

自然环境下重叠果实图像识别算法与试验

苗中华¹ 沈一筹¹ 王小华¹ 周小凤² 刘成良³

(1. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072; 2. 现代农装科技股份有限公司, 北京 100083;
3. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 针对非结构化自然环境中光照变化和对象重叠特征等外界因素给图像处理带来的难题,提出了一种自然环境下重叠果实的图像识别与边界分割的组合优化算法。该组合优化算法首先对原始图像进行噪声滤波处理,然后利用 Sobel 算子以及改进算子的最大类方差法(OTSU)来辨识重叠果实目标;接着采用 K-means 算法对重叠目标的像素进行聚类得到单个目标位置,再结合边缘检测结果的连通域分析及区域生长获得单个目标边界的大致区域;最后利用基于限制区域的分水岭算法,得到目标的精确边界。为了验证所提算法的有效性和适应性,进行了试验研究。试验结果表明:所提出的组合优化算法不仅可以在自然环境下从重叠物体图像背景中识别出重叠目标,而且还可以从重叠目标中分割出单个目标的精确边界。

关键词: 机器视觉; 重叠目标分割; 分水岭算法; 组合优化算法

中图分类号: TB137 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)06-0021-06

Image Recognition Algorithm and Experiment of Overlapped Fruits in Natural Environment

Miao Zhonghua¹ Shen Yichou¹ Wang Xiaohua¹ Zhou Xiaofeng² Liu Chengliang³

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China
2. Modern Agricultural Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China
3. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A combined algorithm for image recognition and boundary segmentation of overlapped objectives under natural and unstructured environments was proposed. The algorithm dealt with the challenging problem of image processing applied to the agriculture with complicated external factors, such as illumination changes in unstructured natural environment, objective feature overlapping. Firstly, the image noise on the original image received from the camera was filtered out using bilateral algorithm. Secondly, overlapped objectives in the filtered image were recognized by OTSU algorithm based on the improved operator. Then the single object position was obtained by using K-means clustering algorithm on the pixels of the overlapped objectives. Afterwards using Sobel operator or Canny operator, the approximate area of the single object was recognized by connected domain analysis on the edge detection results and the domain growth. Finally, after internal and external reception basins received from the area of the object, the position of the single object boundary was confirmed, the precise contour of the single object was obtained by using watershed algorithm on the restricted area which was the area between internal and external reception basins. In order to verify the effectiveness and applicability of the proposed algorithm, several experiments were carried out, and only two experiments were shown due to the limited space. The first experiment chose a relatively simple image with overlapped tomatoes under

收稿日期: 2015-12-10 修回日期: 2016-01-28

基金项目: 国家高技术发展研究计划(863计划)项目(2013AA102307)和上海市基础研究重点项目(12JC1404100)

作者简介: 苗中华(1977—),男,副教授,博士,主要从事机电装备智能控制理论及技术研究,E-mail: zhhmiao@shu.edu.cn

通信作者: 王小华(1979—),女,副教授,博士,主要从事图像处理技术与最优控制理论研究,E-mail: x.wang@shu.edu.cn

the simple image composition, the second experiment chose a complicated image to further verify the adaptability of the algorithm. The experimental results showed that the proposed algorithm can recognize the overlapped objectives under natural environments and it can also segment the single object from the overlapped objectives.

Key words: machine vision; overlapped objectives segmentation; watershed algorithm; combinatorial optimization algorithm

引言

农业领域中场景固有的非结构化特点给图像识别处理带来了巨大挑战^[1-3]。首先,自然环境是开放的不可控环境,光源强度、色温、照射方向等参数的动态变化会引起目标对象外观特征的不确定性^[4-5];再者,农业生产目标的特征重叠给图像分割处理带来了诸多困难。因此,自然环境下的重叠物体图像识别技术及分割算法是机器视觉在农业领域应用的研究热点和技术难点。

