

文章编号:1007-2780(2018)03-0221-07

基于改进 Otsu 算法的 TFT-LCD 点缺陷 自动光学检测系统

郭 波^{1*}, 管菊花², 黄志开¹

(1. 南昌工程学院 江西省精密驱动与控制重点实验室, 江西 南昌 330099;

2. 江西机电职业技术学院, 江西 南昌 330013)

摘要:针对 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测时, 缺陷与背景对比度较低难以用传统阈值分割算法处理的难题, 提出一种改进的 Otsu 算法, 并构建了 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统。首先, 通过 Gabor 滤波去除了纹理背景的影响。然后, 利用威布尔函数形态参数分段取值时, 其分布函数呈现的不同分布特性, 改进了传统 Otsu 阈值提取函数。最后, 进行了离线测试试验和在线测试试验。试验表明, 改进的 Otsu 算法在点缺陷与背景对比度较低的情况下分割效果优于传统 Otsu 算法。将该算法移植到 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测硬件平台上进行在线测试, 正确检测率可达到 94%, 单个样本最短检测时间可缩短至 150 ms。降低了 TFT-LCD 人工检测点缺陷的工作量和劳动强度。

关 键 词:点缺陷检测; TFT-LCD; 改进的 Otsu 算法; 自动光学检测系统

中图分类号:TP278 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183303.0221

Automatic optical detection system for TFT-LCD spot-type defect based on improved Otsu algorithm

GUO Bo^{1*}, GUAN Ju-hua², HUANG Zhi-kai¹

(1. Jiangxi Province Key Laboratory of Precision Drive & Control,
Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China;

2. Jiangxi Institute of Mechatronic Technology, Nanchang 330014, China)

Abstract: In order to solve the problem that the traditional threshold segmentation algorithm is difficult to detect the spot-type defect from low contrast background, an improved Otsu algorithm is proposed. Based on this, a TFT-LCD spot-type defect automatic optical detection system is constructed. First, the effect of texture background is removed by Gabor filtering. Then, Using the different distribution characteristics of Weibull distribution function when the shape parameter of the Weibull function is segmented, the threshold extraction function of traditional Otsu is improved. Finally, offline test and online test are carried out. The experiment shows that the improved Otsu algorithm can

收稿日期:2017-10-15; **修订日期:**2017-12-14.

基金项目:国家自然科学基金 (No.61472173); 江西省科技厅重点研发计划 (No.20151BBE50083)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.61472173); Key Research and Development Program of Jiangxi Province of China (No.20151BBE50083)

* 通信联系人, E-mail: guobo651@126.com

produce better detection result than the traditional Otsu algorithm in the case of low contrast between defects and background. The algorithm is transplanted to the TFT-LCD spot-type defect automatic optical detection hardware platform to test. The correct detection rate can reach 94% and the detection time can be shortened to 150 ms. It reduces the workload and labor intensity of TFT-LCD manual spot-type defect detection.

Key words: spot-type defect detection; TFT-LCD; improved Otsu algorithm; automatic optical detection system

1 引言

薄膜场效应晶体管型液晶显示屏 (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD), 因其可以高速、高亮、高对比度显示屏幕信息, 被广泛应用于笔记本电脑、桌面显示器、液晶电视、移动显示终端等显示领域^[1]。但在生产过程中由于 TFT-LCD 电路短路、断路或混入杂质、气泡等会导致其在显示时出现缺陷^[2], 严重影响了 TFT-LCD 显示效果。因此, 生产企业必须在出厂前对 TFT-LCD 进行严格检测, 剔除不良品。传统的人工检测方式不仅检测效率低, 品质检测员的技能熟练程序和眼睛疲劳程度极易影响检测结果, 因此自动高效的 TFT-LCD 缺陷自动光学检测系统已成为 TFT-LCD 缺陷检测领域的发展趋势和研究热点。点缺陷和线缺陷是 TFT-LCD 缺陷中最常见的缺陷^[3]。线缺陷具有明显的水平或垂直线条特征, 较易检测; 而点缺陷与 TFT-LCD 纹理背景对比度较低时, 往往出现漏检、误检现象。

