

田间枣树叶片复杂目标图像综合分割方法*

董金勇 王建仑 李道亮 何建磊 王永彬

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

【摘要】 设计了一种复杂图像分割的综合算法。首先对图像进行预处理,锁定大致目标范围,对图像进行增强,再基于阈值分割和 Canny 算子对图像进行初步分割。然后结合形态学处理方法及各种逻辑运算对分割结果进行优化处理,得到精确完整的目标图像。以田间枣树叶片图像为例进行实验,证明了该算法的可行性和有效性。该算法对叶片重叠、叶片灰度不均匀等复杂图像都有很好的分割效果,获得了边缘清晰、平滑、定位精确的边缘图像。

关键词: 枣树叶片 田间图像 阈值分割 Canny 算子 形态学

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)01-0165-06

Complex Target Image of Field Jujube Leaf Segmentation Based on Integrated Technology

Dong Jinyong Wang Jianlun Li Daoliang He Jianlei Wang Yongbin

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

To segment the complex target image, an algorithm based on integrated technology was proposed. First, the image was preprocessed to find the target area and have the image enhanced. Second, the target area was segmented by threshold and Canny operator, some raw results were acquired. Finally, in order to get the precise and complete target image, the optimizing process of the algorithm was made with morphological methods and logical calculation. Experimental results of field jujube leaf image showed that this algorithm was feasible and effective. This algorithm had a great advantage in complex leaf image which contains overlap leaves and uneven gray scale. The clear, smooth, precise edge image could be obtained.

Key words Jujube leaf, Field image, Threshold segmentation, Canny operator, Morphological methods

引言

以往对于植物叶片的图像分割,大都是基于简单背景的图像分割^[1~5]。即先将叶片采摘下来,在实验室单一背景环境下进行拍摄。由于背景颜色单一,这类图像的分割方法多种多样,阈值分割是最为简单有效的方法^[1~3]。常用的边缘检测算子也可得到较好的分割效果^[1]。对于一些病虫害叶片图像,基于模糊聚类的分割可以取得较好的效果^[4~5]。但

这种方式需要把叶片采摘回实验室拍摄,为破坏性实验。

近年来也有一些基于田间图像的分割研究^[6~11],如通过彩色图像分割来计算玉米的叶面积指数^[6],通过颜色特征与多层同质性特征区分杂草和小麦^[7]等。这些分割方法都有很大的局限性:只能分割前景和背景颜色差异比较大的图像,如前景为绿色,背景为土地^[6],或只能根据形状特征大致分开两类不同的目标^[7],或只能粗略地分开两个较

收稿日期: 2010-04-08 修回日期: 2010-06-07

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD36B01-04)

作者简介: 董金勇,硕士生,主要从事图像处理、图像分析研究,E-mail: dongjinyong8499@163.com

通讯作者: 王建仑,副教授,主要从事图像处理、图像分析研究,E-mail: wangjianlun@cau.edu.cn

大的目标,而不能精确获取每个目标的完整边缘^[8-9]。这些方法都很难将背景复杂、目标区域有重叠、颜色相近的同类植物叶子分开。有的室外叶片处理所选叶片特殊,相应的分割方法较为简单,对基于复杂背景的情况考虑不多^[10]。

为真正实现对植物的实时监测,需要直接对田间植物叶片进行分割。但田间植物叶片图像通常具有以下特征:背景复杂,叶片较多,易重叠,叶片表面不够光滑,叶脉与叶片的色彩差异较大,叶子边缘有些地方梯度变化不明显,叶片与叶柄相连处、枝条重叠处难以分开,甚至有些叶片由于光照不均表现为几种不同亮度的区域,内部梯度变化过于明显。由于背景和前景都较为复杂,简单的方法无法将这些叶片精确分割。本文从实时监控植物生长状况的角度出发,研究田间枣树叶片图像分割方法,以实现自动获取定位精确、平滑、完整封闭的叶片边缘曲线。

