

## 基于机器视觉技术的瓶盖划痕检测

杨健, 辛浪, 豆昌军  
(成都理工大学, 成都 610059)

**摘要:** **目的** 针对当前国内瓶盖划痕检测算法在较复杂背景条件下, 存在精度不高、瓶盖划痕图像灰度值变化剧烈, 且影响因素较多, 无法准确定位检测的问题, 提出一种基于机器视觉技术的瓶盖划痕检测方案, 以实现在对比度较低背景下对细微划痕快速准确的检测。**方法** 对标准图像作预处理创建模板, 对样本图像进行滤波降噪、基于形状的模板匹配、提取感兴趣区域 (ROI)、高斯差分滤波增强划痕拉开对比度、二维 Otsu 阈值分割、形态学处理、特征提取划痕。通过获取 300 幅瓶盖表面图像, 与差影法、大津法、人工检测法进行了划痕检测对比实验。**结果** 实验结果表明, 提出的算法能快速、准确、高效地提取瓶盖划痕, 检测 1 幅图片的平均时间为 113 ms, 检测准确率为 98.3%。**结论** 该方案与人工检测、差影法、大津法相比, 检测精度更高、速度更快、鲁棒性更好, 可以满足工业上的生产需求。

**关键词:** 划痕检测; 机器视觉; 梯度双边滤波; 模板匹配; 高斯差分滤波; 二维 Otsu 阈值分割

**中图分类号:** TP391.41; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)13-0227-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.033

## Bottle Cap Scratch Detection Based on Machine Vision Technology

YANG Jian, XIN Lang, DOU Chang-jun  
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a bottle cap scratch detection scheme based on machine vision technology so as to achieve fast and accurate detection of fine scratches in a low contrast background since the current domestic bottle cap scratch detection methods do not have high precision under the complicated background conditions, the gray value of the bottle scratch image is changed sharply, and many influencing factors cannot be accurately positioned. The standard image was preprocessed to create the template, and the sample image was filtered to reduce noise. The template was matched according to shape, the region of interest (ROI) was extracted, Gaussian difference filtering was used to enhance the contrast of the scratch, the two-dimensional Otsu threshold segmentation was performed, morphological processing was conducted, and scratches were extracted according to features. By obtaining the image of the surface of 300 caps, the methods of aberration, Dajin and manual detection were used to compare the scratches. The experimental results showed that the proposed algorithm could extract the cap scratches quickly, accurately and efficiently. The average time for detecting a picture was 113 ms, and the detection accuracy was 98.3%. Compared with manual detection, differential image method and Dajin method, the scheme has higher detection precision, faster speed and better robustness, and meets industrial production requirements.

**KEY WORDS:** scratch detection; machine vision; gradient bilateral filtering; template matching; Gaussian difference filtering; two-dimensional Otsu threshold segmentation

收稿日期: 2019-04-01

作者简介: 杨健 (1972—), 女, 博士, 成都理工大学副教授, 主要研究方向为机电一体化技术、数字制造装备与技术、数控技术。

近年来,随着我国经济的大力发展,瓶罐生产广泛应用于医药、饮料、食品行业,需求量越来越大,因此对瓶罐的质量提出了更高的要求,瓶盖作为瓶罐的重要组成部分,易受载荷及人为因素的作用,在其表面难以避免产生各种划痕缺陷甚至变形,严重影响美观和质量,因此,及时发现瓶盖缺陷并反馈剔除,对生产厂家的质量保证至关重要。传统的瓶盖缺陷检测采用人工检测的方式,其效率低下,工作强度高,准确度也有待提高,同时还常受心理和生理因素的影响。

