

文章编号:1007-2780(2018)06-0475-08

基于自适应局部增强的手机 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷自动检测

廖 苗*, 刘毅志, 欧阳军林, 余建勇, 肖文辉, 彭 理
(湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411100)

摘要:针对手机屏幕图像整体亮度不均以及 Mura 缺陷对比度低等特点,提出一种基于自适应局部增强的 Mura 缺陷自动在线检测方法。首先对 CCD 相机采集的手机屏幕原始图像进行感兴趣区域提取、几何校正、滤波等预处理,获取图像中的屏幕区域,然后将屏幕区域划分为多个不重叠的像素块,并根据每个像素块的灰度分布特征,采用自适应局部增强算法自动识别并定位图像中的 Mura 区域,最后考虑到 Mura 缺陷大小的不确定,提出采用多层级分块的方式对屏幕区域进行检测,提高算法鲁棒性。实验结果表明,相较现有多种屏幕缺陷自动检测算法,本文方法能更准确有效地识别手机屏幕中的 Mura 缺陷,且覆盖率和误检率分别为 91.17% 和 5.84%。

关键词:TFT-LCD 屏; Mura; 图像增强; 缺陷检测

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183306.0475

Automatic detection of Mura defect in TFT-LCD mobile screen based on adaptive local enhancement

LIAO Miao*, LIU Yi-zhi, OU YANG Jun-lin, YU Jian-yong, XIAO Wen-hui, PENG Li

(School of Computer Science and Engineering,
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411100, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of mobile screen image, such as non-uniform luminance and low contrast of Mura defect, an automatic on-line detection method for Mura defect based on adaptive local enhancement is proposed in this paper. First, for the original mobile screen image captured by CCD camera, preprocessing steps including region of interest extraction, geometric correction and filtering are applied to extract the screen region from the original image. Then, the screen region is divided into multiple non-overlapping pixel blocks, and the Mura regions in each block are recognized

收稿日期:2018-01-18; **修订日期:**2018-04-02.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61702179);湖南省自然科学基金资助项目(No.2017JJ3091, No.2016JJ2057);湖南省教育厅资助科研项目(No.17C0643, No.15C0546);湖南科技大学校级科研项目(No.E51754);中国博士后科学基金资助项目(No.2018M632994);中南大学博士后基金(No.202594).

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.61702179); Hunan Provincial Natural Science Foundation of China (No.2017JJ3091; No.2016JJ2057); Scientific Research Fund of Hunan Provincial Education Department (No.17C0643; No.15C0546); Scientific Research Fund of Hunan University of Science and Technology (No.E51754); China Postdoctoral Science Foundation funded project(No.2018M632994); Postdoctoral Foundation of Central South University (No.202594)

* 通信联系人, E-mail: liaomiaohi@163.com

and located by adaptive local enhancement according to the intensity distribution of each block. Finally, to increase the robustness of the algorithm, a multi-level partitioning scheme is proposed in this paper to detect the Mura defects with different sizes. Experimental results show that, compared to many automatic screen defect detection methods, the proposed method can detect the Mura defects from mobile screen more accurately and effectively, and the percentages of overlapping and detection error are 91.17% and 5.84%, respectively.

Key words: TFT-LCD screen; Mura; image enhancement; defect detection

1 引言

随着现代电子信息技术的发展,手机薄膜晶体管液晶显示器(Thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)屏向大尺寸、轻薄化、高分辨率方向发展。TFT-LCD 结构复杂、制造工序繁多,生产过程中不可避免会出现点、线、mura 等缺陷^[1-2]。点缺陷产生的主要原因是单个薄膜晶体管在制造过程中失效,线缺陷则多由驱动芯片与屏幕连接不良引起。点、线缺陷主要表现为亮点、暗点、色点、亮线、暗线和色线,易于观察和检测^[3]。Mura 一词来源于日语音译,意为“云团”、“云斑”。Mura 缺陷是与点、线缺陷完全不同类型的缺陷,产生原因多样,包括偏光板材料质量较差、薄膜晶体管漏电不均和背光源发光不均等,主要表现为显示屏局部亮度不均,且具有形状、大小不固定、对比度低、边缘模糊等特点,必须在暗室环境,将 TFT-LCD 屏设置为白屏模式时才能分辨^[4]。当前生产线上的 Mura 缺陷检测主要依靠人工肉眼辨别,这种方法成本高、效率低、准确性低、主观性强,检测结果严重依赖于工作人员的经验,无法满足手机 TFT-LCD 屏大批量、大尺寸、高品质的生产要求。因此,研究基于机器视觉的 Mura 缺陷在线自动检测方法对于提高手机 TFT-LCD 屏的生产效率和质量具有重要意义。

