

封酒环在线缺陷检测方法

董娜, 黄丹平*, 田建平, 黄丹, 罗慧波

四川轻化工大学机械工程学院, 四川 宜宾 644000

摘要 为减少因封酒环缺陷导致酒质量变差的问题,提高缺陷检测效率,需对封酒环在线缺陷检测方法展开研究与开发。根据封酒环结构、位置与瓶盖内径、深度等特点,研发一种基于机器视觉双视场双工位协同在线检测系统。针对封酒环轮廓缺陷在二维信息中难以提取的问题,提出将封酒环轮廓二维信息转换成一维向量,在此基础上应用一维向量理论对其缺陷进行分析与处理,并采用小波模极大值法进行缺陷提取与判定。实验结果表明该系统可有效检测封酒环轮廓任意位置缺陷,检测精度达到 99.89%。与手工检测相比,轮廓信息经维度转换后,检测效率提高 6 倍以上,满足现场实际生产和预期研发要求,为封酒环无损在线检测提供新的途径。

关键词 机器视觉; 缺陷检测; 封酒环; 维度转换; 小波模极大值

中图分类号 TP242.6

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP56.231501

Online Detection of Wine Seal Ring Defects

Dong Na, Huang Danping*, Tian Jianping, Huang Dan, Luo Huibo

School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin, Sichuan 644000, China

Abstract To address the problem of poor wine quality caused by wine seal ring defects and improve defect detection efficiency, an online detection method for wine seal ring defects is developed. According to the structure and position of the wine seal rings and the inner diameter and depth of the bottle caps, an online detection system based on machine vision dual-field and dual-station collaboration methods is proposed. Given that it is difficult to extract the contour defects of wine seal rings from two-dimensional information, we transform the two-dimensional information of a wine seal ring contour into an one-dimensional vector. Then, the one-dimensional vector theory is applied to analyze and deal with the defects, and the wavelet modulus maxima method is used to extract and determine them. The experimental results show that the system can effectively detect defects at any position of a wine ring and that its detection accuracy is 99.89%. The efficiency of the method described in this paper is six times higher than that of manual inspection. It meets the requirements of production and expected R&D, and provides a new technique for the non-destructive online detection of wine seal ring defects.

Key words machine vision; defect detection; wine seal ring; dimension transformation; wavelet modulus maximum

OCIS codes 150.1835; 150.1135; 150.3040

1 引言

近年来,随着食品安全问题的频发,食品安全已成为人们关心的热点问题。中国对各食品产业的卫生指标、食品包装及安全密封性保障提出更高标准^[1]。封酒环作为瓶盖生产加工过程中的重要密封部件,尤其在白酒存储和运输中发挥着极为重要的作用。生产线上封酒环在被压入瓶盖过程中,生产

工艺、误操作等易造成断开、错位、缩裂、飞边等缺陷,从而导致密封性能下降,影响白酒质量。因此,研究一种在实际生产线中快速无损检测封酒环质量的方法成为各酒企急需解决的问题。

目前,国内外针对类似封酒环缺陷的检测方法主要包括人工目视检测、物理方法检测和机器视觉检测^[2-6]。传统人工目视检测易受个人因素与环境因素影响,不仅效率低且误判率高,而且会增加企业

收稿日期: 2019-03-21; 修回日期: 2019-04-22; 录用日期: 2019-05-27

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2019YFG0167)、四川省部级重点实验室项目(NJ2018-05)

* E-mail: hdpix2002@163.com

人力成本。由于封酒环紧贴瓶盖内壁、曲壁轻薄、缺陷类型多异等特点,若采用典型物理方法检测,如投影仪检测、激光扫描检测、断面测量等缺陷检测方法都难以检测到瓶盖内部曲面任意位置缺陷,且在线检测的分辨率和实时性差,容易漏检与误检。与上述检测方法相比,基于机器视觉的检测方法具有非接触、速度快、精度高等优点,已在表面或边缘缺陷检测方面有较多应用^[7-9]。由于瓶盖内径小、深度大,封酒环位置结构特殊,要在运动状态下对瓶盖内壁封酒环实现实时视觉信息采集与在线缺陷识别,即对封酒环实现动态缺陷检测,其难度较大,未曾有相关文献报道。

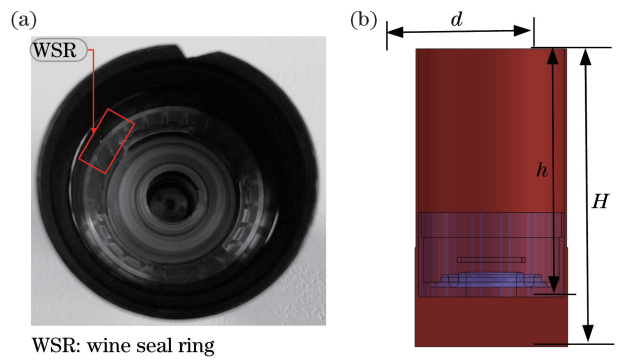
本文基于机器视觉技术提出一种封酒环新型在线缺陷检测方法,该方法可大大降低人工劳动强度,减小主观误差,能提高检测效率和检测精度。为使该检测系统更加经济、快捷地实现在线监测、判定、检测一体化的智能检测目标,需展开以下研究工作:首先设计双视场双工位协同采集封酒环视觉信息方案,获取高精度、高质量的视觉信息,提取封酒环轮廓;其次重点研究在线缺陷检测新算法,利用数字图像处理技术将封酒环轮廓的二维信息转换成一维向量,应用一维向量理论提取封酒环特征;最终应用小波模极大值法判定并识别缺陷,实现对封酒环缺陷的精确定位和准确检测。