1 算法思路

1.1 图像预处理

一张田间枣树叶片图像通常含有几十甚至几百片叶片。由于图像前景、背景都较为复杂,各种基于整图的分割方法都很难得到理想的目标图像。因此,本文处理的图像为略大于一片目标叶片,且包含整个叶片的子图。子图可根据一定的切割策略,结合分割结果,调整切割中心点位置再次切割获得。由于篇幅有限,此处对切割方法不予赘述。

由于田间图像噪声比较严重,受光线条件的影响比较明显,必须对图像进行增强。为此,采用了基于频域的增强方法,对子图进行平滑滤波。与其他方法相比,该方法运算速度快,适用范围广,可达到较好的去噪效果。增强后的子图记为 I_1 。

1.2 目标区域灰度不均匀图像优化处理算法

许多枣树叶片自身表面褶皱、凹凸较为明显,加上倾斜、光照等因素,造成叶片灰度不均匀,局部会出现一些过亮或过暗的情况,导致阈值分割错分或边缘检测时不必要的边缘线。因此需对其进行处理,使之灰度均匀。

首先对平滑去噪后的子图 I_1 进行灰度映射。设子图有 L 个灰度级,原灰度为 s ,变换后的灰度为 t ,相应的函数为 $E(s)$,该映射可表示为(图1)

$$E(s) = 0.5L \left(\sin\left(\frac{s\pi}{L} - \frac{\pi}{2}\right) + 1 \right)$$

该映射可使背景区域更暗,使容易被误分的叶片凹陷区域相对变亮。

为进一步增强对比度,使目标区域灰度变均匀,对子图进行以下形态学处理。

(1) 开启操作。该操作先用结构元函数对输入图像进行腐蚀,腐蚀结果再被结构元函数膨胀。开启操作用来除去图像中小于结构元尺寸的亮点,同时保留所有的灰度和较大的亮区域特征不变。

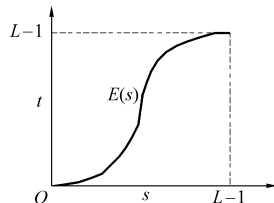


图1 灰度映射曲线

Fig.1 Grey level maps

(2) 闭合操作。该操作先用结构元函数对输入图像进行膨胀,再用结构元函数对膨胀结果进行腐蚀。闭合操作用来去除图像中小于结构元尺寸的暗点,同时保留原来较大的亮度区域特征。

(3) 形态学重建,获取灰度变化均匀的叶片图像。

以上处理可使叶片表面灰度不均匀的情况得到较好的改善,并且有效滤除了图像中的噪声,使目标区域内部变化过渡较为平缓,改善阈值分割的效果。将至此处理完的子图记为 I_2 。

1.3 子图初步分割

采用两种方法分别对子图目标进行初步分割。

(1) 自动阈值分割

选用最大类间方差法(Otsu法)自动选取阈值,因该方法是在灰度直方图的基础上用最小二乘法原理推导出来的,具有统计意义上的最佳分割阈值。对于目标区域灰度均匀的子图,在图 I_1 的基础上进行阈值分割,可避免由于形态学操作造成的误差。对于目标区域灰度不均匀的子图,在图 I_2 的基础上进行阈值分割。分割后的图像记为 I_3 。

(2) 基于梯度图的边缘检测

实验对 SUSAN 算子、拉普拉斯高斯算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Canny 算子等进行筛选。其中 Canny 边缘检测法利用高斯函数的一阶微分,它能在噪声抑制和边缘检测之间取得较好的平衡,提取的叶片边缘最为完整,而且边缘的连续性较好。在图 I_1 的基础上用 Canny 算子进行边缘检测,分割后的图像记为 I_4 。

以上阈值分割方法可以获取目标区域信息,而 Canny 算子可以获取目标区域的边界信息。

1.4 分割结果优化处理算法

自动阈值分割后的图 I_3 (二值图) 和 Canny 算子分割后的图 I_4 (二值图) 都未将目标区域完整地分割出来。 I_3 中,目标区域和其他区域有大量的粘连,获得的区域边界也不准确。 I_4 中,存在大量的非目标区域边界曲线,且目标区域边界曲线既不封闭,也不连续,无法判断哪些是目标区域边界曲线。

