

基于形态学玻璃屏幕表面划痕检测方法研究

赵文宏, 彭 超, 陈红星

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对玻璃屏幕表面划痕检测的要求,进行了基于形态学玻璃屏幕表面质量划痕检测方法的研究.通过激光散射扫描获取图像,利用均值滤波平滑图像,采用局部动态阈值分割获取二值图像,然后计算所有相连接的区域剔除干扰部分,再利用膨胀、骨架提取等形态学处理方法提取划痕缺陷,最后实验测量了大量的划痕样本的特征值,并确定划痕判据.为了验证检测方案的可行性进行了实验,实验结果表明:划痕识别率高达 96%,误判率 3%,漏检率为 1%.所提出的检测方法及判据能够准确地识别玻璃划痕缺陷,同时具有检测速度快的优点,满足了玻璃屏幕表面划痕的检测要求.

关键词:划痕检测;激光散射;图像处理;形态学处理

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1006-4303(2016)03-0279-04

Study on scratch inspection methods of glass screen surface based on morphology

ZHAO Wenhong, PENG Chao, CHEN Hongxing

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper studied surface quality detection technology of glass screen based on morphology methods, according to the scratches detecting requirements of glass screen surface. Firstly, the requested images are acquired by laser scatter scanning, using filter smoothing image, to get the binary image by local dynamic threshold segmentation. Then we calculated the area of all the connected parts to remove the interference parts, after that morphological method was used to extract scratches defects, such as the expansion and skeleton extraction. Finally, the scratch criterion were acquired by calculating the eigenvalues of many scratch samples. To verify the feasibility of the detection scheme, this paper carried out experiments. The experimental results showed that the detection methods and criteria of the proposed can accurately identify glass scratch defects, which meets the requirements of the glass screen surface scratch detection. Scratch recognition rate reached 96% and 3% error rate, false negative rate was 1%.

Keywords: scratch detection; machine vision; image processing; morphological processing

近年来,玻璃屏幕在军事、工业、电子、科研和教学等领域都具有广泛使用,而且对透明玻璃的需求量仍具有大幅增长的趋势.特别是如今电子行业的飞速发展,各种交互功能电子产品对其需求量都非常巨大,因此对玻璃屏幕的质量和生产效率都提出了较高的要求.而缺陷检测作为玻璃屏幕质检中的重要环节,必须对完工后的玻璃屏幕进行全检.相对

于玻璃屏幕的巨大产量,传统的玻璃屏幕人工检测方式在效率、准确率和减轻工人劳动强度上仍有待提高.机器视觉技术和数字图像相结合的高速光学自动化在线检测方式^[1],具有速度快、信息量大、实时性强和智能化程度高等优点,近来受产业界的广泛关注.

划痕缺陷作为最常见的缺陷,诸多学者对其光学检测算法展开研究.张利平等^[2]利用 Sobel 算子和

收稿日期:2015-11-24

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51275476)

作者简介:赵文宏(1966—),男,浙江浦江人,教授,研究方向为超精密加工、图形处理,E-mail:whzhao6666@163.com.

Hough 变换检测电影胶片的划痕,可以很好的实现划痕检测.王静颖^[3]采用针对噪声抑制和边缘检测的 log 算子检测玻璃划痕检测.武跃华^[4]利用小波变换法,并通过对阈值的选取,在不同尺寸上综合得到羽毛球球的划痕图像.王亚锋^[5]采用 Canny 检测算法检测玻璃划痕,然后选用阈值分割对图像进行分割,但是检测图像容易产生断点情况.宋迪等^[6]利用 Gabor 滤波器和各向异性纹理抑制方法提取手机隔板划痕.基于边缘检测划痕检测算法在针对对比度弱、边界模糊、景深相对较小的划痕时,容易导致划痕断裂甚至丢失^[6].而基于小波变换或卡尔曼滤波的划痕检测算法则由于算法复杂,较大的计算量,通常难以满足工业实时性的要求^[7].因此,为满足玻璃屏幕划痕检测准确率高要求,笔者采用基于形态学的划痕缺陷检测方法,该方法不仅能完整的检测出划痕,而且具有算法简单、并行性好和检测速度快等优点.

