

手机玻璃屏表面缺陷视觉检测方法研究

简川霞，高健

(广东工业大学，广州 510000)

摘要：目的 针对手机玻璃屏表面缺陷人工检测存在的准确率低、稳定性差等问题，提出一种基于机器视觉技术的手机玻璃屏表面缺陷检测方法。**方法** 采用统计平均法建立模板图像，以减少外界光照对模板图像的灰度影响。采用基于互信息的配准方法实现模板图像和待测图像的像素对齐，将配准后的待测图像与模板图像进行差分运算，获取残差图像，并采用 Niblack 方法实现残差图像上的缺陷判断。通过搭建的实验平台获取了 300 幅手机玻璃屏图像，并采用文中提出的方法、模板匹配法和人工检测法对 300 幅图像实施缺陷检测。**结果** 实验结果显示，文中方法的真正率为 92%，真负率为 96.5% 和准确率为 95%。与模板匹配法和人工检测法相比，文中方法在真正率、真负率和准确率上分别至少提高了 5%，4% 和 4.3%。**结论** 文中方法与人工检测方法相比，提高了手机玻璃屏表面缺陷检测的准确率和稳定性。

关键词：手机玻璃屏；缺陷检测；差影法；模板

中图分类号： TB487；TP391.4 **文献标识码：**A **文章编号：** 1001-3563(2018)05-0016-06

DOI： 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.004

Visual Detection Method for Surface Defect of Mobile Phone Screen Glass

JIAN Chuan-xia, GAO Jian
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a method of detecting the surface defects of the mobile phone screen glass based on the machine vision technology to solve the problems of low accuracy and poor stability in the manual detection of the surface defects of the mobile phone screen glass. The statistical average method was used to establish the template image to reduce the influence of the external illumination on the gray level of the template image. Firstly, the pixel alignment between the template image and the image to be tested was implemented by the registration method based on mutual information. Secondly, the residual image was obtained by subtracting the template image from the aligned image to be tested. Finally, the Niblack method was used to determine the defects of residual image. 300 images of mobile phone screen glass were obtained through the experimental platform established and their defects were detected by the proposed method, the template matching method and the manual method. The experimental results showed that, the proposed method achieved the true positive rate of 92%, the true negative rate of 96.5% and the accuracy of 95%. Compared with the template matching method and the manual detection method, the proposed method improved at least 5%, 4% and 4.3% in terms of true positive rate, true negative rate and accuracy respectively. The proposed method outperforms the manual detection method in terms of accuracy and stability of surface defect detection of mobile phone screen glass.

KEY WORDS: mobile phone screen glass; defect detection; image subtraction; template

包装自动化生产线在对产品进行包装前，要确保

产品具有良好的外观。基于机器视觉的产品外观质量

收稿日期：2017-11-14

基金项目：国家自然科学基金（51675106, 51605101）；广东省自然科学基金（2015A030312008, 2016A030308016）；广东省科技计划（2015B010104008）；广东省数控一代机械产品创新应用示范工程专项资金（2013B011301023）；广东工业大学青年基金（ZD2017001）

作者简介：简川霞（1979—），男，博士，广东工业大学讲师，主要研究方向为机器视觉与图像处理。

检查具有速度快、精度高、成本低、稳定性好等优点,已经广泛应用于包装自动化生产线上,如药品、酒瓶、水果、各类饮料等包装。作为手机的主要部件之一,手机玻璃屏外观直接影响了手机的质量。手机玻璃结构主要以触摸屏为主,属超薄玻璃,厚度为0.4~1.0 mm。手机玻璃屏是将原片玻璃经过高精密CNC玻璃开料机开片,然后经雕刻外形、内孔及倒角,经平磨(抛光)、硬化、超声清洗、真空镀膜、丝印、涂防指纹油、烘干、清洗、检测等一系列特殊加工工艺制造而成,任何一个工艺出现问题都会导致玻璃屏幕上出现缺陷。目前手表玻璃屏表面缺陷的检测主要依靠人工完成,准确率低、稳定性差,严重影响了手机玻璃屏包装自动化生产流程。由此,有必要研究手机玻璃屏表面缺陷机器视觉的检测方法,以提高手机玻璃屏的质量和其包装自动化的效率。

