i) = \frac{n_{i,k}}{n_i} \quad (11)$$

式中: g_k 表示灰度等级, $k \in [0, 1, \dots, L-1]$, $a_i, i=0, 1$ 分别表示缺陷区域和无缺陷区域。设 $n_{i,k}$ 为灰度级为 k 时在为类型 i 的像素点数, n_i 为类型 i 的像素点总数。 $p(g_k | a_i)$ 为 i 类型中, k 灰度级像素点所占比例。

图 9(b) 显示了图 9(a) 经过 POBT 变换后的缺陷图像,图 9(c) 中白色标记的为步骤 2) 中经过未修正的自适应阈值分割得到的缺陷图像。图 10(a) 和 (b) 所示为规则纹路区域图像在 POBT 前、后的灰度直方图,分析图 10(a) 与 (b) 可知,经过 POBT 变换后,玻璃瓶规则纹路区域的灰度分布从毫无规律可言变为较为集中的单峰分布。对图 9(b) 分别用经过修正的 Otsu 算法^[19] 和步骤 2) 提出的自适应阈值分割算法(常量 $C=30$) 对其进行分割,得到的分割阈值如图 10(b) 所示。观察图 10(b) 可知,如果采用简单的二值化阈值分割,则低灰度值的图像部分在二值化分割的过程中被全部去除了。图 10(c) 所示为人工标记的缺陷在 POBT 分割图像中的灰度分布,缺陷图像不仅包含高灰度值的像素点,也包含部分的低灰度值的像素点,因此并没有一个合适的阈值来直接分割缺陷与背景。这里用一种概率修正的方法,来修正图像的分割结果。

假设缺陷区域的所有点均需要修正。设大小为 $n \times n$ 的滑动窗口,中心在点 p 处,且对于所有的 $p, D_L(p) = 1$ 所有的在滑动窗口内的点 q 通过下式更新其值:

$$D_L(q) = \begin{cases} 1, & p(a_1 | I(q)) \geq p(a_2 | I(q)) \\ 0, & p(a_1 | I(q)) \leq p(a_2 | I(q)) \end{cases} \quad (12)$$

式中: D_L 表示缺陷映射的局部修正结果。通过这一过程,可以重新确定那些模棱两可的区域,重复迭代,直到没有新的更新产生。

图 9(d) 为修正后(修正窗口 $n=3$, 迭代 2 次)的缺陷的结果。比较图 9(d) 与 (c) 可知,图 9(d) 判别得到的缺陷区域覆盖了全部的缺陷位置,优于图 9(c) 的缺陷区域。对修正后的区域求取其灰度直方图分布,结果如图 10(c) 所示,修正后的图像分布保留了低灰度值的区域,较未修正前灰度分布更丰富。

4) 对图像进行开运算。在步骤 3) 中的判定中,缺陷

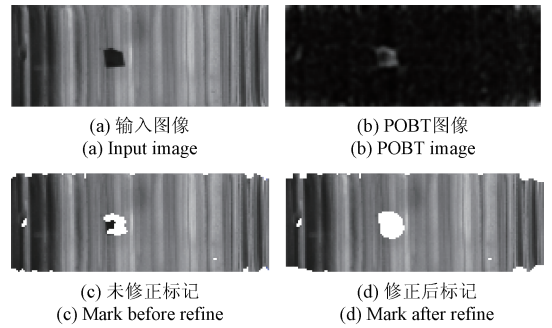
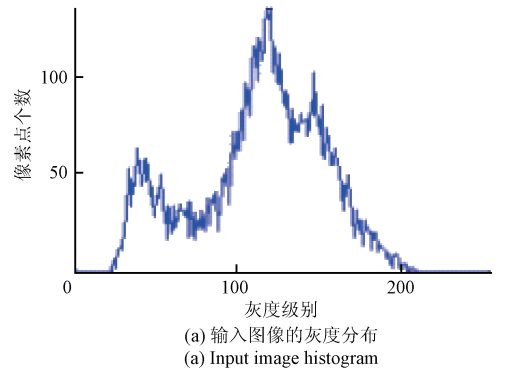
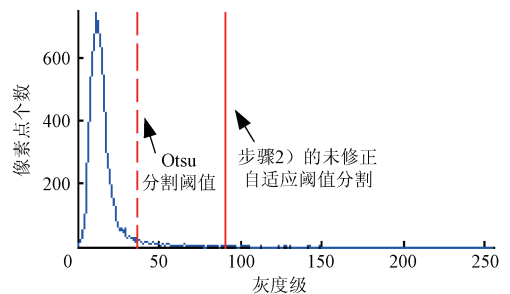


