

基于图像的多方向灰度波动局部阈值分割方法

吴正平^{**}, 马占稳^{*}, 颜华, 张兆蒙, 尹凡

三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 201306

摘要 针对存在光照不均匀干扰的工业图像, 提出了一种基于图像的多方向灰度波动局部阈值分割方法。先对图像进行均值滤波预处理; 然后提取水平、垂直和左右对角线四个方向上的一维灰度波动曲线, 并对每条曲线上满足波动幅度阈值条件的波峰和波谷进行一维局部阈值分割; 最后将分割后的子图像进行与操作, 得到最终分割图像。实验结果表明, 该方法能够有效提高对光照不均匀图像分割的准确性, 与二维 Otsu、二维 Tsallis 和 Niblack 算法相比分割效果有显著提升。

关键词 图像分割; 灰度波动; 局部阈值分割; 波动幅度阈值; 均值滤波

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.061016

Local Threshold Segmentation Method Based on Multi-Direction Grayscale Wave for Image

Wu Zhengping^{**}, Ma Zhanwen^{*}, Yan Hua, Zhang Zhaomeng, Yin Fan

College of Electrical Engineering & Renewable Energy, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 201306, China

Abstract Aiming at the industrial images with uneven illumination interference, a local threshold segmentation method based on multi-direction grayscale wave for image is proposed in this paper. First, the image is pretreated with mean filtering. Then, one-dimensional grayscale wave curves are extracted in four-direction of horizontal, vertical, left diagonal and right diagonal. Meanwhile, one-dimension local threshold segmentation is carried out for wave peaks and troughs which satisfy the threshold condition of wave amplitude on each curve. Finally, an and operation is processed for segmented sub-images, the final segmented image is obtained. The experimental results show that this method can effectively improve the segmentation accuracy of images with uneven illumination. Compared with two-dimensional Otsu, two-dimensional Tsallis and Niblack methods, the segmentation effect of the proposed method is significantly improved.

Key words image segmentation; grayscale wave; local threshold segmentation; threshold of wave amplitude; mean filtering

OCIS codes 100.2000; 150.3040; 350.7420

1 引言

图像分割是计算机视觉领域中处理图像的重要方法, 主要目的是将感兴趣的区域目标从复杂背景中分割出来^[1]。图像分割算法中, 阈值法因具有计算简单、实用、高效等优点得到了广泛的应用。根据图像的空间信息, 阈值法又分为全局阈值法和局部阈值法^[2]。

全局阈值法是根据整幅图像的空间信息求取单

个或多个最佳阈值。针对图像存在的干扰噪声、边缘模糊等现象, 刘健庄等^[3]利用像素灰度和邻域平均信息构建二维 Otsu 矢量阈值的方式在一定程度上抑制了噪声。纪姚林等^[4]在二维 Otsu 基础上使用 Sobel 算子加入边缘信息, 减少了边缘处的噪声。吴一全等^[5-6]根据目标区域的特点及需求, 选取分割直线的法线与灰度级轴的角度 θ , 针对最小误差法和最大熵法^[7], 提出了使用二维直方图 θ 的划分方式进行阈值分割。然而当图像受到的光照不均匀

收稿日期: 2019-07-31; 修回日期: 2019-08-17; 录用日期: 2019-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(61871258)

* E-mail: 1210480369@qq.com; ** E-mail: 411903566@qq.com

时,全局阈值法不能区分所有目标和背景。所以需要图像不同区域的阈值进行自适应调整,从而达到最优分割。传统的局部阈值法一般将图像分割成大小相同的子块,并在子块内进行阈值分割。虽然降低了光照不均匀的影响,但会导致子块之间出现不连续现象,分割效果较差。