Chen 等人^[4]提出用 DCT 和 DWT 相结合的方法检测 TFT-LCD 缺陷。DWT 方法滤除纹理背景和点类缺陷效果较好, 而 DCT 方法仅适用于检测面积较大的缺陷。Tsai 等人^[5]提出使用光流法计算相邻连续图像中每一像素点的移动量, 并针对单一移动方向开发一维光流法以缩短检测时间, 提高检测效率。曾彦馨^[3]对 LCD 面板图像采用二维傅里叶转换, 删除面板规律纹路背景后提取缺陷, 但该方法易受到环境光照变化的影响。张腾达等人^[6-7]提出利用数学统计方法准确地获取一维 DFT 中空间域图像中周期 Δx 和邻域 r , 进而提取点缺陷区域。本文提出一种改进的 Otsu 算法, 并将该算法移植到 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测硬件平台上进

行了测试。

2 TFT-LCD 点缺陷自动检测系统

TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统结构图如图 1 所示, 包括 TFT-LCD 模组显示驱动设备、工业相机、镜头、工控机、机械手及控制器。工控机主要用于运行图像处理算法。TFT-LCD 模组显示驱动设备基于嵌入式架构, 驱动 TFT-LCD 模组显示典型检测画面, 使显示画面与工控机对应图像处理算法同步; 选用 Basler 2 330 × 1 750 像素工业相机和日本 Computar 50 mm 百万像素镜头, 执行机构选用 Epson 四轴 SCARA 机械手。

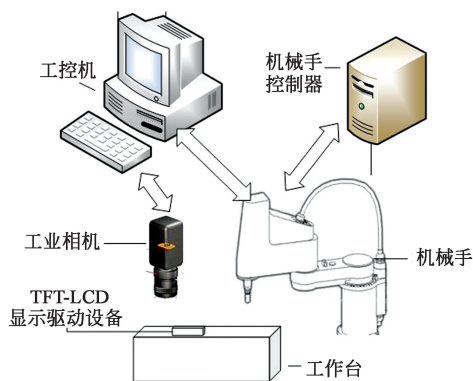


图 1 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统结构图

Fig.1 Diagram of automatic optical detection system for TFT-LCD spot-type defect

系统的检测过程为: 通过驱动显示设备驱动 TFT-LCD 屏显示典型检测画面, 同时触发工业相机对画面采集图像并将图像传送至工控机。由工控机利用提出的改进 Otsu 算法检测是否存在点缺陷, 最后判定 TFT-LCD 是否合格。由机械手完成针对点缺陷的 TFT-LCD 良品与不良品分类放置任务。

3 TFT-LCD 点缺陷图像预处理

TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统的优劣关键在于 TFT-LCD 图像处理算法的合理运用, TFT-LCD 点缺陷图像预处理主要包括选取感兴趣区域 (Region of Interest, ROI), 去除纹理背景。

3.1 ROI 选取

采集到的 TFT-LCD 图像中除了显示部分(图 2 中用绿色矩形框标识)还包含了 TFT-LCD 高亮度边框(图 2 白色矩形框)和模组部分, TFT-LCD 边框和模组部分为无效检测区域, 依据边框高亮矩形特征, 将边框和模组部分予以剔除, 仅保留显示部分的 ROI 区域(图 2 中用绿色矩形框标识)。虽然各个厂家对 TFT-LCD 的检测规范不统一, 但最小检出点缺陷的平均直径((长+宽)/2)一般要求 $0.1 \text{ mm}^{[8]}$ 。所以点缺陷在 ROI 中人眼观测不明显, 文中为了反映点缺陷的处理效果, 将包含点缺陷的小部分区域放大显示, 如图 2 右侧所示。图中点缺陷用红色圆圈标识。