随着计算机技术和图像处理算法的发展,利用机器视觉技术代替人眼进行缺陷检测会大大地提高效率,提高准确度,减少工作强度。海潮<sup>[1]</sup>等人提出基于 Blob 分析提取目标、Otsu 全局阈值分割实现缺陷检测的方法,但当目标的相对背景较小时,该算法检测效果不佳,对噪声的抗干扰能力较差。曾庆跃<sup>[2]</sup>等人提出了基于 Hough 变换提取直线划痕的方法,该方法无法克服光照和对比度低带来的检测效果不理想的影响。吴珊<sup>[3]</sup>等人采用先导滤波算法去除噪声同时保留图像细节,并且提出改进线状缺陷检测算法,实现了划痕提取,该方法克服复杂背景、低对比度带来的无法精确提取划痕的问题,但对于较小、较弱的划痕检测效果并不理想。彭赞<sup>[4]</sup>等人设计基于 HALCON 的点胶质量检测系统,采用均值滤波算法去除多余噪声,模板匹配定位,全局阈值分割,形态学方法进行质量检测,但由于该方法基于均值滤波和全局阈值分割适用于环境稳定、目标与背景存在明显灰度差的场合,当环境复杂和缺陷与背景灰度值变化不大时,检测的有效性不高。孙晓娜<sup>[5]</sup>等人提出用基于灰度值模板匹配算法提取灰度特征最大相关性,与设置好的阈值比较提取缺陷,由于基于灰度值模板匹配在光照保持不变时,相似度函数的度量结果非常好,一旦光照发生剧烈变化,灰度值发生改变,相似度函数的值也会有很大变化。

由于实际环境复杂,干扰因素较多,以上方法容易出现划痕等缺陷的漏检、误检,瓶盖检测仍存在以下难点:光照变化对缺陷检测影响较大;瓶盖表面缺陷形状各异、大小不同、分布不规律。

针对以上难点,刘晓杰<sup>[6]</sup>等人提出差影法检测模型和分段线性灰度结合灰度共生矩阵换算熵算法,完成表面划痕检测,但是此方法无法克服光照变化、噪声带来的影响。李克斌<sup>[7]</sup>提出高、低角度打光相结合方法提取感兴趣区域,构建划痕形态学的中值滤波核获取准确的背景图像,经背景差分提取划痕;采用基于方向梯度的改进区域生长算法实现划痕连通,最后根据特征置信度加权判定划痕缺陷。李晨<sup>[8]</sup>等人提出基于频域滤波及背景差分的双阈值算法处理划痕,通过频率域的滤波处理,排除高频噪声,根据几何特征

等提取弱划痕图像中的复杂背景,经差分处理后,提取弱划痕并增强对比度,最后与强划痕信息一同通过正常阈值进行后续划痕的特征提取。冯爱新<sup>[9]</sup>等人提出通过二分法逼近涂层失效的激光密度范围的优化方法,采用二分法逼近激光功率密度范围,并通过功率计在线检测确定涂层的失效阈值,从而提高划痕检测效率。周琳<sup>[10]</sup>等人提出自适应二叉树算法提取划痕。通过图像投影定位缺陷区域,聚类法划分划痕领域灰度,自适应阈值算法将相邻划痕连接,实现了划痕提取。

## 1 算法概述

针对瓶盖缺陷检测的难点,提出一种基于机器视觉技术的划痕检测方法。首先,对采集的模板图像进行双边滤波去噪,并进行自适应动态阈值分割、形态学处理、特征选择以获得目标区域,以该区域所在的区域作为模板。然后对样本图像进行双边滤波去噪,采用图像金字塔搜索算法加快基于形状的模板匹配,并提取感兴趣区域(ROI)。对划痕所在的区域图像采用高斯差分滤波进行细微划痕增强,以减弱光照变化和对比度较低带来的干扰。最后通过对增强的图像进行二维 Otsu 阈值分割、形态学处理进行划痕的提取。该算法的工作流程见图 1。

