

一种液晶模组自动光学检测系统的设计

李海霞, 张衡

引用本文:

李海霞, 张衡. 一种液晶模组自动光学检测系统的设计[J]. 液晶与显示, 2020, 35(4): 402–408.

LI Hai-xia, ZHANG Heng. Defect inspection system design based on the automated optical inspection technique for LCD module[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(4): 402–408.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203504.0402>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种LED灯串故障自检测电路的设计与实现

Design and implementation of a fault self-detection circuit for LED string

液晶与显示. 2019, 34(4): 402–409 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193404.0402>

泡棉压缩对液晶模组漏光的影响分析

Effect analysis of foam compression on the light leakage of LCD module

液晶与显示. 2017, 32(8): 601–606 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173208.0601>

背光模组复合光学膜片的应用

Application of composite optical films about backlight

液晶与显示. 2020, 35(3): 227–233 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0227>

基于自适应局部增强的手机TFT-LCD屏Mura缺陷自动检测

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

液晶与显示. 2018, 33(6): 475–482 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183306.0475>

全微结构一体化背光模组设计

Design of all-micro-structure integrated backlight module

液晶与显示. 2019, 34(10): 959–968 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193410.0959>

文章编号:1007-2780(2020)04-0402-07

一种液晶模组自动光学检测系统的设计

李海霞^{1*}, 张 衡²

(1. 兰州石化职业技术学院, 甘肃 兰州 730060;

2. 航天科工智能机器人有限责任公司, 北京 100070)

摘要:针对 7.62~20.3 cm (3~8 in) 的手机液晶模组, 以机器视觉为基础, 图像处理为核心, 并集成视觉定位系统, 实现液晶模组各种类型缺陷的全自动化检测。使用定位视觉软件, 串联定位模块和运动控制模块工作, 精确控制模组连接器位置, 实现模组金手指的自动对接, 对准精度小于 0.03 mm。使用面阵 CCD 采集液晶模组点亮后图像, 视觉检测软件提取 ROI 区域, 做 Gabor 滤波、双阈值二值化、图像去噪等预处理。采用二维直方图斜分法定位图形边缘区域进行模糊增强处理, 最后计算出缺陷属性, 缺陷检测次品识别率大于 95%。所设计的液晶模组自动光学检测系统能够降低生产成本和退货率, 简化生产线应用, 对液晶模组组装产业开发缺陷检测系统具有一定参考价值。

关键词:自动光学检测; 表面缺陷; 机器视觉; 液晶模组

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203504.0402

Defect inspection system design based on the automated optical inspection technique for LCD module

LI Hai-xia^{1*}, ZHANG Heng²

(1. Lanzhou Petrochemical College of Vocational Technology, Lanzhou 730060, China;

2. Aerospace Science and Technology Intelligent Robot Co., Ltd., Beijing 100070)

Abstract: The system is designed mainly for mobile LCD modules with a size of 7.62~20.3 cm (3~8 in) with image processing as the core based on machine vision. The visual positioning system is integrated to achieve the fully automatic detection of various types of module defects. Based on the cooperation of the positioning module and the motion control module, the positioning vision software is used to precisely control the position of the module connector and realizes the automatic docking of the connecting fingers with an alignment accuracy less than 0.03 mm. The array CCD is used to collect the images after the LCD module is lit up. The visual inspection software extracts the ROI area and performed preprocessing such as Gabor filtering, double threshold binarization and image denoising. The two-dimensional histogram oblique division method is used to locate the edge area of images for blur enhancement, and the defect properties is calculated. The defect detection has a defect recognition rate greater than 95%. The designed LCD module automatic optical inspection system can not only reduce

收稿日期: 2019-09-27; **修订日期:** 2020-03-10.

基金项目: 甘肃省高等学校创新能力提升项目 (No. 2019A-199)

Supported by Innovation Ability Improvement Project of Colleges and Universities of Gansu Province (No. 2019A-199)

* 通信联系人, E-mail: li_haixia1984@163.com

the production costs and return rates, but also simplify the production line applications, provide a certain reference value for the development of defect detection systems for the LCD module assembly industry.