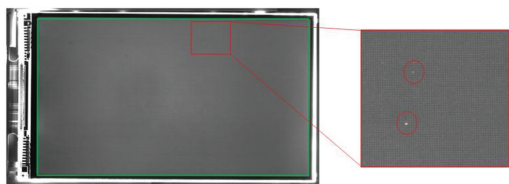


图 2 TFT-LCD 图像 ROI 选取

Fig.2 Selection ROI from TFT-LCD image

3.2 去除纹理背景

当采集 TFT-LCD 图像时, 薄膜晶体管阵列对应于 TFT-LCD 显示部分(ROI)具有周期变化的规则纹理特征, 放大显示后较明显, 如图 2 右图所示。为了减少纹理背景对后续阈值分割提取点缺陷的影响, 必须尽可能地去纹理背景。依据纹理的周期特征, 采用 Gabor 滤波去除纹理背景。Gabor 滤波实部可以作为理想的 Blob 检测器^[9-10], 仅对 Gabor 滤波实部进行计算, 其窗口函数见式(1), 其中 λ 为中心频率, (μ_x, μ_y) 为椭圆高斯方程沿 x, y 方向的标准差 $\omega_x = x \cos \theta + y \sin \theta$, $\omega_y = y \cos \theta + x \sin \theta$, θ 为旋转角度。ROI 区域处理的图像 $I(x, y)$ 与该窗函数 $G_{\text{real}}(x, y)$ 依据式(2)运算后得到去除纹理背景后的图像。

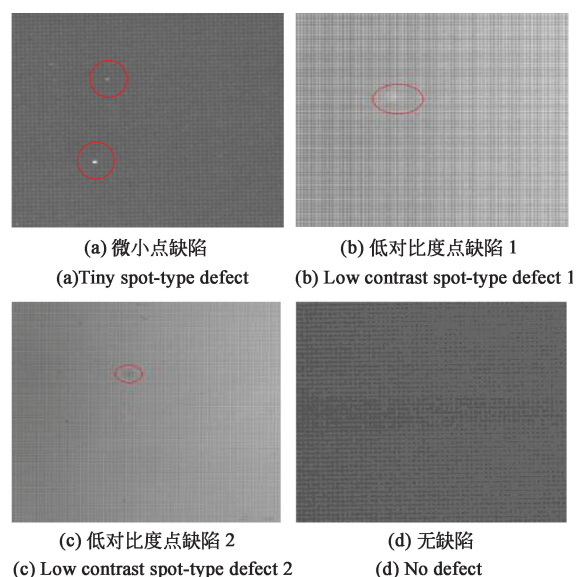


图 3 四种纹理背景图像

Fig.3 Four kinds of background images

为了获得较好的处理效果, 选取了 $0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$ 和 π 四个角度进行滤波。由于制造工艺和材料的差异, TFT-LCD 的薄膜晶体管阵列对应于图像中的纹理背景存在差异。因此, 选取了 4 种不同纹理背景的图像, 其中图 3(a)~(c)为存在点缺陷的图像, 图 3(d)为无缺陷图像。图 3(a)为微小点缺陷图像, 图 3(b)和图 3(c)为缺陷与纹理背景低对比度图像。用 Gabor 滤波去除纹理背景后的

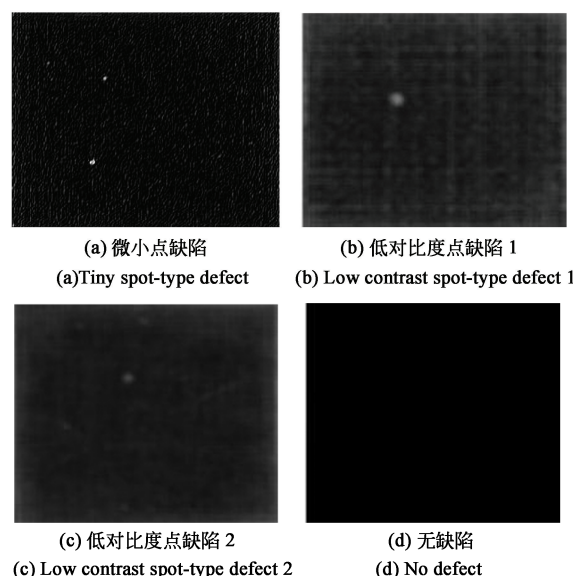


图 4 Gabor 滤波后的图像

Fig.4 Images after Gabor filtering

结果如图 4 所示。可见,纹理背景均得以有效去除,点缺陷(图中红圈标识)均未受影响。虽然图 4(b)和图 4(c)的效果欠佳,但依然大大降低了后续阈值分割点缺陷的难度。

