

基于机器视觉的汽车角窗玻璃混线检测算法

李建兴^{1,2,3}, 林华良^{1,2,3}, 俞斌⁴, 陈炜^{1,2,3}, 林晨煌¹, 黄诗婷¹

(1.福建工程学院 电子电气与物理学院,福建 福州,350118;

2.福建省工业集成自动化行业技术开发基地,福建 福州,350118;

3.福州市工业集成自动化行业技术创新中心,福建 福州,350118;

4.福耀集团汽车玻璃有限公司,上海,200000)

摘要: 针对汽车玻璃角窗生产线上轮廓、材质与厚度相近似的汽车玻璃容易产生混淆的问题,提出融合轮廓特征与颜色特征的汽车玻璃混线检测算法。通过改进的几何矩匹配算法实现汽车玻璃的轮廓检测;利用色彩特征实现汽车玻璃的材质与厚度的检测,结合轮廓特征与色彩特征实现了汽车玻璃的混线检测。实验证明,提出的混线检测算法有效提高了汽车玻璃混线检测的准确率,有利于提升汽车玻璃检测的自动化水平。

关键词: 机器视觉;角窗玻璃;混线检测;轮廓特征;色彩特征

中图分类号: TP391.41; U468 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2021)03-0223-07

Machine vision-based non-congeneric product detection algorithm for vehicle quarter glass

LI Jianxing^{1,2,3}, LIN Hualiang^{1,2,3}, YU Bin⁴, CHEN Wei^{1,2,3}, LIN Chenhuang¹, HUANG Shiting¹

(1. School of Electronic, Electrical Engineering and Physics, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Technology Research and Development Center for Industrial Integration and Automation Industry of Fujian Province, Fuzhou 350118, China;

3. Technology Innovation Center for Fuzhou Industrial Integration and Automation Industry, Fuzhou 350118, China;

4. Fuyao Glass Industry Group Co., Ltd, Shanghai 200000, China)

Abstract: In view of the fact that confusion is easy to occur on the vehicle quarter glass production line due to similarities in their contours, thicknesses and materials, a non-congeneric product detection (NCPD) algorithm was proposed for vehicle quarter glass, which combines contour features and color characteristics. The contour detection of automotive glass was realized by the improved geometric moment matching algorithm. Detection of its material and thickness was realized by using color characteristics. A combination of the contour features and color characteristics can help realize the non-congeneric detection of vehicle glass. Experimental data show that the detection algorithm combining contour features and color characteristics greatly improves the accuracy of vehicle glass NCPD, and improves the automation degree of vehicle glass detection.

Keywords: machine vision; quarter glass; NCPD; contour features; color features

由于汽车玻璃的制造工艺复杂,需要采用分段式生产,在生产和运输过程中,一些外观、材质相近的玻璃容易混杂到一起,故而在包装前需要

对其进行混线检测,解决目标的识别与匹配问题^[1]。目前国内大型的汽车玻璃厂商主要是依靠人工对汽车玻璃进行混线检测^[2]。

收稿日期: 2021-03-04

基金项目: 福建省自然科学基金(2020J01878)

第一作者简介: 李建兴(1968—),男,福建古田人,教授,硕士,研究方向:智能控制技术、系统集成技术。

计算机视觉已被广泛应用于图像检索、文字识别、人脸识别、医学图像分析、机器人导航等诸多领域^[3]。在现有的基于特征的图像匹配技术中,几何矩特征已经成为了重要的特征区域集。文献[4]提出先利用几何矩进行轮廓匹配,保留每一次匹配过程中重叠窗口区域的计算结果在下一匹配中使用,但计算复杂、耗费计算机内存大,在高分辨率图像匹配中无法快速检索。文献[5]先利用 Canny 算子提取两幅图像的轮廓,计算两个轮廓的几何矩,进行相似度度量完成形状匹配,但该算法精度不高,无法准确定位。文献[6]结合几何矩和图像偏转角进行分段拟合,实现对车道的快速检测,但该算法检测准确率不高且抗干扰能力较差。