2 封酒环缺陷在线检测工作原理

图1为某酒厂白酒瓶盖与封酒环示意图。该瓶盖的外形尺寸直径 d 为33~33.5 mm,瓶盖深度 H 为60 mm,封酒环到瓶盖口径曲面深度 h 为48 mm。其特点是:瓶盖结构较细长,材质为具有一定透光性的塑料;封酒环紧贴瓶盖内壁底部,曲壁轻薄,呈圆弧状。要在运动状态下对封酒环完整轮廓进行实时精确采集,若从单一角度稳定获取封酒环全局均匀图像,采集难度大,工程中很难实现。因此,利用数字图像处理技术对以上尺寸封酒环进行检测时,首先要解决3个问题:1)如何在较小口径和较大深度瓶盖内对封酒环进行360°全方位检测;2)如何实时稳定获取高精度、高质量的封酒环视觉信息;3)如何实现缺陷在线快速准确识别。

2.1 封酒环缺陷在线检测工作原理及系统构成

针对上述3个问题,构建基于机器视觉的封酒环新型在线缺陷检测系统。根据封酒环结构/位置与瓶盖内径和深度的特点,提出基于机器视觉双视场双工位协同在线检测方案,实现封酒环在线采集、检测、剔除^[10-12]。



WSR: wine seal ring

图1 封酒环示意图。(a)俯视图;(b)正视图

Fig. 1 Schematics of wine seal ring. (a) Top view; (b) front view

图2为封酒环在线检测系统结构示意图,该检测系统由传送带、相机-光源组、光电传感器、剔除装置和计算机组成。图2中S1工位对应相机-光源位置4,S2工位对应相机-光源位置5。其工作原理为:当待检瓶盖到达系统工位处,光电传感器获取瓶盖位置信息并传输给工业计算机;工业计算机接收到触发信号后,相继触发两组相机;相机-光源LC1接收到触发信号后,采集S1工位封酒环左半边轮廓视觉信息;之后,工作台即传送带通过PLC(Programmable Logic Controller)控制 x 方向的联动,承载被检测的封酒环转移至S2工位,相机-光源LC2采集S2工位封酒环右边轮廓信息,完成封酒环整体轮廓视觉信息的采集;利用计算机对封酒环视觉信息进行分析处理后,判定瓶盖是否合格,将该信息传递给PLC控制器,该控制器输出信号给剔废装置,由剔废装置将不合格品剔出生产线,该检测系统的剔废装置采用气动方式实现剔废功能,其输出信号直接控制气阀开关。为提高剔除的准确性,需在剔除位置增设一个光电传感器,该传感器对缺陷的封酒环是否准确到达剔除位置予以修正。

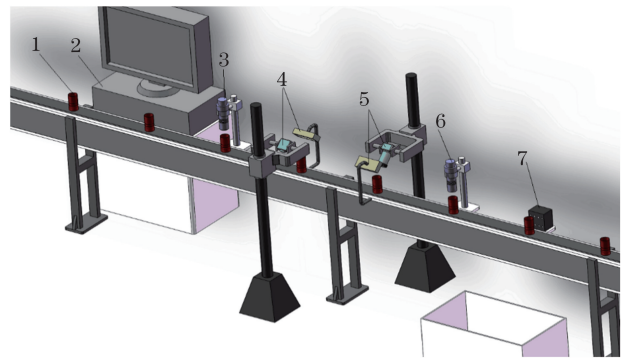


图2 封酒环在线检测系统机械结构示意图

Fig. 2 Schematic of mechanical structure of online detection system for wine seal ring

该封酒环缺陷在线检测系统由 3 个子系统组成,分别是封酒环视觉信息采集子系统、视觉信息处理子系统、运动控制子系统。视觉信息采集子系统主要由工业计算机与两个工位上的成像光学器件组成,用以完成封酒环完整轮廓视觉信息自动采集。视觉信息处理子系统主要由视觉信息处理算法组成,包括封酒环视觉信息预处理、封酒环轮廓提取、轮廓维度转换及特征提取、小波模极大值法缺陷识别与判定等。运动控制子系统 PLC 控制器用于控制传送带沿 x 方向联动运动,以实现 S1 工位与 S2 工位的联动、控制剔除装置对不合格品的剔除动作。

2.2 基于机器视觉双视场双工位协同在线检测方案

针对上述 1)、2) 问题,若采用传统单相机-光源安装方式来垂直照射瓶盖内壁,则受瓶盖透光材质与表面纹理结构散射与反射的影响易产生阴影与区域干扰,使所采集的细节信息丢失,质量不稳定,无法稳定获取完整封酒环轮廓信息。因此,本系统设计基于机器视觉双视场双工位协同在线视觉信息采集方案,即采用 2 组光源-相机 LC 对同一个封酒环从两个工位两个角度打光并采集成像,确保封酒环完整轮廓位于最佳成像内,实现在较小口径和较大深度瓶盖内稳定获取高精度、高质量的封酒环视觉信息,实现封酒环 360°全方位检测。