非结构化自然环境中光照变化和对象重叠等外界因素对图像质量及图像处理技术带来了诸多不利。国内外学者针对此热点问题进行了研究^[6-11]。从重叠目标提取单个目标时,近几年研究较多的做法是通过重叠目标的边缘结合拟合或者插值算法分割目标,如样条插值、曲率分析算法、回归圆算法、Hough 算法等^[6-10],但如需要分割重叠面积过大的目标时,基于边缘的分割算法将无法要求;如需要精确分割重叠目标时(如检测果实实时尺寸状态),拟合的方法无法确定目标区域大小。

针对上述问题,本文对自然环境下重叠果实图像处理技术中的重叠目标识别和边界精确分割算法开展研究。通过对现有图像处理算法中相关参数的改进(改进算子的 OTSU 算法^[12]、基于标签的 K-means 算法^[13]、基于限制区域的分水岭算法等),以及对上述算法的组合提出一种图像识别与边界分割算法,并且以重叠番茄图像作为目标进行试验研究,以验证所提算法的鲁棒性和有效性。

1 图像识别分割算法设计思路

相比结构化环境中得到的清晰图像,从自然开放性环境中获得的原始图像通常包含诸多环境噪声。对这类噪声图像进行处理时,除了遵循常规图像处理流程外,必须采用特殊的处理技术或者对相关算法加以改进才能从噪声背景中得到清晰目标。

经理论研究和试验分析,拟采用以下思路设计针对自然环境下重叠物体的图像识别与边界分割的优化算法。首先进行噪声滤波预处理,去除原始图像因硬件或其他原因造成的如椒盐噪点等这类噪声

干扰,并且还滤除了原始图像中的细小纹理,为图像准确识别提供基础。然后利用 Sobel 算子或 Canny 算子对滤波预处理后的图像进行边缘检测,得到包含背景和重叠目标的黑白图像。此时经过 Sobel 算子或 Canny 算子运算后的边缘检测结果包含许多非目标边缘,为了获得只属于重叠目标的清晰边缘,提出了一系列算法确定目标边界。首先,通过改进算子的最大类方差法(OTSU)来辨识出重叠物体目标;接着采用 K-means 聚类算法,并且限定在重叠目标的像素区域进行聚类,提取图像中的高亮部分来确定单个目标位置,再结合先前的边缘检测结果进行连通域分析及区域生长,得到单个目标边界的大致区域;最后对单个目标边界的大致区域进行分水岭算法,得到目标的精确边界。

基于上述思想的图像识别与边界分割算法的流程如图 1 所示。

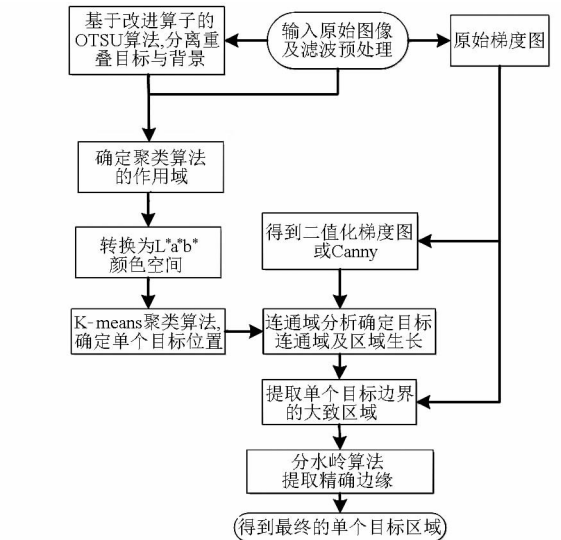


图 1 图像识别与边界分割算法流程图
Fig.1 Flowchart of image recognition and boundary segmentation algorithm

