

基于轮廓重心法的蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统研究

朱文玉¹, 王圣文¹, 赵晨旭²

(1. 山东石油化工学院 智能制造与控制工程学院, 山东 东营 257061;

2. 中国联合网络通信有限公司 新疆维吾尔自治区分公司, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 针对蜂窝陶瓷堵塞点人工检测难问题, 提出了一种基于轮廓重心法的堵塞检测方法, 并设计了一套自动疏通装置; 该系统采用面阵式工业相机获取蜂窝陶瓷横截面图像, 通过图像预处理、Canny 边缘检测, 结合轮廓重心法确定堵塞点, 最终使用 USB 转 TTL 串口通讯实现上下位机数据交互, 完成堵塞点自动定位疏通; 经实验测试, 该系统能够准确完成蜂窝陶瓷堵塞点检测和自动疏通工作, 精度可达到 100%, 检测时间可控制在 5.00 s 到 5.50 s 之间; 因此, 说明所设计系统具有较强的蜂窝陶瓷拥堵检测性能。

关键词: 机器视觉; 蜂窝陶瓷; 轮廓重心法; 堵塞检测

Research on Honeycomb Ceramic Plugging Detection and Dredging System Based on Contour Barycenter Method

ZHU Wenyu¹, WANG Shengwen¹, ZHAO Chenxu²

(1. Shandong Institute of Petrochemical and Chemical Technology School of Mechanical and Control Engineering, Dongying 257061, China;

2. China United Network Communications Co., Ltd., Xinjiang Uygur Autonomous Region Branch 830000, China)

Abstract: Aiming at the difficult manual detection of honeycomb ceramic clogging points, a clogging detection method based on the contour barycenter method was proposed, and an automatic unblocking device was designed. The system uses an array industrial camera to obtain the cross-section image of honeycomb ceramics. Combined with the contour barycenter method, the blocking point is determined by the image preprocessing and Canny edge detection. Finally, the USB to TTL serial communication is used to realize the data interaction between the upper and lower computers, and the automatic positioning and dredging of the blocking point is completed. The experimental results show that the system can accurately detect and automatically dredge the blocked points of honeycomb ceramics, and the accuracy can reach 100%. The detection time can be controlled between 5.00 s and 5.50 s. Therefore, the designed system has a strong performance of honeycomb ceramic congestion detection.

Keywords: machine vision; honeycomb ceramics; contour barycenter method; jam detection

0 引言

蜂窝陶瓷的市场需求量巨大, 但是生产过程中容易出现细孔堵塞、变形、破损等问题, 所以检测是蜂窝陶瓷生产线上的一个重要环节, 需要对其进行精准测量, 以判断其质量是否在要求范围内^[1]。而在对蜂窝陶瓷进行检测时, 需要人工逐个排查, 这种检测方式效率低、速度慢、精度差, 并且受人工主观因素影响大, 使检测效果受到了严重的影响, 从而影响了蜂窝陶瓷的出厂速度。因此, 研究一种有效的蜂窝陶瓷性能检测方法是十分有必要的。

众多相关的学者, 均进行了蜂窝陶瓷性能的检测研究。文献 [2] 将激光技术应用于蜂窝陶瓷的检测, 该方法通过激光扫描成像技术对蜂窝陶瓷进行全方位的扫描, 采用中

值滤波方法进行扫描图像的去噪处理。通过离散小波多尺度变换提取扫描图像的纹理特征, 完成蜂窝陶瓷性能的检测。文献 [3] 将锥束 CT 检测系统应用于蜂窝陶瓷的检测, 通过对透照管电压、旋转轴倾斜以及投影张数等参数的调节, 通过锥束 CT 检测系统采集蜂窝陶瓷的 CT 图像。结合滤波技术降低蜂窝陶瓷 CT 图像的散射情况, 并提高信噪比与对比度, 从而获得有效的蜂窝陶瓷性能检测结果。文献 [4] 将超声无损检测技术应用于工业蜂窝陶瓷性能的检测, 借助超声无损检测非接触性、宽带、多波型的特点, 对工业蜂窝陶瓷内部组织与缺陷进行有效的检测。文献 [5] 提出基于机器视觉的圆柱形蜂窝陶瓷侧面裂隙检测方法, 该方法选择 COMS 相机和 LED 白色平行光源作为视觉图像采

收稿日期:2022-10-11; 修回日期:2022-12-05。

基金项目:山东省东营区科技局(ZSDLT2021120201)。

作者简介:朱文玉(1989-),男,山东济南人,硕士,主要从事智能优化与机器学习、图像处理与模式识别等方向的研究。

引用格式:朱文玉,王圣文,赵晨旭.基于轮廓重心法的蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统研究[J].计算机测量与控制,2023,31(7):57-63,70.