如图 3 所示,在三维测量空间 O -XYZ 中,构建双工位成像系统。S1 工位、S2 工位采用光源 1-相机 1 即 LC1,光源 2-相机 2 即 LC2 分别对封酒环左、右半边曲面进行成像。相机型号均为分辨率为 $1280 \text{ pixel} \times 1024 \text{ pixel}$ 的 Basler 黑白面阵相机。

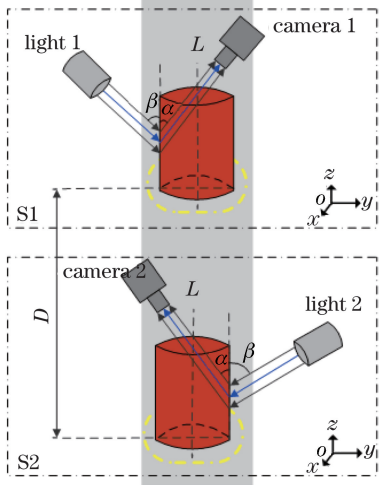


图 3 双视场双工位协同在线检测示意图
Fig. 3 Schematic of dual-field and dual-station collaborative online detection

镜头选用 VTF-70-230 远心低畸变镜头。光源选用 LED 白色条形光源,光线以接近相同的亮度和方向照射,确保均匀。相机光源的安装方式如图 3 所示,镜头光心与瓶盖中心轴 L 成 α 角度,光源与瓶盖外侧面成 β 角度,安装角度偏差控制在 $\pm 2^\circ$ 以内。经实验验证,相机、光源、瓶盖安装角度调整在 $\alpha = 30^\circ, \beta = 45^\circ$, LC1 与 LC2 在同一条水平线上交叉对立分布且相距 $D = 300 \text{ mm}$ 时,所采集的视觉信息可有效消除封酒环周围重影,提高视觉信息质量,实现封酒环轮廓信息采集完整性。传送带作为工作台 T 沿 x 方向平移实现封酒环在两个工位之间的传送,提高满足精度要求的物面分辨率,进而提高对微小缺陷的识别能力,实现封酒环缺陷全覆盖检测,避免缺陷漏检误检情况。图 4 为本项目成像与传统方法成像对比。

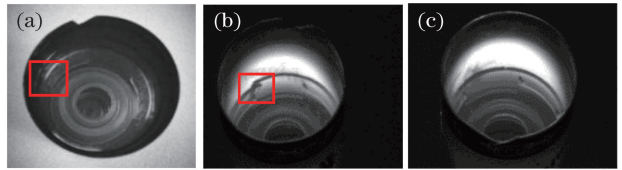


图 4 封酒环原始图像。(a)传统成像;
(b) LC1 采集成像;(c) LC2 采集成像

Fig. 4 Original images of wine seal ring. (a) Traditional imaging; (b) LC1 acquisition imaging; (c) LC2 acquisition imaging

3 在线缺陷检测关键算法

封酒环在线检测与缺陷识别算法流程如图 5 所示。提取封酒环时,难以提取微小缺陷,且对二维信息的处理耗时较多,因此,应用一维向量理论对封酒环特征进行提取,结合小波模极大值精确定位,进而识别缺陷。首先实时采集封酒环视觉信息,并进行滤波、动态提取感兴趣区域(ROI);然后通过对 ROI 的处理,提取封酒环轮廓,通过对所提取轮廓信息进行边缘检测、二次滤波、自适应二值化等提取封酒环边缘;再将处理后的封酒环边缘二维信息转换成一维向量,以提取轮廓边缘特征,结合 db (Daubechies)小波模极大值识别缺陷;最后将提取的一维轮廓特征逆变换为二维图像,以判断封酒环缺陷位置信息,进而保存封酒环缺陷数据信息。

3.1 轮廓信息维度转换

图 5 算法流程中,对封酒环轮廓信息维度的转换尤为关键。由所采集的封酒环轮廓信息及缺陷类型特征可知,封酒环轮廓缺陷信息较弱,若直接采用二维信息对其进行处理,算法成本较大、稳定性与实

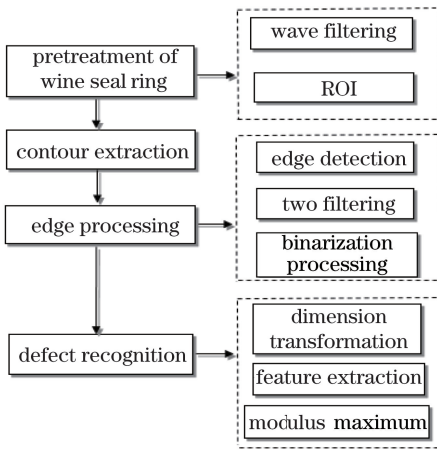


图5 封酒环识别与缺陷检测算法流程图

Fig. 5 Flowchart of wine seal ring recognition and defect detection algorithm

时性差。因此,本研究提出基于视觉信息维度转换检测方法,即将封酒环二维信息转换成一维信息,在此基础上应用一维向量理论对其缺陷进行分析与处理。在6(a)、(c)、(e)、(g)封酒环二值化图中建立二维笛卡尔坐标系 $x-y$,横纵坐标分别为封酒环二值图行像素数 A_1 与列像素数 B_1 ,以封酒环轮廓的最左端作为坐标原点(0,0)。设封酒环二值化后的三维笛卡尔坐标系为 $x'-y'-z'$, $z=g(x',y')$ 代表封酒环二值化中像素点 (x',y') 的数值。封酒环二值化视觉信息需对图像大小为 $M \times N$ 的封酒环图像维度进行转换,转换公式为

