

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.09.021

基于 ICA 阈值优化耦合信息熵的边缘提取算法^①

郭 健¹, 李 智²

1. 厦门海洋职业技术学院 信息技术系, 厦门 361012; 2. 贵州大学 计算机科学与技术学院, 贵阳 550025

摘要: 为了解决传统边缘提取算法对噪声敏感和阈值难以选取, 边缘清晰度不高以及边缘不平滑等问题, 提出了一种基于 ICA 阈值优化耦合信息熵的边缘提取算法. 首先, 基于灰度分布模式将图像分成若干子块, 并计算每个子块的分段阈值; 然后, 为了从大量的分段阈值选择合适的阈值, 引入了帝国主义竞争(imperialist competitive algorithm, ICA)优化算法, 计算图像的最优阈值, 根据获得的最优阈值将每个图像子块划分为不同的均匀区域; 最后, 通过计算每个均匀区域的信息熵, 利用信息熵检测所有处于不同均匀区域的边界像素来提取边缘. 实验结果表明: 与当前常用的边缘提取算法比较, 本文算法具有更高的品质因数与边缘连续性, 能够抑制过于微小和琐碎的细节, 突出有效的边缘信息, 边缘定位精度高且平滑连贯, 能够准确地提取目标轮廓.

关 键 词: 边缘提取; 帝国主义竞争算法; 分段阈值; 信息熵; 灰度分布模式; 均匀区域

中图分类号: TP391.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2018)09-0150-06

图像边缘是图像的重要特征, 直接反映物体的轮廓和拓扑结构信息. 图像边缘检测是图像分析与识别的基础与前提, 在图像分割、运动检测、目标跟踪、人脸识别等各领域广泛应用. 因此, 图像边缘检测与提取是图像处理的热点之一, 提高边缘检测与提取的精度在实际工程中的应用具有重要意义^[1-2]. 例如李俊山等^[3]在 Canny 的基础上提出了一种改进的 Canny 图像边缘检测算法, 该算法具有较好的抗噪声干扰性, 能够较好提取图像边缘, 但是对冲击噪声比较敏感, 容易将噪声像素统计为弱边缘; 文献[4]提出了一种局部灰度差的 SUSAN 边缘提取技术, 但提取的边缘容易出现间断现象; 文献[5]提出了一种基于蚁群优化的边缘检测算子, 该方法对图像中的显著边缘具有很好的检测效果, 收敛速度较快, 但存在边缘丢失和出现虚假边缘的情况.

帝国主义竞争算法(imperialist competitive algorithm, ICA)为一种基于人群的随机搜索算法, 常被用来解决一个特定的优化问题^[6-7]. 该算法来源于帝国竞争, 是一种基于人类社会政治进化领域的新的进化算法.

本文提出了一种具有抗噪性, 能够准确地检测边缘信息, 提取完整的目标边缘轮廓的算法. 通过 ICA 优化算法对图像阈值优化, 选取最优的阈值将图像分割为不同的均匀区域, 降低了噪声和微小细节的影响, 通过计算每个均匀区域的信息熵判断该像素是否为边缘像素. 最后通过实验对算法性能进行评价与分析.

1 本文算法设计

在图像处理过程中, 阈值的选择具有重要意义. 将输入图像划分为若干个图像子块, 并确定每个子

① 收稿日期: 2016-12-20
基金项目: 国家自然科学基金项目(61462013); 福建省教育厅科学技术研究项目(JA15745).
作者简介: 郭 健(1973-), 男, 副教授, 主要从事数字图像处理算法研究.

块的阈值(分段阈值),然后利用 ICA 优化算法选择最优阈值,根据每个子块的最优阈值将图像分割为不同的均匀区域,最后根据每个区域的信息熵识别图像边缘.本文算法的流程图见图 1.

1.1 分段阈值

根据输入图像的尺寸和特征按照一系列规则将图像划分为图像子块,然后分别确定每个图像子块的阈值.阈值被转换为包含不同值的数据集.当一个阈值被施加到输入数据时,低于阈值的输入值被一个输出值替代,而高于阈值的输入值被另一个输出值取代.因此,每个阈值将像素分为两类.例如,输入空间数据被 3 个阈值分割成 4 个子空间中的输出数据.通过图像直方图基于亮度变化得到近似的阈值.设置每个图像子块初始阈值分别为 $T_{1_0}, T_{2_0}, \dots, T_{i_0}$,然后根据阈值将输入空间划分为 $i+1$ 个子空间,将小于 T_{1_0} 的值记为 R_1 ,大于等于 T_{1_0} 并小于 T_{2_0} 的值记为 R_2 ,大于等于 T_{i_0} 记为 R_{i+1} .

