

基于分水岭算法的作物病害叶片图像分割方法

任玉刚^{1,2*}, 张建¹, 李淼¹, 袁媛¹

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学信息科学技术学院, 合肥 230026)

(* 通信作者电子邮箱 ryg8610@mail.ustc.edu.cn)

摘要: 为了提高作物病害叶片图像分割的准确性, 采用了一种改进的基于标记的分水岭图像分割算法。首先, 通过对二值图像进行距离变换和分水岭分割来获取背景标记, 并通过提取数学形态学重建后的梯度图像中的区域极小值得到初步的前景标记, 接着对前景标记进行进一步过滤, 消除部分伪前景标记; 然后, 通过强制极小值方法将背景标记和前景标记叠加在梯度图像上; 最后, 对修改后的梯度图像进行分水岭变换。采用该方法对多幅黄瓜病害叶片进行图像分割, 实验结果表明: 该方法能够较好地 将病斑部分分割出来, 分割结果不受叶片纹理的干扰, 平均分割正确率能够达到 90% 以上, 具有一定的有效性和实用价值。

关键词: 分水岭算法; 标记; 数学形态学; 图像分割

中图分类号: TP751.1; TP391.41 **文献标志码:** A

Segmentation method for crop disease leaf images based on watershed algorithm

REN Yu-gang^{1,2*}, ZHANG Jian¹, LI Miao¹, YUAN Yuan¹

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei Anhui 230031, China;

2. School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230026, China)

Abstract: A new method based on watershed algorithm was proposed to raise the segmentation accuracy of the crop disease leaf images. At first, distance transformation and watershed segmentation were conducted on the binary crop disease leaf images to get the background marker, and the preliminary foreground markers were generated by extracting the regional minimum from the reconstructed gradient images, and then some fake foreground markers were eliminated by the further filter. In the next step, both background markers and foreground markers were imposed on the gradient image by the compulsive minimum algorithm. At last, the watershed transformation was carried out on the modified gradient image. Lots of cucumber disease leaf images were segmented effectively using the method. The results of experiment indicate that disease spots can be separated precisely from the crop leaf images. Additionally, the segmentation results are not influenced by leaf texture and its accuracy is up to more than 90 percent, so the method has certain validity and practical value.

Key words: watershed algorithm; marker; mathematical morphology; image segmentation

0 引言

在作物的农业生产中, 病害是影响作物产量的重要因素。农作物病害的发生, 不但降低了作物的使用价值, 更严重的甚至会导致作物大面积减产乃至绝收。因此, 农作物生长过程中病害的防治就成了一个关键问题。近些年来, 随着计算机数字图像处理技术和模式识别理论的发展, 使得在计算机上对作物病害进行智能化诊断成为了可能, 通过对作物病害叶片进行图像分割和模式识别, 系统能够客观、准确、迅速地 对病害进行诊断, 并返回病害的种类以及受害程度从而指导农业人员合理的采取防治措施。图像分割作为一个关键的阶段, 其效果直接影响着后期的特征提取和病害识别, 因此, 准确无误地分割出病害叶片上的病斑是至关重要的。2003 年, 田有文等^[1]提出了以 RGB 颜色空间图像为特征空间, 利用统计模式识别的 Fisher 线性判别函数进行作物病害彩色图像分割; 2008 年, 江苏大学的毛罕平等^[2]采用基于模糊 C 均值的聚类算法对棉花病害图像进行自适应分割, 取得了较好的分割效果; 2008 年, Meunkaewjinda 等^[3]开发了植物病害自动诊

断系统, 该系统利用优化遗传算法对病害叶片进行分割; 2009 年, Kurniawati 等^[4]开发了水稻病害诊断系统, 该系统使用局部熵阈值法和最大类间方差法 (OTSU) 等图像分割方法进行相关目标的分割。上述方法均能对相应的农作物病害叶片进行合理的分割, 但是也难免存在如下一些问题: 图像分割过程中需要设置许多复杂的参数, 这样就会造成分割的结果和当前所设置的参数密切相关, 从而导致针对不同叶片的分割结果不稳定。同时, 由于农作物病害叶片中存在细小的叶脉, 而叶脉由于和病斑部位对比不明显, 很容易被当作病斑而误分割出来。本文提出了一种改进的基于标记的分水岭分割算法, 通过对前景目标和背景进行标记, 能够很好地解决上述问题。