Key words: automated optical inspection; surface defects; machine vision; LCD module

1 引言

液晶显示屏在手机、电脑等电子产品的图像、文本显示中得到了广泛应用。其中,液晶模组是液晶显示屏的重要元件之一,它为液晶面板提供均匀分布的光源,使其能正常显示影像。液晶模组在生产中由于原材料或者技术等原因可能产生缺陷,如划痕或者杂质等,这些缺陷会影响电子产品的使用性能。据统计,目前国内3C行业液晶显示屏缺陷检测的整体智能自动化程度较低,采用的检测方式有两种,一是人工的检测方法,受人的主观影响因素较大、检测效率较低,且对人眼的伤害较大;二是国产的液晶模组检测设备通过机器视觉对Mura的检测^[1],误检率较高,检测系统性能差,无法覆盖模组厂商所有的检测标准。对液晶模组缺陷实行自动检测,可减少人工的工作量,降低人工主观因素对检测结果的影响,提高检测效率和检测精度。自动光学检测技术(Automatic Optic Inspection, AOI)是一种自动化、性能高的表面缺陷检测方法^[2-3],在液晶显示屏等生产中得到逐步应用。在表面缺陷检测中,也有些文献做过相关研究^[4-5]。本文以自动光学检测(AOI)方式为基础,运动控制机构实现送料和出料,视觉定位系统辅助高精度XY轴滑台实现电气自动对接,2 900万像素高分辨率CCD相机对待测模组进行图像采集,图像处理软件对采集的图像进行处理分析,判断待测屏是否存在缺陷,并将测试结果在人机界面输出显示,实现液晶模组在生产过程中可能存在的各种类型缺陷的全自动化检测。

2 液晶模组自动光学检测系统设计方案

所设计的液晶模组自动光学检测系统主要包括:四工位旋转平台系统、自动电气对接系统、视觉检测系统、可编程逻辑控制器(PLC)系统、工控

机及其组件、安装底板、整体机柜等。其中,四工位旋转平台系统固定于安装底板上,旋转平台由直驱(DD)马达通过涡轮蜗杆驱动,治具安装于旋转平台上;自动电气对接系统通过安装立柱固定于安装底板上,视觉定位相机组件和XY轴滑台通过安装立柱固定于安装底板上,气缸通过安装板固定于XY轴滑台上,对接测试头安装于气缸底部,并与信号发生器相连;视觉检测系统通过安装支架固定于安装底板上,信号发生器固定于安装底板上并与工控机相连;PLC系统安装于整体机柜隔板上;工控机及其组件安装于整体机柜隔板上。图1所示为系统内部结构图。

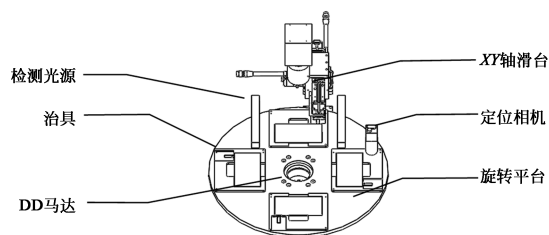


图1 系统内部结构的示意图

Fig.1 Schematic diagram of system internal structure

旋转平台由DD马达驱动,采用涡轮蜗杆实现转向变换。DD马达由PLC系统控制,加以绝对值编码器为反馈,构成闭环控制,以保证每次旋转角度为 90° ,精度达到 0.1° 。

视觉定位相机采用高分辨率CCD相机,通过调节光源强度,使采集到的图像达到最佳效果。运用视觉定位软件计算出柔性印制电路板(Flexible Printed Circuit, FPC)的位置偏差值^[6],并用于XY轴滑台的控制。XY轴滑台主要用于运动对准,实现自动电气对接。由于FPC板具有一定的柔软性以及其板上的管脚过于密集,自动电气对接对于精度的要求为误差小于 0.03 mm ,系统选用的XY轴滑台的参数为:移动量 30 mm ,分辨率Full/Half= $2\text{ }\mu\text{m}/1\text{ }\mu\text{m}$,微步 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ (1/20细分时),运动的正交度为 $15\text{ }\mu\text{m}$ 以内。单轴精度为:单轴定位 $5\text{ }\mu\text{m}$,重复定位 $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$,空转 $1\text{ }\mu\text{m}$,反冲间隙 $1\text{ }\mu\text{m}$,运动

的直线度 $3\ \mu\text{m}$ 。对接测试头安装于气缸下端,当 XY 轴按照视觉定位相机计算得出的位置偏差值运动后,气缸带着对接测试头下行,与 FPC 板对接。待检测完毕后,气缸上行,完成与 FPC 板的电气脱离。

