

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209057

车载触摸屏面板模组机器视觉检测系统开发*

林典钦¹ 詹前贤² 郑卓翰¹ 王扶标³ 沈奕² 王双喜³

(1. 汕头轻工装备研究院 汕头 515061; 2. 汕头超声显示器技术有限公司 汕头 515000;
3. 汕头大学教育部智能制造重点实验室 汕头 515063)

摘要: 面板模组是影响车载触摸屏触控性能和光学性能的关键因素,传统的人工检测方式已无法适应现代化工业生产高质量、高效率的需求。针对车载触摸屏面板透过率波动大、检测幅面大、检测精度要求高的难题,研发了一种基于机器视觉的车载触摸屏面板模组检测系统。根据车载触摸屏玻璃检测对象的特点,设计了基于线扫描的车载触摸屏玻璃图像采集系统和图像处理方案,通过对比标准灰度模型、建立灰度值和透过率转换关系、支持向量机分类等技术,实现多种缺陷的动态识别和玻璃屏任一点的透过率在同一台 CCD 下的测定。实验结果表明,通过图像校正处理和 SVM 训练,该车载触摸屏面板模组检测系统可同时满足多规格车载触摸屏模组的质量检测,最大尺寸为 450 mm×250 mm,检测速度可达 120 pcs/h,检测精度达到 0.01 mm,缺陷检出率超过 95%。

关键词: 面板模组;机器视觉;车载触摸屏;玻璃透过率;缺陷识别

中图分类号: TP391.4;TN873.93 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Development of machine vision inspection system for panel module of vehicle touch screen

Lin Dianqin¹ Zhan Qianxian² Zheng Zhuotao¹ Wang Fubiao³ Shen Yi² Wang Shuangxi³

(1. Shantou Light Industry Equipment Research Institute, Shantou 515061, China;

2. Shantou Goworld Display Technology Co., Ltd, Shantou 515000, China;

3. Key Laboratory of Intelligent Manufacturing Technology, Ministry of Education, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: Panel module is one of the key factors that affect the touch and optical performance of the vehicle touch screen. Traditional manual inspection is unsuitable to modern industrial production with high product quality and high production efficiency. Aiming at the problem of large fluctuations of transmittance and large inspected area for the vehicle touch screen, a panel module machine vision inspection system with high inspection accuracy was developed. According to characteristics of the inspected glass object of vehicle touch screen, an image acquisition system and image processing scheme with online scanning has been designed for vehicle touch screen. By comparing the standard grayscale model, establishing the conversion relationship between grayscale value and transmittance, as well as support vector machine classification, various defects of the glass module were dynamic identified with only one CCD, and its transmittance at anywhere were acquired meanwhile. The on-site application results showed that the efficiency of this inspection system was up to 120 pcs/h. The inspection accuracy of glass module inspection system was 0.01 mm, and its ratio of flaw inspection was higher than 95%.

Keywords: panel module; machine vision; vehicle touch screen; transmittance of glass; deflection identification

0 引言

面板模组是影响车载触摸屏触控性能和光学性能的关键因素。近年来,国内外高端汽车不断向智能化、数字化和高端化的方向发展,对车载触摸屏面板模组的光学性能、美

观性、可靠性以及安全性提出了更加苛刻的要求。车载触摸屏的生产属于典型的精密制造过程,不仅需要配备高级别的无尘净化车间生产环境,而且不允许出现诸如黑白点、印刷不均匀、刮伤划伤等缺陷。目前,车载触摸屏面板模组外观检测以传统的人工检测方式为主,检测光学环境和检

收稿日期:2022-02-22

* 基金项目:广东省科技专项资金(2019ST104)资助

测人员的生理疲劳容易导致产品的误检和漏检。特别是在面板的图标(ICON)检查方面,人工仅能检测图标单点的透过率,无法一次性检测图标全幅面的透过率。因此,传统的人工检测方式已经无法满足车载触摸屏模组高效率、高精度、高覆盖的检测需求。

