

基于自适应模糊阈值的植物黑腐病叶片病斑的分割

刘小川¹⁾ 艾娇燕¹⁾ 唐纪良²⁾ 何勇强²⁾

¹⁾(广西大学电气工程学院, 南宁 530004) ²⁾(广西大学生命科学与技术学院, 南宁 530004)

摘要 为了更好地研究植物黑腐病,对植物黑腐病病斑图像进行了分割研究,即根据病斑图像的特点,用图像模糊阈值分割法来分割病斑。针对目前图像模糊阈值分割法存在窗口宽度自动选取困难的问题,首先在预先给定隶属函数和图像像素类别数的情况下,提出了图像模糊阈值分割法的自适应窗宽选取方法;然后,针对用图像模糊阈值分割方法难于分割直方图具有单峰或双峰差别很大的图像的问题,提出了一种直方图变换方法,用来对直方图进行变换;最后根据变换后的直方图,再利用自适应模糊阈值分割法对植物黑腐病病斑图像进行分割。用采集到的病斑叶片进行的病斑分割实验结果表明,该算法是有效的与鲁棒的。

关键词 黑腐病病斑 图像分割 模糊理论 自适应阈值 直方图变换

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)07-1334-07

The Segmentation of Black Rot Lesion of Cruciferous Plant Based on Self-adaptive Fuzzy Threshold

LIU Xiao-chuan¹⁾, AI Jiao-yan¹⁾, TANG Ji-liang²⁾, HE Yong-qiang²⁾

¹⁾(College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004)

²⁾(College of Life Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004)

Abstract In order to better study plant black rot, the segmentation of black rot lesion image of cruciferous plant was carried out in this study. And the image fuzzy threshold method was used to fulfill the segmentation according to the characteristic of the lesions. First, due to the problem of automatic selection of window size for image thresholding by index of fuzziness, an adaptive window size selection method for image thresholding by index of fuzziness was put forward under a predetermined membership function and given the class numbers of image pixels. Then, image whose histogram possesses one mode or two modes with great disparity was difficult to be segmented using thresholding by index of fuzziness were studied, a histogram transformation method was presented. At last, the image could be segmented through the transformed histogram using the adaptive thresholding by index of fuzziness. The experiment results of lesion segmentation using the collected leaves show that the method proposed in this paper is of effective and robust.

Keywords black rot lesion of cruciferous plant, image segmentation, fuzziness theory, adaptive threshold, histogram transformation

1 引言

植物病害是农业生产主要的限制因子之一,病害造成的叶片病斑数量和病斑大小是判断病害发生

程度的主要依据,目前该方面的监测工作主要靠人工测量植物叶片的病斑来完成。由于人工测量的方法效率低,不仅导致研究周期长,且不能保证测量的精确度,即要从病斑叶片上精确地取出病斑部分就显得非常困难,因此采用计算机图像处理、图像分析

基金项目:教育部微生物及植物遗传工程重点实验室开放课题项目(J0503);国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA10Z185)

收稿日期:2007-07-31;改回日期:2008-03-14

第一作者简介:刘小川(1982~),男,现为广西大学控制理论与控制工程专业硕士研究生。主要研究方向为模式识别与智能信息处理。E-mail:lxclxcl982@163.com

的方法来弥补人工测量的不足就显得非常必要。

本研究用的植物叶片图像是通过装有 CCD 摄像头的图像采集系统所获取的,根据其成像过程的特点和人的视觉特性,其所获取的图像具有一定的模糊性,这种不确定性和不精确性主要体现在图像灰度的不确定性、目标边缘的不确定性等。由于模糊理论对于图像的这种不确定性有很好的描述能力,因此本文就在模糊理论的基础上,提出了一种自适应模糊阈值分割法用来分割植物叶片图像的病斑部分,实验结果显示,这种方法用来分割植物叶片黑腐病病斑取得了很好的效果。

