

文章编号:1007-2780(2017)07-0553-07

液晶屏线路中导电粒子压合的 自动光学检测研究

陈玉叶,肖 可,郭振雄,何俊杰,刘 畅,陈松岩*

(厦门大学 物理科学与技术学院,福建 厦门 361001)

摘要:在薄膜晶体管液晶显示器线路检测中,常通过对线路中的导电薄膜粒子的计数和定位实现其导电性的自动检测。为了解决窄边框线路中粒子密度增大带来的粒子重叠问题,提出一种采用微分干涉成像和掩模法结合 k 均值聚类的算法,在分离出粒子的亮、暗部后,结合图像熵值和粒子的凸性准确分割出粒子。讨论了聚类簇选值的影响,通过不同粒子密度、不同粒子尺寸的样本检验本文算法,并与以往的梯度结合灰度的方法进行对比。结果表明:本文算法在粒子密度较小的区域能达到 92.6% 的识别率,在粒子密度较大的区域也能达到 86% 的识别率,分别比梯度加灰度的方法提高了 9.9% 和 42.7%。解决了粒子重叠的问题,并且对光场和成像效果有更好的鲁棒性。

关 键 词:异向导电胶膜;粒子重叠; k 均值;图像熵;凸性

中图分类号:TP29 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173207.0553

Detection of conducting particles bonding in the circuit of liquid crystal display

CHEN Yu-ye, XIAO Ke, GUO Zhen-xiong,

HE Jun-jie, LIU Chang, CHEN Song-yan*

(Xiamen University, Physical Science and Tech., Xiamen 361001, China)

Abstract: By counting and locating anisotropic conductive film (ACF) particles in the circuit of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD), it can determine the circuit's conductivity. In order to solve the overlap problem caused by density increasing of particles in narrow bezel, we put forward a algorithm based on differential interference contrast (DIC) imaging, the algorithm integrates mask method and k-means clustering detection algorithm. After separating particles of bright and shadow, we can effectively segment the particles by judging the entropy of image and the convexity of particles. The value of clustering cluster is discussed, and comparing with the previous method based on gradient and gray level, we test the samples of different particle density and particle size with our proposed algorithm. It indicates that in the case of circuit with the lower particle density, the recognition rate of our method can reach 92.6%, in the area with the higher particle density, the recognition rate can also

收稿日期:2017-01-16;修订日期:2017-03-16.

基金项目:福建省高校产学研合作项目(No.2016H6026)

Supported by Programs for Industry-university Cooperation of Fujian Province, China(No. 2016H6026)

* 通信联系人, E-mail: sychen@xmu.edu.cn

reach 86%, it is higher than the recognition rate of method combined gradient and gray respectively by 9.9% and 42.7%. The proposed algorithm is also more robust to the light field and the imaging effect.

Key words: anisotropic conductive film; particle overlap; k-means; image entropy; convexity

1 引言

近年来, TFT-LCD 技术一直是液晶屏乃至整个平板显示领域的重要技术之一, 广泛用作智能手机、电视面板以及各种电脑显示屏等, TFT-LCD 器件的市场需求逐年扩大, 并且大尺寸、窄边框甚至无边框成为其发展趋势。在 TFT-LCD 生产组装过程中, COF(chip on film)、COG(chip on glass)、FOG(film on glass) 以及屏和 PCB(printed circuit board) 之间的实装连接主要采用 ACF 封装技术, ACF^[1-3] 封装技术有互连工艺简单、互连精度高、生产效率高、生产成本低、封装绿色和易微型化等一系列突出优点。

ACF 一般由导电粒子和树脂组成。在 TFT-LCD 制程中, 将 ACF 涂抹在需要连接的电极间, 通过高温和一定压力使上下电极之间 ACF 中的导电粒子压扁并固化。屏间距和电极端子间距为几十微米, 而导电粒子的粒径一般为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$, 导电粒子被压扁处的两层电极导通, 极间电流方向与总体电流方向垂直, 即为 ACF 的异向导电性, 而未压着的部分不导通。ACF 导电粒子检测在 TFT-LCD 的线路检测中是关键的一步。

在 ACF 封装工艺前会有电极异物清理的步骤, 在 ACF 封装工艺后也会进行产品外观及导电粒子压合检测。其中, 粒子压合检测是通过确定粒子的数量和位置分布来判断线路导电性是否良好, 检查时不可触摸端子部。通常采用人工视检和电学检测的方法对进行压合确认, 但是, 人工视检操作复杂、成本高、检测效率和结果都受操作人员主观影响较大, 而电学检测的方法不可避免地要接触端子, 特别是随着液晶线路的窄边化, ACF 粒子尺寸变小、分布密度变大, 人工检测和电学检测已经越来越无法满足检测要求。