集的硬件,并对采用中值滤波算法去除采集图像中的椒盐噪声。通过全局阈值分割算法对采集的图像进行分割处理,从面积、长度与宽度三方面检测蜂窝陶瓷的侧面裂隙。文献 [6] 提出基于机器视觉的蜂窝陶瓷侧面缺陷检测方法,该方法结合转盘结构与线阵 CCD 相机对蜂窝陶瓷的侧面图形进行采集,完成图像噪声消除后通过 Canny 算子提取图像的边缘特征,最后采用加权分割方法提取出图像中的缺陷。文献 [7] 提出基于机器视觉的蜂窝陶瓷检测方法,采用高速摄像机采集蜂窝陶瓷不同角度的图像,内切圆逐次逼近定位算法获得缺陷的检测结果。文献 [8] 设计蜂窝陶瓷载体质量的视觉检测系统,该系统详细分析了摄像机选择原理、光学系统设计及光源安装过程等,并采用非线性模型对相机进行线性标定。采用混合噪声滤波算法去除所采集图像中的噪声。采用 Zernike 矩进行亚像素边缘的精检测。文献 [9] 提出基于计算机视觉的蜂窝陶瓷在线检测系统,该系统通过 4 台高速摄像机实时采集蜂窝陶瓷的图像,采用改进型加权中值滤波算法对采集的图像进行滤波。完成滤波后采用 Fisher 评价函数对图像进行分割,完成陶瓷蜂窝的检测。

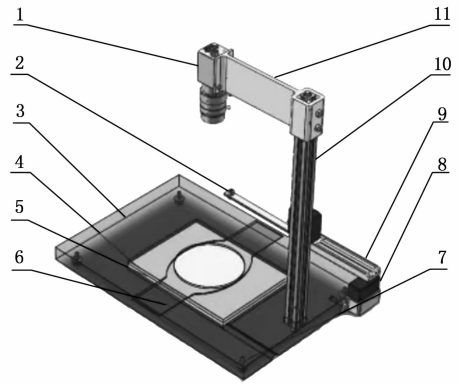
在上述方法的基础上,文中提出了一种基于轮廓重心法的堵塞检测方法,并且设计了一套自动疏通装置,在发现堵塞的问题后,可立即解决。该方法通过图像预处理、Canny 边缘检测,结合轮廓重心法确定堵塞点,最终使用 USB 转 TTL 串口通讯实现上下位机数据交互,以完成对蜂窝陶瓷的细孔堵塞缺陷自动定位,并通过高压气体进行疏通。经实验测试,本文提出的基于轮廓重心法的堵塞检测及疏通系统,能自动对蜂窝陶瓷的堵塞点进行实时检测,速度快、精度高、稳定性高,且发现细孔堵塞问题后,可通压气体进行及时疏通。

1 蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统设计

1.1 结构设计

根据市场上的成本要低、测量速度不能太慢、检测精度要高等要求,设计了蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统,本系统是一个检测工位,其装置结构和蜂窝陶瓷检测面分别如图 1 和图 2 所示。

其具体工作流程是:操作工人将待检测蜂窝陶瓷放到检测位置上,在检测位置底部按有压力传感器,当测量到对应的质量后,就会发出一个讯号,这时放置在陶瓷上的平面阵列摄影机会捕捉一幅画面,然后编制成影像处理程序,求出最长轴和最短轴像素(以 pixel 表示),并用校准方法求出其实际的长(毫米)。接着,驱动马达开始转动(可按实际需求设定转动周期),与此同时,放置在陶瓷上的平面阵列摄影机开始拍照,这时摄影机所获得的画面是一个长方形(与扫描器扫描的图像相似),传送至 PC 电脑,电脑收到图像,进行运算,电脑会在图像中标记出外部圆形和阻塞的形状,并将其展示,并将其传送给下一台电脑。下端收到的信息会分析这些资料,从而判定所测的蜂窝陶瓷是否合格,如果不符合则会在显示屏上显示,以方便工



蜂窝陶瓷自动疏通装置由 1: 面阵工业相机、2: 高压喷嘴、3: 底座、4: 玻璃隔板、5: 平行光源、6: 杂质排出孔、7: 橡胶脚垫、8: 驱动电机、9: 机械臂、10: 相机支架、11: 相机座构成,其中 6 用于堵塞细孔的杂质排出。

图 1 蜂窝陶瓷自动疏通装置



图 2 蜂窝陶瓷检测面

人及疏通系统对蜂窝陶瓷进行处理;如果被检测的蜂窝陶瓷符合标准,显示屏上会显示正常,机械臂会将蜂窝陶瓷取出,送入下一个区域。综上,完成蜂窝陶瓷检测操作。

1.2 控制系统设计

目前在工业生产中被大量使用的方案是 PC+PLC 的控制方式,在该系统中使用 PC+单片机控制方案的原因是这种方案能够降低系统的生产成本,并且通过对单片机周围电路合理设计的效果是不亚于 PLC 设备。该系统中 PC 主要负责控制相机拍照、图像处理,然后将检测之后的结果发送到单片从而控制整个系统^[10]。单片机控制系统的其他部分,包括传动机构控制、PC 处理程序触发、光源控制、系统保护等。本方案很好的利用了 PC 的高速数据处理能力,然后使用单片机扩展了 PC 的 I/O 口,简单有效的解决了 PC 的 I/O 数量和电平限制^[11]。蜂窝陶瓷堵塞 s 检测及疏通系统的电气框图如图 3 所示。