对分割结果进行优化: ① I_3 和 I_4 做异或运算,得

$I_5 = I_3 \wedge I_4$ (为区别膨胀运算符, 用 $\wedge$ 作为异或运算符), 使 I_3 中某些和目标区域粘连的部分局部割断。②对 I_5 进行腐蚀操作, 得 $I_6 = (I_5 \ominus b)$, 其中 b 为结构元函数。由于检测的目标叶片为椭圆, 所以选择圆形结构元。其半径为 1 个像素。腐蚀后可使粘连部分进一步断开。③对 I_6 进行填洞操作。填洞后的图记为 I_7 。这些孔洞有些是因为 I_4 图中目标区域内存在大量伪边缘, 经过步骤①运算造成的, 有些是 I_3 自身存在的。④对 I_7 进行腐蚀, 得 $I_8 = (I_7 \ominus b)$ 。此处选用半径为 2 的圆形结构元, 使 I_7 中目标区域和背景粘连部分彻底断开。⑤标记 I_8 的连通区域, 统计各连通区域面积, 对其进行排序, 保留面积第一大区域 (目标区域), 其他区域置为零 (如果第一大区域不满足, 也可同时保留面积第二大区域以供分割完后进行模式识别, 此处不再赘述), 记为 I_9 。⑥对 I_9 进行膨胀, 得 $I_{10} = (I_9 \oplus b)$ 。其中 b 为半径为 5 的圆形结构元函数。记 I_{10} 为目标外模板, 它比目标叶片大 2~3 个像素。⑦ $I_{11} = (I_{10} \ominus b)$, 其中 b 为半径为 5 的圆形结构元函数。记 I_{11} 为目标内模板, 它比目标

叶片略小 2~3 个像素。⑧对 I_{11} 进行求反, 与 I_4 进行逻辑与运算, 得 $I_{12} = ((\sim I_{11}) \& I_4)$ 。 I_{12} 为去掉目标内部伪边缘的边缘检测图。⑨令 I_{10} 与 I_{12} 进行逻辑与运算, 得 $I_{13} = (I_{10} \& I_{12})$ 。 I_{13} 为目标内部、外部伪边缘均被去除的边缘检测图。⑩对 I_{13} 进行封闭操作, 形成连续、封闭的目标边缘曲线 I_{14} 。其策略为: 首先将 I_{12} 中可能被 I_{10} 割断的目标边缘并入 I_{14} 。即: 若存在线段 r 属于 I_{12} , 线段 s, t 属于 I_{13} , 且 r 包含 s, t , 则将 r 合并到 I_{13} 中得图 I_{14} 。然后判断 I_{14} 是否封闭。若封闭则结束。若不封闭, 将 I_{14} 中小于 3 个像素的缝隙直接连通。再判断是否封闭, 封闭则结束。若仍不封闭, 则对 I_{10} (目标外模板) 进行腐蚀得 I_{15} , 结构元函数半径为 3。缝隙处从 I_{15} 的边界取得一段线段进行填补, 封闭后填洞, 对其区域用半径为 2 的菱形结构元进行膨胀、腐蚀, 再提取边缘得到闭合、光滑曲线。