图 9 玻璃瓶规则纹路区域缺陷标记及其概率阈值修正结果

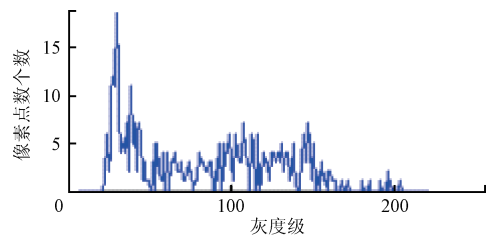
Fig. 9 Bottle texture area defect mark and its probability threshold correction result



(a) 输入图像的灰度分布
(a) Input image histogram



(b) POBT 变换后灰度分布直方图及分割阈值
(b) POBT gray histogram and the segmentation threshold



(c) 修正后标记的缺陷图像的灰度分布
(c) Defect image after refine

图 10 灰度直方分布分析

Fig. 10 Grey histogram analysis

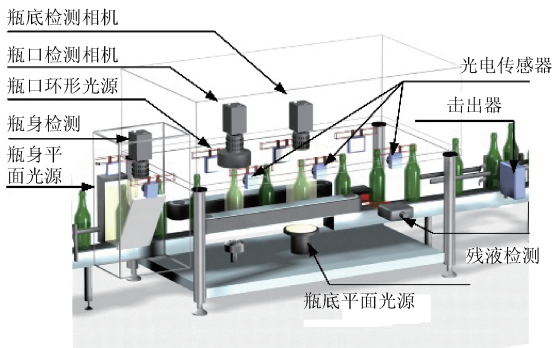
可能出现误判,用开运算来平滑缺陷的边界,消除由于优化缺陷产生的粘连。

4 实验及参数分析

为了验证算法的有效性,本文在如图 11 的实验环境下对玻璃瓶规则纹路区的缺陷进行了检测实验。图 11 (a)所示为实验室的玻璃瓶检测平台,其中系统结构原理如图 11 (b),所用的面阵相机型号为 BaumerTXG12(参数:分辨率为 1296×966 ,帧率为 32 fps,像元尺寸为 $0.25 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm}$),面阵光源为白光,测试玻璃瓶颜色分别为绿色,透明和棕色。实验所用计算机 CPU 为 intel core i7,主频 1.8GHz,采集图像大小为 640×480 ,通过软件开发平台 Visual Studio 2012 和 OpenCV2.4.9 编写 C++ 程序进行测试,对玻璃瓶瓶身规则纹路缺陷区域进行了定位与检测。



(a) 空瓶检测系统实物
(a) Photo of bottle detection system



(b) 空瓶检测机系统结构
(b) Bottle detection system structure

图 11 玻璃瓶检测平台

Fig. 11 Bottle detection platform

4.1 玻璃瓶瓶身定位实验

图 12(a)所示为面阵相机拍摄现场玻璃瓶的图像,由于利用镜面反射,一次同时获取了两个角度的玻璃瓶图像,先进行粗分割,将一次成像的图像分割成两个单独瓶如图 12(b)所示。

玻璃瓶在传送带上运动时,由于传送带加速、减速或者传送带打滑,可能导致多个玻璃瓶位置发生改变,出现一张图像中存在多个玻璃瓶的情况。本文利用实验系统获取的图像,选取了有代表性的 10 幅图像进行定位,定