1 系统总体设计及激光散射原理

划痕检测装置如图 1 所示,主要包括传送装置、图像采集设备、工业计算机.图像采集设备主要由激光发射装置、微光探测器、图像采集卡构成.激光散射仪通过 Camera Link 协议与工控机 PCI-Express 接口相连,将采集的图像数据上传到工控机处理.传送装置主要由传送带、三菱 PLC、伺服电机及伺服驱动器组成.工控机通过上位机软件发送信号控制 PLC,PLC 控制传送装置,以及调节激光散射装置的焦距及光源的亮度.

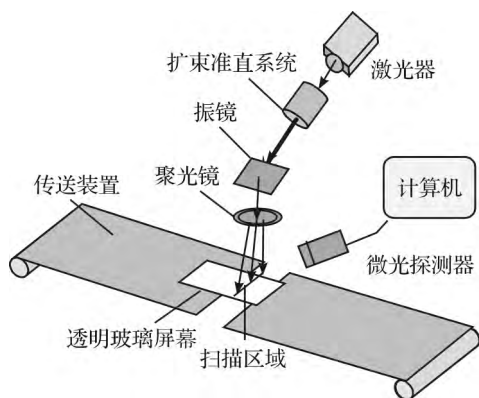


图 1 划痕检测装置

Fig. 1 Detecting device of scratch

如图 1 所示,激光散射仪由激光器、扩束准直系统、振镜、聚光镜、微光探测器等组成.激光器发射的一束激光具有一定的发散角,通过扩束准直系统调节形成准直平行光束.准直光束以固定入射角投射在振镜片上,通过高速摆动电机驱动振镜片获得横向扫描区域,然后利用聚光镜获得由细小的高功率密度光斑组成的扫描区域.当运动的透明玻璃屏幕

经过扫描区域时,具有缺陷的部分会向各个方向发出散射光,这些光进入到密闭容器经过不同路径反射,最终被内置的微光探测器接收;不具有缺陷的部分将只发生反射,不会进入容器中被微光探测器检测到.微光探测器将光信号实时地转换为等效比例振幅的电压模拟信号,通过图像采集卡上传至工控机形成图像.采集图像中缺陷区域的灰度值与背景存在一定的区分性,呈现出缺陷灰度值大,背景灰度值小.如果缺陷尺寸越大越明显,那么检测到的散射光越强,灰度值也将越大.

2 划痕检测算法及流程

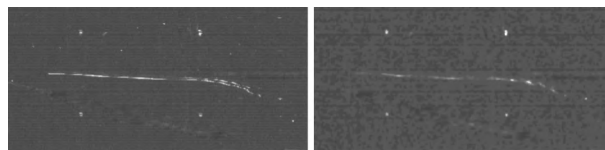
针对透明玻璃屏表面划痕缺陷的检测,采用到的图像处理方法主要包括图像平滑、图像分割、形态学处理以及特征提取.首先利用均值滤波平滑图像,采用局部动态阈值分割获取二值图像,然后计算所有相连接的区域剔除干扰部分,再利用形态学膨胀、骨架提取等形态学处理方法提取划痕缺陷.

2.1 图像平滑处理

图 2(a)为采集的透明玻璃划痕样本原图,图片中或多或少的干扰噪声.噪声在图像采集过程中很难避免,由于工作环境的变化,光源的污染,散射装置中电子器件电子随机运动等因素影响,会导致拍摄的图像出现噪声.为了保证图像后期处理的准确性、高效性,首先必须对采集的图像进行平滑处理,主要利用滤波的方法去除噪声.笔者采用中值滤波的方式平滑图像,中值滤波原理是用一个含有奇数点滑动窗口,扫描整幅图像,将窗口中间点用窗口内各点的中间值代替,其表达式为

$$G(x,y) = \text{Med}\{f(x-k,y-l) \mid (k,l) \in W\} \quad (1)$$

其中: $f(x,y)$, $g(x,y)$ 分别为原始图像和处理后图像; W 为二维模板.通常选用 3×3 , 5×5 , 7×7 尺寸模板,同时也具有不同的滤波窗口,如线状、圆形、十字形、圆环形等.针对不同的图像内容处理和应用,将采用不同的滤波窗口和尺寸,其中方形检测窗口用于处理较长轮廓特征划痕有很好的效果.经过多次试验最终选用 7×7 模板,结果如图 2(b) 所示.