自动光学检测具有非接触性、量测速度快、与检测标准一致等优点, 在液晶线路的检测领域具有广泛的应用前景。目前, 液晶线路压痕

检查机最有竞争力的主要是韩国、日本和以色列的进口设备, 国内相关研究起步较晚, 主要集中在台湾地区^[4]。液晶线路压痕检查机的核心之一就是 ACF 粒子压合的检测算法。想要通过自动光学检测的方法更好地判断 ACF 互连质量, 对导电粒子的图像处理算法提出了更高的要求。台湾逢甲大学林^[5]和黄^[6]提出基于改进的 sobel 算子和灰度法结合的算法, 将粒子图像与横、纵两个方向梯度模板算子卷积相加后通过最大类间方差法进行灰度阈值分割。在更早的模板匹配法^[7]中, 直接将粒子制成标准模板, 用于后期在样本中比对计算。sobel 梯度算法和最大类间方差灰度法结合的方法粒子识别率大有提升, 但对压合粒子成像重合的正常粒子会产生漏检。常用的目标检测分割算法, 除了上文提到的基于灰度阈值、基于边缘、基于标准模板的方法外, 还有基于区域、基于泛函、基于其他模型等其他类。具体的算法除了 sobel 算子法还有 roberts 算子、canny 算子、拉普拉斯算子等, 统称为梯度法, 除此之外, 还有形态学算法^[8]、水平集活动轮廓法^[9]等, 有时它们的结合也会产生很好的效果。

本文针对粒子压合后的图像, 结合不同粒子密度、不同粒子尺寸的样本, 利用 ACF 粒子微分干涉成像, 使粒子图像形成亮、暗两部分, 基于背景掩模法和 k-means 聚类的方法, 结合图像熵和粒子的凸性准确分割导电粒子, 得出粒子的数量和分布信息, 提高了检测的准确性。

2 检测方法

2.1 ACF 粒子的微分干涉成像

在 ACF 线路压制完成后, 由于导电粒子尺寸为微米级, 线路覆盖后就在线路表面形成微米级的小凸起, 直接用普通相机拍摄无法分辨导电粒子凸起与周围区域的灰度变化。采用微分干涉成像技术, 可以使物体表面微小起伏产生明显的浮雕效果, 提高图像对比度。本文选

用 DALSA 相机(型号 HS-80-04K40-00-R)对 TFT-LCD 车载液晶屏边框线路区域进行拍摄,得到如图 1 所示的线路图,粒子分布在各个形态多样的线路区域,导电粒子成像有明显的浮雕效果,单个粒子成像呈明显的亮暗区域,其灰度 3D 图中更加明显,暗部和亮部的灰度均呈近高斯分布状。

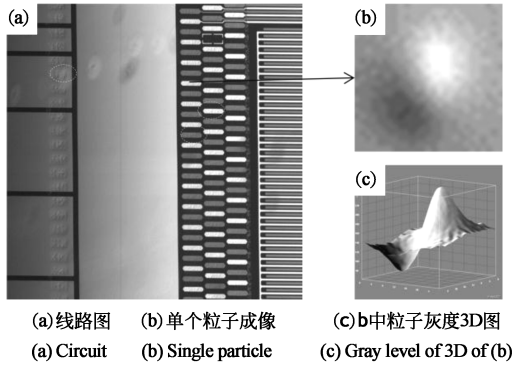


图 1 线路和单个粒子实物图

Fig.1 Circuit and single particle

2.2 基于背景掩模法和 k-means 聚类的识别算法

2.2.1 背景掩模法

去背景或者去光场常用的方法有背景拟合法和前景滤波法,背景拟合法用于背景细节少、变化单纯或者图像能很容易用函数模拟的情况,具体有基于统计学的掩模法^[10]、排序校正法,基于函数拟合的背景拟合法^[11]等。前景滤波主要以提升前景和背景间的对比度为目的,淡化背景,凸出前景,具体有灰度拉伸法、同态滤波法^[12]等。