$$z = g(x'_i, y'_j) = f(x_i), \quad (1)$$

式中: $i \in [1, N], j \in [1, M]$; $g(x'_i, y'_j)$ 代表封酒环第 i 列、第 j 行的像素点值; x_i 代表封酒环一维信息中第 i 个像素点的数据值。一维矩阵 M' 为

$$M' = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_M] \begin{bmatrix} g(x'_1, y'_1) & \dots & g(x'_N, y'_1) \\ \vdots & & \vdots \\ g(x'_1, y'_M) & \dots & g(x'_N, y'_M) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中: $d_1 = d_2 = \dots = d_M = 1$ 。通过(2)式运算后,向量 M' 中的元素 m_i 为 $g(x'_i, y'_j)$ 的非零值,分别提取非零值中 $g(x'_i, y'_j)$ 的 x'_i, y'_j 坐标,完成封酒环轮廓二维信息转换为一维向量的步骤,即

$$\begin{cases} f(x_i) = y'_j \\ x_i = x'_i \end{cases}, \quad (3)$$

$$Y = [f(x_1), f(x_2), f(x_3), \dots, f(x_Q)], Q \in (1, N), \quad (4)$$

式中: Y 向量为封酒环一维数据值, Q 为封酒环一维数据个数。封酒环二值化信息经(1)~(4)式处理

后,应用一维向量理论分析提取的封酒环缺陷特征,这样处理的数据量大大减少,运算速度变快。在计算出封酒环缺陷后,将分析提取的封酒环一维轮廓缺陷特征进行逆变换重构,以二维图像的形式显现,即将 $y=f(x_i)$ 逆变换到 $y'=f(x_i, y_j)$,并显示封酒环缺陷特征与位置信息。 y' 为封酒环一维数据第 i 非零数据值,其重构结果如图6(b)、(d)、(f)、(h)边界曲线所示,横坐标为封酒环一维轮廓数据序列号 A_2 ,纵坐标为一维数据像素点纵坐标与边界差值 B_2 。

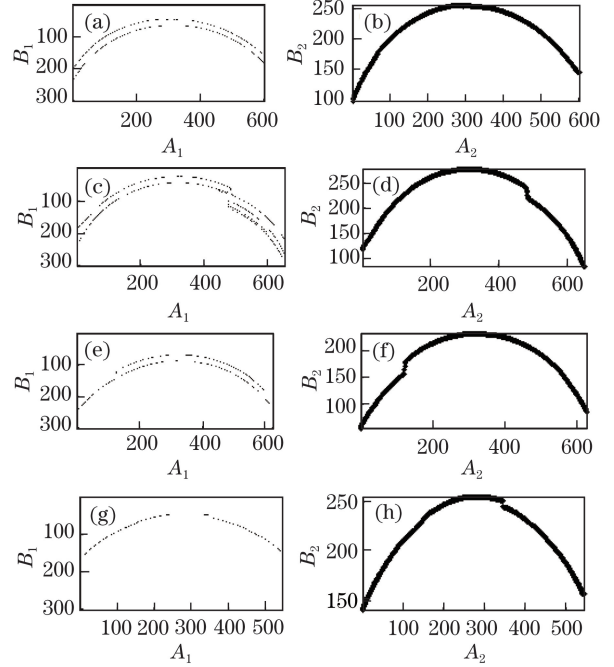


图6 封酒环轮廓图。(a)(c)(e)(g)二值图; (b)(d)(f)(h)边界曲线

Fig. 6 Outline of wine seal ring. (a)(c)(e)(g) Binary graph; (b)(d)(f)(h) boundary curve

3.2 基于小波模变换极大值的检测

由图6(b)可知,若封酒环无缺陷时,其轮廓信息无幅值突变,可认为封酒环轮廓连续光滑。当封酒环存在缺陷部分时,其轮廓信息会出现不规则的突变间断(第一类型间断点),因此,根据(4)式,可近似设定轮廓信息为函数 $f(x)$,这样就将获取封酒环缺陷问题转换为求解一维函数 $f(x)$ 幅值是否发生突变的问题。若 $f(x)$ 幅值发生突变,则判定封酒环在某处出现缺陷,否则判定该封酒环为正常。目前,对轮廓缺陷识别的方法较多,如导数法、高斯拟合法、傅里叶变换法等^[13-14]。而采用导数方法,会增大封酒环轮廓缺陷信息中的噪声,干扰过多,容易湮没微小缺陷突变信息,导致识别效果较差。高斯法适用于多种峰型,拟合效果不稳定,计算效率低。采用经典的傅里叶变换检测方法缺乏空间局部性,

虽然可以辨识封酒环轮廓突变峰值,但无法根据空间变量进行局部信息定位及特定点处突变定位,也不适合封酒环局部奇异性检测。为解决该问题,根据小波变换特有的尺度伸缩对奇异、突变信号的鉴别能力,本文采用小波模极大值法,在最优尺度下,通过小波变换的模局部极大值找到边缘突变点^[15]。设 $W_{f(2^k, x)}$ 为封酒环轮廓信息 $f(x)$ 在尺度 2^k ($k \in \mathbb{Z}$) (其中 k 为小波尺度指数) 下在 x 定义域内小波变换后离散小波系数。假设 $f(x)$ 在 $x = x_0$ 有缺陷点,封酒环轮廓信息 $f(x)$ 小波变换定义为

$$W_{f(2^k, x)} = 2^k (f \times \overline{\phi_{2^k}})(x) = 2^{k/2} \frac{d}{dx} (f \times \overline{\phi_{2^k}})(x), \quad (5)$$

