

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205279

基于机器视觉的木制压舌板裂纹自动拣选系统*

李德健 李绍丽 苑玮琦 张少奇

(沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳 110870)

摘要:针对压舌板表面裂纹缺陷的在线检测及劣品剔除问题,提出一种基于机器视觉的自动化检测系统。首先基于对压舌板及其裂纹特征的分析,设计了包含两组视觉检测机构的硬件装置。该装置以链齿型传送带为基底,作为压舌板基本传送机构;设计了链齿型传送带与反射型光电接近开关的特定装配模式,用于产生脉冲、提供系统时序;建立了基于多级缓存机制的系统控制架构,协同调配时序脉冲触发、调用及使能各个硬件部件。裂纹检测算法方面,采用一种基于方向空间显著性的方法。首先经 OTSU 算法、面积筛选以及形态学运算等预处理定位压舌板区域;然后基于方向空间显著性提取裂纹特征点,进而基于双阈值连接限制生成候选裂纹线条;最后基于延展角度、起始位置等多维条件约束精确识别裂纹。在实际生产现场对本文系统性能进行了测试,结果显示,在检测效率为 11 支/秒的前提下,误检率低至 4.17%,漏检率为 2.68%,与当前人工检测方法相比分别降低 6.66% 和 5.36%,表现出优越的性能,具有较强的实际应用价值。

关键词: 机器视觉;压舌板;裂纹;方向空间显著性;多级缓存机制

中图分类号: TP391.41;TH165 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Automated picking system of wooden cracked tongue spatula based on machine vision

Li Dejian Li Shaoli Yuan Weiqi Zhang Shaoqi

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: An automated detection system based on machine vision is proposed for the task of on-line detection of the crack defects on tongue spatula surface and the removal of inferior products. Firstly, based on the analysis of tongue spatula and its crack feature, a hardware device consisting of two groups of visual detection mechanisms is designed. The device is based on the chain-type conveyor belt as the basic transmission mechanism of the spatula. The specific assembly mode of chain-type conveyor belt and reflective photoelectric proximity switch is proposed to generate pulses and provide the timing sequence of the system. Based on multilevel caching mechanism, the system control architecture is designed for the collaborative allocation of the timing pulse triggering and the calling and enabling of each hardware component. In the aspect of crack detection algorithm, a method based on direction-space significance is adopted. Firstly, the preprocessing of OTSU algorithm, area screening and morphological operation is used to locate the spatula region. Then the crack feature points are extracted based on the direction-space significance. Furthermore, the candidate crack lines are generated based on the double threshold connection restriction. Finally, the cracks are accurately identified based on the characteristics of elongation angle, starting position and so on. The system performance is tested on the actual production site. The result shows that with the detection efficiency of 11 sticks per second, false positive rate (FPR) is as low as 4.17% and false negatives rate (FNR) is 2.68%, which are reduced by 6.66% and 5.36% respectively compared with the current manual detection method. It shows superior performance and has strong practical application value.

Keywords: machine vision; tongue spatula; crack; direction-space significance; multilevel caching mechanism

0 引言

压舌板是医生用于下压舌头以便检查周围器官及组织的器材,如本次新冠疫情期间进行人体咽拭子采集时,压舌板便为主要辅助器具之一。压舌板有竹制、塑料、木制等品种,其中木制压舌板是目前使用最为广泛的一类。从物理结构角度而言,压舌板是一种两端呈圆弧状的似矩形薄木片,多以桦木为原料,经造材、蒸煮、旋切、冲切等工序生产而成^[1]。然而受生产技术瓶颈、机械装置、环境因素变量等影响,生产出的部分压舌板会存在各种缺陷,而有缺陷的压舌板会对后续的病患或其他使用者造成不同程度的危害。其中在冲切环节中木材受到机械装置挤压易撕裂、从而导致压舌板表面形成裂纹,而裂纹极易导致使用者口舌划伤,给人的健康安全造成潜在隐患^[2]。因此在压舌板投入使用之前将有裂纹者拣选出来是至关重要的。

传统裂纹压舌板检测方法依赖于人工识别,检测过程主观性强、劳动密集程度大,导致该方式存在其固有的不一致性和不可靠性^[3]。随着自动光学检测理论和技术的发展,基于机器视觉的工业品自动化检测

系统逐渐增多^[4-5],且被广泛应用于医学、食品、木材及其他领域中^[6-13],这为压舌板质量控制提供了一种新的解决思路。目前,尽管已经存在一些关于压舌板或相似产品(如冰勺、雪糕棒等)质量检测设备的专利^[14-15],以及一些商用的视觉检测系统,但在系统自动化程度及检测率的控制等方面仍有较大提升空间。如当前部分系统只实现了图像的采集和识别,并不是从样本数据获取到样本自动拣选的完整系统;部分系统拣选率难以达到生产需求,从而只能作为粗选机使用,后续仍需人工进行二次检测。在相关论文方面,文献[16]提出使用 Canny 算法提取雪糕棒表面边缘并视为裂纹的思路,但误检率过大。文献[17]提出局部阈值分割法(local relative thresholds, LRT)检测裂纹。其首先获取原图像与均值滤波图像各像素点间的灰度差异,然后将差异大于所设定阈值的位置判定为缺陷。但该方法难以提取较为细小的裂纹,而“细小”是裂纹缺陷在压舌板表面的主要表现形式。文献[18]提出一种基于轮廓投影(contour projection, CP)的检测方法,其首先获取冰勺轮廓曲线,然后对其两端圆头区域进行沿压舌板短轴方向的投影,通过获得的投影曲线形态判断裂纹有无。但该方法同样仅适用于裂口宽且深的严重裂纹。

