

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2019.04.010

# QFN 芯片表面划痕检测定位方法设计

张若楠<sup>1,2</sup>, 沐超<sup>1</sup>, 张固<sup>1,2</sup>, 刘小勤<sup>1</sup>

(1 中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院大气光学重点实验室 安徽 合肥 230031;

2 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026 )

**摘要:** 在工业应用中, 需要对方形扁平无引脚封装 (Quad flat no-lead package, QFN) 芯片表面划痕实时准确检测, 提出了一种快速的芯片表面划痕检测定位方法。通过图像分割算法获取缺陷图像, 结合轮廓提取算法可以较好地实现芯片表面划痕定位。同时, 为了保证对芯片表面划痕实时检测, 采用基于粒子群的 Otsu 多阈值算法进行图像分割, 不仅使得图像中缺陷区域更加明显, 而且缩短了芯片表面划痕检测时间。与直接采用 Otsu 算法相比, 芯片表面划痕检测时间由秒级缩短至毫秒级, 提高了芯片质量检测效率。该划痕快速定位检测方法对芯片检测设备软件系统开发与应用具有重要的参考价值。

**关键词:** 方形扁平无引脚封装芯片; 划痕检测; 多阈值分割; 粒子群优化算法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-6141(2019)04-0313-08

## Method of Surface Scratch Detection and Location of QFN Chip

ZHANG Ruonan<sup>1,2</sup>, MU Chao<sup>1</sup>, ZHANG Gu<sup>1,2</sup>, LIU Xiaoqin<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

2 University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** In industrial applications, it is necessary to accurately detect scratches on the surface of a quad flat no-lead package (QFN) chip in real time. A rapid chip surface scratch detection and location method was proposed. According to image segmentation algorithm, a defect image can be acquired firstly. Then by combining with the contour extraction algorithm, the chip surface scratch location can be achieved. At the same time, in order to ensure real-time detection of scratches on the chip surface, image segmentation is further completed by using the Otsu multi-threshold algorithm based on particle swarm optimization (PSO) algorithm, which not only makes the defect area in the image more obvious, but also shortens the scratch detection time on the chip surface. Compared with the direct use of the Otsu algorithm, the scratch detection

**基金项目:** Supported by Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Science(中国科学院战略性先导科技专项, XDB05040300)

**作者简介:** 张若楠 (1992 - ), 女, 陕西省渭南市人, 研究生, 主要从事计算机应用技术方向的研究。

**E-mail:** zrn@mail.ustc.edu.cn

**导师简介:** 刘小勤 (1967 - ), 女, 安徽省合肥市人, 研究员, 博士, 主要从事激光大气传输和大气光学探测方面的研究。

**E-mail:** xqliu@aiofm.ac.cn

**收稿日期:** 2018-04-13; **修改日期:** 2018-05-17

time on the chip surface is reduced from seconds to milliseconds, and the chip quality detection efficiency has been improved greatly. It is shown that the method has important reference value for the development and application of software systems for chip detection equipment.

**Key words:** quad flat no-lead package chip; scratch detection; multi-threshold segmentation; particle swarm optimization algorithm

## 1 引言

近几年,随着电子技术的提高,半导体产业在国内外取得了快速发展,各种 IC 集成芯片生产量远远满足不了市场需求量,因此 IC 芯片生产自动化、智能化成为芯片行业的重要发展方向。其中,方形扁平无引脚封装(Quad flat no-lead package, QFN)芯片<sup>[1]</sup>是 IC 芯片的常用种类之一,在其生产过程中,需要经过蚀刻、切割和焊接等一系列的加工工序。由于工序的复杂性,生产出的 QFN 芯片表面易留下各种划痕,影响芯片质量,因此对芯片表面进行划痕检测尤为重要。

随着制造业技术的快速变革,选择合适的图像处理技术应用于产品表面划痕检测也成为研究的一大热点。2014 年,宋迪等<sup>[2]</sup>针对手机配件划痕问题,提出了一种基于 Gabor 和纹理抑制的手机配件划痕检测算法。2015 年,周琳等<sup>[3]</sup>应用自适应二叉树算法实现划痕检测。2016 年, Forte 等<sup>[4]</sup>在明场与暗场照明条件下,通过图像增强算法结合模板匹配的方法实现对镜面划痕的检测。2017 年,吴珊等<sup>[5]</sup>给出了一种基于引导滤波算法的卡片划痕检测方法,提高了检测的准确率,该方法在去除噪声的同时保留了任意角度的划痕纹理细节。