分水岭图像分割算法基于数学形态学^[5]理论, 其本质是一种区域增长算法, 和普通区域增长算法不同的是, 它是从图像中的局部极小值开始进行增长的。分水岭算法分割精度高, 算法简单易实现, 并且能产生单像素宽度的连续边界, 使得分水岭算法得到了极其广泛的应用^[6-10]。分水岭分割方法主要有两种算法描述, 一种是基于 Vincent 和 Soille^[11]提出

收稿日期: 2011-07-20; 修回日期: 2011-11-21。

作者简介: 任玉刚 (1986-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理、模式识别; 张建 (1954-), 男, 陕西延安人, 研究员, 主要研究方向: 人工智能、农业知识工程; 李淼 (1955-), 女, 安徽庐江人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 人工智能、农业知识工程; 袁媛 (1981-), 女, 安徽肥东人, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向: 农业知识工程、农业信息化。

的关于模拟浸没的算法描述; 另一种是基于 Meyer^[12] 提出的距离函数的算法描述。由于模拟浸没算法易于实现, 算法执行效率较高, 所以, 一般的水分水岭分割算法均是基于模拟浸没描述的。由于其对噪声比较敏感, 直接采用分水岭算法对病害叶片进行图像分割会造成严重的“过分割”现象^[13]。一种行之有效的办法是采用标记控制的方法来对梯度图进行重构, 让局部极小值只在标记出现的地方产生。一个标记是属于一幅图像的联通分量, 一般来说, 标记分内部标记和外部标记, 内部标记与重要对象相联系, 而外部标记与背景相联系。本文采用极小值标定技术来解决分水岭算法的过分割问题。

1 改进的基于标记的分水岭算法

基于标记的分水岭算法, 标记的选取直接影响到最终的分割效果。传统的基于标记的分水岭算法, 无法得到准确的前景标记和背景标记, 为了得到满意的分割效果, 本文提出一种改进的基于标记的分水岭算法。

由于作物病害叶片图像中部分背景和病斑对比不明显, 从而导致传统算法提取的前景标记中含有部分伪标记, 即部分背景点也被误当作前景标记。为了去除伪标记, 本文方法中根据颜色差异来对前景标记中的伪标记进行过滤。在提取背景标记阶段, 和传统算法对形态学重建后的灰度图像进行二值化操作不同, 本文直接对原图的红色通道采用最大类间方差法进行二值化, 然后对二值化后的图像进行欧氏距离变换和标准分水岭变换, 这样就在一定程度上避免了二值化过程中图像边缘信息的丢失, 从而能够得到更加完整的背景标记。为了解决分水岭算法的过分割问题, 采用极小值标定技术对原始梯度图像进行修改, 最后在修改后的梯度图像上采用标准分水岭算法, 从而得到最终的分割结果。本文算法的流程如图 1 所示。

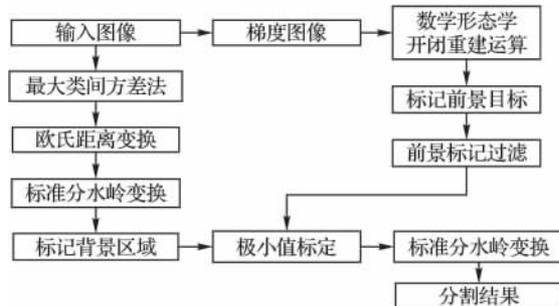


图 1 算法流程

1.1 数学形态学

数学形态学由一组形态学的代数运算算子组成, 它的基本运算有 4 个: 膨胀、腐蚀、开启和闭合。对于集合 A 和 B , A 被 B 膨胀定义为:

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

式(1) 是以得到 B 的相对于它自身原点的映像进行位移为基础的, A 被 B 膨胀是所有位移 z 的集合。

A 被 B 腐蚀定义为:

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2)$$

式(2) 表明, 使用 B 对 A 进行腐蚀就是所有 B 中包含于 A 中的点 z 的集合用 z 平移。

开启和闭合操作是由膨胀和腐蚀运算组合而成, 使用结构元素 B 对集合 A 进行开启操作就是先用 B 对 A 腐蚀, 然后再用 B 对结果进行膨胀运算, 而闭合操作则和开启操作的运算过程刚好相反, 即先进行膨胀运算再进行腐蚀运算。基于这些

基本运算还可推导和组合成各种数学形态学实用算法。

对于图像 $f(x, y)$ 结构元素 $b(x, y)$, 形态学梯度 $g(x, y)$ 的定义为:

$$g(x, y) = f(x, y) \oplus b(x, y) - f(x, y) \ominus b(x, y) \quad (3)$$

其中 \oplus 和 \ominus 分别表示形态学膨胀和腐蚀运算。由于圆盘结构算子具有各向同性, 可以消除梯度对边缘方向的依赖性, 对于农作物病害叶片图像来说, 选取圆盘结构算子来计算其形态学梯度比较合适。

1.2 前景标记的提取

前景标记的选择可以用基于灰度级值和连通性的简单过程分类, 更复杂的描述设计尺寸、形状、位置、相对距离和纹理内容等。针对农作物病害叶片图像的特点以及数学形态学的特性, 本文通过考虑像素的灰度级值和连通性来选取初始的前景标记。这些前景标记组成一幅二值标记图像, 所有这些前景标记应满足如下约束条件:

- 1) 标记外像素点的灰度级值都比标记内部的高;
- 2) 同一个标记中的像素点组成一个连通分量;
- 3) 同一个标记内部的像素点具有相同的灰度级值。

前景标记对应于图像中的区域极小值。对于形态学梯度图像, 由于其噪声和细小纹理依然存在, 如果直接对其进行前景标记提取, 则提取的标记中必然会含有一些伪极小值点。为了解决这个问题, 本文采用形态学开闭重建运算对形态学梯度图进行重建。由于重建运算是以形态学开启运算和闭合运算为基础的, 因此, 在重建后的梯度图像中, 其因噪声和图像细节所引起的局部极小值被消除, 而图像的显著对象信息却得以恢复。在重建后的梯度图上求取区域极小值, 所有的区域极小值点便组成了前景标记。

理论上来说, 前景标记应该选取在感兴趣的目标上面, 但是通过上述方法获得的前景标记会有一些的误差, 即部分背景点也被选取为前景标记, 这样就会影响分割结果。考虑到农作物病害叶片图像的特点, 本文对已求出的前景标记进行进一步处理, 根据色彩差异, 对出现在背景上的前景标记点进行过滤。和其他彩色模型相比, RGB 彩色模型能够更加准确地标识病斑部位和正常部位。由于黄瓜叶片的病斑部位和正常部位之间的颜色差异较大, 正常部位的颜色呈现为绿色, 而病斑部位的颜色多呈现为类似黄色, 在 RGB 彩色模型中, 这两类颜色最大的差异是红色分量所占的比例不同, 病斑部分红色分量所占的比例是最大的。相对于 HSI 彩色模型中的亮度、饱和度等指标, RGB 分量值能够更加直接地反映出二者之间的差别, 因此, 采用如下方法能够准确地过滤伪前景标记, 过滤方法如下: 设 $F(x, y)$ 代表原图, $f_{gm}(x, y)$ 代表初始前景标记图, 则按如下规则对 f_{gm} 进行修改:

$$f_{gm}(x, y) = \begin{cases} 0, & F(x, y) \cdot G = \max\{F(x, y) \cdot R, F(x, y) \cdot G, F(x, y) \cdot B\} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

其中: $F(x, y) \cdot R$ 、 $F(x, y) \cdot G$ 和 $F(x, y) \cdot B$ 分别表示原图 $F(x, y)$ 中像素点 (x, y) 处的 RGB 分量值。