其中,掩模法即二维视场中首先以标准样本图像输入,生成二维照度本底掩模图像,再通过简单校正得到校正图像,该方法原理简单、计算方便,应用广泛。本文直接以样本原图 $f(x, y)$ 作为输入,由于系统使用点光源,图像呈渐亮或者渐暗的亮度分布,平均亮度 L :

$$L = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y), \quad (1)$$

式中: M 、 N 分别为均值卷积窗口长宽。相减后的掩模图像即为粒子亮部:

$$f_l(x, y) = f(x, y) - L, \quad (2)$$

同样的方法用原图的取反,可以得到粒子暗部或者用公式直接计算:

$$f_b(x, y) = L - f(x, y). \quad (3)$$

图 2 为 sobel 梯度运算和去背景掩模运算对粒子区域分割的过程图,其中(a)为粒子区域样本原图,(b)为原图 sobel 梯度横、纵两个方向运算的结果,(c)为掩模法去背景后得到的粒子亮部,(d)为掩模法去背景后得到的粒子暗部,粒子亮、暗部图除了去除了背景光场,也分别去除了对应的暗部、亮部及相应灰度阶的杂质,因此背景干净、噪声少。由图中虚线区域可看出,粒子比较密集的地方进行 sobel 梯度运算后,紧挨的粒子间在梯度图上有无法区分的重叠,掩模法去背景后,粒子分成亮、暗两部分,并且有干净的背景,将粒子间距离拉大,能区分重叠的粒子,便于后期分割。

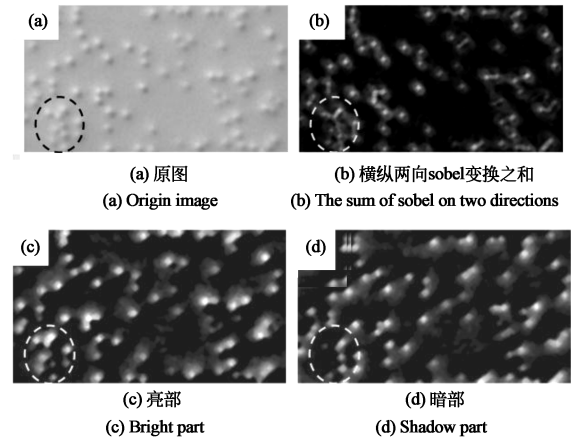


图 2 Sobel 梯度和背景掩模过程图

Fig.2 Sobel gradient and mask method process

2.2.2 k-means 聚类算法

目标识别的目的是将目标与背景及其他杂质区分开来;要识别图中的粒子,考虑到前期图像预处理进行了灰度拉伸,造成最终得到的粒子影像有灰度级单一集中的特点,并且随着粒子密度不同,灰度跨度分布也不一样,无法直接用灰度法直接分割,所以用 k-means 算法^[13]对得到的背景亮部或暗部进行灰度值聚类。

k-means 聚类是一种经典的非监督聚类,样点集 $F = \{f_i, i = 1, \dots, n\}$ 是要聚成 K 类的图像所有像素灰度集, $C = \{c_k, k = 1, \dots, K\}$ 。k-means 算法旨在找到让类间样点的经验均值平方误差最小的分割。其中, μ_k 是类别为 c_k 的均值。 μ_k 和类别为 c_k 的样点间的平方误差定义为

$$J(c_k) = \sum_{f_i \in c_k} \|f_i - \mu_k\|^2, \quad (4)$$

k-means 算法的目标就是最小化 K 个类别的平均误差之和

$$J(C) = \sum_{k=1}^K \sum_{f_i \in c_k} \|f_i - \mu_k\|^2, \quad (5)$$

算法主要步骤如下:

(1) 选取 K 类的初始聚类中心位置, 重复 2、3 步到聚类稳定为止;

(2) 计算各样点到 K 个簇各自距离, 将样点分到距离最小的一类, 得到聚类结果;

(3) 重新计算 K 个簇各自的中心。

$$H(P) = - \sum_{i=0}^{255} p(i) \ln p(i), \quad (6)$$

其中: $p(i)$ 为图像灰度统计中灰度为 i 的像素数占总像素数的概率。

按照式(6)计算并选取粒子亮、暗部图像中熵值较大的一部进行 k-means 聚类, 图像熵^[14]描述了图像信源的平均信息量, 根据图像熵值选出灰度阶层较少的图像, 如图 3 所示, 该粒子区域样本亮部熵值为 1.894, 暗部熵值为 2.106, 所以选取亮部进行后续分割, 背景干扰更小, 更易于分割。分割出粒子计数区域, 由于去背景后得到的亮部或暗部图像灰度级量分散, 如图 2 中(c)、(d)和图 3 所示, 亮、暗部图像的灰度级组成明显, 包括亮度较高的粒子顶部区域、亮度较低的背景区域和亮度介于两者之间的过渡区域和杂质区域 3 部分。但由于实际操作过程中会出现光场不均和 DIC 效果不均的情况, 不同位置的粒子灰度会不同, 也会出现粒子灰度与过渡区或者杂质灰度相近的情况, 我们采用增加聚类簇数并结合粒子的凸性的方法解决这个问题。对现有样品的聚类数定为 4 能得到最好的效果。