除以压舌板或雪糕棒、冰勺等为对象的研究之外,其他木材裂纹检测方法^[19]或工业品检测系统的设计方法^[20]理论上将对本文研究提供较强的参考价值。工业品检测系统设计方面,吴志仁等^[21]针对一次性条形木片

的检测开发了一种由前端链条、后端链条以及拨齿轮辊组合而成的翻板机。该翻板机与其设计的一种上料装置配合,实现将散状木片通过嵌入链条齿进行依次平铺并向前移动和翻面的功能。该装置的设计使检测工人不必手动拾取和翻转木片,大幅降低了工作强度。这种机械辅助人工的检测方式也是目前压舌板生产企业所采用的主要方式。后来,吴志仁等^[14-15]在上述机械装置的基础上提出利用视觉传感器代替人眼观察的样机雏形,并建立了一种基于喷气阀门的木片次品剔除机构,从而代替人手拾取。本文建立的系统便是以上述雏形为基础而搭建的。在实际生产中压舌板上的裂纹缺陷往往较细,为了量化描述,本文以木材的丝状纹理基元为单位进行分析。当前研究中所涉及裂纹通常为3~5倍的丝状纹理基元宽度,该情况下裂纹在木材表面特征明显;而压舌板裂纹宽度一般为1~2倍的丝状纹理基元间隙,识别难度更高。

因此,本文以木制压舌板裂纹自动化检测为目标,提出一种基于机器视觉的自动拣选系统。

1 硬件系统

本节首先对压舌板及其裂纹特征进行分析,这是建立其硬件检测系统的基础。然后给出设计的裂纹压舌板拣选装置结构。最后,着重介绍本文设计的作为视觉检测系统核心的成像装置和自动化控制系统核心的时序生成装置。

1.1 压舌板及其裂纹特征分析

压舌板是两端区域呈圆弧状的近似矩形木片,其在长度和宽度方向均为轴对称的,如图1(c)所示;压舌板共3个面,分别为上表面、下表面(与图1(c)中标记的上表面对应的面)和圆周面。裂纹是木材受钝力导致木纤维丝沿纵向撕裂而形成的缝隙,其总是起始于压舌板的头部轮廓,然后近似地沿着压舌板的长轴方向延展。部分裂纹沟足够深,导致其在压舌板的上下表面相应位置均显现出细长的线状;而有些裂纹较浅,只在一个表面显现出来。因此,为了保证裂纹图像的捕获,需对压舌板上、下表面均进行图像采集。

1.2 硬件装置

基于对压舌板及其裂纹的特征分析,本文建立的硬件装置主要包括4部分:1)传送系统;2)数据采集系统(包括成像系统和时序生成系统);3)数据处理系统;4)自动拣选系统。传送系统主要包括链齿型传送带以及链齿翻转轮,用于压舌板的传送和翻转。成像系统主要包括两组由图像传感器和条形光源构成的成像机构,两组机构间隔一定距离顺序分布在链条传送带途经路径上,

本文分别称其为检测工位 A、B，分别用于采集压舌板上、下表面图像。时序生成系统的核心是设计一种对象无关的卡位探测装置，用来产生整个系统的时序信号，进而作为相机触发信号、压舌板序号标记信号以及拣选系统使能信号等。数据处理系统主要包括计算机和可编程逻辑控制器(PLC)，其在软件框架统筹下处理采集的图像、控制硬件系统运转。自动拣选系统的核心器件为电磁喷气阀，位于检测工位 B 之后，其接受来自 PLC 的信号，将有裂纹的压舌板喷除至回收箱内。整体硬件装置结构如图 1 所示，实物图如图 2 所示。

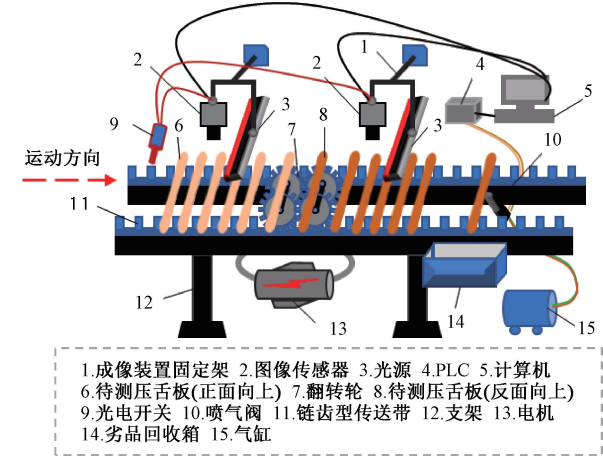


图 1 压舌板裂纹检测装置机械结构
Fig. 1 Mechanical structure diagram of tongue depressor crack detection device