1 手机玻璃屏表面缺陷检测概述

文中所涉及的手机玻璃屏是原片经过各种加工工艺后(硬化、清洗、丝印等),可直接安装在手机的玻璃屏幕上,而非原始的白片,即未经过印刷的手机玻璃屏幕。文中的检测方法仅对手机玻璃屏幕进行检测,而不是对已经组装在手机上的玻璃屏幕进行检测。手机玻璃屏幕表面缺陷的检测精度要求较高,需要检测出大于0.05 mm的缺陷,这对人工检测来说比较困难。

1.1 缺陷种类及原因

手机玻璃屏表面缺陷主要有划伤、脏污、崩边、坑点等^[1],见图1。

1)划伤。主要是在开槽、倒边和平磨工艺中,由于磨头或者平磨设备操作不当,造成玻璃屏表面有一狭长的凹痕。

2)脏污。玻璃片在印刷时,有可能丝网漏墨不当,导致在玻璃片空白无需着墨的地方着上了一定面积的油墨。白片在丝网印刷时,空气中的灰尘颗粒落在了白片上,然后在落上灰尘颗粒的白片上印刷油墨,导致在玻璃屏白片和油墨之间夹杂着若干灰尘颗粒。

3)崩边。在开料、开槽、倒边和平磨工艺中,由于玻璃边缘受力不均,导致边缘有开裂和崩溃现象。

4)坑点。在开料、开槽、倒边和平磨工艺中,由于雕刻机头、磨头等操作不当,导致在玻璃屏表面上出现面积较小、有一定深度的凹坑。

在这些缺陷中,划伤和脏污是主要缺陷,出现概率为70%左右,崩边和坑点是次要缺陷,出现概率约为30%。

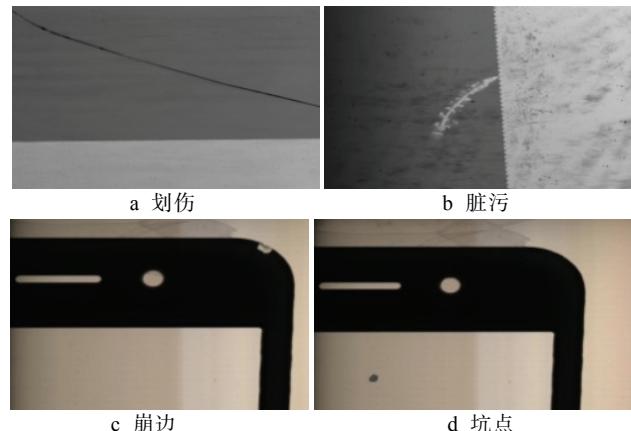


图1 手机玻璃屏表面常见缺陷
Fig.1 Common surface defects of mobile phone screen glass

1.2 研究进展

许多研究者对基于机器视觉的产品表面缺陷检测已经进行了深入的研究^[2~5],但针对手机玻璃屏表面的特点,研究其表面缺陷检测的文献还比较少。Jian等使用差影和投影联合方法来检测手机玻璃屏的表面缺陷,并提出了手机玻璃屏表面缺陷自动检测系统^[6]。Liang等提出了低分辨率图像的稀疏表达来有效快读检测手机玻璃屏表面缺陷^[7]。Li等使用主成分分析方法找到和提取手机玻璃屏表面缺陷^[8]。何志勇提出基于改进Otsu法和显著性分析表面缺陷检测方法来快速找到手机玻璃屏表面缺陷^[9]。现有的检测方法采用较为复杂的算法来实现手机玻璃屏表面缺陷检测,耗时较长。实际的手机玻璃屏工业生产需要简单、有效的方法,能够快速判断其表面是否有缺陷存在。现有的许多缺陷检测方法是针对表面有规则的周期性纹理产品,手机玻璃屏表面缺乏这种规则的周期性纹理,其表面有印刷区域和非印刷区域(空白区域),见图2,因此必须根据手机玻璃屏表面的特点提出合适的缺陷检测方法。

