

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2019.02.009

基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测

邵志敏, 张意, 张卫华, 周激流

(四川大学计算机学院, 成都 610065)

摘要: 介绍了一种基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测方法. 为了从复杂的视觉图像中提取出微小目标, 设计了一种倒置翻转式的检测方式, 通过高清数字摄像机获取瓶装酒液的视频序列, 采用一种改进的二次差分方法, 获取瓶装酒液内可能存在的运动目标. 根据气泡和可见异物的形态特征进行分类, 判断出酒液中是否含有杂质. 实验验证了所提方法的有效性.

关键词: 机器视觉; 运动目标; 倒置翻转; 杂质检测

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2019)02-0235-06

Bottled liquor impurities detecting based on machine-vision

SHAO Zhi-Min, ZHANG Yi, ZHANG Wei-Hua, ZHOU Ji-Liu

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A method for detecting bottled liquor impurities based on machine vision was introduced. In order to extract small detection targets from a complex image, an inverted flipping detection method was designed. A high-resolution digital video camera was used to acquire the video sequence of the bottled liquor. After that, an improved second-difference method was utilized to detect possible tiny moving targets in the liquid. Morphological characteristics of the bubbles and visible impurities were used to estimate whether the liquor contains impurities. The experiments demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Machine vision; Moving targets; Inverted flipping; Impurities detection

1 引言

我国是世界三大酒文化古国之一, 白酒在我国已经发展了几千年, 历史悠久享誉中外^[1]. 据统计, 目前国内有 37000 多家酒企, 大中型企业占 1.49%, 中型企业占 8.90%^[2], 因此存在许多小酒企, 产量大以及覆盖面广而导致产品的质量不能得到有效的监管. 白酒在我国的消费市场有巨大的潜力和广阔的基础, 产量逐年增长, 每年都有数百万吨的消费量^[2], 近些年, 随着消费者对产品愈来愈高的质量要求, 社会对白酒安全问题的关注度也愈

来愈高, 特别是对于瓶装白酒的安全质量问题. 在瓶装白酒整个生产过程中, 由于其工艺、封装技术等多方面原因, 可能导致某些杂质出现在瓶装白酒中, 如由于过滤装置故障或者洗瓶用水不当, 导致活性炭等黑色杂质进入酒液, 由于洗瓶时发生碰撞导致玻璃碎屑混入酒液中, 由于未清除干净吸附在瓶盖杂质导致其进入酒液. 酒液中出现的杂质影响的不仅仅是制造企业的形象和用户的消费体验^[3], 与此同时一些杂质的混入还可能对消费者的身体健康带来极大的危害^[4].

现有国内外液体杂质检测方法可大致分为人

收稿日期: 2018-06-05

基金项目: 川大-泸州战略合作资金项目(2015CDLZ-G22); 国家自然科学基金(61671312); 四川省科技计划项目(2018HH0070)

作者简介: 邵志敏(1993-), 男, 四川成都人, 硕士生, 研究方向为计算机视觉. E-mail: 2017223040019@stu.scu.edu.cn

通讯作者: 张意. E-mail: yzhang@scu.edu.cn.

工灯检、半自动灯检、激光射线检测、光—电检测、机器视觉检测^[5]等方法。基于机器视觉的检测方法由于其检测精度高等优点在国外发达国家被广泛应用在饮料酒和医药检测等领域,比如矿泉水、啤酒、口服液等液体的检测。目前国内对瓶装液体杂质检测方法理论研究和设备开发的报道非常少,而针对基于机器视觉的瓶装白酒杂质的检测研究,据我们所知,在国内还处于空白阶段,针对该问题本文提出了一种检测方法,重点研究圆形瓶装白酒液体杂质检测。

基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测,摒弃了传统工业视觉系统对单帧图像的检测方式,采用高清数字摄像机获取多帧连续图像完成检测^[6],图像由视频得到并且视频背景图像基本是不变的^[7]。经过多次的测试实验,本文提出的检测光源和照明方式,有利于提高获取多帧连续图像的质量。相对于旋转急停设计,本文给出了一种倒置翻转的机械设计方式,能够减少由于酒液的运动产生的气泡,提出一种改进的二次差分算法,由于序列图像在空间和时间上具有连续性^[8],从而该算法能够解决在诸多的干扰背景下分割出细小目标的这一问题。最后针对可见杂质与气泡的形状特点进行分类,完成瓶装白酒的杂质检测。