直观上可将图像看作三维地形图,若能区分出局部的波峰和波谷,就可以在保证连续性的情况下进一步实现局部分割,因此本文提出了一种基于图像多方向灰度波动的局部阈值分割算法。先对预处理后的图像水平、垂直及左右对角线方向进行一维阈值分割,再将分割后的四个子图像进行与操作得到整体阈值分割图像。在此过程中,通过设置波峰与波谷之间的最小高度差来控制分割的敏感度,以适应不同的分割环境。同时能在一定程度上降低光照不均匀的影响,避免子块间的不连续现象,为复杂光照下的图像分割提供了可靠的图像处理技术。

2 灰度波动局部阈值分割算法

从米粒的灰度图像(图 1)中可看出,图像底部阴暗区域中米粒目标的灰度级与图像背景的灰度级相近,但从米粒的三维地形图(图 2)中可看出,米粒目标区域对应波峰,背景区域对应波谷^[8-9]。因此提出了一种基于每个波峰和波谷的灰度波动实现局部阈值分割的算法,进而对全局图像进行最优分割。

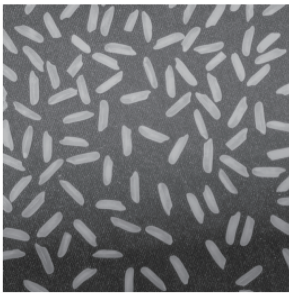


图 1 米粒的灰度图像
Fig. 1 Rice gray image

2.1 均值滤波

从图 2 中可以看出,米粒的三维地形图中有许多小尺度的波峰和波谷以及椒盐噪声,且大尺度的波峰和波谷也隐藏在其中。而本算法面向的是灰度波动特征,对图像上的振幅较大的高频信号尤为敏感,如果椒盐噪声的振幅高于目标与背景的灰度波动振幅,就会被当作目标保存下来。为解决上述问题,在进行图像分割前,预先采用内核尺寸为 3×3 的均值滤波模板滤除椒盐噪声,同时减小了小尺度

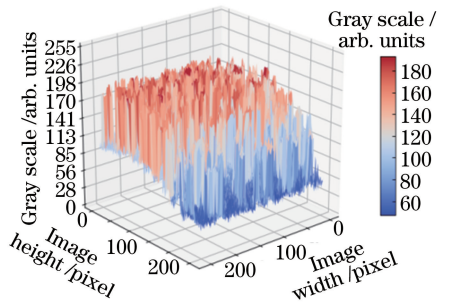


图 2 米粒的三维地形图

Fig. 2 Three-dimension topographic image of rice
波峰和波谷的振幅,以提高算法分割的精度^[10]。

2.2 一维阈值分割

以水平方向进行一维阈值分割为例,设置灰度图像行号 $y = y_0$, 则 $f(x) = F(x, y_0)$ 是该行中所有像素的一维函数,其中 $x = 0, 1, 2, \dots, X$, X 为该行像素的总数。图 3 所示的一维灰度函数曲线,是由若干波峰(top)和波谷(bottom)组成的序列,设波峰和波谷之间边沿上某点的灰度值为局部阈值(threshold),一维阈值分割就是将曲线 $f(x)$ 波动边沿上大于局部阈值 threshold 的像素设为 $L - 1$, 反之设为 0, 其中 L 为像素灰度级,一般取 256 ^[11]。

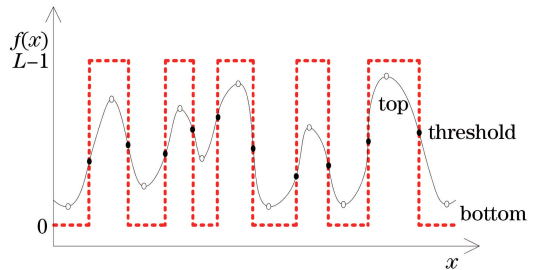


图 3 一维灰度函数曲线

Fig. 3 One-direction grayscale wave curve

图 4 为图像中某行的灰度波动曲线,取其最小值点或最大值点作为一维阈值分割的起始点。假设 $E_n (n = 1, 2, \dots, N)$ 为曲线上全部的极值点,其中 N 为曲线上极值点的总数,极大值点中的最大值点表示为 $E_{\max}[c_i, f(c_i)] = \arg \max \{E_1[c_0, f(c_0)], E_3[c_1, f(c_1)], \dots, E_{n-1}[c_{(n-1)/2}, f(c_{(n-1)/2})]\}$, 其中, c_i 为极大值点像素, i 为极大值点像素序号, $f(c_i)$ 为像素 c_i 的灰度值。