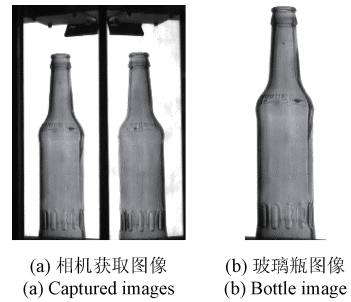


图 12 预处理

Fig. 12 Preprocessing

位结果如图 13 所示。10 幅图像中包括单瓶情况、多瓶情况、半瓶情况,其中图 13 (a) ~ (c) 为绿色 330 ml 玻璃瓶单瓶、多瓶、和半瓶情况;图 13 (d) 为 518 ml 带纹路绿色玻璃瓶;图 13 (e)、(f) 为 600 ml 的有纹路的绿色玻璃瓶;图 13 (g) ~ (i) 分别为 500 ml 透明、绿色带字和棕色玻璃瓶;图 13 (j) 为 600 ml 绿色无纹路玻璃瓶图像。经过粗分割提取后,其单瓶图像分辨率如表 1 所示。为了进行定位误差对比,人工标定出 10 幅图像的中心轴,其结果如表 2 所示。

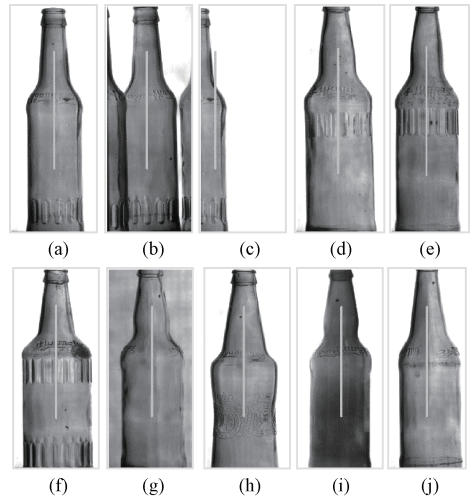


图 13 玻璃瓶定位检测效果

Fig. 13 Bottle location detection result

表 1 玻璃瓶特征

Table 1 Glass bottle feature

序号	瓶型	容量/ml	颜色	纹路	字符	实验个数	分辨率
(a)	单瓶	330	绿色	有	无	72	190×500
(b)	多瓶	330	绿色	有	无	20	190×500
(c)	半瓶	330	绿色	有	无	18	190×500
(d)	单瓶	518	绿色	有	无	36	190×540
(e)	单瓶	600	绿色	有	无	36	190×560
(f)	单瓶	600	绿色	有	无	36	190×560
(g)	单瓶	500	透明	无	无	36	190×540
(h)	单瓶	500	绿色	无	有	36	190×540
(i)	单瓶	500	棕色	无	无	36	190×540
(j)	单瓶	600	绿色	无	无	36	190×560

表 2 玻璃瓶瓶身定位结果比较

Table 2 Comparison of bottle location detection result

编号	人工标定	算法检测	算法距	检测时 间/ms	最大误差	
	中心位置/ pixels	中心位置/ pixels	离差/ pixels		距离/ pixels	测时间/ ms
(a)	93	90	3	0.67	3	0.61
(b)	88	89	1	0.66	2	0.66
(c)	36	32	3	0.77	3	0.71
(d)	92	92	0	0.58	2	0.66
(e)	86	86	0	0.72	2	0.67
(f)	87	88	1	1.38	2	1.12
(g)	97	98	1	0.89	7	0.73
(h)	89	91	2	0.88	1	0.83
(i)	83	85	2	0.72	2	0.84
(j)	101	101	0	0.76	1	0.82