视觉检测系统通过安装支架固定于安装底板上。信号发生单元是待检测模组点亮及切换画面通道的专用模块,根据不同的控制信号输出,点亮液晶模组的不同画面通道。视觉检测相机采用分辨率为 2 900 万像素的相机,并配以 LED 光源。当液晶模组被点亮后,视觉检测相机开始采集液晶模组点亮的图像以及点亮后切换的各个图像,运用视觉检测软件算法^[7],计算出液晶模组存在的各种缺陷。

PLC 根据系统工艺要求,按照时序控制驱动 DD 马达、XY 轴滑台、电磁阀等执行机构,同时实现与上位机的数据通讯及 I/O 通讯。PLC 与上位机的数据通讯采用 RS232 串口通讯,PLC 与上位机的 I/O 通讯通过 PCI1230 板卡及高低位信号转换板卡实现。

3 液晶模组自动光学检测工艺

为提高检测效率,采用四工位旋转平台,一个上下料工位,一个视觉定位工位,和一个检测工位,3 个工位同时工作。设备主要工艺工作流程为:

(1)人工上料,将待测模组放入治具中进行测试;

(2)PLC 控制旋转平台将待测模组送入定位工位,通知定位处理软件启动定位相机拍照,经过图像处理得到待测模组 FPC 软板金手指的上料位置坐标偏差值;

(3)PLC 控制旋转平台将待测模组送入检测工位,并根据第(2)步的坐标偏差值控制执行机构动作,实现信号发生单元与待测模组的 FPC 软板电气连接;

(4)PLC 通知检测处理软件控制信号发生单元输出使待测模组显示不同的画面通道,并启动检测相机进行拍照;将采集到的图像进行处理分析,得到需要的检测信息;

(5)点亮检测完成后,关闭信号发生单元,打开检测光源,对待测模组进行第二次检测,通过图

像处理,可以对模组屏上的灰尘等异物进行标记,以免对缺陷进行误判;

(6)检测完成后,PLC 控制器控制旋转平台将测试完成的模组送入上下料工位,人工或自动(流水线操作)更换模组,进行下一组检测。工艺流程如图 2 所示。

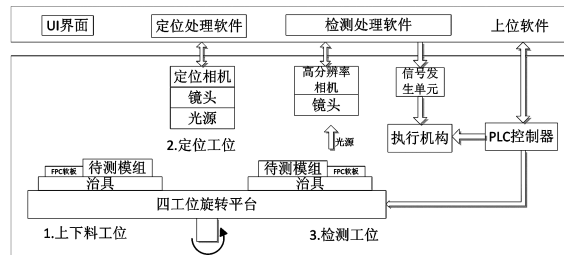


图 2 液晶显示屏缺陷检测工艺流程图

Fig.2 Flow chart of LCD defect detection process

4 液晶模组自动光学检测算法实现

缺陷检测算法是系统的核心。视觉检测软件提取图像的感兴趣区域 (Region of interests, ROI)^[8-10],然后做 Gabor 滤波^[11-12]、双阈值二值化、图像去噪、图形形态学等预处理,采用二维直方图斜分法定位图形的边缘区域并进行模糊增强处理,最后计算出面积、形状等缺陷。

4.1 图像预处理

4.1.1 提取 ROI 区域

通过轮廓追踪来提取液晶屏外部轮廓,通过最小外接矩形快速算法^[13]提取矩形 ROI,获取液晶屏 4 边的交点和矩形与待测图像 x 轴的倾斜角度,然后以待测图像中心为旋转中心,利用双线性差值旋转原图像,并剪切出检测区域。

4.1.2 实值 Gabor 滤波

Gabor 小波变换可以反映图像的整体特征及局部特征,并通过合理选择滤波参数来提高分析图像效率。在空间域,二维 Gabor 滤波实质是一个二维高斯核函数,可表示为:

$$h(x, y) = g(x, y) \exp(j2\pi(u_0x + v_0y)) \quad (1)$$

式中: u_0 和 v_0 为中心频率 f 的两个分量, $g(x, y)$ 为二维高斯函数,表示为:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x_0}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y_0}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_0 = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y_0 = -x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases}, \quad (3)$$