机器视觉技术发展于 20 世纪 50 年代,初期主要对二维图像的识别和理解进行研究,包括字符识别、缺陷检测等^[1]。通常,机器视觉系统主要包括相机、光源以及图像处理器。相机在光源的辅助下采集目标图像,然后由图像处理器对图片进行特征量分析并输出结果,从而实现产品缺陷识别,该技术具有高速、高精度、高准确率的特点^[2-3]。随着计算机技术和自动控制技术的高速发展,在工业生产中已开始应用机器代替人眼进行触摸屏外观缺陷检测,其功能不仅仅局限于信息采集,还能对信息进行限度判断和分流处理,从而实现目标检测、测量和识别等功能^[4]。王新新等^[5]开发的 TFT-LCD 缺陷检测系统,采用 CCD 面阵相机利用图像 ROI 区域提取、Gabor 滤波等检测算法提取 LCD 屏缺陷特征并标记轮廓线,实现了对 LCD 点缺陷和线缺陷的准确识别,并提出一种耦合性好可以检测多种缺陷的检测方法,但该系统对 Mura 缺陷的漏检率偏高。邓捷等^[6]提出了一种能够检测出微晶玻璃气泡的算法。该算法利用灰度值变化的特征将疑似气泡的轮廓用 Canny 边缘检测算子提取,依据气泡特征去除玻璃外边界虚假目标以获得实际缺陷,能够在背景亮度不均条件下准确识别出气泡缺陷,该系统仅限于玻璃内部气泡缺陷的检测。周晶等^[7]开发异形玻璃表面质量检测系统,为提高工作效率该系统采用线阵相机结合 AOI 算法,大大节约了成本,但该系统的检测精度不高对细小裂纹及缺陷会产生漏检。简川霞等^[8]研究了 OLED 屏缺陷自动检测方法,采用奇异值分解法利用较大的 2 个奇异值对 OLED 显示屏图像进行重构以去除重复性周期纹理,再利用阈值分割法提取缺陷。将残差图像像素随机赋予初始隶属度值,再采用分割行较好的模糊 C 均值将 OLED 屏缺陷边界的准确分割。Akdeniz 等^[9]提出了一种通过图像处理检测玻璃表面腐蚀的方法。Cen 等^[10]利用不精确增广拉格朗日乘子(IALM)算法,将 LCD 图像的分割转化为一个低秩矩阵的重建通过凸优化来精确求解,并对 IALM 算法进一步深入分析,提出了自适应参数选择策略,提高了 IALM 算法对不同类型缺陷的通用性,实现了液晶显示器面板缺陷的检测。Cabral 等^[11]开发了一种智能视觉系统,基于导数的算子被用做边缘检测器,通过灰度值的突变来确定产品的边缘,可以检测产品的外形缺陷,准确率高于 95%,但该设备只适用于检测要求较低的产品。

综上所述,国内外的玻璃检测系统虽然已取得一定成果,但由于车载面板模组的图标透过率检测波动大、检测幅面大,检测精度要求高,导致现有检测设备无法兼顾检测精度和兼顾多种缺陷种类,实际应用价值不高。本文针对车载触摸屏面板模组图标的检测难题,设计了一种高速精密车载触摸屏

面板模组检测系统。系统通过面阵相机采集分析图像计算待测模组偏移角度实现待测模组的自动校正,并记录产品相关数据。同时并行采用 CCD 工业线阵相机对待测面板模组上的图标进行多段拍照,获取高质量图像,提取各个图标和丝印线,并设计相应的算法实现图标黑白点、不均匀、透过率的检测,最终实现宽幅面车载触摸屏面板模组的精密检测。

1 成像系统设计

线阵相机具有分辨率高、测量精度好、抗干扰性强等特点^[12]。针对车载触摸屏面板检测幅面大的特点,设计了基于线扫描的车载触摸屏玻璃检测成像系统,成像系统包括面阵相机、线阵相机、LED 线光源、环形光源、面阵光源、传动装置和控制系统,如图 1 所示。