为了确定初始值,利用图像灰度级的最大级(T_{max})与最小级(T_{min})进行选择,初始阈值 T 表示如下:

$$T = \frac{T_{max} - T_{min}}{i} \quad (1)$$

其中: i 表示选择阈值的数量.根据初始阈值极限的选择将图像亮度分割为 $i+1$ 个子空间,然后计算每个子空间的灰度平均值 μ ,因此,新的阈值极限可表示如下:

$$T_{j_{new}} = \frac{\mu_j + \mu_{(j+1)}}{2} \quad (2)$$

其中: $j = 1, 2, \dots, i$; $T_{j_{new}}$ 为第 j 个新阈值; $\mu_j, \mu_{(j+1)}$ 分别为第 $j, j+1$ 个子空间的灰度均值.结束条件如下:

$$|T_{j_{new}} - T_{j_{old}}| < 1 \quad (3)$$

如前所述,阈值的提取和形成片段式的图像对于最终边缘的提取具有重要作用.

1.2 ICA 阈值优化

该方案包含两个重要步骤:① 提取所有图像阈值;② 对提取的阈值进行比较,如果图像在初始阶段被分割成 $m \times n$ 子块,那么阈值具有 $i \times m \times n$ 个值.根据输入图像的尺寸和特征将图像分割成 2700 个图像子块,如果每个图像子块有 3 个阈值,那么整个图像将有 8 100 个阈值.在本研究中,通过 ICA 方法测定阈值.首先得到每个图像子块的一些阈值,根据图像像素的亮度变化,通过阈值将图像分割成不同的均匀区域.在这种方法中,根据图像细节的需要,可以增加或减少阈值.使用这种方法,微小的灰度值变化也不会被忽略,图像边缘将被精确地提取.

1.3 基于信息熵的边界提取

信息熵(shannon entropy, SE)可用于衡量一幅图像的信息量,其表示为源信息概率行为的随机不确定性测量^[9-10].为了分析图像信息,利用图像的相位或振幅的分布函数来建立图像信息的数学模型.

设图像 I 含有 k 个灰度级,第 $i(i \in k)$ 个级的概率为 $p(i)$.当 $p(i)$ 越逼近 1,则信息传递的不确定性越小;反之, $p(i)$ 越逼近 0,信息传递的不确定性越大.根据信息论定义第 i 灰度级的信息量表示如下:

$$I(i) = \log \frac{1}{p(i)} \quad (4)$$

对此,图像 I 的信息熵 H 可表示如下:

$$H = \sum_{i=0}^{k-1} p(i) \log \frac{1}{p(i)} \quad (5)$$

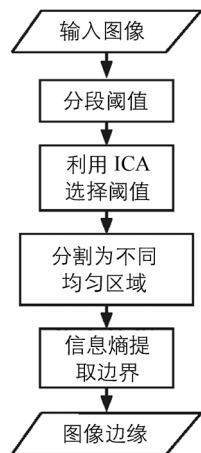


图 1 本文边缘提取算法流程图

其中: H 为信息熵, $p(i)$ 为第 i 级的概率. 当 $p(i)$ 为零时, $p(i)\log \frac{1}{p(i)}$ 也为零.

对此, 图像信息熵越大, 图像出现的概率越大, 表达的信息内容也越少. 相反地, 信息熵越小, 出现的概率越小, 表达的信息内容却越多. 根据式(5)可知, 当每个 $p(i)$ 值相等时, 即 $p(i) = \frac{1}{k}$ 时, $H = \log k$ 为最大值.

边缘可定义为具有相对独立特征的两个区域的分界线. 图像区域特征主要有场景的几何形状、表面的辐射特征与亮度等^[11]. 因此, 可以通过检测位于不同的均匀区域间的边界像素来提取边缘. 在提出的方法中, 实施了两个步骤: ① 在被阈值分割的图像中添加一个 3×3 内核; ② 通过移动图像中的内核, 计算图像的每个中央像素的熵.