QFN 芯片由塑封区域、引脚与散热焊盘三部分组成,由于引脚与散热焊盘表面涂有焊锡,属于同一灰度范围,因此将引脚与散热焊盘统称为引脚区域。根据芯片塑封区域与表面划痕以及引脚区域灰度值的差异特性,本文将基于粒子群的多阈值分割算法<sup>[6]</sup>应用于芯片划痕检测定位。该算法可以实现实时检测芯片表面划痕缺陷。与传统 Otsu 算法结果对比:该方法能够快速实现划痕检测定位,较好地应用于实际工业生产中芯片的检测。

## 2 基本原理

在图像处理中,基于阈值的典型分割算法是 Otsu 算法,其通过计算最大类间方差值来确定图像分割阈值。直接采用 Otsu 算法,程序时间复杂度较大,因此,需要使用智能优化算法降低复杂度。一般智能优化算法包括遗传算法、退火算法、粒子群算法等。其中,粒子群算法以其易实现、收敛快等特点被应用于众多领域。

### 2.1 Otsu 算法

Otsu 算法的全称为最大类间方差法,它由日本学者大津(Otsu)于 1979 年提出,所以又称大津法。该方法根据图像灰度值特性,自适应地求取实现图像分割所用到的单阈值<sup>[7-8]</sup>。一般情况下,运用 Otsu 算法计算出的单一阈值仅可将图像划分为前景和背景两大部分,然而在实际应用中,可能需要将预处理图像分割成三大部分,甚至分成更多的部分。在视觉系统检测芯片表面划痕中,由于划痕的面积相对较小,且在整个芯片图像的灰度直方图中划痕所占灰度比例很小,因此采用单阈值分割图像,仅可以将芯片图像划分为塑封区域和引脚区域。图 1 为图像分割结果,其中,图 1(a)为 QFN 芯片原始图像,图 1(b)为基于 Otsu 算法单阈值分割图像,图 1(c)为原始图像灰度直方图。

图 1 表明,在整个灰度图像中,由于图像灰度分布主要由塑封区域和引脚区域的灰度组成,而划痕区

域的面积、灰度所占比例较小, 使用 Otsu 算法所获得的单阈值进行图像分割, 不能够区分出芯片图像中的划痕区域, 因此, 文章采用多阈值 Otsu 算法实现图像划分。

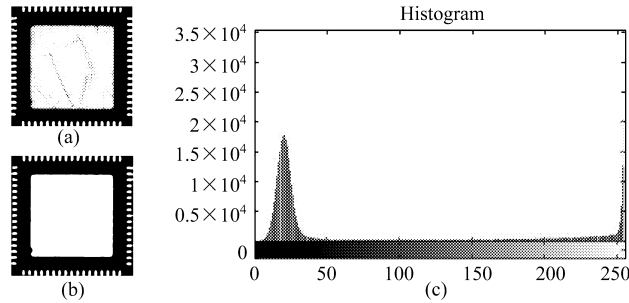


图 1 图像分割结果。(a) QFN 芯片原始图像; (b) 单阈值分割图像; (c) 原始图像灰度直方图  
Fig.1 Split image results.(a) QFN chip original image; (b) signal threshold image segmentation;  
(c) original image gray histogram

### 2.2 粒子群算法

粒子群算法 (Particle swarm optimization, PSO) 是一种模拟大自然中某种生物习性的规律而提出的算法<sup>[9]</sup>。通过长期进行鸟群迁徙和觅食行为观察, 发现了鸟群令人震惊的行为方式。研究者们对鸟群行为进行模拟, 并将其应用到问题的求解中。该方法属于群体实现智能寻优的进化算法, 在进行鸟类行为初始化 (粒子初始化) 时, 随机获得某些粒子组成一个粒子群。与其他进化算法相比较, 其收敛速度快、精度高, 被广泛应用于寻找最优解。图 2 所示为 PSO 算法流程。