2 检测原理与算法

2.1 检测流程

瓶装白酒杂质检测主要依据机器视觉原理,利用高清摄像机获取的瓶装白酒序列图像,判断瓶内液体是否含有玻璃屑、纤维和黑渣等可见杂质(中国药典 2015 版中规定可见不溶性杂质的粒径或长度通常大于 $50\ \mu\text{m}$)。

以瓶装白酒进入黑色杂质检测区域进行检测为例,本文提出的瓶装白酒杂质检测算法的基本检测流程如下:

(1) 获取序列图像。酒瓶瓶口垂直向下进入检测区域时,采用倒置翻转的方式(如图 1 所示),使酒液和可见杂质发生相对运动,通过摄像机获取白酒序列图像;

(2) 图像预处理。采用 Gamma 校正以及改进的均值滤波等方法,以调整获取序列图像对比度,同时滤除部分噪声;

(3) 采用改进的二次差分算法提取运动目标;

(4) 获取运动目标轮廓。根据目标轮廓的特性,检测是否存在黑色可见异物,存在则剔除,否则

进入白色杂质检测区域进行检测。白色杂质区域检测所采用的检测算法和检测流程与黑色杂质检测相同,只是光学成像方式以及算法中部分参数设置不同,检测算法流程图如图 2 所示。

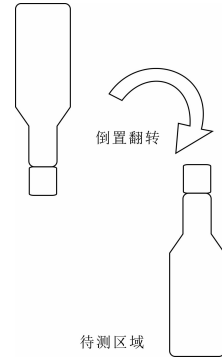


图 1 翻转倒置示意图

Fig. 1 Flip inverted schematic

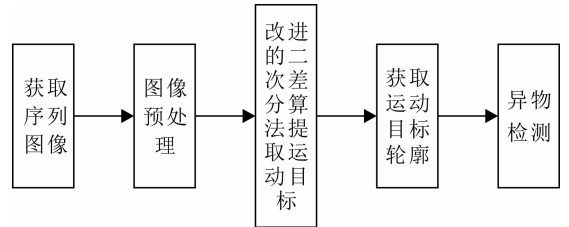


图 2 杂质检测流程图

Fig. 2 Flow chart of impurity detection

2.2 光学成像与图像获取

根据光学成像方式的不同可以把杂质分为两大类:白色杂质和黑色杂质。黑色杂质主要有铝屑、毛发和深色纤维等;白色杂质主要有玻屑、白色纤维等。要快速、准确地完成杂质检测,其中合理的光源以及光源的照明方式是关键之一,我们采用 LED 光源作为成像系统的光源,LED 光源的优点包括使用寿命长、发热少、响应速度快、形状多样等^[9]。

采用两个检测工位和两种照明方式:工位(a)的检测目标是黑色可见杂质,采用平板 LED 透射成像,所获得的序列图像背景为白色,杂质由于遮挡了光线而呈黑色;工位(b)的检测目标是白色可见杂质。因被测酒瓶为光滑的圆形玻璃容器,其侧面有很强的反光效应,采用黑背景成像方式,可以减少图像上形成的亮斑,避免有用信息的丢失,更利于溶液中微粒和异物的检测识别。因此,在白酒瓶底采用平板 LED 作为光源,白酒瓶背面加上黑色漫反射遮光板作为背景,利用酒液中杂质对光的折射作用,形成白色杂质黑色背景图像。两个检测工位的光路图如图 3 所示。