通过上述公式对 f_{gm} 进行变换, 得到新的 f_{gm} 作为最终的前景标记图像。在新的前景标记图像中, 伪标记得到了有效地消除。

1.3 背景标记的提取

背景标记代表着一幅图像中除去感兴趣的前景目标之外的部分。一种常用的背景标记获取方法是, 首先对重建后的图

像采用最大类间方差法^[14]进行二值化,得到一幅二值化图像,接着对其进行欧氏距离变换,然后对距离变换的结果采用分水岭算法。

在二维图像中,对于任意两点 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ,欧氏距离变换的公式如下:

$$D[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5)$$

在本文中,对一幅二值图像 BW 进行欧氏距离变换将得到一幅灰度图像 G 。 G 的定义如下:

$$G(i, j) = \min\{D[(i, j), (x, y)] | (x, y) \in A\} \quad (6)$$

其中:

$$A = \{(x, y) | BW(x, y) = 1\} \quad (7)$$

上述定义表明,对于 BW 中的任一个像素,其在变换后的图像 G 中的灰度值为其到最近的非零像素点的欧氏距离。

通过对灰度图像 G 采用分水岭算法将会得到分水线,由于分水线上的点经过相邻标记之间的最高点,所以沿着分水线的点是很好的背景候选点。这些分水线便组成了背景标记。但是由于重建后的图像往往会丢失一些边缘信息,从而导致二值化图像的细节不完整,最终会影响求取的背景标记的精度,使得背景标记发生缺失现象。考虑到这一点,本文直接在原图上采用 OTSU 法对其 R 通道进行二值化图像,从而既保证了图像边缘信息的完整,又能得到精确的背景标记。

1.4 极小值标定

数学形态学极小值标定技术被用来修改原始梯度图像 ∇I_c ,利用上文中提取的前景标记和背景标记强制作为梯度图像的局部极小值,屏蔽掉原始梯度图像的所有局部极小值。这里假定 ∇I_c^{mark} 为最终的标记图像,那么 ∇I_c^{mark} 的定义为:

$$\nabla I_c^{mark} = \nabla I_c^{fmark} | \nabla I_c^{bmark} \quad (8)$$

其中: ∇I_c^{fmark} 为前景标记, ∇I_c^{bmark} 为背景标记。

修改后的梯度图像中,只有对应于二值标记图像 ∇I_c^{mark} 中为 1 的地方强制为局部极小值。修改后梯度图像用 ∇I_c^{WS} 代表,即:

$$\nabla I_c^{WS} = IMMIN(\nabla I_c | \nabla I_c^{mark}) \quad (9)$$

其中: $IMMIN(\cdot)$ 代表形态学极小值标定操作。分水岭算法在图像 ∇I_c^{WS} 上执行,最终得到理想的分割结果,记作 I^{WS} , $Watershed(\cdot)$ 代表标准分水岭运算,那么:

$$I^{WS} = Watershed(\nabla I_c^{WS}) \quad (10)$$

关于标准分水岭运算的详细过程,请参考文献[15]。

2 结果与分析

采用本文算法在 Matlab 编程环境下对多幅黄瓜病害叶片图像进行分割。首先,通过数学形态学方法来根据像素的灰度级值和连通性来提取初始的前景标记,接着对初始前景标记进行进一步过滤,去除伪前景标记;然后,采用最大类间方差法来二值化原始图像,通过距离变换和分水岭算法来获得背景标记;接着,通过极小值标定技术将前景标记和背景标记叠加在其梯度图上,使得区域极小值只能在标记出现的地方存在;最后,通过对修改后的梯度图使用标准分水岭算法,从而实现黄瓜病害叶片图像的正确分割。实验结果如图 2~5 所示。从图 2 可看出:本文方法比未作改进的方法在标记提取的精确度上有了很大的提高,除了消除了前景标记中容易存在的伪标记,还使得所求取的背景标记更加准确。图 3~5 是 3 组实验结果的对比,可以发现,改进之前的方法

产生了误分割,将叶片的纹理和病斑混淆在一起,而本文方法的分割结果则解决了上述问题,较好地分离出病斑部分。为了突出本文方法的优越性,还和图像分割中常用的迭代阈值法进行了实验对比,通过对比发现,迭代阈值法的分割结果不完整,部分病斑发生了缺失现象,而且分割结果中还存在许多由于噪声和细小纹理所导致的小斑点,而这些小斑点对于实际应用中实际上是意义不大的。实验结果说明,较之迭代阈值法,本文方法能够取得更加良好的分割效果,这说明了分水岭算法在农作物病害图像分割领域具有一定的优越性。