$$G_{\text{real}}(\lambda, \mu_x, \mu_y, \theta) = \frac{1}{2\pi\mu_x\mu_y} * \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\omega_x^2}{\mu_x^2} + \frac{\omega_y^2}{\mu_y^2}\right)\right] * \cos\left[2\pi \frac{\omega_x * \cos\theta + \omega_y * \sin\theta}{\lambda}\right], \quad (1)$$

$$I = I(x, y) * G_{\text{real}}(x, y). \quad (2)$$

4 改进的 Otsu 算法

ROI 中若存在点缺陷,需分割出缺陷。Otsu 阈值分割法由于在一定条件下不受亮度变化的影响而被广泛应用于图像阈值分割^[11]。

4.1 Otsu 算法

Otsu 算法^[12]将图像分为背景与缺陷两大类。由公式(3)计算分配到背景的概率 $P_1(k)$, 其中 a_i 是灰度值为 i 的像素数。由公式(4)得到缺陷的概率 $P_2(k)$, 进而通过公式(5)和(6)计算得到背景和缺陷的平均灰度值。由式(7)计算得到整幅图像的平均灰度 P , 式(8)方差最大的 k 值即为最佳阈值, 其中 λ_1 、 λ_2 为权值系数。

$$p_1(k) = \frac{a_i}{\sum_{i=0}^{k-1} a_i}, \quad (3)$$

$$p_2(k) = 1 - p_1(k), \quad (4)$$

$$\overline{p_1(k)} = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{i * p_i}{p_1(k)}, \quad (5)$$

$$\overline{p_2(k)} = \sum_{i=k}^{L-1} \frac{i * p_i}{p_2(k)}, \quad (6)$$

$$P = p_1(k) * \overline{p_1(k)} + p_2(k) * \overline{p_2(k)}, \quad (7)$$

$$\sigma^2(k) = \lambda_1 * (P - \overline{p_1(k)}) + \lambda_2 * (P - \overline{p_2(k)}). \quad (8)$$

Otsu 分割效果如图 5 所示,图 5(a)中的两个点缺陷仅检测出一个,直径为 2 个像素小点缺陷漏检,图 5 (b)(c)因缺陷与背景对比度较低,出现误检。

4.2 Otsu 算法改进

采用威布尔函数对传统 Otsu 算法进行改进。威布尔函数见式(9),当形态参数 y 改变后,

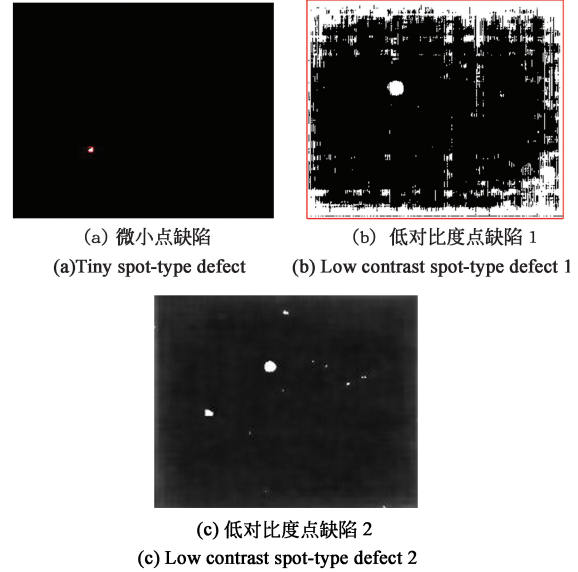


图 5 Otsu 算法分割后的图像
Fig.5 Images after Segmentation by Otsu algorithm

其分布可呈对称或不对称特性。当 $y < 1$ 时威布尔函数呈指数分布,当 $1 < y < 3$ 时,威布尔函数呈瑞利分布, $y > 3$ 时呈高斯分布^[11-13]。用该式改进缺陷与背景分离公式(8),进而替代运算量较大的指数函数,改进后的 Otsu 算法见式(10),分割阈值即为 $\mu(t)$ 的最小值,其中 ω_1 、 ω_2 为权值系数。