2 图像识别分割算法设计方法

图像识别与分割算法设计包含 4 个步骤:①噪声滤波。②从背景中分离出重叠目标。③从重叠目标中确定单个目标的大致边界。④利用分水岭算法得到单个目标的清晰边界。

2.1 噪声滤波预处理

原始图像是由 HDR 摄像头在自然环境中获取的,自然光线条件下,因绿叶、树干、泥土、阴影、高光和果实上的细小纹理等因素使得原始图像质量较差,为了提高原始图像质量,必须进行图像滤波以消除噪声。常用的滤波算法有均值滤波法、高斯滤波法、双边滤波法等,但考虑到滤波后要保证目标边界信息的完整性,因此,选择具有非迭代性和独特边缘保留特征的双边滤波算法^[14]进行噪声滤除。双边滤波算法是由高斯滤波改进而来的,其输出像素值依赖于邻域像素值的加权组合,以 2 个点 $q(i,j)$ 和 $p(k,l)$ 为例,其权值为

$$\omega(p,q) = \exp\left(-\frac{d^2(p,q)}{2\sigma_d^2} - \frac{\|Y_p - Y_q\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (1)$$

式中 $d(p,q)$ —— p 点与 q 点间的欧几里德距离
 $Y_p - Y_q$ 表示 p 点与 q 点的亮度之差。
对于 RGB 三通道图像,即
 $\|Y_p - Y_q\|^2 = (R_p - R_q)^2 + (G_p - G_q)^2 + (B_p - B_q)^2$
最后通过

$$p(i,j) = \frac{\sum_{k,l} q(k,l)\omega(p,q)}{\sum_{k,l} \omega(p,q)}$$

式中 $q(k,l)$ ——以点 $p(i,j)$ 为中心的邻域内点
计算各点像素值。试验中, σ_d 取 20, σ_r 取 40。
以重叠番茄为例,运用双边滤波算法进行背景滤波,效果如图 2 所示。



图 2 自然环境下目标番茄图像背景滤波
Fig. 2 Image background filtering of objective tomato in natural environment

从图 2 可看出,经过双边滤波后的重叠目标更加圆滑而重叠目标的边界甚至目标之间的界线也保留得很完整,很清晰。

2.2 基于改进算子的 OTSU 算法

在进行图像分割时,因为目标和背景存在一定程度上的色差,所以通常利用 RGB 空间里的颜色作为识别目标的主要特征。以图 2 所示的番茄目标识别为例,由于在背景中只有番茄是红色的,所以选红色(即 R 通道)作为运算重点。

最大类间方差法(OTSU 算法)是被广泛用来进行图像分割的有效方法,其基本原理是^[15]:找到某个值把一个区间分割为 2 个,使 2 个区间之间的方差最大,便认为 2 个区间的区别最大。本文提出一

种基于新改进算子的 OTSU 用来分离目标与背景,改进算子定义为

$$C_A = \begin{cases} \frac{2R - G - B + 510}{4} & (R < 250) \\ R & (R \geq 250 \text{ 且 } |G - B| < T) \end{cases} \quad (2)$$

式中 C_A ——改进的色差算子
 R —— R 通道值 G —— G 通道值
 B —— B 通道值
 T —— G 通道与 B 通道的差值阈值

此算子对番茄的识别率极高。 T 取值 6 ~ 10, T 的作用主要用来区别目标上的高光与背景光, C_A 值被控制在 0 ~ 255 之间,灰度图中每一点的像素值由 C_A 值代替。

2.3 基于标签的 K-means 目标分割原理

基于 $L^*a^*b^*$ 或 HSV 颜色空间下的 K-means 算法是比较流行的分割算法^[16-17]。试验研究发现:该算法可以很好地从重叠目标中分离出单个目标,但在分离背景时无法准确得到重叠目标(图 3),因此该算法无法适应自然环境复杂条件下的背景分割。

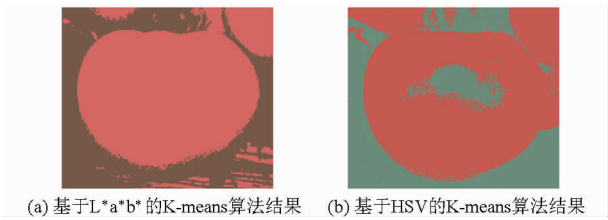


图 3 无标签 K-means 算法结果

Fig. 3 Results of non-labels K-means algorithm

然而,虽然基于 $L^*a^*b^*$ 或 HSV 颜色空间下 K-means 算法无法适应自然环境的复杂度,但可以用来在分离重叠目标后再分离单个目标。在使用此算法时因为自然光使目标重叠部分与目标其他部分亮度上有很大差异,重叠部分更暗,所以转换为 $L^*a^*b^*$ 颜色空间可以更好地用来识别单个物体^[18]。

