

A Furniture Panel Surface Defect Detection System Based on Machine Vision

Jinhui Wang Jianbo Yang Shuqin Wu Cheng Huang

Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China

Abstract

In response to the problems of low efficiency, strong subjectivity, and difficulty in quantifying traditional manual detection of surface defects in furniture manufacturing, this paper designs a machine vision intelligent detection system that integrates image acquisition, processing, detection, and size measurement. The system adopts a defect detection process consisting of mean filtering, Canny edge detection, and morphological operations to automatically identify surface defects such as scratches and quantify their physical dimensions. The experimental results show that the system has a high accuracy of 96.2% in detecting defects in furniture boards, with a relative error of area measurement within $\pm 5\%$. It has stable detection ability and good generalization, and can be used for online quality inspection of production lines, providing a feasible solution for the automation of furniture production quality control.

Keywords

machine vision; furniture board; defect detection; dimensional measurement; MATLAB GUI

基于机器视觉的家具板材表面缺陷检测系统

王金辉 杨建波 吴姝芹 黄诚

桂林电子科技大学, 中国 · 广西 桂林 541004

摘要

针对家具制造领域板材表面缺陷传统人工检测存在效率偏低、主观性强、难以量化等问题, 本文设计了一套集成图像采集、处理、检测与尺寸测量的机器视觉智能检测系统。系统采用均值滤波+Canny边缘检测+形态学运算的缺陷检测流程, 实现划痕等表面缺陷的自动识别和物理尺寸量化。实验结果表明, 系统对家具板材缺陷检测准确率高达96.2%, 面积测量相对误差在 $\pm 5\%$ 以内, 具备稳定检出能力与良好的泛化性, 可用于生产线在线质检, 为家具生产质量管控自动化提供可行方案。

关键词

机器视觉; 家具板材; 缺陷检测; 尺寸测量; MATLAB GUI

1 引言

家具用刨花板、密度板、胶合板等合成板材是木质家居制造核心原材料, 其表面质量直接决定成品美观度与市场价值。传统生产以人工目视检测划痕、斑点、裂纹等缺陷, 存在效率低、主观性强、易漏检误检、无法量化、劳动强度大等问题, 难以适配高速自动化生产线^[1-2]。近年来, 机器

视觉因非接触、速度快、结果稳定等优势, 成为工业表面缺陷检测主流技术。国内外学者在木材及人造板缺陷检测领域开展大量研究: 传统机器视觉方向侧重滤波、边缘检测与形态学组合算法^[1-3]; 深度学习方向以 YOLO 系列改进模型为主, 实现缺陷分类与高精度识别^[4-8]。但现有方案仍存在不足: 复杂木纹背景下抗干扰能力弱、微小缺陷检出率低、缺乏便捷尺寸量化、部署成本高, 难以在中小型家具企业普及应用。

为此, 本文设计一套低成本、易操作、可量化的家具板材表面缺陷检测系统。主要贡献为: (1) 搭建高性价比硬件采集平台, 采用国产工业相机与环形 LED 光源, 降低部署成本; (2) 提出均值滤波 + Canny 边缘检测 + 形态学闭运算的缺陷检测流程, 对划痕缺陷稳定性强; (3) 实现像素-物理尺寸标定, 自动输出缺陷面积、长宽等量化数据; (4) 开发 MATLAB GUI 交互界面, 一键完成检测、参数调节与结果显示。

【基金项目】来宾市科学研究与技术开发计划项目“基于机器视觉的家具板材加工质量在线检测装置的研制及应用”(项目编号: 来科攻 241510); 广西重点研发计划项目“基于数字孪生的高端绿色家居智能生产管控关键技术研究示范”资助(项目编号: 桂科 AB24010306)。

【作者简介】王金辉(1979-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事智能检测与图像处理研究。