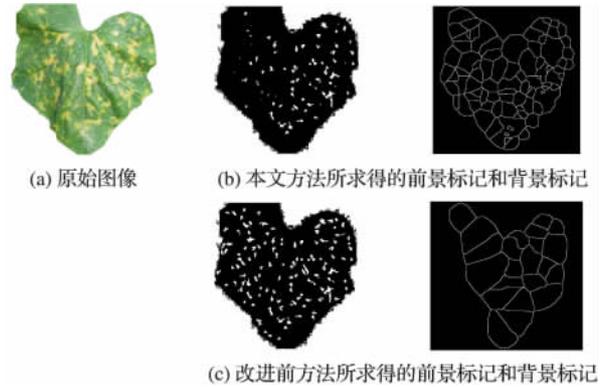


图 2 标记提取的结果对比

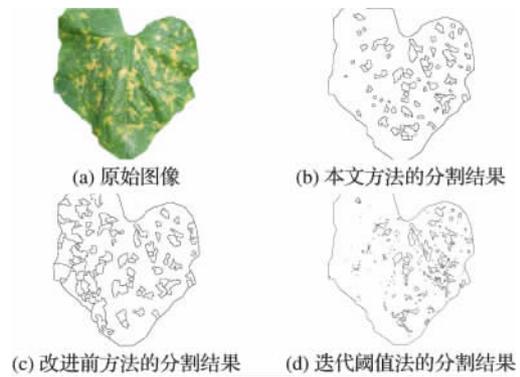


图 3 黄瓜病害叶片图像 1 分割结果对比

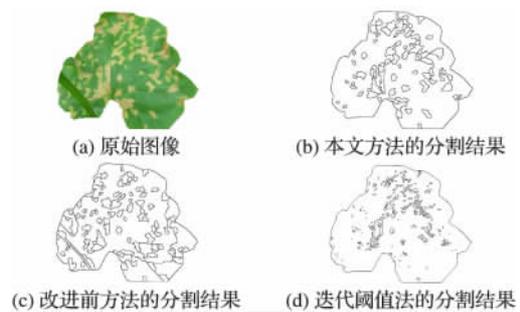


图 4 黄瓜病害叶片图像 2 分割结果对比

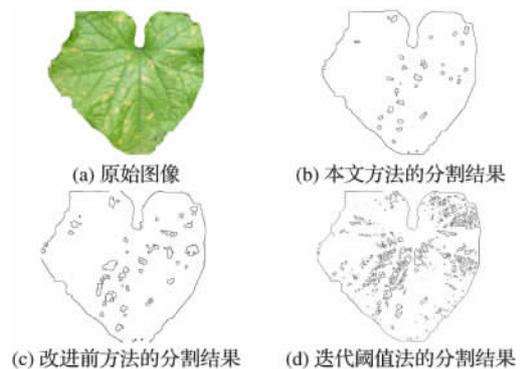


图 5 黄瓜病害叶片图像 3 分割结果对比

3 结语

为了改善农作物病害叶片图像的分割效果,提出了一种改进的基于标记的分水岭算法。通过对原始方法中前景标记和背景标记的提取过程进行改进,使得求取的标记更加精确完整,从而分水岭算法的分割结果也更加准确。实验结果表明,本文方法能够对农作物病害叶片图像进行准确的分割,平均误分割率低于10%,比其他图像分割方法具有更好的分割效果。

虽然本文方法在分割的准确性上取得了较好的效果,但是针对部分重叠病斑,本文方法难以将它们完全分离,下一步拟对其进行改进以解决此问题。

参考文献:

- [1] 田有文,李成华. 基于统计模式识别的植物病害彩色图像分割方法[J]. 沈阳农业大学学报,2003,34(4): 301-304.
- [2] 毛罕平,张艳诚,胡波. 基于模糊C均值聚类的作物病害叶片图像分割方法研究[J]. 农业工程学报,2008,24(9): 136-140.
- [3] MEUNKAWEJINDA A, KUMSAWAT P, ATTAKITMONGCOL K. Grape leaf disease detection from color imagery using hybrid intelligent system [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer Telecommunications and Information Technology. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 513-516.
- [4] KURNIAWATI N N, ABDULLAH S N H S, ABDULLAH S. Investigation on image processing techniques for diagnosing paddy diseases [C]// SOCPAR09: International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 272-277.
- [5] 才辉. 数学形态学连通性理论及应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.