目前,已有不少学者提出了多种 TFT-LCD 缺陷自动检测方法^[5-6]。Gu 等人^[7]提出一种基于直方图分布模型的 TFT-LCD 缺陷自动检测方法,通过估计背景像素的灰度分布范围确定候选缺陷区域,然后再根据局部直方图模型从候选缺陷区域中去除噪声干扰,得到最终检测结果。随后,Gu 和 Park^[8]提出采用基于类簇特征的概率密度函数区分 TFT-LCD 缺陷与噪声,检测精度高于文献^[7]。Wang 等人^[9]运用背景重构和多通

道融合方法检测 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷,该方法没有考虑 TFT-LCD 屏图像整体亮度不均的情况。刘等人^[10]通过分析 Mura 缺陷的产生原因、分布特点,提出基于二维图像拟合和韦伯定律的 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷检测方法,该方法首先采用二维图像拟合技术对屏幕区域进行亮度校正,达到去除背景亮度不均、提高 Mura 区域对比度的目的,然后根据人眼的感知规律,运用基于韦伯定律的自动阈值获取法分割 Mura 区域,该方法对于尺寸较大的 Mura 缺陷检测效果欠佳。许等人^[11]根据手机屏幕的灰度特征,提出基于数学形态学的手机屏幕缺陷检测方法,利用顶帽变换增强图像中的缺陷区域,并采用最大类间方差法对图像进行二值化,最后运用形态学开操作去除噪声,得到最终缺陷分割结果,该方法对于尺寸较大、特征明显的缺陷检测效果较好。

针对现有方法的缺点与不足,本文提出一种新的基于自适应局部增强的手机 TFT-LCD 屏 Mura 缺陷自动检测方法,首先对 CCD 相机采集的手机屏幕图像进行预处理,提取图像中的 TFT-LCD 屏幕区域,然后针对屏幕区域整体亮度不均以及 Mura 缺陷对比度低的特点,采用分块处理的方式,根据局部灰度分布特征增强并识别图像中可能存在的 Mura 区域,为了消除块处理带来的块效应,在进行自适应局部增强时采用成对不重叠的分块操作,最后为了适应不同尺寸大小的 Mura 缺陷,提出多层级分块的检测方法,提高算法鲁棒性。

2 算法描述

2.1 预处理

对于 CCD 相机采集的手机屏幕图像,首先进行感兴趣区域(region of interest, ROI)提取、几何校正、灰度化以及滤波等预处理。图 1(a)为

CCD 相机在暗室中采集的白屏模式下的手机图像,首先采用 Otsu 算法^[12]对图像进行二值化并取最大连通域,以获取手机屏幕的 ROI 区域,如图 1(b)所示,然后提取感兴趣区域的四个顶点,如图 1(b)中灰色空心点所示,再根据顶点坐标值计算出手机屏幕的偏移角度,通过旋转操作对屏幕进行几何校正,提取如图 1(c)所示的手机屏幕图像,最后对校正后的屏幕图像进行灰度化以及中值滤波,达到去除噪声点、平滑图像的目的,最终得到如图 1(d)所示的预处理结果,图中蓝色矩形图 1 形标识区域即为待检测的 Mura 缺陷。