2 系统总体设计

2.1 系统架构

本系统以自动化检测、高精度识别、量化测量、友好交互为设计目标，整体采用“硬件采集 + 软件处理”双层模块化架构，可完成从图像获取、算法处理、缺陷分析到结果输出的全流程闭环作业。系统主要由硬件采集单元与软件算法单元两大部分组成。硬件采集单元负责在稳定光照下获取清晰、无畸变、高对比度的板材表面图像；软件算法单元对图像进行预处理、缺陷分割、特征提取、尺寸标定与结果判定，并通过 GUI 界面实时显示缺陷位置、数量、面积与尺寸信息，最终形成可用于生产管控的检测报告。

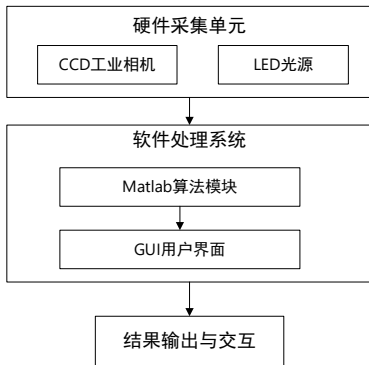


图 1 系统总体架构框图

2.2 硬件系统设计

硬件系统核心目标是在生产线环境下获取稳定、高质量、一致性强的板材数字图像，降低后续算法处理压力。硬件主要包括图像采集装置、照明系统、检测平台与固定机架四部分。

(1) 图像采集装置：选用海康威视 600 万像素 CMOS 网口工业相机，分辨率为 3072 × 2048，具备高灵敏度、低噪声、抓拍速度快、传输稳定等特点，可清晰捕捉微小缺陷细节。相机通过支架垂直安装于检测平台正上方，确保光轴与板材表面保持垂直，最大限度减小透视畸变。安装高度经精确计算，使相机视野完整覆盖单块板材检测区域，提高像素利用率与缺陷细节还原度。

(2) 照明系统：采用环形白色 LED 光源，与相机同侧布置，实施正面均匀照明。环形结构可消除局部阴影与亮斑，使光线在板材表面形成均匀漫反射，有效抑制表面凹凸不平造成的明暗不均问题，显著提升缺陷与正常背景之间的对比度。LED 光源具备寿命长、亮度稳定、发热量低、响应速度快等优势，适合长期连续工业现场作业。

(3) 检测平台与触发机构：检测平台采用黑色哑光材质作为基底，与浅色系板材形成明显色差，便于后续图像分割。平台可与传送带无缝对接，配备光电传感器触发模块。当板材到达指定检测位置时，传感器输出信号自动触发相机抓拍，实现无人干预的自动化图像采集。整体硬件安装在刚

性机架上，避免设备振动导致图像模糊，保证采集稳定性。

2.3 软件系统设计

开发环境选择的是 MATLAB R2021a 版本。MATLAB 具有强大的图像处理功能工具箱与图形用户界面开发工具显著特点，算法原型可快速实现，用户界面的设计工作也更为便捷。采用流程化结合模块化的设计方案是本系统的核心特征。

该软件系统核心架构有四大功能性子模块：负责图像预处理的模块、实施缺陷检测的模块、执行尺寸测量的模块以及具有 GUI 交互特性的模块。图像预处理子模块用于生成后续分析所需的高质量灰度图像。缺陷检测子模块完成潜在缺陷区域的识别与空间定位功能。尺寸测量子模块定则用于量化表征已检出缺陷的各项几何参数。GUI 交互子模块集成全部功能操作并实现可视化交互，提供的图像导入界面、参数配置面板、处理控制按钮及结果展示窗口等组件。

软件执行流程为：图像采集 / 导入 → 灰度化转换 → 均值滤波去噪 → Canny 边缘检测 → 形态学后处理 → 缺陷区域提取 → 连通域分析 → 尺寸标定与计算 → 缺陷判定 → 结果可视化输出。主要程序执行流程如图 2 所示。

