

基于 Sobel 算子的图像快速二维最大熵阈值分割算法

李 锋 阚建霞

(江苏科技大学电子信息学院 镇江 212000)

摘 要 经典的二维最大熵阈值分割算法计算时间长, 贮存信息需要的空间大。针对这些问题, 在标准二维最大熵阈值分割算法的基础上, 提出了一种基于二维最大熵阈值递推的快速算法, 同时还将采用 Sobel 算子边缘检测得到的阈值应用到快速二维最大熵阈值分割算法中, 以此来解决图像中出现的细节丢失等问题。最后, 实验证明这种改进的算法通过运用递推公式将处理时间从原来的 $O(L^4)$ 减少到 $O(L^2)$, 不仅降低了计算的复杂性, 提高了效率, 同时也保护了细节信息。

关键词 二维最大熵算法, 快速递推, 边缘叠加, Sobel 算法, 图像分割

中图法分类号 TN911.73 文献标识码 A

Fast Two-dimensional Maximum Entropy Threshold Segmentation Method Based on Sobel Operator

LI Feng KAN Jian-xia

(College of Electronic Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212000, China)

Abstract The classic two-dimensional maximum entropy threshold segmentation algorithm takes a long time to compute and consumes large space to store information. To solve these problems, in this paper a fast threshold recursion method was proposed based on the standard two-dimensional maximum entropy threshold segmentation algorithm, at the same time, the threshold obtained by Sobel operator edge detection was applied to the fast threshold segmentation algorithm in order to solve the problem of the loss of details. Finally, the experiments show that this improved algorithm makes processing time reduce from $O(L^4)$ to $O(L^2)$ through the recursive formula. It not only reduces the complexity of the calculation, but also protects the details.

Keywords Two-dimensional maximum entropy algorithm, Fast recursive, Edge of stack, Sobel algorithm, Image segmentation

1 引言

图像分割是数字图像处理中的关键技术之一, 也是进一步对图像处理的基础。图像分割就是依据图像的特性把图像划分成若干个互不重叠的小区域^[1]。图像处理中的目标检测、识别和跟踪都要依靠图像分割的质量^[2]。目前为止, 图像分割算法的种类数已达千种, 但是在现有的图像分割算法中还没有一套完全适合于任何图像的分割算法, 它们都是针对一些具体的问题, 因此人们都在努力研究新算法, 提出新思路。依据分割方法的差异, 把图像分割法分为 3 种: 阈值分割法、边缘检测法和基于区域的分割方法。

阈值化^[4]是图像分割算法中一类重要技术, 其主要应用在二值化分割技术中。它利用图像中目标和背景的灰度差异进行分割, 通常可以取得一定的效果, 因其原理简单而具备较好的通用性, 目前依然是比较受欢迎的一类分割方法。在阈值法的研究中, 如何选择阈值是重点问题。本文使用基于二维最大熵的阈值选择算法对算法的计算效率进行了优化, 提高了运算速度。结合传统的 Sobel 算子, 实现了阈值分割。

2 Sobel 边缘检测算子

Sobel 算子是一种梯度算子, 它是从不同的方向来检测图像的边缘。Sobel 算子是边缘检测中最常见的算子之一, 它先是对邻域进行平均, 再进行一阶微分来检测出边缘。Sobel 算子主要是对水平方向边沿和垂直方向边沿检测, 分别用如下公式表示^[5]:

$$f_x'(x, y) = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \quad (1)$$

$$f_y'(x, y) = f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1) - 2f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \quad (2)$$

$$G[f(x, y)] = |f_x'(x, y)| + |f_y'(x, y)| \quad (3)$$

式中, $f_x'(x, y)$ 、 $f_y'(x, y)$ 分别表示 x 方向和 y 方向一阶微分, $G[f(x, y)]$ 表示梯度值。利用上面的式子求出梯度后, 可以设定一个常数 T , 当 $G[f(x, y)] > T$ 时, 其像素值为 0, 其他时候设置为 255, 可对 T 进行适当的调整以达到最佳效果。

