

黄瓜蚜虫的图像识别与计数方法*

邱白晶 王天波 李娟娟 李 坤

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 通过分析蚜虫区域、绿色背景和蚜叶区的 G 分量特点, 建立 G 分量阈值确定原则, 并采用 G 分量阈值将蚜虫区域和非蚜虫区域分离开。针对蚜虫的粘连重叠问题, 利用扩展极小值阈值变换的方法对输入图像进行标记, 对标记后的图像进行距离变换和分水岭分割, 以去除粘连。试验结果表明: 算法能有效地分割粘连重叠的蚜虫, 过分割率与欠分割率之和为 3.14%。计数准确率达到 96.2%, 高于直接计数的 80.7%。

关键词: 黄瓜蚜虫 温室 图像处理 粘连 检测

中图分类号: TP391.41; S431 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0151-05

Image Recognition and Counting for Glasshouse *Aphis gossypii*

Qiu Baijing Wang Tianbo Li Juanjuan Li Kun

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Characteristics of the *Aphis gossypii* area, background and mixed area (include *Aphis gossypii* area and background) were analyzed and principle of determining was establish based on the threshold G component. Then *Aphis gossypii* area and non-*Aphis gossypii* area were separated using the threshold G component. For the overlapping *Aphis gossypii*, the input image were marked using the minimum extension transform, then distance transform and watershed algorithm was applied to the marked image, and the overlapping was removed. Experimental results showed that this algorithm could effectively segment the overlapping *Aphis gossypii*. The sum of over-segmentation rate and under-segmentation rate was 3.14%. The accurate rate was 96.2%, which was higher than the direct counting.

Key words *Aphis gossypii*, Greenhouse, Image processing, Overlap, Detection

引言

作物上害虫种群密度和危害程度是害虫防治决策的重要依据,也是精确喷药的关键信息。与人工测虫方法相比,使用计算机视觉自动获取害虫信息,不仅可降低劳动强度、提高工作效率,而且便于与后续的防治决策和精确施药实现技术对接和技术集成。当前,害虫检测和计数的难点之一是小虫体的检测和计数。当虫体很小时(如蚜虫、粉虱、螨类等),人工抽样不仅劳动量大、效率低,而且计数困难,往往造成很大的误差^[1]。就小虫体的计算机视

觉检测和计数而言,也存在着因虫体几何尺寸小而导致图像处理的困难。其一,在同样的成像设备和成像条件下,小虫体的成像质量一般比大虫体要差,这对小虫体图像特征提取、处理和检测都有一些新要求。这方面已经引起了研究者注意^[2-4]。其二,小虫体构成的虫群图像粘连很严重,这对自动化快速准确计数提出了新要求。已有通过反演模型、数学形态学等方法进行的研究^[1,5-6],但简单地进行形态学腐蚀操作虽然分离了粘连的白粉虱,却同时消除了较多的小区域,这些仍有待进一步研究。

本文以温室黄瓜蚜虫为对象,研究基于图像信

息的蚜虫检测和计数方法。

1 温室黄瓜蚜虫图像获取

1.1 温室黄瓜栽培管理与蚜虫特点

(1) 黄瓜栽培: 黄瓜品种为碧玉一号。2009年4月1日于玻璃温室进行穴盘育苗, 15 d后移栽至温室栽培槽的无土栽培袋中, 基质为珍珠岩。试验区共栽培6行, 每行12株, 株距20 cm。

(2) 黄瓜管理: 黄瓜生长期间, 根据虫量由温室管理人员进行施药控制。

(3) 蚜虫特点: 温室黄瓜蚜虫成虫多呈墨绿色, 主要栖息在黄瓜下部叶面的背部, 具有群居性。

1.2 蚜虫图像采集

(1) 采样: 2009年5月上旬在施药的前一天从黄瓜下部(下部较多, 存在粘连)摘取15片带有蚜虫的黄瓜叶片。

(2) 图像采集: 将摘取的叶片直接背面朝上放至白瓷盘中。采用IEEE1394接口的Sony DCR-PC350E型摄像机垂直拍摄图像。试验获得15幅640×480的jpg格式彩色图像。在CPU为Core Processor 3600+1.90 GHz, 内存为512 MB的PC机上对图像进行处理。处理程序在Matlab环境下编制。