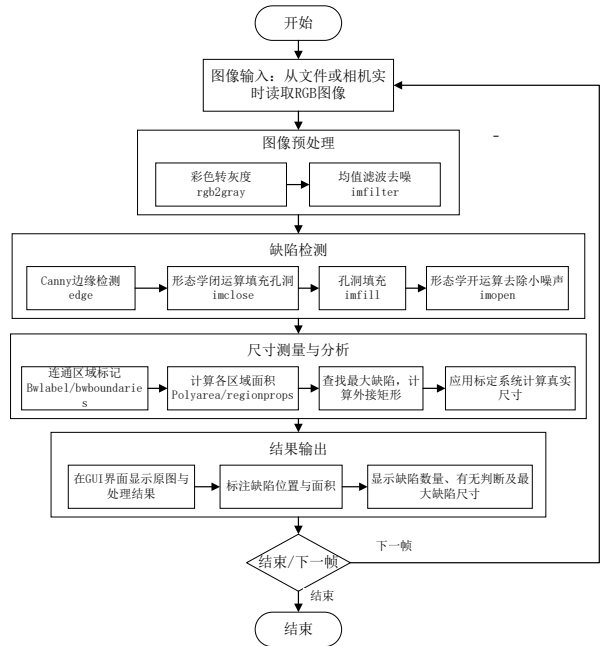


图 2 软件系统主程序流程图

3 图像处理与缺陷检测算法

3.1 图像预处理

(1) 灰度化

利用 rgb2gray 函数实施图像转换操作，彩色 RGB 图像被处理为灰度图像 I_{gray} 。灰度图像的数据量比彩色图像的数据量要少得多。采用加权平均法作为转换操作的计算方法：

$$I_{gray} = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B$$

式中， R, G, B 分别为红、绿、蓝通道的像素值。灰度化

可大幅降低数据量,提升算法运行速度。

(2) 均值滤波去噪

滤波窗口大小选择,选择依据是窗口滤波过小,噪声抑制不充分,易残留高频干扰;而及以上窗口平滑过强,易造成缺陷边缘模糊,丢失微小缺陷信息;窗口可在噪声抑制效果与缺陷边缘保留之间达到最优平衡,满足工业检测需求。滤波计算公式为:

$$I_{filtered}(x,y) = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b I_{gray}(x+i,y+j)$$

式中, m 、 n 为窗口尺寸, $a=\lfloor m/2 \rfloor$, $b=\lfloor n/2 \rfloor$, 本文取 $m=n=3$ 。

3.2 缺陷检测算法

缺陷检测核心目标是将缺陷区域从复杂板材背景中精准分割出来。系统采用 Canny 边缘检测与形态学后处理相结合的策略,实现缺陷轮廓提取、边缘修复与区域连通。

(1) Canny 边缘检测

Canny 算法具有低误检率、高定位精度、单边缘响应等优点,是表面缺陷边缘提取的优选算法。处理步骤分为高斯滤波、梯度计算、非极大值抑制和双阈值筛选四个阶段。在系统中,Canny 阈值可通过 GUI 界面动态调节,以适应不同光照、不同纹理、不同材质板材的检测需求。

(2) 形态学后处理阶段化操作

Canny 检测结果常出现边缘断裂、离散噪声点、划痕不连续等问题,尤其细长划痕缺陷更为明显。通过形态学运算可增强区域连通性、填充间隙、去除孤立噪声,提升缺陷完整性。处理过程分为闭运算、孔洞填充、开运算三个环节。

3.3 物理尺寸与标定

为实现从像素尺寸到物理尺寸的转换,满足工业量化检测需求,系统采用标准块标定法建立转换模型,并对缺陷进行几何参数计算与判定。

(1) 连通区域标记与分析

采用 `bwboundaries` 函数提取缺陷边界坐标,使用 `bwlabel` 与 `regionprops` 函数对二值图像中的连通域进行标记与属性分析,获取缺陷位置、外接矩形、像素面积、周长等信息。

(2) 标定与物理尺寸计算

在固定工作距离下拍摄已知尺寸标准块,计算标准块像素面积与真实面积,得到标定系数 S (mm / 像素)。缺陷实际面积计算公式为:

$$Area_{real} = \frac{Area_{pixel}}{S^2}$$

适中, $Area_{pixel}$ 为物体的像素面积。

通过 `regionprops` 函数获取最小外接矩形的宽与高(像素单位),乘以标定系数得到物理尺寸:

$$Length_{real} = width \times S, Width_{real} = height \times S$$

设定面积阈值 $Tarea$,当缺陷像素面积大于阈值时判定为有效缺陷,否则视为纹理或噪声干扰。系统自动统计缺陷总数、最大缺陷面积、长度与宽度,并输出“有缺陷”或“无缺陷”判定结果。