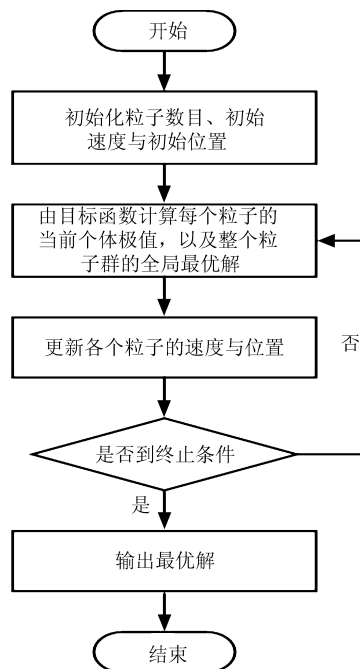


图 2 粒子群优化算法流程图  
Fig.2 PSO design process

### 3 划痕检测算法

#### 3.1 多阈值 Otsu 算法分割图像

采用扩展的多阈值 Otsu 算法计算多阈值<sup>[10]</sup>进行图像分割, 图 3 为待分割的原始图像。

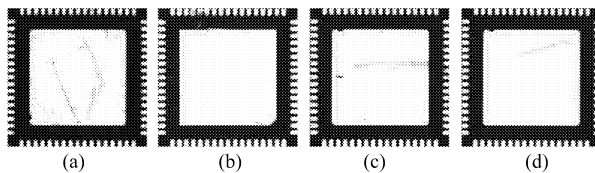


图 3 原始图像。(a) 图像 1; (b) 图像 2; (c) 图像 3; (d) 图像 4

Fig.3 Original image. (a) Image 1; (b) image 2; (c) image 3; (d) image 4

针对上述的原始图像, 使用扩展的多阈值 Otsu 算法获得的单阈值、双阈值以及三阈值进行图像分割, 如图 4 所示, 为图像分割结果。由多阈值图像分割结果分析可知, 采用三阈值进行图像分割可以很好地划分出划痕区域, 因此, 通过计算图像的三个阈值设计实现划痕区域检测。

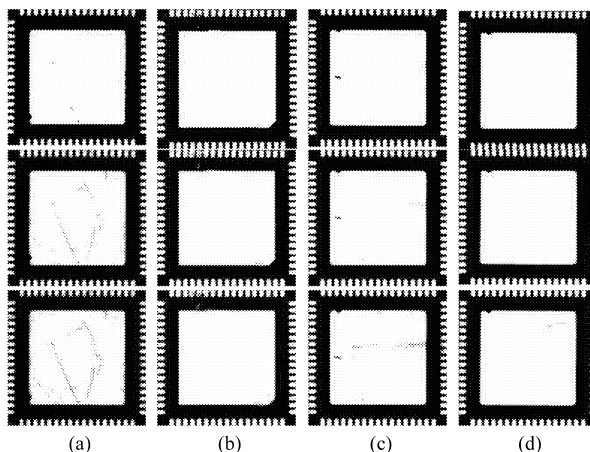


图 4 多阈值图像分割。(a) 图像 1; (b) 图像 2; (c) 图像 3; (d) 图像 4

Fig.4 Multi-threshold image segmentation. (a) Image 1; (b) image 2; (c) image 3; (d) image 4

#### 3.2 基于粒子群的多阈值 Otsu 算法

多阈值 Otsu 算法计算多阈值的过程属于穷举法, 其通过循环列举灰度级组合, 并依次计算类间方差值比较大小, 将获取最大值的灰度级组合作为图像分割阈值。该方法容易实现, 但对系统的实时性产生较大影响, 因此在类间方差法中引入粒子群算法, 通过粒子群算法优化其穷举过程, 从而缩减图像处理时间。

在粒子群算法中, 为了获得预处理图像的三个最佳分割阈值, 将多阈值类间方差准则作为粒子群算法的适应度函数, 并在三维空间中寻找最优粒子, 即寻找最优的图像灰度级。算法初始化时, 选择合理的粒子数目、初始位置、速度范围, 以及迭代次数等基本参数, 对搜索最优解以及搜索时间具有决定性意义。

一般情况下, 芯片图像的灰度值具有一定分布规律, 根据多阈值 Otsu 算法计算出图 3 中原始图像的三个阈值, 如表 1 所示。

图像处理中, 图像灰度级范围一般为  $[0, 255]$ , 根据 Otsu 算法计算的阈值特点, 在初始化粒子的三维位置向量时, 可分别设置阈值随机获取的范围在  $(30, 100)$ 、 $(101, 180)$  与  $(181, 240)$  之间。据此, 可以加快

