

基于机器视觉的刨花板表面缺陷检测系统

郭慧¹, 盛振湘², 王霄¹, 刘传泽³, 周玉成^{1,3}, 岳群飞²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 中国福马机械集团有限公司, 北京 100029; 3. 山东建筑大学, 山东济南 250101)

摘要: 针对目前国内人造板企业在板面缺陷检测仍然依靠人工的情况, 开发基于机器视觉技术的刨花板表面缺陷自动检测系统。利用工业相机采集板材表面图像, 使用 C++、OpenCV、JAI_SDK 类库和 MFC 多线程技术实现缺陷检测算法, 通过计算机串口与生产线控制系统通信。系统运行稳定、缺陷定位准确、参数配置灵活, 检测效果和检测速度可满足连续压机生产线在线检测要求。

关键词: 表面缺陷; 检测; 机器视觉; 多线程; 连续压机生产线

中图分类号: S784; TS653; TP274.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2019) 03-0018-05

A System Based on Machine Vision for Detecting Surface Defects of Particleboard

GUO Hui¹, SHENG Zhen-xiang², WANG Xiao¹, LIU Chuan-ze³, ZHOU Yu-cheng^{1,3}, YUE Qun-fei²

(1. Research Institute of Wood Industry, China Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. China Foma (Group) Co., Ltd, Beijing 100029, China; 3. Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, Shandong, China)

Abstract: An automatic system based on machine vision technology was developed for detecting surface defects of particleboard. The system was mainly composed of an industrial camera which was used for acquiring panel images and a defect detection algorithm which was implemented by C++, OpenCV, JAI_SDK class library and MFC multithreading technology. The system communicated with production line control systems through computer serial ports. Test results showed that the system operated stably with a high accuracy in locating surface defects and was flexible in parameters configurations. Both of defect detection effects and operation speed of the system could meet requirements of on-line inspection for continuous press production lines.

Key words: surface defect; detection; machine vision; multithreading; continuous press production line

在刨花板的生产中, 对产品板面出现的大刨花、胶斑、油污、杂物、小坑、漏砂等缺陷, 目前国内

企业都是依靠工人肉眼检测^[1], 存在劳动强度大、效率低、准确率低等问题。因此, 研发板材表面缺陷自动化检测系统, 成为行业的迫切需求。

常用的板材表面缺陷检测方法包括: 超声波检测^[2]、激光检测^[3]和机器视觉检测^[4]等。其中, 基于机器视觉的缺陷检测技术, 使用图像采集设备获得待测物体的表面图像, 通过图像处理和模式识别技术对图像进行处理和分析判断, 具有设备轻便、易于维护、检测精度高、速度快等优点。

收稿日期: 2018-07-12; 修改日期: 2019-04-03

基金项目: 木竹产业技术创新战略联盟科研计划课题“自动分拣喷码包装系统”(TIAWBI2014-08); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“人造板表面质量 CCD 图像同步检测系统”(CAFYBB2018MB002); 泰山学者优势特色学科人才团队(2015162)。作者简介: 郭慧(1981—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

责任作者: 周玉成, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员。

国外从20世纪80年代开始应用机器视觉技术,对板材进行缺陷检测和质量等级评定。如 Matti Niskanen 机器视觉小组采用自组织神经网络方法,对单板缺陷进行检测与识别^[5];美国 Venten 公司和加拿大 Matrox 公司合作开发了 GS2000 系统,用于旋切单板的缺陷检测^[6];芬兰 Mecano 公司研发的 VDA 系统,已在当地胶合板加工企业中应用^[7]。

但已有的表面缺陷检测技术研究,大多针对原木、锯材和旋切单板等;刨花板的表面缺陷检测,尚无成熟的系统投入生产应用。国内相关研究起步较晚,大多停留在缺陷检测算法的理论研究和实验室试验阶段^[8-10]。引进国外系统成本很高,很多企业无法承受。

鉴于此,笔者应用机器视觉技术,进行了刨花板表面缺陷检测系统的研发,以期实现大幅面板材的表面缺陷检测,满足连续压机生产线在线检测的实时性要求,促进刨花板生产的全线自动化。

1 刨花板表面缺陷检测系统设计

1.1 设计要求

检测板材的幅面达到 $2.4\text{ m} \times 4.8\text{ m}$,能检测出常见表面缺陷,如胶斑、油污、大刨花、杂物、松软等,还要满足连续压机生产线在线检测的实时性要求。连续压机生产线的运行速度可以达到 1.5 m/s ,需要缺陷检测系统在 3.2 s 之内完成一张板材的检测,并向生产线控制系统输出检测结果信号;控制系统接收到信号后,及时剔除有缺陷的板材。