经过以上步骤, 可以得到完整、封闭、光滑、定位准确的目标边界曲线 I_{14} 图像。由于其封闭, 可以直接通过填洞获取区域信息。算法如图 2 所示。

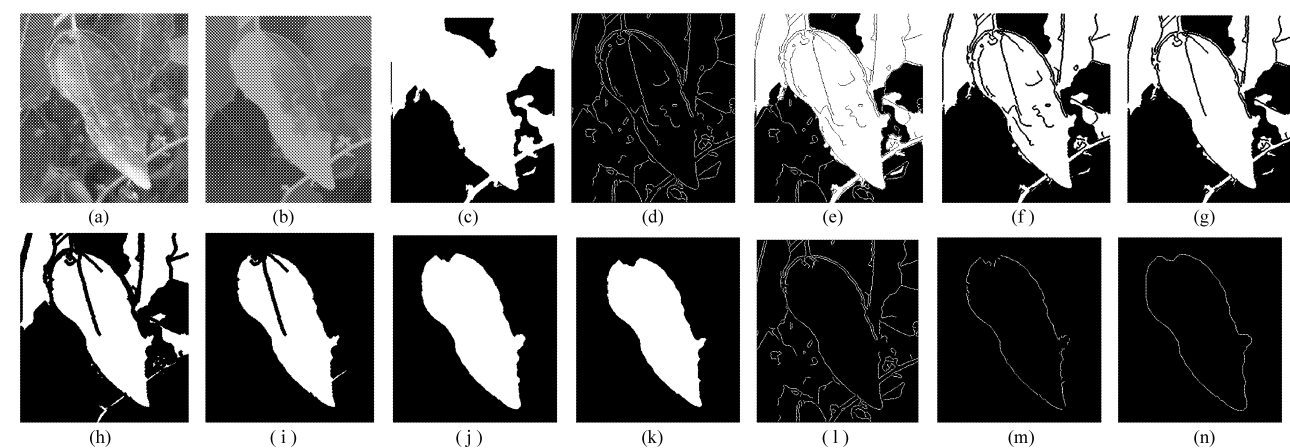


图 2 算法示意图

Fig. 2 Algorithm schematic diagram

(a) I_1 (b) I_2 (c) I_3 (d) I_4 (e) I_5 (f) I_6 (g) I_7 (h) I_8 (i) I_9 (j) I_{10} (k) I_{11} (l) I_{12} (m) I_{13} (n) I_{14}

2 实验结果与讨论

本算法所用图像数据采集实验设计为与网络视频设备平行的实验, 主要是模拟压缩算法处理前采集的枣树田间图像。该图像为 CCD 摄像机拍摄, 采用分辨率为 704×576 , 拍摄距离 1.5 m 左右, 整图含有约 60 片叶子。图像采用 jpg 格式。为减小误差, 先对摄像机进行了标定, 计算出焦距和镜头畸变。文中处理的图像为校正镜头畸变后的图像。

2.1 目标区域灰度不均匀对分割造成的影响

如图 3 所示, 其中图 3a 为原图, 目标叶片和其

他叶片重叠严重, 灰度区别不大, 但目标叶片内部的灰度差异却比较大, 造成图 3b 所示的分割结果。因本算法需要通过阈值分割得到近似完整的目标区域, 如果直接调节阈值, 只能达到图 3c 所示的效果, 碎片较多, 区域边界准确性差, 且这一阈值难以通过程序自动获取, 不适合自动分割。

采用灰度映射和形态学方法进行处理, 使目标叶片的灰度变得相对均匀, 得到图 3d 所示效果, 增大了前景和背景色的差异, 用自动阈值分割得到了图 3e 所示效果。

可见, 目标区域灰度不均匀通常会导致阈值分割失败, 得到的目标区域残缺或过大。

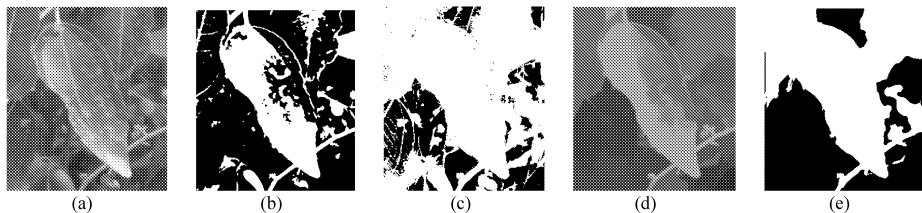


图 3 灰度不均匀叶片分割前优化处理

Fig.3 Optimizing process of uneven gray scale leaf image before segmentation

(a) 目标子图 (b) 直接用 Otsu 法分割结果 (c) 人工选择某阈值分割效果 (d) 灰度映射和形态学处理
(e) 本文优化后自动阈值分割

2.2 分割结果优化处理讨论

对叶片灰度均匀、灰度不均匀两种情况进行讨论。

(1)图 4 中,图 4a 为有叶片、枝条重叠的一般情形。直接用 Otsu 法进行阈值分割可较好地实现初步分割如图 4b 所示。用 Canny 算子可得到图 4c 边缘检测效果。但基于阈值或边缘检测算子都无法