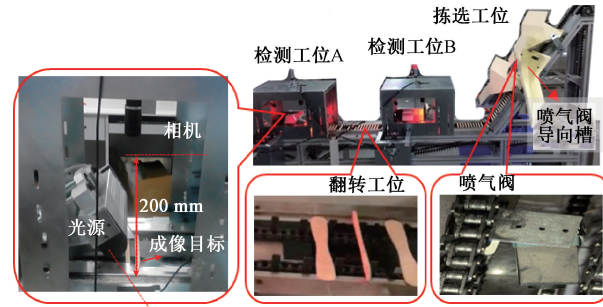


图 2 硬件设备及成像效果
Fig. 2 Hardware equipment and imaging effect

1.3 成像系统

成像机构是机器视觉检测系统的核心,本文成像系统的设计目标是获取压舌板上、下表面清晰完整的像,以便于后续的裂纹检测。

本文成像系统主要由相机和条形光源构成,如图 3 所示。相机被安装在机械固定架上,从上向下对压舌板表面进行成像。将相机成像视野内的底座平台区域喷涂为哑光黑色以避免背景杂色及反光等对后续图像处理的

干扰。压舌板被链条传送带依次运送至相机视场范围,由条形光源提供照明进行成像。允许的相机分辨率 (limiting camera resolution, LCR) 可计算为 $LCR = (SFOV / SMD) \times NPD$, 其中 SFOV 和 SMD 分别表示成像视场 (Field of View, FOV) 以及最小缺陷的尺寸,且最小缺陷需要至少 NPD 像素来表示。本文中,压舌板长度方向上 $SFOV \approx 100\text{ mm}$, $SMD = 0.1\text{ mm}$, $NPD = 1$, 则计算得 $LCR = 1\ 000$; 压舌板宽度方向 $SFOV \approx 20\text{ mm}$, $SMD = 0.1\text{ mm}$, $NPD = 1$, 计算得 $LCR = 200$ 。因此满足本文需求的最小相机分辨率为 $1\ 000 \times 200$, 那么选用一个分辨率为 $1\ 280 \times 256$ 的相机便可满足检测需求。本文以灰度格式获取现场压舌板真实图像,效果如图 3 所示。

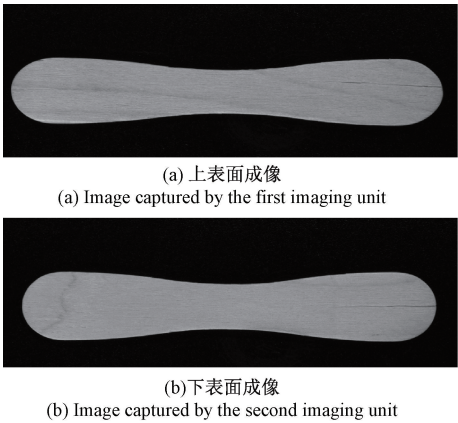


图 3 某一裂纹压舌板上/下表面成像效果
Fig. 3 Image in the data set

1.4 时序生成机构

本文设计了一种对象无关的卡位探测装置来生成系统时序。该装置的实质是光电接近开关与链条型传送带的一种特定装配方式。如图 4 所示,将光电开关固定在链条齿必经之路上,在链齿带动压舌板向前移动的过程中,根据光电开关原理,接受到链齿反射光线时输出高电平信号,记为 1;相反,当链齿间隙运动到光电开关位置时,输出低电平,记为 0。因此每当一个链齿卡位通过光电传感器一次则形成一个脉冲“10”。则在链齿向前运行的过程中形成脉冲序列“...1010101010...”。那么则建立了链齿卡位与脉冲信号的一一对应关系。理论上,每个卡位可携带一支压舌板,则进而可确定脉冲序列与压舌板的对应关系。