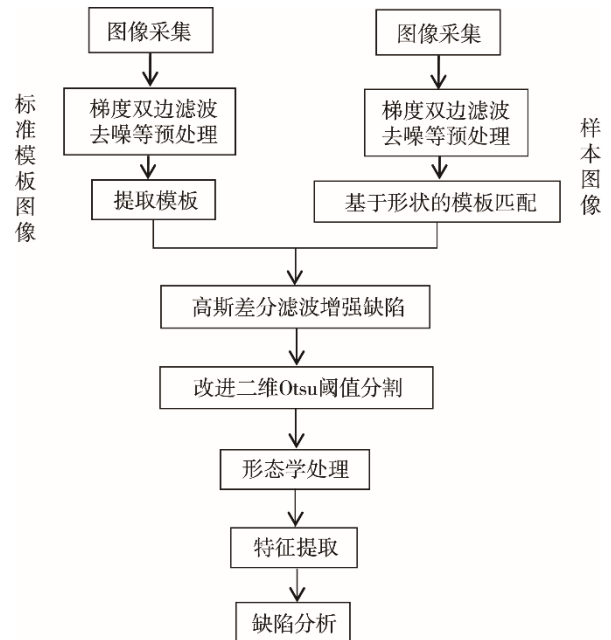


图 1 检测流程

Fig.1 Testing process

## 2 瓶盖划痕检测算法主要步骤

### 2.1 梯度双边滤波

在获取瓶盖图像时,由于灰尘、光照等环境影响

因素和瓶盖本身特性，易使采集图像存在噪声。噪声的存在将会影响瓶盖表面划痕的提取，严重的将会导致漏检、误检，影响检测正确率。为此，在对表面缺陷图像进行检测时，必须要进行去噪处理。

瓶盖缺陷检测在滤波处理时大都使用传统的均值滤波、中值滤波、高斯滤波算法，使用它们的缺点是处理细微、小面积的划痕时无法考虑噪声滤除时对划痕边缘像素的影响。虽然可以除掉相当一部分的噪声，但也会同时造成边缘模糊。

传统的双边滤波<sup>[11]</sup>是一种非线性滤波方法，采用局部加权平均的方法获得复原后的图像像素值，具有良好的去噪效果。该方法是结合图像空间领域和像素相似度的处理方式，一定程度上克服了传统滤波在去噪时忽略边缘的灰度信息的问题。传统双边滤波表达式为：

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(m,n)Z_r(m,n)g(m,n)}{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(m,n)Z_r(m,n)} \quad (1)$$

式中： $f(x, y)$  为滤波后的图像； $H(x, y)$  为中心点  $(x, y)$  的邻域； $g(m, n)$  是该领域内的一个像素点； $Z_s(m, n)$  是度量邻域中心点与邻近点的空间相似度函数，其表达式为：

$$Z_s(m, n) = \exp\left[-\frac{(|m-x|^2 + |n-y|^2)}{2\sigma_s^2}\right] \quad (2)$$

$Z_r(m, n)$  是度量亮度相似度函数，其表达式为：

$$Z_r(m, n) = \exp\left[-\frac{(|g(m, n) - g(x, y)|)^2}{2\sigma_r^2}\right] \quad (3)$$

式中： $g(x, y)$  是被噪声污染的图像； $\sigma_s$  与  $\sigma_r$  为滤波标准差值，其值决定双边滤波的性能。

梯度双边滤波<sup>[12]</sup>就是用度量梯度相似度的函数取代亮度相似度函数，通过空间相似度和梯度相似度函数进行加权平均。梯度双边滤波的表达式为：

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(m,n)Z_g(m,n)g(m,n)}{\sum_{(m,n) \in H(x,y)} Z_s(m,n)Z_g(m,n)} \quad (4)$$

式中： $Z_g(m, n)$  是度量梯度相似度函数，其表达式为：

$$Z_g(m, n) = \exp\left[-\frac{\left|\frac{\partial g(x, y)}{\partial x} - \frac{\partial g(m, n)}{\partial x}\right|^2 + \left|\frac{\partial g(x, y)}{\partial y} - \frac{\partial g(m, n)}{\partial y}\right|^2}{2\sigma_g^2}\right] \quad (5)$$

由式 (1—5) 可以得到梯度双边滤波相比传统滤波方法，在去噪同时能更好保留划痕边缘细节。

## 2.2 基于形状的模板匹配定位

在实际定位中通常有 Blob 分析和模板匹配法，

Blob 分析是采用二值化、形态学、形状特征选择等进行团块的提取、逼近，其特点是对像素值的操作易受环境光影响，精度较低。模板匹配法是用提取的模板在图像中搜寻，找到最匹配的位置作为输出。主要包括基于灰度值模板匹配和基于形状的模板匹配，前者是对模板的灰度值与样本图像灰度值进行相似性度量，优点是当光照保持不变时相似性度量的结果好，当光照发生变化、环境不稳定时，相似性度量返回值差距大。然而基于形状模板匹配方法是不随光照变换而变化的方法，优点是精度高，支持非线性光照变化。