式中: σ_x 、 σ_y 代表二维高斯包络在 x 、 y 方向上的标准差, 决定滤波宽度。 θ 为滤波方向。

用 Gabor 滤波器的实部对纹理背景进行抑制, 不破坏目标内部灰度。设计滤波器的重点在于合理选择滤波参数, 标准偏差 (σ_x 、 σ_y)、中心频率 f 、滤波方向 θ 及滤波模板个数。

4.1.3 双阈值图像二值化

通过双阈值二值化, 将图片信息分为缺陷和非缺陷。待测图像各像素点的灰度值为 $f(x, y)$, 设高阈值 T_1 和低阈值 T_2 。大于高阈值和小于低阈值的像素置为 255, 否则置为 0。

$$f(x, y) = \begin{cases} 255, & f(x, y) > T_1 \quad \text{or} \quad f(x, y) < T_2 \\ 0, & \text{other} \end{cases}. \quad (4)$$

对于小瑕疵, 二值化处理后, 缺陷分成若干缺陷, 运用膨胀算法可解决。继续采取骨骼提取算法^[14]对瑕疵所在的区域进行处理, 进一步得到瑕疵的精确信息。

4.2 缺陷检测

采用二维直方图斜分法^[15]定位图像的边缘区域, 并进行模糊增强处理。运用顺序形态学检测边缘, 使用百分位和结构元素得到多幅边缘子图像, 对边缘子图像进行融合处理, 得到最终待测图像的边缘。

使用二维直方图斜分法定位边缘区域, 即与二维直方图 x - y 平面内主对角线平行的 4 条直线把二维直方图在 x - y 平面上的投影分割为 5 个区域。对该区域进行模糊化处理, 隶属函数如式(5)所示。

$$P_{mn} = F(X_{mn}) = \left(1 + \frac{X_{\max} - X_{mn}}{\alpha}\right)^{-\beta}, \quad (5)$$

式中: P_{mn} 为图像第 (m, n) 个像素的模糊值, X_{mn} 为图像第 (m, n) 个像素的灰度值, $X_{\max}$ 为图像最大灰度, α 和 β 为模糊因子。

模糊化处理后对边缘区域进行增强处理, 增强函数如式(6)所示, 式中 r 称为增强因子。

$$p' = \begin{cases} 0.5 - \frac{\left\{ \sin \left[\frac{\pi}{2} (1 - 2p) \right] \right\}^r}{2}, & 0 \leq p \leq 0.5 \\ \frac{\left\{ \sin \left[\frac{\pi}{2} (1 - 2p) \right] \right\}^r}{2} + 0.5 & 0.5 \leq p \leq 1 \end{cases}. \quad (6)$$

局部模糊增强处理后, 采用顺序形态变换进行边缘检测。 $f(x, y)$ 为灰度图像, 令 $X_i = (x_i, y_i)$, 结构元素 $B = \{X_1, X_2, \dots, X_4\}$ 。灰度图像 $f(x, y)$ 关于结构元素 B 的顺序形态变换 $f \oplus B$ 定义为 $f(x, y)$ 在 B_x 上的 $(k-1)p+1$ 阶顺序量, 表示为:

$$f \oplus B = \text{ord}\{(k-1)p+1; f|B_x\}, \quad (k-1)p+1=1, 2, \dots, k, \quad (7)$$

其中: $(k-1)p+1$ 为顺序形态变换的阶数, p 为顺序形态变换的百分位。

当结构元素 B 位于跳变区域时, 该区域灰度值差别大, 顺序形态变换后输入和输出有差别, 将变换输入和输出相减的差值图像反映了原图像边缘信息。并通过选择直线形结构元素 B 和百分位 p , 对局部模糊增强后的图像进行顺序形态学边缘检测得到子图像, 计算每幅子图像的信息熵和权重系数, 把边缘子图像乘以权重系数后相加, 细化后得到最终的边缘。

最后, 采用 SEMI 的量化 Mura 缺陷制定的标准, 判定缺陷的面积、数量和位置等信息。

5 模组自动光学检测实验

首先, 通过直径为 400 mm 的旋转平台将待测模组旋转至定位工位, 启动定位相机拍照, 得到模组金手指的上料误差坐标值, 旋转平台再旋转至检测工位, 由控制模块根据坐标偏差完成对接。图 3 为定位视觉软件的处理界面。