统一的系统时序能够便于协调硬件装置各机构的工作,以及硬件与检测算法的配合。而如何利用系统时序完成上述内容是系统控制架构要解决的主要问题。

2 基于多级缓存的系统控制架构

软件控制系统用来协调硬件系统各个部件之间,以

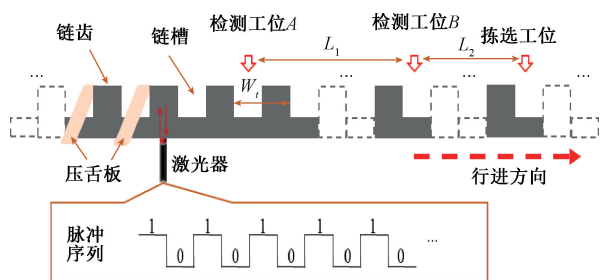


图4 系统时序的生成

Fig. 4 Generation of system timing

及硬件与缺陷检测算法之间的协同工作。本文设计了一种基于多级缓存的软件控制架构。该架构服务于所建立的硬件系统,并基于所设计的卡位探测装置生成的系统时序指导整个系统工作。硬件系统中两个重要的机构装配参数是距离 L_1 和 L_2 ,如图4所示,分别表示检测工位A和检测工位B间的距离,以及检测工位B和筛选工位间的距离。由于裂纹可能出现在压舌板两个表面的任意一个,所以需将两检测工位的识别结果融合起来进行最终判定。一种顺序的执行架构是第1支压舌板首先经检测工位A成像并处理,然后经检测工位B成像并处理,最后在筛选工位进行结果融合和判断;完成之后,按照上述相同流程进行第2支压舌板的检测;然后依次是第3支、第4支…。该顺序型架构检测1支压舌板所需时间 $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ 。 t_1 、 t_2 分别表示检测工位A、B成像和处理所需时间, t_3 和 t_4 分别表示压舌板通过 L_1 和 L_2 所需时间。在 t_3 和 t_4 时间内,系统并没有计算任务,而仅仅是等待压舌板移动。然而越大的 L_1 和 L_2 导致系统耗费在等待上的时间越长,此部分时间的有效利用将提高整个系统的效率。因此本文提出了一种基于数据多级缓存的处理方法,其本质为将当前压舌板 I_1 检测中原本用于等待的时间 t_3 、 t_4 用于执行下一压舌板 I_2 的处理,而将处理 I_2 时原本用于等待的时间 t_3' 、 t_4' 继续进行第3支压舌板 I_3 的处理,依此类推,将所有原本用于等待的时间全部利用起来。那么如何有序整理各压舌板在不同工位产生的输出数据,从而避免检测结果融合的混乱,以及保证分选系统精准匹配压舌板与其相应融合结果数据,从而准确执行拣选动作是需要解决的主要问题,也是本文多级缓存架构的核心。

本文多级缓存模式基于1.4节获得的系统时序,其基本原理及相应的系统数据逻辑如图5所示。首先,启动链条传送带,链条向前移动,当光电开关信号从1变为0时,说明链条向前移动了 W_t ,检测工位A采集图像,且调用检测算法对其是否含有裂纹进行检测,结果按脉冲顺序缓存至 R_a ;如图5所示,这是软件系统的第1级数据缓存。同时检测工位B采集图像,同样地调用检测算法

对其是否含有裂纹进行检测,将检测结果按序缓存至第2级缓存区 R_b 。接着调用融合算法,将检测工位B当前时刻结果 R_b 与检测工位A第前 L_1/W_t 个缓存数据进行融合,得到 $R_{ci} = R_{bi} || Ra(i - L_1/W_t)$ 并缓存至第3级缓存区 R_c 。接着在第 L_2/W_t 个时序脉冲时调用该缓存数据作用于筛选工位的电子喷气阀进行动作。

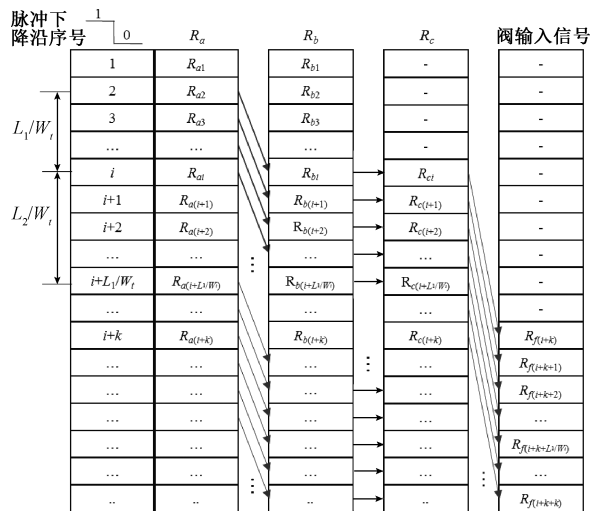


图5 基于多级缓存机制的压舌板检测数据逻辑

Fig. 5 Logic of tongue depressor detection data based on multi-level cache mechanism

3 基于方向空间显著性的裂纹识别

这一部分介绍一种基于方向空间显著性的压舌板裂纹检测算法。该方法主要包括3个部分:ROI(region of interest)定位、基于方向空间显著性的裂纹线条提取,以及裂纹线条的精确识别。

3.1 ROI定位

受机械振动及链条尺寸精度等因素影响,压舌板ROI区域并不总是呈现在所采集图像的某个固定位置,因此需要首先进行目标定位。如图6所示,本文利用木材呈亮白色而成像背景因事先被喷涂为黑色从而具有较明显的亮度差异,首先通过OTSU^[22]算法将图像分割为前景和背景两部分。然后基于灰度特征提取压舌板区域 R_{oi} ,如式(1)。

$$R_{oi} = \begin{cases} R_a, \psi(R_a) > \psi(R_b) \\ R_b, \psi(R_a) \leq \psi(R_b) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\psi(*)$ 表示区域 * 的平均灰度值, R_a 和 R_b 分别表示前景或背景区域。

3.2 基于方向空间显著性的压舌板裂纹提取

图7为压舌板裂纹图像的三维灰度分布情况,可见,图7(a)中裂纹在三维灰度空间(图7(c))中呈山谷状,裂纹所在的横剖面近似于抛物线,且具有一个极小值点

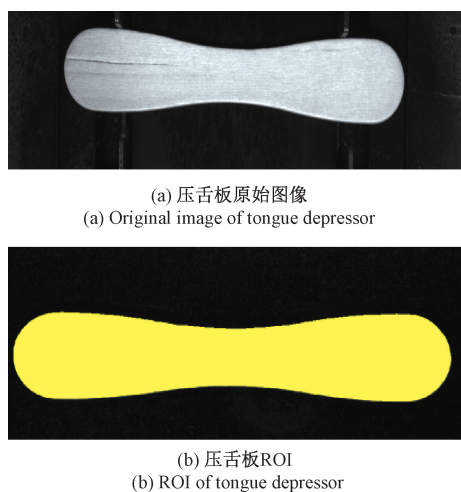


图 6 压舌板 ROI 定位

Fig. 6 ROI positioning of tongue depressor

p ,如图 7(b)所示,也即曲线的谷值点。因此可以通过检索图像中某个方向灰度分布曲线上的谷值对裂纹上的点进行提取,而这些点的连合便构成了整条裂纹。基于上述思路,本文采用文献[23]一种基于方向空间显著性的方法,首先基于方向空间显著性的特征点的提取,然后进行基于双阈值连接限制的特征线条生成。