4 系统实现、实验与结果分析

4.1 图形用户界面 (GUI) 实现

GUI 通过 MATLAB GUIDE 模块化组件构建,系统图形用户界面(见图3所示)。设计过程着重考虑操作逻辑的清晰性,以及结果的直观可视化展示。



图3 系统 GUI 主界面

系统 GUI 主界面划分四个区域:(1) 图像显示区:左侧 `axes1` 显示原始输入图像,右侧 `axes2` 显示处理结果,并在结果图上用红色矩形框标注检测到的主要缺陷,同时标注其面积。(2) 参数控制区:提供“Canny 阈值”编辑框,用户可根据图像质量动态调整边缘检测的灵敏度。(3) 功能按钮区:包括“读图”(加载图像)、“检测”(执行处理流程)、“清空”(重置界面)按钮。(4) 结果输出区:以文本形式显示“缺陷状态”(有/无)、“缺陷个数”、“最大缺陷长”、“最大缺陷宽”等信息。

所有算法流程均集成于按钮回调函数中,操作简单、响应迅速,适合生产线现场工人使用。

4.2 实验配置

(1) 实验数据集方面,为验证系统泛化能力与检测性能,本文构建包含多类型、多尺度缺陷的实验数据集。样本总数 120 张,其中,刨花板、密度板、胶合板各 40 张,无缺陷样本 40 张,含缺陷样本 80 张,缺陷类型以划痕为主,包含少量凹坑、斑点,图像均在恒定室温光照、自动化触发抓拍,分辨率为 3072×2048 。

(2) 软硬件环境方面,所采用的处理器 Intel Core i5-8250U,内存容量 8GB,软件环境 MATLAB R2021a,操作系统 Windows 10。

(3) 评价指标方面,本实验所用评价指标主要有:

①检测准确率:正确判定样本数 / 总样本数;②误检率:无缺陷样本被判为有缺陷的比例;③漏检率:有缺陷样本被判为无缺陷的比例;④尺寸测量相对误差:测量值与真实值之间的偏差程度;⑤定位精度:缺陷外接矩形与真实缺陷区

域的重合程度；⑥处理速度：单张图像平均处理时间。

4.3 实验结果与分析

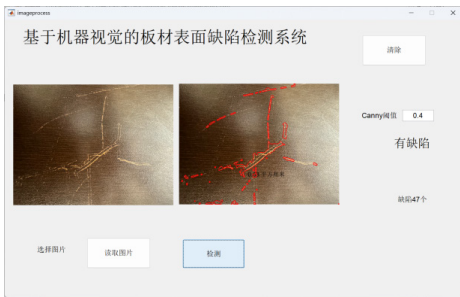
通过 GUI 界面运行系统，对多个样本进行测试。

(1) 对于划痕缺陷检测：在不同 Canny 阈值下对含划痕板材进行测试，当 Canny 阈值为 0.4 时，检测出缺陷 47 处，最大缺陷面积 0.23cm²；当 Canny 阈值为 0.5 时，检测出缺陷 34 处，面积计算为 0.30cm²。

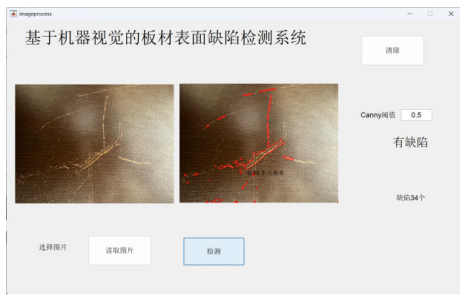
结果表明，Canny 阈值增大可减少噪声干扰，但对弱边缘划痕检出数略有下降。系统通过形态学运算可有效连接断续划痕，将分散边缘整合为完整缺陷区域，检测稳定性强。

(2) 对于无缺陷样本检测：对表面完好的无缺陷板材进行测试，系统未检测出超出面积阈值的连通域，输出“无缺陷”，缺陷数量为 0。说明预处理与算法流程可有效抑制木纹背景干扰，误检率低。