如果一个窗口的像素的灰度均匀时, 那么中心像素的概率等于 1, 该像素的熵为零, 此时, 该中心像素不是一个边缘像素. 通过计算内核得到一个适当的阈值, 从而形成每个区域的熵. 当相邻像素的熵值大于中心像素时, 该中心像素则为边缘像素, 如图 2 所示. 图 2(a)为每个像素的阈值. 当阈值大于计算出的阈值极限时标记为 1, 反之标记为 0(图 2(b)). 计算标记为 0 的像素的信息熵可知该像素灰度级变化较大, 为边缘像素, 标记为黑色(见图 2(c)).

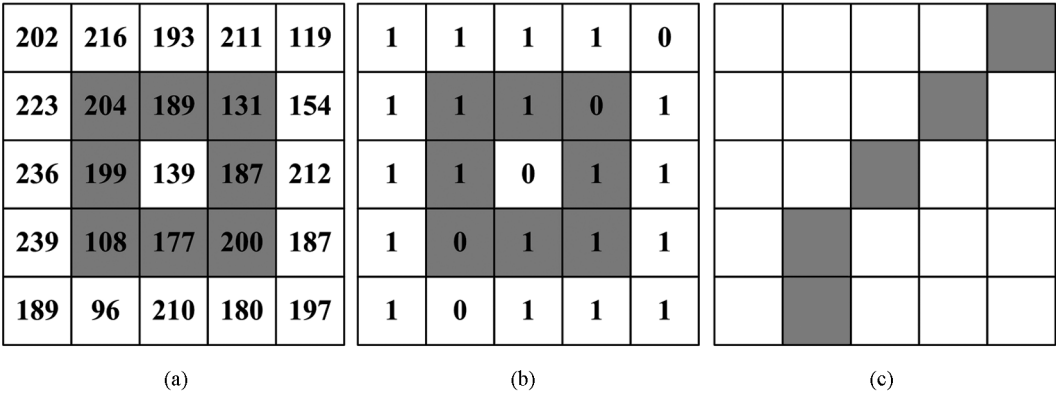


图 2 边缘像素检测过程

3 实验与分析

为了对提出的算法性能进行验证与分析, 借助 MATLAB7.0 进行仿真分析, 将文献[3—5]作为比较组. 为了客观评价边缘提取算法性能, 引入品质因数 F 和边缘连续性 R 作为评价指标.

F 的值越大表明边缘提取精度越高, 细节越详细, 其定义如下^[12]:

$$F = \frac{1}{\max(n_I, n_D)} \sum_{i=1}^{n_D} \frac{1}{1 + \zeta d_i^2} \tag{6}$$

其中: n_I 和 n_D 分别为真实边缘像素数量与实际检测边缘像素数量; d_i 为第 i 点边缘与实际边缘的距离; ζ 为惩罚错位边缘系数, 一般为 0.1.

边缘连续性 R 越大, 说明边缘连续性越好, 其定义如下^[13]:

$$R = \frac{CEN}{TEN} \tag{7}$$

其中: CEN 为边缘连续像素个数, TEN 为边缘图像中总像素.

图 3 为飞机图像提取的边缘结果. 图 3(a)为测试图像, 图 3(b)—(e)分别为文献[3—5]与本文算法得到的结果. 依据图 3 可知, 本文算法提取的飞机边缘清晰, 飞机上携带的导弹以及机身上的字都较清楚, 提取的边缘连续性较好, 细节信息丰富; 文献[3]出现了一些虚弱边缘; 文献[4]提取的边缘在边缘拐角处容

易产生不连续等现象；文献[5]提取的边缘不仅有遗漏，而且得到了一些琐碎的细小边缘，未能完整表达图像的边缘轮廓信息.