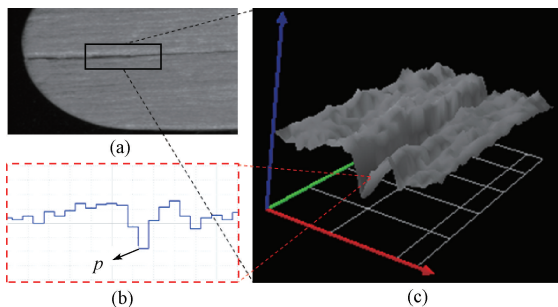


图 7 裂纹灰度投影曲线及三维灰度空间特征

Fig. 7 Crack grayscale projection curve and 3D grayscale space features

3.3 基于多维条件约束的裂纹线条精确识别

3.2 节中,为保证提取到足够的特征点以实现裂纹线条的重构,将不可避免的保留部分噪声,从而进一步形成了噪声线条。通过观察,噪声线条主要为矿物线、木纤维丝沟壑等木材天然或加工纹理。而基于观察和分析,裂纹线条在长度、延展角度以及起始位置等多个维度具有较强的特异性,因此本文采用文献[23]一种基于多维条件约束的裂纹线条精确识别方法。

4 实验

对本文设计的自动视觉检测系统进行效果评估。建

立了两个压舌板图像数据集,分别为训练集和测试集。训练集用于算法关键参数的确定,测试集用来评估裂纹检测算法的效果。数据集中的图像均由本文设计的硬件装置采集。训练数据集由 179 幅图像构成,其中包括正常无缺陷压舌板图像 82 幅,含有裂纹的压舌板图像 97 幅,其中在样本库建立时尽量使包含的裂纹在宽度、深度等方面广泛而具有代表性,且其中的 97 条裂纹均被手工标记出来。测试数据集中共包含 271 幅图像,其中正常无缺陷图像 131 幅,裂纹图像 140 幅。为了评估整个系统的性能,本文还建立了压舌板实物样本库,包括在工业现场随机抽取的 112 支含有裂纹的压舌板以及 120 支无缺陷的压舌板。

4.1 评价指标

为了客观的评估本文系统及检测算法效果,采用与压舌板实际生产中其品质控制部门所规定的统一评价指标,即漏检率(false negatives rate, FNR)和误检率(false positive rate, FPR),具体定义如下。

$$FNR = \frac{FN}{NNM} \quad (2)$$

$$FPR = \frac{FP}{NDM} \quad (3)$$

其中, FN 和 FP 分别表示有缺陷但判定为合格,以及无缺陷但判定为不合格的成员数量。 NNM (number of normal members)表示参与测试的正常样本数量; NDM (number of defective members)表示参与测试的有缺陷成员数量。

此外,通过对训练图库中样本的观察和统计,采用文献[23]中方法确定阈值 $Tlength_{15}$,角度阈值 δ_1 和 δ_2 分别为 -45 和 45 ;由于裂纹沿压舌板长轴方向分布,即在图像中近似水平方向,则裂纹谷值点存在于竖直方向,因此将方向空间算法方向值 d 设为 90° 。下文中的实验均为基于上述设定的基本参数而执行的。

测试本文算法实验的软件平台为 Visual Studio C++ 2017,所使用的计算机处理器型号为 Intel i7-4960X,6核,主频为 3.60 GHz,内存为 8 G,操作系统为 Windows 1 064 位企业版。

4.2 方向空间显著性参数 T 、 T_{high} 和 T_{low} 的确定

Steger 在其经典研究^[24]中指出,在已知图像上待测线结构宽度和深度信息的情况下,可通过高斯核函数来建立线条上相邻像素点的连续性关系模型,如式(4)所示。在本文中,压舌板裂纹是由机械装置钝力挤压撕裂而成,产生原因和机理单一且在一定程度上具有稳定不变性,因此裂纹的宽度和深度局限在某一固定范围,从而可以通过一定量的抽样统计来较为准确地获取其宽度和深度信息。具体采用文献[23]中方法,通过式(4)确定出算法相关参数。

$$\begin{cases} T_{high} = h \times -2g'_\sigma(w) = h \times \frac{-2w}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} e^{-\frac{w^2}{2\sigma^2}} \\ T_{low} = \frac{1}{3} \times T_{high} \\ \sigma = \frac{w}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (4)$$