3 二维最大熵阈值分割

相比一维最大熵阈值分割算法而言,二维最大熵阈值分割方法同时考虑了像素灰度信息和邻域空间信息,因而抗干扰能力较强。图像可看作是一个二维灰度函数,设其灰度级数为 L ,则邻域平均灰度也为 L 级。图像上的各个像素点的灰度值可用 $f(x, y)$ 表示,而邻域平均灰度值可表示为 $g(x, y)$,定义为^[7]:

$$g(x, y) = \frac{1}{k^2} \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-k}^k f(x+m, y+n) \quad (4)$$

用像素灰度值和邻域平均灰度值来表示图像,二维矢量 (S, T) 作为图像的分割阈值,然后二维阈值化函数定义为^[8]:

$$f_{s,t}(x, y) = \begin{cases} b_0, & \text{如果 } f(x, y) < S \text{ 且 } g(x, y) < T \\ b_1, & \text{如果 } f(x, y) \geq S \text{ 且 } g(x, y) \geq T \end{cases} \quad (5)$$

对于一幅用 (i, j) 来表示的图像,频度记为 $f_{i,j}$,其所对应的联合概率密度函数为:

$$p_{i,j} = \frac{f_{i,j}}{N \times M}, i=0, 1, 2, \dots, L-1, j=0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (6)$$

因此构成的二维灰度直方图如图 1 所示。

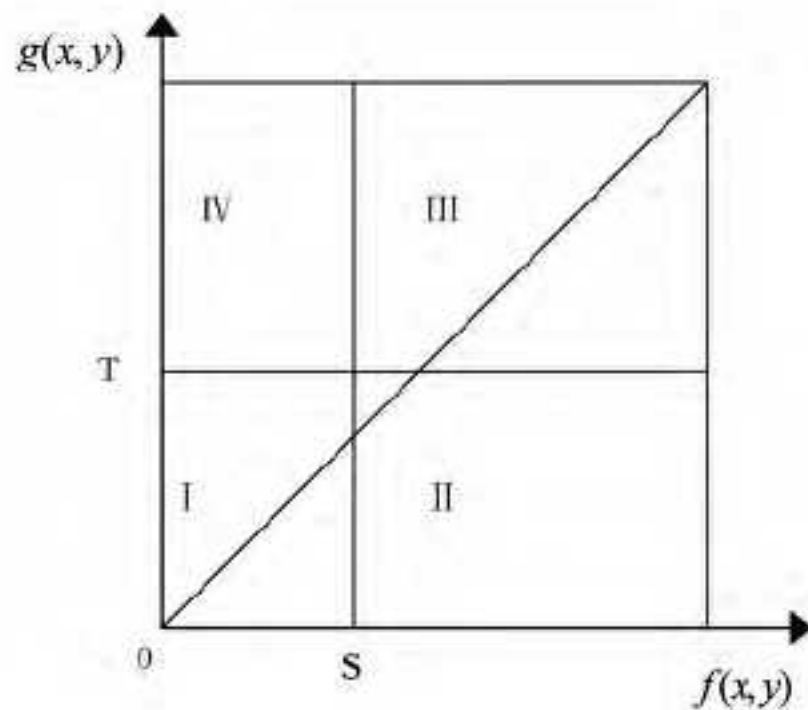


图 1 二维灰度直方图

从二维灰度直方图上看,用阈值 (S, T) 把图像分割成 4 个区域,沿对角线分布的 I 区和 III 区分别代表目标和背景,而远离对角线的 II 区和 IV 区分别代表噪声和边界,所以 I 区和 III 区是重点考虑区域。利用二维最大熵阈值分割算法确定最佳阈值,可以把目标和背景更好地区分出来。目标和背景的最优阈值可以由以下公式计算。

定义离散二维熵为:

$$H = - \sum_i \sum_j p_{i,j} \lg p_{i,j} \quad (7)$$

记目标和背景的总熵为 $H(s, t)$,则判别函数为:

$$H(s, t) = \lg[P_{st}(1-P_{st})] + H_{st}/P_{st} + (H_L - H_{st})/(1-P_{st}) \quad (8)$$

其中,

$$P_{st}(s, t) = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{i,j}$$

$$H_{st}(s, t) = - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{i,j} \lg p_{i,j}$$

$$H_L = - \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p_{i,j} \lg p_{i,j}$$