PC 和单片机之间通过串口进行通讯,其中上图中的 USB 是一种串口(串口是一大类接口,包括但不限于 RS232),它拥有复杂的通讯协议,支持热插拔,并可以以

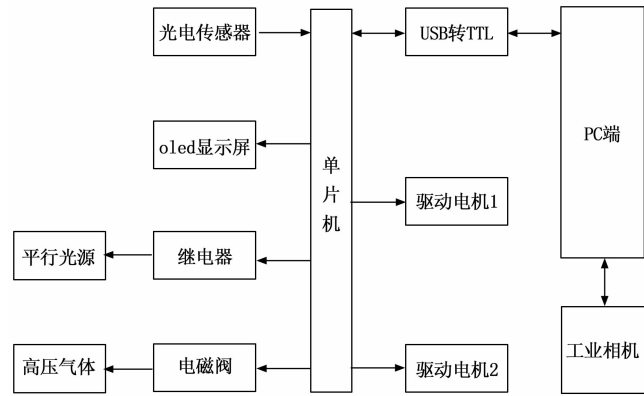


图 3 蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统的电气框图

非常快的速度传输数据^[12]; TTL 表示的是一个三极管的逻辑电平。由于 MCU 通讯的通讯界面与 PC 通讯的电平逻辑不同, PC 机通讯界面具有 USB, 对应电平的逻辑也遵循 USB 原理; 在单片微处理器中, 采用 RXD、TXD、VCC 和 GND 四个插针进行串口通讯。因此, 必须把 USB 转变成 TTL 的模式, 把电平转变成两个人都能辨认的交流。在系统运行时如果单片机通过光电传感器检测到蜂窝陶瓷放入待检位置, 就会发送开始检测的信息同时打开 LED 光源。PC 机接收到数据后就会从视频中截取一张图片进行计算, 在计算时 PC 机的程序会把外圆和堵塞的轮廓在图片中标注出来并显示这张图片, 同时将信息发送到下位机。下位机接收到信息会将数据解析出来, 如果被检测的蜂窝陶瓷外圆不符合标准, 则会在显示屏上显示由工人将此蜂窝陶瓷剔除; 如果被检测的蜂窝陶瓷外圆符合标准但是有堵塞, 下位机会控制细孔堵塞疏通机械臂将高压喷嘴移动到堵塞位置打开高压气体进行疏通, 疏通后由工人取出; 如果被检测的蜂窝陶瓷外圆符合标准并且无堵塞显示屏上会显示正常, PC 机工人将蜂窝陶瓷取出。

2 蜂窝陶瓷图像的预处理

图像的预处理不仅可以使得后续的处理程序能够有效的发现图像的信息, 还能够极大的降低算法程序的处理难度, 从而提高算法对图像的检测的稳定性。在进行图像过滤时, 除了要消除噪声外, 还应尽量保持图像的细微特性。

2.1 中值滤波和均值滤波

中值滤波是一种基于非线性滤波的方法, 它的基本思想是利用图像中的一个象素为中心点的区域, 对相邻区域的所有象素进行分类, 并以其中间点为中心点的灰度。

中值素组存在:

$$\text{Med}(f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_n}) = \begin{cases} f_{i(n+1/2)}, & n \neq 2k \\ \frac{1}{2}[f_{i(n/2)} + f_{i(n+1/2)}], & n = 2k \end{cases} \quad (1)$$

式中, k 表示象素点数量, $a = [f_1, f_2, \dots, f_i]$ 表示数组。

面阵工业相机直接采集的图像中, 象素点之间存在较

大的相关度, 因此选择的某一个象素点附近的象素值较为接近, 而蜂窝陶瓷图像中只有部分象素会受到噪声的污染, 然而象素污染前后的灰度值并不会受到影响, 因此可以通过极值特征对陶瓷图像中受到噪声污染的象素进行判断。

蜂窝陶瓷中值滤波步骤如下。

步骤 1: 从蜂窝陶瓷图像中选择一个大小为 3×3 的窗口模板, 窗口模板领域内任意点的象素为 $f(x, y)$, 在象素阈值为 α 的情况下, 可以对噪声象素值的范围进行限定, 其中, 白噪声象素值为 $[255 - \alpha, 255]$, 黑噪声象素值为 $[0, \alpha]$, 信号点象素值为 $[\alpha, 255 - \alpha]$ 。

步骤 2: 以步骤 1 中设定的窗口范围为基础对象素点进行判断, 表达式为:

$$f(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) \in [255 - \alpha, 255] \\ 1, & f(x, y) \in [0, \alpha] \end{cases} \quad (2)$$

受到蜂窝图像边缘点与细节点的影响, 被标记为噪声的象素点并非完全就可以确定噪声象素点, 因此需要对噪声象素点进行进一步的判断。

步骤 3: 当象素点数量满足 $k \neq 0$, 则认为窗口区域内的象素点存在未受到噪声干扰的影响, 则需要对其中受到噪声干扰的象素点进行进一步的检测与判断。

1) 当存在 $f(x, y) \in [255 - \alpha, 255]$ 时, 受到噪声干扰象素的判定公式为:

$$f(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & f(x, y) - g'(x, y) \leq \beta \\ g'(x, y), & f(x, y) - g'(x, y) \geq \beta \end{cases} \quad (3)$$

式中, β 表示象素阈值, $g'(x, y)$ 表示非噪声象素的中值。

2) 当存在 $f(x, y) \in [0, \alpha]$ 时, 受到噪声干扰象素的判定公式为:

$$f(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & g'(x, y) - f(x, y) \leq \beta \\ g'(x, y), & g'(x, y) - f(x, y) \geq \beta \end{cases} \quad (4)$$