目前的检测技术主要是利用轮廓特征进行匹配。对于角窗玻璃而言,有些型号的角窗玻璃轮廓一样,材质却不相同。若仅依靠上述检测技术无法实现准确的混线检测。由于汽车玻璃材质的不同主要在于成分与厚度,成分的不同主要表现为颜色的区别,而厚度的改变同样也能影响颜色的深浅。本课题提出利用机器视觉技术进行轮廓检测的同时融合颜色特征进行汽车玻璃的材质与厚度的检测,实现混线检测。

1 汽车玻璃的特征分析

汽车玻璃的特征包含 3 个方面:轮廓特征、材质特征和厚度特征。轮廓特征主要表现为外形轮廓的不同。对不同形状的汽车玻璃提取其轮廓特征,用低阶几何矩表示。如图 1 所示为部分不同轮廓的检测对象。对其中 a 、 b 、 c 3 种轮廓不同的玻璃进行研究,其中 b 、 c 玻璃形状较为相似, a 玻璃与 b 、 c 玻璃轮廓差异较大。用 n_1 、 n_2 和 n_3 表示几何矩的 1 到 3 阶几何矩。由表 1 可得,不同的汽车玻璃,几何矩具有较大的不同。

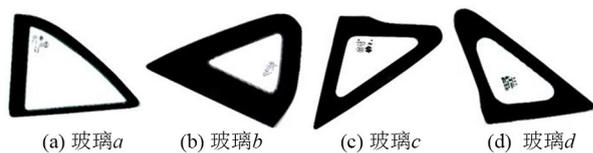


图 1 检测对象

Fig.1 Detection objects

普通玻璃配料中需加入 0.4%~0.7% 的着色剂,不同的着色剂使得玻璃带上不同的色彩,在数

字图像中则表现为色彩信息的不同,主要分为白玻-C (clear)、蓝玻-B (blue)、绿玻-G (green)、SOLAR 绿玻-SG (solar green)、茶玻-Z (bronze) 和灰玻-Y (gray) 等 6 大类。厚度特征的变化也会导致色彩信息发生变化。汽车玻璃越厚,色彩越浓重。不同材质与厚度的汽车玻璃样片,其命名规则是以数字代表厚度,单位为 mm,英文字母代表玻璃材质,例如 2.0C、3.5SG、4.0G 等。

表 1 汽车玻璃几何矩轮廓信息

Tab.1 Geometric moment profile information of vehicle glass

玻璃样片	几何矩		
	n_1	n_2	n_3
a	0.669 669	0.050 219	0.110 120
b	0.449 609	0.054 943	0.027 670
c	0.486 086	0.083 863	0.030 431

将不同材质与厚度的玻璃样片置于同一位置,在光线均匀的情况下进行汽车玻璃样片的图像采集,对每一张所采集的图像随机抽取 3 000 个点的色彩信息数据,取平均数作为该玻璃样片的色彩信息。部分采集到的不同材质与厚度的汽车玻璃样片的色彩信息如表 2 所示,用 R、G、B 3 个分量的数值来表示色彩信息。

表 2 部分不同材质与厚度的汽车玻璃色彩信息

Tab.2 Color information of some vehicle glass with different materials and thicknesses

玻璃型号	R	G	B
2.0C	234.91	254.29	229.96
2.0G	216.04	239.52	213.08
2.0SG	131.2	167.92	139.66
3.0C	227.08	242.28	221.98

观察表 2 可知,同一厚度不同材质的汽车玻璃色彩差异较大,易于区分;不同厚度同一材质的汽车玻璃的色彩信息差异较小,但仍然遵循随着厚度的增加,色彩信息变得更加浓重的规则,在表 2 中则表现为 R、G、B 分量的数值的降低。

综上所述,外形的不同可用轮廓特征辨别,材质与厚度的不同则可用色彩特征辨别,因此,采用

轮廓特征信息和色彩特征信息进行汽车玻璃的混线检测具有一定的可行性。

2 基于改进几何矩的汽车玻璃轮廓检测

在轮廓检测中,形状描述符的选择决定了匹配算法的性能。有学者比较了轮廓检测中4种重要的轮廓描述符的优缺点,包括傅里叶描述符、曲率尺度空间描述符、角度径向变换和图像矩描述符,结果表明图像矩描述符比其他3种方法可靠度更高,性能优异^[7,8]。故而选择利用图像矩描述符进行玻璃轮廓的描述。