根据信号多尺度奇异性检测原理^[16], (5) 式在尺度 2^k 下, $f(x)$ 经 $\overline{\phi_{2^k}}$ 平滑后函数的一阶导数极大值对应信号 $f(x_0)$ 的突变点。小波基函数 $\phi(t)$ 由平滑函数 $\theta(t)$ 决定, $\phi(t)$ 可表示为

$$\phi(t) = d\theta(t)/dt, \quad (6)$$

式中 t 为基小波信号。

封酒环轮廓信息 $f(x_0)$ 的突变点为

$$\lim_{k \rightarrow \infty} |W_{f(2^k, x_0)}| > \lim_{k \rightarrow \infty} |W_{f(2^k, x)}|, \quad (7)$$

$f(x_0)$ 经小波分解后,在寻找适合小波空间时,求解出小波高频细节部分的极大值为 $|W_{f(2^k, x_0)}|_{\max}$, 因此可以有效检测封酒环轮廓的突变点。

封酒环缺陷检测时,对小波基的选择尤为重要,而 dbN* 函数小波具有良好的紧支撑性、光滑性及近似对称性等特点,其中 dbN* 的 N^* 为消失矩。消失矩阶数越大,高光滑性与频带划分效果越好,即它高频分量中的零多,封酒环缺陷轮廓中的缺陷易被检测,其缺点为 db 小波的支撑长度增大,计算量增高,缺陷检测实时性差。因此,应适当选择 N^* 值以满足封酒环轮廓缺陷检测的需求,这里可选用高消失矩 db 小波。图 7 为 db1、db3、db4 对封酒环轮廓一维函数 $f(x)$ 一层分解的小波对比图。图 7(a) 横坐标为输入原始信号 $f(x)$ 的 x 值,即封酒环一维轮廓数据序列号 A_3 , 纵坐标为一维数据像素点纵坐标与边界差值 B_3 。图 7(b)~(d) 横坐标分别为 db1、db3、db4 小波变换信号波长 A_{31} 、 A_{32} 、 A_{33} , 纵坐标分别对应信号强度 B_{31} 、 B_{32} 、 B_{33} 。从缺陷的位置可以看出,db1、db3、db4 小波均有不规则的突变峰值,db3 小波在封酒环轮廓缺陷位置的峰值突出,连续光滑位置相对较弱。db1 小波与 db4 小波在轮廓信息缺陷位置两侧有微小的突变,即存在噪声干扰,容易湮没突变点模的极大值。为了能准确

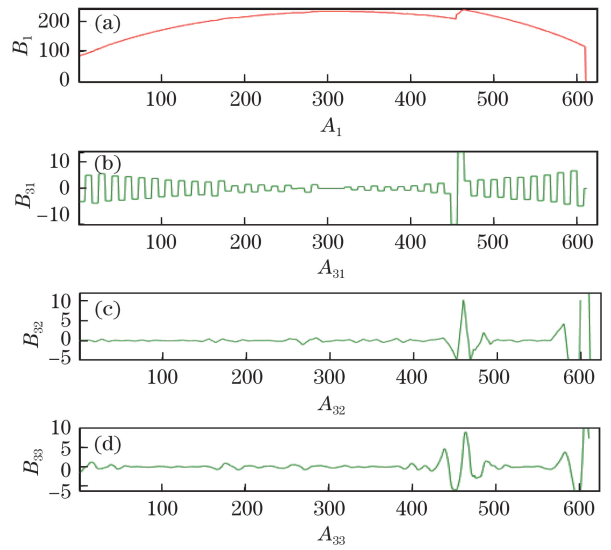


图 7 不同基小波对封酒环轮廓分解图。(a)加载信号; (b) db1 小波;(c) db3 小波;(d) db4 小波
Fig. 7 Contour decomposition of wine seal rings using different basis wavelets. (a) Loading signal; (b) db1 wavelet; (c) db3 wavelet; (d) db4 wavelet

找到突变点位置,这里选择 db3 小波作为基小波。为实现封酒环缺陷的准确检测和确定,需要确定小波变换的最优分解尺度。由描述函数突变性 Lipschitz 指数定义可知