2 蚜虫区域提取

采用G分量阈值将蚜虫区域和背景分离, 在蚜虫区域提取的后处理中进行灰度化、二值化、形态学滤波处理, 以满足后续标记、去粘连和计数的需要。

2.1 寻找G分量阈值方法

通过对蚜虫样本图像研究发现, 蚜虫区域和绿色背景的绿色分量均是主要颜色信息, 即同一像素的绿色通道分量均大于红色和蓝色通道分量。通过提取蚜虫和绿色背景的G分量来建立蚜虫区域提取的阈值, 实现去除绿色背景, 保留蚜虫信息的目的。

首先将蚜虫图像(图1a)分为: 绿色背景(区域A)、蚜虫区域(区域B)和蚜虫与绿色背景交界处人工无法判断的部分(简称蚜叶区C)。手工找出一条通过蚜虫的虚线, 找出虚线上绿色背景最小的G值和蚜虫区域最大的G值, 分别记为 G_{bmin} 和 G_{qmax} 。从采集的图像中随机抽出5幅, 每幅图像从上到下平均分为5部分, 在每部分中利用上述方法找出虚线上的 G_{bmin} 和 G_{qmax} 。以 G_{qmax} 为横坐标, G_{bmin} 为纵坐标, 对25个点(G_{qmax} , G_{bmin})作图(图1b)。由图可知: ①所有点均在对角线的上方, $G_{bmin} > G_{qmax}$ 。② G_{bmin} 的最小值为116, G_{qmax} 最大值为113,

$\min(G_{bmin}) > \max(G_{qmax})$, 蚜虫区域和绿色背景可分。③图中不包括蚜叶区, 蚜叶区的G值为114和115。

G值为114、115的蚜叶区的比例为0.1%, 像素很少。另外为了更好地保留蚜虫信息, 将蚜叶区G值为114、115的区域认定为蚜虫区域。由于蚜叶区位于蚜虫与背景的边界上, 因此此处理不会使背景形成单独区域, 但会使离得很近的蚜虫发生粘连。这种粘连情况利用后续的分水岭分割算法可有效将其分割开来, 不影响计数。最终选取分割阈值 T_c 为115。

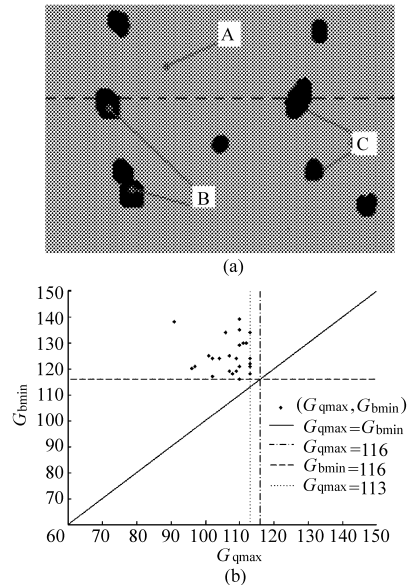


图1 寻找G分量示意图

Fig. 1 Sketch map of G component finding
(a) 蚜虫图像示意图 (b) G_{bmin} 和 G_{qmax} 分析图

2.2 蚜虫区域提取

满足G值小于等于115的区域即为蚜虫区域, 像素值与原图像保持不变; 否则为背景, 像素值设置为白色(3分量均为255)(图2b)。

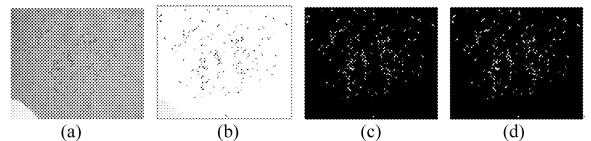


图2 蚜虫区域提取过程

Fig. 2 Flow chart of *Aphis gossypii* area extraction
(a) 原始图像 (b) 蚜虫区域提取图
(c) 二值化图像 (d) 形态学滤波图像