2.1 改进的几何矩轮廓匹配算法

2.1.1 改进的几何矩轮廓匹配算法流程

在实际的生产线中,镜头到传送带的距离是固定的,因此在本课题的匹配算法中无需使用几何矩的缩放不变性。为了去除缩放不变性的影响,本课题在传统几何矩匹配算法上增加了面积特征进行轮廓检测。在进行几何矩计算时已获得面积特征,因此改进的几何矩匹配算法不会增加额外的计算量,不影响实时检测速度。改进的几何矩匹配算法的流程如图2所示。



图2 改进几何矩匹配算法流程图

Fig.2 Improved geometric moment matching algorithm flow chart

2.1.2 改进的图像匹配策略

(1) 形状相似性计算

设 A 、 B 分别为模板图像和待匹配图像,计算 A 、 B 两张图像的七阶几何矩 h_i^A 和 h_i^B ,对 h_i^A 和 h_i^B 利用符号函数和对数函数进行放大得到 m_i^A 和 m_i^B ,如式1所示。

$$\begin{cases} m_i^A = \text{sign}(h_i^A) \cdot \log(h_i^A) \\ m_i^B = \text{sign}(h_i^B) \cdot \log(h_i^B) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $i=1,2,\dots,7$,分别用于表示图像的1~7阶几何矩。

利用式得到图像 A 和图像 B 的形状相似性 $I_{(A,B)}$,其中 $I_{(A,B)}$ 越小,相似度越高。

$$I_{(A,B)} = \sum_{i=1}^7 \left| \frac{1}{m_i^A} - \frac{1}{m_i^B} \right| \quad (2)$$

(2) 面积相似性计算

设 S_A 和 S_B 分别为两张图像上汽车玻璃的区域面积,可以通过计算零阶原点矩 m_{00} 获得。 $S_{(A,B)}$ 为两张图像的面积相似性函数,如式(3)所示。 $S_{(A,B)}$ 的值越小,说明两张图像的面积越接近。

$$S_{(A,B)} = \frac{|S_A - S_B|}{|S_A|} \quad (3)$$

(3) 综合相似度计算

为了综合考虑形状相似性和面积相似性对匹配结果的影响,利用形状相似性 $I_{(A,B)}$ 和面积相似性 $S_{(A,B)}$ 的加权综合值作为轮廓检测相似程度的判断依据,如式(4)所示。若综合值小于阈值,则表示误差在允许范围,轮廓匹配成功。

$$I_{(A,B)} + \alpha \cdot S_{(A,B)} < \delta_1 \quad (4)$$

式中, α 的取值为2; δ_1 是用于判断轮廓相似性的阈值,本研究取0.1。

当式(4)的不等式成立时,当前检测的玻璃即为排产玻璃;不等式左侧的值越小,待测玻璃与模板玻璃的轮廓相似性越大。若待测玻璃与模板玻璃的外形轮廓完全一样,但只要两者的面积相差超过5%,面积相似性 $S_{(A,B)} \geq 0.05$,用本算法就能够判断出两片玻璃的不同。

实际上,虽然镜头和输送带的相对位置固定,但是输送带运转起来后总会有微小的抖动,导致输送带上的玻璃也会产生上下抖动,因此镜头和玻璃间的距离每次都会有微小变化,即使是从排产型号的玻璃采集到的玻璃图像的大小也会与模板图像存在微小的变化。为避免上述情况影响检测的结果,允许待测图像与模板图像的面积相差5%以内。

2.2 轮廓检测的实验与结果分析

2.2.1 轮廓检测实验设计

为了验证提出的检测算法的准确性和鲁棒性,分别采用传统的几何矩匹配算法和改进的几何矩匹配算法对检测对象进行匹配测试。检测对象为图2所示的4种汽车玻璃,其中玻璃 c 与 d 外观较为相似,视觉检测上容易出现误判。

第一组实验的测试对象均为与模板图像同一品类的玻璃。以玻璃 a 为例,第一组实验将玻璃 a 与其经过平移和旋转后的同品类玻璃进行匹配测

试。第二组实验的测试对象为与模板玻璃外形轮廓一模一样,但大小不一样的玻璃。以玻璃 *a* 为例,将同品类的玻璃图像经过等比例缩放后与玻璃 *a* 的模板图像进行匹配测试。第三组实验测试对象是将图 2 中的 1 种玻璃与其他 3 种玻璃进行匹配测试。