2 自适应模糊阈值分割法

2.1 基于模糊理论的图像分割方法

基于模糊理论的图像分割方法可分为模糊阈值分割和模糊聚类分割两种^[1]。其中模糊聚类分割方法是最先提出的一种图像模糊分割方法。但经典的模糊聚类分割方法存在如下一些缺点:(1)它是一种以图像灰度为样本的模糊聚类算法,因此存在收敛速度慢,并且对初始化数据很敏感的缺陷;(2)图像的模糊聚类分割方法还需要事先确定分割的区域数目,这就影响了它的实际应用。图像的模糊阈值分割法^[2]是由 Pal 等人于 1983 年提出的,它首先引入了灰度图像的模糊数学描述,然后通过计算图像的模糊率或模糊熵来选取图像分割的阈值,并定性地考察了隶属函数窗宽对阈值选取的影响。近年来,该方法不断得到改进,在实际应用中取得较好的效果。

2.2 模糊阈值分割法

设图像 X 大小为 $M \times N$,有 L 级灰度 $\{0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 。 $\mu(x)$ 是定义在 L 级灰度上的隶属函数,若像素 (m, n) 的灰度为 $x_{m,n}$,则隶属度为 $\mu(x_{m,n})$, $m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N$,其表示像素 (m, n) 具有的明亮特性的程度。令 $h(k)$ 为图像 X 的图像像素灰度直方图(以下简称直方图), k 为灰度值,取值为 $k = 0 \sim L-1$,图像 X 的模糊率 $\gamma(x)$ 用于度量图像的模糊性,其定义如下:

$$\gamma(x) = \frac{2}{MN} \sum_{k=0}^{L-1} T(k)h(k) \quad (1)$$

其中, $T(k) = \min\{\mu(k), 1 - \mu(k)\}$ 。由式(1)可见,模糊率 $\gamma(x)$ 与隶属函数 $\mu(x)$ 有密切关系。若取隶属函数为 S 函数(见图 1,图中纵坐标 $\mu(x)$ 表

示隶属函数,横坐标 x 表示灰度),则

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq q - \Delta q \\ 2[(x - q + \Delta q)/2\Delta q]^2 & q - \Delta q < x \leq q \\ 1 - 2[(x - q + \Delta q)/2\Delta q]^2 & q < x \leq q + \Delta q \\ 1 & q + \Delta q < x \leq L \end{cases} \quad (2)$$