创建模板

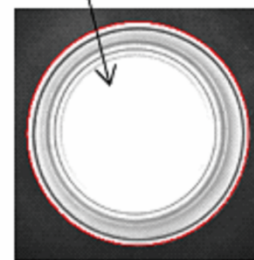


图 2 模板  
Fig.2 Template

模板定位区域

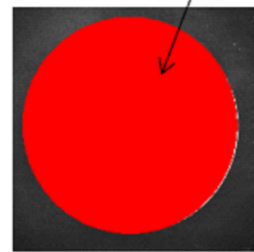


图 3 匹配定位  
Fig.3 Matching and positioning

## 2.3 高斯差分滤波

基于形状的模板匹配定位 ROI 后，由于工业现场采集的图像通常含有点状的高斯噪声，瓶盖图像也存在表面不平整、光照不均等背景信息。划痕信息通常与这些背景信息对比度不高，若直接在空间域进行阈值分割，将导致划痕信息提取不全甚至提取不到。高斯差分滤波<sup>[13]</sup> (DOG) 见式 (6)，可以看成 1 个窄高斯滤波函数减去 1 个宽高斯函数，是墨西哥小帽的近似。

$$f(u, v, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) - \frac{1}{2\pi k^2\sigma^2} \exp\left(-\frac{u^2 + v^2}{2k^2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

式中： $\sigma$  是标准差； $k$  为高斯函数核的半径之比，大约为 5：1。利用高斯差分滤波不仅可以抑制图像背景低对比度、噪声，还可以显著提升划痕的对比度，见图 4（左侧为部分原图划痕，右侧是对应的高斯差分滤波后的划痕）。

### 2.4 改进的二维 Otsu 阈值分割

图像分割是将图像分割成若干个具有独特性质的区域，并提取出感兴趣目标的技术和过程。现有的图像分割主要分为以下几类：基于阈值的分割方法、基于边缘的分割方法及基于特定理论的分割方法。由于经过高斯差分滤波后的瓶盖划痕与背景对比度增大，基于阈值的分割方法方便、高效的特点，采用基于阈值的分割方法。在文中实验环境下，基于最大类间方差法(Otsu)有一定的局限性，一维的 Otsu 只考虑了图像的灰度信息。采集图像的灰度直方图不具有明显双峰特点，照明不均匀反光、有噪声或背景复杂等因素，图像分割没有合适的单一阈值，若仍然采取单一的阈值，可能会导致前景和背景错误划分。

二维的 Otsu 在传统的大津法基础上进行了改进，充分考虑了图像灰度值和领域平均灰度值，提高了抗噪能力，但是二维 Otsu 是从图像灰度值和领域平均灰度值 2 个维度进行分割，导致计算复杂度增加。

在此基础上采用徐超等人提出的一种改进的二维 Otsu 阈值分割算法<sup>[14]</sup>。该算法引入类间和类内方差，其思想是将二维最佳阈值  $(s, t)$  分割为 2 个一维最佳阈值  $s$  和  $t$ 。假设一幅图像  $f(x, y)$  领域均值图像为  $g(x, y)$ ，灰度级均为  $L$ ，根据提出的最佳阈值判别函数，从图像  $f(x, y)$  获得阈值  $s$  和从图像  $g(x, y)$  获得阈值  $t$ 。领域均值图像  $g(x, y)$  以  $3 \times 3$  领域均值作为像素

的灰度值，设像素的灰度值为  $i$ ，领域灰度均值为  $j$ ，总像素数为  $N$ ， $f_{ij}$  表示灰度值为  $i$ ，领域灰度均值为  $j$  的像素数目。

$$w_0 = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} \frac{f_{ij}}{N} \tag{7}$$

$$w_1 = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} \frac{f_{ij}}{N} \tag{8}$$