2.3 二值化处理

利用最大类间方差法^[7]确定最优阈值, 对蚜虫区域提取后的图像进行二值化处理。为满足后续形态学处理需要, 非蚜虫区域设置为黑色(0), 蚜虫区域设置为白色(1)(图2c)。

2.4 形态学滤波

利用3×3方形结构元素先后对二值图像执行

开运算和闭运算,可抑制噪声,平滑边缘。滤波后图像如图 2d 所示。

3 粘连蚜虫的分水岭分割

从图 2d 看出,二值化后的蚜虫图像具有较多粘连重叠,直接标记会使计数结果偏低,为计数准确,需把粘连蚜虫分割开来。利用控制标记符的分水岭分割算法对粘连蚜虫进行分割,去除粘连。

3.1 传统分水岭分割算法

传统的距离变换分水岭分割和梯度变换分水岭分割算法都有过分割问题,分别如图 3c、3d 所示。由于蚜虫较小,原图像尺寸很大,为方便说明采用局部放大图。图 3b 为图 3a 方框部分的局部放大图。

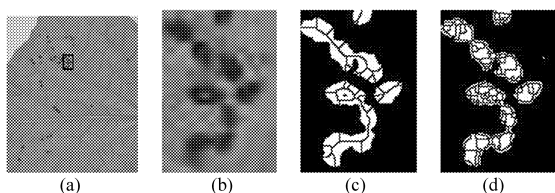


图 3 传统分水岭分割算法分割结果

Fig. 3 Traditional watershed segmentation results

(a) 原始图像 (b) 方框局部剪切放大图像

(c) 距离变换分水岭分割结果 (d) 梯度分水岭分割结果

3.2 标记控制分水岭分割算法

因为图像中存在过多的极小值,直接计算图像分水岭会产生过分割,为解决这一问题在进行分水岭分割之前首先利用扩展极小值阈值变换对输入图像进行滤波,对图像的目标和背景进行标记,再对标记后的图像进行距离变换,最后应用分水岭算法,可以得到较好的分割效果。

3.2.1 扩展极小值

(1) 区域极小值:极小值对应暗目标,极大值对应亮目标。区域极小值是像素的连通成分,不限于单像素。图像 f 在高度 t 处的区域极小值 M 是像素值为 t 且外部边缘像素值严格大于 t 的像素连通成分,记为 $R_{\min t}(f)$ 。

(2) h -极小值^[8]:原始图像的区域极值可标记出相关和不相关的图像特征, h -极小值变换抑制了所有深度大于等于给定阈值级 h 的极小值,可通过在 $f+h$ 中对 f 进行腐蚀重建实现

$$H_{\min h}(f) = R_f^e(f+h) \quad (1)$$

式中 $H_{\min h}(f)$ —— h -极小值

$R_f^e(f+h)$ ——从标记图像 $f+h$ 中对掩模图像 f 进行腐蚀重建

(3) 扩展极小值^[9]:扩展极小值 E_{\min} 为对应于 h -极小值变换的区域极小值

$$E_{\min h}(f) = R_{\min}(H_{\min h}(f)) \quad (2)$$

扩展极小值标记后的图像记为 f_m , p 为 f_m 上的像素点,则有

$$f_m(p) = \begin{cases} 1 & (\text{如果 } p \text{ 属于某一标记}) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (3)$$

3.2.2 深度阈值 h 对分割结果的影响

阈值 h 过大,使 2 个极小值汇成 1 个极小值造成欠标记,最终造成欠分割(图 4c)。阈值 h 过小,极小值滤波不彻底,依然存在伪极小值,最终造成过分割(图 4d)。阈值 h 选择适当,分割效果较好(图 4e)。