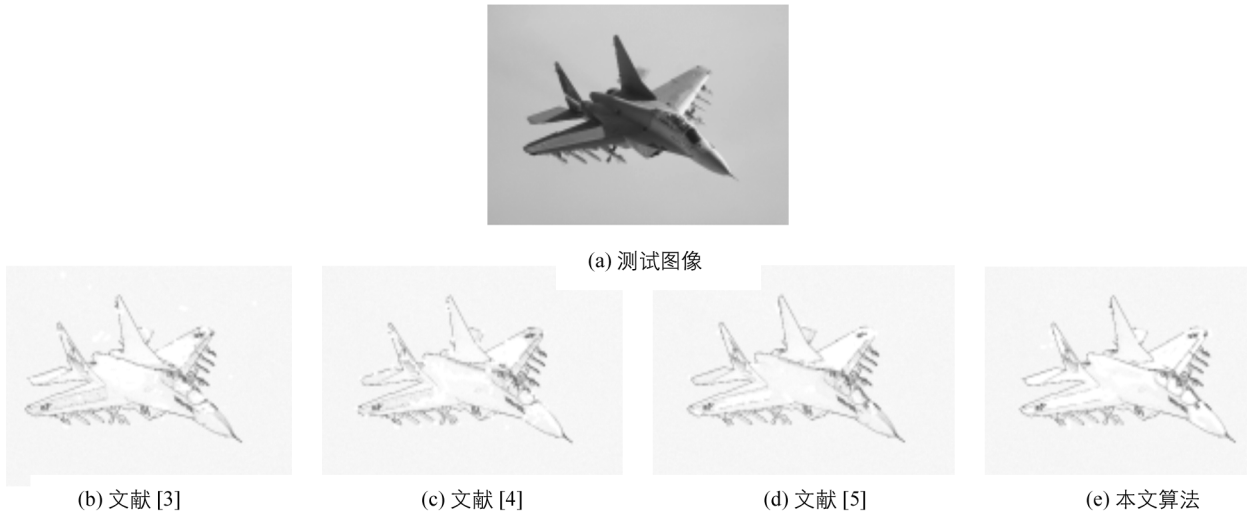


图 3 飞机图像边缘提取结果

图 4 为添加 20%椒盐噪声后的图像边缘提取结果. 图 4(a)为添加 20%椒盐噪声的测试图像；图 4(b)–(e)分别为文献[3–5]与本文算法获得的边缘. 根据图 4 可知，本文边缘提取算法能够清楚地检测和提取目标图像的边缘，算法具有一定的抗噪能力. 图 4(b)包含了大量的噪声. 图 4(c),(d)中得到的边缘含有一些噪声边缘，影响了边缘的定位精度，抗噪性能不佳，其中：图 4(c)中在边缘相交处出现间断，边缘的连续性和平滑性不好；图 4(d)中提取的边缘不够理想，含有一些虚假边缘.