产品表面缺陷检测方法常使用以下2种检测方法,即背景消除法^[6]和差影法^[10]。背景消除法是采用某种方法拟合背景图像,从待测图像中将拟合背景图像减去,得到残差图像,然后根据残差图像判断是否存在缺陷。拟合背景的方法主要有独立成分分析法^[11]、奇异值分解法^[12]、曲面拟合法^[13]、稀疏字典法^[7],以及各种数学变换法^[14~17](小波变换、傅里叶变换、余弦变换等)等。这种方法主要是针对模式产品的表面缺陷检测,即图像表面有周期的图像纹理或者表面有均质的图像灰度,手机玻璃屏表面既无周期性的纹理,也无均质的图像灰度,因此不适合采用背景消除法来检测其表面缺陷。差影法采用一个无缺陷的模板图像和待测图像进行匹配,找出两者间的差异,即缺陷。差影法检测速度快、准确率高,已成为工业检测中常用的一种检测方法,因此文



图2 手机玻璃屏图像
Fig.2 Image of mobile phone screen glass

中采用差影法来检测手机玻璃屏表面缺陷。

2 手机玻璃屏图像获取平台

MPSG 图像获取实验平台见图 3。该实验平台采用北京慧摩森电子系统技术有限公司开发与研制的 SMT3-X500-Y500-Z 直线电机精密运动平台，其定位精度为 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，横梁轴为 x 轴方向（水平方向），底座轴为 y 轴方向（前后方向），垂直梁为 z 轴方向（垂直方向）。光学系统方面，采用东莞乐视自动化科技有限公司的同轴平行光源，能够清晰检测反光表面的划痕、缺口等缺陷；采用日本 TAKENAKA 系统公司的数字单色 CCD 相机 FC5200GE，分辨率为 500 万像素，以满足缺陷检测的高精度要求（检测精度为 0.05 mm ）；采用日本 Computar 工业定焦镜头，焦距为 25 mm ，满足工作距离 $200\sim300\text{ mm}$ 的要求。在手机玻璃屏图像获取实验中，玻璃屏的大小为 $130\text{ mm}\times60\text{ mm}$ 。玻璃屏放置在运动平台上，并随平台沿着 y 轴方向运动。CCD 相机随着螺杆头沿着 x 轴方向运动，以确保从玻璃屏表面反射的光恰好进入相机，同时 CCD 相机随着螺杆头沿着 z 轴方向上下移动以确保合适的工作距离。为了确保所捕获的图像质量，控制运动平台沿 y 轴方向运动的距离，每次相机仅获取一半的 MPSG 图像，即获取的图像大小为 $65\text{ mm}\times60\text{ mm}$ 。获取的图像是 8 位灰度 BMP 格式的图像，为 2500×2000 像素，像素的尺寸约为 0.0325 mm 。

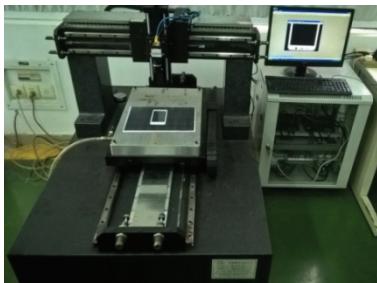


图3 MPSG 图像获取实验平台
Fig.3 Experimental platform of MPSG image acquisition

3 基于差影法的缺陷判断

差影法常用在产品表面缺陷的检测，即从待测图像

中减去无缺陷的模板图像得到残差图像，缺陷在残差图像中就可凸显出来。差影法的关键是如何构建模板图像。

3.1 模板生成

模板是决定缺陷检测准确与否的关键因素之一。目前有 2 种方法来构建模板图像^[7]：静态法选择，在检测玻璃缺陷的过程中，选择某一固定的无缺陷图像作为标准图像同缺陷图像进行差分运算，由于选择的标准图像与缺陷图像在时间上没有连续性，很容易受到不同时刻玻璃透光性、光照条件、设备运行状态的影响，给缺陷分割带来不确定性；动态法选择，即用缺陷图像的前一幅无缺陷图像作为模板图像，这种方法需要实时地对无缺陷图像进行检测、存储，因此处理速度相对较慢。考虑到 2 种方法存在的问题，文中提出采用统计平均法来确定模板图像。在同一批图像缺陷检测时，采用不同时间段的无缺陷图像的平均值作为模板图像，即：

$$\bar{g}(i,j) = \frac{\sum_{i=1}^n g(i,j)}{n} \quad (1)$$

式中： $g(i,j)$ 为对应于像素点 (i,j) 的无缺陷图像的灰度值； $\bar{g}(i,j)$ 为 n 幅无缺陷图像的平均值。统计平均法考虑了不同时段的无缺陷图像的灰度特征，减少了由于光照变化带来的图像灰度变化。