$$|W_{f(2^k, x_0)}| \leq K \times 2^{ja'}, \quad (8)$$

小波变换模极大值会随尺度参数 k 的变换而有所改变。由实际测试可得,封酒环轮廓函数的 Lipschitz 指数 $\alpha' > 0$, 因而可得小波变换的模极大值将随尺度 k 的增大而增大。从而可得,同一缺陷尺度 k 增大,缺陷越易检测,并且在大尺度 k 作用下,对封酒环轮廓函数 $f(x)$ 中的噪声有一定的抑制,模极大值点相对稳定。由小波理论可知,尺度 k 越小,平滑函数 $\theta(t)$ 区域越小,所计算的 db3 小波模极大值与封酒环轮廓的缺陷位置的对应就越准确。若选用过小尺度 k ,则封酒环轮廓函数 $f(x)$ 中干扰噪声响应较大,将可能产生较多极值点,无法快速评判与定位封酒环轮廓缺陷位置;同理可知,若尺度 k 选择过大也会造成缺陷定位误差较大。因此,需选择适当尺度下的小波系数,才能够避免多个缺陷点引起的交迭干扰。根据上述分析并结合封酒环缺陷特性,选择 db3 基小波对封酒环轮廓函数 $f(x)$ 进行四层离散平稳小波变换,如图 8 所示。图 8(a)~(d) 分别表示第四、第三、第二、第一层的小波分级系数,横坐标为封酒环轮廓小波变换信号波长 A_{41} 、 A_{42} 、 A_{43} 、 A_{44} , 纵坐标对应信号强度 B_{41} 、 B_{42} 、

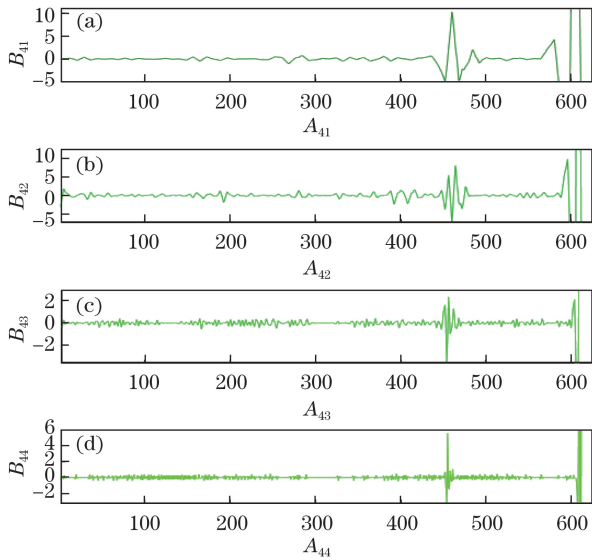


图8 封酒环轮廓在 db3 小波不同尺度下的分解系数。

(a)第4层;(b)第3层;(c)第2层;(d)第1层

Fig. 8 Decomposition coefficients of wine seal ring contours at different scales of db3 wavelet.

(a) The fourth layer; (b) the third layer; (c) the second layer; (d) the first layer

B_{43} 、 B_{44} 。可以看出,对应缺陷位置的小波分解系数随分解尺度的增大而迅速增大;而在不同尺度下,分解系数中存在部分幅值较小的模极大值点,这是由噪声模极大值点的干扰导致的,但在 d_4 层噪声幅值远小于缺陷位置系数变化。为有效消除噪声对缺陷定位的干扰,实现缺陷峰值位置的快速提取,选择 d_4 层小波系数进行模极大值分析。

4 实验及算法性能分析

4.1 算法实验

实验采用 Visual C++ 2017 与 opencv 软件平台进行图像处理,opencv 是一个开源计算机视觉库,它提供很多 C++ 函数,采用优化的 C/C++ 代码编写,能充分利用多核处理器,其执行速度快,以此实现封酒环缺陷检测算法。为验证所研发的封酒环缺陷在线检测系统稳定性以及较其他算法的优势,选取如图 9 第 1~4 行所示断开、错位、毛边、缩裂 4 种代表性的缺陷及图 9 第 5 行正常轮廓,正常轮廓分别采用曲率法、导数法和本文系统小波模极大值 3 种研究方法对封酒环轮廓二值图进行处理,对比结果如图 9 所示。图 9(a)为工业相机-光源 LC 触发后,所采集的封酒环视觉信息;图 9(b)为对所采集的视觉信息提取轮廓后,经二次滤波、去干扰等边缘处理后所得的轮廓二值图;图 9(c)为对轮廓二值图求近似曲率的结

果,横坐标为对封酒环轮廓求斜率的数据序列号 A_5 ,纵坐标为斜率值 B_5 ;图 9(d)为运用导数法对轮廓二值图求一阶导数的结果,横坐标为对封酒环轮廓求导的数据序列号 A_6 ,纵坐标为导数绝对值 B_6 ;图 9(e)为应用所研发封酒环缺陷在线检测算法对轮廓二值图进行处理的结果,横坐标为封酒环一维轮廓数据序列号 A_7 ,纵坐标为一维数据像素点纵坐标与边界差值 B_7 。依据(5)、(6)式完成封酒环轮廓维度转换,提取其缺陷特征,并选用 db3 小波模极大值进行处理,索引封酒环轮廓信息 $f(x_0)$ 突变点起始像素坐标并将封酒环缺陷以二维图像形式显现。

曲率法:当图 9(c)第一张、第三张、第五张图显示的封酒环轮廓出现较微小错位、毛边时,所提取的缺陷位置易造成多个缺陷点引起的交迭干扰,湮没微小缺陷突变信息,导致识别效果差,完好轮廓也出现误判,因此,使用曲率法提取封酒环轮廓缺陷信息易造成较大误差;导数法:从图 9(d)可知,该算法效果优于曲率算法,虽然可辨识局部封酒环轮廓突变峰值,增强对微小缺陷的识别,但仍存在局部干扰,无法根据空间变量进行局部信息定位及特定点处的突变定位,易漏检误检;小波模极大值法:从图 9(e)可以看出,封酒环轮廓信息 $f(x_0)$ 突变点起始像素横坐标分别为 195、344、300、30,能准确检测封酒环微小缺陷,精确定位突变点起始像素位置,实现封酒环缺陷全覆盖检测,与前两种算法相比该检测法稳定性强、准确率高。