图 4 普通重叠叶片分割后优化处理

Fig.4 Optimizing process of overlap leaves image after segmentation

(a) 目标子图 (b) Otsu 阈值分割 (c) Canny 算子边缘提取 (d) 闭合、平滑的边界曲线

计分析。取分割后的 30 张子图,其像素大小基本在 $50 \times 50 \sim 150 \times 150$ 内,共随机选取算法运行结果边缘线上的 900 个点进行判断,统计这些点和真实叶片边缘点相差的像素数。统计发现,有 53% 的边缘点没有误差,有 29% 的点相差 1 个像素,有 12% 的点相差 2 个像素,有 6% 的点相差 3 个或 3 个以上像素。由于叶片分析是为了获取统计值,所以该部分的误差不会对后期的叶片分析造成影响。

(2)图 5 中,图 5a 为叶片表面灰度不均匀、叶片褶皱且有叶片、枝条重叠的情形。先对子图进行优化,去噪,使目标区域灰度均匀,再初步分割后的效果如图 5b、5c 所示,仍不是理想的效果。本算法优化后,可得到图 5d 所示效果。

可见,单一的分割方法无法得到理想的边界曲线,但经本算法处理后可以得到较为理想的边界曲线。由于算法直接对分割后的图像进行二值图逻辑运算和形态学运算,实现速度快,得到的曲线闭合、完整、光滑、唯一,全过程自动进行,不需人工调整阈值或其他参数。本算法也存在一些可以继续改进的地方,如有些特殊情况中,边界处有些地方由于受到复杂背景的影响,形态学操作会造成一定的误差,导

得到唯一的目标图像。本文对传统方法进行优化处理,得到了图 4d 所示边界图像。该边界曲线闭合、光滑,大部分源自 Canny 算子计算得到的边界曲线,定位准确。对于 Canny 算子无法得到的边界部分,只能通过其他方法进行补充。由于填补的这部分曲线所占比例较小,因此不会对边界造成较大影响。

通过以下方法对分割后得到的边缘误差进行统

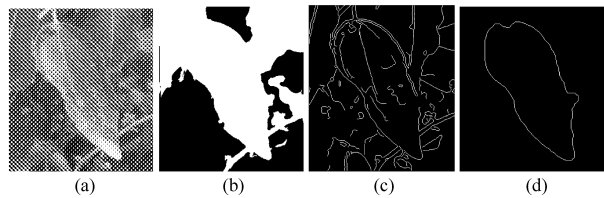


图 5 灰度不均匀叶片分割后优化处理

Fig.5 Optimizing process of uneven gray scale leaf image after segmentation

(a) 目标子图 (b) 目标区域优化处理后 Otsu 阈值分割
(c) Canny 算子边缘提取 (d) 闭合、平滑的边界曲线

致局部突出或凹陷。

2.3 其他情况处理

除以上情况外,叶片图像还存在以下几种情况:有少部分叶片的颜色较深,而背景色却较浅。如图 6a 所示。只需先对原始图像进行反色处理,得图 6b,再初步分割得图 6c、6d,即可应用以上方法得到较满意的结果图 6e。

有少部分叶片图像由于光照影响,被分成明暗对比很强的两部分,如图 7a。应用上述算法,只能得到半片叶子,可保留面积最大和第二大两个区域,分别如图 7b、7c 所示,再对原图求反,得图 7d 后应用此算法,得到另外两个区域如图 7e、7f。用图 7b、