3.2 差影法

差影法是将 2 幅图像逐点像素对齐后相减，即把 2 幅图像中相似的图像背景减去。2 幅图像相同位置的背景点因为灰度值相同，相减后变成了黑点，缺陷部分因为待测图像和模板图像之间的差异，相减后灰度值不为 0。经差分后，残差图像上仅缺陷位置像素点的灰度值不为 0，其余背景部分灰度值为 0，即为黑。其数学表达式为：

$$r(i,j) = |f(i,j) - \bar{g}(i,j)| \quad (2)$$

式中： $f(i,j)$ 为对应于待测手机玻璃屏图像像素点 (i,j) 的灰度值； $r(i,j)$ 为对应于待测残差图像像素点 (i,j) 的灰度值。 $r(i,j)$ 提供了待测图像和模板图像之间的差异信息，非常适于检测缺陷目标。如果待测图像和模板图像的对应像素点没有对齐，就会出现较大的误差。通过图像获取系统获取待测图像，如果运动平台振动，手机玻璃屏会出现轻微的位移和旋转，待测图像和模板图像之间存在平移和旋转变化，属刚性变换。文中采用基于互信息的刚性图像配准方法对待测图像和模板图像进行配准^[18]，使用 Powell 搜索算法寻找最优的平移和旋转参数，以此来实现待测图像和模板图像的刚性配准。配准后，对待测图像和模板图像进行差分运算，获得残差图像。然后，使用 Niblack 方法^[19]确定残差图像的局部最佳阈值 t ，即：

$$t = \mu + k\sigma \quad (3)$$

式中: μ 为以该像素点为中心的邻域的平均灰度值, 即 $\mu = \sum_{x_i \in \Omega} x_i / n$; σ 为该邻域的标准差, 即 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$; k 为系数; Ω 为像素 x_i 的邻域, 该实验中 Ω 为 5×5 的邻域, 即 $n=25$ 。根据局部最佳阈值

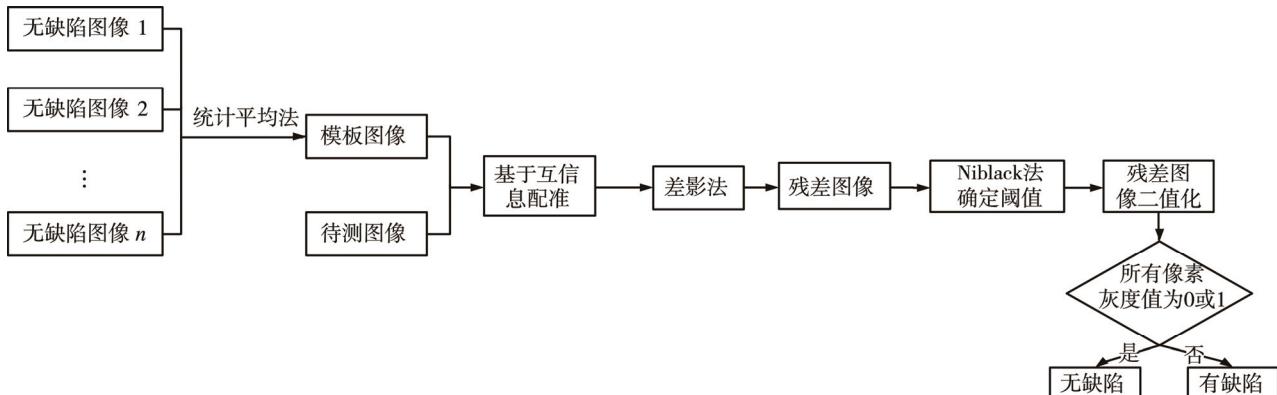


图 4 手机玻璃屏表面缺陷判断流程
Fig.4 Flowchart of surface defect detection of mobile phone screen glass

3.3 实验

3.3.1 评价方法

为了评价文中方法对手机玻璃屏表面缺陷检测的效果, 引入混合矩阵, 见表 1。

表 1 混合矩阵
Tab.1 Confusion matrix

类别	检测	
	有缺陷的图像数量	无缺陷的图像数量
实际	有缺陷的图像数量	被错误识别为无缺陷图像的缺陷图像数量(P_T)
	无缺陷的图像数量	被错误识别为缺陷图像的无缺陷图像数量(P_F)