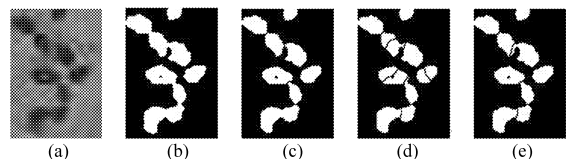


图 4 阈值 h 对分割结果的影响

Fig. 4 Influence of threshold h on watershed segmentation results

(a) 原始图像 (b) 二值图像 (c) $h=35$ (欠分割)

(d) $h=14$ (过分割) (e) $h=26$ (分割效果较好)

由图 4 可知,阈值 h 的选择对分割效果影响很大。但是目前还缺少确定阈值 h 的有效原则。为此,采用数值试验方法^[10]确定阈值 h 。

3.2.3 深度阈值 h 的确定

以过分割率 E_g 、欠分割率 E_q 、误分割率 E_w 作为分割优劣的指标。

过分割率是指因过分割而导致蚜虫数的增加量与实际蚜虫数的比值。欠分割率是指因欠分割而导致蚜虫数的减少量与实际蚜虫数的比值。误分割率 E_w 为

$$E_w = E_g + E_q \quad (4)$$

当过分割率与欠分割率相等时,因过分割增加的蚜虫数与因欠分割减少的蚜虫数相等。计数结果的数值准确率最高;当误分割率最小时,分割效果最佳。

从采集的蚜虫图像中随机取出 5 幅,经初步试验知: $h < 10$ 过分割严重, $h > 40$ 欠分割严重。本文 h 的取值区间为 $[10, 40]$,步长为 2。计算每幅图像不同 h 值下的过分割率、欠分割率及误分割率,再求出同一 h 值下的平均值,结果如图 5 所示。

由图 5 知,过分割率与欠分割率相等即相交于 24~26 之间,误分割率的最小值为 3.14%,经试验验证最终选取 $h=26$ 。

3.2.4 距离变换

距离变换是对二值图像的一种操作运算,它将一幅二值图像转换为了一幅灰度图像^[11]。经扩展极小值标记后的图像是一个二维数组,记为

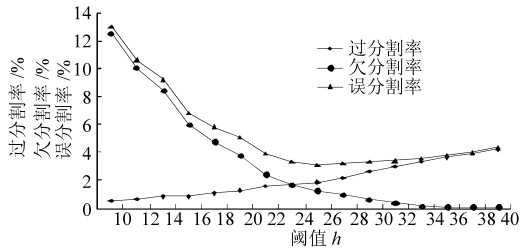


图5 阈值 h 对过分割率、欠分割率和误分割率的影响曲线

Fig. 5 Influence curve of threshold h on the over-segmentation rate, under-segmentation rate and error-segmentation rate

$f_m = [a_{ij}]$, 其中 $a_{ij} = 1$ 的像素对应目标, $a_{ij} = 0$ 的像素对应背景。

设 $B = \{(x, y) | a_{xy} = 1\}$ 为目标点集合, 则距离变换就是对 f_m 中所有像素点 (i, j) 求

$$d_{ij} = \min[\sqrt{(i-x)^2 + (j-y)^2}] \quad ((x, y) \in B) \quad (5)$$

距离变换后的图像如图 6d 所示。

3.2.5 分水岭分割

图像的积水盆可以看作图像区域极小值的影响区, 分水岭就是图像极小值影响区的骨架^[8], 此骨架(分水岭线)形成了蚜虫的分割线, 如图 6e 所示。最后将图 6b 与图 6e 进行逻辑与操作, 最终得到分割结果, 如图 6f 所示。