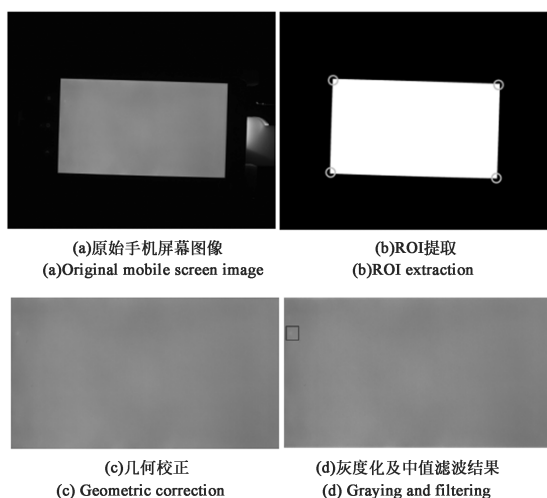


图 1 预处理
Fig.1 Preprocessing

2.2 自适应局部图像增强

从图 1 可以看出,由 CCD 相机采集的手机屏幕图像存在整体亮度不均的问题,如何在整体亮度不均的情况下,识别局部缺陷,是 Mura 检测的难点。此外,Mura 缺陷具有形状不规则、位置不固定、对比度低、边缘模糊等特点,传统分割算法难以奏效。为了解决上述问题,本文采用分块的方式对图像进行增强处理,达到突出 Mura 缺陷特征的目的。以大小为 $1\,160 \times 2\,060$ 的手机屏幕图像为例,首先将图像分成大小为 30×100 的图像子块,如图 2(a)所示,可以看到,尽管图像整体亮度不均,但进行分块处理之后,每个 30×100 的图像子块亮度基本一致。对于每个图像子块中可能存在的 Mura 缺陷,采用公式(1)进行增强:

$$f(I) = e^{k \frac{(I - I_{\min})(I_{\max} - I)}{(I_{\max} - I_{\min})^2}}, \quad (1)$$

其中: I 为图像灰度, k 为正常数,用于调节 Mura

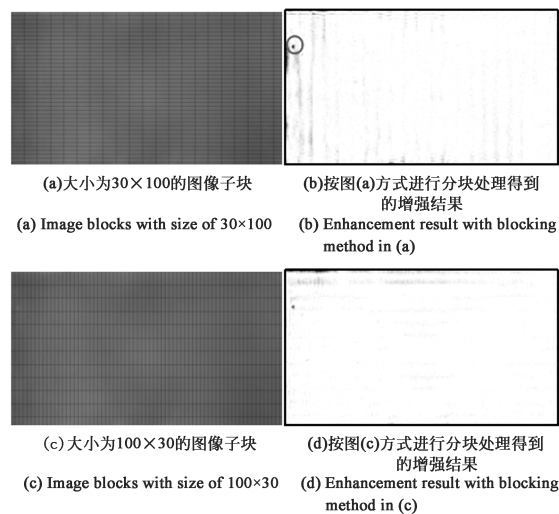


图 2 手机屏幕图像局部增强示意

Fig.2 Illustration of local enhancement of mobile screen image

缺陷与正常区域的对比度, $I_{\min}$ 和 $I_{\max}$ 为当前图像子块的最小和最大灰度估值,计算公式如下:

$$I_{\min} = \mu - 2\sigma, \quad (2)$$

$$I_{\max} = \mu + 2\sigma, \quad (3)$$

其中: μ 和 σ 分别为图像子块的灰度均值与方差,根据高斯分布的概率理论,灰度范围 $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ 包含整个子图像约 96% 的像素。手机屏幕图像中像素的灰度偏离图像均值的程度越大,由公式(1)计算得到的 $f(I)$ 值越小,表明该像素点属于 Mura 缺陷的概率越大,反之亦然。图 2(b)为采用公式(1)进行增强的结果,图中红色圆圈标记区域即为 Mura 缺陷,可以看到,该 Mura 缺陷被有效增强,此外,由于对整幅图像进行分块处理,增强后的结果将不可避免地存在一定的块效应,即在子图像边界存在伪影痕迹。为了消除块效应,在进行手机屏幕图像的局部增强时,首先对图像进行两次分块操作,且确保两次分块操作得到的子图像边界不重合,如图 2(a)和(c)所示,图 2(a)和(c)分别将图像分成 30×100 和 100×30 的若干图像子块,然后采用公式(1)分别对两种分块方式得到的图像子块进行增强,得到如图 2(b)和(d)所示的增强结果,分别定义为图像 I_1 和 I_2 ,最后取每个像素点 (x, y) 在两幅图像中的较大值作为该像素点最终的增强结果 $I(x, y)$:

$$I(x, y) = \max(I_1(x, y), I_2(x, y)). \quad (4)$$

图 3(a)和(b)分别为最终增强结果的二维和三维显示,可以看到,原本模糊的 Mura 缺陷被明显增强,同时背景区域被有效抑制,采用阈值法即可将 Mura 缺陷分割出来。