根据表 1 的混合矩阵, 手机玻璃屏表面缺陷检测效果可由下面 3 个参数进行评价: 真正率 (P_{se})、真负率 (P_{sp}) 和准确率 (P_{ac}), 分别定义为:

$$P_{se} = \frac{P_T}{P_T + N_F} \times 100\% \quad (5)$$

$$P_{sp} = \frac{N_T}{N_T + P_F} \times 100\% \quad (6)$$

$$P_{ac} = \frac{P_T + N_T}{P_T + N_F + P_F + N_T} \times 100\% \quad (7)$$

式中: P_{se} 为缺陷图像被某方法正确识别为缺陷图像的比率; P_{sp} 为无缺陷图像被某方法识别为缺陷

t , 对残差图像进行二值化, 即:

$$\tilde{r}(i, j) = \begin{cases} 1 & r(i, j) \leq t \\ 0 & r(i, j) > t \end{cases} \quad (4)$$

然后根据二值化的残差图像进行缺陷判断, 如果图像上所有像素都是 1 或 0, 即为无缺陷的图像, 否则为有缺陷图像。缺陷判断的流程见图 4。

图像的比率; P_{ac} 为某方法识别手机玻璃屏图像表面缺陷总的准确率。一个优秀的缺陷检测方法应当获得较好的真正率、真负率和准确率。

3.3.2 结果与分析

文中实验在手机玻璃屏图像获取平台共获取了 300 张图像 (8 位灰度 bmp 格式图像, 其中无缺陷的图像 200 张, 有缺陷的图像 100 张), 图像的分辨率为每像素 0.0325 mm, 部分待测图像见图 5。为了证实文中提出的差影法的有效性, 比较了 3 种方法, 即文中提出的差影法、传统的模板匹配法^[20]、人工检测法。缺陷检测实验后得到的混合矩阵见表 2。根据表 2 中的检测结果以及式 (5—7), 可以得到真正率、真负率和准确率, 结果见表 3。

由表 3 可知, 文中提出的差影法对缺陷图像的判断准确率 (真正率) 为 92%, 对无缺陷图像的判断准确率 (真负率) 为 96.5%, 对手机玻璃屏图像表面缺陷检测总的准确率 (准确率) 为 95%。与模板匹配法相比, 文中提出的差影法在真正率、真负率和准确率上, 分别提高了 5%, 4% 和 4.3%; 与人工检测法相比, 文中提出的差影法在真正率、真负率和准确率上, 分别提高了 8%, 6.5% 和 7%。由此可见, 与其他 2 种方法相比, 文中提出的差影法取得了较好的检测效果。在表 2 中差影法有 8 幅有缺陷的图像和 7 幅无缺陷的图像被判断错误, 这可能是由于在获取手机玻璃屏图像时, 外界光照发生了变化, 导致获取的手机玻璃屏图像表面灰度发生了轻微的变化, 影响了待测图



图5 部分待测的 MPSG 图像
Fig.5 Some MPSG images to be tested

表2 不同方法检测手机玻璃屏表面缺陷获得的混合矩阵
Tab.2 Confusion matrix obtained using different methods for surface defect detection of mobile phone screen glass

类别	差影法		模板匹配法		人工检测法	
	有	无	有	无	有	无
	缺	缺	缺	缺	缺	缺
有缺陷	92	8	87	13	84	16
无缺陷	7	193	15	185	20	180

表3 不同方法检测手机玻璃屏表面缺陷获得的真正率、真负率和准确率

Tab.3 True positive rate, true negative rate and accuracy obtained using different methods for surface defect detection of mobile phone screen glass

方法	真正率/%	真负率/%	准确率/%
差影法	92	96.5	95
模板匹配法	87	92.5	90.7
人工检测法	84	90	88

像和模板图像的配准，使得在残差图像上进行缺陷判断时出现了问题。

4 结语

研究了基于机器视觉的手机玻璃屏表面缺陷的检测方法，采用差影法实现其表面缺陷判断。由检测结果得到真正率为92%、真负率为96.5%、准确率为95%，优于模板匹配法和人工检测法。该检测方法在一定程度上受到外界光照变化的影响，因此需进一步研究更完善的检测方法以适应手机玻璃屏表面缺陷检测的需要。

