

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.09.035

美国白蛾幼虫网幕图像识别算法*

赵颖¹ 孙群¹ 葛广英²

(1. 聊城大学汽车与交通工程学院, 聊城 252000; 2. 聊城大学物理与信息工程学院, 聊城 252000)

摘要: 根据美国白蛾幼虫网幕图像色彩分布特征, 选择 RGB 颜色空间, 分析网幕、叶片和树枝的各通道数据的差值, 采用 $R-B$ 色差模型并结合最大类间方差法和阈值算法, 分割网幕图像。使用 Freeman 编码算法和区域标记计算出每一区域的面积, 使用多个面积的平均值和标准方差确定面积双阈值, 进行残余噪声去除。根据面积分别对大片白色区域和细小白色区域使用改进的膨胀腐蚀法进行图像补偿。实验表明, 网幕图像识别精度在 85% 以上, 单幅图像处理时间小于 40 ms。

关键词: 美国白蛾 幼虫网幕 图像识别

中图分类号: TP242.6; S763.42 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)09-0198-05

Image Recognition Algorithm of *Hlyphantria cunea* Larva Net

Zhao Ying¹ Sun Qun¹ Ge Guangying²

(1. School of Automobile and Transportation Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China

2. School of Physics and Information Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

Abstract: According to color distribution characteristics of *Hlyphantria cunea* larva nets, RGB color space was selected and the data differences of each channel were analyzed for net curtains, leaves and branches. Furthermore, $R-B$ color model with the Otsu method and threshold algorithm were used to segment images. The region labeling and Freeman coding methods were adopted to calculate the area of each region. The double threshold value was determined and residual noise was removed by using the mean and standard deviation of a plurality area. According to the differences between area sizes, fine white and white regions were compensated by using improved expansion corrosion method. Experimental results showed that the accuracy of net curtain image recognition was above 85% and single image processing time was less than 40 ms.

Key words: *Hlyphantria cunea* Larva net Image recognition

引言

美国白蛾又名美国灯蛾、秋幕毛虫, 繁殖力强, 危害 300 多种植物, 尤其是阔叶树, 是世界性检疫害虫。1979 年我国辽宁省丹东市首次发现该虫, 目前, 已蔓延至天津、北京、河北、辽宁、山东、陕西等地^[1]。美国白蛾在幼虫期危害树木最为严重。幼虫共 7 龄, 1~2 龄幼虫附于叶片上, 只取食叶肉, 整个叶片呈透明的纱网状, 3 龄幼虫将叶片咬成缺壳, 4 龄幼虫开始分成若干个小的群体, 5 龄后单个取

食。整个幼虫期间取食量极大, 造成植物长势衰弱, 抗逆力低下, 部分枝条甚至整株死亡。前 3 龄幼虫网幕较明显, 是实施防治的最佳时机。目前常采用人工摘除网幕和化学药剂大规模喷施的防治方法^[2]。这些方法大多粗放、低效、高污染, 研究美国白蛾幼虫网幕图像识别方法, 进而研制智能对靶喷药机器人装置, 具有重大的现实意义。

对靶施药是当前精细农业的研究重点之一, 国内外学者在大田、果园和设施农业病害防治方面都进行了有意义的探索^[3~11]。但美国白蛾网幕识别

收稿日期: 2012-09-25 修回日期: 2013-02-25

* 山东省自然科学基金资助项目(ZR2012CQ026, ZR2011EL038)和山东省高等学校科技发展计划资助项目(J11LD16, J12LB63)

作者简介: 赵颖, 副教授, 主要从事机器视觉与图像处理、生物生产机器人研究, E-mail: zhaoying@lccu.edu.cn

方面国内尚未见相关报道。

使用机器视觉技术对喷射目标进行识别是精确对靶的前提。由于美国白蛾幼虫网幕具有分布不确定性和干扰较多等特点,给识别造成了一定的难度。为准确识别幼虫网幕目标区域,本文提出一种基于R-B色彩通道的图像识别方法。