式中： $w_0$ ， $w_1$  分别是目标类别和背景类别的概率。

定义其类间方差为：

$$s_p = w_0(u_0 - u)^2 + w_1(u_1 - u)^2 \tag{9}$$

化简得：

$$s_p = w_0 w_1 (u_0 - u_1)^2 \tag{10}$$

定义 2 组类内方差分别为：

$$s_1 = \sum_{i=0}^s p_i (i - u_0)^2 \tag{11}$$

$$s_2 = \sum_{i=s+1}^{L-1} p_i (i - u_1)^2 \tag{12}$$

类内总方差为：

$$s_w = w_0 s_1 + w_1 s_2 \tag{13}$$

式中： $u_0$  和  $u_1$  分别是目标类别和背景类别的均值； $p_i$  表示  $i$  出现的概率； $s_p$  的值越大，类间方差越大，目标类别和背景类别分割得越好； $s_w$  为 2 类类内方差，其值越小分割效果越好。

为了综合考虑类间方差和类内方差因素的影响，提出了判别函数，类间类内方差比值法，表达式为：

$$S = \frac{s_p}{s_w} \tag{14}$$

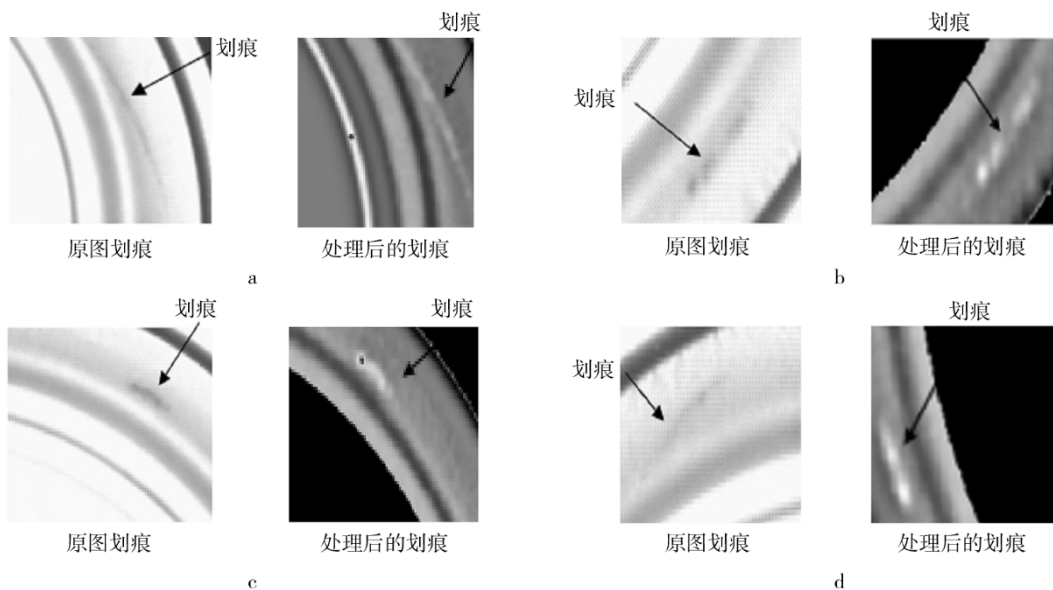


图 4 原图划痕和对应的高斯差分滤波后的划痕

Fig.4 Scratch of original image and corresponding scratch after Gaussian difference filtering

当  $S$  取得最大值,其对应的灰度值  $s$  为最佳阈值,类似可求得领域图像的最佳阈值  $t$ 。利用得到的阈值  $(s, t)$  将图像分割。利用改进的二维 Otsu 阈值分割算法得到的结果见图 5。