(a) 划痕缺陷样本

(b) 均值滤波

图 2 图像预处理

Fig. 2 Image preprocessing

从图 2(b) 中可以发现:采用 7×7 模板对原图像进行均值滤波处理后图像更加平滑,同时也能够

有效的抑制图像中的噪声。

2.2 图像分割

图像分割是缺陷检测的关键步骤,图像分割就是为了提取出感兴趣的区域^[8],但同时包括了干扰的缺陷像素。图像分割的方法有很多,基于模糊技术、神经网络、小波技术、边缘检测、遗传算法、信息论和统计信息等等^[9]。笔者选择采用局部动态阈值分割方法,它相比其他图像分割方法,具有算法简单、计算量小、更强的适应性等优点,其分割原理为

$$g(o) \geq g(t) + T \quad (2)$$

式中: $g(o)$ 为原图的灰度值; $g(t)$ 为图像平滑后的灰度值; T 为分割的阈值。笔者通过多次试验选取 T 的值为6,该值能最大程度上保持划痕缺陷原本特征,同时滤除大部分干扰,然后用 $g(t) + T$ 的值和原图像素点的灰度值逐像素进行比较,如果灰度值满足式(2),就把这些点的灰度值设置为255,其余的灰度值设定为0。这样就可以把缺陷信息全部提取出来,并转换为二值化图像,缺陷分割结果如图3所示。

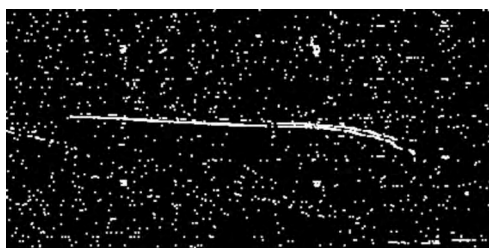


图3 图像分割

Fig. 3 Image segmentation

2.3 形态学处理

采用局部动态阈值分割可以将图像的缺陷分割出来^[10],但是还存在一些干扰点和断点。这是由动态阈值分割方法导致的,因为它只是通过比较两幅图像的灰度值信息提取划痕,而不是针对划痕这一特征进行分割提取。为了进一步获取划痕信息,笔者采用膨胀、腐蚀骨架形态学的方法。形态学是基于集合论发展起来的,这种技术已经逐步发展成为一种新的图像处理技术和理论受到研究者的重视^[9]。它把二值化的图像看成一系列离散的点,可以计算图像区域之间的相互关系,从而获取图像结构特征。在简化图像数据的同时保持它的基本形状特征,去除不相关的结构。同时,其算法具有并行性,能够提高图像处理的速度^[11]。

2.3.1 膨胀处理

在形态学看来划痕是一系列的亮点集合组成的,是一个连续的区域结构。因此计算二值化后图像所有相连区域面积,过滤单像素点和一些孤立的像素,结果如图4(a)所示。从图4(a)中可以看出:图像的单一像素干扰点已经去除了,但是提取的划痕出现截断的现象,造成这个现象的原因有两点:第一,