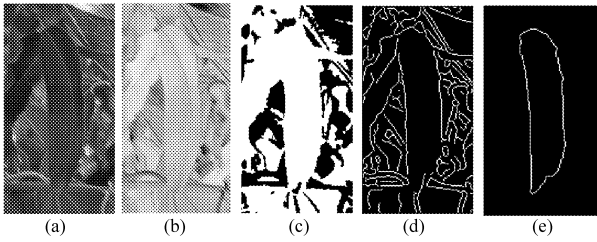


图 6 前景、背景反色处理

Fig. 6 Deal with the complement image

(a) 目标子图 (b) 反色后目标子图 (c) 目标区域优化处理后 Otsu 阈值分割 (d) Canny 算子边缘提取 (e) 闭合、平滑的边界曲线

7c 和图 7e、7f 做拼接,拼接时,需要对各种情况进行充分讨论,仅当两区域位置相邻时做拼接,拼接后通过形状分析进行取舍,可得图 7g。而其他方法只能得到图 7h、7i、7j 所示效果。

对于叶片褶皱、卷曲过于严重导致阈值分割无法得到完整区域但梯度较为明显的图像,可在梯度图上进行阈值分割得到算法中的“目标内模板”和“目标外模板”,从而继续使用本算法对分割结果进行优化。

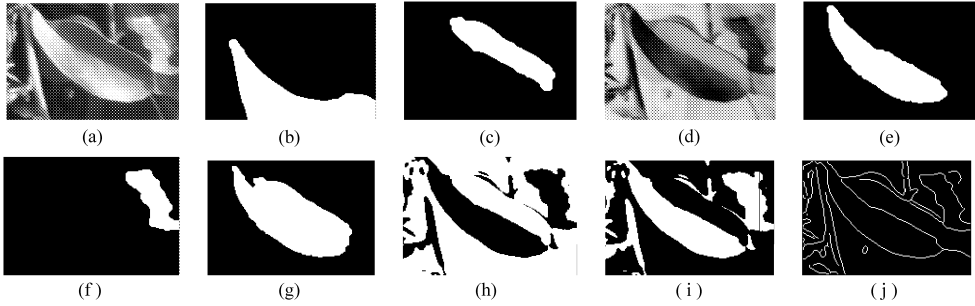


图 7 一半明一半暗的目标叶子特殊处理

Fig. 7 Special process on the leaf with half lightness and half darkness

(a) 原目标子图 (b) 原面积最大区域 (c) 原面积第二大区域 (d) 取反后目标子图 (e) 取反后面积最大区域 (f) 取反后面积第二大区域 (g) 区域拼接后的叶子 (h) 原图阈值分割效果 (i) 原图求反后阈值分割效果 (j) Canny 边缘检测结果

2.4 本文算法与其他常用算法分割效果比较

本文算法和其他算法比较如图 8 所示。实验表明,其他单一算法不适合复杂背景田间枣树叶片图像分割。即使优化后的分水岭算法也无法获取完整的叶片信息,且同样的参数难以适应不同的叶片图像。优化的分水岭算法得到的叶片要么和其他区域

粘连,要么被分成许多碎块,难以识别。直接用阈值分割也无法得到目标图像,残缺、粘连现象较为严重。而边界检测的常用算法也无法得到连续、唯一的边界,叶子内部、外部都存在大量的伪边缘,无法在其结果上进行图像分析。

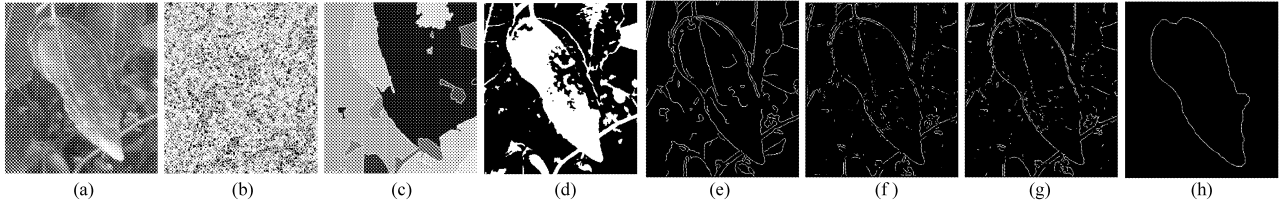


图 8 本文算法与其他算法比较

Fig. 8 Proposed algorithm compared with other algorithms

(a) 目标子图 (b) 分水岭算法直接分割 (c) 分水岭算法优化后分割 (d) Otsu 法阈值分割 (e) Canny 算子检测边缘 (f) 拉普拉斯高斯算子检测边缘 (g) 小波包检测边缘 (h) 本文算法检测边缘