2.2.2 测试结果与分析

表 3 为图 1 所示的 4 种汽车玻璃的前 4 阶几何矩和与其对应的面积特征。*n*₁、*n*₂、*n*₃ 和 *n*₄ 表示几何矩的 1 到 4 阶几何矩,表征汽车玻璃的轮廓信息,面积大小表示在图像中汽车玻璃黑色区域所占像素区域大小。

表 3 检测对象的轮廓与面积特征数据

Tab.3 Contour and area feature data of the detected objects

玻璃 样片	<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂	<i>n</i> ₃	<i>n</i> ₄	面积/ pixel
<i>a</i>	0.669 669	0.050 219	0.110 120	0.022 920	1 020 979
<i>b</i>	0.449 609	0.054 943	0.027 670	0.000 906	1 504 297
<i>c</i>	0.486 086	0.083 863	0.030 431	0.001 715	1 500 776
<i>d</i>	0.303 087	0.007 534	0.00 402	0.000 352	2 201 377

玻璃 *a* 与 *d* 的轮廓和面积大小有较大不同,体现在表 3 中显示为低阶几何矩的极大不同和面积差异较大;玻璃 *b*、*c* 的轮廓与面积大小均较为接近,在表 3 中则表现为低阶几何矩与面积大小的差异较小。

表 4 为采用传统的几何矩匹配算法的检测结果。第一组测试数据表明传统的几何矩匹配算法对自身匹配(平移和旋转)的识别率较高,其准确率在 95%以上。第二组测试数据表明当测试对象与模板玻璃外形轮廓一模一样,大小不一样时,准确率非常差。传统几何矩算法无法区分等比例缩放后的玻璃图像与模板图像的不同,这将导致该算法无法检测出外形轮廓非常相似但大小不同的玻璃。第三组测试结果的准确率较低,主要是由于传统的几何矩匹配算法对于轮廓相近(例如玻璃 *c* 与 *d*)的图像无法较为准确地进行识别。

表 5 为改进的几何矩匹配算法的检测结果。改进的算法保留了传统算法对自身匹配(平移和旋转)的优良性能,成功识别出了缩放后的玻璃与原玻璃的区别,准确率在 99%以上,也提高了对其他品类玻璃的识别率,准确率在 96%以上。

表 4 传统几何矩匹配算法

Tab.4 Traditional geometric moment matching algorithm

玻璃 样片	第一组			第二组			第三组		
	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %
<i>a</i>	100	95	95	100	2	2	300	207	69
<i>b</i>	100	97	97	100	3	3	300	222	74
<i>c</i>	100	96	96	100	5	5	300	180	60
<i>d</i>	100	100	100	100	0	0	300	171	57

表 5 改进的几何矩匹配算法

Tab.5 Improved geometric moment matching algorithm

玻璃 样片	第一组			第二组			第三组		
	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %	数量/ 片	正确识别 数/片	准确率/ %
<i>a</i>	100	96	96	100	100	100	300	294	98
<i>b</i>	100	100	100	100	100	100	300	291	97
<i>c</i>	100	99	99	100	99	99	300	294	98
<i>d</i>	100	100	100	100	100	100	300	288	96