式中,令 $w = 2\Delta q$,它是隶属函数的模糊区域, w 称为隶属函数的窗口宽度, q 称为拐点或窗口中心。

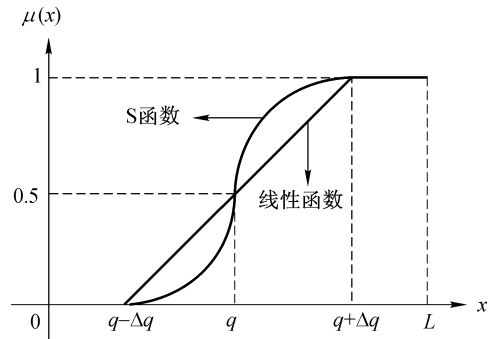


图 1 阈值分割的隶属函数

Fig. 1 The membership function of threshold segmentation

由于隶属函数 $\mu(x)$ 和模糊率 $\gamma(x)$ 可由窗宽 w 及窗口中心 q 决定,一旦选定了窗宽,就只与窗口中心 q 有关。模糊阈值法的求解过程就是预先设定窗宽 w ,然后通过改变窗口中心 q ,使隶属函数 $\mu(x)$ 先在灰度 $[0, L-1]$ 区间上滑动,再通过式(1)计算这个窗口中心 q 所对应的模糊率 $\gamma_q(x)$ 。改变一次 q 值,就得到一个与其对应的模糊率 $\gamma_q(x)$,由这些不同的 $\gamma_q(x)$ 就可以组成模糊率曲线。该曲线的谷点所对应的那个确定的窗口中心 q ,也即一个具体的灰度值,就是待选用的分割阈值。当窗宽 w 取不同值时,因模糊率曲线不同,所以 w 的大小对分割结果的好坏起决定作用。 w 取值越小, $\mu(x)$ 曲线越陡峭,当其作用于根据 $h(k)$ 所得到的模糊曲线的谷点,就可能因出现振荡而产生假阈值;由于 w 取值越大, $\mu(x)$ 曲线越平坦,即在模糊率曲线上就可能会平滑掉谷点,从而造成阈值丢失。如何正确选定窗宽,文献[3]指出,当窗宽大于直方图上两峰间的距离时,就可能丢掉其间的谷点,反之必能求出谷点及与之对应的阈值。Murthy 等人进一步证明,若窗宽小于两峰间的距离时,则必定存在最小模糊率,可取得正确阈值;否则,就不能保证求出正确的阈值^[3]。

2.3 自适应模糊阈值分割法

Jin 等人主要研究了自适应模糊阈值分割法^[4],并提出了自适应选取窗宽的方法。利用该方法,在预先给定满足约束条件的隶属函数和图像像素类别数的情况下,就可以实现单阈值和多阈值分割。接着,将已有的两种直方图变换技术相结合,提出了一种新的直方图变换方法,该方法对于直方图为单峰或双峰间隔很宽的图像,都能进行有效的分割。

2.3.1 自适应窗宽选取算法

隶属函数选定后,阈值的选取完全取决于给定的窗宽。目前有关文献介绍的隶属函数窗宽的选取,是通过观察直方图峰值的分布情况,人为给定的。对于已知的直方图分布,用这种方法总能找到合适的窗宽,但当由于图像改变而使直方图分布变化时(如图像的目标大小在较宽的范围上变化),则预设窗宽就可能失效,从而造成误分割,所以必需根据待分割图像的特性来自动选取窗宽^[5]。

从式(1)可以看出,模糊阈值分割的实质是对直方图进行加权平均,平滑后的直方图即为模糊率曲线,其极小值对应分割阈值。显然,当图像像素的类别数 λ 事先知道时,因通过加权平滑后得到的模糊率曲线应该有 $\lambda - 1$ 个极小点,故可通过判断模糊率曲线的极小值点数目是否等于 $\lambda - 1$ 来确定窗宽。具体方法如下:

(1) 设定窗宽的初始值为 0;

(2) 用式(1)按给定的隶属函数和窗宽进行计算来得到模糊率曲线;

(3) 判断曲线的极小值点数目 n ,如果 $n = \lambda - 1$,则停止,此时的对应窗宽即为所选取的最佳窗宽;若 $n \neq \lambda - 1$,则 $w = w + T$ (T 为步长,在本文的后续实验中取 $T = 2$),返回步骤(2)继续计算。

上述算法对直方图呈明显双峰的图像比较合适。当图像中目标较小或较少时,直方图上的双峰不明显或双峰间的谷比较宽且平坦,甚至为单峰情形,如果直接根据这种直方图来进行模糊阈值分割,则必将导致分割失败。为了让模糊阈值分割法能适应小目标图像的分割,必须对直方图进行变换处理,使直方图上的谷显现出来。

2.3.2 直方图变换新方法

直方图变换法^[6]的基本思想就是利用邻域的局部性质对直方图进行变换来得到一个新的直方图,使峰间的谷变深或使谷凸起变为峰,以便容易检测。通常有以下两种基本的变换方法:第 1 种变换是在统计

直方图时加上一个权重,如可以乘以 $1/(1 + \nabla)^2$,其中 ∇ 为像素点的梯度值。如果像素的梯度值为 0,则它会得到最大的权重;如果像素的梯度值很大,则得到的权重就很小。在这样的加权直方图中,边界点贡献小,而内部点贡献大,峰基本不变,而谷更深,且峰谷之间的差距加大。第 2 种直方图变换正好相反,其是将高梯度像素的权重取得较大,而低梯度像素的权重取得较小,这样经过变换后可使双峰之间的平坦区域凸起一个峰,使阈值选取变得比较容易。