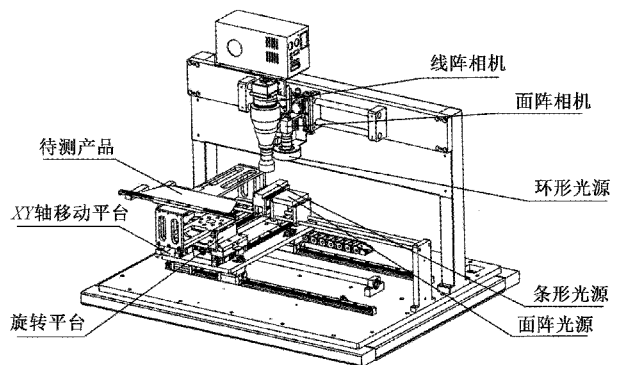


图 1 车载触摸屏面板模组检测系统结构

产品检测前,首先获取多张产品标准合格图片进行标准产品学习,将产品物距、图标位置、图标区域灰度模型等参数保存于数据库中。选取检测产品时,系统将自动通过识别产品二维码的方式从数据库中读取相关参数。

当车载触摸屏模组到达预定位置时,光电传感器发送信号至控制器,开启环形光源并触发面阵相机拍照,获取当前位置车载触摸屏对位 mark 点的图像并传至 PC,检测软件识别玻璃窗区上的定位点,计算出载物平台的偏移角度,控制器根据偏移角度控制旋转平台旋转校正玻璃至水平方向,以防止模组放置不平整为后续图像处理增加难度。

车载触摸屏模组校正完成后,触发线阵相机在 LED 线光源的照射下多段扫描拍照,获取车载触摸屏模组面板上图标的高精度图像,将图像传至检测计算机实时处理,计算出车载触摸屏玻璃的透过率,识别出图标的缺陷位置,并完成信息记录,产品检测流程如图 2 所示。

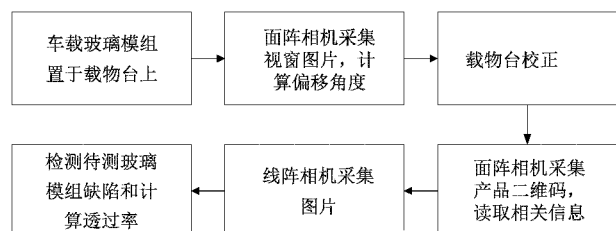


图 2 检测流程

本系统采用的线阵相机分辨率达 16 K,可扫描的视场范围为 250 mm,适用于多种不同规格的车载触摸屏面板模组产品检测。

2 图像处理

2.1 图像校正处理与产品识别记录

为防止线阵相机采集图像时图像发生畸变,进一步提高检测精度和降低后续的图像处理难度,车载触摸屏模组检测系统在检测待测模组之前,必须先对载物台上的待测模组进行定位旋转校正。旋转校正过程中,XY 轴移动机构带动载物台移动至面阵相机下方,由面阵相机采集图像,之后提取待测模组面板内视窗区的 X、Y 边,并求解出 X、Y 边的直线方程,进而求出相应的直线斜率,得到待测模组的偏移角度,最终发送相应的补偿脉冲控制电机旋转校正。

同时本文设计的车载触摸屏面板模组检测系统可通过自动识别模组上的二维码,作为检测结果记录追溯码,记录不同产品的检测参数,包括物距、图标位置等参数,以适应多种不同规格的车载触摸屏面板模组的检测,也将检测结果记录下来,作为后期质量分析追溯参考。

2.2 图标缺陷识别

为有效抑制环境变化对图像质量的影响,本系统采用直方图匹配的方式对图像进行预处理。直方图匹配通过将图像的直方图变换成指定形状来增强某个灰度范围的对比度。本系统首先计算图标的绝对直方图和相对直方图,并根据绝对直方图中的峰值位置在相对直方图向两端延伸,将相对直方图两端占比小于一定数值的灰度值剔除,这样后续的图像处理可有效避免环境的干扰。

本文设计的车载触摸屏面板模组检测系统图标缺陷检测内容包括图标黑白点缺陷、图标残缺、图标黑白不均匀。开始检测之前,在载物平台上先放置标准合格的车载触摸屏面板组,PC 控制载物平台移动至线阵相机下方,由线阵相机配合线性光源采集图像,获取待测玻璃模组的各个图标的灰度数据并保存至数据库。完成标准合格产品的数据收集后,获取待测模组图标图像并进行检测和支持向量机分类(简称 SVM)^[18],车载触摸屏模组面板图标的总体检测算法流程如图 3 所示。