其中, h 、 w 分别表示裂纹的深度(即方向空间算法参数 T)和宽度, σ 为高斯函数标准差。经统计, 压舌板裂纹平均宽度、深度分布范围分别为 1~5 pix 和 5~20 pix, 本文依次将其赋值予 w 和 h , 则经式(4)计算后可得到相应的 T_{high} 和 T_{low} 。图 8 为以 1 为步长的不同 w 和 h 取值下算法在本文建立的训练图库上的效果。由图 8(a) 可见, 随着 h 取值的增加, FNR 逐渐减小; 同时可见在 w 轴方向曲面呈凹陷状, 近似地在 $w=3$ 时获得最小的 FNR ; 由图 8(b) 可见, 随着 h 的增加 FPR 逐渐增加, 且在 w 轴方向与图 8(a) 呈现相似趋势, 即以 $w=3$ 为底的山谷状; 这表明本文算法在 w 取值为 3 时会获得相对更低的漏检和误检。图 8(c) 展示了不同 h 情况下 FNR 和 FPR 分布曲线交汇状态。可见, 在 w 从 1 到 5 的取值过程中会获得 5 组 FNR 和 FPR 曲线的交汇点, 交汇点代表了相应 w 取值下算法可获得的最佳效果。

交汇处的细节信息放大后如图 8(d) 所示。可见当 $w=3$ 时 FNR 和 FPR 曲线约交汇于 $h=13$ 处, 此时获得相对最低的 FNR 和 FPR 值, 为 0.030 9。因此确定阈值 T 为 13 算法可获得最佳效果, 此时可根据式(4)可计算得 T_{high} 和 T_{low} 分别为 5.34、1.78。

4.3 裂纹检测算法效果评估及对比

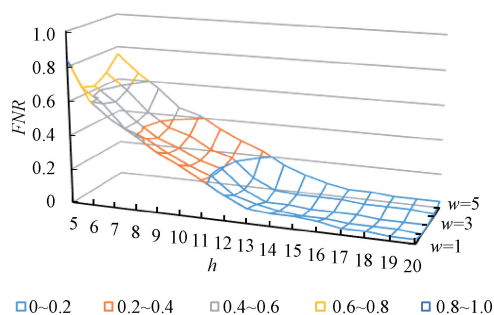
利用建立的测试图库对 4.2 节所确定参数下的裂纹检测算法进行效果评估。本文方法其主要过程依次包括 ROI 定位、裂纹线条提取以及裂纹精确识别 3 个部分, 每个部分均具有一定的独立性, 可以以模块的形式与一些现有的其他方法进行嵌入替换。

可见, 本文方法获得了相对更低的 FNR 和 FPR , 分别为 2.86% 和 3.05%, 算法平均耗时 72.25 ms。

图 9 中各子图为本文定位的压舌板 ROI, 本文方法检测效果。由图 9 可见, 对于较宽、较深的裂纹, 本文方法能将其检测出来; 对于较宽但较浅的裂纹, 如图 9(a) 所示, 本文方法可实现有效检测; 对于又浅又细的裂纹, 如图 9(c) 所示, 本文方法仍成功提取出目标。综上所述, 本文方法对于宽且深的一般裂纹及细小裂纹均具有更佳的检测能力, 表现出优越性。

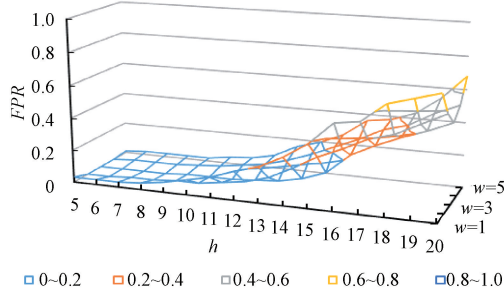
4.4 系统整体效果评估

为了评估所设计系统的整体效果, 在工业现场随机抽取 112 支含有裂纹的压舌板以及 120 支无缺陷的压舌板进行测试。基于本文系统设计原理, 系统效率 E 可表



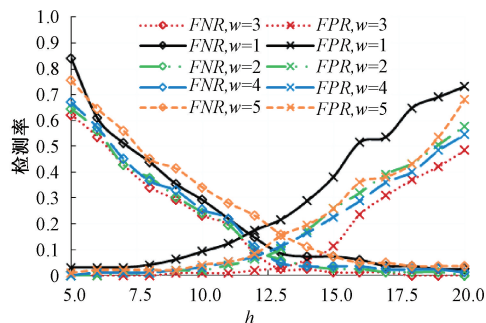
(a) 不同 h 和 w 下的 FNR 分布曲面

(a) FNR distribution surface under different h and w



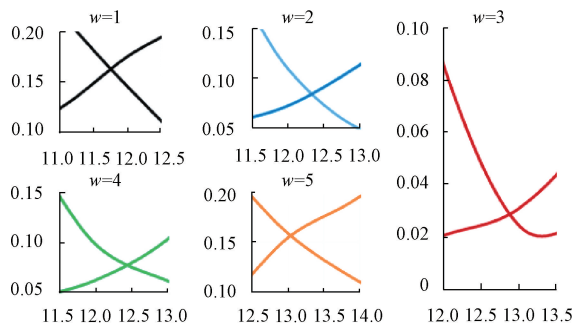
(b) 不同 h 和 w 下的 FPR 分布曲面

(b) FPR distribution surface under different h and w



(c) 不同 h 和 w 下 FNR 和 FPR 分布曲线的交汇状态

(c) Intersection state of FNR and FPR distribution curves under different h and w