本文针对速度不均导致的一图多瓶、单瓶、半瓶的情况对玻璃瓶定位算法进行了实验,实验结果如表 2 所示。分析表 2(a)~(c) 结果可知,当瓶口图像为单瓶时,瓶身定位在瓶身正中央;当出现多瓶的情况时,定位在占图像面积最大的玻璃瓶瓶中处;当出现半瓶情况时,玻璃瓶定位在玻璃瓶图像瓶身中的一半的位置。分析表 2(d)~(j) 可知,本定位算法较为稳定,误差不大,但透明瓶型的定位效果相较于其他瓶型较差,最大误差达到 7 个像素点,这是由于本实验所用的背光为白色,白光对透明瓶的边缘分界不明显,当光照过强时对边缘产生弱化效果,导致实验结果较差,更改光源颜色即可解决该问题。

本实验对 324 个玻璃瓶进行了检测,其中包含多瓶的情况 20 次,半瓶的情况 18 次,瓶身定位准确,瓶身定位的平均速度 0.85 ms。

4.2 玻璃瓶瓶身规则纹路缺陷部位检测实验

对玻璃瓶进行分区如图 14 所示,标记 A 部分为玻璃瓶瓶身规则缺陷部分,图像呈明暗交替规则变化;标记 B 部分为玻璃瓶瓶身区域,它包含 A 部分与其他光滑瓶壁部分;标记 C 为玻璃瓶瓶身外沿,由于玻璃的透射不均匀的影响,此处透射光线较少,灰度值较小。本文试验中所用图像即为上述玻璃瓶采集的灰度图像。



图 14 玻璃瓶瓶身区域及规则纹路检测区域说明

Fig. 14 Bottle texture area detection note

区域图像如图 15(a)、(c) 所示,通过 POBT 变换后的图像如图 15(b)、(d) 所示。本实验对 179 个定位好的玻璃瓶规则纹路区域图像进行了 POBT 变换,POBT 的平均时间为 5.05 ms。

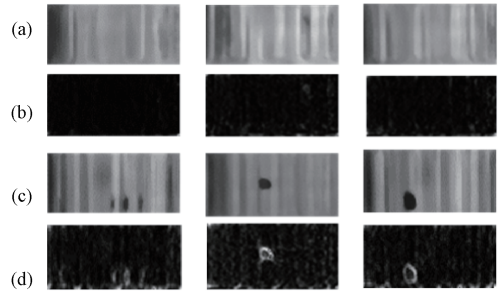


图 15 POBT 变换图

Fig. 15 POBT transformation result

传统的缺陷分割方法有:固定阈值分割法,Otsu 分割法,均值分割法。本文将概率修正自适应阈值分割方法分别与固定阈值分割,Otsu 分割,均值分割进行对比,比较分割效果和运算时间。其中固定阈值分割直接处理未经 POBT 变换的图像,Otsu 分割、均值分割、修正分割处理经过 POBT 的图像。针对 4 种较为典型的规则纹路区域的图像,用四种方法对其进行处理的实验结果如表 3 和 4 所示,四种阈值分割的效果如图 16 所示。其中图 16(a) 为原输入图像行,图 16(b) 为固定阈值分割的检测图像,图 16(c) 为 POBT 变换图像,图 16(d) 为 Otsu 分割检测图像,图 16(e) 为均值分割检测图像,图 16(f) 为概率修正自适应阈值分割检测图像。表 4 中,平均分割时间指利用 POBT 变换分割方法对图像进行处理所用时间,单位为 ms,平均检测时间为对图像进行 POBT 变换及概率修正阈值分割缺陷判定所用总时间,单位为 ms。

表 3 对规则纹路区域 POBT 变换的分割时间

Table 3 POBT threshold segment time (ms)

图像 序号	POBT 变换时间	固定阈 值分割	Otsu 分割	均值分割	修正分割
(a)	4.93	0.03	1.72	0.27	6.68
(b)	4.92	0.05	2.81	0.17	9.90
(c)	6.38	0.02	2.23	0.22	12.11
(d)	5.14	0.05	2.25	0.21	14.19