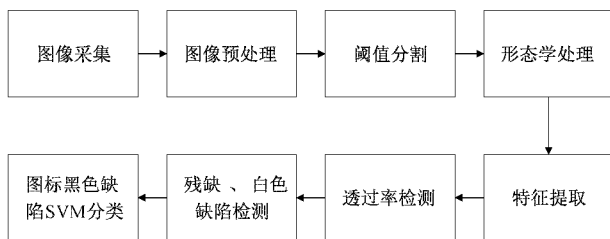


图 3 车载触摸屏模组面板图标检测算法流程

图像预处理完成后,采用动态阈值算法分割出缺陷基本轮廓,以排除不均匀背景对图像分割的干扰,动态阈值的原理如下:

$$g_o < g_o - \text{Offset} \vee g_o > g_t + \text{Offset} \quad (1)$$

其中, g_t 表示标准图片的滤波矩阵范围内像素灰度值均值,Offset 表示允许偏移量, g_o 表示满足条件的点。

图像分割完成后,采用如下的形态学处理方法,先对动态阈值分割得到的区域进行开运算,消除图像中的毛刺,之后再对区域进行闭运算,消除区域中的孔洞,最后进行腐蚀处理,形成特征区域。

1) 全幅面透过率检测

车载触摸屏面板模组图标的光学性能和耐磨性要求较高,透过率作为评定光学性能的重要参数,直接关系到车载触摸屏面板模组是否合格。传统的图标透过率检测方式仅能实现单点检测,而本文利用机器视觉检测图标透过率能够实现图标全幅面的透过率检测。待测模组所获得的图标图像的灰度值可间接反映出图标的透过率,通过测定已知透过率的图标图像的灰度值,具体检测方法如下。

(1) 拍照测定一批已知图标透过率的产品对应的灰度值。

(2) 建立图标透过率和灰度值的数据库。

(3) 拟合出图标透过率和灰度值转换关系的直线方程。

(4) 利用最小二乘法计算出透过率与灰度值转换直线方程后,由线阵相机拍照经图像处理计算出灰度值,进而根据直线方程计算出透过率。

最小二乘法拟合透过率与灰度值转换直线方程的公式如下:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3)$$

其中, b 为斜率, a 为截距, x 为灰度值, y 为透过率。

通过实验得出的透过率和灰度值的转换关系如图 4 所示。

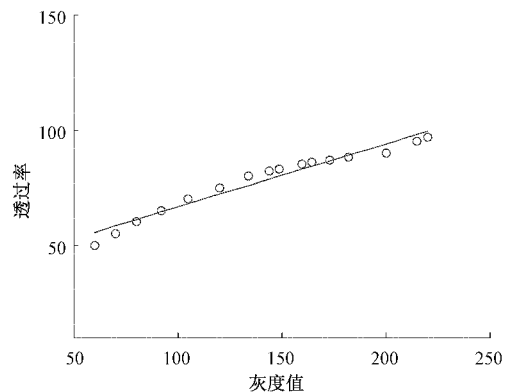


图 4 图标透过率和灰度值的转换关系

2) 图标残缺检测

图标残缺检测首先进行标准合格品学习,采集合格品的图像建立标准图片灰度模型。图标残缺检测时需准确提

取出图标区域,为避免外界环境干扰,车载触摸屏面板模组检测系统采用动态阈值算法将图标与背景分离,同时利用形态学处理过滤掉多余的干扰点,精确提取出图标区域^[14-15]。之后利用计算图标偏移角度和 X、Y 方向偏移量,利用仿射变换实现图标角度和 X、Y 方向的偏移校正,将校正好的图像灰度模型与标准灰度模型进行对比。