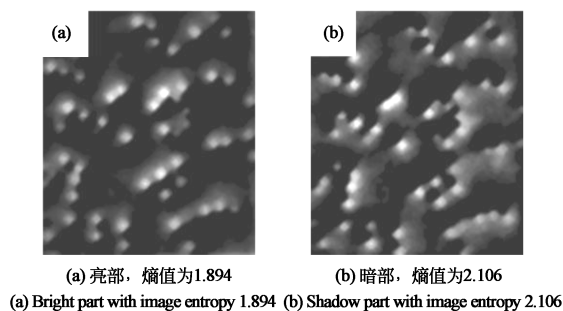


图 3 某样品粒子亮、暗部图

Fig.3 Bright part and shadow part of some particle and their image entropy

整个检测流程图如下:

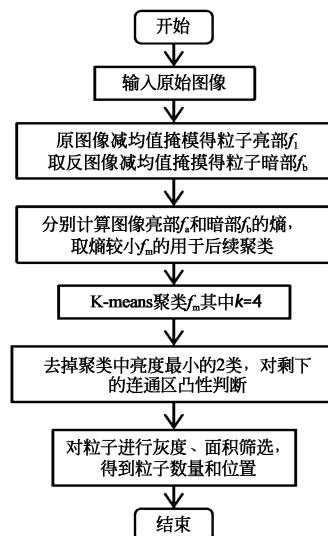


图 4 算法流程图

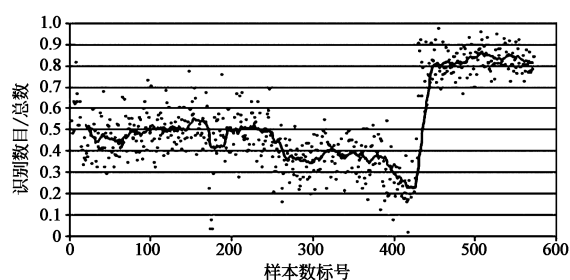
Fig.4 Flowchart of the algorithm

其中: 图像熵意义为图像的信息量, 凸性的参数计算采用原连通区域和凸包区域的面积比值衡量, 分割出粒子后可对导电粒子进行定位和计数, 结合数量阈值和偏移阈值可用于线路导电性判断。

3 试验检测结果及分析

本文方法针对液晶显示屏整个线路区域的 ACF 导电粒子压合检测, 识别 MARK 点后可直接定位到粒子区域的位置, 二值化后取最大内接矩形即为粒子区域, 整张屏线路的粒子有不同大小和不同的分布密度, 分别用梯度加灰度的算法和本文的方法检测。

图 5 为 571 个样本中不同方法粒子识别率散点图, 样本标号 1~427 的区域粒子分布密度较大, 图像上的统计结果为 30.00 颗每万平方像素、实际尺寸较小, 每颗为 3~4 μm , 记为 m 类样本; 样本标号为 428~571 的区域粒子分布密度较小, 图像上的统计结果为 4.75 颗每万平方像素、实际尺寸较大, 每颗为 6~8 μm , 记为 n 类样本。表 1 为 3 种方法分别在全类样本的粒子识别率, 在粒子分布密度较小的区域, 识别率会较高; a 的方法和本文方法对粒子密度较小的区域都有较好的识别率, 由图可知, 本文的方法不仅保持了密度较小区域的粒子识别率, 还解决了粒子密度大区域的粒子重叠问题, 使总体识别率提高。