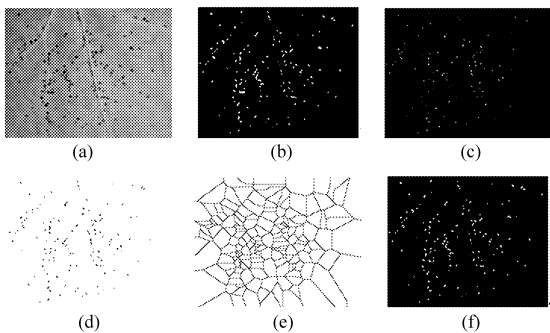


图6 分水岭分割过程示意图

Fig. 6 Flow chart of watershed segmentation

(a) 原始图像 (b) 二值化图像 (c) 极小值标记
(d) 距离变换 (e) 分水岭线 (f) 逻辑与操作结果

4 蚜虫计数

二值化的蚜虫图像常常会出现一些小的杂点(伪目标区域), 若不去除, 利用连通区域标记法^[12]计数结果将偏高。

提取了 76 只不同图像上单个蚜虫的面积像素, 其像素均大于 5, 计数前首先滤去像素小于 5 的区域。计数时只标记像素大于 5 的连通区域, 最大标记数即为蚜虫数量。

5 蚜虫计数试验

对 15 幅蚜虫图像采用图像 G 分量阈值将蚜虫区域与非蚜虫区域分离后, 分别采用不作粘连处理的直接计数和分水岭分割后计数, 结果如表 1 所示。

表 1 蚜虫数量计数结果

Tab. 1 Results of the aphigossypii number

图像编号	人工计数 数数/只	直接计数 数数/只	相对误差 /%	分水岭分割后计数 数量/只	相对误差 /%
1	79	67	15.2	71	10.1
2	122	100	18.0	119	2.5
3	124	103	16.9	121	2.4
4	123	108	12.2	117	4.9
5	150	131	12.7	147	2.0
6	152	123	19.1	150	1.3
7	163	129	20.9	158	3.1
8	179	139	22.3	167	6.7
9	181	147	18.8	175	3.3
10	190	152	20.0	183	3.7
11	190	146	23.2	185	2.6
12	187	137	26.7	183	2.1
13	172	136	20.9	164	4.7
14	161	125	22.4	151	6.2
15	156	124	20.5	153	1.9
均值			19.3		3.8

由表 1 可知: 对蚜虫图像未去粘连直接计数的相对误差为 19.3%, 计数正确率为 80.7%; 经分水岭分割去粘连之后再利用连通标记法计数, 相对误差为 3.8%, 计数准确率为 96.2%, 比直接计数提高了 15.5%。

6 结论

(1) 通过分析蚜虫区域、绿色背景和蚜叶区的 G 分量特点, 建立 G 分量阈值确定原则。采用 115 的阈值将蚜虫区域和非蚜虫区域分离开。

(2) 针对去粘连时的过分割问题提出利用扩展极小值标记控制的分水岭分割算法。并利用过分割率、欠分割率、误分割率作为分割优劣的指标来考证 h 最优值。当深度阈值 $h = 26$ 时, 误分割率最小, 为 3.14%。