步骤 4: 当存在 $k = 0$ 时, 则认为窗口区域内的所有象素均为受到噪声干扰的象素, 通过下列公式进行表述:

$$f(x, y) = \begin{cases} g(x, y), & |f(x, y) - f(x, y)| \geq \beta \\ f(x, y), & |f(x, y) - f(x, y)| \leq \beta \end{cases} \quad (5)$$

式中, $g(x, y)$ 表示窗口区域内所有象素点的中值。

完成中值滤波处理, 为了进一步提高蜂窝陶瓷图像的滤波效果, 以中值滤波结果为基础, 进行均值滤波处理。

均值滤波器是一种基于线性的空间域滤波器, 它利用滑移窗在图象区域上的滑移, 利用窗内象素点的灰色值来代替视窗中点处的灰度, 从而实现了对中值滤波后的象素化。平均滤波器在抑制噪音方面表现出了很好的降噪能力, 它可以利用过滤模板来实现对蜂窝陶瓷图像的高效过滤。

均值滤波算法的实现原理是, 对中值滤波处理后的蜂窝陶瓷图像内所有象素的灰度值进行加权平均处理, 具体的计算公式为:

$$R(i, j) = \frac{1}{k} \sum_{(x, y) \in B} f(x, y) \quad (6)$$

式中, B 表示领域点集合。

单一的滤波方法对蜂窝陶瓷图像处理的效果均不能达到理想的效果, 因此在此次研究过程中使用了先中值滤波再均值滤波的组合滤波方式^[15-16]。结果如图 4 所示。

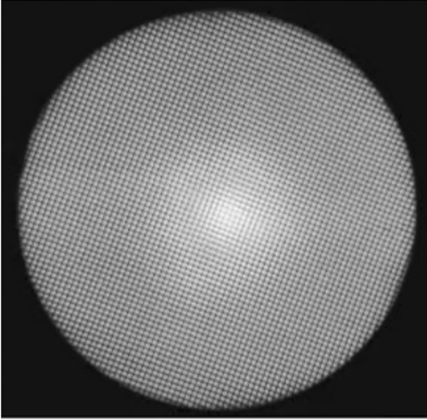


图 4 先中值滤波再均值滤波结果图

2.2 高反差保留

高反差保留算法可以很好保留图片中相邻像素点数值变化大的地方, 应用在蜂窝陶瓷堵塞检测中可以很好的保留蜂窝陶瓷的细孔壁细节。高反差保留原理就是先对图片使用高斯滤波器平滑图像, 然后使用原图减去高斯滤波之后的图就会得到强化边缘值, 通过调整高斯滤波的滤波半径大小可以调整图像的边缘强度^[17]。计算公式如式 (7) 所示:

$$\text{New_image} = \text{input_image} - \text{Gaussian_image} \quad (7)$$

式中, New_image 为高反差保留的图像; Input_image 为程序读取的原图像; Gaussian_image 为高斯滤波图像。

高反差保留的算法除了上述的标准形式外还有以下形式:

$$\text{New_image} = \text{input_image} - \text{Gaussian_image} + 127 \quad (8)$$

$$\text{New_image} = (\text{Gaussian_image} - \text{input_image}) * M \quad (9)$$

式中, M 为常数。

但是上述 3 种形式都不能很好的增加图像的对比度, 为此本文提出了改良的高反差保留计算方法, 公式如下:

$$\text{New_image} = \text{Gaussian_image} - N * \text{input_image} + A \quad (10)$$

式中, N 为输入图片色彩的放大倍数; A 为增加色彩的值 (范围为 0~255)。

引入 N 的目的就是增加原图的色彩值, 在与高斯滤波后的图片做差后就会产生增加像素点色彩值的情况使得图片的对比度增加。在公式后面加入 A 是增加图像整体的亮度, 使得在后面进行二值化的时候不在使用阈值区间二值化, 以达到减少计算的目的。

假设图片中有相邻的两个像素点, 一个像素点 (X_1, Y_1) 的灰度值为 100, 另外一个像素点 (X_2, Y_2) 的灰度值

为 99, 这两个像素的灰度值差距仅为 1, 因此对比度也较小。而使用上面的 3 个公式计算之后这两个像素点之间的灰度值差距仍为 1。在程序中本项目使用的 N 值为 1.2, 经过公式的计算 (X_1, Y_1) 的灰度值就变成了 120, (X_2, Y_2) 的灰度值成了 118.8, 这样这相邻像素点的灰度值差距就由 1 变成了 1.2。并且当这两个像素的灰度值差距越大, 经过计算之后的灰度值差距就会更大。很好的解决了上述问题。计算结果如图 5 所示。