$$f(a, b, x, y) = \frac{y}{x} * \left(\frac{a-b}{x}\right)^{(y-1)} \exp\left[-\left(\frac{a-b}{x}\right)^y\right], \quad (9)$$

$$\mu(t) = \omega_1 * \mu_1(t) + \omega_2 * \mu_2(t), \quad (10)$$

其中:

$$\mu_1(t) = \sum_{i=0}^{k-1} \left[\left(\frac{i - \overline{p_1(k)}}{x} \right)^{y-1} * \left(\frac{i - \overline{p_1(k)}}{x} \right)^y \right] * \frac{p_1(k)}{p_1(k)},$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=k}^{L-1} \left[\left(\frac{i - \overline{p_2(k)}}{x} \right)^{y-1} * \left(\frac{i - \overline{p_2(k)}}{x} \right)^y \right] * \frac{p_2(k)}{p_2(k)}.$$

威布尔函数中形态参数 y 是改进 Otsu 算法中的关键参数,其取值对阈值分割效果影响较大。依据形态参数 y 不同值对函数形态的影响,选取了[0.5、1、2、3、5、10]进行处理。试验表明, y 取值

为 5 时分割效果最佳。改进 Otsu 算法阈值分割后如图 6 所示。图 6(a)中直径为 2 个像素点的低对比度小点缺陷被检出,未出现漏检。而图 6(b)和 6(c)中背景被进一步抑制,未出现误检。可见,改进的 Otsu 算法点缺陷分割效果明显优于传统 Otsu 算法。

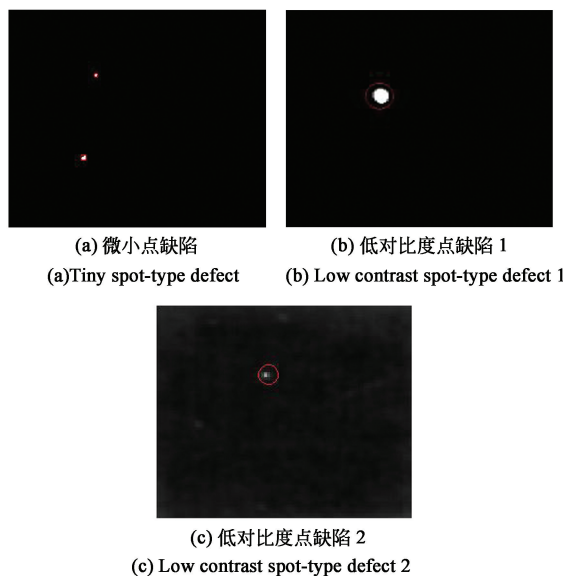


图 6 改进 Otsu 算法分割后的图像

Fig.6 Images after Segmentation by improved algorithm

5 测试试验

5.1 离线测试试验

采集了 TFT-LCD 各种纹理背景微小点缺陷(直径 $\varnothing$ 为 0.1 ~ 0.2 mm)、低对比度点缺陷和无缺陷图像各 100 幅,利用改进的 Otsu 算法进行离线图像处理,进而检测点缺陷。试验表明,检测正确率可达 85%以上,如表 1 所示。

表 1 离线缺陷检测试验结果

Tab.1 Results of off-line detection

	微小缺陷 ($\varnothing$:0.1~0.2 mm)	低对比度缺陷	无缺陷
样本数	100	100	100
误判数	8	13	9
漏判数	3	2	—
检测正确率	89%	85%	91%

但仍存在少数误判、漏判图像,典型的误判图像如图 7 所示,图 7(a)为包含点缺陷和灰尘的图像,而检测结果图 7(b)将 TFT-LCD 表面的灰尘也作为点缺陷检测出来,所以造成了误判。图 8 为典型的漏判图像,点缺陷的位于 TFT-LCD 显示部分的边缘,当选取 ROI 时,并未包含太过接近边缘的部分,从而造成了漏判。