- [6] 肖助明,冯月亮,李涛,等. 形态分水岭算法在重叠米粒图像分割中的应用[J]. 计算机工程与应用,2007,43(24): 196-199.
- [7] YOUNG N, EVANS A N. Median centred difference gradient operator and its application in watershed segmentation [J]. Electronics Letters,2011,47(3): 178-180.
- [8] CAI W, LEE J G, ZALIS M E, et al. Mosaic decomposition: an electronic cleansing method for inhomogeneously tagged regions in noncathartic CT colonography [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging,2011,30(3): 559-574.
- [9] 包振健,邱书灵. 一种基于分水岭变换的细胞图像分割方法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(4): 230-232.
- [10] 赵晨光,宋利伟,庄天戈. 基于分水岭区域差异性的多级图像分割[J]. 上海交通大学学报,2004,38(9): 1489-1491.
- [11] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1991,13(6): 583-598.
- [12] MEYER F. Topographic distance and watershed lines[J]. Mathematical Morphology and its Applications to Signal Processing,1994,38(1): 113-125.
- [13] 杨飞锋. 基于多层次浸没的分水岭算法[D]. 上海: 上海交通大学,2007.
- [14] A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics,1979,9(1): 62-66.
- [15] BEUCHER S, MEYER F. The morphological approach to segmentation: The watershed transformation [M]// DOUGHERTY E R. Mathematical Morphology in Image Processing. New York: Marcel Dekker, 1993.

(上接第751页)

5 结语

本文分析了全局向量值图像的分割方法,给出了一种新型凸性质变分形式及其快速计算方法。本文提出的新模型结合了众多原有模型优点(如凸性质),能真实地反映彩色图像边界的探测函数、对偶原理等特征。

本文方法不受初值选取影响,并从理论上证明了能量泛函达到了全局最小值,在数值计算上新算法稳定性高,并且计算过程中新模型引入了对偶原理,从而能够大幅度加快计算速度。

参考文献:

- [1] VESE L A, CHAN T F. A multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 50(3): 271-293.
- [2] CASELLES V, KIMMEL R, SAPIRO G. Geodesic active contours [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 22(1): 61-79.
- [3] HARALICK R M, SHAPIRO L G. Survey: Image segmentation techniques[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 29(1): 100-112.
- [4] BRESSON X, FSEDOGLU S, OSHER S. Fast global minimization of the active contour/snake model[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2007, 28(2): 151-167.
- [5] AMERINI I, BALLAN L, CALDELLI R, et al. Geometric tampering estimation by means of a SIFT-based forensic analysis [C]//

- Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 1702-1705.
- [6] AYED I B. Unsupervised variational image segmentation/classification using a Weibull observation model[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 11(15): 3431-3439.
- [7] SAPIRO G, ALTO P. Vector-valued active contours [C]// Proceedings of CVPR96. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1996: 680-685.
- [8] SAPIRO G. Color snakes[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1997, 68(2): 247-253.
- [9] CHAN T F, SANDBERG B Y, VESE L A. Active contours without edges for vector-valued images[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2000, 11(2): 130-141.
- [10] AUJOL J F, GILBOA G, CHAN T, et al. Structure-texture image decomposition — modeling, algorithms, and parameter selection [J]. International Journal of Computer Vision, 2006, 67(1): 55-92.
- [11] 高尚兵,严云洋. 基于期望最大化的水平集分割算法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(7): 2436-2438.
- [12] 肖春霞,初雨,张青. 高斯混合函数区域匹配引导的 Level Set 纹理图像分割[J]. 计算机学报, 2010, 33(7): 1295-1304.
- [13] 王琳娟,汪西莉. 一种基于区域竞争的水平集快速图像分割算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(10): 2628-2632.
- [14] 王怡,周明全,耿国华. 基于简化 Mumford-Shah 模型的水平集图像分割算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1848-1850.
- [15] 杨勇,徐春,潘伟民. 基于区域 GAC 模型的二值化水平集图像分割算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2414-2417.