1 图像采集和色彩空间的确定

1.1 采集图像及处理设备

美国白蛾在我国北方地区1年发生2~3代,以山东省聊城市为例,3代幼虫发生期分别在5月上旬、7月中旬和9月上旬,幼虫孵出几个小时后即吐丝结网,开始吐丝缀叶1~3片,随着幼虫生长,网幕随之增大,严重时犹如一层白纱包缚整个树冠。研究以前3龄网幕为目标,图像采集地点为山东省聊城市开发区周边的阔叶树林区,时间为2012年5月上中旬。选择晴朗、无风状态的天气,上午10时左右,使用佳能600D型数码相机以手持拍摄方式采集彩色图片200幅,640×480分辨率,BMP位图格式存储。采集到的美国白蛾网幕案例图片如图1所示。

1.2 色彩空间确定

选择合适的色彩空间有利于减少图像处理时间,并为确定幼虫网幕分割策略奠定基础。分别比较了RGB颜色空间、归一化rgb颜色空间、HIS颜色空间、YCrCb颜色空间、I₁I₂I₃颜色空间和Lab颜色空间6种不同颜色空间。

将所拍摄到的图像中的物体分为3类:美国白

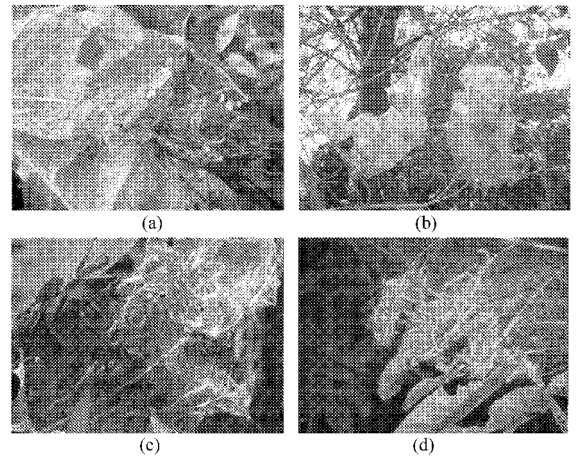


图1 美国白蛾幼虫网幕案例图像

Fig.1 Example images of *Hlyphantria cunea* larva net
(a) 1~2龄幼虫网幕 I (b) 1~2龄幼虫网幕 II
(c) 3龄幼虫网幕 I (d) 3龄幼虫网幕 II

蛾幼虫网幕、绿色的叶子和褐色的枝条。其中,叶子、枝条等作为背景在图像中剔除。采用图像分析处理软件Image-Pro Plus 6.0中的Measurement分别提取网幕、叶子和枝条的颜色数据5400、5400和2300个。将采集到的数据分别保存到3个独立的.xls文件中,利用Excel及统计分析软件SPSS 18.0将以上3个.xls文件分别导入,根据不同颜色空间的基本转换公式进行转换,画出美国白蛾幼虫网幕区域不同颜色空间分布盒装图,如图2所示,图像中横坐标表示各颜色通道,下标1、2、3分别表示网幕、叶子和枝条;纵坐标表示各分量的分布范围。