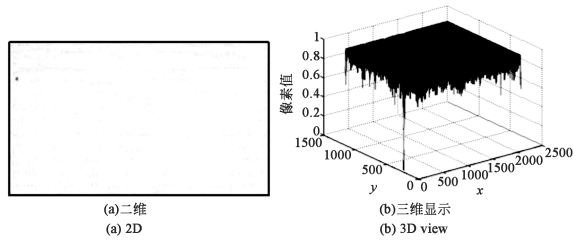


图 3 最终增强结果的

Fig.3 Final enhancement results shown in

2.3 多层次分块处理

3.2 节提出的局部图像增强方法只针对分块处理后,大小明显小于其所在子图像的 Mura 缺陷有效。当 Mura 区域面积较大、超过子图像的一半时,上述方法将失效。为了解决该问题、提高算法鲁棒性,本文采用多层次分块的方式对手机屏幕图像进行局部增强,如图 4 所示,随着层级的增加、子图像数目增加、子图像大小减小,这样就能确保尺寸较大和较小的 Mura 缺陷分别在低层级和高层级被检测出来。需注意,为了消除块效应,每一层级的分块操作均是成对出现的。图 5 为本文算法的具体流程。首先对 CCD 相机采集的手机屏幕原始图像进行预处理获取屏幕区域,然后初始化层级 $l=1$,在层级 l 上对屏幕区域进行自适应局部图像增强,并通过二值化获取该层级的 Mura 缺陷检测结果,接下来判断 l 是否满足 $l \leq L_{\max}$,如果满足,则将层级 l 加一,并重复自适应局部图像增强以及二值化操作获取该层级上的 Mura 缺陷检测结果,否则将各个层级检测出的 Mura 缺陷进行合并,即可得到最终检测结果。综合考虑检测精度和时效性,本文所有实验均取 $L_{\max}=3$ 。

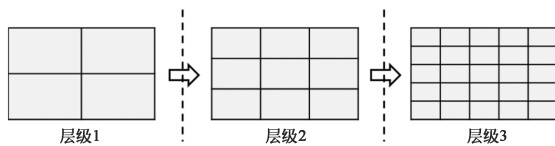


图 4 多层次分块示意

Fig.4 Illustration of multi-level blocking

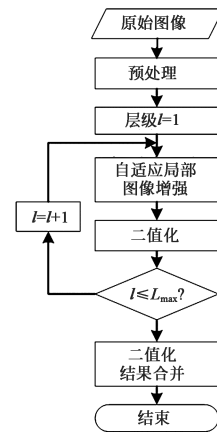


图 5 本文算法流程

Fig.5 Flowchart of the proposed method

3 实验结果与分析

实验数据集包含 40 幅由 CCD 工业相机在暗室环境中采集的白屏模式下的手机屏幕图像,每幅图像均存在不同尺寸和数目的 Mura 缺陷,图像大小均为 3360×2712 。图 6 为采用本文方法对随机挑选的几幅原始图像进行实验得到的结果,第一行为原始图像,第二行为提取的手机屏幕图像,第三行至第五行分别为采用 OTSU 算法、文献[10]和文献[11]方法得到的检测结果,最后一行为本文方法检测结果。可以看到,采用 OTSU 算法虽然能检测出 Mura 缺陷,但是由于手机屏幕存在整体亮度不均,因此,亮度较大的正常区域被大范围误检(见图 6 第三行)。文献[10]采用顶帽变换增强缺陷部分,然后利用最大类间方差法提取屏幕缺陷,从图 6 第四行所示结果可以看出,虽然 Mura 缺陷均被有效检测,但同时存在较多正常区域被误检测。文献[11]采用二维拟合方法对屏幕亮度不均进行校正,由于屏幕边界部分的灰度不均情况较为严重,二维拟合通常难以奏效,因此该方法检测结果中除 Mura 缺陷、部分边缘正常区域也被检测出来了。针对手机屏幕整体亮度不均以及 Mura 缺陷特征不明显等问题,本文提出采用多层次分块以及局部自适应增强法进行检测,从图 6 可以看出,本文方法不存在任何误检区域,检测结果明显优于 OTSU、文献[10]和[11]方法。