根据最大熵原理,最佳阈值满足:

$$H(S, T) = \max\{(s, t)\} \quad (9)$$

4 快速二维熵阈值方法

在上述二维熵阈值化方法中,计算 $H_I(s, t)$ 和 $H_{III}(s, t)$ 是主要部分,对于每一个 (s, t) 对,运算过程是一个 4 重循环,

需要花费 $O(L^4)$ 的计算量,耗时比较大。在实际运用中,为了能够提高运算速度,减少重复的操作,必须对二维最大熵进行进一步优化。

当计算 $H(s, t+1)$ 时,必须先计算 $P_{st}(s, t+1)$ 和 $H_{st}(s, t+1)$,如果每次都从 $i=1, j=1$ 开始计算,会造成大量的重复运算。而 $P_{st}(s, t+1)$ 和 $H_{st}(s, t+1)$ 也存在以下的递推公式^[9]:

$$\begin{aligned} P_{st}(s, t+1) &= \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t+1} p_{i,j} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{i,j} + \sum_{i=1}^s p_{i,t+1} \\ &= P_{st}(s, t) + P_s(t+1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} H_{st}(s, t+1) &= - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t+1} p_{i,j} \lg p_{i,j} \\ &= - \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{i,j} \lg p_{i,j} - \sum_{i=1}^s p_{i,t+1} \lg p_{i,t+1} \\ &= H_{st}(s, t) + H_s(t+1) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $P_s(t+1) = \sum_{i=1}^s p_{i,t+1}$; $H_s(t+1) = - \sum_{i=1}^s p_{i,t+1} \lg p_{i,t+1}$ 。

对于固定的 s ,当 t 取 $1 \sim L$ 时, $H(s, t)$ 无需重复计算了,但 s 同样也要从 1 取到 L ,而 $P_s(t+1)$ 和 $H_s(t+1)$ 仍然存在重复计算,因此也可以推导这两个的递推公式:

$$\begin{aligned} P_{s+1}(t+1) &= \sum_{i=1}^{s+1} p_{i,t+1} = \sum_{i=1}^s p_{i,t+1} + p_{s+1,t+1} \\ &= P_s(t+1) + p_{s+1,t+1} \\ H_{s+1}(t+1) &= - \sum_{i=1}^{s+1} p_{i,t+1} \lg p_{i,t+1} \\ &= - \sum_{i=1}^s p_{i,t+1} \lg p_{i,t+1} - p_{s+1,t+1} \lg p_{s+1,t+1} \\ &= H_s(t+1) - p_{s+1,t+1} \lg p_{s+1,t+1} \end{aligned} \quad (12)$$

5 Sobel 算子的快速二维熵分割算法

Sobel 算子能够检测出图像真正的边缘,将 Sobel 算子边缘检测获取的阈值应用到快速二维最大熵分割算法中。由于用二维最大熵阈值分割算法进行分割,获得的是图像的整体阈值,分割出来的效果不好。所以,我们根据图像的边缘信息,在它大部分背景进行整体阈值分割后,对分割效果不好的图像再进行局部阈值分割,使得整体阈值和局部阈值结合起来。

不管是图像的灰度值存在差别,还是图像的亮度或明或暗,总有一些目标在灰度不连续的位置上,而目标边缘可以通过边缘检测算子获得。因此,可以使用 Sobel 算子检测出图像的边缘,然后进行非极大值抑制噪声,最后结合快速二维最大熵分割算法进行图像分割^[10]。下面给出算法步骤:

(1) 首先用快速二维最大熵阈值分割算法计算出图像的整体分割阈值 (S, T) 。

(2) 然后用 Sobel 边缘检测算子得到图像的边缘。对目标边缘部分上的每一点进行极大噪声抑制,再对边缘图像取两次阈值 T_0 和 T_1 。可以把小于 T_0 的像素灰度值设为 0,得到图像 A_1 ,然后把阈值小于 T_2 的像素灰度值设为 0,得到图像 A_2 。图像 A_2 的阈值较高,除去了绝大部分的噪声,但同时也耗损了一些有效的边缘信息,而图像 A_1 的阈值较低,保存了图像较多的有效信息。在图像 A_2 的基础上,利用加法运算使图像 A_1 补充图像 A_2 的边缘信息。

(3) 最后在 S 不变的情况,利用上面求得的阈值 T_1 来对图像进行分割,得到结果图像。

6 实验结果

本文的实验是在 Matlab7.0 上完成的。为了说明本文算法的可靠性,基于上述方法对图像进行了仿真实验,分别将其

(下转第 220 页)