由于划痕特征本身的不连续,没有很明显的边界。第二,经过图像滤波、阈值处理之后会过滤掉一些划痕的信息。图像处理一条划痕被分割成数条短划痕,这样不利于产品表面缺陷判定,会给检测结果带来很大影响。采用形态学的膨胀处理可以很好解决截断的问题,利用膨胀运算填充瑕疵中出现的空洞,以保证划痕瑕疵的完整性,其表达式为

$$G_{dil,C} = \{g_f(i,j) \mid g_e(i,j) \cap C \neq \emptyset\} \quad (3)$$

其中: C 为结构元素; $g_e(i,j)$ 为图4(a)的待处理像素点集合; $g_f(i,j)$ 为膨胀处理后的结果。利用结构元素 C 作为探针,在集合 $g_e(i,j)$ 区域扫描膨胀。笔者采用半径为6像素的圆作为膨胀算子,图4为膨胀处理前后的对比结果,较处理前的图4(a)而言,图4(b)中的目标物体有明显的膨胀效果,而且截断的划痕特征被包围在区域中。

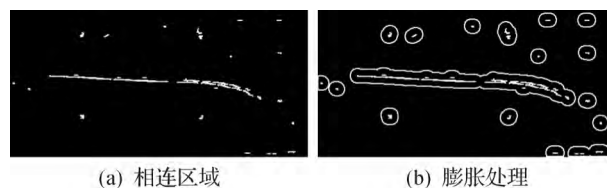


图4 形态学处理

Fig. 4 Morphological processing

2.3.2 骨架提取

膨胀实现了缺陷空洞的填充,但是为了还原缺陷形状,采用了骨架提取的方法。骨架是图像内部所有最大圆盘圆心的集合,即所有骨架子集的并^[11],骨架的表达式为

$$\text{Skel}(G_{dil,C}) = \bigcup \text{Skel}(G_{dil,C}; n) \quad (4)$$

式中: $G_{dil,C}$ 为膨胀后的图像; $\text{Skel}(G_{dil,C})$ 为膨胀后图像的骨架; $\text{Skel}(G_{dil,C}; n)$ 为半径为 nB 的最大圆盘圆心的集合。根据文献^[12],骨架子集 $\text{Skel}(G_{dil,C}; n)$ 可表示为

$$\text{Skel}(G_{dil,C}; n) = (G_{dil,C} \ominus nB) - (G_{dil,C} \ominus nB)_B \quad (5)$$

式中: B 为单位圆盘, $n \in (0, 1, 2, \dots)$; $G_{dil,C} \ominus nB$ 为 nB 对 $G_{dil,C}$ 的腐蚀; $(\cdot)_B$ 为 B 对 (\cdot) 开运算。

图5为骨架提取的结果,其轮廓位于膨胀区域的中心位置,虽然原图2(a)划痕具有边界不清晰,同时存在断裂的情况,但是运用形态学的方法可以提取其完整的轮廓。



图5 骨架提取

Fig. 5 Skeleton extraction

3 实验与结果分析

玻璃屏幕缺陷种类很多,例如气泡、划痕、异物、刀印、面花、沙边、芽缺、异物等.但不同缺陷具有不同的特征向量.因而可以通过与标准特征对比判定缺陷属于哪一种类型.通过对大量人工确定的划痕缺陷样本进行测量,选用纵横比 $\lambda(\lambda \geq$

5)、外廓圆度 $C(0 \leq C \leq 0.08)$ 、区域圆度 $R(0 \leq R \leq 0.09)$ 、面积 $S(S \geq 15)$ 像素、长度 $L(L \geq 7)$ 像素、孔洞数 $H(H = 0)$ 、面积与长度比值 $P(1 \leq P \leq 4)$ 等参数作为划痕的判据,统计结果如表1所示.从表1可以看出:大部分透明玻璃屏幕划痕特征表现为纵横比值偏大,区域圆形度、外廓圆形度较小,无闭环区域等.