3 基于色彩信息的汽车玻璃材质和厚度检测

汽车玻璃在生产过程中添加了不同的着色剂

形成了不同的颜色。玻璃的色彩浓度也会随厚度的变化而变化。色彩检测的算法流程如图 3 所示。

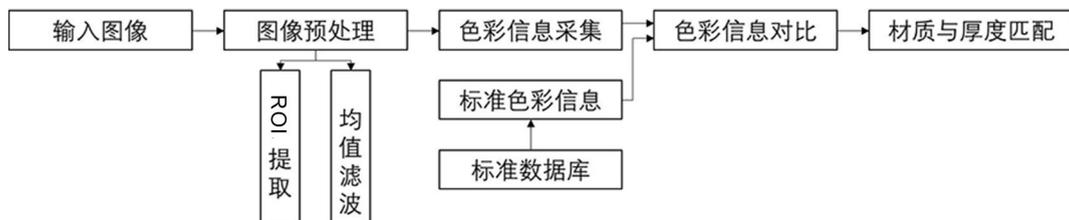


图 3 色彩检测流程图

Fig.3 Color detection flow chart

3.1 边缘色彩信息的处理

色彩检测需要对汽车玻璃的原图像进行色彩分析,先对原图像进行滤波处理,排除异常区域,使预处理后的图像能够呈现出汽车玻璃的真实色彩。

彩色图像在数字系统中是用 RGB 色彩分量的三维数组来表示的,故而预处理时需要对图像的每个色彩分量分别进行均值滤波处理。

由于汽车玻璃具有黑色边界部分(包括黑边和标签区域),若直接采用均值滤波进行平滑处理会导致位于边缘位置的像素值出现明显的模糊现象。图 4 为直接进行均值滤波后部分边界图像,其中标记部分为异常部分,若在信息采集时采集到该区域的色彩信息,会导致所采集的色彩信息不符合真实的汽车玻璃的色彩信息。

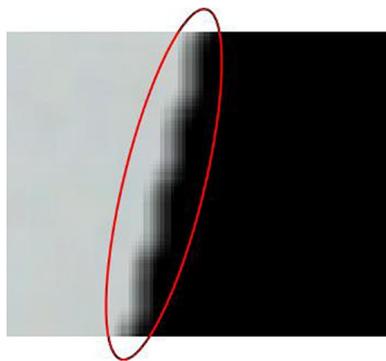


图 4 均值滤波后部分边界图像

Fig.4 Part of the boundary image after mean filtering

为了防止上述现象导致最后得到的色彩数据不精准,结合形态学处理技术和感兴趣区域提取技术,完成对边缘色彩信息异常区域的剔除。首先利

用感兴趣区域提取技术获得掩模板;再对掩模板进行形态学操作,令得到的掩模板的掩盖区域扩大,在图像中则表现为黑色区域变大、白色区域减小,由此获得经形态学处理后的掩模板如图 5 所示。

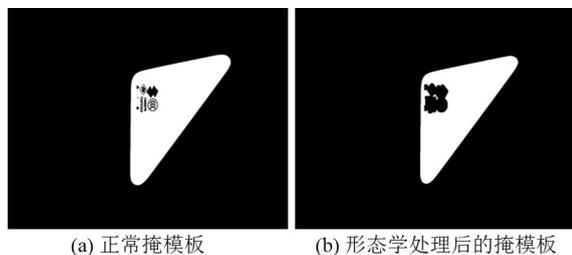


图 5 掩模板

Fig.5 Mask

最后,对已完成均值滤波的原彩色图像进行掩模板覆盖,得到的结果如图 6 所示。图 6(b)为边缘部分的局部放大图,与图 4 比,图 6(b)的边缘部分不存在模糊区域。

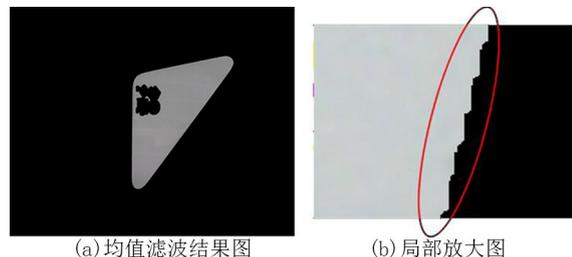


图 6 均值滤波结果图

Fig.6 Mean filtering results

3.2 色彩匹配数据的确定

获得玻璃的 R、G、B 色彩分量数据后,若用

R、G、B 分量直接作为判断依据,因为色彩相近的两块玻璃的单个 R、G、B 分量的差值非常小,甚至小于设定的阈值,容易造成检测错误。为了避免上述问题,需在进行色彩数据比对前,对采集到的 R、G、B 数据先进行预处理,以便获得以下这 3 个数据: C_1 (R、G、B 分量之和)、 C_2 (R 分量占 3 个分量的比例)和 C_3 (G 分量占 3 个分量的比例)。利用这 3 个数据可以扩大玻璃色彩数据的差异,提高检测的正确性。