极小值点中的最小值点表示为 $E_{\min}[t_j, f(t_j)] = \arg \min \{E_1[t_0, f(t_0)], E_3[t_1, f(t_1)], \dots, E_{n-1}[t_{n/2}, f(t_{n/2})]\}$, 其中, t_j 为极小值点像素, j 为极小值点像素序号, $f(t_j)$ 为像素 t_j 的灰度值。

若 $T_k = E_m$ 是起始波谷点或上一个满足波动

幅度阈值条件 H 的波谷点,其中 m 为极值点的序号, $H \in [0, 255]$, 则下一个满足波动幅度阈值条件 H 的波峰点 $C_{k+1} = E_i$ 需满足的条件为

$$\begin{cases} E_i[c_i, f(c_i)] = \arg \max\{E_{m+1}, E_{m+3}, \dots, \\ E_{j-1}\}, i > j > m \\ f(c_i) - f(t_j) > H \end{cases}, (1)$$

式中, $E_i[c_i, f(c_i)]$ 之后的一个极小值点为 $E_j[t_j, f(t_j)]$, E_i 为某极大值点, i 为某极大值点序号。

若 $C_k = E_m$ 是起始波峰点或上一个满足波动幅度阈值条件 H 的波峰点, 则下一个满足波动幅度阈值条件 H 的波谷点 $T_{k+1} = E_j$ 需满足的条件为

$$\begin{cases} E_j[t_j, f(t_j)] = \arg \min\{E_{m+1}, E_{m+3}, \dots, \\ E_{i-1}\}, i > j > m \\ f(c_i) - f(t_j) > H \end{cases}, (2)$$

式中, $E_j[t_j, f(t_j)]$ 之后的一个极大值点为 $E_i[c_i, f(c_i)]$, E_j 为某极小值点, j 为某极小值点序号。

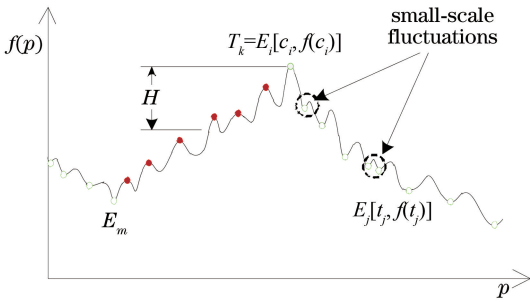


图4 灰度波动曲线

Fig. 4 Grayscale wave curve

将上述搜索过程持续迭代,直到灰度波动曲线 $f(p)$ 上所有波峰点和波谷点全部搜索定位完毕。基于搜索到的波峰点和波谷点的顺序,对每一对波峰和波谷进行局部阈值分割,设 $[T_k[t_j, f(t_j)], C_{k+1}[c_i, f(c_i)]]$ 是分割区间,给定浮动参数 ξ , $\xi \in [0, 1]$, 则局部阈值 h_t 记为

$$h_t = \xi \times [f(t_j) - f(c_i)] + f(c_i) \times (1 - \xi). (3)$$

对于曲线 $p \in [t_j, c_i]$ 上的点 $P[p, f(p)]$, 当 $f(p) > h_t$ 时, P 属于目标, 否则属于背景。曲线的头部和尾部位于极值点边界之间时可与临近的极值一起处理。当遍历了该曲线上所有的极值点序列, 就完成了该灰度波动曲线的一维阈值分割。