1.2 系统组成

如图1所示,主要包括图像采集模块、图像处理模块和输出模块。

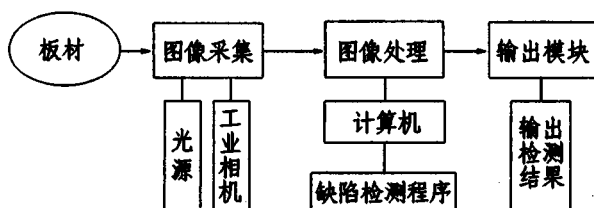


图1 刨花板表面缺陷检测系统组成

Fig.1 Composition of defect detection system for particleboard

1) 图像采集模块 在合适的光源照射下,使用工业相机采集人造板表面图像。

系统采用 LED 阵列光源,采集设备为 JAI SP-5000-USB3.0 工业相机,搭配 kowa500 定焦广角镜头 LM6HC。相机为灰度相机,像素深度8位,分辨率 $2\,560\text{ 像素} \times 2\,048\text{ 像素}$,使用 USB 3.0 接口与计算机相连接,实时将拍摄的图像传送给计算机。

2) 图像处理模块 主要功能是在计算机上运行缺陷检测程序,判断图像中是否存在缺陷,对缺陷区域进行标识。

缺陷检测程序的前台用户界面,应用 MFC 在 Visual Studio 2010 环境下开发,用于控制系统的启动、停止以及输入系统参数;后台缺陷检测算法使用 C++、JAI SDK 和 OpenCV 类库实现,结合 MFC 多线程技术,完成缺陷检测、图像分割和缺陷标识。

3) 输出模块 通过串口通信模块,将检测结果信号由计算机 RS232 串口,传送给生产线控制系统。

1.3 缺陷检测流程

检测流程如图2所示。

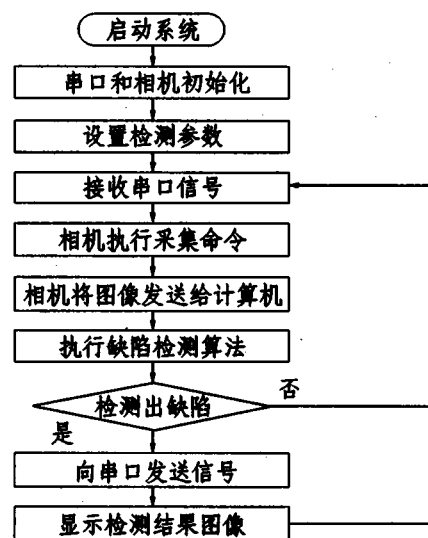


图2 检测系统流程

Fig.2 Flow chart of defect detection system

首先进行串口和相机的初始化,读取检测参数;计算机接收到检测信号后,触发相机采集图像;采集完成后将图像回传给计算机;计算机执行缺陷检测算法对图像进行缺陷检测;如果发现缺陷,计算机向串口发送信号、对缺陷区域进行标识,并显示结果图像,然后等待接收下一个检测信号。

1.4 缺陷检测算法

工业相机采集的是板面的灰度数字图像,每一个像素点由 $0\sim 255$ 之间的整数表示灰度值,缺陷部

分的灰度值往往高于或低于正常部分的灰度值。检测程序将图像划分成 m 行 $\times$ n 列个正方形的检测单元, 计算一个检测单元中全部像素点灰度值的平均值, 与高、低两个阈值进行比较。如果超出阈值范围, 则认为该检测单元含有缺陷。检测单元的大小可以根据检测速度和精度要求进行调整, 检测单元越大, 图像中的检测单元数量越少, 检测速度越快, 但精度会越低; 反之, 则检测速度慢, 精度高。

为了进一步提高系统实时性, 算法使用 MFC 多线程程序设计技术。系统开始运行, 启动主线程 T_1 , 在 T_1 中计算检测单元像素点灰度值的平均值, 并与阈值范围进行比较, 发现缺陷则向计算机串口发出信号, 并且启动一个新的线程 T_2 。在 T_2 线程中对图像进行处理, 包括图像分割、缺陷区域标识和显示结果图像。在主线程 T_1 中, 一旦发现缺陷就立刻发出信号, 生产线控制系统接收到信号后, 可以立即将缺陷产品剔除, 而不用等待图像处理完毕后再进行动作, 大大提高了系统的响应速度。