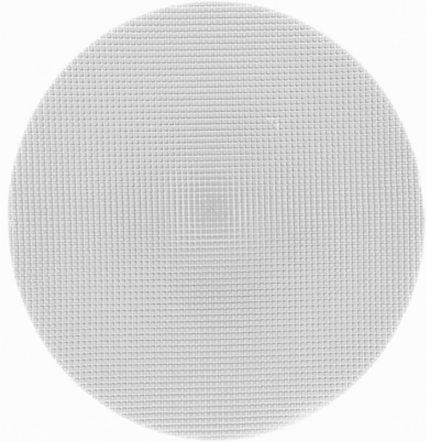


图 5 高反差保留结果图

3 蜂窝陶瓷图像检测

3.1 边缘检测

边缘检测作为图像识别的第一部分, 一直以来就是国内外对于机器视觉探索研究的热门方向, 尽管现在已经出现了一些神经网络等基于大数据的识别方法都不能很好的解决一些问题。现在应用最广泛的还是一些像 Canny 边缘检测等传统的边缘检测算法^[18-19]。为了有效的使用 Canny 边缘检测, 在算法中引入了一个高斯滤波核为目标图像进行滤波以消除噪声的干扰, 然后通过非极值抑制处理计算梯度值与梯度方向后确定出实际情况的图像边缘信息。

在这里引入高斯滤波主要是使图像变得平滑, 同时增大边缘宽度。在二维的灰度图中, 对于任意像素点 (X, Y) 其灰度值是 $F(X, Y)$ 。通过高斯滤波之后, 高斯滤波公式如式 (11) 所示, 当前像素点的灰度值变为 $G(X, Y)$ 。

$$G(X, Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-X^2+Y^2/2\sigma^2} * F(X, Y) \quad (11)$$

式中, σ 为该像素点高斯滤波核的标准差。

下一步是通过公式对所得图像轮廓的梯度进行计算。计算公式如式 (12), 式 (13) 所示。然后根据当前像素点模板内的差分值进行计算图像灰度变化的幅值和方向, 如式 (14), 式 (15) 所示。

$$D_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I \quad (12)$$

$$D_Y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I \quad (13)$$

注: I 是初始图像的像素值; D_X 、 D_Y 为图像坐标 X 轴和 Y 轴方向边缘检测的图像灰度值。

$$D = \arctan \frac{D_X}{D_Y} \quad (14)$$

$$S = \sqrt{D_X^2 + D_Y^2} \quad (15)$$

注: D 为梯度方向; S 为梯度幅值。

紧接着就是非极大值抑制步骤, 为了比较精准的得出所的图像的边缘, 在算法中使用跨越梯度方向的两个相邻像素之间的线性插值来得到像素梯度, 还能够起到细化边缘的作用。

在边缘寻找时, Canny 检测使用了高低双阈值的算法。可以根据设定的最大值和最小值将像素点认定成边界, 当前点与边缘的像素点相邻就会被认定成边界, 反之就不是边界。

3.2 特征提取

完成陶瓷蜂窝图像的边缘检测后, 为了提高拥堵检测可靠性, 采用核主成分分析方法提取蜂窝陶瓷图像的特征。

核主成分分析方法是在线性成分分析的基础上进行的非线性扩展, 针对 N 个陶瓷图像训练样本, 可以通过映射函数 φ 将 $F(x, y)$ 映射到更高维的空间, 得到 $\varphi(F(x, y))$ 。高维映射后陶瓷图像需要满足的条件为:

$$\sum_{i=1}^N \varphi(F(x, y)) = 0 \quad (16)$$

在特征空间内, 陶瓷图像样本的协方差矩阵表达式为:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi(F(x, y)) \varphi(F(x, y))^T \quad (17)$$

在协方差矩阵 C 内存在特征值 λ_k , 特征值对应的特征向量为 v_k , 二者的表达式可以写为:

$$\lambda_k v_k = C v_k \quad (18)$$

根据再生核理论, 可以得到 $v_k \in \text{span} \{ \varphi_1(F(x, y)), \dots, \varphi_N(F(x, y)) \}$, 可以确定通过参数向量 δ_k 对特征向量进行计算:

$$v_k = \sum_{j=1}^N \delta_k \varphi_N(F(x, y)) \quad (19)$$

设定核矩阵 K 的大小为 $n \times n$, 其中第 (m, n) 个元素的表达式为:

$$K_{m,n} = K(F_m(x, y), F_n(x, y)) = \varphi(F_m(x, y))^T \varphi(F_n(x, y)) \quad (20)$$

式中, $K(\cdot)$ 表示核函数。

将式 (17)、(19)、(20) 代入到式 (18) 中, 可以得到:

$$N \lambda_k \delta_k = K \delta_k \quad (21)$$

由于式 (16) 是在一定条件下成立的, 因此可能存在不成立的情况, 因此需要进行中心化处理。中心化处理的计算公式为:

$$\hat{\varphi}(F_m(x, y)) = \varphi(F_m(x, y)) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N F_n(x, y) \quad (22)$$

经过中心化处理调整后, 核矩阵 \hat{K} 中第 (m, n) 个元素转变为:

$$\hat{K}_{m,n} = \hat{\varphi} F_m(x, y)^T \hat{\varphi} F_n(x, y) \quad (23)$$

根据式 (23), 可以将式 (21) 改写为以下形式:

$$N \lambda_k \delta_k = \hat{K} \delta_k \quad (24)$$

对式 (24) 进行求解, 可以特征值与特征向量, 则任意蜂窝陶瓷图像样本在特征空间内的特征值可以表示为:

$$v_k = \frac{\sum_{n=1}^N \delta_k [\hat{\varphi} F_m(x, y)^T \hat{\varphi} F_n(x, y)]}{\hat{\varphi} F(x, y)} \quad (25)$$