对比实验表明,在检测运行效率上,本文封酒环缺陷在线检测法相对于导数法、曲率法检测的主要差别在于封酒环视觉信息经维度处理后,应用一维小波模极大值提取封酒环缺陷特征,数据量减少,同时加快了数据处理速度和运算速度,对微小缺陷的识别率更准确。

4.2 性能分析

采用本文小波模极大值法对 3200 个样本(缺陷样本 900 个,完好样本 2300 个)进行测试实验,实验结果为 900 个缺陷样本中 899 样本存在缺陷,有 1 个毛边缺陷未被检测出,经观察该封酒环毛边程度很小;2300 个完好样本中有 2 个样本被误判为缺陷,则对 900 个存在缺陷样本的识别率为 99.89%,对 2300 个完好样本的识别率为 99.91%。

系统对 3200 个样品进行测试,处理时间如图 10 所示。该检测系统处理一个封酒环耗时 1.1~2.4 ms,平均耗时为 1.83 ms,从发出检测指令到完成缺陷剔除任务,共耗时约 500 ms,而人工完成这项

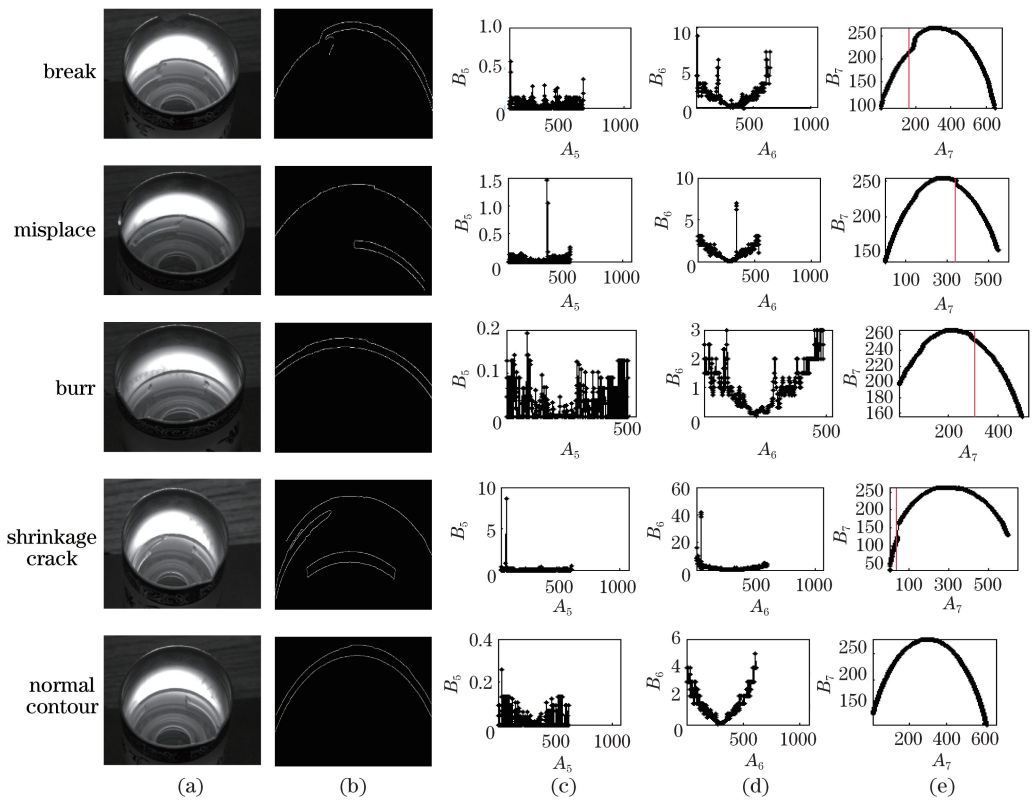


图9 不同缺陷检测方法处理封酒环效果。(a)原图;(b)封酒环轮廓;
(c)曲率法;(d)导数法;(e)小波模极大值法

Fig. 9 Effects of wine seal ring detection for different defect detection methods. (a) Original graph; (b) wine seal ring profile; (c) curvature method; (d) derivative method; (e) wavelet modulus maximum method

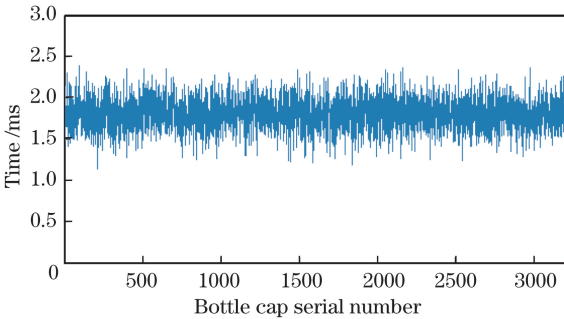


图10 系统检测耗时图

Fig. 10 Time-consuming diagram of system detection

检测任务通常需要 3~4 s,其运行效率提高 6 倍以上。对不同封酒环缺陷类型均取得了较好的检测效果,经过多次检测数据分析,其检测精度达到 99.89%。由此可知,该系统满足工程实施检测要求。