3 多方向灰度波动局部阈值分割实现

多方向灰度波动局部阈值分割实现步骤:

1) 首先将待分割的图像进行均值滤波处理, 然后根据图像背景和目标之间的灰度差手动设定最佳

波动幅度阈值条件 H 和浮动参数 ξ 。通过大量实验测试得, H 的最佳值在 $40 \sim 95$ 之间, ξ 一般在 $0.3 \sim 0.6$ 之间。

2) 分别提取原图像给定方向上的每一行像素函数, 记为 $f_d(x) = F(x, y_s)$, 其中 d 为提取的方向, s 为像素行号。通过对 $f_d(x)$ 求导数来获取该函数所有的极值点。

3) 取 $f_d(x)$ 的最小值点 E_{\min} 或最大值点 E_{\max} 作为一维阈值分割的起始点, 然后搜索 $f_d(x)$ 中所有满足波动阈值条件 H 的波峰点或波谷点, 通过浮动参数 ξ 对其上升沿或下降沿进行分割, 直到搜索到 $f_d(x)$ 尾部结束该行分割。

4) 将水平、垂直和左右对角线四个方向上一维阈值分割后的子图像进行与操作, 最终得到完整的阈值分割图像。

4 实验分析

为验证本算法的有效性, 对灰度图像波动局部阈值分割算法进行仿真测试, 对比多种算法的分割效果。经典全局阈值分割算法选择二维 Otsu 法^[12] 和二维 Tsallis 法(2DTE)^[13-14], 经典局部阈值分割算法选择 Niblack 法^[15]。将以上算法简称为 2DOtsu、2DTE、Niblack。仿真的硬件环境为 Intel(R) Core(TM) i3-3240 CPU @ 3.4 GHz/4.0 GB 内存, 软件编译环境为 Python3.7 下 OpenCV 库环境。

4.1 仿真测试

以图 1 中米粒的灰度图像为例, 图像尺寸为 $256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$, 设 $H = 60$, $\xi = 0.5$, 提取图像第 30 行和第 210 列灰度波动数据, 如图 5(a)、图 5(b) 所示, 其中两条水平线对应 2DOtsu 法和 2DTE 法的两个全局阈值。由于第 30 行光照均匀, 灰度波动局部阈值与全局阈值接近, 此时, 本算法与全局算法相似。第 210 列尾端光照不均匀, 若采用全局阈值算法, 该列尾端大部分像素将被分为背景。

本算法是对每个灰度波进行分割, 与整体灰度无关, 由图 5 所示的分割后灰度波动曲线可知, 该算法能准确地将曲线上的目标和背景分离。此外, 经均值滤波后, 对椒盐噪声和小尺度波动点的滤除效果显著, 使灰度波动曲线分割效果更加精准。

对图 1 中米粒的灰度图像分别进行水平、垂直、左右对角线方向的一维灰度局部阈值分割, 涵盖了一维波动的各方向信息, 具有较强的鲁棒性。得到的四幅子图像, 如图 6(a)~图 6(d) 所示, 光照不均匀的干扰未对分割结果产生影响。对子图像进行与