根据上述分析可以得到结论:①单纯用一种颜色分量很难准确地将幼虫网幕从背景图像中分离出

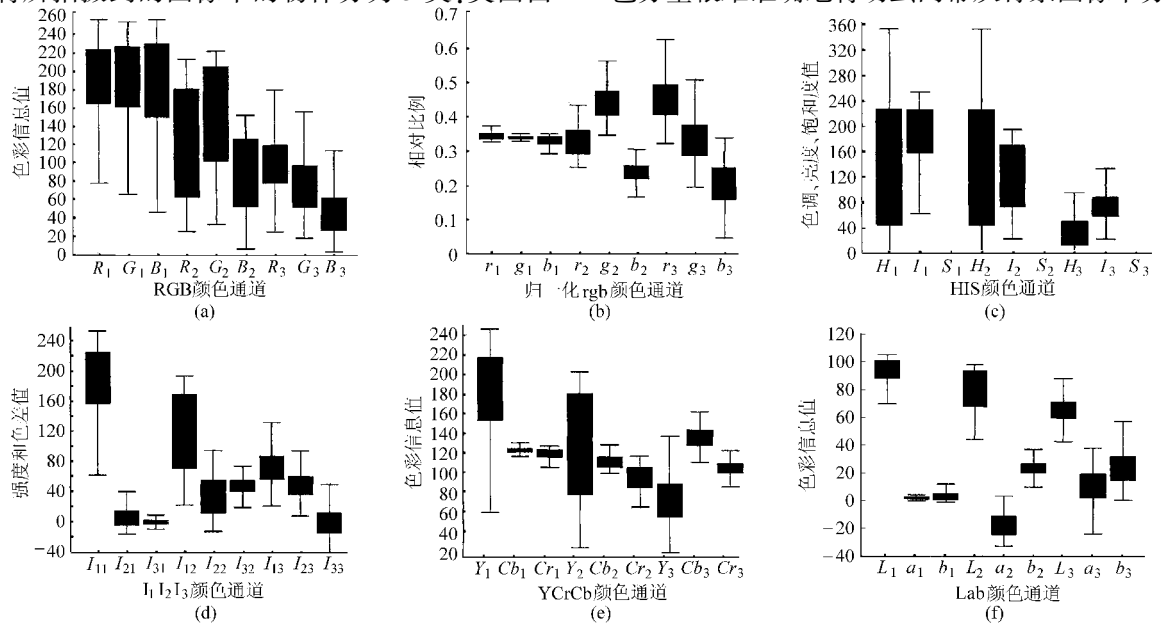


图2 网幕、叶片、树枝的颜色空间分析盒装图

Fig.2 Color space analysis boxed figure of larva nets, leaves and tree branches

(a) RGB颜色空间 (b) 归一化rgb颜色空间 (c) HIS颜色空间 (d) I₁I₂I₃颜色空间 (e) YCrCb颜色空间 (f) Lab颜色空间

来。②在 Lab 颜色空间和 $I_1I_2I_3$ 颜色空间中,虽然可以采用单一颜色分量将目标和背景分割,但是耗时较多。③在 RGB 颜色中分割目标与背景,图像处理时间较少,实时性较强。本文从实时性的角度选用 RGB 颜色空间。

2 基于色差的幼虫网幕识别方法

2.1 基于色差的色彩通道确定

从网幕、叶子和枝条位置提取出的数据中随机选取多组数据,分别计算其 $R-G$ 、 $B-G$ 、 $R-B$ 颜色分量差值,利用 SPSS 18.0 对 3 个颜色差值均值进行分析,如表 1 所示。

表 1 物体颜色差值均值统计

Tab.1 Mean statistics of object color difference

物体名称	$R-G$	$R-B$	$B-G$
网幕	23.2	11.4	15.3
叶片	17.3	50.6	36.5
树枝	39.3	55.2	15.9

由表 1 可以看出,在差值 $R-B$ 中,网幕的数据与叶片、树枝的差值差异要比其他两种差值的差异大,故选择差值 $R-B$ 进行网幕的识别。

2.2 分割方法研究

图像分割方法一般包括基于区域的分割方法、基于灰度的分割方法和基于边缘的分割方法 3 类^[12],本文综合上述方法的优缺点,选择了基于区域的分割方法中的最大类间方差法,算法过程描述如下:

(1) 记录原始图像 $R-B$ 值。

(2) 将此差值按照升序顺序排列,用 D_i 表示 ($0 < i \leq 640 \times 480$),统计其中最大值 M_{\max} 和中值 M_{med} 。

(3) 进行阈值计算。

$$T_{\text{threshold}} = \mu_1 M_{\text{med}} + \mu_2 M_{\max} \quad (1)$$

$$\text{其中 } \mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=m}^n D_i} \quad \mu_2 = 1 - \mu_1$$

式中 $T_{\text{threshold}}$ ——阈值

m ——差值小于中值的像素数

n ——所有像素数

(4) 对原始图像进行阈值化处理。

$$f(x, y) = \begin{cases} 255 & (D_i < T_{\text{threshold}}) \\ 0 & (D_i \geq T_{\text{threshold}}) \end{cases} \quad (2)$$

使用上述算法分割案例图像,结果如图 3 所示。1~2 龄幼虫附于叶面只取食叶肉,所以图 3a、3b 网幕大部分被识别出来,图 3b 中由于目标较远,图像

中出现了天空这一亮度较高的区域被同时识别出,但纵横的枝叶将其分割为若干小的区域。3 龄幼虫将叶子咬成缺壳,部分区域仅留有较细的丝线,失去叶片依托的网幕受到背景颜色干扰,所以图 3c 和图 3d 网幕没有连成片,部分区域只识别出细线般的网幕边缘,尚需进一步识别。