笔者发现,对于单峰或双峰间的谷宽而平坦的直方图,用上述单一直方图变换方法不一定能满足要求。若将两种变换直方图相结合,并通过归一化处理来得到具有双峰特性的直方图,则可正确地分割图像。

设图像 X 的大小为 $M \times N$,其像素灰度直方图为 $h(k)$,归一化后为 $H(k)$, k 为灰度值,取值为 $k = 0 \sim L - 1$,用 $f(m, n)$ 表示像素点 (m, n) 处的灰度值,则有

$$h(k) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \delta(f(m, n) - k) \quad (3)$$

$$h_1(k) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} g\{e(m, n)\} \delta\{f(m, n) - k\} \quad (4)$$

$$h_2(k) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} e(m, n) \delta\{f(m, n) - k\} / H(k) \quad (5)$$

其中, $\delta(f(m, n) - k)$ 为冲击函数,当 $f(m, n) = k$ 时, $\delta(f(m, n) - k) = 1$,否则 $\delta(f(m, n) - k) = 0$; $e(m, n)$ 为形态差分算子,取 $e(m, n)$ 为 3×3 方阵,即

$$e(m, n) = \max_{i, j = -1}^1 \{f(m - i, n - j)\} - \min_{i, j = -1}^1 \{f(m - i, n - j)\} \quad (6)$$

$g\{e(m, n)\}$ 为一单调下降函数, $g\{e(m, n)\} = [1 + e(m, n)]^{-2}$; $h_1(k)$ 为第 1 种变换后的直方图, $h_2(k)$ 为第 2 种变换后的直方图。

先将 $h_1(k)$ 和 $h_2(k)$ 归一化为 $H_1(k)$ 和 $H_2(k)$,再将两者合并,即得到如下新的变换直方图

$$h_o(k) = H_1(k) + H_2(k) \quad (7)$$

将 $h_o(k)$ 归一化为 $H_o(k)$,即得到新的变换直方图。

3 实验结果与分析

3.1 黑腐病叶片病斑图像的获取

本文研究的叶片图像是通过图像采集系统获取。这个采集系统由光源、CCD 工业级彩色摄像头、PC2-vision 图像采集卡及配套的图像获取软件 IFC5.8、PC 机几部分组成。获取叶片图像后,图像处理的后续工作是在 Matlab 环境下进行的。

3.2 叶片背景的去除

机器视觉系统获取的叶片病斑图像,由于含有背景,这种背景对病斑的分割会产生影响,因此为了提高分割病斑的效率,首先要去除叶片的背景。

3.2.1 基于小波变换的照度不均匀消除

在拍摄叶片的过程中,由于摄像机本身和摄像条件的影 响以及被摄物体局部表面对光线的吸收与反射性能不同,常常会造成光场照度不均匀,这种非均匀的光场照度会在图像中产生背景噪声,它和信号混合在一起会造成图像的对比度不强和出现黑斑或者亮斑,将对后续的图像处理和分析产生影响。根据文献[7],基于小波变换的照度不均匀消除技术由于同时考虑了空域和频域的情况,因此具有计算量少和误差小的优点,本研究中采用此方法来校正照度不均匀。

基于小波变换的照度不均匀校正过程如图 2 所示,图中, LL_i 、 HL_i 、 LH_i 和 HH_i ($i=1,2,\dots,n$) 分别为小波分解所得的第 i 阶近似分量、水平细节分量、垂直细节分量和对角线细节分量, $\tilde{LL}_{n-1} \sim \tilde{LL}_1$ 为处理后的近似分量。