记 $g_1(x, y)$ 表示第 1 张合格图像像素点灰度值, $g_2(x, y)$ 表示第 2 张合格图像像素点灰度值, $g_n(x, y)$ 表示第 n 张合格图像像素点灰度值, $b(x, y)$ 表示标准图像像素点的灰度值, $v(x, y)$ 表示图像像素点的变化范围。

$$b(x, y) = (g_1(x, y) + g_2(x, y) + \dots + g_n(x, y)) / n \quad (4)$$

$$v(x, y) = (\min\{g_1(x, y), g_2(x, y), \dots, g_n(x, y)\}, \max\{g_1(x, y), g_2(x, y), \dots, g_n(x, y)\}) \quad (5)$$

记 $c(x, y)$ 表示待检测图像的灰度值, k, l 是缺陷检测的控制参数,当 $c(x, y) > b(x, y) + \max\{k, l * v(x, y)\}$ 或当 $c(x, y) < b(x, y) - \max\{k, l * v(x, y)\}$ 时,则视为不合格点,将不合格点筛选出来,最终得到残缺部分。

3) 图标点缺陷和不均匀检测

图标白点缺陷和黑白色不均匀缺陷呈现出明显的灰度变化规律,通过计算缺陷区域平均灰度值、缺陷区域外圈平均灰度值、灰度范围和灰度方差进行识别,能够准确检测图标白点缺陷和黑白色不均匀缺陷。

SVM 分类是一种有监督的机器学习方法,广泛地应用于分类识别等领域。对于非线性分类问题,其基本原理是,利用核函数将输入空间映射到高维空间,在高维的线性空间中求得最优分离超平面,转化为如下的线性可分问题:

$$\begin{aligned} \max_{\alpha} \quad & \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \\ \text{s. t.} \quad & C \geq \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $x_i^T x_j = \kappa(x_i, x_j)$ 为核函数, $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)^T$ 为拉格朗日乘子向量。

SVM 核函数的选择决定其性能,常用的核函数包括线性内核、多项式内核、径向基内核(RBF)和 sigmoid 核等,其中径向基内核适用于特征维数少、样本数量正常的情况,性能良好且计算复杂度较低。SVM 分类方式包括一对一分类法、一对多分类法和层次分类法,对于车载触摸屏面板图标黑色缺陷识别,一对一分类法和一对多分类法需要构成 3 个 SVM 分类器,层级分类法则需循环将所有类别划分为两个子类,直至得到一个单独的类别为止。考虑到特征向量维度、样本数量和计算复杂度,本文选取径向基内核作为核函数。

$$\kappa(x - x_c) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma} \|x - x_c\|^2\right) \quad (7)$$

其中, x_c 为核函数中心, σ 为核函数的宽度参数。

由于车载触摸屏面板图标由油墨丝印印刷而来,透过率波动较大,图标黑色缺陷与灰度值并无呈现明显的规律,传统的图像处理方法难以准确识别图标黑色缺陷。本文提取得到图标缺陷区域后,使用 SVM 分类器对图标合格、图标黑点缺陷、黑色不均匀缺陷进行分类,以图标缺陷区域平均灰度值、缺陷区域外圈平均灰度值、缺陷区域灰度范围、灰度方差为特征向量,进行 SVM 分类器训练与识别,从而将难以准确识别的黑色缺陷识别出来。

3 实验分析与结果

针对图标残缺、图标黑点、图标白点、图标黑不均匀、图标白不均匀等 5 种缺陷以及图标透过率检测,每项检测内容均选取 1 000 个样本进行实验分析用于训练模型。从 5 个生产批次中各抽取 2 000 个样本用于测试模型的准确性。部分车载触摸屏面板模组图标缺陷检测效果如图 5 所示。