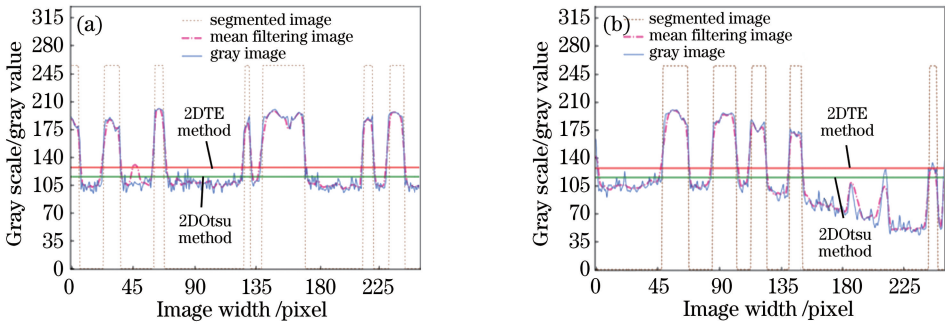


图5 米粒图像局部阈值分割曲线。(a)第30行灰度波动曲线;(b)第210列灰度波动曲线

Fig. 5 Local threshold segmentation curve of rice image. (a) Line 30 of the grayscale wave curve; (b) column 210 of the grayscale wave curve

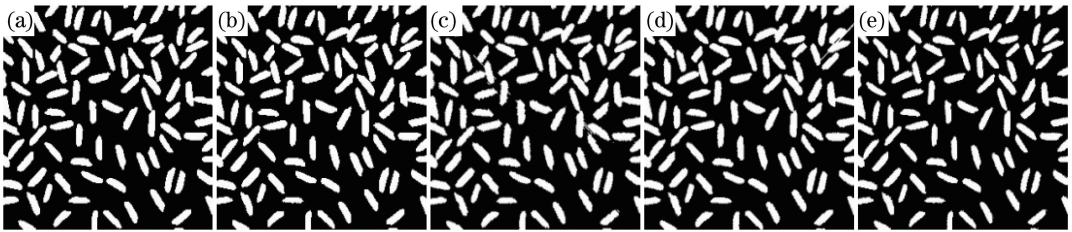


图6 米粒图像四个方向一维阈值分割图。(a)水平方向子图;(b)垂直方向子图;(c)左对角线方向子图;(d)右对角线方向子图;(e)与操作后的分割结果

Fig. 6 Four-direction one-dimension threshold segmentation of rice image. (a) Horizontal direction sub-image; (b) vertical direction sub-image; (c) left diagonal directional sub-image; (d) right diagonal directional sub-image; (e) segmentation results after an and operation

操作能够消除各子图像存在的少许误分割,使分割结果更精准,如图6(e)所示。

4.2 分割效果对比

选取4幅图像作为测试图像,分别为米粒图像(Rice),尺寸为256 pixel × 256 pixel;雕塑图像(Carve),尺寸为872 pixel × 602 pixel;瓶盖图像(Cap),尺寸为650 pixel × 644 pixel;手表图像(Watch),尺寸为824 pixel × 771 pixel。选图原则:目标与背景的构成相对简单,不受其他物体的干扰,二者内部的纹理质地均较为单一,且受到不均匀光照的影响,实验结果如图7所示。

图7第1行米粒图像和第2行雕塑图像均受到不均匀光照的影响。2DOtsu法计算的全局阈值具有绝对性,使明亮区的米粒目标丢失,阴暗区的雕塑目标模糊,且目标与背景粘连严重。2DTE法虽然计算出了适当的全局阈值,却分割出大量的噪声,丢失了雕塑图像的纹路等细小目标。Niblack法因其邻域特性分割出大量的噪声,且边缘和细节部分分割模糊不准确。本算法有效地分割出明亮和阴暗区域的目标,同时对细小目标分割得也清晰准确。

第3行的瓶盖图像和第4行手表图像受到强光

照射而存在反光现象。2DOtsu法和2DTE法分割过程中丢失了瓶盖和手表的边缘轮廓信息,以及文字和指针刻度目标。Niblack法分割效果明显优于全局阈值法,但其邻域特性导致反光区域存在误分割,产生了大量的噪声干扰。而本算法克服了反光现象的干扰,准确地分割出瓶盖的轮廓并保留了瓶盖上的文字信息,对指针刻度等目标的分割更加完备与精准。