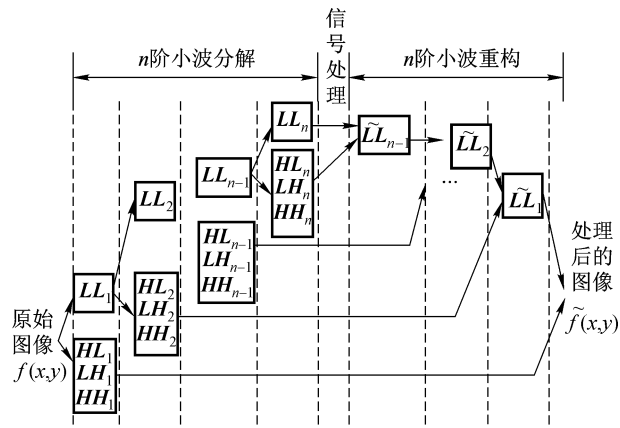


图 2 基于小波变换的照度不均匀校正过程

Fig. 2 Process of wavelet based on elimination of illumination unevenness

本研究采用的基于小波变换的图像处理方法的步骤如下:首先对原图像进行第 4 阶 Daubechies 小波的 10 尺度小波分解;然后对分解后的信号近似分量进行衰减,以增强细节分量的处理,再对修改分量后的图像进行 10 阶小波重构;最后得到的照度校正后的图像如图 3 所示。

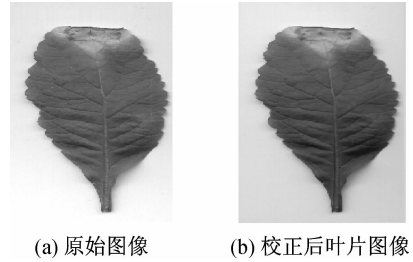


图 3 照度不均匀校正结果

Fig. 3 Original image and the results of elimination of unevenness

3.2.2 基于归一化 rgb 彩色空间 (Nrgb) 的背景分割

在对叶片图像进行照度不均匀校正之后不难发现,叶片与背景的交接边缘处还存在一些阴影。由于阴影点与对应的背景点的亮度比值成线性,且阴影区域与对应背景区域的颜色具有一致性的特征,而且由文献[8]知,归一化 rgb 彩色空间具有光学测度不变性,其对局部的光场变化,如阴影、高亮等不敏感,所以可先把叶片图像从 RGB 空间转换到 Nrgb 空间,然后在 Nrgb 空间中处理叶片图像,就可以有效地分割带有阴影的背景。

颜色从 RGB 空间向 Nrgb 空间转换的公式为

$$\begin{cases} r = R/(R + G + B) \\ g = G/(R + G + B) \\ b = B/(R + G + B) \end{cases} \quad (8)$$

在 3.2.1 节叶片照度校正的基础上,根据叶片的特点,就可对照度校正后的叶片,通过选取 Nrgb 空间的 b 通道和 RGB 空间的 B 通道作为这两个空间模型的研究通道来进行实验,实验得到各自通道图像像素的直方图如图 4 所示。

由图 4 不难看出,由于照度校正后的图像在 Nrgb 空间的 b 通道的直方图更具有明显的双峰特性,因此在此通道上对图像进行阈值分割更容易去除带有阴影的背景。运用这种方法,得到的背景分割后的叶片图像如图 5 所示,由图 5 可见,分割效果很理想。