5 结 论

用双视场双工位协同在线检测方案,实现对封酒环缺陷全覆盖在线实时缺陷检测。根据封酒环结构位置特点,调整相机和光源安装角度后,可稳定获取高精度、高质量的图像信息,进而提高对微小缺陷

的识别能力。将封酒环缺陷二维信息转换成一维向量,封酒环视觉信息数据量得到大幅压缩,简化了算法难度,处理速度加快;应用一维 db3 小波模极大值法提取封酒环缺陷特征,使得微小缺陷增强,实现对封酒环缺陷的准确检测和精确定位,提高检测稳定性。实验结果表明该系统提高了检测精度和检测效率,能满足预期企业瓶盖现场实际生产需求,为封酒环无损在线检测提供新的途径,具有极大的工程参考价值。

参 考 文 献

[1] Fu Z T, Xing S H, Zhang X S. Development trend of food quality safety traceability technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 144-153.
傅泽田, 邢少华, 张小栓. 食品质量安全可追溯关键技术发展研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 144-153.

[2] He B X, Zhang Y, Tong K J, et al. Curved surface imaging theory and defect detection for sealing rings used in aerospace systems[J]. Optics and Precision

- Engineering, 2015, 23(11): 3051-3060.
- 何博侠, 张毅, 童楷杰, 等. 航天密封圈的曲面成像理论及其缺陷检测[J]. 光学精密工程, 2015, 23(11): 3051-3060.
- [3] Xu B X. Development of bottle cap defect detection system based on machine vision [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.
徐宝霞. 基于机器视觉瓶盖缺陷检测系统开发[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [4] Chen G F, Guan G Y, Wei X. Online stamping parts surface defects detection based on machine vision[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(1): 011501.
陈广锋, 管观洋, 魏鑫. 基于机器视觉的冲压件表面缺陷在线检测研究[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(1): 011501.
- [5] Li D, Bai G J, Jin Y Y, *et al.* Machine-vision based defect detection algorithm for packaging bags [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2019, 56(9): 091501.
李丹, 白国君, 金媛媛, 等. 基于机器视觉的包装袋缺陷检测算法研究与应用[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(9): 091501.
- [6] Qi X T. Research on rubber ring dimensions and defects image detection system [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2016.
齐信同. 橡胶密封圈尺寸及缺陷的机器视觉检测系统研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2016.
- [7] Huang Z H, Mao J X, Wang Y N, *et al.* Research on beer bottle defect classification detection method based on machine vision [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(6): 873-879.
黄志鸿, 毛建旭, 王耀南, 等. 基于机器视觉的啤酒瓶口缺陷检测分类方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(6): 873-879.
- [8] Liu D, Zhang B, Li H X, *et al.* Detection of micro-cylinder end face defect in complex background [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(6): 061006.
刘丹, 张斌, 李慧娟, 等. 复杂背景下微小圆柱端面缺陷检测方法研究[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(6): 061006.
- [9] Qian X L, Zhang H Q, Zhang H L, *et al.* Solar cell surface defect detection based on visual saliency [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(7): 1570-1578.
钱晓亮, 张鹤庆, 张焕龙, 等. 基于视觉显著性的太阳能电池片表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(7): 1570-1578.
- [10] Guo K, Huang D P, Wang L, *et al.* Research on the curved surface character detection system based on machine vision [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2016(12): 122-127.
郭康, 黄丹平, 王磊, 等. 基于机器视觉的曲面字符缺陷检测系统研究[J]. 现代制造工程, 2016(12): 122-127.
- [11] Xiang R, He W H, Zhang X N, *et al.* Size measurement based on a two-camera machine vision system for the bayonets of automobile brake pads [J]. Measurement, 2018, 122: 106-116.
- [12] He B X, Li C L, Li J P, *et al.* Integration of intelligent measurement and detection for sealing rings used in aerospace systems [J]. Optics and Precision Engineering, 2015, 23(12): 3395-3404.
何博侠, 李春雷, 李江平, 等. 航天密封圈智能测量与检测系统的集成[J]. 光学精密工程, 2015, 23(12): 3395-3404.
- [13] Kong D Z, Shen X J, Lin C, *et al.* Multi-image encryption based on wavelet transform and fractional Fourier transform [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(9): 091002.
孔德照, 沈学举, 林超, 等. 基于小波变换的分数阶傅里叶变换多图加密技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(9): 091002.
- [14] Zhang W, Xu H, Duan L F, *et al.* Identification of metal components characteristic peak position of energy dispersive X-ray fluorescence spectra based on the wavelet transformation [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2018, 38(6): 1904-1909.
章炜, 徐华, 段连飞, 等. 小波变换的 EDXRF 光谱金属组分特征峰位置识别[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(6): 1904-1909.
- [15] Wang Z Y, Qian J Q, Li Y Z, *et al.* Time-frequency analysis of the tip motion in liquids using the wavelet transform in dynamic atomic force microscopy [J]. Nanotechnology, 2018, 29(38): 385702.
- [16] Lin L J, Yin Y, He M G, *et al.* Edge detection algorithm of magnetic tile crack based on wavelet modulus maxima [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2015, 44(2): 283-288.
林丽君, 殷鹰, 何明格, 等. 基于小波模极大值的磁瓦裂纹缺陷边缘检测算法[J]. 电子科技大学学报, 2015, 44(2): 283-288.