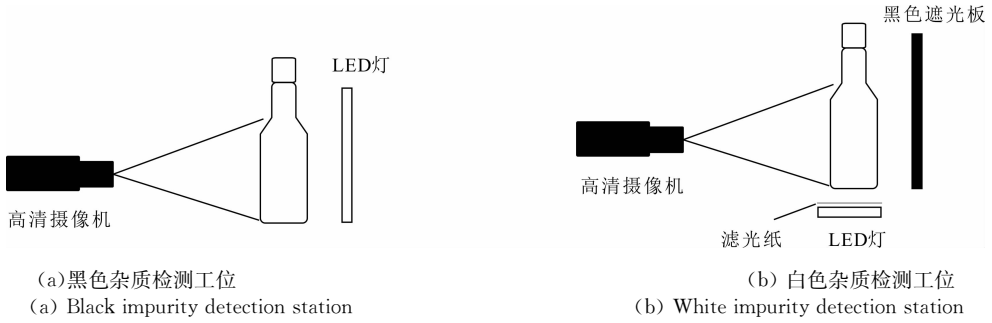


图 3 检测工位光路示意图
Fig. 3 Optical path of detection station schematic

2.3 可见杂质检测

酒液杂质检测是机器视觉和图像处理在实际生产上的典型应用. 在瓶装白酒检测中, 由于可见异物的多样性和随机性^[10], 同时瓶体本身存在的玻璃气泡、花纹、刻纹和外壁吸附的杂质等都可能产生干扰, 因而可见杂质检测是图像处理的核心部分, 同时也是技术难点.

2.3.1 图像预处理 图像预处理的主要目的是滤除图像中的无关信息, 恢复有用的真实信息^[11]. 首先我们对获得的彩色序列图像进行 Gamma 校正, 然后再采用一种改进的均值滤波算法, 保证在滤除无关信息的同时能够保留待检测目标. 我们在实验中所用的瓶装白酒为某品牌的 125 mL 的圆形瓶装酒, 由于圆形玻璃瓶的特殊形状, 当 LED 等照射到瓶身时所发生光的反射以及折射效应, 使瓶壁

周围形成高亮区域, 为减少这种效应对可见异物检测结果的影响, 我们采用 Gamma 校正降低高亮区域的对比度.

$$V_{out} = AV_{in}^{\gamma} \quad (1)$$

通常情况下常数 $A=1$, 输入输出在 $0\sim 1$ 范围内, Gamma 因子 $\gamma < 1$ 时对比度增强, 图像整体灰度值变大, $\gamma > 1$ 时对比度降低, 整体灰度值变小. V_{out} , V_{in} 分别表示输出和输入图像.

图像采集时可能受到脉冲信号的干扰, 这里采用一种改进的均值滤波算法来滤除噪声. 经过 Gamma 校正后的彩色图像转化为灰度图像, $X = [x(i, j)]_{M \times N}$ 表示输入图像, 其中 $x(i, j)$ 表示图像灰度值矩阵中 (i, j) 点处像素的灰度值. $W_n(i, j)$ 代表中心像素在 (i, j) , 大小为 $n \times n$ 的一个窗口, 在实际实验过程中 n 取 3. 则

$$W_3 = \begin{bmatrix} x(i-1, j-1) & x(i-1, j) & x(i-1, j+1) \\ x(i, j-1) & x(i, j) & x(i, j+1) \\ x(i+1, j) & x(i+1, j) & x(i+1, j+1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

令 $G = [y(i, j)]_{M \times N}$ 表示滤波处理后的输出图像, $D(*)$ 表示采用的滤波器, 则

$$x(i, j) = D(W_n(i, j)) \quad (3)$$

滤波器的具体实现过程如下: 首先用 $W_3(i, j)$ 在 $X = [x(i, j)]_{M \times N}$ 中扫描, 读取 $W_3(i, j)$ 中各个像素的灰度值 $x(i, j)$, 并将灰度值按大小排序, 取灰度值中的最大值 MAX 和最小值 MIN , 若 $x(i, j) = MAX$ 或 $x(i, j) = MIN$, 则令相乘权值为 0. 然后根据下式

$$\begin{aligned} A = & x_1(i, j) \times m_1 + x_2(i, j) \times m_2 \\ & + x_3(i, j) \times m_3 + x_4(i, j) \times m_4 \\ & + x_5(i, j) \times m_3 + x_6(i, j) \times m_2 \\ & + x_7(i, j) \times m_1 \end{aligned} \quad (4)$$

得到 A , 其中, $x_1(i, j), x_2(i, j), \dots, x_7(i, j)$ 的灰度值从小到大排列. 权值 m 的取值规则为: m_4 取系

数最大, m_3, m_2, m_1 逐渐减小^[12]. 实验中取 $m_4 = 0.3, m_3 = 0.2, m_2 = 0.1, m_1 = 0.05$.