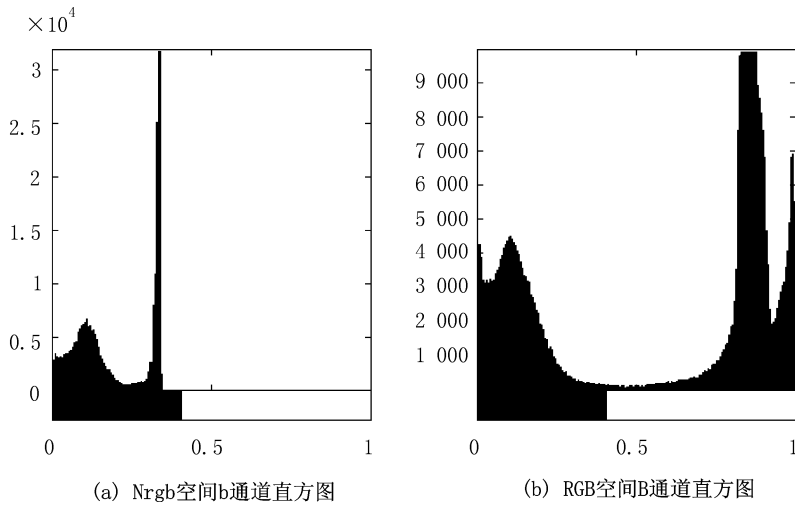


图 4 b 通道与 B 通道图像像素的直方图

Fig. 4 The b and B channel's histogram

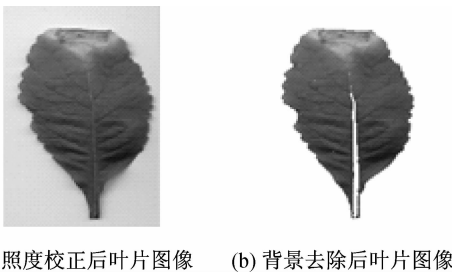


图 5 照度校正后图像和背景去除后的图像

Fig. 5 The elimination of unevenness image and background elimination image

3.3 病斑的分割

运用上述第 2 节中的算法对去除背景后叶片的 HSV 空间的 H 通道图像进行阈值分割,之所以选择 H 通道,是考虑到 HSV 颜色空间 H 通道的特性以及病斑的特点决定的。图 6(a) ~ 图 6

(h) 分别为叶片图像的原始图像、去除背景后的图像、去除背景后的 H 通道图像、H 通道图像像素原始灰度直方图、变换后图像像素的直方图、模糊率曲线、基于原始图像像素直方图的用模糊阈值法分割得到的二值图像以及基于变换后图像像素直方图用模糊阈值法分割得到的二值图像。

图 6 中原图像的灰度变化范围为 $[0, 255]$ 。本实验中取 $n = 4$, 利用自适应模糊阈值分割法得到的窗宽为 10, 阈值为 7, 34, 60, 71。分割实验表明, 自适应模糊阈值分割法通过自动选取窗宽就可以得到较好的分割效果。

为说明自适应模糊阈值分割方法的有效性, 本文选择了另外两幅图像(如图 7, 图 8 所示)进行了分割实验。

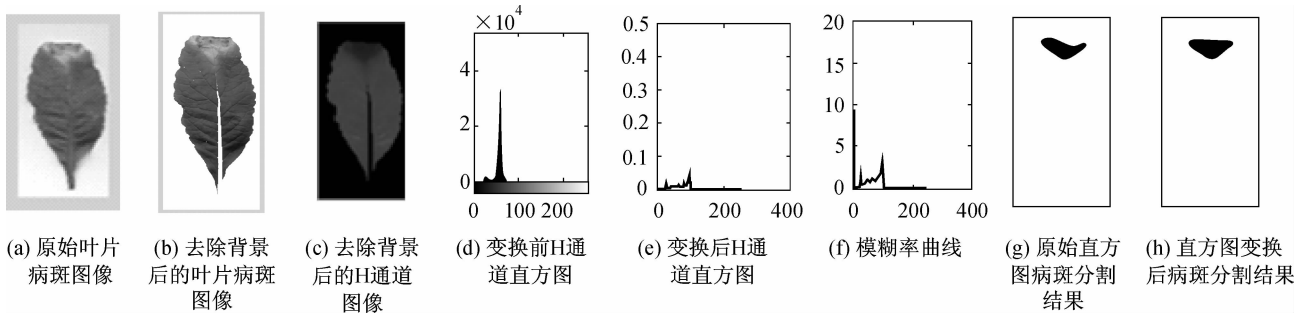


图 6 叶片黑腐病病斑图像及分割结果(第 1 组)

Fig. 6 Images and segmented results (Group I)