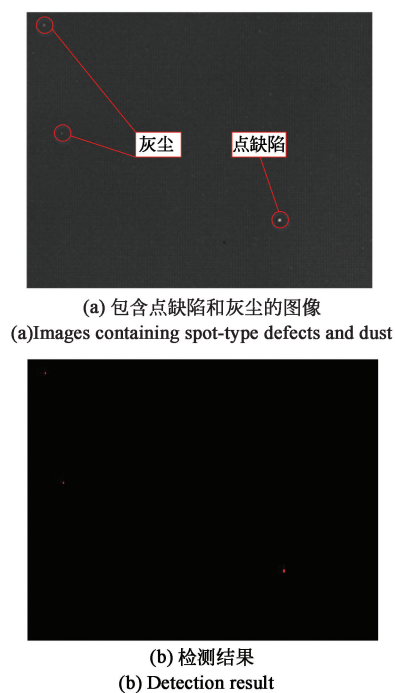


图 7 TFT-LCD 点缺陷典型误判图像

Fig.7 Typical TFT-LCD spot-type defect image of erroneous detected

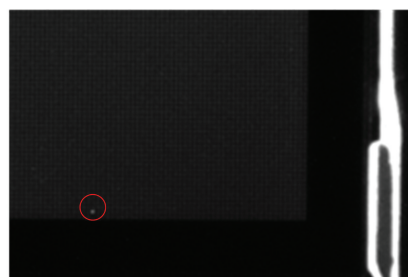


图 8 TFT-LCD 点缺陷典型漏判图像

Fig.8 Typical TFT-LCD spot-type defect image of missing detected

5.2 在线测试试验

为了减少灰尘对点缺陷检测的干扰,提高点缺陷的检测正确率,将图 1 所示的 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统置于洁净室内进行试验。

虽然洁净室内灰尘大大减少,但仍有一定的洁净等级,试验环境并非完全无尘。所以在待测 TFT-LCD 前添加了吹气清洁装置(如图 9 所示),以便于在检测缺陷前,将屏幕表面的灰尘通过瞬时强大的气流吹除。

将改进的 Otsu 算法移植硬件平台上测试。测试工位在无强光干扰的环境下进行(光照度在 50 lx 以下)。将各种纹理背景微小点缺陷、低对

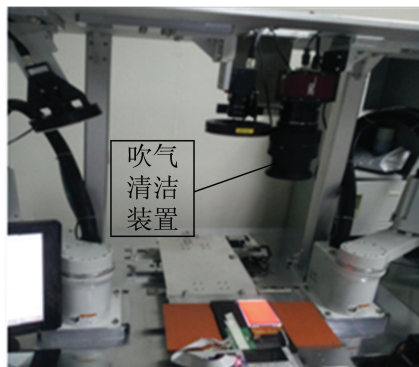


图 9 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统吹气清洁装置

Fig.9 Cleaning device for the automatic optical detection system

比度点缺陷和无缺陷 TFT-LCD 样本各 100 个,在 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统上进行在线测试。试验表明,检测正确率均可达 94% 以上,每个样本最短检测时间可缩短至 150 ms。

6 结 论

针对点缺陷与背景对比度较低时难以检测的难题,提出利用 Gabor 滤波去除纹理背景,利用威布尔函数分布特性改进 Otsu 阈值提取函数,图像处理试验表明,对于对比度较低的点缺陷检测效果明显优于传统 Otsu 算法。将该算法移植到 TFT-LCD 点缺陷自动光学检测系统上进行在线测试,点缺陷正确检测率达到 94% 以上,每个样本最短检测时间可缩短至 150 ms。

点缺陷是最为常见的 TFT-LCD 缺陷,再添加简单的线缺陷检测程序,该缺陷自动光学检测系统可作为 TFT-LCD 检测的第一道检测设备(第二道检测可通过人工检测 Mura 等缺陷),大大降低了 TFT-LCD 人工检测缺陷的工作量和劳动强度。