- [3] Niblack W. An Introduction to Digital Image Processing [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1986
- [4] Faugeras O D. Digital color image processing within the framework of a human visual model[OL]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/showciting?cid=277940>
- [5] Sapiro G, Caselles V. Histogram Modification via Differential Equations[J]. Journal of Differential Equations, 1997, 135(2): 238-268
- [6] Bockstein I M. Color equalization method and its application to color image processing[J]. Opt. Soc. Am. A, 1986, 3(5): 735-737
- [7] Ku Chhao-Chee, Wang Tsung-Ming. Luminance-Based Adaptive Color saturation Adjustment[J]. IEEE Transactions on Con-

sumer Electronics, 2005, 151(51): 939-945

- [8] Strickland R N, Kim C S, McDonnell W F. Digital color image enhancement based on the saturation component[J]. Optical Engineering, 1987, 6(7): 609-616
- [9] 谭乐怡, 王守觉. 一种基于高维形象几何理论的彩色图像增强算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(12): 214-215
- [10] Grigoryan A M, Jenkinson J, Agaian S S. Quaternion Fourier transform based alpha-rooting method for color image measurement and enhancement[J]. Signal Processing, 2015, 109: 269-289
- [11] Abdul G, Ahmad S, Mat Isa, et al. Underwater image quality enhancement through integrated color model with Rayleigh distribution[J]. Applied Soft Computing Journal, 2015, 27: 219-230

(上接第 210 页)

与 Sobel 算子和二维最大熵阈值分割算法作对比。结果显示, 采用 Sobel 算子分割图像, 使得图像的黑色和白色区域对比相当明显, 速度很快, 但也丢掉了一些有用的相关信息, 采用二维最大熵阈值分割速度较慢, 而采用本文新算法不仅比原算法速度快了 10 倍, 而且分割效果也比改进前的要好很多, 如图 2 所示。