基于改进算子的 OTSU 算法结果得到之后,可以用于标记 K-means 的作用区域,被标记的区域可以认为是此算法的标签,只有属于目标的像素会进行标记并进行聚类,即

$$D = M \cap O \quad (3)$$

式中 D ——聚类算法的输入
 M ——OTSU 的结果
 O ——原始图像

为了满足对光线的敏感度,被标记的部分将转换至 $L^*a^*b^*$ 空间进行算法操作,基于此标签的 K-means 算法可得到目标的位置并且可进一步滤除由 OTSU 算法所得结果中混入的背景因素误差。

基于标签的 K-means 算法的大致聚类步骤如下:

(1) 随机在标签中取 K 个样本点作为聚类中心 $\bar{m}_i (i=1, 2, \dots, K)$ 。

(2) 计算每个标签 $p_j (j=1, 2, \dots, n)$ 到每个聚类中心 $\bar{m}_i (i=1, 2, \dots, K)$ 的欧几里德距离 $d(i, j) = \sqrt{|p_j - \bar{m}_i|^2}$ 。

(3) 基于距离的最小值 $\min(d(i, j))$ 来进行分类。

(4) 再一次计算聚类中心 $\bar{m}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j_i=1}^{n_i} p_{j_i} (i=1, 2, \dots, K)$ 。

(5) 计算总的标签点与聚类中心的方差 $E(t) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} d^2(p_j, m_i)$, 并且与上次聚类方差总数进行比较, 只有当满足 $E(t) - E(t-1) < 0$ 时, 返回步骤 (2) 继续, 否则结束聚类。

上述聚类算法所得到的连通域区域信息是被识别目标的受光面, 使用受光面区分重叠目标可以大大减少因目标边缘模糊所产生的误差。边缘探测算子可以用来进行连通域分析, 通过 Canny 算子或 Sobel 算子把区域分割并标记为 $x=1, 2, \dots, n$, 区域标记相同的连通域属于同一目标。因此, 进行区域分割并标记后, 当某一标记连通域大于阈值 T_n 的结果就是候选的识别目标, 这种区域标记可以用于确定分水岭算法的作用区域。

2.4 基于限制区域的分水岭算法

分水岭算法因其高可靠性和准确性得到广泛使用, 但由于噪声和细小纹理而产生的非目标区域会一起被分割, 因此, 过分割是分水岭算法中经常遇到的并且需要克服的问题^[19]。

为了解决过分割问题, 标签通常被用来定义目标分割区域, 每个区域代表一个连通域^[20-21]。滤除细小的连通域是解决分水岭算法过分割的主要手段, 对传统分水岭算法进行改进的基本思想是在保留边界完整性的前提下, 降低分割区域的数量和图像的复杂度, 只保留能够进行识别的连通域。

改进的分水岭算法通常基于连通域分析和改进梯度图。为了确定分水岭算法的作用区域, 需要确定目标边界的大致位置, 通过区域生长确定边界就必须减弱区域生长步骤的复杂度。因此, 先将原始梯度图转换为二值图, 如图 4b 所示, 然后选取候选区域作为种子区域进行生长, 而不是直接对原始梯度图进行连通域分析, 这样对连通域的判断会更加准确。

基于形态学算子, 可以更精确地确定目标位置。首先对种子区域, 即 K-means 算法得到的连通域, 如图 4a 所示进行闭运算并且根据二值化后的梯度图

进行生长和分析, 结果如图 4c 所示, 然后再分别对生长后的区域做腐蚀和膨胀 (通常膨胀次数需大于腐蚀次数)。两者相减就确定了一个相对更小的区域, 单个目标的边缘就位于该区域内。因此, 称这个方法是基于限制区域的分水岭算法。