表 4 POBT 图像各阈值分割方法性能比较

Table 4 Comparison of POBT threshold segment performance

分割 方法	检测数	平均分割 时间/ms	平均检测 时间/ms	误检 率/%	识别 率/%
固定阈值	179	0.04	5.94	44	56
OTSU	179	2.14	8.05	66	34
均值分割	179	0.27	6.17	24	76
修正分割	179	12.27	18.07	3	97

规则纹路区域经过定位后,选取 6 幅典型规则纹路

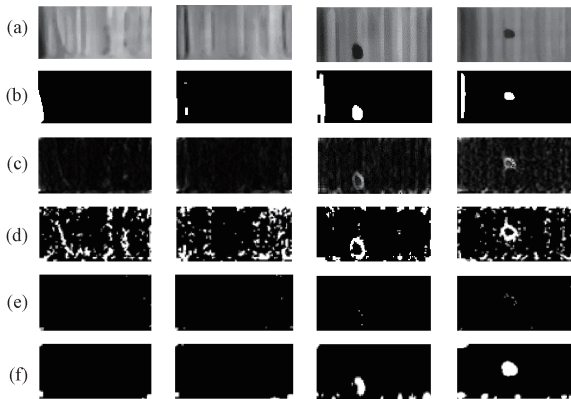


图 16 本文的实验方法比较

Fig. 16 Experiment result

由于实验使用图片缺陷与背景差距通过人眼观察差距较大,因此固定阈值对未经过 POBT 的原图进行对比实验,检测结果如图 17 所示。图 17 检测阈值分别为 20、25、30、35,可以看到未经 POBT 变换检测的边缘部分总是被判定为缺陷;随着分割阈值的增大,导致被误认为缺陷的范围增多,而当分割阈值减小时,无法正确识别缺陷,但边缘误检测依旧存在。不进行 POBT 变换,虽然依旧可以检测出缺陷区域,但无法排除背景规则条纹的干扰,规则条纹会被误检测为缺陷。

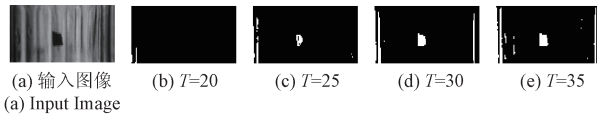


图 17 不使用 POBT 直接检测结果

Fig. 17 Detection results without POBT

分析比较表 3、4 和图 16、17 的实验结果,可以得到如下结论:1) 相较于均值分割、固定阈值分割、Otsu 分割,概率修正自适应阈值分割方式取得的分割效果最好,缺陷处的灰度值分布较为集中,灰度分布较阈值分割更为丰富,缺陷检测准确;2) 虽然固定阈值、Otsu 和未修正的分割方法计算快,但其准确率大大低于概率修正自适应阈值分割方法,在保证准确率的情况下概率修正自适应阈值分割方法有明显优势;3) 本文所提出的基于 POBT 的概率修正自适应阈值分割方法,在前文所述的环境下可将单瓶检测时间限定在 20 ms 以内。

5 结论

本文提出了一种快速准确的玻璃瓶瓶身定位方法,对于瓶身规则纹路区域,通过 POBT 变换进行去纹路处理,提出了一种概率修正自适应阈值分割方法提取去纹路后的缺陷,并与 3 种阈值分割方式进行了比较研究。本文虽然仅仅针对玻璃瓶瓶身纹路进行了研究,对纹理