图 5 改进二维 Otsu 阈值分割

Fig.5 Improved two-dimensional Otsu threshold segmentation

### 3 实验结果

#### 3.1 评价方法

为了检测算法的检测效果,引入真判率  $H$ 、负判率  $X$ 、准确率  $Y$  等 3 个参数,其定义为:

$$H = \frac{H_T}{H_T + X_F} \times 100\% \quad (15)$$

$$X = \frac{X_T}{H_F + X_T} \times 100\% \quad (16)$$

$$Y = \frac{H_T + X_T}{H_T + X_F + H_F + X_T} \quad (17)$$

式中: $H$  为正确识别有划痕图像的准确率; $X$  为正确识别无划痕的准确率; $Y$  为正确识别物体表面划痕的准确率。

#### 3.2 结果分析

为了验证该算法的优越性,在工业现场随机采集 300 幅样本图像,其中无划痕图像 200 幅,划痕图像 100 幅,划痕图像中较大划痕有 62 幅,微弱划痕有 38 幅,用该文算法、人工检测、差影法、大津法进行划痕缺陷检测,文中算法识别的部分划痕缺陷见图 6,不同检测方法得到的统计结果见表 1。

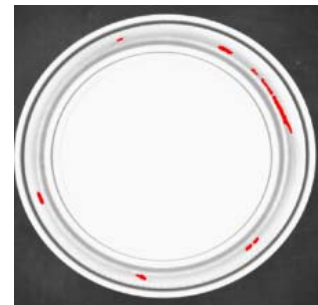


图 6 缺陷识别

Fig.6 Defect identification

表 1 不同检测方法得到的统计结果

Tab.1 Statistical results obtained by different detection methods

| 类别    | 文中算法 |     | 人工检测 |     | 差影法 |     | 大津法(一维Otsu) |     |
|-------|------|-----|------|-----|-----|-----|-------------|-----|
|       | 有划痕  | 无划痕 | 有划痕  | 无划痕 | 有划痕 | 无划痕 | 有划痕         | 无划痕 |
| 实际有划痕 | 98   | 2   | 63   | 37  | 91  | 9   | 85          | 15  |
| 实际无划痕 | 3    | 197 | 34   | 166 | 10  | 190 | 14          | 186 |

表 2 不同检测方法的性能指标

Tab.2 Performance indicators obtained by different detection methods

| 检测方法        | 真判率/% | 负判率/% | 准确率/% | 检测一幅图片平均耗时/s |
|-------------|-------|-------|-------|--------------|
| 文中算法        | 98    | 98.5  | 98.3  | 113          |
| 人工检测        | 63    | 83    | 76.3  | 1.5          |
| 差影法         | 91    | 95    | 93.7  | 132          |
| 大津法(一维Otsu) | 85    | 93    | 90.3  | 145          |

### 4 结语

该瓶盖表面划痕检测方法基于梯度双边滤波、基于形状模板匹配、高斯差分滤波、二维 Otsu 阈值分割,配合形态学处理、特征提取处理完成对瓶盖的精确检测,正确率达到 98.3%,平均耗时为 113 ms,优于差影法、大津法和人工检测法,它为在对比度较低

环境下实现罐身微弱划痕检测提供了一种可行的办法。

#### 参考文献:

[1] 海潮,赵凤霞,孙烁.基于 Blob 分析的红枣表面缺陷在线检测技术[J].食品与机械,2018,34(1):126—129.