对最优解的搜索时间, 降低时间复杂度。

在粒子群算法中, 粒子数目由解决问题的难易程度决定, 一般在范围 (10, 50) 之间选择, 此处所选择的粒子数目为 20。设置粒子运动速度范围分别为  $(-3, 3)$  与  $(-5, 5)$ , 记作速度  $V_1$  和速度  $V_2$ , 并比较在速度  $V_1$  和速度  $V_2$  范围内粒子的收敛时间与最优解, 此时设置迭代次数为 200。实验中对每个图像测试 20 次, 求取运行时间和最优解的平均值进行统计, 如表 2 所示。

表 1 Otsu 算法计算三阈值

Table 1 Three thresholds obtained by OTSU algorithm

Original image	Threshold 1	Threshold 2	Threshold 3
Image 1	64	147	219
Image 2	61	132	214
Image 3	65	143	218
Image 4	61	142	218

表 2 比较不同速度范围内粒子收敛速度与最优解

Table 2 Comparison of particle convergence rate and optimal solution in different velocity ranges

Parameter setting	Original image			
	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4
$V_1$ Threshold	(66.9,152.9,223.9)	(62,133.5,215)	(67,148.2,223)	(63,137,216)
Time	0.0065	0.0064	0.0075	0.0081
$V_2$ Threshold	(67,152,224)	(62,133,215)	(67,148,223)	(63,137,216)
Time	0.0043	0.0049	0.0061	0.0048

比较表 2 中两个速度范围内所获得的阈值和运行时间可知: 速度在  $[-5,5]$  范围内, 搜索时间比较短。经过多次实验测试发现, 当速度设为  $V_2$  时, 每次计算所得的三个分割阈值数值基本相同; 然而, 当速度设为  $V_1$  时, 每次计算所得的三个分割阈值数值差别较大。综上所述, 选择速度  $V_2$  的范围  $[-5,5]$  作为粒子群算法的移动速度范围, 从而实现在粒子更新计算速度中, 控制粒子速度大小; 其中, 当速度大于 5 时, 设置当前速度为 5, 当速度小于  $-5$  时, 设置当前速度为  $-5$ 。

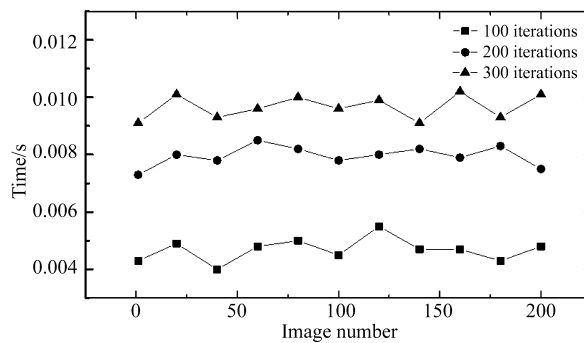


图 5 不同迭代次数的运行时间

Fig.5 Time for different iterations

基于粒子群多阈值 Otsu 算法的迭代次数的选择直接影响图像分割处理的运行时间, 根据理论分析,

迭代次数可选择 100、200、300 或者 1000 以上。采用迭代数目分别为 100、200 和 300, 进行图像的最优值搜索, 结果表明最优解是相同的。图 5 为不同迭代数目的运行时间, 其中 Image number 表示实验图片数量, 单位为: 张。

由图可知, 将粒子群算法的迭代次数设置为 100, 既保证了最优解的获取, 又可以降低程序的运行时间。

### 3.3 划痕检测定位

使用上述的分割阈值获取缺陷图像, 并使用 Canny 算子<sup>[11]</sup>进行边缘检测, 可以清晰地展现划痕边缘轮廓。由于图像中包含脏污、划痕、焊锡缺损等各种缺陷, 为了区分芯片图像的缺陷类型, 通过对划痕图像的几何特征和纹理特征进行分析, 实现对图像中划痕的定位。其中几何特征包括图像形状、面积、占空比等, 纹理特征可以由灰度值共生矩阵特性获得。