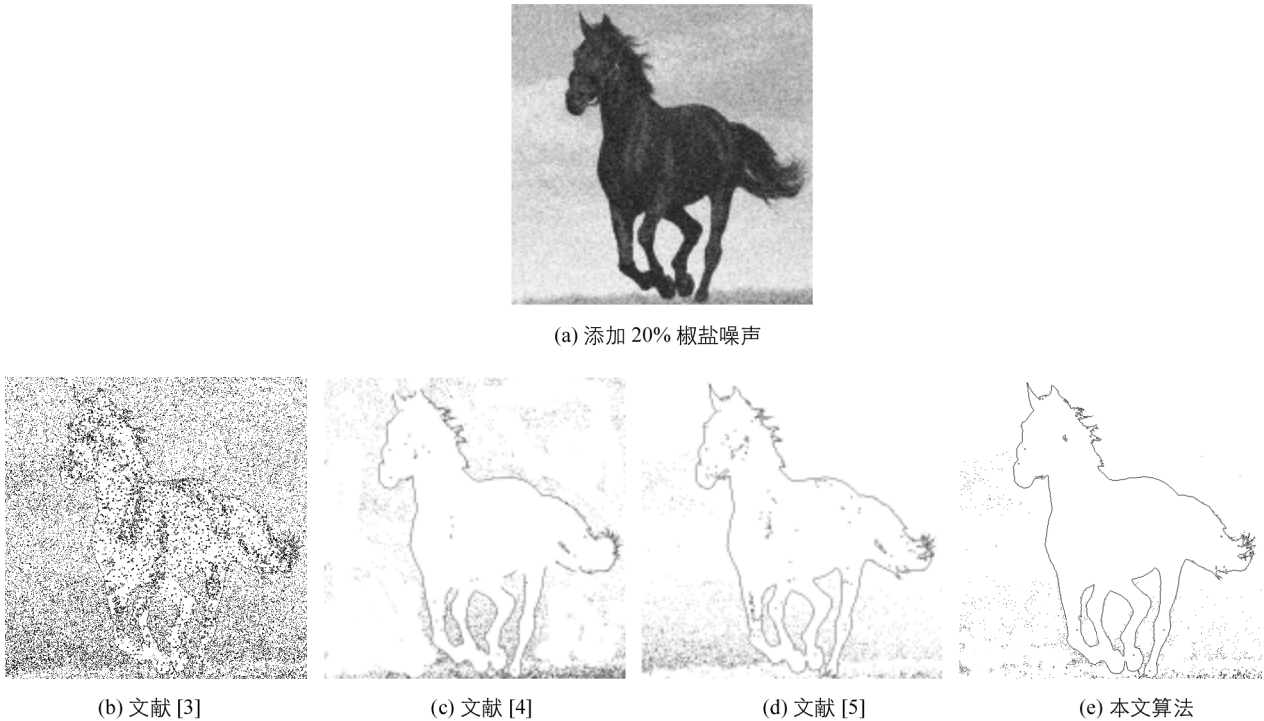


图 4 添加 20%椒盐噪声马儿图像边缘提取结果

为了进一步分析噪声对提出算法的影响，将马儿图像分别添加不同的椒盐噪声(10%，20%，…，90%)后进行边缘提取并利用评价指标品质因数与边缘连续性进行定量评价，得到的结果如图 5 与图 6 所示. 依据图 5,6 可知，本文提出的算法获得的品质因数曲线与边缘连续性曲线比对照组算法要高. 当

噪声密度增加时, 本文算法的品质因数与边缘连续性下降缓慢, 而其它算法下降迅速, 当椒盐噪声密度超过 20% 时, 品质因数曲线与边缘连续性趋于平坦, 而本文算法下降比较缓慢, 说明本文算法性能较稳定, 抗噪性能优异.

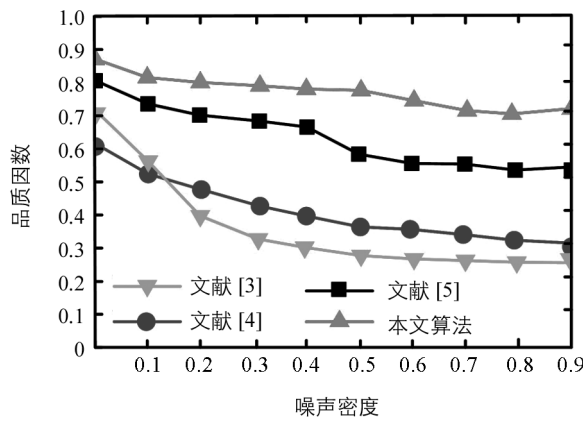


图 5 噪声密度-品质因数曲线

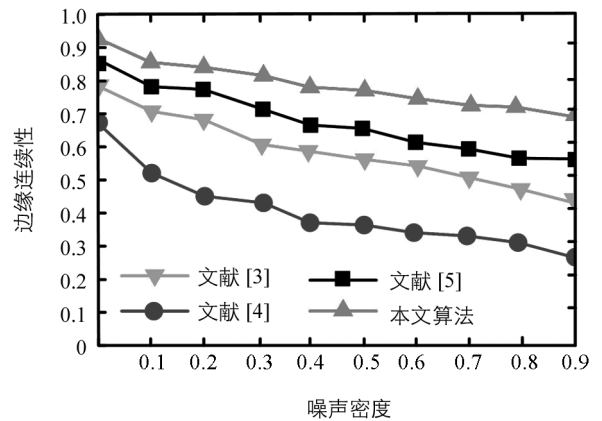


图 6 噪声密度-边缘连续性曲线

根据图 3—6 提取效果可直观看到, 本文边缘提取算法能够有效抑制过于细小和琐碎的细节, 边缘定位精度高且边缘平滑连贯, 能够准确地提取目标轮廓, 噪声抑制能力较强, 客观评价指标也较理想. 这主要是因为本文算法利用了分段阈值, 通过 ICA 优化算法计算选择了图像的最优阈值, 为了精确定位图像边缘, 消除噪声干扰, 根据最优阈值将每个图像子块分成不同的区域, 通过每个均匀区域的信息精确检测与判断边缘像素, 最终获得清晰连续的图像边缘. 而文献[3]算法中当噪声密度较大时, 提取的边缘效果不理想, 出现较多弱边缘. 文献[4]与文献[5]算法在低噪声密度时具有较好的性能, 但当噪声密度较大时性能下降较快, 其中文献[4]算法提取的边缘连续性不够理想, 边缘容易出现间断.