(d) FNR 和 FPR 分布曲线交汇局部区域

(d) The local area where FNR and FPR distribution curves meet

图 8 不同参数下的算法效果

Fig. 8 Algorithm effect under different parameters

示如下;

$$E \leq \frac{1}{T_i + T_d + T_f} \quad (5)$$

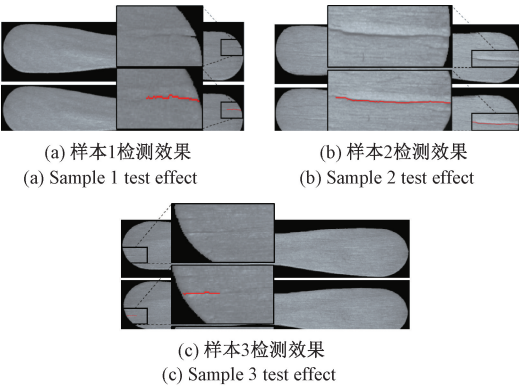


图 9 本文裂纹检测效果

Fig. 9 The crack detection effect of this paper

其中, T_i 为图像传感器采集所需时间(本文选用的德国 XIMEA 公司 MQ013 MG-E2 相机,该参数为 17 ms), T_d 为裂纹检测算法耗时(经检测,耗时为 72.25 ms), T_f 为融合 A、B 两检测工位结果耗时(本文通过计算机逻辑“或”操作实现,时间可忽略),则可计算得理论上本文系统最大 E 值为 0.011 2,即约 11 支/s。在该 E 值下对系统进行了测试,并与人工检测效果进行了对比,结果如表 1 所示。

表 1 系统整体效果对比

Table 1 System overall effect comparison

检测方式	FP	FPR/%	FN	FNR/%
本文系统	5	4.17	3	2.68
人工	13	10.83	9	8.04

由表 1 可见,在系统运行速度设置为 11 支/s 的状态下,本文自动化检测系统 FPR 为 4.17%, FNR 为 2.68%。与人工检测方法相比, FPR 和 FNR 分别降低 6.66% 和 5.36%,显示出明显的优势,可替代当前人工检测。

5 结 论

本文从压舌板及其裂纹特征分析出发进行硬件装置的设计与搭建。其中基于光电接近开关与链条型传送带特定装配方式所建立的卡位探测装置实现了系统时序的生成,进而确立了时序信号与待测压舌板的对应关系。建立了一种多级缓存系统控制架构,通过系统时序脉冲协同调控图像的采集、处理,检测结果的融合以及喷气阀门的使能,实现了硬件装置各机构间的有序运转。

本文针对实际生产中裂纹压舌板的自动拣选问题,设计了一种基于机器视觉的自动化系统。该系统的压舌板检测效率最高可达 11 支/s,且在该检测效率下的测试结果表明,误检率和漏检率分别为 4.17% 和 2.68%,相对于人工检测方法分别降低 6.66% 和 5.36%,显示出显著

的优势,表明了其较强实际应用价值。

参考文献

[1] ACUNZO V, VIVARELLI F. Ice cream stick: US, USD606276 [P]. 2009.

[2] 彭国利. 一种多功能压舌板生产制造设备: CN112677254A[P]. 2021.

PENG G L. A multifunctional tongue depressor manufacturing equipment, CN112677254A[P]. 2021.

[3] MAJIDIFARD H, ADU-GYAMFI Y, BUTTLAR W. Deep machine learning approach to develop a new asphalt pavement condition index [J]. Construction and Building Materials, 2020, 247:118513-118525.

[4] SHUAI L, PANDHARIPANDE A, MASINI B, et al. Automated detection of commissioning changes in connected lighting systems [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(1):898-905.

[5] 刘美菊, 姜金烽. 基于主动形状模型的焊缝定位算法[J]. 沈阳工业大学学报, 2019, 41(2):194-198.

LIU M J, JIANG J Z. Weld positioning algorithm based on active shape model [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2019, 41(2):194-198.

[6] HUI Z, LI X, HANG Z, et al. Automated machine vision system for liquid particle inspection of pharmaceutical injection [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2018, 67(99):1278-1297.

[7] CHEN T J, WANG Y N, XIAO C Y, et al. A machine vision apparatus and method for can-end inspection [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2016, 65(9):2055-2066.

[8] YANG H, CHEN Y F, SONG K Y, et al. Multiscale feature-clustering-based fully convolutional autoencoder for fast accurate visual inspection of texture surface defects [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2019, 16(3):1450-1467.

[9] ZHANG H, JIN X T, WU Q M. Automatic visual detection system of railway surface defects with curvature filter and improved gaussian mixture model [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2018, 67(7):1593-1608.

[10] VITIS G A D, FOGLIA P, PRETE C A. Algorithms for the detection of blob defects in high speed glass tube production lines [C]. 2019 IEEE 8th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI). Otranto. IEEE, 2019:97-102.

[11] 杨理践, 郑文学, 高松巍, 等. 基于平衡电磁技术的钢板裂纹缺陷检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(10):196-203.