图像轮廓包括外部轮廓与内嵌轮廓两部分, 芯片表面图像缺陷一般由图像内嵌轮廓包围组成, 由于采用 OPENCV 函数库中的轮廓提取算法不可以直接获得内嵌轮廓, 仅可以获取图像所有轮廓与外部轮廓, 因此, 通过将存储图像的所有轮廓向量与存储外部轮廓的向量进行对比, 剔除相同轮廓获得内嵌轮廓。划痕检测定位的具体流程如图 6 所示。首先, 使用数字形态学对检测的图像边缘进行处理; 然后运用轮廓算法获得图像区域的内部轮廓; 最后结合缺陷灰度图像中划痕图像特性实现划痕检测定位。

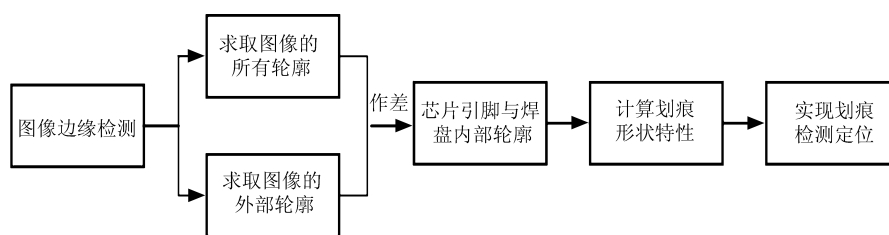


图 6 划痕定位流程图

Fig.6 Scratch location flow chart

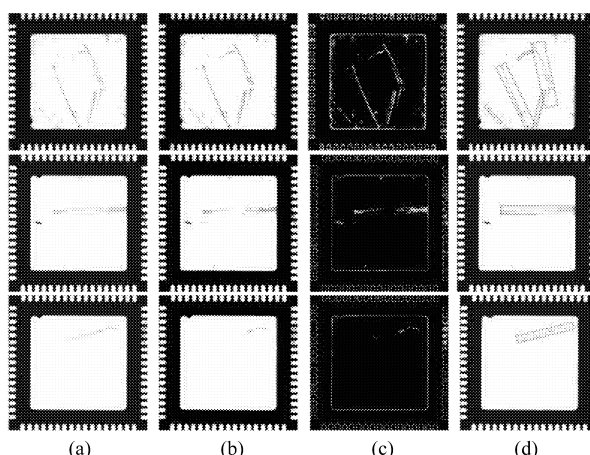


图 7 芯片划痕检测结果。(a) 原始图像; (b) 图像分割; (c) 缺陷图像; (d) 划痕定位

Fig.7 Chip image scratch test results. (a) Original image; (b) image segmentation; (c) defect image; (d) scratch detection

## 4 结果与讨论

在半导体分选机设备中采用 LED 灯光对 QFN 芯片 (8 mm×8 mm) 进行照射, 使用 CMOS 相机拍摄芯片获得图像。划痕检测算法采用 OPENCV 编程实现。

根据以上所介绍的芯片划痕检测算法, 对包含划痕的芯片图像进行检测定位, 结果如图 7 所示。实验结果表明, 采用此方法能够有效地检测出划痕图像。

将图 7 结果与直接采用多阈值 Otsu 算法分割图像所得结果 (图 4) 进行对比, 可知基于粒子群的多阈值分割方法能够获得更佳的分割图像。图 8 为上述两种算法运行时间对比曲线图, 由于两种算法运行时间的数量级不同, 图中采用两个纵轴坐标表示 (方形点曲线对应左边的纵轴坐标, 圆形点曲线对应右边的纵轴坐标), 由图分析可知本方法极大地缩短程序运行时间, 有利于保证芯片视觉检测系统的实时性。

综上所述, 将 Otsu 算法与粒子群算法结合, 应用于 QFN 芯片表面划痕检测中, 不仅能够提高检测运行时间, 而且与多阈值 Otsu 算法图像分割的结果相比, 缺陷区域更加明显, 因而提出的算法可以实现 QFN 芯片视觉检测系统实时准确地检测定位划痕。