(a) sobel 加最大类间方差灰度三峰方法粒子识别率

(a) Sobel and OTSU in three peaks method's recognition rate

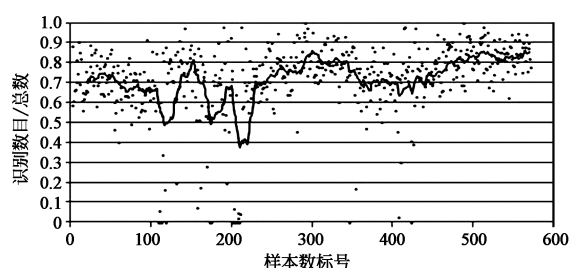
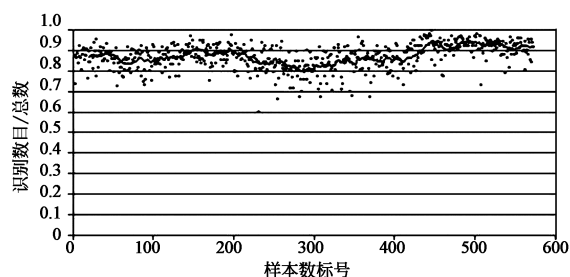
(b) 掩模法加 k-means 聚类 $k = 3$ 方法粒子识别率(b) Mask method and k -means with three clusterings method's recognition rate(c) 掩模法加 k-means 聚类 $k = 4$ 方法粒子识别率(c) Mask method and k -means with four clusterings method's recognition rate

图 5 571 个样本中不同方法粒子识别率散点图

Fig.5 Scatter plot of 571 samples' particle identification with different methods

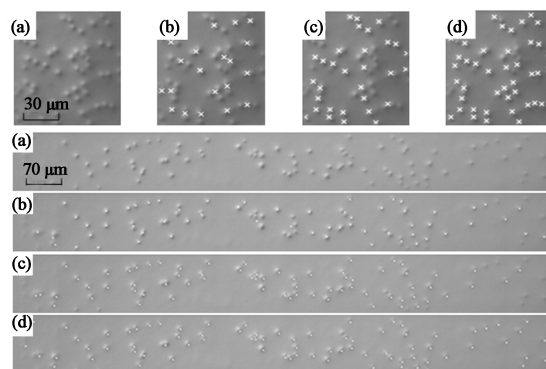
本文去背景掩模法结合 k -means 聚类簇数取 4 的方法都可以较好分辨出粒子,分辨率平均为 0.875,其中, m 类样本平均识别率为 0.858, n 类样本识别率平均为 0.926;当使用 sobel 结合最大类间灰度三峰识别法时,分辨率平均为 0.531, m 类样本和 n 类样本识别率平均分别可达到 0.431 和 0.827;当 k -means 聚类簇数取 3 时,分辨率平均为 0.719, m 类样本和 n 类样本识别率

表 1 不同方法在不同粒子尺寸不同粒子密度识别结果

Tab.1 Identification results with different methods in different particle size and particle density

图像类型 (样本标号)	sobel+最 大灰度 3 峰 识别率	背景掩模 法+k-means ($k=3$) 识别率	背景掩模 法+k-means ($k=4$) 识别率
$m(1\sim 427)$	0.431	0.688	0.858
$n(428\sim 571)$	0.827	0.812	0.926
平均值	0.531	0.719	0.875

平均分别可达到 0.688 和 0.812。图 6 分别为 m 类样本和 n 类样本 3 种方法的识别结果举例,白色十字叉为标记粒子,所有十字叉尺寸相同,第 1 行为 m 类样本原图及其识别结果,2 到 5 行为 n 类样本原图及其识别结果。

(a) 原图;(b) sobel+最大类间灰度 3 峰识别结果;(c) 掩模法+k-means($k=3$)识别结果;(d) 掩模法+k-means($k=4$)识别结果

(a) Origin image; (b) Sobel and OTSU in three peaks recognition result; (c) Mask method and k -means with three clusterings; (d) Mask method and k -means with four clusterings

图 6 两种粒子密度样本中不同方法粒子识别结果

Fig.6 Results with different methods of some particle

4 结 论

本文研究针对 TFT-LCD 中不同粒子尺寸不同粒子密度的线路中 ACF 粒子压合的检测,得到以下结论:

(1)本文中掩模法加 k -means 聚类簇数取 4 的方法在 m 类样本平均识别率为 0.858, n 类样

本识别率平均为 0.926;分别比梯度加灰度阈值的方法提高了 9.9%和 42.7%;

(2)去背景掩模法得到的亮部、暗部不仅去掉了背景和光场信息,对光照更稳定,而且去掉了超过对应的暗部、亮部及暗、亮噪声和其他干扰杂质,让背景更干净。将导电粒子分为暗部和亮部,拉伸了重叠粒子间距;