式 (25) 输出的结果即为蜂窝陶瓷图像的特征提取结果, 通过对蜂窝陶瓷图像特征值的提取, 可以提高后期轮廓寻找的有效性, 有助于提高蜂窝陶瓷堵塞检测的精度。

3.3 轮廓寻找

霍夫变换方法是为检测直线或者曲线而产生的, 后来经过改进, 就可以检测圆形等形状, 是一种常用的图像算法, 在线状物和圆形物检测等应用中具有很重要的意义^[20]。在这里使用的霍夫圆变换是对霍夫变换的一个扩展和改进。该算法认为在图像中每一个非零像素值都有可能在一个圆上, 然后根据这个像素所在的圆的个数进行筛选, 通过这个数对圆进行筛选并且定位圆。

对于霍夫圆变换在 OPENCV 库中也提供了一个 API 例程, 通过使用这个 API 编写了轮廓查找和轮廓绘制的程序。对经过 Canny 边缘检测后的图像执行了霍夫圆变换并且检测出蜂窝陶瓷的外圆轮廓, 然后将检测出来的半径大小和圆心位置绘制在最开始输入的图片上, 结果如图 6 所示。

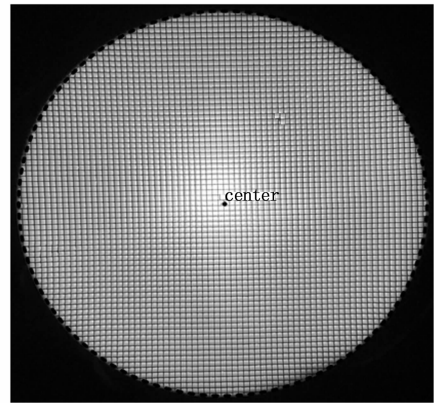


图 6 霍夫圆变换检测外圆结果

在进行霍夫圆变换检测后确定了蜂窝陶瓷外圆的半径大小和圆心位置, 在进行蜂窝陶瓷外圆质量检测时就可以根据检测出来的半径计算直径和横截面的面积^[21], 从而筛选出不符合要求的蜂窝陶瓷。

为了提升蜂窝陶瓷的检测速度, 仅当蜂窝陶瓷的直径和横截面面积符合要求时才执行细孔堵塞检测这一部分。在进行细孔堵塞检测时使用的是高反差保留后的图片, 该图片很好的保留了细孔的边缘。通过二值化把细孔边缘变成白色、细孔和背景变为黑色, 之后使用 Canny 边缘检测检测出了细孔的最边缘的图像。最后使用了 findContours 函

数在细孔边缘的图像中进行寻找轮廓，该函数可以返回的是轮廓拐点的像素点坐标，根据这些信息可以计算出轮廓的面积和重心等信息。

在使用图像对蜂窝陶瓷进行堵塞检测时，如果蜂窝陶瓷细孔阻塞在图像中会将相邻若干个细孔连接成一个，然后检测出来的轮廓面积就会大于标准的轮廓面积。此时，程序就会根据面积将这些细孔认定为堵塞，求出该轮廓的重心作为疏通喷嘴圆心的坐标，然后将重心坐标转换成实际坐标发送到下位机，由自动疏通装置进行疏通。最终计算结果如图 7 所示，图中的黑色点为蜂窝陶瓷堵塞点。

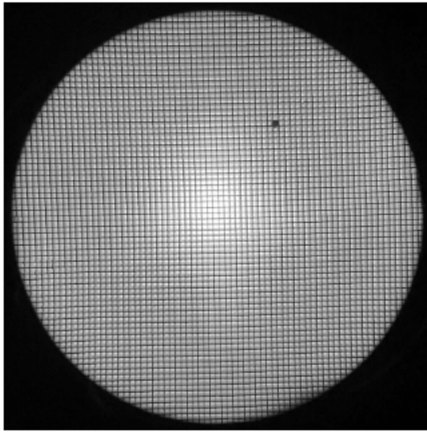


图 7 检测堵塞输出结果

由上解决了蜂窝陶瓷的关键的处理程序，最后的程序流程如图 8 所示。

3.4 系统测试

将蜂窝陶瓷放入蜂窝陶瓷阻塞自动疏通装置触发光点传感器后，下位机会发送开始检测的信息同时打开 LED 光源。上位机接收到数据后就会从视频中截取一张图片进行计算，在计算时程序会把外圆和堵塞的轮廓在图片中标注出来并显示这张图片，同时将信息发送到下位机。下位机接收到信息会将数据解析出来，如果被检测的蜂窝陶瓷外圆不符合标准，则会在显示屏上显示让工人将此蜂窝陶瓷剔除；如果被检测的蜂窝陶瓷外圆符合标准但是有堵塞，下位机会控制细孔堵塞疏通机械臂将高压喷嘴移动到堵塞位置打开高压气体进行疏通，疏通后由工人取出；如果被检测的蜂窝陶瓷外圆符合标准并且无堵塞显示屏上会显示正常，工人将蜂窝陶瓷取出。

进行测试时上位机显示的画面如图 9 所示。

在进行整体测试完成之后确定了总体思路的正确性，本项目还需要对该检测系统是否符合实际生产进行大量测试。首先验证所设计系统是否可精准检测蜂窝陶瓷外圆及蜂窝陶瓷的孔数，对同一块蜂窝陶瓷进行 20 次重复检测，将其结果作为评判其是否符合实际生产的指标，其检测结果如图 10 和图 11 所示。