参 考 文 献:

- [1] 毕昕,丁汉.TFT-LCD Mura 缺陷机器视觉检测方法 [J].机械工程学报,2010,46(12):13-19.
BI X, DING H. Machine vision inspection method of Mura defect for TFT-LCD [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010, 46(12): 13-19. (in Chinese)
- [2] 李晓吉,赵彦礼,栗鹏,等.TFT-LCD 改善“斑点不良”的研究 [J].液晶与显示,2017,32(7):507-511.
LI X J, ZHAO Y L, LI P, et al. Prevention of TFT-LCDs "Spot issue" [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(7): 507-511. (in Chinese)
- [3] 曾彦馨.用独立成份分析法于薄膜电晶体液晶显示面板之制程监控与表面瑕疵检测 [D].台湾:元智大学,2013.
TSENG Y H. Independent component analysis approaches for process variation monitoring and Mura defect inspection in TFT-LCD manufacturing [D]. Taiwan: Yuan Ze University, 2013. (in Chinese)
- [4] CHEN S L, CHOU S T. TFT-LCD Mura defect detection using wavelet and cosine transforms [J]. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 2008, 2(3): 441-453.
- [5] TSAI D M, TSAI H Y. Low-contrast surface inspection of Mura defects in liquid crystal displays using optical flow-based motion analysis [J]. *Machine Vision and Applications*, 2011, 22(4): 629-649.
- [6] 张腾达,卢荣胜,党学明.TFT-LCD 表面缺陷检测中一维 DFT 方法中邻域 r 的自动选取 [J].中国机械工程,2016,27(21):2895-2901.
ZHANG T D, LU R S, DANG X M. Automatic neighbor r selection for one-dimensional DFT method in the surface defect inspection of TFT-LCD [J]. *China Mechanical Engineering*, 2016, 27(21): 2895-2901. (in Chinese)
- [7] 张腾达,卢荣胜.自动周期选取的 DFT 方法在 TFT-LCD 平板检测中的应用 [J].电子测量与仪器学报,2016,30(3):361-373.
ZHANG T D, LU R S. Automatic period selection for DFT method in the application of TFT-LCD panel detection [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2016, 30(3): 361-373. (in Chinese)

- [8] LEE J Y, KIM T W, PAHK H J. Robust defect detection method for a non-periodic TFT-LCD pad area [J]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2017, 18(8): 1093-1102.
- [9] 毕昕.面向 TFT-LCD 制程的 Mura 缺陷机器视觉检测方法研究 [D].上海:上海交通大学,2009.
BI X. Study on the methods of machine vision inspection for the Mura defect of TFT-LCD process [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese)
- [10] 陈燕芹,段锦,祝勇,等.基于纹理特征的图像复杂度研究 [J].中国光学,2015,8(3):407-414.
CHEN Y Q, DUAN J, ZHU Y, *et al.* Research on the image complexity based on texture features [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(3): 407-414. (in Chinese)
- [11] MALARVEL M, SETHUMADHAVAN G, BHAGI P C R, *et al.* An improved version of Otsu's method for segmentation of weld defects on X-radiography images [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2017, 142: 109-118.
- [12] XU X Y, XU S Z, JIN L H, *et al.* Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2011, 32(7): 956-961.
- [13] 杨名宇,李刚.利用区域信息的航拍图像分割 [J].中国光学,2014,7(5):779-785.
YANG M Y, LI G. Aerial image segmentation with region information [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(5): 779-785. (in Chinese)

作者简介:郭波(1981—),男,山东滨州人,博士,讲师,2003 年于南昌航空大学获得学士学位,2010 年于西北工业大学获得硕士学位,2016 年于华南理工大学获得博士学位,主要从事机器视觉及自动化方面的研究。E-mail: guobo651@126.com

管菊花(1982—),女,山东郯城人,硕士,讲师,2004 年于南昌航空大学获得学士学位,2008 年于南昌航空大学获得硕士学位,主要从事光学自动检测方面的研究。E-mail: dedeandbaobao@126.com