(3)包含 3 个或以上聚类簇的 k-means 对粒子亮部或者暗部分割效果可以从图像组成看出

合理性;较暗的背景、较亮粒子顶部区域和处于两者之间的重叠粒子连接区域。灰度值聚类可丢弃掉较暗的背景和处于两者之间的重叠区域,将粒子分割出来,结合粒子凸性进一步区分出粒子;

(4)随着光场和 DIC 效果不均匀性或者粒子本身压合的不均匀性的增强,加大聚类簇数即可满足检测。对现有样品,聚类簇数为 4 时达到最好效果。

参 考 文 献:

- [1] CHANG S M, JOU J H, HSIEH A, *et al.* Characteristic study of anisotropic-conductive film for chip-on-film packaging [J]. *Microelectronics Reliability*, 2001, 41(12): 2001-2009.
- [2] YIM M J, HWANG J, PAIK K W. Anisotropic conductive films (ACFs) for ultra-fine pitch chip-on-glass (COG) applications [J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2007, 27(1): 77-84.
- [3] 左建东,罗超云.组装工艺对 ACF 互连性能的影响[J].液晶与显示,2009,24(4):537-540.
ZUO J D, LUO C Y. Effect of packaging technology of ACF on interconnection property [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(4): 537-540. (in Chinese)
- [4] 游兴益.自动光学检测机在 TFT-LCD LCM 压痕检测的研究与应用[D].厦门:厦门大学,2013:1-71.
YOUX Y. The research and application of automatic optic inspection machine for TFT-LCD Module [J]. *Xiamen: Xia Men University*, 2013: 1-71. (in Chinese)
- [5] LIN C S, HUANG K H, LIN T C, *et al.* An automatic inspection method for the fracture conditions of anisotropic conductive film in the TFT-LCD assembly process [J]. *International Journal of Optomechatronics*, 2011, 5(3): 286-298.
- [6] 黄国玟,林宸生,吴国彰,等.异方性导电膜之导电粒子破裂变形状况之自动量测[J].先进工程学刊,2007,2(1): 17-19.
HUANG K H, LIN C S, WU K C, *et al.* An automatic measurement system for the fracture conditions of anisotropic conductive film [J]. *Journal of Advanced Engineering*, 2007, 2(1): 17-19. (in Chinese)
- [7] MURAMATSU S, KOBAYASHI Y. An image pattern search method based on DP matching for detecting accurate pattern positions [J]. *Systems and Computers in Japan*, 1998, 29(4): 22-32.
- [8] 王跃勇,于海业,刘媛媛.基于形态学图像检测的机械手移栽穴苗识别技术[J].光学精密工程,2016,24(3): 651-658.
WANG Y Y, YU H Y, LIU Y Y. Recognition of seedlings in mechanical transplanting processing by Morphological image detection [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(3): 651-658. (in Chinese)
- [9] LI C M, HUANG R, DING Z H, *et al.* A level set method for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities with application to MRI [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(7): 2007-2016.
- [10] 王文成,崔晓军.光照不均匀颗粒图像的校正方法[J].潍坊学院学报,2011,11(6):131-135.
WANG W C, CUI X J. Study on correction method for uneven illumination particle images [J]. *Journal of Weifang University*, 2011, 11(6): 131-135. (in Chinese)
- [11] VOVK U, PERCUS F, LIKAR B. A review of methods for correction of intensity inhomogeneity in MRI [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2007, 26(3): 405-421.
- [12] WANG W C. A Background correction method for particle image under non-uniform illumination conditions [C]// *Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPPS)*. Dalian: IEEE, 2010: V1-695-V1699.

- [13] JAIN A K. Data clustering: 50 years beyond K-means [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, 31(8): 651-666.
- [14] 朱铮涛,黎绍发,陈华平.基于图像熵的自动聚焦函数研究[J].*光学精密工程*,2004,12(5):537-542.
ZHU Z T, LI S F, CHEN H P. Research on auto-focused function based on the image entropy [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(5) 537-542. (in Chinese)

作者简介:陈玉叶(1992—),女,湖北广水人,硕士研究生,主要从事机器视觉及工业检测中图像处理应用方面的研究。

E-mail: yychen@stu.xmu.edu.cn

陈松岩(1966—),男,黑龙江省黑河人,教授,博士生导师,主要从事硅基光电材料与器件和工业视觉检测研究。Email: sychen@xmu.edu.cn