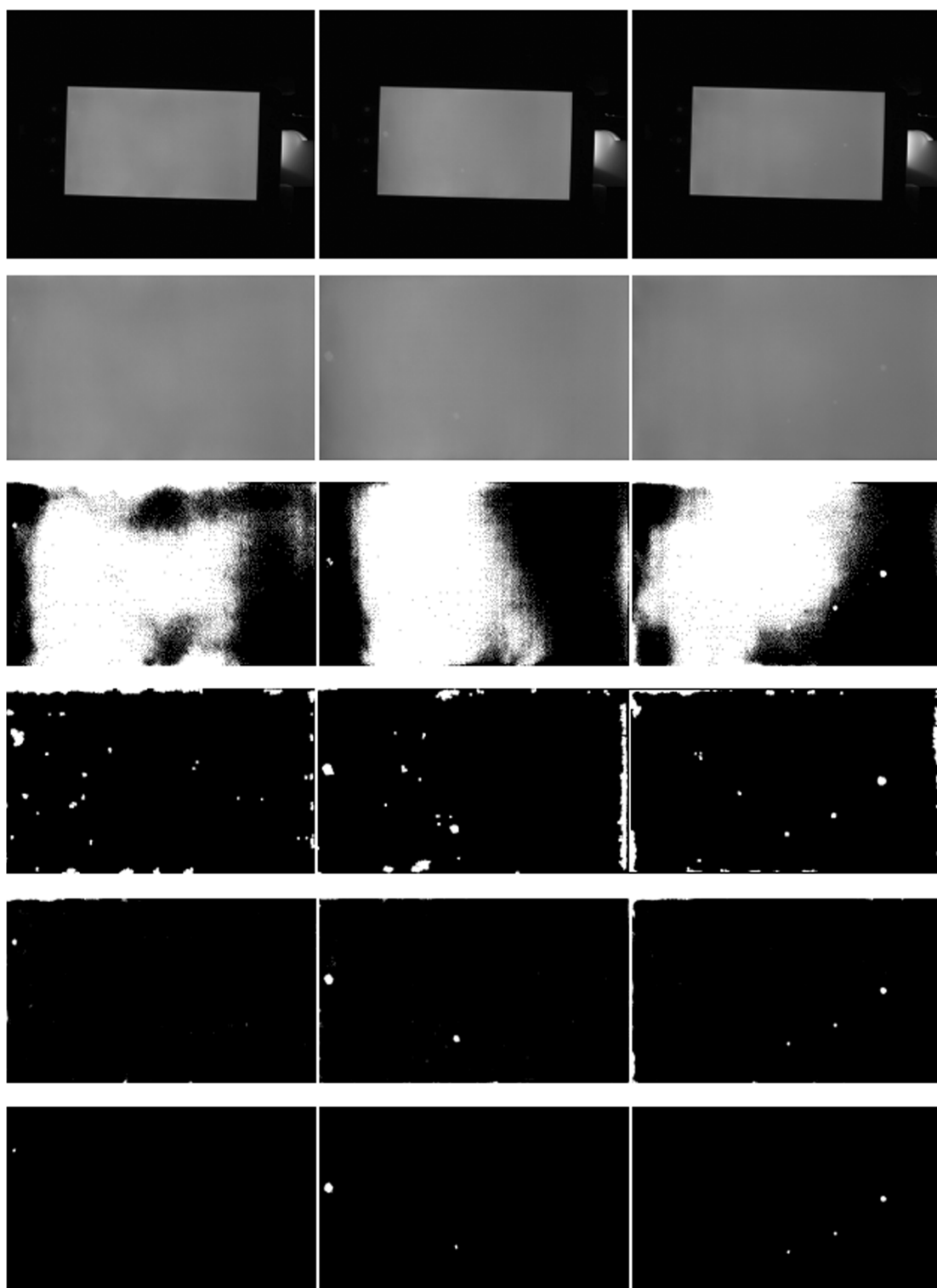


图6 实验结果. 第一行为原始图像, 第二行为手机屏幕提取结果, 第三行为 OTSU 算法结果, 第四行为文献 [10] 结果, 第五行为文献 [11] 结果, 最后一行为本文方法结果。

Fig.6 Experimental results. The first row is original images, the second row is the extraction results of mobile screen, the third row is the detection results of OTSU method, the forth row is detection results of the method in [10], the fifth row is detection results of the method in [11], and the last row is detection results of the proposed method.