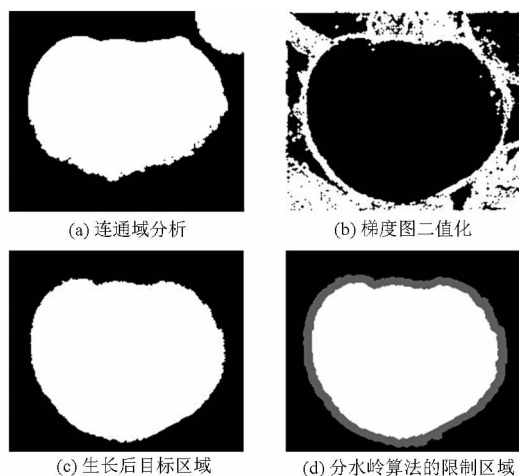


图 4 分水岭算法限制区域求取过程

Fig. 4 Process of receiving restricted area by watershed algorithm

如图 4d 所示, 粗糙的限制区域可以用来改进梯度图, 黑色部分为外集水盆, 白色部分为内集水盆, 梯度图只留灰色部分, 大部分非目标边界的梯度信息都被滤除, 通过水位的不断提高, 外集水盆逐渐接近目标边界, 内集水盆逐渐接近目标边界, 2 个集水盆相遇的位置就是目标边界。

3 试验与算法验证

3.1 试验环境

试验环境搭建采用大恒水星的摄像头 (Daheng MER 500-7UC-L, 800 万像素, 帧率为 7 帧/s) 和一台 HP 便携式计算机 (CPU 为 Intel Core i5), Windows 7 操作系统, 编译环境是 VS 2010。程序由 C 语言编译, 算法具有很强的可靠性和移植性。

3.2 算法验证

本试验以重叠番茄图片为试验对象, 所有原始番茄图像均为随机角度在自然环境中的随机拍摄, 时间选取在白天, 天气多以晴天和多云为主, 光源强度、色温、照射方向等参数均以当时自然光的光照条件决定, 并且摄像头设置为自动白平衡以模拟实际作业场景。试验时, 摄像头视距需要保持在能够看清番茄表面的距离内, 大约控制在 10 ~ 50 cm 即可。

试验目标是从重叠番茄图像中提取单个番茄目标的清晰边界。算法共设计 3 个步骤: 首先滤除背景, 然后从背景中分离重叠番茄, 并确定单个番茄的大致边界, 最后利用分水岭算法得到单个番茄目标的清晰边界。为了验证算法的适应性, 通过 2 次在

(2)提出了基于RGB空间下改进改进算子的OTSU算法能够适应真实环境中的番茄,并满足检测速度。

(3)对分水岭算法进行改进,让分水岭算法只作用在含有目标边界的限制区域内可以避免边界的过分割问题,以此得到目标的准确边界。

(4)所提出的方法中包含多个算法的组合,但每个算法都是为了下一个算法的优化和简化,避免过多的冗余数据。虽然在分割重叠目标时对环境中的自然光有一定的依赖性,并且无法对被遮挡部分进行识别,但是通过现场试验证明,在良好的自然光条件下,算法对未被遮挡的目标识别效果较好。