(3) 对去粘连后的蚜虫图像进行计数, 正确率达到 96.2%, 比不作粘连处理的直接计数提高了 15.5%。

参 考 文 献

- 1 沈佐锐,于新文. 温室白粉虱自动计数技术研究初报[J]. 生态学报,2001,21(1):94~99.
Shen Zuorui, Yu Xinwen. Preliminary research on automated counting technology for *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,21(1):94~99. (in Chinese)
- 2 邱白晶,程麒文,陈国平,等. 长翅灰飞虱图像边缘的多区域多结构检测方法[J]. 农业机械学报,2008,39(7):119~123.
Qiu Baijing, Cheng Qiwen, Chen Guoping, et al. Multiple areas and multiple structures method of image edge detection for the long wing laodelphax striatellus[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2008,39(7):119~123. (in Chinese)
- 3 邱道尹,张成花,张红涛,等. 神经网络在储粮害虫识别中的应用[J]. 农业工程学报,2003,19(1):142~144.
Qiu Daoyin, Zhang Chenghua, Zhang Hongtao, et al. Application of neural networks in the recognition of stored-grain pests [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2003,19(1):142~144. (in Chinese)
- 4 赵汗青,沈佐锐,于新文. 数学形态特征应用于昆虫自动鉴别的研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(3):38~42.
Zhao Hanqing, Shen Zuorui, Yu Xinwen. On computer-aided insect identification through math-morphology features [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002,7(3):38~42. (in Chinese)
- 5 邱白晶,陈国平,程麒文. 水稻白背飞虱虫害的冠层光谱特性与虫量反演[J]. 农业机械学报,2008,39(9):92~99.
Qiu Baijing, Chen Guoping, Cheng Qiwen. Canopy spectral reflectance feature of rice infected with *sogatella furcifera* and insect number inversion [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2008,39(9):92~99. (in Chinese)
- 6 张建伟,王永模,沈佐锐. 麦田蚜虫自动计数研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):159~162.
Zhang Jianwei, Wang Yongmo, Shen Zuorui. Novel method for estimating cereal aphid population based on computer vision technology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006,22(9):159~162. (in Chinese)
- 7 Despland E, Rosenberg, Simpson S J. Landscape structure and locust swarming: a satellite's eye view [J]. *Ecography*,2004,27(3):381~391.
- 8 Soille P. Morphological image analysis: principles and applications [M]. 2nd ed. Berlin, Germany: Springer, 2003.
- 9 Meyer F, Beucher S. Morphological segmentation [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1990,1(1):21~46.
- 10 邱白晶,赵晓丽,贾卫东,等. 基于图像的植物叶面雾滴接触角稳定区间法测量[J]. 农业机械学报,2009,40(5):139~144.
Qiu Baijing, Zhao Xiaoli, Jia Weidong, et al. Stable interval method based on images to measure drop contact angles on plant leaf surfaces [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2009,40(5):139~144. (in Chinese)
- 11 Breu H, Gil J, Kirkaptrick D, et al. Linear time euclidean distance transform algorithms [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,1995,17(5):529~533.
- 12 Alvarado P. Segmentation of color images for interactive 3D object retrieval [D]. Alemania: RWTH-A, 2004.

~~~~~

(上接第150页)

- 11 王元凤,金征宇. 茶多糖脱色的研究[J]. 食品与发酵工业,2004,30(12):60~65.  
Wang Yuanfeng, Jin Zhengyu. Study on de-coloration of tea polysaccharides [J]. *Food and Fermentation Industries*,2004,30(12):60~65. (in Chinese)
- 12 胡娟,李丹丹,金征宇,等. 树脂对菊糖液的脱色研究[J]. 食品与机械,2006,22(6):49~52.  
Hu Juan, Li Dandan, Jin Zhengyu, et al. Study on de-coloration of inulin by resin [J]. *Food and Machinery*,2006,22(6):49~52. (in Chinese)
- 13 刘燕琼,黄雪松. 732 离子交换树脂和 DEAE-23 树脂纯化大蒜多糖比较[J]. 食品研究与开发,2006,27(7):149~151.  
Liu Yanqiong, Huang Xuesong. Comparison of pure methods for garlic polysaccharide by 732 ion exchange an DEAE-23 resin [J]. *Food Research and Development*,2006,27(7):149~151. (in Chinese)
- 14 高美凤,俞婷婷. 黄芪多糖中脱蛋白方法的研究[J]. 中华中医药学刊,2008,26(3):614~615.  
Gao Meifeng, Yu Tingting. Study methods for removing protein from the astragalus polysaccharides extract [J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*,2008,26(3):614~615. (in Chinese)
- 15 张翼伸. 怎样研究植物多糖[J]. 生命的化学,1999,19(6):296~297.