参考文献：

- [1] JIAN Chuan-xia, GAO Jian, AO Yin-hui. Imbalanced Defect Classification for Mobile Phone Screen Glass Using Multifractal Features and a New Sampling Method[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(22): 413—434.
- [2] CHUANG Yu-chiang, FAN Shu-kai. Automatic TFT-LCD Mura Inspection Based on Studentized Residuals in Regression Analysis[J]. Industrial Engineering and Management Systems, 2009, 8(3): 148—154.
- [3] FAN Shu-kai, CHUANG Yu-chiang. Automatic Detection of Mura Defect in TFT-LCD Based on Regression Diagnostics[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(15): 2397—2404.
- [4] 杨铁滨. 基于机器视觉的陶瓷球表面缺陷自动检测技术研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学, 2007.
YANG Tie-bin. Ceramic Bearing Ball Surface Defects Inspection Based on Computer Vision[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.
- [5] 程万胜. 钢板表面缺陷检测技术的研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学, 2008.
CHENG Wan-sheng. Study on Detection Technology for Steel Strip Surface Defects[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
- [6] JIAN Chuan-xia, GAO Jian, AO Yin-hui. Automatic Surface Defect Detection for Mobile Phone Screen Glass Based on Machine Vision[J]. Applied Soft Computing, 2017, 52: 348—358.
- [7] LIANG Lie-quan, LI Di, FU Xin, et al. Touch Screen Defect Inspection Based on Sparse Representation in Low Resolution Images[J]. Multimedia Tools and Applications, 2016, 75(5): 2655—2666.
- [8] LI Di, LIANG Lie-quan, ZHANG Wu-jie. Defect Inspection and Extraction of the Mobile Phone Cover Glass Based on the Principal Components Analysis[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(9): 1605—1614.
- [9] 何志勇. 基于改进 Otsu 法和显著性分析的表面缺陷高效视觉检测方法研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.
HE Zhi-yong. Efficient Surface Defect Detection Based on Improved Otsu Segmentation and Saliency Analysis[D]. Suzhou: Suzhou University, 2015.
- [10] KIM J. Template-Based Defect Detection of a Brazed Heat Exchanger Using an X-Ray Image[J]. Optice, 2013, 52(3): 501.
- [11] LENG Q, ZHANG H, FAN C, et al. Fabric Defect Detection Using Independent Component Analysis and Phase Congruency[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2014, 19(4): 328—334.
- [12] LU C J, TSAI D M. Defect Inspection of Patterned Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display Panels Using a Fast Sub-image-based Singular Value Decomposition[J]. International Journal of Production Research, 2004, 42(20): 4331—4351.
- [13] 张昱. 基于机器视觉的 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷检测技术研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学, 2006.
ZHANG Yu. Research on Mura Inspection Technology of TFT-LCD Based on Machine Vision[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [14] HU M, TSAI I. The Inspection of Fabric Defects by Using Wavelet Transform[J]. Journal of the Textile Institute, 2000, 91(3): 420—433.
- [15] LU R S, ZHANG T D. Surface Defect Inspection of TFT-LCD Panels Based on 1D Fourier Method[C]// Proceedings of the Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements, 2015.
- [16] CHEN L C, KUO C C. Automatic TFT-LCD Mura Defect Inspection Using Discrete Cosine Transform-based Background Filtering and 'Just Noticeable Difference' Quantification Strategies[J]. Measurement Science and Technology, 2007, 19(1): 507—516.
- [17] LIN H D, JIANG J D. Applying Discrete Cosine Transform and Grey Relational Analysis to Surface Defect Detection of LEDs[J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2007, 24(6): 458—467.
- [18] 宋培姣. 基于互信息的图像配准算法研究[D]. 天津：河北工业大学, 2011.
SONG Pei-jiao. Image Registration Algorithm Research Based on Mutual Information[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2011.
- [19] 石为人, 方莉, 陈舒涵. 基于改进 Otsu 和 Niblack 的图像二值化方法[J]. 世界科技研究与发展, 2013, 35(3): 395—398.
- [20] SHI Wei-ren, FANG Li, CHEN Shu-han. Algorithm for Image Binarization Based on Improved Otsu and Niblack[J]. World Sci-Tech R&D, 2013, 35(3): 395—398.
- 王培容, 龚卫国. 基于模板匹配的装配缺陷检测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(10): 209—210.
WANG Pei-rong, GONG Wei-guo. Research on Algorithm of Assembly Defect Detection Based on Template Matching[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(10): 209—210.