- HAI Chao, ZHAO Feng-xia, SUN Shuo. On-line Detection Technology for Surface Defects of Jujube Based on Blob Analysis[J]. Food and Machinery, 2018, 34(1): 126—129.
- [2] 曾庆跃, 丁友东. 旧电影中基于 Hough 变换直线划痕的检测[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(4): 843—846.
- ZENG Qing-yue, DING You-dong. Detection of Straight Scratches Based on Hough Transform in Old Movies[J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(4): 843—846.
- [3] 吴珊, 陈斌, 杨溪远, 等. 卡片划痕检测关键算法设计[J]. 计算机应用, 2017(S2): 171—174.
- WU Shan, CHEN Bin, YANG Xi-yuan, et al. Key Algorithm Design for Card Scratch Detection[J]. Computer Application, 2017(S2): 171—174.
- [4] 彭赞, 刘燕子, 张冬霖. 基于 HALCON 的点胶质量检测系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 204—208.
- PENG Yun, LIU Yan-zi, ZHANG Dong-lin. Design of Dispensing Quality Detection System Based on HALCON[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 204—208.
- [5] 孙晓娜, 孙继超, 高国华. 基于视觉的乳品包装日期喷码缺陷检测技术[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 100—103.
- SUN Xiao-na, SUN Ji-chao, GAO Guo-hua. Vision-based Dairy Packaging Date Printing Defect Detection Technology[J]. Food and Machinery, 2018, 34(10): 100—103.
- [6] 刘晓杰, 罗印升, 张旻, 等. 基于机器视觉的零部件表面缺陷检测方法研究[J]. 现代电子技术, 2017, 40(24): 181—183.
- LIU Xiao-jie, LUO Yin-sheng, ZHANG Min, et al. Research on Surface Defect Detection Method of Parts Based on Machine Vision[J]. Modern Electronic Technology, 2017, 40(24): 181—183.
- [7] 李克斌, 余厚云, 周申江. 基于形态学特征的机械零件表面划痕检测[J]. 光学学报, 2018(8): 260—266.
- LI Ke-bin, YU Hou-yun, ZHOU Shen-jiang. Surface Scratch Detection of Mechanical Parts Based on Morphological Features[J]. Journal of Optics, 2018(8): 260—266.
- [8] 李晨, 杨甬英, 熊浩亮, 等. 基于滤波差分的双阈值弱划痕提取算法[J]. 强激光与粒子束, 2015, 27(7): 41—48.
- LI Chen, YANG Yong-ying, XIONG Hao-liang, et al. Double Threshold Weak Scratch Extraction Algorithm Based on Filter Difference[J]. Strong Laser and Particle Beam, 2015, 27(7): 41—48.
- [9] 冯爱新, 曹宇鹏, 叶勇, 等. 一种脉冲激光划痕检测路径优化方法与实验研究[J]. 中国激光, 2010, 37(1): 236—241.
- FENG Ai-xin, CAO Yu-peng, YE Yong, et al. A Method and Experimental Study on Pulse Laser Scratch Detection Path Optimization[J]. Chinese Laser, 2010, 37(1): 236—241.
- [10] 周琳, 杨娜. 基于自适应二叉树算法的图像划痕检测研究[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(5): 65—69.
- ZHOU Lin, YANG Na. Research on Image Scratch Detection Based on Adaptive Binary Tree Algorithm[J]. Progress in laser and optoelectronics, 2015, 52(5): 65—69.
- [11] 石坤泉, 魏文国. 采用双边滤波的冷轧铝板表面缺陷图像去噪方法的研究[J]. 表面技术, 2018, 47(9): 317—323.
- SHI Kun-quan, WEI Wen-guo. Study on Denoising Method of Surface Defect Image of Cold Rolled Aluminum Sheet Using Bilateral Filtering[J]. Surface Technology, 2018, 47(9): 317—323.
- [12] 黄鹤, 宋京, 杜晶晶, 等. 一种含雾交通图像梯度双边滤波算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2018, 39(10): 1710—1714.
- HUANG He, SONG Jing, DU Jing-jing, et al. A Gradient Bilateral Filtering Algorithm for Foggy Traffic Images[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2018, 39(10): 1710—1714.
- [13] 管声启, 洪奔奔, 梁洪, 等. 高斯差分滤波显著性的刀具磨损检测[J]. 机械科学与技术, 2018, 37(2): 276—279.
- GUAN Sheng-qi, HONG Ben-ben, LIANG Hong, et al. Gaussian Difference Filter Significant Tool Wear Detection[J]. Mechanical Science and Technology, 2018, 37(2): 276—279.
- [14] 赵梦超, 孔令成, 谭治英. 基于改进 Otsu 法的镀膜金属带缺陷分割[J]. 计算机工程与设计, 2018(9): 2811—2816.
- ZHAO Meng-chao, KONG Ling-cheng, TAN Zhi-ying. Defect Segmentation of Coated Metal Strip Based on Improved Otsu Method[J]. Computer Engineering and Design, 2018(9): 2811—2816.
- [15] 徐超, 黄风华. 毛政元. 一种改进的二维 Otsu 阈值分割算法[J]. 电子技术应用, 2016, 42(12): 108—111.
- XU Chao, HUANG Feng-hua, MAO Zheng-yuan. An Improved Two-Dimensional Otsu Threshold Segmentation Algorithm[J]. Electronic Technology Application, 2016, 42(12): 108—114.