系统的检测算法流程如图3所示。其中, roi 表示图像的检测区域, TH_H 和 TH_L 分别表示高、低两个阈值, cell 表示一个检测单元的边长像素个数。

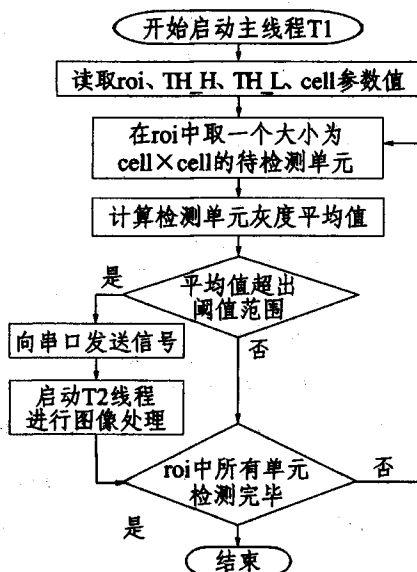


图3 检测算法程序流程

Fig.3 Program flow chart of defect detection algorithm

2 刨花板表面缺陷检测系统应用试验

采用某企业的刨花板样板, 在实验室模拟生产线以 1.5 m/s 速度运行, 对样板进行缺陷检测验证。

2.1 试验条件

2.1.1 试验材料

样板幅面为 2.4 m $\times$ 4.8 m, 包括 10 张正常样板和 5 张有油污、胶斑、大刨花、松软、杂物缺陷的样板。

2.1.2 试验装置

检测系统运行计算机的硬件配置为 Intel Core i7-7500U 四核 2.7 GHz CPU 处理器, 8 G 内存。

照明环境对采集图像质量有重要影响, 为避免误检或漏检, 采用 45 盏功率为 22W、规格为 300 mm $\times$ 600 mm 的 LED 灯, 形成 5 行 $\times$ 9 列的阵列光源。安装在板材正上方, 距板面 1.2 m, 相机安装在阵列中心。

2.1.3 系统运行参数

系统各检测参数的意义和在试验中的取值为:

1) 缺陷灰度阈值 (低)、缺陷灰度阈值 (高): 设置低阈值 TH_L 和高阈值 TH_H , 参数范围为 0~255, 根据采集到的板面图像实际灰度值范围, 试验设置为 70 和 125;

2) 检测单元: 设置一个检测单元, 大小为 4 像素 $\times$ 4 像素;

3) 曝光时间: 曝光时间需要根据系统的照明环境设置。增加曝光时间, 可以提高图像的整体亮度, 但过长则会使图像出现明显的运动模糊。由于采集图像时刨花板运动速度为 1.5 m/s, 试验设置曝光时间为 2 000 μ s。

4) 检测区域的行数、列数, 起始点横、纵坐标: 此 4 个参数用于设置图像中的被检测区域 roi, 确定被检测区域的行数、列数以及被检测区域左上角像素点在图像中的横、纵坐标。由于采集的图像中还可能背景图像, 当板面图像只占据采集图像的部分区域时, 可通过此 4 个参数划定板面区域, 只对该区域进行检测, 分别设置为 2 048、2 048、0 和 0。

为了提高检测精度, 将样板分为上下两部分, 分别进行图像采集和缺陷检测, 记录检测用时和结果。

2.2 试验结果分析

共检测刨花板 15 张, 检测出正常板 10 张, 缺陷板 5 张, 所有缺陷全部被检出。缺陷区域原图和检测结果局部放大图如图4所示, 检测结果图中黑色小方框标记的部分为系统检测出的缺陷。