图 10 和图 11 中的理论值为标准。通过图 10 的检测结

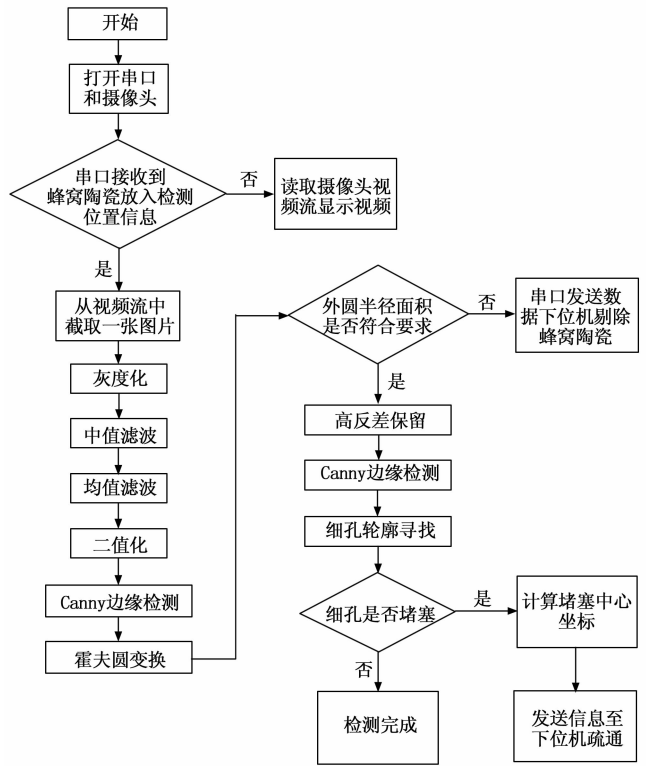


图 8 蜂窝陶瓷的关键的处理流程图

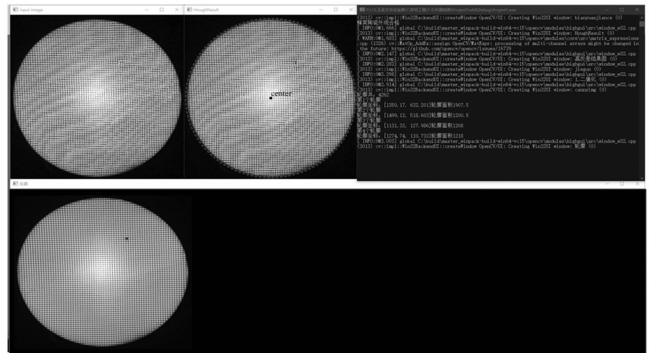


图 9 上位机测试结果图

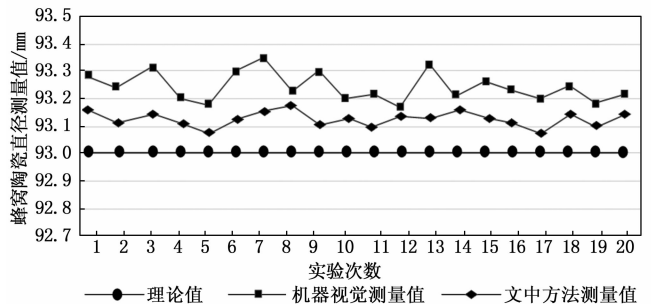


图 10 蜂窝陶瓷重复 20 次测量直径数据

果可知，所提方法和机器视觉检测的数值都大于标准值，但是无论是所提方法还是机器视觉检测蜂窝陶瓷外圆均存在误差，且两种方法都将误差控制在±1 mm 以内，符合国

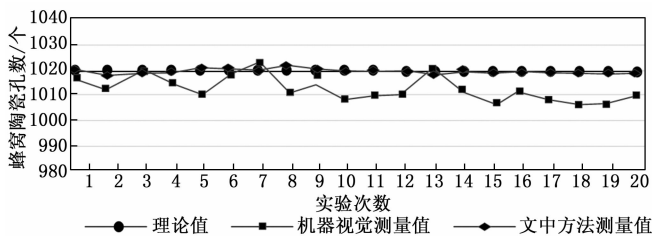


图 11 蜂窝陶瓷孔数测量结果

家标准。其中所提方法的误差最小, 将误差控制在 0.2 mm 以内, 且得出的 20 次重复检测结果上下浮动相比于机器视觉检测要小。根据图 11 可知, 所提方法可精准测量蜂窝陶瓷的孔数, 与理论值基本吻合, 而机器视觉检测出的蜂窝陶瓷孔数与理论值有些差距。由此说明, 所提方法可精准检测蜂窝陶瓷外圆且稳定性高, 优于基于机器视觉的蜂窝陶瓷检测方法。

经上述实验已验证该检测系统符合实际生产, 接着对其检测蜂窝陶瓷堵塞点的定位进行测试, 同样对同一块蜂窝陶瓷进行 20 次重复检测, 以确定堵塞检测的精准度。分别采用所提方法和机器视觉检测进行测试, 其结果如图 12 所示。