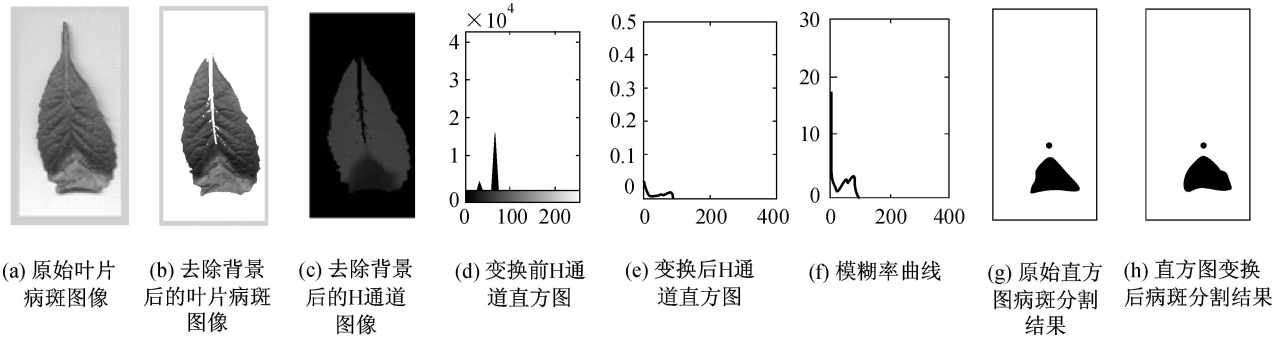


图 7 叶片黑腐病病斑图像及分割结果(第 2 组)

Fig. 7 Images and segmented results (Group II)

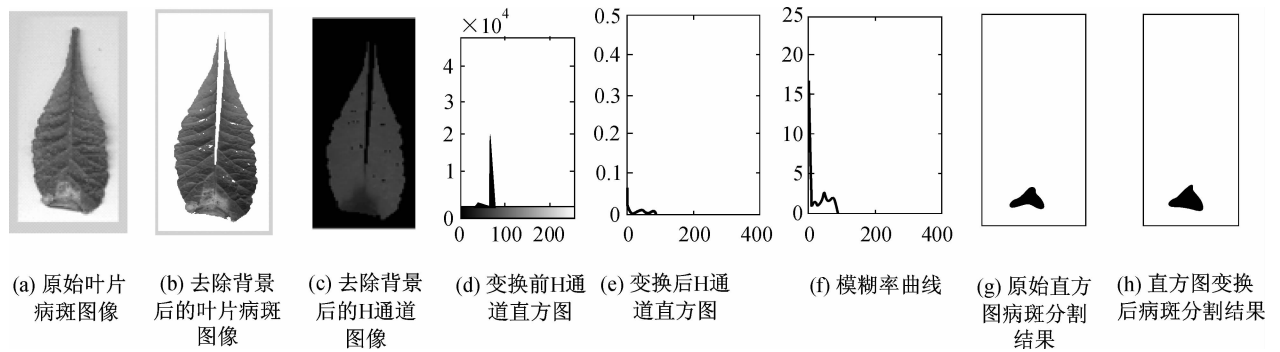


图 8 叶片黑腐病病斑图像及分割结果(第 3 组)

Fig. 8 Images and segmented results (Group III)

以上实验结果表明,由于病斑的颜色信息非常复杂,同一张叶片的病斑区域中,每一小块的色彩信息又不相同,如果根据原始直方图用模糊阈值法分割病斑,则效果往往不够理想,即会有一部分病斑块被舍弃。但利用自适应模糊阈值分割法进行分割,则病斑的分割取得了理想的效果,这是因为自适应模糊阈值分割法是通过直方图变换来使得原始直方图的峰与峰之间、峰与谷之间的关系发生了变化,变换后的直方图更加准确地描述了病斑块的相邻信息,从而可得到更加准确的分割效果。