最后, 令 $Z = (1 / (2m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)) \times A$, 把 Z 值赋给模板像素中心点 $x(i, j) = Z$. 图像经过传统的均值滤波后, 噪声没有得到抑制, 图像很不清晰, 而改进的均值滤波, 可以在有效地去除噪声同时, 较好的保持细节信息, 且两种算法对于检测结果的效果存在明显不同, 如图 4 所示.

2.3.2 运动目标提取 由于白酒瓶身存在花纹、吸附的杂质以及在生产运输过程中因为碰撞等原因产生的细纹、刻度等诸多类型的干扰, 使得检测酒液中的杂质变得困难. 因而在进行瓶装白酒杂质检测时, 首先使瓶体倒置翻转, 酒瓶存在的干扰在序列图像中相对静止, 而瓶内的液体以及可能存在的可见杂质因瓶体的翻转倒置发生运动, 从而我们

可以通过得到的序列图像分离出微小的运动目标.

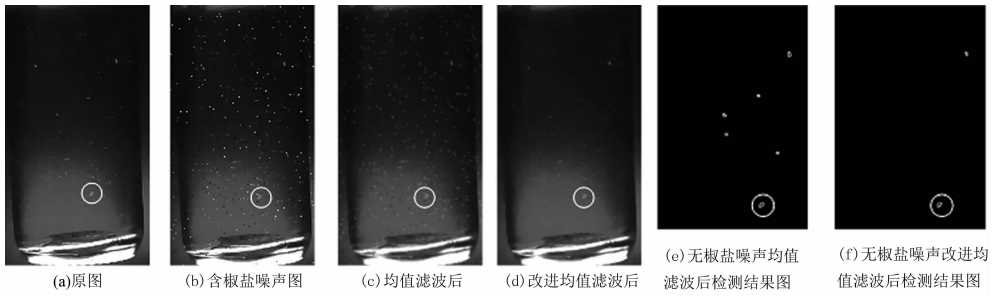


图 4 均值及改进均值滤波算法处理结果对比图

Fig. 4 Mean and improved mean filtering algorithm processing results comparison chart

另外,酒液中可能存在的可见杂质由于大小、形状和数量的不确定性,没有用于构造检测模板的先验知识^[13,14],因此运用特征信息^[15]进行分割是极其困难的.我们采用一种改进的二次差分算法,即隔帧图像二次差分与能量积累相结合,来提取运动目标,流程如图 5 所示.

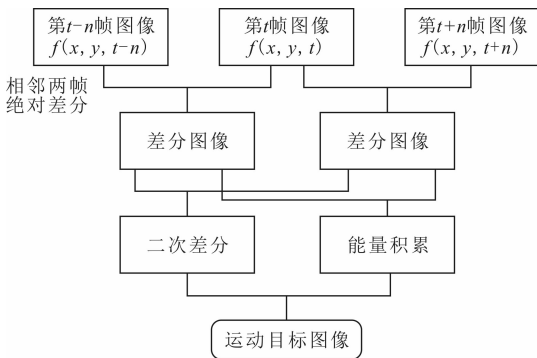


图 5 运动目标提取流程图

Fig. 5 Moving target extraction flow chart

在检测工位获取的连续帧图像中,选取三帧酒液序列图像 $f(x, y, t-n), f(x, y, t), (x, y, t+n)$, 每帧图像间隔 n , 由下式分别计算出相邻两帧的绝对差灰度图像

$$d_{(t-n,t)}(x, y) = |f(x, y, t) - f(x, y, t-n)| \quad (5)$$

$$d_{(t,t+n)}(x, y) = |f(x, y, t) - f(x, y, t+n)| \quad (6)$$

可以认为在 n 选取不太大的情况下,连续帧图像的背景是不变的,在差分图像中只有运动微粒能够显示出来. $d_{(t-n,t)}(x, y)$ 表示保留了第 $t-n$ 和第 t 帧中的运动目标图像, $d_{(t,t+n)}(x, y)$ 表示保留了第 t 和第 $t+n$ 帧中的运动目标图像,对差分后的图像再进行二次差分,如下式.