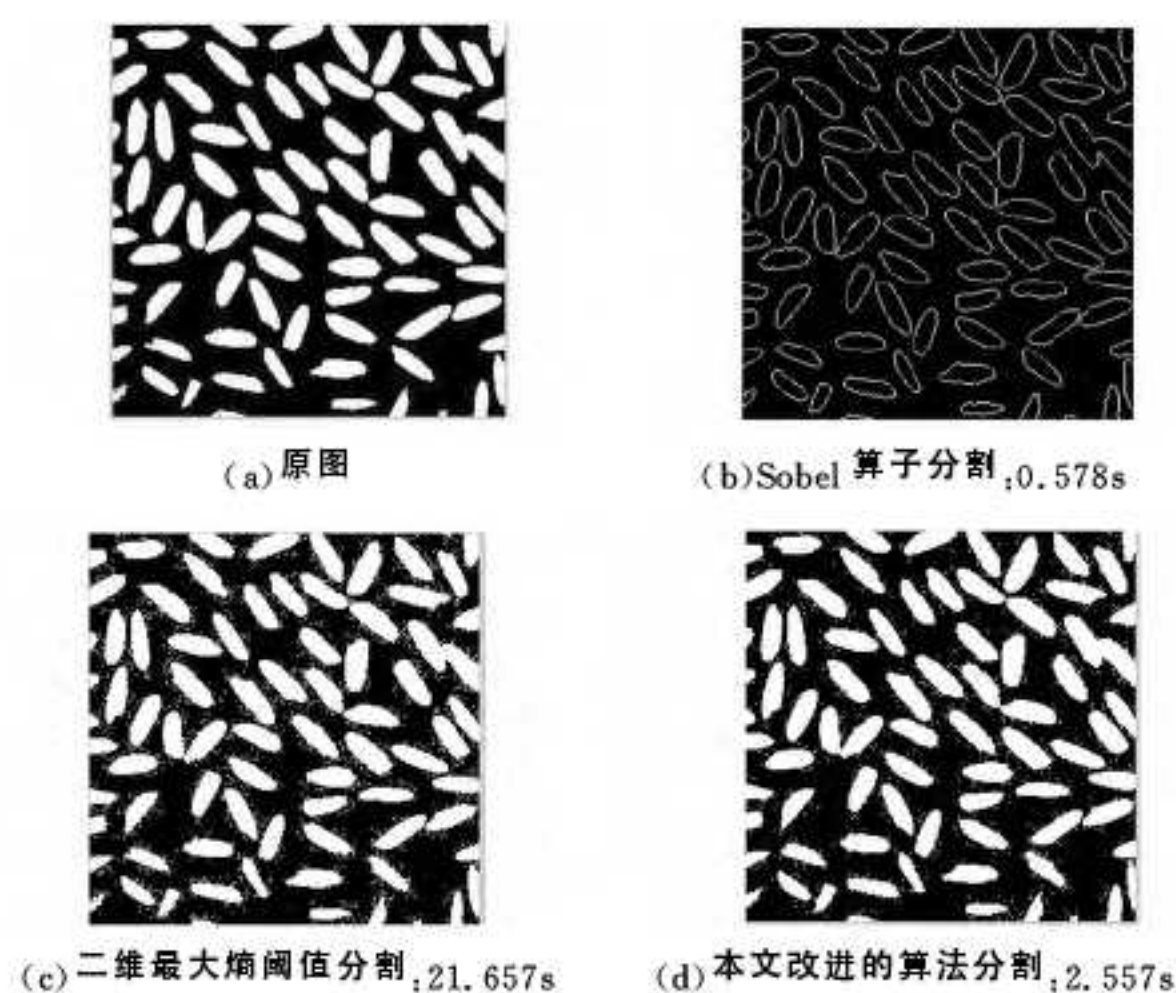


图 2 图像分割结果对比

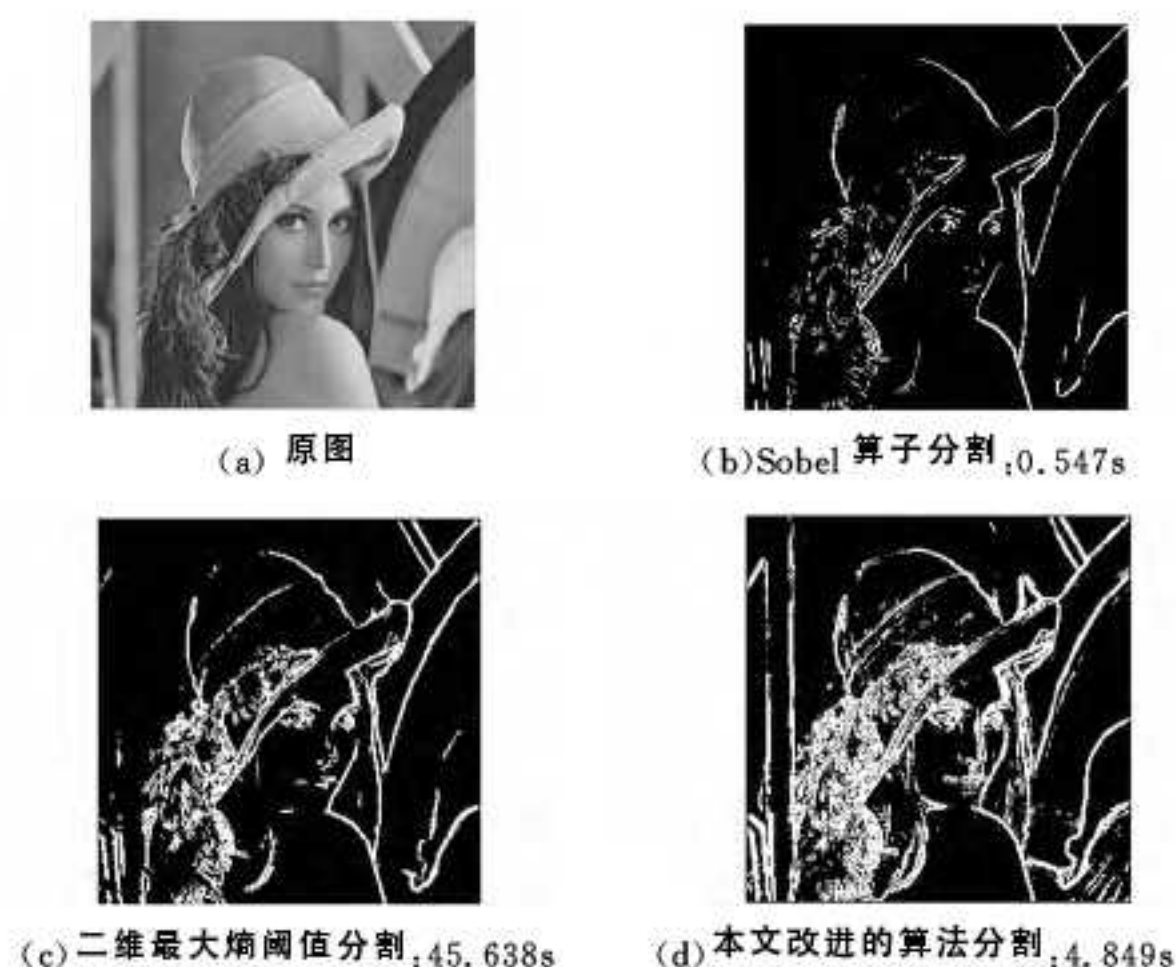


图 3 Lena 图像处理前后对比结果

图 2(a) 为原始米粒图像, 图 2(b) 是采用 Sobel 算子分割的图像, 图像的黑色和白色区域对比相当明显, 时间只用了 0.578s, 速度很快, 但也丢失掉了重要的相关细节信息, 图 2(c) 是采用二维最大熵阈值分割的结果, 细节信息比用 Sobel

算子分割的结果体现的多, 但时间用了 21.657s, 速度较慢, 图 2(d) 是采用本节介绍的改进的新算法分割图像结果, 时间花费是 2.557s, 比二维最大熵阈值分割的快了约 10 倍, 同时分割效果也比二维最大熵阈值分割的效果要好。

图 3 中, 图(a) 为原始的 Lena 图像, 图(b) 为 Sobel 算子处理后的图像, Lena 脸的大致轮廓出来了, 算法处理过程只用了 0.547s, 但缺失了很多的细节, 根本无法看清, 处理效果差, 图(c) 为二维最大熵阈值分割后的图像, Lena 图像比刚才用 Sobel 算子处理后的图像效果要好得多, 图像轮廓基本描绘出来了, 但用时比较多, 图(d) 是用本文提出的改进的新算法分割出来的图像, Lena 图像完全勾勒出来了, 细节信息也很明显, 用时是图(c) 的 1/10, 分割效果十分明显。

结束语 图像分割是图像处理领域的关键技术, 主要针对传统的图像分割算法复杂度高、计算时间长和分割精度不高的问题, 本文提出了一种基于 Sobel 算子的快速二维最大熵阈值分割算法, 并将其应用于实际图像分割中。仿真实验验证了本文算法具有极大的优越性, 值得推广。

参考文献

- [1] 唐占红, 兰聪花. 基于区域增长分割算法的医学图像重建[J]. 兰州工业高等专科学校学报, 2010, 15(5): 205-212
- [2] 李光耀. 图像阈值分割法和边缘检测法的研究和应用[J]. 信息通信, 2013, 4(4): 504-510
- [3] 牛晓颖, 夏立娅, 张晓瑜. K 均值和分层聚类法在大米产地鉴别中的应用[J]. 农机化研究, 2012, 34(6): 408-414
- [4] Koschan A, Abidi M, 章毓晋. 彩色数字图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010
- [5] 孙蔚, 王靖, 王波. 改进的 Sobel 算子彩色图像边缘检测[J]. 电子技术应用, 2013, 39(2): 391-398
- [6] 张红顺, 杨凯达, 等. 基于二维最大熵阈值的 SAR 图像分割算法[J]. 科技信息, 2012, 6(8): 301-306
- [7] Guo M Sh, Liu B H. 2-D maximum entropy method in image segmentation based on chaos genetic algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2008, 18(8): 101-104
- [8] Wu Y Q, Wu J M, Zhan B Ch. An effective method of threshold selection for small object image[J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(4): 469-475
- [9] Zhang X M, Zhang A L, Zheng Y B. Improved two-dimensional maximum entropy image thresholding and its fast recursive realization[J]. Computer Science, 2011, 38(8): 278-283
- [10] 章慧, 龚声蓉. 基于改进的 Sobel 算子最大熵图像分割研究[J]. 2011, 38(12): 278-281