4 结 论

本文提出了一种基于 ICA 阈值优化耦合信息熵的边缘提取算法. 为了从每个图像子块的分段阈值中选择最优阈值, 通过帝国主义竞争优化算法, 利用 ICA 优异的收敛速度和全局优化性快速准确地计算图像的最优阈值, 根据获得的最优阈值将每个图像子块划分为不同的均匀区域, 为了提取精确连续平滑的边缘, 计算每个区域的信息熵并根据信息熵检测所有处于不同均匀区域的边界像素来提取边缘. 本文算法提取的边缘具有细节突出、定位准确、视觉感知良好等优点, 能够有效降低噪声影响, 获得连续完整的边缘图像.

参考文献:

[1] 王 珂, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 基于改进一维离散希尔伯特变换的图像边缘检测方法 [J]. 测绘学报, 2012, 41(3): 421—427.

[2] BISWAS R, SIL J. An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets [J]. Procedia Technol, 2012, 14(4): 820 - 824.

[3] 李俊山, 马 颖, 赵方舟. 改进的 Canny 图像边缘检测算法 [J]. 光子学报, 2011, 40(1): 50—54.

[4] SMITH S M, BRADY J M. SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing [J]. International Journal of Computer Vision, 2014, 23(1): 45—78.

[5] 张志龙, 杨卫平, 李吉成. 一种基于蚁群优化的显著边缘检测算法 [J]. 电子与信息学报, 2014, 36(9): 2061—2067.

[6] ATASHPAZ-GARGARI E, LUCAS C. Imperialist Competitive Algorithm; an Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition [C]. IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007. New York: IEEE Press, 2007: 4661—4667.

- [7] 王晓光, 赵春燕, 李 群. 基于帝国主义竞争算法的 WSNs 定位方案 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33(1): 42—46.
- [8] KIANI A, SAHEBI M R. Edge Detection Based on the Shannon Entropy by Piecewise Thresholding on Remote Sensing Images [J]. Computer Vision LET, 2015, 9(5): 758—768.
- [9] 吴泽鹏, 郭玲玲, 朱明超, 等. 结合图像信息熵和特征点的图像配准方法 [J]. 红外与激光工程, 2013, 42(10): 2846—2852.
- [10] WU H, MIAO Z, WANG Y, et al. Image Completion with Multi-Image Based on Entropy Reduction [J]. Neurocomputing, 2015, 159(12): 157—171.
- [11] 张 健, 何 坤, 郑秀清, 等. 基于蚁群优化的图像边缘检测算法 [J]. 计算机工程, 2011, 37(17): 191—193.
- [12] SHIH M Y, TSENG D C. Wavelet-Based Multiresolution Edge Detection and Tracking [J]. Image and Vision Computing, 2015, 23(4): 441—451.
- [13] 赵振兵, 金思新, 刘亚春. 基于 NSCT 的航拍绝缘子图像边缘提取方法 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(9): 2045—2052.

An Edge Extraction Algorithm Based on ICA Threshold Optimization and Information Entropy

GUO Jian¹, LI Zhi²

1. Department of Information and Technology of Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen Fujian 361012, China;

2. College of Computer Science and Technology, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: The traditional edge detection algorithm is characterized by noise sensitivity, difficult threshold selection, low edge sharpness, unsmooth edge and others. In order to solve such problems an edge detection algorithm based on ICA threshold and information entropy is proposed in this paper. Firstly, the image is divided into several sub-blocks based on the gray level distribution, and the segmentation threshold of each sub-block is calculated. Next, in order to select the appropriate threshold from a large number of segmented thresholds, the imperialist competitive optimization algorithm is introduced to calculate the optimal threshold value of the image. Then, each image sub-block is divided into different uniform regions according to the optimal threshold obtained. Finally, the information entropy of each region is calculated, and the edge pixels of all the regions in different uniform regions are detected, using the information entropy. Experimental results show that compared with the commonly used edge detection algorithms, the algorithm described herein has a higher quality factor and edge continuity, is able to suppress the too small and trivial details and highlight the effective edge information. The edge has good positioning accuracy and is smooth and coherent. Therefore, the new algorithm can accurately extract the contour of the target.

Key words: edge extraction; imperialist competitive algorithm; segmentation threshold; information entropy; gray-level distribution model; uniform region

责任编辑 张 构