$$D(x, y) = |d_{(t-n,t)}(x, y) - d_{(t,t+n)}(x, y)| \quad (7)$$

其中, $D(x, y)$ 表示保留了第 $t-n$ 和第 $t+n$ 中的运动目标图像,再按下式对两幅差分图像做能量积累操作,以增强运动微粒对应像素的能量.

$$E(x, y) = d_{(t-n,t)}(x, y) + d_{(t,t+n)}(x, y) \quad (8)$$

其中, $E(x, y)$ 表示保留了三帧图像的运动目标图像,其中第 t 帧的运动目标像素得到增强. 最后, $D(x, y)$ 和 $E(x, y)$ 相减便可以得到微粒的灰度图像.

$$F(x, y) = E(x, y) - D(x, y) \quad (9)$$

其中, $F(x, y)$ 中仅保留了第 t 帧增强的运动目标,极大的方便了后续的处理.

将我们提出的改进的二次差分算法与传统差分算法以及二次差分算法进行了实验对比,如图 6 所示,可以看出使用改进的二次差分算法以后,极大的保留了第 t 帧图像中的运动目标并且所提取的运动目标的能量(即灰度值)也比传统方法更高,有效地分离出运动目标. 图中标定出了部分运动目标.

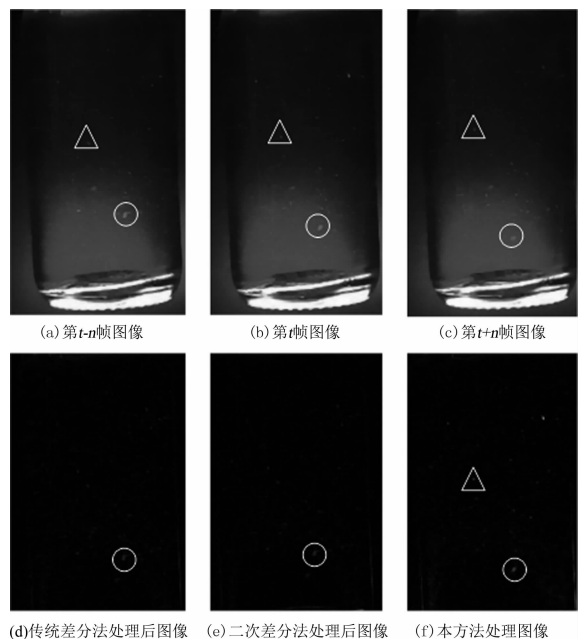


图 6 传统及改进二次差分算法处理结果对比图

Fig. 6 Comparison of traditional and improved second-order difference algorithm processing results

2.3.3 异物检测 采用 Ostu's 最大类间方差法对差分后的图像进行二值化操作, 将背景和目标有效的分离开来. 然后我们运用形态学法, 采用一个矩形框来对二值图像进行开运算去除二值化后孤立的点, 其中腐蚀去除目标区域的不连续空洞, 但物体面积也会减小, 然后通过膨胀把原图像中像素值给恢复回来. 其中进行的形态学开操作可以去除较小的点, 为后续的检验判断节省时间.

在瓶装白酒液体杂质检测过程中, 由于倒置翻转等操作, 不可避免会产生气泡. 然而在提取运动目标的过程中, 由于气泡和其他可见杂质的运动特性的区别不太明显, 因此无法根据运动特性来去除图像中的气泡, 所以在之前得到的运动目标中, 可能含有气泡, 增加了检测判断的难度.

根据气泡和可见杂质的形状特点, 从运动目标长、宽、周长、面积、长宽比等方面考察分析. 长宽比是气泡和可见杂质在形状上最佳的分类方式^[9]. 设 L 表示微粒的最大长度, W 表示微粒的最小宽度, $E=L/W$ 表示最大长度和最小宽度的比例, 若为气泡, 则长宽基本相等, E 约为 1. 而可见异物为不规则形状, E 大都在 1.5 以上. 因此在二值化操作以及形态学开运算除去较小的亮点后, 计算剩下的目标点的 E 值, 根据 E 值的大小区分气泡和杂质 (本文实验中去除 E 值小于 1.2 的目标点), 判断是否为合格品, 确定出面积最大的杂质并进行标注.