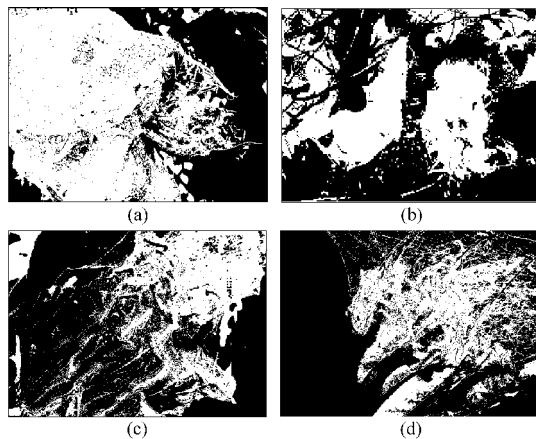


图 3 案例图像分割结果

Fig. 3 Segmentation of example images

(a) 1~2 龄幼虫网幕 I (b) 1~2 龄幼虫网幕 II
(c) 3 龄幼虫网幕 I (d) 3 龄幼虫网幕 II

2.3 图像去噪和修补处理

阈值分割后的二值图像中存在较多干扰区域,部分目标区域没有连成片,需进行去噪和修补处理。

2.3.1 干扰区域去除处理

分割后的图像中网幕区域绝大多数表现为两种情况:大片白色区域(图 3a)和呈现线状的间断区域(图 3c)。而噪声一般介于两者之间,表现为面积不大的块状区域(图 3b)。依据这一特征研究使用了双阈值处理方法:

(1) 对二值图像从上到下,从左到右进行扫描。如果遇到白色像素则进行标记,并按照 Freeman 编码方式^[12]反时针跟踪,如果能够连接在一起,则表明此区域为一个整体。给图像中每一个可以连接在一起的整体进行区域标记(贴标签),命名为区域 1, 2, ..., N。N 为图像中所有区域的个数。

(2) 贴标签的同时在内存中开设一个动态数组 $p()$ 记录每一区域所含像素的个数,各个数组成员的大小即为相对应区域的面积,分别记为 $p(1)$, $p(2)$, ..., $p(i)$, ..., $p(N)$ 。

(3) 确定面积双阈值。将各个面积按照降幂排列重新生成数组,并求出面积的平均值 A 和标准方差 D 。

$$\begin{cases} A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(i) \\ D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A - p(i))^2} \end{cases} \quad (3)$$

经实验,最佳阈值确定为 $T_1 = A - D, T_2 = A + D$ 。

(4) 噪声点的剔除。依据计算的面积阈值对所有整体区域部分像素点的灰度进行阈值化处理。

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & (T_1 \leq p_i \leq T_2) \\ 255 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $f(x, y)$ ——像素点 (x, y) 处的灰度

经处理后的结果如图4所示。图4a中大片白色区域被保留,图4b中被枝叶分割的天空噪声区域被去除,图4c、4d中大片白色区域和间断的丝线被保留,面积较集中的小块状区域被去除。

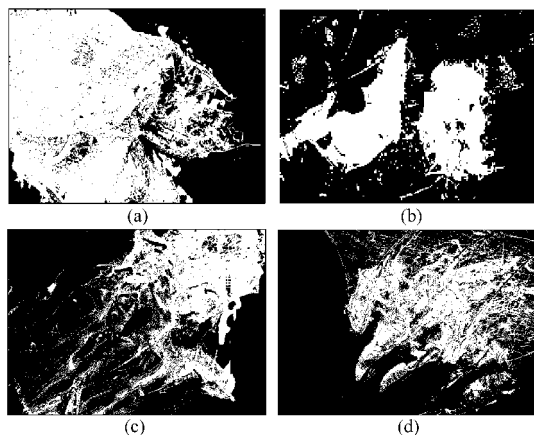


图4 案例图像大片噪声去除结果

Fig. 4 Noise remove of example images

(a) 1~2 龄幼虫网幕 I (b) 1~2 龄幼虫网幕 II

(c) 3 龄幼虫网幕 I (d) 3 龄幼虫网幕 II

2.3.2 改进的膨胀腐蚀法

膨胀是指某黑色像素8邻域内只要有一个像素是白像素,则该像素就由黑变白,而其他保持不变;腐蚀是指某白色像素8邻域内只要有一个像素是黑像素,则该像素就由白变黑,而其他保持不变^[13]。单纯使用膨胀腐蚀会将细长的丝线部分误判,针对这一问题使用了改进的膨胀腐蚀法。