为了进一步验证算法的检测性能,采用覆盖率 OL 和误检率 DE 对检测结果进行定量评价,分别定义如下:

$$OL = \frac{2 \times (R_d \cap R_t)}{(R_d \cup R_t) + (R_d \cap R_t)}, \quad (5)$$

$$DE = \frac{W_1 + W_2}{2 \times R_t}, \quad (6)$$

其中: R_d 为算法检测出的 Mura 缺陷像素数目, R_t 为真实存在的 Mura 缺陷像素数目, W_1 为将正常屏幕判定为 Mura 缺陷的像素数目(误检部分), W_2 为将 Mura 缺陷判定为正常屏幕的像素数目(漏检部分)。 OL 越大且 DE 越小表示算法检测效果越好。表 1 为图 6 所示实验结果的定量评价,可以看到,相较其他方法,本文方法均能取得较高的覆盖率 OL 值和较低的误检率 DE 值,表明本文方法能更准确的检测 Mura 缺陷且存在

较小误检区域。表 2 为不同算法对测试数据集中 40 幅图像进行检测的统计结果比较,可以看到本文方法计算得到的覆盖率 OL 和误检率 DE 的均值分别明显高于和低于其他方法,标准差主要用于评价算法的鲁棒性,可以看到,在取得较高覆盖率均值和较低误检率均值的前提下,本文方法同时还能获得较低的标准差,表明本文方法在手机屏幕 Mura 缺陷检测上具有较高的准确率和较强的鲁棒性。此外,表 2 还给出了不同算法的平均运算时间(Intel 双核 i3-3.29Ghz CPU, 4.0 Gb RAM 的 PC 机, Windows XP 环境下 Matlab 7.11 编程),对于一幅 $3\ 360 \times 2\ 712$ 的测试图像,本文算法的平均运行时间为 9.07s,明显优于文献[11]方法,虽然 Otsu 和文献[10]算法的运行时间低于本文方法,但这两种方法在检测准确性方面远远低于本文方法。

表 1 图 6 所示实验结果的定量评价

Tab.1 Quantitative evaluation of the experimental results in Fig.6

方法	图 6 第 1 列		图 6 第 2 列		图 6 第 3 列	
	$OL/\%$	$DE/\%$	$OL/\%$	$DE/\%$	$OL/\%$	$DE/\%$
Otsu	0.04	10914.50	0.36	15742.85	0.26	38054.36
文献[10]	1.02	9727.58	10.44	857.59	5.15	1840.46
文献[11]	8.53	1071.98	64.49	54.68	25.87	281.45
本文方法	86.89	7.55	89.67	6.82	96.29	3.64

表 2 不同算法对测试数据集中 40 幅图像进行检测的统计结果比较

Tab.2 Statistical result comparison of different methods for 40 images in testing database

方法	覆盖率 OL		误检率 DE		平均运行时间/s
	均值/%	标准差/%	均值/%	标准差/%	
Otsu	0.31	0.18	16458.42	12512.70	1.41
文献[10]	08.01	4.47	3547.31	4206.69	3.87
文献[11]	48.15	26.72	394.37	484.95	17.77
本文方法	91.17	4.22	5.84	2.56	9.07

4 结 论

本文提出了一种基于自适应局部增强的手机

TFT-LCD 屏 Mura 缺陷自动在线检测方法,首先对 CCD 相机采集的手机屏幕图像进行屏幕区域提取、几何校正、滤波等预处理,然后针对屏幕图像整体亮度不均,提出采用分块处理的方式进行自适应

局部增强,根据每个局部像素块的灰度分布特征,自动识别并分割其中可能存在的 Mura 区域,为了避免块操作在像素块边缘产生伪影,在进行自适应局部增强时采用成对不重叠的分块方式进行处理,此外,考虑到 Mura 缺陷出现的位置、大小不确定,采用单一固定大小对图像进行分块操作无法适应