3 结束语

设计了一种基于综合技术的复杂目标田间枣树叶片图像分割算法。针对单一分割方法无法对背景复杂、目标复杂图像进行有效分割的缺点,提出了优化算法。采用形态学方法对目标图像进行优化处理,使复杂目标变得简单,灰度分布较为均匀。对自适应阈值和 Canny 算子分割的结果进行优化,通过

逻辑运算和形态学处理,有效剔除了复杂的背景和强干扰目标,并可将重叠叶片分开,并对叶片图像出现的各类情况进行了讨论,最终得到了完整、闭合、平滑、精确的边界曲线。

该算法有很强的适应性,实现了单一方法之间的优势互补,有效扩展了传统方法的应用范围,取得了一般方法所达不到的分割效果,提取了完整有效的目标边缘。

参 考 文 献

- 1 Yunyoung Nam, Eenjun Hwang, Dongyoon Kim. A similarity-based leaf image retrieval scheme: joining shape and venation features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2):245 ~ 259.
- 2 Tino Dornbusch, Bruno Andrieu. Lamina2Shape-an image processing tool for an explicit description of lamina shape tested on winter wheat[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010,70(1):217 ~ 224.
- 3 刘小川,艾矫燕,唐纪良,等. 基于自适应模糊阈值的植物黑腐病叶片病斑的分割[J]. 中国图象图形学报,2009,14(7):1 334 ~ 1 340.
Liu Xiaochuan, Ai Jiaoyan, Tang Jiliang, et al. The segmentation of black rot lesion of cruciferous plant based on self-adaptive fuzzy threshold [J]. Journal of Image and Graphics, 2009,14(7):1 334 ~ 1 340. (in Chinese)
- 4 Joao Camargo Neto, George E Meyer, David D Jones. Individual leaf extractions from young canopy images using Gustafson - Kessel clustering and a genetic algorithm [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006,51(1 ~ 2):66 ~ 85.
- 5 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.
Mao Hanping, Zhang Yancheng, Hu Bo. Segmentation of crop disease leaf images using fuzzy C-means clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(9):136 ~ 140. (in Chinese)
- 6 Kristian Kirk, Hans Jorgen Andersen, Anton G Thomsen, et al. Estimation of leaf area index in cereal crops using red - green images[J]. Biosystems Engineering,2009,104(3):308 ~ 317.
- 7 朱伟兴,金飞剑,谈蓉蓉. 基于颜色特征与多层同质性分割算法的麦田杂草识别[J]. 农业机械学报,2007,38(12):120 ~ 124.
Zhu Weixing, Jin Feijian, Tan Rongrong. Weed recognition method based on color feature and hierarchical homogeneity segmentation in wheat field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38 (12): 120 ~ 124. (in Chinese)
- 8 李正明,王森,孙俊. 图像分割在成熟茄子目标识别中的应用[J]. 农业机械学报,2009,40(增刊):105 ~ 109.
Li Zhengming, Wang Sen, Sun Jun. Image segmentation in object recognition of mature eggplant [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(Supp.):105 ~ 109. (in Chinese)
- 9 张亚静,李民赞,刘刚,等. 基于机器视觉和信息融合的邻接苹果分割算法[J]. 农业机械学报,2009,40(11):180 ~ 183.
Zhang Yajing, Li Minzan, Liu Gang, et al. Separating adjoined apples based on machine vision and information fusion [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(11):180 ~ 183. (in Chinese)
- 10 Wang Xiaofeng, Huang Deshuang, Du Jixiang, et al. Classification of plant leaf images with complicated background [J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 205 (2):916 ~ 926.
- 11 李先锋,朱伟兴,纪滨,等. 基于特征优化和 LS-SVM 的棉田杂草识别[J]. 农业机械学报,2010,41(11):168 ~ 172.
Li Xianfeng, Zhu Weixing, Ji Bin, et al. Weed identification based on features optimization and LS-SVM in the cotton field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(11):168 ~ 172. (in Chinese)