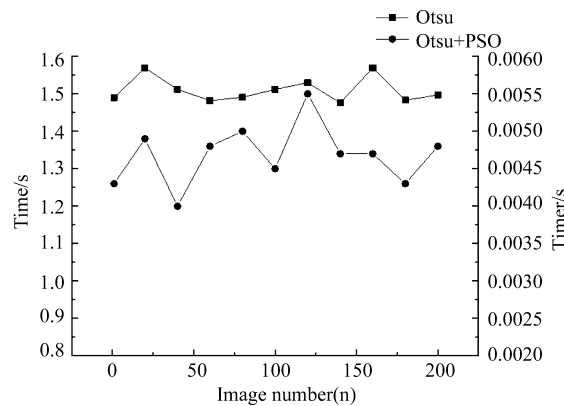


图 8 两种算法比较结果

Fig.8 Comparison of two algorithms

## 5 结论

针对 QFN 芯片表面的划痕检测问题, 给出了一种基于粒子群的 Otsu 算法检测定位 QFN 芯片划痕的方法。此方法通过多阈值 Otsu 算法求取最优解, 并将粒子群算法用于优化 Otsu 算法中的穷举搜索过程, 且根据芯片图像的具体特征, 选择合适的算法参数, 与直接采用多阈值 Otsu 算法对比发现: 该方法可以极大地降低程序运行时间复杂度, 提高了芯片划痕检测效率。同时, 此方法结合了 Canny 边缘检测算法, 能够更加清晰地获得划痕边缘, 有利于划痕检测定位。提出的划痕检测定位方法对 QFN 芯片视觉检测系统开发具有重要的参考意义。

### 参考文献:

- [1] Shen Bo. *The Design and Implementation of QFN Inspection Software Base on Machine Vision* [D]. Tianjin: Master's Thesis of Tianjin University, 2007: 13-25(in Chinese).  
沈 勃. 基于机器视觉的 QFN 芯片检测软件的设计与实现 [D]. 天津: 天津大学硕士论文, 2007: 13-25.

- [2] Song Di, Zhang Dongbo, Liu Xia. Scratch detection for mobile phone accessories based on Gabor and texture suppression [J]. *Computer Engineering*, 2014, **40**(9): 1-5(in Chinese).  
宋 迪, 张东波, 刘 霞. 基于 Gabor 和纹理抑制的手机配件划痕检测 [J]. *计算机工程*, 2014, **40**(9): 1-5.
- [3] Zhou Lin, Yang Na. Image scratch detection research based on adaptive binary tree [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, **52**(2): 051002(in Chinese).  
周 琳, 杨 娜. 基于自适应二叉树算法的图像划痕检测研究 [J]. *激光与光电子学进展*, 2015, **52**(5): 051002.
- [4] Forte P M F, Felgueiras P E R, Ferreira F P, et al. Exploring combined dark and bright field illumination to improve the detection of defects on specular surfaces [J]. *Optics & Lasers in Engineering*, 2017, **88**: 120-128.
- [5] Wu Shan, Chen Bin, Yang Xiyuan, et al. Key algorithm design of card scratch detection [J]. *Journal of Computer Application*, 2017, **37**(S2): 171-174(in Chinese).  
吴 珊, 陈 斌, 杨溪远, 等. 卡片划痕检测关键算法设计 [J]. *计算机应用*, 2017, **37**(S2): 171-174.
- [6] Li Yuanyuan, Huang Quanyuan, Hou Zhixin. Improve of OSTU based on Hough transformation and applied in pavement crack detection [J]. *Electronic Design Engineering*, 2016, **24**(5): 43-46(in Chinese).  
李媛媛, 黄泉源, 侯智新. 基于霍夫变换的 OSTU 改进算法在路面裂缝检测中的研究 [J]. *电子设计工程*, 2016, **24**(5): 43-46.
- [7] Dang X Y. Co-evolutionary implementation of edge-detection algorithm based on multidirectional gradient edge detection predictor [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, **644-650**: 908-911.
- [8] Goh T Y, Basah S N, Yazid H, et al. Performance analysis of image thresholding: Otsu technique [J]. *Measurement*, 2018, **114**: 298-307.
- [9] Jason O C K, Masra S M W, Muhammad M S. Satellite image segmentation with the application of PSO algorithm [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, **833**: 157-163.
- [10] Guo W Y, Wang X F, Xia X Z. Two-dimensional Otsu's thresholding segmentation method based on grid box filter [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014, **125**(18): 5234-5240.
- [11] Sim K S, Tso C P, Ting H Y. Canny optimization technique for electron microscope image colourization [J]. *Journal of Microscopy*, 2008, **232**(2): 313-334.