但是,由上面的实验可以看到,分割后的图像有时带有噪声(如图 7 所示),图中有一小黑点存在,若使用二值形态学处理,比如进行开闭合腐蚀运算,其分割后的图像虽可消除噪声,但病斑较细的部分还是有一定损失。本文通过对像素点的 3×3 邻域内的 4 个顶点的像素值进行差分,若灰度不等的点超过两个,即认为该点是杂点。本文就是用这种方法对图 7 所得的病斑分割结果进行了分析。实验表明,运用此方法可去除噪声,最后即可得到较精确的

病斑图形,最终的分割结果见图 9。

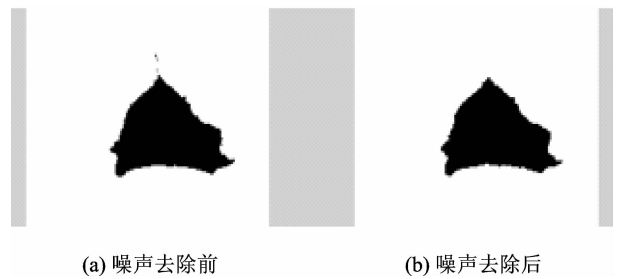


图 9 噪声去除结果

Fig. 9 Noise elimination results

4 结 论

本文针对原有的一些图像处理分割方法无法满足分割精度的问题,根据植物黑腐病病斑的特点,提出了用自适应模糊阈值分割算法来进行病斑的分割,这种方法实现了窗宽的自适应动态选取,并提高了阈值选取的正确性,从而能够很好地分割出目标病斑。通过窗宽的自适应动态选取,以便正确确定

阈值是本文研究的重点,也是对现有的一般阈值分割方法的重大改进。最后,对图像采集系统采集到的叶片图像首先去除叶片背景,然后用自适应模糊阈值分割算法进行了详细的验证,实验结果表明,用本文方法对植物黑腐病病斑进行分割是有效的和鲁棒的。

我国是一个农业大国,也是世界上发生自然灾害最为严重的国家之一,为了尽快获得灾害造成的损失信息,亟待发展农业灾害的快速评价体系和评价方法,以便进行灾后重建、指导农业生产。该研究提出了基于机器视觉、图像处理的植物黑腐病叶片病斑的分割方法,其可适用于叶色、果皮色或植株色变化的病害评价或品质鉴定,也为发展病害快速鉴定、评价体系奠定了基础。

参考文献 (References)

- 1 Wu Wei. Fuzziness technique of image processing[J]. Modern Electronic, 2001, **3**(3):28-30. [吴薇. 图像处理中的模糊技术[J]. 现代电子技术, 2001, **3**(3):28-30]
- 2 Pal S K, King R A, Hashim A A. Automatic gray-level thresholding through index of fuzziness entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 1983, **4**(2):141-146
- 3 Murthy C A, Pal S K. Fuzzy thresholding mathematical framework, bound functions and weighted moving averages technique[J]. Pattern Recognition Letters, 1990, **11**(3):197-206.
- 4 Jin L Z, Xin L Z, Yang S Z. Histogram adaptive thresholding using index of fuzziness[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, **5**(5):390-395.
- 5 Sun Guang-lin. The Study of Image Segmentation Methods Based on Fuzzy Threshold[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2005. [孙光灵. 基于模糊阈值的图像分割方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2005]
- 6 Zhang Yu-jin. Image Segmentation[M]. Beijing: Science Press, 2001:50-52. [章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社, 2001:50-52]
- 7 Zhen Jun, Xu Chun-guang, Xiao Ding-guo, et al. The technique of digital image's illumination uneven enimination[J]. Tansactions of Beijing Institute of Technology, 2003, **23**(3):285-289. [郑军, 徐春广, 肖定国等. 数字图像处理中校正不均匀技术研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, **23**(3):285-289.]
- 8 Chen Bo-sheng, Chen Duan-sheng. Normalized rgb color model based shadow detection[J]. Computer Applications, 2006, **26**(8):1879-1881. [陈柏生, 陈锻生. 基于归一化 rgb 彩色模型的运动阴影检测[J]. 计算机应用, 2006, **26**(8):1879-1881]