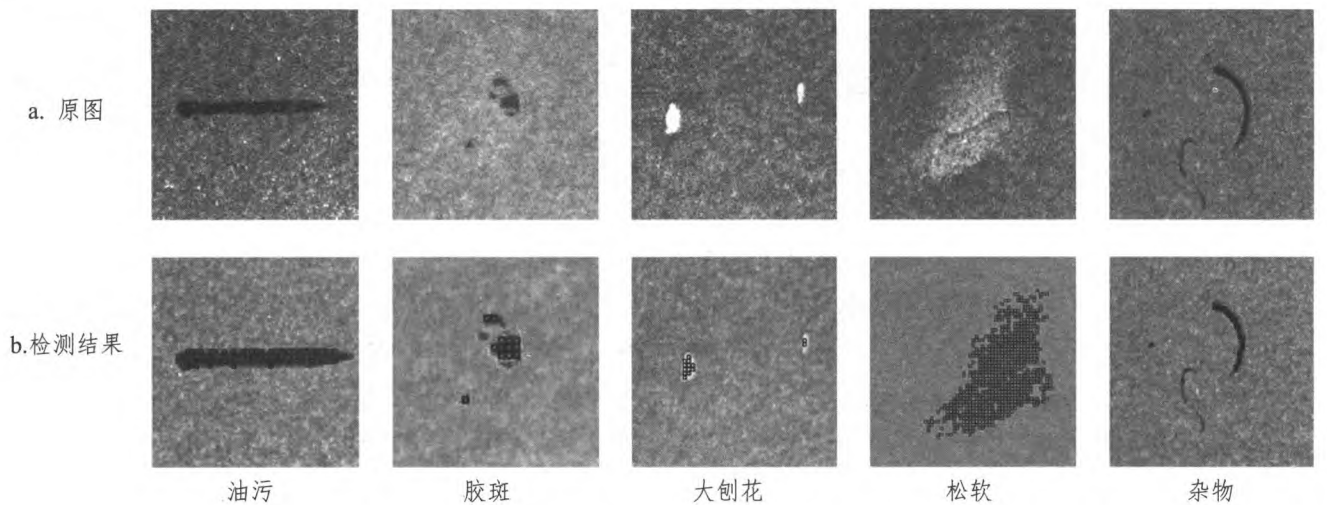


图4 缺陷原图和检测结果对照

Fig.4 Comparison between original pictures and test results of defects

2.2.1 检测精度和速度

系统检测单元的大小是系统的检测精度。每幅图像的检测区域为 2 048 像素×2 048 像素，拍摄范围为半张样板，即 2.4 m×2.4 m，计算出一个像素实际对应板面区域为 0.85 mm×0.85 mm。

为探究检测精度和检测时间的关系，取检测单元为 4 像素×4 像素、2 像素×2 像素两种条件，对应的检测精度分别为 3.4 mm×3.4 mm、1.7 mm×1.7 mm，5 张缺陷板和 1 张正常板的检测用时列于表 1。

表 1 不同检测精度时的检测时间

Tab.1 Defect detection time under different test accuracies

缺陷类型	检测精度 4 像素×4 像素		检测精度 2 像素×2 像素	
	t_{T1}/s	t_{T2}/s	t'_{T1}/s	t'_{T2}/s
油污	0.031	0.814	0.093	2.468
胶斑	0.043	0.876	0.141	2.782
大刨花	0.026	0.816	0.077	2.624
松软	0.050	0.874	0.188	2.562
杂物	0.035	0.812	0.099	2.432
正常板	0.359		1.265	

检测算法采用多线程技术，对于没有缺陷的图像只执行主线程 T_1 ，有缺陷的图像会执行线程 T_1 和 T_2 ， T_1 、 T_2 线程的用时分别用 t_{T1} 和 t_{T2} 表示。

从表 1 中数据可知，无论图像中是否存在缺陷， T_1 线程的执行时间远远小于设计要求的 3.2 s，并且两个线程执行时间之和也小于 3.2 s。

从表 1 还可以看出，检测精度提高会使检测时间延长，但仍然小于 3.2 s，满足系统设计要求。在实际应用中，企业需要根据产品的质量要求和生产线运行速度，合理设置检测精度。

2.2.2 缺陷区域标识结果评价

系统在进行缺陷检测时，将整幅图像划分成 m 行× n 列个检测单元，缺陷单元使用黑色小方框进行标识，正常单元不标识。为判断各单元的标识是否正确，以计算每幅图像中缺陷单元的查准率和查全率进行评价。

查准率表示在系统标识为缺陷的单元中，实际包含缺陷单元的比率；查全率表示系统标识为缺陷的单元，占有缺陷单元的比率。

设一幅图像中包含缺陷的检测单元为正样本，正常单元为负样本，TP 表示被标识为缺陷的正样本，FP 表示被标识为缺陷的负样本，FN 表示被标识为正常的正样本，TN 表示标识为正常的负样本。

查准率 P 和查全率 R 的计算公式为：

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

使用手工方法对五幅有缺陷的样板表面图像进行缺陷单元标识，将手工标识结果作为评判依据，计算系统对每幅图像的查全率和查准率，结果列于表 2。

表2 每张图像的查全率和查准率

Tab.2 Recall ratio and precision of each image

缺陷类型	油污	胶斑	大刨花	松软	杂物	平均值
查准率 P/%	100	100	100	97	100	99
查全率 R/%	94	88	89	85	92	90

表2数据表明,系统对油污、胶斑、大刨花和杂物缺陷的查准率为100%,说明四张图像中,所有被标识为缺陷的检测单元都含有缺陷。松软缺陷的查准率为97%,主要是由于松软缺陷的边缘不明显,与正常部分呈渐变过渡,在过渡区域较难界定,因而检测结果产生了一定的差异。