要求较为严格,但能够实时、有效、快速的检测出玻璃瓶规则纹路区域的缺陷,无需学习训练,是对当前玻璃瓶瓶身检测的一项突破。本检测算法在玻璃瓶检测上具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 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 inspector for beer bottle[D]. Changsha: Hunan University, 2007: 82-92.
- [2] 张莹,王耀南,文益民. 啤酒瓶检测中多分类支持向量机算法的选择[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2009, 36(5):37-41.
ZHANG Y, WANG Y N, WEN Y M. Choice of multi-class support vector machines on beer bottle detection[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2009, 36(5):37-41.
- [3] 李勇. 基于机器视觉的玻璃瓶在线检测系统研究[D]. 济南:山东大学, 2012.
LI Y. Research on machine-vision based online inspection system of glass bottle[D]. Ji'nan: Shandong University, 2012.
- [4] 魏松林. 基于机器视觉的玻璃瓶在线检测系统研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2013.
WEI S L. Research on implementation of the system of glass bottles on-line detection based on machine vision[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [5] 于晓东. 基于机器视觉的玻璃瓶在线检测算法研究及系统实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2013.
YU X D. Research on algorithms of glass bottles on-line inspection based on machine vision and system implementation[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [6] XIE X H, MIRMEHDI M. TEXEMS: Texture exemplars for defect detection on random textured surfaces[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(8): 1454-1464.
- [7] CHAO S M, TSAI D M. An anisotropic diffusion-based defect detection for low-contrast glass substrates[J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(2): 187-200.
- [8] CHAO S M, TSAI D M, CHIU W Y, et al. Anisotropic diffusion-based detail-preserving smoothing for image restoration[C]. 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2010: 4145-4148.
- [9] CHAO S M, TSAI D M. An improved anisotropic diffusion model for detail-and edge-preserving smoothing[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(13): 2012-2023.

- [10] 贺振东,王耀南,毛建旭,等. 基于反向 PM 扩散的钢轨表面缺陷视觉检测[J]. 自动化学报, 2014, 40(8): 1667-1679.
HE ZH D, WANG Y N, MAO J X. Research on inverse PM diffusion-based rail surface defect detection[J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(8): 1667-1679.
- [11] 贺振东,王耀南,刘洁,等. 基于背景差分的高铁钢轨表面缺陷图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(3):640-649.
HE ZH D, WANG Y N, LIU J, et al. Background differencing-based high-speed rail surface defect image segmentation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(3):640-649.
- [12] BAI X L, FANG Y M, LIN W S. Saliency-based defect detection in industrial images by using phase spectrum[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(4): 2135-2145.
- [13] PANG G K H. Fabric inspection based on the Elo rating method[C]. Pattern Recognition, 2016, 51: 378-394.
- [14] AIGER D, TALBOT H. The phase only transform for unsupervised surface defect detection [C]. Emerging Topics in Computer Vision and its Applications, 2010, 238(6): 295-303.
- [15] CHOI J, KIM C. Unsupervised detection of surface defects: A two-step approach [C]. International Conference on Image Processing, 2012:1037-1040.
- [16] 蒋笑笑,张振军,王耀南,等. 基于灰度投影梯度扩散的 PET 满瓶快速检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8):1152-1159.
JIANG X X, ZHANG ZH J, WANG Y N. PET full bottle fast detection based on gradient diffusion of gray projection [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(8):1152-1159.
- [17] XIE X. A review of recent advances in surface defect detection using texture analysis techniques [J]. Electronic Letters on Computer Vision & Image Analysis, 2008, 7(3):1-22.
- [18] KUMAR A. Computer-vision-based fabric defect detection: A survey[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1):348-363.
- [19] HUANG D Y, WANG C H. Optimal multi-level thresholding using a two-stage Otsu optimization approach[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(3):275-284.

作者简介



郑叶欣(通讯作者),2010 年于湖南大学获得学士学位,现为湖南大学电气与信息工程学院硕士研究生,主要研究方向为模式识别和图像处理。

E-mail:zhengyexin@hnu.edu.cn

Zheng Yexin (Corresponding author) received B. Sc. from Hunan University in 2010. Now she is M. Sc. candidate in the College of Electrical and Information Engineering, Hunan University. Her main research interest includes image processing and pattern recognition.



王耀南,1995 年于湖南大学获得博士学位,现为湖南大学电气与信息工程学院院长,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, Ph. D. supervisor and the dean of College of Electrical and Information Engineering, Hunan University. His main research direction is intelligent control and pattern recognition.