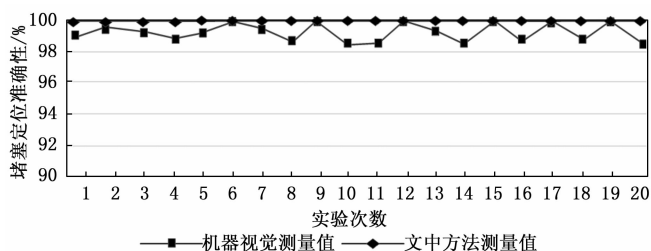


图 12 蜂窝陶瓷重复 20 次堵塞点定位结果

根据图 12 所得定位准确性结果可知, 所提方法对蜂窝陶瓷堵塞点进行 20 次检测定位的准确性一直为 100%, 而机器视觉检测的准确性略低一筹, 20 次蜂窝陶瓷堵塞点定位准确性仅有 6 次为 100%, 其余均保持在 98% 以上, 两者方法相比较, 所提方法对于蜂窝陶瓷堵塞点的检测更准确, 更加可靠、稳定。

接着为进一步验证所提方法的优越性, 对比所提方法与机器视觉检测方法对蜂窝陶瓷堵塞点检测的速度。同样对同一块蜂窝陶瓷进行 20 次重复检测, 以检测的时间最为评判指标, 采用计算机的电子秒表进行计时, 两个方法检测所用时间结果, 如图 13 所示。

根据图 13 可知, 所提方法的对于蜂窝陶瓷堵塞检测用时控制在 5.00 s 到 5.50 s 之间, 而机器视觉检测蜂窝陶瓷堵塞用时浮动较大, 控制在 6.50 s 到 7.50 s 之间。综上所述, 所提方法不仅可以精准检测到堵塞点, 且检测速度快, 稳定性高, 具有实际应用价值。

4 结束语

本文针对目前蜂窝陶瓷人工检测的不足, 设计了基于

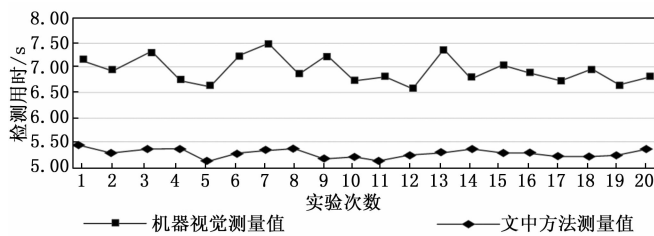


图 13 蜂窝陶瓷堵塞检测用时结果

轮廓重心法的蜂窝陶瓷堵塞检测及疏通系统, 该系统使用面相机采集蜂窝陶瓷的图像信息, 通过滤波、高反差保留计算图像的灰度信息, 采用 Canny 边缘检测计算蜂窝陶瓷的外圆和细孔边缘, 最后根据轮廓的面积作为特征识别堵塞缺陷。经过测试, 该系统可以在短时间内精准稳定的完成蜂窝陶瓷堵塞检测和疏通, 极大地节省人工成本, 提高了蜂窝陶瓷的出厂检测速度。

参考文献:

- [1] 郭峰, 朱启兵, 黄敏, 等. 基于改进 YOLOV4 的陶瓷基板瑕疵检测 [J]. 光学精密工程, 2022, 30 (13): 1631-1641.
- [2] 李颖, 周博文. 激光技术在蜂窝陶瓷在线检测的研究 [J]. 激光杂志, 2016, 37 (9): 51-55.
- [3] 张尤, 张士晶, 朱秀森, 等. 多孔陶瓷锥束 CT 重建质量优化 [J]. 失效分析与预防, 2021, 16 (6): 374-379, 391.
- [4] 翟玲玉, 邢政鹏, 冯金龄, 等. 超声无损检测在工业陶瓷中的应用 [J]. 轻纺工业与技术, 2021, 50 (11): 96-97, 122.
- [5] 毛卫平, 高伟, 顾寄南, 等. 基于机器视觉的圆柱形蜂窝陶瓷侧面裂隙检测 [J]. 电子测量技术, 2022, 45 (2): 117-122.
- [6] 戴卫军. 基于机器视觉的蜂窝陶瓷侧面缺陷检测算法研究 [J]. 陶瓷学报, 2014, 35 (3): 291-295.
- [7] 戴卫军, 唐燕妮. 基于机器视觉的蜂窝陶瓷检测系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (12): 2893-2895.
- [8] 李智. 三元催化器蜂窝陶瓷载体质量的视觉检测系统研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2015.
- [9] 李颖, 黄守道, 孙洪林, 等. 基于计算机视觉的蜂窝陶瓷在线检测系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (8): 2419-2421.
- [10] 戴卫军. 基于图像网格特征的蜂窝陶瓷端面外观缺陷自动识别 [J]. 电子技术与软件工程, 2014 (15): 108-110.
- [11] 陈瑞军, 孟伟君, 孟飞, 等. 基于 PC+控制卡的机器人手势容错控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (7): 127-131, 147.
- [12] 陈立奇. 基于单片机的嵌入式多电机智能控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (5): 117-122.
- [13] 陈旭辉, 杨红云. USB 接口的虚拟多串口通信设备设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20 (4): 18-24.
- [14] 姜庆胜, 李研彪, 计时鸣. 轴缺陷检测中的快速均值滤波应用研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2021, 49 (1): 82-87.

(下转第 70 页)