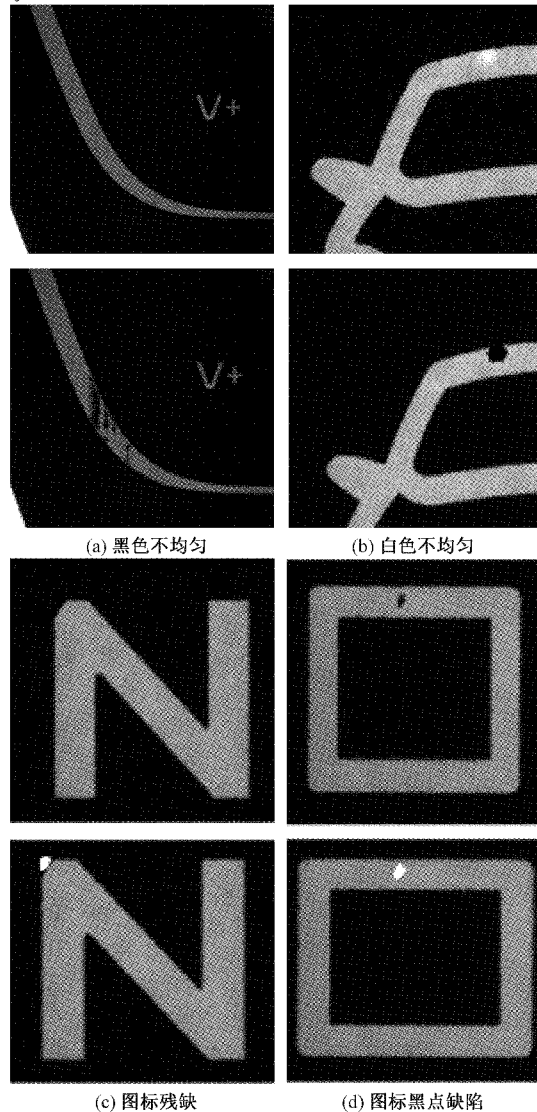


图 5 车载触摸屏图标缺陷检测结果

本文选取一对一分类法作为 SVM 分类方式,训练 SVM 分类器。首先计算样本图像的缺陷区域灰度平均值等 4 个特征向量,并将特征向量添加到 SVM 分类器进行训练,训练完成后,将测试图像输入到 SVM 分类器进行测试,并统计检测误差,并与 Halcon 动态阈值法的检测结果进行对比。Halcon 动态阈值法用于缺陷检测的结果如表 1 所示,经过 SVM 分类器训练后得到的检测结果如表 2 所示。

表 1 Halcon 动态阈值法图标缺陷检测统计 %

缺陷类型	检出率	过检率	漏检率
图标残缺	96.15	5.27	3.84
图标黑点	93.02	6.26	6.97
图标白点	91.30	7.12	8.69
黑色不均匀	71.42	28.80	28.57
白色不均匀	62.50	39.25	37.5

表 2 SVM 分类器图标缺陷检测统计 %

缺陷类型	检出率	过检率	漏检率
图标残缺	97.5	2.5	0.5
图标黑点	96.0	4.0	1.0
图标白点	98.0	2.0	0.5
黑色不均匀	95.0	5.0	1.0
白色不均匀	98.0	2.0	0.5

通过对比表 1、2 知, Halcon 动态阈值法的缺陷检出率约为 83%, 而检测系统经过 SVM 训练后, 缺陷检出率不低于 95%, 明显高于 Halcon 动态阈值法的检测结果。实际应用表明, 该系统适用于多种尺寸规格的车载触摸屏模组, 模组最大尺寸为 450 mm × 250 mm, 检测速度可达 120 pcs/h, 检测精度可达 0.01 mm, 缺陷检出率全部高于 95%, 解决了传统检测方式效率低下、误判率高、精度低、视野小的难题, 极大提高了车载触摸屏模组生产线的检测速度和质量稳定性。

通过图像校正处理和 SVM 训练, 研发出车载触摸屏面板模组检测系统, 如图 6 所示, 设备已成功应用于汕头超声显示器技术有限公司的车载触摸屏模组生产线中, 对 100 000 件产品的检测结果随机抽检 2 000 件并进行人工比对, 缺陷检测正确率为 96.52%。