表1给出了四种算法的运行时间对比。2DOtsu法需计算像素的灰度值分布和其邻域像素的平均灰度值分布,从得出的二维矢量阈值中确定最大值为阈值,所以耗时偏长;2DTE法相比于其他算法具有较高的实时性能;Niblack法作为局部算法需要在特定的窗口中计算像素方差及平均值得到单个像素的阈值,实时性能差。本算法在搜索

表1 各算法的运行时间

| Image | 2DOtsu | 2DTE | Niblack | Our method |
|-------|--------|-------|---------|------------|
| Rice | 30.04 | 1.42 | 14.14 | 6.95 |
| Carve | 77.77 | 1.728 | 104.62 | 75.12 |
| Cap | 76.45 | 1.749 | 71.61 | 29.38 |
| Watch | 76.04 | 1.793 | 115.37 | 52.73 |

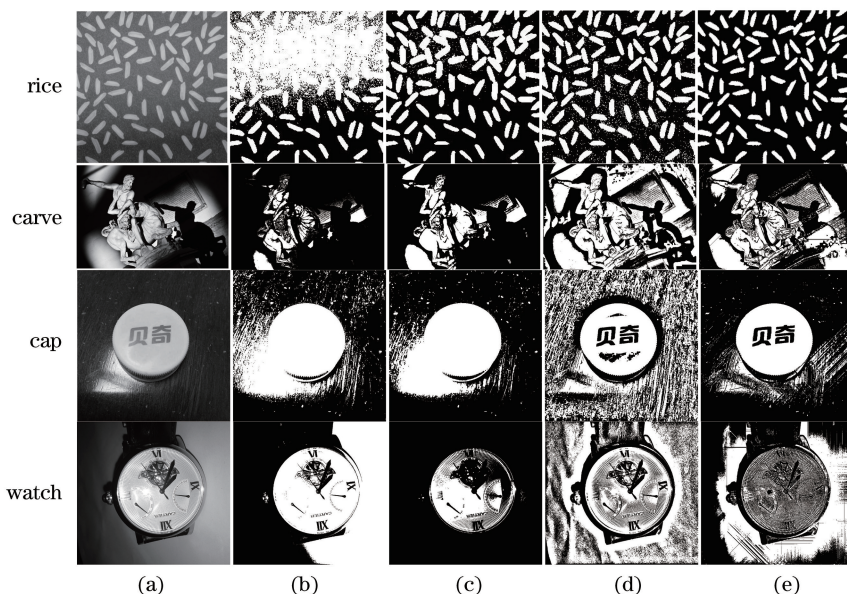


图7 各种算法实验结果对比。(a)原始图像;(b) 2DOtsu 算法;(c) 2DTE 算法;(d) Niblack 算法;(e)本算法
Fig. 7 Experimental results of various methods. (a)Raw images; (b) 2DOtsu method; (c) 2DTE method;
(d) Niblack method; (e) our method

图像波峰和波谷的过程中耗时较长,但总体运行时间明显快于 2DOtsu 法和 Niblack 法。

5 结 论

提出了一种基于多方向灰度波动的局部阈值分割算法,将图像看作三维地形图,提取其二维灰度波动信号作为灰度波动曲线。以水平、垂直、左、右对角线四个方向对每条灰度波动曲线的大尺度波峰和波谷进行搜索和定位,通过一维阈值分割对各方向灰度波动曲线进行局部阈值分割,最后将四个方向的分割子图进行与操作,得到最终的阈值分割图像。为消除椒盐噪声和小尺度灰度波动对局部阈值分割的影响,需要先对图像进行均值滤波操作。实验证明,该算法可有效降低光照不均匀对图像的干扰,改善分割效果。

参 考 文 献

- [1] Shi L C, An Y L, Su B H, et al. An improved background subtraction algorithm based on Kalman filtering [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(8): 081003.
施龙超, 安玉磊, 苏秉华, 等. 一种改进的基于卡尔曼滤波的背景差分算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(8): 081003.
- [2] Bataineh B, Abdullah S N H S, Omar K. An adaptive local binarization method for document images based on a novel thresholding method and

dynamic windows [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2011, 32(14): 1805-1813.