- YANG L J, ZHENG W X, GAO S W, et al. Detection method of steel plate crack defect based on balanced electromagnetic technology [J]. Journal of Instrumentation, 2020, 41(10): 196-203.
- [12] 张旭中, 翟道远, 陈俊. 基于深度强化学习的木材缺陷图像识别及分割模型研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(17): 80-86.
- ZHANG X ZH, ZHAI D Y, CHEN J. Research on wood defect image recognition and segmentation model based on deep reinforcement learning [J]. Electronic Measurement Technology, 2020, 43(17): 80-86.
- [13] 符艳军, 孙开锋, 吴静, 等. 基于可逆水印的医学图像完整性检测[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(10): 1-5.
- FU Y J, SUN K F, WU J, et al. Medical image integrity detection based on reversible watermarking [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2019, 38(10): 1-5.
- [14] 吴志仁, 郭晶忠. 雪条棒视觉拣选机, CN201357148Y[P]. 2009.
- WU ZH R, GUO J ZH. Ice cream bar picking machine based on vision, CN201357148Y[P]. 2009.
- [15] 吴志仁, 王德华. 一种雪条棒影像检测装置和设有这种装置的雪条棒拣选机, CN202372142U[P]. 2012-08-08.
- WU ZH R, WANG D H. Detection device of ice cream bar image and picking machine equipped with the device, CN202372142U[P]. 2012-08-08.
- [16] 苑玮琦, 李绍丽, 李德健. 基于纹理主、旁瓣特征的雪糕棒裂缝缺陷检测[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11): 2779-2787.
- YUAN W Q, LI SH L, LI D J. Detection of ice cream stick crack defects based on texture mainlobe and sidelobe features [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(11): 2779-2787.
- [17] 苑玮琦, 李绍丽, 李德健. 基于纹理脊线特征融合的木材表面裂缝检测[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(2): 436-444.
- YUAN W Q, LI SH L, LI D J. Wood surface crevice detection based on fusion of texture ridge line features [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(2): 436-444.
- [18] 苑玮琦, 李德健, 李绍丽. 雪糕棒轮廓质量视觉在线检测方法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(10): 3185-3190.
- YUAN W Q, LI D J, LI SH L. Online method based on machine vision for measuring contour quality of ice cream stick [J]. Application Research of Computers, 2016, 33(10): 3185-3190.
- [19] LI S L, LI D J, YUAN W Q. Wood defect classification based on two-dimensional histogram constituted by LBP and local binary differential excitation pattern [J]. IEEE Access, 2019, 7(1): 145829-145842.
- [20] LI D J, LI S L, YUAN W Q. Positional deviation detection of silicone caps on FPCB [J]. Circuit World, 2020, DOI: 10.1108/CW-07-2019-0067.
- [21] 吴志仁, 郭晶忠. 一种雪条棒翻板机构和设有这种机构的雪条棒盘式拣选机: CN203750863U[P]. 2014.
- WU ZH R, GUO J ZH. The utility model relates to a snowstick turnover mechanism and a snowstick disc sorter equipped with the mechanis: CN203750863U[P]. 2014.
- [22] 谢国民, 刘宽. 基于形态学滤波和 OTSU 的串联故障电弧识别方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(5): 46-56.
- XIE G M, LIU K. Identification method of series arc fault based on morphological filtering and OTSU [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(5): 46-56.
- [23] LI S L, LI D J, YUAN W Q. Wood chip crack detection based on linear scale-space differential [J]. Measurement, 2021, 175: 109095.
- [24] MOSINAKA-DOMANSKA A, SZNITMAN R, GLOWACKI P, et al. Active learning for delineation of curvilinear structures [C]. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas. IEEE, 2016.

作者简介



李德健, 分别于 2013、2018 年于沈阳工业大学获得学士、博士学位, 现为沈阳工业大学讲师, 主要研究方向为机器视觉检测和图像处理。

E-mail: lidejian@ sut. edu. cn

Li Dejian received his B. Sc. and Ph. D. degrees from Shenyang University of Technology in 2013 and 2018, respectively. Now he is a lecture in Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology. His main research interest includes machine vision and image processing.



李绍丽(通信作者), 分别于 2013、2018 年于沈阳工业大学获得学士、博士学位, 现为沈阳工业大学副教授, 主要研究方向为机器视觉检测和图像处理。

E-mail: lishaoli@ sut. edu. cn

Li Shaoli (Corresponding author) received her B. Sc. and Ph. D. degrees from Shenyang University of Technology in 2013 and 2018, respectively. Now, she is an associate professor in School of Information Science and

Engineering, Shenyang University of Technology. Her main research interests include machine vision and image processing.



苑玮琦, 1982 年于湖南大学获得学士学位, 分别于 1988、1997 年在东北大学获得硕士、博士学位, 现为沈阳工业大学教授。主要研究方向为机器视觉检测和生物特征识别。

E-mail: yuan60@126.com

Yuan Weiqi received B. Sc. degree from Hunan University in 1982, received M. Sc. and Ph. D. degrees both from Northeastern University in 1988 and 1997, respectively. Now, he

is a professor in Shenyang University of Technology. His main research interests include machine vision and image processing.



张少奇, 2020 年于聊城大学获得学士学位, 现为沈阳工业大学硕士研究生, 主要研究方向为机器视觉检测。

E-mail: 2938217618@qq.com

Zhang Shaoqi received her B. Sc. degree from Liaocheng University in 2020. Now she is a M. Sc. candidate in Shenyang University of Technology. Her main research interests include machine vision inspection and digital image processing.