(1) 基于特征的区域划分。将干扰区域去除处理后贴有标签的区域分为两类,面积大于 T_1 的称为第1类,表现为大片白色区域;面积小于 T_2 的称为第2类,表现为细小白色区域,大部分为网幕丝线,另有个别噪声点存在。丝线表现出一致的走向性,且大都朝向大片白色区域,噪声则杂乱分布。

(2) 对第1类区域进行腐蚀处理,去除区域内部细小的黑色干扰。

(3) 对第2类区域的每一个标记区域记录其左上、右上、左下、右下4个点的坐标(该步骤在贴标签时一并进行),命名为 X_{LH} 、 X_{RH} 、 X_{LL} 和 X_{RL} ,连接点 $X_{LH}-X_{RH}$ 、点 $X_{RH}-X_{LL}$,求得两直线的长度,计算其中较长直线的斜率作为该区域的走向,记为 k_i (两直线同样长度的认为走向是垂直方向)。对于小于4

个像素的区域,当像素处于对角线位置时计算对角线斜率,当像素水平时记斜率为0,只有一个像素的区域不计。所有直线中出现垂直情况的不计算斜率但统计其出现频率。

(4) 将 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 区域18等分,对所有斜率按其对应角度范围向18个区域投票,对所得的18个投票数量计算其标准方差,参照式(3),经实验确定,当标准差小于120时,认为图像中没有丝线,所有细小白色区域都作为噪声去除,当标准差大于120时,选择数量最大的区域对应的角度范围作为网幕丝线部分的走向,斜率处于这一部分的区域保留,其余部分去除。

经上述3步方法处理后的结果如图5所示。大片白色区域连接成片,图5a、图5b表明细小噪声点被去除,图5c、图5d保留的细小白色部分走向基本一致。

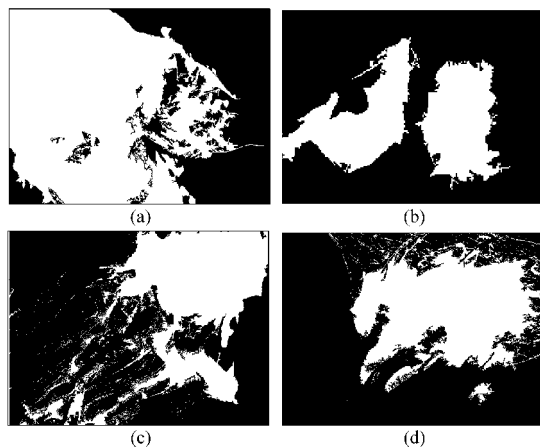


图5 图像去除细小噪声处理结果

Fig. 5 Results of dilation and erosion process

(a) 1~2 龄幼虫网幕 I (b) 1~2 龄幼虫网幕 II

(c) 3 龄幼虫网幕 I (d) 3 龄幼虫网幕 II

(5) 对于被保留的第2类区域,使用区域间膨胀法对其进行修补。即从左到右从上到下逐行扫描图像,当遇到新的标记区域时,即按照其斜率方向膨胀图像,直到遇到另一个标记区域为止,第1个区域的标记值变为与第2个区域一致,如此反复,直到扫描完毕,某个区域膨胀到图像底部也没有遇到新区域的,该次膨胀取消。

经修补处理后结果如图6所示。图6a、6b中细小小白点已被去除,图像中没有第2类区域,没有进行修补;图6c、6d大部分丝线修补成功,但图6c左部边缘部分由于目标区域过少、斜率分布不均匀没有膨胀成功。