Mura 缺陷的多样性,提出多层次分块的检测方法。通过对 40 幅 CCD 相机采集的手机 TFT-LCD 屏图像进行检测,结果表明本文方法在识别和定位 Mura 缺陷方面明显优于其他多种自动检测方法,且对于一幅 $3\,360 \times 2\,712$ 的手机屏幕图像,平均检测时间为 9.07 s,满足在线检测要求。

参 考 文 献:

- [1] 高如新,任晓朵,吴献,等.基于图像处理的手机屏幕缺陷检测系统研究[J].测控技术,2017,36(4):26-30.
GAO R X, REN X D, WU X, *et al.* Research on mobile phone screen defect detection system based on image processing [J]. *Measurement & Control Technology*, 2017, 36(4): 26-30. (in Chinese)
- [2] 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.
- [3] 刘波,李新华,钱翔,等.手机屏幕图像缺陷的实时检测[J].计算机工程与应用,2010,46(28):77-79.
LIU B, LI X H, QIAN X, *et al.* Real time detection of image defect for phone LCD screen [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(28): 77-79. (in Chinese)
- [4] FAN S K S, CHUANG Y C. Automatic detection of Mura defect in TFT-LCD based on regression diagnostics [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, 31(15): 2397-2404.
- [5] JIANG X, CAO J, AO Y H. Automatic surface defect detection for mobile phone screen glass based on machine vision [J]. *Applied Soft Computing*, 2017, 52: 348-358.
- [6] 温招洋,周亚丽,张奇志.基于 DCT 和 Otsu 的 LCD 缺陷检测算法[J].北京信息科技大学学报:自然科学版,2017,32(2):50-54.
WEN Z Y, ZHOU Y L, ZHANG Q Z. Defect detection algorithm of LCD based on DCT and Otsu [J]. *Journal of Beijing Information Science & Technology University*, 2017, 32(2): 50-54. (in Chinese)
- [7] GUE, PARK K H, LEE J H, *et al.* TFT-LCD defect detection based on histogram distribution modeling [J]. *Journal of Korea Multimedia Society*, 2015, 18(12): 1519-1527.
- [8] GU E, PARK K H. Defect Detection algorithm of TFT-LCD polarizing film using the probability density function based on cluster characteristic [J]. *Journal of Korea Multimedia Society*, 2016, 19(3): 633-641.
- [9] WANG X, DONG R, LI B. TFT-LCD Mura defect detection based on ICA and multi-channels fusion [C]//*Proceedings of 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering*. Beijing, China: IEEE, 2016: 687-691.
- [10] 许祖鑫,毕明德,孙志刚.基于数学形态学的手机屏缺陷检测算法设计[J].电气自动化,2013,35(3):99-101,105.
XU Z X, BI M D, SUN Z G. Design of defect inspection algorithm for mobile screen based on mathematical morphology [J]. *Electrical Automation*, 2013, 35(3): 99-101, 105. (in Chinese)
- [11] 刘毅,郑学仁,王亚南,等.MATLAB 在 TFT-LCD 屏显示 MURA 缺陷检测的应用[J].液晶与显示,2007,22(6):731-736.
LIU Y, ZHENG X R, WANG Y N, *et al.* Application of MATLAB in TFT-LCD's MURA defect detection [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(6): 731-736. (in Chinese)
- [12] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66.

作者简介:廖苗(1988—),女,湖南常德人,博士,讲师,主要研究方向:数字图像处理、模式识别与人工智能。E-mail:liao-

miaohi@163.com

刘毅志(1973—),男,湖南衡阳人,博士,副教授,主要研究方向:数字图像处理、多媒体内容分析。E-mail: yizhi_liu@sina.cn

欧阳军林(1977—),男,湖南湘乡人,博士,讲师,主要研究方向:数字图像取证,深度学习。E-mail: yangjunlin0732@163.com

余建勇(1975—),男,湖南醴陵人,博士,讲师,主要研究方向:机器学习、多智能系统。E-mail: yujyong@hnust.edu.cn

肖文辉(1981—),女,湖南双峰人,博士生,讲师,主要研究方向:数字图像处理。E-mail: whxiao@hnust.edu.cn

彭理(1981—),女,湖南长沙人,博士生,讲师,主要研究方向:机器学习、生物信息处理。E-mail: plpeng@hnu.edu.cn