3.3 采集量的确定

色彩信息的采集将影响汽车玻璃材质与厚度的确定,而采集量 N 的大小将影响玻璃色彩信息的准确性和数据采集的速度。在工业现场,影响色彩信息的因素有很多,例如灰尘、污渍、光照不均等因素。 N 较大时,能准确地呈现出色彩信息,它是通过降低异常值所占采集量的比例来减小外界因素对于色彩的影响,降低了偶然性,但计算量较大,增加采样和处理时间; N 值较小时,计算量小,处理时间短,但异常值对于色彩信息的影响较大,对于两块色彩十分近似的汽车玻璃,采集到的数据会较容易出现误判。综合考虑计算速度和精度, N 值取值为 500。

3.4 汽车玻璃色彩匹配策略

为了实现色彩检测,设计的匹配策略如下:设 A 为被测汽车玻璃图像,通过检测能够获得 3 个待匹配数据分别记为 C_{A1} 、 C_{A2} 和 C_{A3} 。设 B 为标准玻璃,它的 3 个匹配数据分别为 C_{B1} 、 C_{B2} 和 C_{B3} ,采用欧式距离来衡量 A 、 B 两块玻璃的色彩相关性,如式(5)~(7)所示。

$$\sqrt{(C_{A1} - C_{B1})^2} < \delta_2 \quad (5)$$

$$\sqrt{(C_{A2} - C_{B2})^2} < \delta_3 \quad (6)$$

$$\sqrt{(C_{A3} - C_{B3})^2} < \delta_4 \quad (7)$$

式中, δ_2 、 δ_3 和 δ_4 是设定的比较阈值。经实验确定,色彩信息最接近的两块玻璃,其 δ_2 、 δ_3 和 δ_4 的差值分别为 9、5、5 pixel,比较阈值需保留一定余量,经归一化处理后,取 δ_2 、 δ_3 和 δ_4 的值分别为 0.010、0.013、0.013。只有当式(5)(6)(7)均成立时才表明 A 和 B 的材质与厚度是相同的。

3.4.1 色彩检测实验设计

玻璃的原料成分和厚度会影响玻璃的色彩。当玻璃较薄时,白玻(C)与绿玻(G)的色彩难以区分;当玻璃较厚时,绿玻(G)与绿玻(SG)的色

彩难以区分。故而取材质为 2.0C、2.1C、2.1G、2.1SG、3.5G、3.5SG、4.0G、4.0SG 和 4.2SG 的汽车玻璃各 20 片作为测试玻璃,每片均采集 5 组数据;并以 2.0C、2.1C、3.5G 和 4.0G 的汽车玻璃作为标准对象,进行色彩匹配实验。如表 6 所示为部分汽车玻璃的色彩模板数据。

表 6 部分汽车玻璃色彩模板
Tab.6 Color templates of some vehicle glasses

玻璃型号	R+G+B	R/(R+G+B)	G/(R+G+B)
2.0C	2.820 2	0.326 6	0.353 6
2.1C	2.711 1	0.328 5	0.350 4
2.1G	2.622 1	0.323 1	0.358 2
2.1SG	1.720 7	0.399 0	0.382 7
3.5G	2.388 1	0.312 1	0.360 5
3.5SG	0.690 0	0.438 8	0.561 2
4.0SG	0.621 0	0.403 7	0.493 9

3.4.2 材质与厚度检测结果分析

表 7 为色彩检测的匹配结果,由表 7 数据可见存在部分匹配失败案例。分析图像,发现型号一致但厚度不同的汽车玻璃,其色彩数据差异相对较小,色彩数据受外界影响较大,不能完全准确区分同型号厚度相近的汽车玻璃。例如当以 2.0C 为模板时,会将部分 2.1C 的待测图像误判为 2.0C 或将部分 2.0C 的待测图像误判为 2.1C。

表 7 色彩检测实验结果

模板玻璃型号	测试数/块	正确识别数/块	准确率/%
2.0C	900	890	98.89
2.1C	900	893	99.22
3.5C	900	900	100.00
4.0G	900	899	99.89
平均	-	-	99.50

虽然存在部分匹配失败的情况,但在进行材质与厚度的检测时,所提的色彩匹配策略能很好的识别出待测图像中的模板玻璃型号,平均检测准确率达到 99.50%。由此可知,利用色彩检测来实现汽车玻璃材质与厚度的检测方法是可行且有效的。