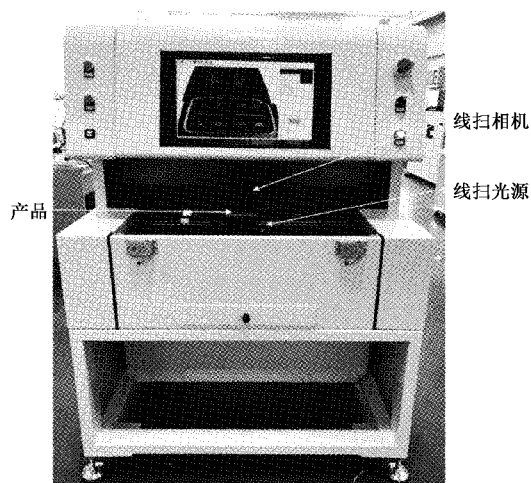


图 6 车载触摸屏面板模组视觉检测设备

4 结 论

本文针对车载触摸屏面板模组图标不均匀、黑点、白点、残缺等缺陷以及透过率难以全幅面检测的难题, 设计了基于线扫描的车载触摸屏面板检测成像系统和图像处理方案, 通过对比标准灰度模型、建立灰度值和透过率转换关系、SVM 分类等计算, 实现多种缺陷的动态识别和透过率测定。实际应用表明, 通过图像校正处理和 SVM 训练, 车载触摸屏面板模组视觉检测设备可同时满足多规格车载触摸屏模组的质量检测, 最大尺寸为 450 mm × 250 mm, 检测速度可达 120 pcs/h, 检测精度可达 0.01 mm, 所有缺陷在一台 CCD 相机上检出且检出率全部高于 95%。

参考文献

- [1] 朱云, 凌志刚, 张雨强. 机器视觉技术研究进展及展望[J]. 图学学报, 2020, 41(6): 871-890.
- [2] 廖苗, 刘毅志, 欧阳军林, 等. 基于自适应局部增强的手机 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷自动检测[J]. 液晶与显示, 2018, 33(6): 475-482.
- [3] 刘翠翠, 杨涛. 机器视觉在智能制造中的应用与产业发展[J]. 机床与液压, 2021, 49(11): 172-178.
- [4] 蒋莉, 严军, 孟伟, 等. 基于形态学的点阵液晶屏缺陷检测方法的研究[J]. 电子测量技术, 2018, 41(16): 98-101.
- [5] 王新新, 徐江伟, 邹伟金, 等. TFT-LCD 缺陷检测系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(3): 278-284.
- [6] 邓捷, 李伟仙, 吴思进. 基于灰度及几何特征的微晶玻璃缺陷检测[J]. 光学技术, 2021, 47(4): 428-431.
- [7] 周晶, 熊长炜, 刘沅, 等. 基于图像识别的异型玻璃表面质量全检测设备设计[J]. 机床与液压, 2021, 49(16): 123-126.
- [8] 简川霞, 王华明, 徐进军, 等. OLED 显示屏表面缺陷

- 自动检测方法[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 280-287.
- [9] AKDENIZ R, OKTAY O, SATKIN M B, et al. Detecting glass surface corrosion with image processing technique[J]. Anadolu University Journal of Science and Technology. A: Applied Sciences and Engineering, 2012, 13(2): 121-126.
- [10] CEN Y G, ZHAO R Z, CEN L H, et al. Defect inspection for TFT-LCD images based on the low-rank matrix reconstruction [J]. Neurocomputing, 2015, 149: 1206-1215.
- [11] CABRAL J D D, ARAUJO S A. An intelligent vision system for detecting defects in glass products for packaging and domestic use [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 77(1/4): 485-494.
- [12] 方素平, 夏晓华, 肖燕, 等. 一种线阵相机镜头畸变的标定方法[J]. 西安交通大学学报, 2013, 47(1): 11-14.
- [13] 李嘉莹, 赵丽, 边琰, 等. 基于 LDA 和 KNN 的下肢运动想象脑电信号分类研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(1): 9-14.
- [14] 肖洒, 陈波, 沈道贤, 等. 改进 VMD 和阈值算法在局部放电去噪中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(11): 206-214.
- [15] 刘小燕, 吴鑫, 孙炜, 等. 基于形态学重建和 GMM 的球团颗粒图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3): 230-238.

作者简介

林典钦, 助理工程师, 主要研究方向为机器视觉检测算法与应用。

王双喜, 教授, 博士, 主要研究方向为装备智能制造等。
E-mail: sxwang@stu. edu. cn