表1 划痕样本特征参数

Table 1 Feature parameters of scratch sample

序号	S	L	P	λ	C	R	H
1	246	119.0	2.067	5.37	0.023	0.033	0
2	377	187.6	2.010	76.71	0.001	0.015	0
3	277	135.2	2.049	12.97	0.026	0.020	0
4	1 542	749.6	2.057	8.93	0.047	0.004	0
5	128	63.5	2.016	36.78	0.010	0.044	0
6	16	7.7	2.090	5.00	0	0.013	0
7	82	45.9	1.786	9.84	0.023	0.044	0
8	135	65.4	2.065	9.59	0.056	0.046	0
9	571	145.2	3.932	9.38	0.075	0.037	0
10	321	152.4	2.106	27.21	0.029	0.019	0
11	409	105.9	3.862	6.37	0.009	0.070	0
12	573	227.3	2.521	5.46	0.030	0.012	0
13	29	28.5	1.018	13.22	0.018	0.028	0

同时,为了验证上述划痕检测算法和判定方法的有效性,随机选取的实验样本,具有划痕缺陷玻璃屏幕100片,其他缺陷100片,合格100片,通过上述识别系统进行识别,统计识别缺陷的准确率、误检率、以及漏检率,统计数据结果如表2所示.

表2 玻璃屏幕划痕识别结果

Table 2 Recognition results of glass screen scratches

划痕		其他		合格	
数量/片	准确率/%	数量/片	误检率/%	数量/片	漏检率/%
96	96	103	3	101	1

由表2可知:对玻璃屏幕划痕检测识别率可达到96%;误检率为3%,经过分析,将3片具有划痕片子当成其他缺陷片子处理;漏检率为1%,原因是由于划痕很微小超过了本系统检测范围,将划痕当成无缺陷的片子.笔者提出的检测算法及识别方法能够达到玻璃屏幕表面划痕检测要求,具有较高的准确性.

4 结 论

透明玻璃屏幕的缺陷检测是其生产中很重要的环节,以玻璃屏幕划痕缺陷为例,对图像处理算法和检测方法进行研究,通过激光散射方法获取高质量的玻璃屏幕图像,采用均值滤波平滑图像、动态阈值分割获取二值图像,并运用形态学的方法提取划痕骨架,最终成功提取划痕缺陷;通过对大量划痕缺陷特征值进行测量与分析,确定划痕的判据,实验验证了划痕检测方法的可行性.该检测算法及识别方法

能够准确地识别划痕,具有运算量小、检测速度快和准确率高等特点,有一定的推广应用价值.

参考文献:

- [1] 余文勇,周祖德,陈幼平,等.一种浮法玻璃全面缺陷在线监测系统[J].华中科技大学学报,2007,18(10):1-4.
- [2] 张利平,张红英,吴斌.基于多边形边缘检测的视频划痕检测技术[J].电视技术,2010(1):85-87.
- [3] 王静颖.基于机器视觉的玻璃检测系统的研究[D].天津:天津大学,2013.
- [4] 武跃华.机器视觉划痕检测技术及应用研究[D].广州:广东工业大学,2011.
- [5] 王亚锋.玻璃表面缺陷在线监测系统的研发[D].洛阳:河南科技大学,2013.
- [6] 宋迪,张东波.基于机器视觉的手机隔板划痕检测研究[D].湘潭:湘潭大学,2014.
- [7] 高文,陈熙霖.计算机视觉[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [8] 蒋建东,陈培余.基于视觉的轻触开关引脚缺陷检测算法研究[J].浙江工业大学学报,2015,43(1):31-33.
- [9] CHAIRA T, RAY A K. Segmentation using fuzzy divergence[J]. Pattern recognition letters, 2003, 24(12):1837-1844.
- [10] 孟利民,包轶名.基于局部特征的图像插值算法在B/S视频监控中的运用[J].浙江工业大学学报,2015,43(2):219-221.
- [11] 肖大雪.浅析数学形态学在图像处理中的应用[J].科技广场,2013(1):10-19.
- [12] 刘晨晨,桑恩方.数学形态学图像处理算法应用研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2003.
- [13] 吕哲,王福利,刘阳.改进的形态学骨架提取算法[J].计算机工程,2009,35(19):23-25.
- [14] 周南,崔屹.数学形态学骨架化及重建[J].中国图象图形学报,1997,2(10):712-716.

(责任编辑:刘 岩)