- [3] Liu J Z, Li W Q. The automatic thresholding of gray-level pictures via two-dimensional Otsu method [J]. *Acta Automatica Sinica*, 1993, 19(1): 101-105.
刘健庄, 栗文青. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. *自动化学报*, 1993, 19(1): 101-105.
- [4] Ji Y L, Huang H M. Improvement of 2-D Otsu threshold segmentation algorithm based on edgeinformation[J]. *Information Technology*, 2017, 41(11): 43-45, 48.
纪姚林, 黄慧明. 基于边缘信息的二维 Otsu 阈值分割算法的改进[J]. *信息技术*, 2017, 41(11): 43-45, 48.
- [5] Wu Y Q, Zhang X J, Wu S H, et al. Image thresholding based on 2-D histogram θ -division and minimum error [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2012, 46(6): 892-899.
吴一全, 张晓杰, 吴诗嫣, 等. 二维直方图 θ -划分最小误差图像阈值分割[J]. *上海交通大学学报*, 2012, 46(6): 892-899.
- [6] Wu Y Q, Zhang J K. Image thresholding based on θ -division of 2-D histogram and maximum Shannon entropy[J]. *Acta Physica Sinica*, 2010, 59(8): 5487-5495.
吴一全, 张金矿. 二维直方图 θ 划分最大 Shannon 熵图像阈值分割[J]. *物理学报*, 2010, 59(8): 5487-5495.

- [7] Du F, Shi W K, Deng Y, et al. Fast infrared image segmentation method[J]. *Journal Infrared Millimeter and Waves*, 2005, 24(5): 370-373.
杜峰, 施文康, 邓勇, 等. 一种快速红外图像分割方法[J]. *红外与毫米波学报*, 2005, 24(5): 370-373.
- [8] Chen Y, Fan R S, Wang J X, et al. Segmentation of high-resolution remote sensing image combining phase consistency with watershed transformation [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(9): 092803.
陈洋, 范荣双, 王竞雪, 等. 结合相位一致和分水岭变换的高分辨率遥感影像分割方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(9): 092803.
- [9] Valizadeh M, Kabir E. An adaptive water flow model for binarization of degraded document images [J]. *International Journal on Document Analysis and Recognition*, 2013, 16(2): 165-176.
- [10] Yang Y F, Li Q. Application of bilateral filtering algorithm on terahertz confocal scanning image denoising [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(12): 121101.
杨永发, 李琦. 双边滤波算法的太赫兹共焦扫描图像去噪应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(12): 121101.
- [11] Wang D X, Chen X X. Algorithm of brain MRI image skull stripping based on morphology [J]. *Computer Technology and Development*, 2015, 25(12): 206-209, 215.
王大溪, 陈鑫鑫. 基于形态学的脑部 MRI 图像颅骨剥离算法[J]. *计算机技术与发展*, 2015, 25(12): 206-209, 215.
- [12] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66.
- [13] Tang Y G, Di Q Y, Zhao L X, et al. Image thresholding segmentation based on two-dimensional minimum Tsallis-cross entropy [J]. *Acta Physica Sinica*, 2009, 58(1): 9-15.
唐英干, 邸秋艳, 赵立兴, 等. 基于二维最小 Tsallis 交叉熵的图像阈值分割方法[J]. *物理学报*, 2009, 58(1): 9-15.
- [14] Nie F Y, Li J Q, Zhang P F, et al. A threshold selection method for image segmentation based on Tsallis relative entropy[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(7): 071002.
聂方彦, 李建奇, 张平凤, 等. 一种基于 Tsallis 相对熵的图像分割阈值选取方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(7): 071002.
- [15] Niblack W. An introduction to digital image processing [M]. Denmark: Strandberg Publishing Company Birkerød, 1985.