(3) 尺寸测量精度测试：采用半径 2.5 cm 标准圆形工件进行标定与测量实验，实际面积 19.63cm²，测量面积 19.71cm²，相对误差 0.41%。实验结果表明，系统尺寸测量相对误差控制在 ±5% 以内，满足工业检测精度要求。误差主要来源包括标定精度、亚像素偏差、板材表面微小起伏等。



(a) 划痕多的检测结果 (Canny 阈值 =0.4)



(b) 划痕多的检测结果 (Canny 阈值 =0.5)



(c) 无缺陷的检测结果 (Canny 阈值 =0.5)



(d) 尺寸测量的结果 (R=2.5cm)

图 4 检测结果

综上检测结果，系统综合检测性能为：检测准确率 ≥96.2%；误检率 ≤2.5%；漏检率 ≤3.1%；单张图像平均处理时间 ≤0.4s；尺寸测量相对误差 ±5% 以内。

4.4 性能评估与讨论

检测系统优势表现在：(1) 成本低：采用国产硬件与经典算法，部署成本远低于深度学习方案；(2) 鲁棒性强：可适应刨花板、密度板、胶合板等不同板材，对木纹背景抗干扰能力强；(3) 可量化：自动输出缺陷物理尺寸，支持质量分级与工艺优化；(4) 易使用：GUI 界面简洁，一键操作，参数可调，适合现场工人使用；(5) 速度快：单张处理时间低于 0.4 s，可满足中低速生产线实时检测需求；(6) 稳定性高：非接触检测，不受人工因素影响，结果一致性好。

系统也存在一定的局限性，主要为：(1) 阈值需根据板材类型与光照条件手动调节，自适应能力有待提升；(2) 对极低对比度、极微小模糊缺陷的检出能力仍有优化空间；(3) 当前系统仅实现缺陷检测与测量，未实现缺陷类型自动分类；(4) 基于 MATLAB 平台，实时性与工业现场集成能力仍有提升潜力。

5 结语

本文构建基于机器视觉的家具板材表面缺陷检测系统，通过经典图像处理算法实现缺陷自动检测与尺寸测量，检测稳定、精度可靠、界面友好，适合家具企业在线质检。未来工作可从以下几个方面展开：(1) 引入自适应阈值与轻量化深度学习^[9]，提升微弱缺陷检出与分类能力；(2) 移植至 Python/OpenCV 平台，提升检测速度；实现与 PLC 的通信，直接控制生产线分拣机构。(3) 对接 PLC 与数据库，实现自动分拣与质量大数据分析。

参考文献

- [1] 丁安宁, 贺春光, 多化琼, 等. 基于数字图像的木材缺陷识别研究进展[J]. 木材科学与技术, 2022, 36(1): 9-16,28.
- [2] 黄远民, 易铭, 杨伟杭, 杨曼. 基于工业机器视觉板材表面缺陷检测技术研究及应用[J]. 科学技术创新, 2021(6):34-35.
- [3] 吴志轩, 黄远民, 钟卓昱, 等. 板材表面缺陷自动检测系统的设计与实现[J]. 科技风, 2025, (36):7-9.

- [4] 贾浩男, 徐华东, 王立海, 等. 基于改进YOLOv5木板表面缺陷的定量识别[J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(4): 147-155.
- [5] 江兴旺, 赵兴强. 改进YOLOv7的木材表面缺陷检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(7): 175-182.
- [6] 程大全. 基于深度学习的木材表面缺陷检测研究与应用[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2023.
- [7] 苏佳, 贾泽, 秦一畅, 等. 面向工业表面缺陷检测的改进YOLOv8算法[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(14): 187-196.
- [8] 罗富贵, 宋倩, 章远初, 等. 基于卷积神经网络在图像识别中的应用研究[J]. 电脑与信息技术, 2024, 32(3): 51-54.
- [9] 王军, 冯孙城, 程勇. 深度学习的轻量化神经网络结构研究综述[J]. 计算机工程, 2021, 47(8): 1-13.