3 实验

为了验证本论文提出方法的可行性, 我们在 CPU Inter core i5-6500(3.2 GHz), 内存 4 GB 硬件系统及 Visual Studio 2013 和 OpenCV 环境下, 对某品牌下 125 mL 圆形透明玻璃瓶装白酒进行了检测. 由于实验条件的限制, 主要针对在生产过程中可能引入产生的玻璃碎屑、纤维、白色絮状物及黑渣等可见异物杂质进行了实验验证, 对每种类型的杂质重复检测 50 次 (每次倒置翻转使得杂质的运动轨迹以及在摄像机中成像位置发生改变) 来进行测试. 检测结果如表 1 所示.

表 1 几种类型可见杂质检测结果

Tab. 1 Inspection result about some visible impurities

异物类型	漏检量	漏检率(%)
黑渣	1	2
白色纤维	2	4
絮状物	1	2
玻璃碎屑	5	10

有些黑渣漂浮在液面而出现漏检; 玻璃碎屑的漏检率相对最高, 主要原因在于, 当玻璃碎屑为微小片状物时, 可能吸附在瓶壁, 以及条状的玻璃碎屑成像角度正好在其端面时, 小于 $50 \mu\text{m}$, 从而产生漏检; 纤维和絮状物产生漏检主要是因为可能吸附在瓶盖或者是在序列图像中位移微小, 检测算法当作瓶壁干扰而漏检.

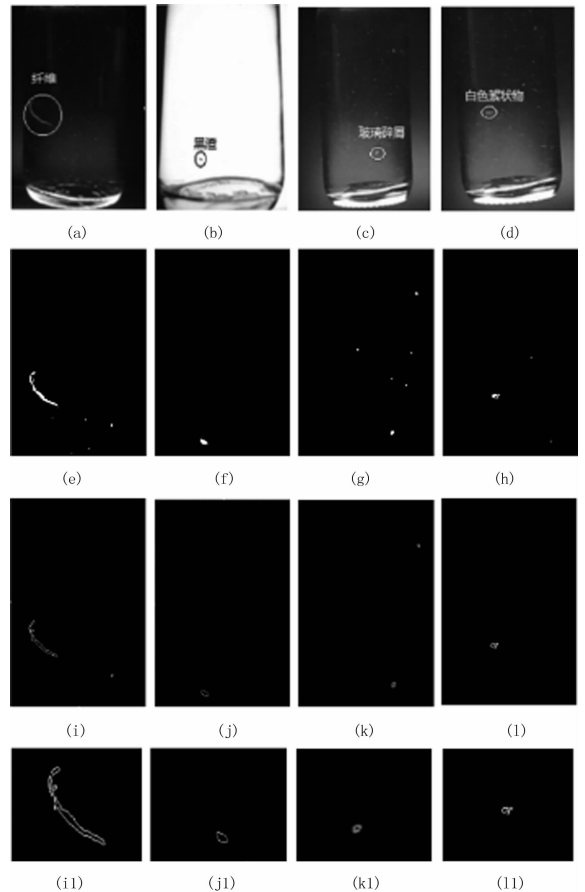


图 7 实验效果图

Fig. 7 Experimental results

图 7 中的(a)~(d) 四幅图分别是含有白色纤维、黑渣、玻璃碎屑和白色絮状物的杂质在检测工位下的成像原图, (e)~(h) 分别是(a)~(d) 四幅图和其各自的前后相邻两帧图像经过滤波、二次差分以及阈值处理等操作得到的二值图像, (i)~(l) 分别是对(e)~(h) 进行轮廓提取, 然后通过计算最大长和最小宽的比值, 而后经过分类去除气泡干扰得到的结果图. 黑色异物检测工位采用背部给光, 很大程度上滤除了气泡和瓶壁的干扰, 因此能够明显的检测出杂质, 可以从(b), (f), (j) 三幅图中看出; 白色异物检测工位底部给光, 气泡的干扰不能很好的被滤除, 二值图像中可以看出通过处理后

还存在气泡,并且由于某些气泡在急速上升时形状发生变化等其它干扰,因此可以看到(i),(k)两图中还存在气泡干扰,最后的(i1),(j1),(k1),(l1)四幅图显示的是系统判断标注出的最大可见杂质的放大图像.可以看出本文所提出的基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测方法用于检测瓶装白酒中存在的可见异物具有可行性.