4 混线检测的实验与结果分析

4.1 混线检测实验设计

将上述的轮廓检测部分与色彩检测部分进行统合,对待检测玻璃分别进行轮廓检测与色彩检测,当任意检测环节匹配失败则表示此待检测玻璃不符合规格要求,生产线上出现混线现象。

分别取厚度为 2.0、2.1、3.5、4.0 mm 的白玻(C)、绿玻(G)和绿玻(SG)各 10 块,其轮廓形状有非常相似的也有差异较大的,共计 120 块汽车玻璃。分别以这 12 种不同的汽车玻璃作为模板与这 120 块玻璃进行匹配实验,统计其错判的次数和匹配时间,以验证算法的准确性与快速性。

4.2 混线检测结果分析

运行环境:计算机(配置为: Intel(R) Core(TM) i5-7400 CPU,主频 3.0 GHz,内存 16 GB),操作系统为 Windows10 专业版,开发语言为 MATLAB R2018a,图像大小为 2048 * 2592 * 3。在此环境下系统平均匹配一张图像的时间为 1.32 s。

汽车玻璃生产线的运行速度在 15~20 m/min,一块中等大小的汽车角窗玻璃的长度约 0.5 m,两块玻璃之间同时存在 0.1 m 以上间隔。以最快的运行速度 20 m/min 计算,两块玻璃经过同一点的间隔时间为 2.00 s,大于 1.32 s,符合实际要求。

表 8 为混线检测实验结果,由表 8 可知,混线检测准确率普遍高于 95% 以上。12 组实验中,有 10 组实验的准确率为高于 97%,其中有 4 组实验的准确率为 100%,平均检测成功率达到 98.62%,具有较高的准确性,适用于工业现场。

参考文献:

- [1] 程方. 税收视角下汽车产业高质量发展探研[J]. 税收征纳, 2020(1): 9-11.
- [2] 郑文斌,蔡志山,俞斌,等. 汽车玻璃黑边区域划痕的视觉检测技术[J]. 福建工程学院学报, 2020, 18(1): 63-68.
- [3] GIANNAKOPOULOU S, KALIAMPAKOS D. Social transformations of cultural heritage: from benefaction to sponsoring: Evidence from mountain regions in Greece[J]. Journal of Mountain Science, 2020, 17(6): 1475-1490.
- [4] 李亚男,李浩,赵鹏,等. 一种改进的 Hu 不变矩多源影像匹配方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(10): 21-24.
- [5] 齐美星,孙伟. 基于金字塔图像结构与 Hu 高阶矩的螺丝目标匹配算法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(9): 19-22.
- [6] 汪威,何小凡,李浩然,等. 一种包装卷材快速在线检测算法[J]. 包装工程, 2018, 39(5): 146-152.
- [7] AMANATIADIS A, KABURLASOS V, GASTERATOS A, et al. Evaluation of shape descriptors for shape-based image retrieval[J]. IET Image Processing, 2011, 5(5): 493-499.
- [8] BEDRATYUK L. 2D geometric moment invariants from the point of view of the classical invariant theory[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2020, 62(8): 1062-1075.

表 8 混线检测实验结果

Tab.8 Test results of non-congeneric product detection

玻璃类别	测试数/块	正确识别数/块	准确率/%
2.0C	120	118	98.30
2.1C	120	119	99.20
3.5C	120	116	96.70
4.0C	120	118	98.30
2.0G	120	119	99.20
2.1G	120	120	100.00
3.5G	120	119	99.20
4.0G	120	120	100.00
2.0SG	120	114	95.00
2.1SG	120	120	100.00
3.5SG	120	120	100.00
4.0SG	120	117	97.50
平均	-	-	98.62

5 结论

1)改进不变矩算法,增加了面积特征对汽车玻璃进行外形上的检测,提高检测正确率的同时对检测效率几乎不产生影响。

2)在进行色彩检测时,利用改进的均值滤波算法,降低由灰尘、光照、污渍等引起的偶然性,并针对传统的均值滤波算法产生的边界模糊问题,结合形态学处理和感兴趣区域提取技术,解决了传统均值滤波算法导致的边界模糊问题。

3)结合改进的色彩匹配策略实现了材质与厚度不同的辨别。提出的结合轮廓检测和色彩检测来实现汽车玻璃的混线检测,该策略对混线检测的准确率达到 98.62%。