3 实验

实验硬件采用联想启天 M715E 型台式计算机,

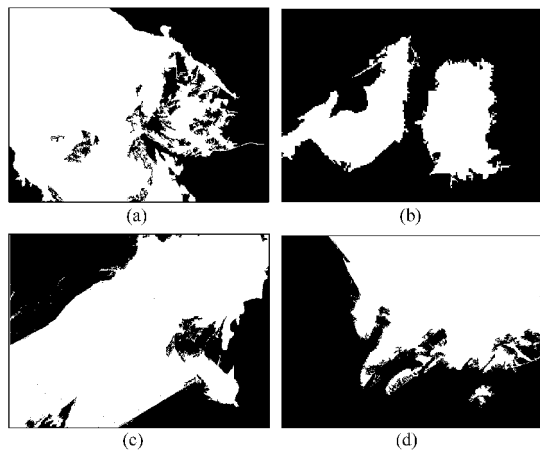


图6 案例图像修补处理结果

Fig. 6 Dilation and erosion process of example images

(a) 1~2 龄幼虫网幕 I (b) 1~2 龄幼虫网幕 II
(c) 3 龄幼虫网幕 I (d) 3 龄幼虫网幕 II

英特尔 Pentium Dual-core E6700、3.2 GHz 主频 CPU、2.0 GB 内存。在 Windows XP 系统下使用 VC++6.0 编程实现。算法分析使用的案例图 1 中,图 1a、1b 处理时间为 25 ms,图 1c 处理时间为 35 ms,图 1d 为 33 ms。经 200 幅图像实验,单幅图像处理时间小于 40 ms。

为评价算法的有效性及精确度,对 200 幅图像随机抽取实验计算其分割精度,计算公式为

$$A_{\text{Accuracy}} = \left(1 - \left| \frac{A_{\text{Areal}} - A_{\text{Area2}}}{A_{\text{Areal}}} \right| \right) \times 100\% \quad (5)$$

其中, A_{Areal} 、 A_{Area2} 分别为原始图像和最终处理图像中目标区域的像素数。

实验数据如表 2 所示,在实验用 10 幅图像中前 5 幅为 3 龄幼虫网幕,后 5 幅为 1~2 龄幼虫网幕。

由实验结果可以看出,1~2 龄幼虫网幕由于幼虫较小密集附着于叶片上,经改进的膨胀腐蚀法区别后显示目标区域较为集中,基本没有被保留的第 2 类区域,所以处理时间短且识别率较高,而 3 龄幼虫肢体较大,将叶片咬成缺壳,很多区域形成间断的丝线状,处理使用了区域间膨胀法对其进行修补,所

以处理时间较长,且幼虫分布比较分散,无一定规律性可循,个别区域无法识别,所以较 1~2 龄幼虫的识别率低。算法总体精确度大于 85%。

表 2 分割精度

Tab.2 Accuracy of image segmentation

序号	分割前面积 /像素	分割后面积 /像素	差值 /像素	精确度 /%
1	21 169	18 886	2 283	89.22
2	2 489	2 713	136	94.54
3	38 683	34 041	4 642	88.01
4	81 083	69 755	11 328	86.03
5	21 933	18 772	3 161	85.59
6	40 924	43 052	2 128	94.80
7	39 924	35 895	4 029	89.91
8	71 310	64 991	6 319	91.14
9	1 087	1 162	75	93.10
10	26 426	25 072	1 354	94.88

4 结论

(1)经比较分析,美国白蛾幼虫网幕与背景分割的色彩空间确定为 RGB 空间,使用 $R-B$ 通道。提出最大类间方差法结合阈值算法,对美国白幼虫网幕图像进行区域分割,得到二值图像。

(2)统计各白色区域面积,计算其平均值和标准方差确定双阈值,去除面积处于中间的白色干扰区域。将剩余区域分为两类:大片白色区域和细小白色区域。对于大片白色区域使用腐蚀法进行补偿,对于细小白色区域计算每一区域的斜率,统计其分布特征,将细小干扰区域去除,对于保留区域使用改进的膨胀法补偿,最终得到目标区域,识别精度在 85% 以上。

(3)算法使用简单的 $R-B$ 通道,避免了颜色空间的转换,在对细小白色区域进行分析排除和修补时,尽管区域很多,但区域实际面积很小,且没有用到很复杂的函数计算,算法仍具有较高的实时性。