系统的平均查全率为90%,表示每幅图像中,90%的缺陷单元被识别,10%未被标识的缺陷单元主要集中在缺陷的边缘,是缺陷向正常部分过渡的区域,其灰度值与正常部分相差较小。扩大阈值范围可以解决此问题,但正常部分的灰度值亦存在不均匀的情况;另外,如果阈值范围过大,易使较多正常单元被误判为缺陷。

在本试验中,通过权衡检测效果,经多次反复试验,将阈值范围设置为70~125,缺陷的主体部分均被标识,且未出现将正常单元误标为缺陷的情况。在实际生产应用中,需要根据板面灰度的均值、缺陷的种类和生产车间的照明情况综合考量,合理设置阈值范围,提高缺陷识别率。

2.2.3 缺陷检测准确率评价

缺陷检测准确率是被检测出缺陷的图像,占有缺陷板面图像的比率,是衡量缺陷检测算法是否有效的重要指标。

对试验样本集进行扩充,通过相机采集和样本集增强等方法,获得100幅刨花板板面图像,其中缺陷板面图像50幅,正常板面图像50幅。对样本集所有图像运行缺陷检测算法,检测出缺陷图像51幅,正常图像49幅。

所有缺陷图像均被检出,不存在漏检,缺陷检测准确率达到100%。但有一幅正常图像被误检为缺陷,通过人工对比发现,该图像亮度不均匀,算法将较暗的区域误判为缺陷。经检查是由于在采集图像时,最左侧一列LED光源没有开启,采集时光照不均匀,导致左侧正常区域的灰度值低于试验设置的缺陷灰度阈值70,因此被误判为缺陷。

在企业生产车间中,光照环境往往比较复杂,需要针对车间实际情况设计光源,建议使用5×9以上的LED灯阵列,并保持全部开启,以采集到亮度均匀的板面图像。

3 结语

基于机器视觉的人造板表面缺陷检测系统,实现了大幅面刨花板在连续压机生产线上的在线检测,缺陷定位准确,缺陷检测结果和单张板材的检测时间均符合设计要求。系统能够根据生产的人造板种类以及幅面,灵活、方便地调整参数;设计简单,硬件设备便于配置和维护,软件可以根据企业实际生产需求修改和二次开发,为推广应用提供技术支持。

下一步要对系统进行完善,对于相机固定而刨花板运动导致的图像模糊问题,采用硬件手段,如设计相机同步跟踪装置,使相机与生产线以相同的速度同步运动,从而保持两者相对静止,以获得更加清晰、亮度更高、对比度更强的图像,不仅对缺陷大小进行精确度量,而且能够设置更长的曝光时间,使缺陷与正常部分的灰度值差距增大,有效避免误检和漏检。

参考文献:

- [1] 盛振湘,岳群飞,瞿国富,等.连续平压热压机的发展历程与应用拓展[J].木材工业,2017,31(6):30-34.
- [2] 段新芳,李玉栋,王平.无损检测技术在木材保护中的应用[J].木材工业,2002,16(5):14-16.
- [3] 张未,吕志娟,徐兆军,等.基于激光三角测距的锯材表面缺陷检测方法[J].林业工程学报,2017,2(6):116-129.
- [4] 程伟,朱典想.基于计算机视觉的单板自动分级系统设计[J].木材工业,2007,21(3):24-26.
- [5] NISKANEN M, SILVEN O, KAUPPINEN H. Wood inspection with non-supervised clustering[J]. Machine Vision & Applications, 2003, 13(5): 275-285.
- [6] 胡文娟.基于机器视觉的PCB光板缺陷检测技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [7] 王阿川.PDE的单板缺陷图像检测及修补关键技术研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [8] 王克奇.基于小波变换的木材表面纹理分类[J].哈尔滨工业大学学报,2009(9):232-234.
- [9] 王克奇,马晓明,白雪冰.基于分形理论和数学形态学的木材表面缺陷识别的图像处理[J].森林工程,2013,29(2):48-50.
- [10] 陈永光,王国柱,撒潮,等.木材表面缺陷边缘形态检测算法的研究[J].木材加工机械,2003,14(3):18-22.

(责任编辑 向琴)