参 考 文 献

- 1 PASTRANA J C, RATH T. Novel image processing approach for solving the overlapping problem in agriculture[J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(1):106-115.
- 2 孟庆宽,何洁,仇瑞承,等. 基于机器视觉的自然环境下作物行识别与航线提取[J]. 光学学报, 2014, 7(7):172-178.
MENG Qingkuan, HE Jie, QIU Ruicheng, et al. Crop recognition and navigation line detection in natural environment based on machine vision[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 7(7):172-178. (in Chinese)
- 3 STEWART B, TIAN J. Machine vision weed density estimation for real-time outdoor lighting conditions [J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(6):1897-1909.
- 4 HERNÁNDEZ-RABADÁN D L, GUERRERO J, RAMOS-QUINTANA F. Method for segmenting tomato plants in uncontrolled environments[J]. Engineering, 2012, 4(10):599-606.
- 5 HUANG Lvwen, HE Dongjian, YANG S X. Segmentation on ripe Fuji apple with fuzzy 2D entropy based on 2D histogram and GA optimization[J]. Intelligent Automation & Soft Computing, 2013, 19(3):239-251.
- 6 曾庆兵,刘成良,苗玉彬,等. 基于形态学图像处理的重叠葡萄果径无损测量[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9):356-360.
ZENG Qingbing, LIU Chengliang, MIAO Yubin, et al. Non-destructive measurement of diameter of overlapping grape fruit based on morphological image processing[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9):356-360. (in Chinese)
- 7 谢忠红,姬长英,郭小清,等. 基于凹点搜索的重叠果实定位检测算法研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12):191-196.
XIE Zhonghong, JI Changying, GUO Xiaqing, et al. Detection and location algorithm for overlapped fruits based on concave spots searching[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12):191-196. (in Chinese)
- 8 崔永杰,苏帅,王霞霞,等. 基于机器视觉的自然环境中猕猴桃识别与特征提取[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5):247-252.
CUI Yongjie, SU Shuai, WANG Xiaxia, et al. Recognition and feature extraction of kiwifruit in natural environment based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):247-252. (in Chinese)
- 9 项荣,应义斌,蒋焕煜,等. 基于边缘曲率分析的重叠番茄识别[J]. 农业机械学报, 2012, 43(3):157-162.
XIANG Rong, YING Yibin, JIANG Huanyu, et al. Recognition of overlapping tomatoes based on edge curvature analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3):157-162. (in Chinese)
- 10 马晓丹,刘刚,周薇,等. 基于量子遗传模糊神经网络的苹果果实识别[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12):227-232,251.
MA Xiaodan, LIU Gang, ZHOU Wei, et al. Apple recognition based on fuzzy neural network and quantum genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(12):227-232,251. (in Chinese)
- 11 彭辉,吴鹏飞,翟瑞芳,等. 基于视差图像的重叠果实图像分割算法[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6):167-173.
PENG Hui, WU Pengfei, ZHAI Ruifang, et al. Image segmentation algorithm for overlapping fruits based on disparity map[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6):167-173. (in Chinese)
- 12 齐丽娜,张博,王战凯. 最大类间方差法在图像处理中的应用[J]. 无线电工程, 2006, 36(7):25-26,44.
QI Li'na, ZHANG Bo, WANG Zhankai. Application of the OTSU method in image processing[J]. Radio Engineering of China, 2006, 36(7):25-26,44. (in Chinese)
- 13 PHAM V H, LEE B R. An image segmentation approach for fruit defect detection using K-means clustering and graph-based algorithm[J]. Vietnam Journal of Computer Science, 2015, 2(1):25-33.
- 14 TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral filtering for gray and color images ICCV[C]//Proceedings of the 1998 6th International Conference on Computer Vision, 1998:839-846.
- 15 郭建星,刘松林,倪丽,等. 一种改进的基于最大类间方差的图像分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(增刊1):665-666.
GUO Jianxin, LIU Songlin, NI Li, et al. An improved image segmentation algorithm based on the Otsu method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(Suppl. 1):665-666. (in Chinese)
- 16 RAY S, TURI R C. Determination of number of clusters in K-means clustering and application in color image segmentation[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Pattern Recognition and Digital Techniques(ICAPRDT'99), 1999.
- 17 DUBEY S R, DIXIT P, SINGH N, et al. Infected fruit part detection using K-means clustering segmentation technique[J]. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 2013, 2(2):65-72.
- 18 YIN H, CHAI Y, YANG S X, et al. Ripe tomato extraction for a harvesting robotic system[C]//IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2009:2984-2989.
- 19 MALPICA N, ORTUÑO J E, SANTOS A. A multichannel watershed-based algorithm for supervised texture segmentation[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(2):1545-1554.
- 20 ZHANG C, ZHANG S, WU J, et al. An improved watershed algorithm for color image segmentation[C]//2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, 2012:69-72.
- 21 LI Deren, ZHANG Guifeng, WU Zhaocong, et al. An edge embedded marker-based watershed algorithm for high spatial resolution remote sensing image segmentation. [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(10):2781-2787.