参 考 文 献

- 1 韦有东. 美国白蛾的发生特点及防治措施[J]. 现代农业科技, 2011, 13(20): 181~183.
- 2 张波, 程伟. 美国白蛾的发生规律及防治技术[J]. 北京农业, 2011, 31(24): 30~32.
Zhang Bo, Cheng Wei. Fall webworm and control technology[J]. Beijing Agricultural, 2011, 31(24): 30~32. (in Chinese)
- 3 Pieter Johannes, Ende tes-Gravenzande, Anton le Lzak, et al. Method for spraying cultivations in greenhouse involves using at least one fluid reinforced by gas to promote full coverage of growing plant: NL, 1018899[P]. 2003-05-01.
- 4 Sammons P J, Furukawa T, Bulgin A. Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse[C]// Australian Conference on Robotics and Automation, Sydney, Australian, 2005: 1~8.
- 5 Gillis K P, Giles D K, Slaughter D C, et al. Injection mixing system for boomless, target-activated herbicide spraying[J]. Transactions of ASAE, 2003, 64(4): 997~1008.
- 6 Hong Y Jeon, Lei Tian, Loren Bode, et al. Plant specific direct chemical application field robot[C]// 2009 ASABE Annual Meeting, ASABE Paper 095697, 2009.

- Computer and Electronic in Agriculture, 2006, 51(2): 1~16.
- 15 Baker B, Olszyk D M, Tingey D. Digital image analysis to estimate leaf area[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(8): 530~535.
- 16 郭孝玉, 孙玉军, 王轶夫, 等. 基于改进人工神经网络的植物叶面积测定[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 200~204, 199.
Guo Xiaoyu, Sun Yujun, Wang Yifu, et al. Improved artificial neural network for determination of plant leaf area [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 200~204, 199. (in Chinese)
- 17 Nyakwende E, Paull C J, Atherton J G. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1997, 72(9): 225~262.
- 18 Rouphael Y, Mouneimne A H, Ismail A, et al. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrid* L.) based on leaf length and width measurement[J]. Photosynthetica, 2010, 48(11): 9~15.
- 19 Pal N R, Pal S K. A review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277~1294.
-

(上接第 202 页)

- 7 胡天翔, 郑加强, 周宏平, 等. 基于 DSSA 的智能对靶喷雾机软件系统设计[J]. 林业科技开发, 2008, 22(2): 68~70.
Hu Tianxiang, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Design method of software system for intelligent target oriented sprayer based on DSSA[J]. China Forestry Science and Technology, 2008, 22(2): 68~70. (in Chinese)
- 8 耿长兴, 张俊雄, 曹峥勇. 温室黄瓜病害对靶施药机器人设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 177~180.
Geng Changxing, Zhang Junxiong, Cao Zhengyong. Cucumber disease toward-target agrochemical application robot in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 177~180. (in Chinese)
- 9 尹东富, 陈树人, 毛罕平. 基于模糊控制的棉田变量对靶喷药除草系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 179~183.
Yin Dongfu, Chen Shuren, Mao Hanping. Weed control system for variable target spraying based on fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 179~183. (in Chinese)
- 10 尹东富, 陈树人, 裴文超. 基于处方图的室内变量喷药除草系统设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 131~135.
Yin Dongfu, Chen Shuren, Pei Wenchao. Design of map-based indoor variable weed spraying system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 131~135. (in Chinese)
- 11 成莹, 丁伟, 丁向美. 基于机器视觉的自走式喷药机械的田间路径识别研究[J]. 农业科技与装备, 2010, 15(8): 29~32.
Cheng Ying, Ding Wei, Ding Xiangmei. Research on the field path recognition of self-propelled spraying machine based on machine vision [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2010, 15(8): 29~32. (in Chinese)
- 12 王勇, 沈明霞, 姬长英. 基于颜色信息和形状特征的棉桃识别方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 77~80.
Wang Yong, Shen Mingxia, Ji Changying. Using color data and shape properties for cotton fruit recognition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 77~80. (in Chinese)
- 13 陈兵旗, 孙明. 实用数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社、中国农业大学出版社, 2008.