4 结 论

液体杂质检测在啤酒,口服液等液体检测领域中都有着广泛的应用,但是目前国内在这方面的应用相对较少,运用的检测方法也比较传统,本文立足于白酒杂质检测的实际应用,以填补目前市面上基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测的空缺,提出了一种基于视频图像分析的瓶装白酒杂质检测方法,具有一定的先进性.通过对瓶装白酒中可能存在的杂质类型进行分析以及相关实验,验证了本文方法的可行性.实验结果证明本文方法能够提高自动化灯检的精度,降低劳动成本,对提高白酒生产的经济效益有一定意义.

同时,由于实验条件的限制,本文方法在实际应用时,还存在许多地方需要改进,如,如何设计一套高精度的刚性机械装置来进行倒置翻转,以减少抖动并且保持每次成像位置保持一致;可以考虑增加实验的样本数,将 SVM 等基于学习的方法用到异物检测环节中,进一步提高检测精度;该方法对不同的酒瓶类型无法兼容,目前只支持透明瓶身,在绿色或者棕色瓶身时,算法性能大大下降.在未来的工作当中,以上问题均需进一步考虑解决.

参考文献:

[1] 徐发. 我国白酒行业现状和发展趋势分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
[2] 田聪, 王建强. 我国白酒行业发展现状及趋势分析

[J]. 北方经济, 2012(Z1): 108.
[3] 宋丽. 白酒中白色絮状悬浮沉淀产生原因及处理方法[J]. 酿酒科技, 2011, 2011: 55.
[4] 陈敏. 白酒包装质量检验创新因素分析[J]. 中国高新区, 2018, 11: 25.
[5] 周博文. 保健酒智能视觉检测机器人技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
[6] 李子龙, 鲍蓉, 刘伟铭. 基于复模糊逻辑系统的运动目标检测方法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2017, 38: 677.
[7] 李若晨, 周刚, 琚生根. 一种组合核函数的自适应目标跟踪算法[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2017, 54: 55.
[8] Zhao Y, Zhang Z, Gao Z. A simple and workable moving objects segmentation method [C]// Proceedings of the 46th Electronics in Marine, Elmar International Symposium. [s. l.]: IEEE, 2004.
[9] 张巧芬, 高健. 机器视觉中照明技术的研究进展[J]. 照明工程学报, 2011, 22: 31.
[10] 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: 53.
[11] 吕俊瑞, 罗学刚, 岐世峰. 基于模糊度量视觉特征的非局部均值去噪[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2018, 30: 408.
[12] 李秀峰, 苏兰海, 荣慧芳, 等. 改进均值滤波算法及应用研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24: 235.
[13] Fan J, Zhu X, Wu L. Automatic model-based semantic object extraction algorithm[J]. IEEE Trans Circuits Syst Vid, 2011, 11: 1073.
[14] Schoepflin T, Chalana V, Haynor D R, *et al.* Video object tracking with a sequential hierarchy of template deformations[J]. IEEE Trans Circuits Syst Vid, 2011, 11: 1171.
[15] 孙健钧, 赵岩, 王世刚. 基于图像梯度信息强化的 SIFT 特征匹配算法改进[J]. 吉林大学学报: 理学版, 2018, 56: 82.

引用本文格式:

中文: 邵志敏, 张意, 张卫华, 等. 基于机器视觉的瓶装白酒杂质检测 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2019, 56: 235.

英文: Shao Z M, Zhang Y, Zhang W H, *et al.* Bottled liquor impurities detecting based on machine-vision [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2019, 56: 235.