图 4 为灰尘检测画面, 检测灰尘时应在模组断电状态下, 同时打开光源检测, 当检测到灰尘数

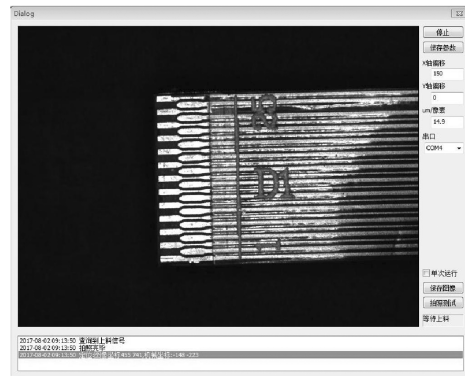


图3 定位视觉软件的处理界面

Fig.3 Processing interface of positioning vision software

量超过 20 000 个时,则无法继续进行检测。图 5 为蓝色画面下检测出来的缺陷特征,图 6 为某像素点的缺陷。图 7 为划痕缺陷。

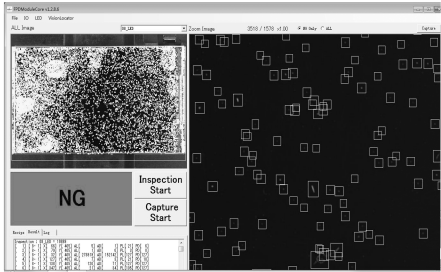


图 4 灰尘画面图像的检测结果
Fig.4 Detection results of dust image



图 5 蓝色画面图像处理的检测结果
Fig.5 Detection results of blue screen

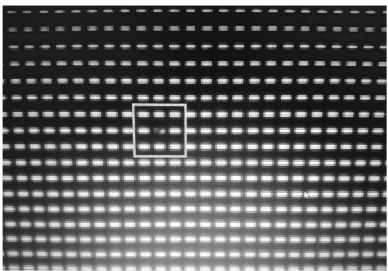


图 6 像素点缺陷
Fig.6 Pixel defect

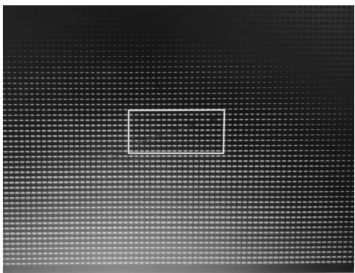


图 7 划痕缺陷
Fig.7 Scratch defect

设备在 2019 年初正式投产后 1~4 月,某品牌液晶屏缺陷检测数据,如表 1 所示。

表 1 设备生产数据

Tab.1 Equipment production data

总数量/万	Mura 缺陷	线划痕	像素缺陷	人工复检通过	准确率/%	漏检率/%	误检率/%
11.42	66	47	101	9	96.30	0.15	3.70
10.90	57	36	81	14	95.46	0.20	4.54
12.06	89	74	9	15	96.32	0.18	3.68
13.19	93	103	6	5	97.75	0.12	2.25

设备完成设计需求,正常投入使用,缺陷识别准确率 $\geq 95\%$,漏检率 $\leq 0.2\%$,误检率 $\leq 5\%$ 。能满足检测要求。设备检测其他指标如下:

(1)检测项目:均匀度、线缺陷、点缺陷、像素缺陷;斑点 Mura、颜色 Mura、斜线 Mura、云状 Mura 等各种 Mura;划痕、漏光等缺陷;

(2)检测液晶模组解析度:最大可检测 $1\,280 \times 800$ 解析度的高清(HD)屏;

(3)检测时间:16~25 s/件(依据检测画面数量)。

6 结 论

目前国内手机屏生产厂家大多仍然采用人工的检测方法,受人的主观影响因素较大且效率较低检测效率较低,且对人眼的伤害较大。国内市场上使用的液晶模组检测设备主要从日本、韩国进口居多。国外的设备性能优越,能够实现对接生产线,自动上下料,自动脱膜,自动检测且误检率低,但价格昂贵,一般至少要百万元以上。而国内的检测设备性能较差,无法覆

盖模组厂商所有的检测标准,例如通过视觉对 Mura 的检测,误检率较高。因此,国内市场对手机屏的自动检测设备需求量大,且需求紧迫。本文所设计的液晶模组检测系统能够降低生产

成本和退货率,简化生产线应用。可以扩展推广应用于平板电脑、车载显示屏、显示器等各种平板显示器的检测,具有广泛的应用领域和广阔的应用前景。

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] LU R S, SHI Y Q, LI Q, et al. AOI techniques for surface defect inspection [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2010, 36: 297-302.
- [3] 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.
- [4] 卢荣胜,吴昂,张腾达,等.自动光学(视觉)检测技术及其在缺陷检测中的应用综述[J].光学学报,2018,38(8):0815002.
LU R S, WU A, ZHANG T D, et al. Review on automated optical (visual) inspection and its applications in defect detection [J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(8): 0815002. (in Chinese)
- [5] 史艳琼,卢荣胜,张腾达.液晶显示屏背光源模组表面缺陷自动光学检测系统设计[J].传感技术学报,2015,28(5): 768-773.
SHI Y Q, LU R S, ZHANG T D. Defect inspection system design based on the automated optical inspection technique for LCD backlight modules [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2015, 28(5): 768-773. (in Chinese)
- [6] 冯培聪.嵌入式机器视觉技术在 FPC 生产设备中的研究与应用 [D].广州:华南理工大学,2011.
FENG P C. The research and application of embedded machine vision technology on FPC production equipment [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011. (in Chinese)
- [7] 钱基德,陈斌,钱基业,等.基于机器视觉的液晶屏 Mura 缺陷检测方法 [J].计算机科学,2018,45(6):296-300,313.
QIAN J D, CHEN B, QIAN J Y, et al. Machine vision based inspection method of Mura defect for LCD [J]. *Computer Science*, 2018, 45(6): 296-300, 313. (in Chinese)
- [8] 王军,何昕,魏仲慧,等.基于区域滤波的模糊星图复原方法 [J].中国光学,2019,12(2):321-331.
WANG J, HE X, WEI Z H, et al. Restoration method for blurred star images based on region filters [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(2): 321-331. (in Chinese)
- [9] 邓万涛,赵刚,张茂,等.用于高能激光系统的共孔径光学装置设计[J].中国光学,2020,13(1):165-178.
DENG W T, ZHAO G, ZHANG M, et al. Design of optical device with co-aperture for high energy laser system [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13(1): 165-178. (in Chinese)
- [10] 鄂轶文,黄媛媛,徐新龙,等.太赫兹偏振测量系统及其应用 [J].中国光学,2017,10(1):98-113.
EY W, HUANG Y Y, XU X L, et al. Polarization sensitive terahertz measurements and applications [J]. *Chinese Optics*, 2017, 10(1): 98-113.
- [11] 卢彦飞,张涛,章程.应用 log-Gabor 韦伯特征的图像质量评价 [J].光学精密工程,2015,23(11):3259-3269.
LU Y F, ZHANG T, ZHANG C. Image quality assessment using log-Gabor Weber feature. [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(11): 3259-3269.
- [12] 王晓华,孙小姣.联合 Gabor 降维特征与奇异值特征的人脸识别 [J].光学精密工程,2015,23(10):553-558.
WANG X H, SUN X J. Face recognition based on Gabor reduction dimensionality features and singular value decomposition features [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(10): 553-558.
- [13] 张法全,王国富,曾庆宁,等.利用重心原理的图像目标最小外接矩形快速算法 [J].红外与激光工程,2013,42(5): 1382-1387.

- ZHANG F Q, WANG G F, ZENG Q N, *et al.* New algorithm for minimum enclosing rectangle of the object in the image region based on center-of-gravity principle [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(5): 1382-1387. (in Chinese)
- [14] STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C. 机器视觉算法与应用 [M]. 杨少荣, 吴迪靖, 段德山, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- STEGER C, ULRICH M, WIEDEMANN C. *Machine Vision Algorithms and Applications* [M]. YANG S R, WU D J, DUAN D S, trans. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese)
- [15] 张新明, 郑延斌. 二维直方图准分的 Tsallis 熵阈值分割及其快速实现 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8): 1796-1802.
- ZHANG X M, ZHENG Y B. Precise 2-D tsallis entropy image threshold segmentation and its fast recursive realization [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011, 32(8): 1796-1802. (in Chinese)

作者简介:



李海霞(1984—),女,甘肃武威人,讲师 2010 年于北京化工大学获得硕士学位,主要从事自动控制方面的研究。E-mail:li_haixia1984@163.com