

基于图像频谱特征的稻飞虱识别方法

刘德营, 赵三琴, 丁为民, 陈坤杰

(南京农业大学工学院/江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031)

摘要: 为准确、快速的识别稻飞虱种类, 采用自行设计的野外环境昆虫图像采集装置获取稻飞虱背部图像, 通过对背景与目标像素的统计, 选取 140 为阈值, 对稻飞虱图像的蓝色通道进行二值化, 将背景与目标分割开, 采用形态学滤波以及开运算, 与灰度图像进行与操作, 获取单个稻飞虱虫体背部区域的灰度图像。然后对灰度图像进行二维傅里叶变换, 获得虫体背部图像的二维傅里叶频谱。最后以 $I \times I$ ($I=1,2,\dots,6$) 的二维频谱窗口数据作为稻飞虱特征参数, 建立 Fisher 判别函数。训练集和验证集的试验结果表明, 选用 3×3 二维傅里叶频谱窗口数据建立的判别模型, 稻飞虱正确识别率可达到 90% 以上。该方法可以实现田间稻飞虱的自动识别。

关键词: 图像识别, 傅里叶变换, 频谱分析, 昆虫, 稻飞虱

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.07.031

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-07-0184-05

刘德营, 赵三琴, 丁为民, 等. 基于图像频谱特征的稻飞虱识别方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 184-188.

Liu Deying, Zhao Sanqin, Ding Weimin, et al. Identification method for rice plant hoppers based on image spectral characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 184-188. (in Chinese with English abstract)

0 引言

近年来, 由于现有的人工昆虫物种鉴定能力远不能满足实际需要, 再加上顺应精准农业变量施肥的要求, 基于图像分析的昆虫识别方法研究被广泛开展^[1-4]。然而, 对于田间昆虫动态发生数量的监测而言, 这些研究均以静态样本图像为研究对象, 与害虫预测预报的实际需要还有很大差距^[5-7]。针对上述问题, 课题组在自行研制野外环境昆虫图像自动采集装置的基础上^[8], 对威胁水稻产量的稻飞虱害虫图像识别方法进行深入研究。

虫体特征的提取, 是稻飞虱图像识别的关键环节, 影响着分类器的设计与性能。由于傅里叶频谱是一种理想的描述周期或者近似周期的二维图像模式方向性的方法, 对区分周期模式或非周期模式以及周期模式之间的差异具有显著效果^[9]。结合现阶段植保专家主要依据稻飞虱背部的颜色和纹理特征识别的经验, 本文对稻飞虱虫体背部图像的频谱进行分析, 并采用判别分析建立相应的识别模型, 为后续田间稻飞虱数量的预测奠定基础。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2010年7~9月, 在南京农业大学江浦实验农场稻田里, 根据长翅稻飞虱成虫的趋光性以及植保专家捕捉昆

虫标本的方法, 采用亚明牌 GYZ160160W 自镇流荧光高压汞灯做引诱光源, 用自行设计的野外昆虫图像自动拍摄装置, 采集爬附在白色的确良(聚对苯二甲酸乙二酯)工作台幕布上的白背飞虱、褐飞虱和灰飞虱数字图像。经南京农业大学植保学院昆虫分类专家鉴定, 分别选取单个白背飞虱、褐飞虱、灰飞虱图像各 34 张, 共计样本 102 个。图 1 为采集的 3 种稻飞虱原始图像, 图像以 JPEG 格式保存, 大小为 768×576 像素。



图 1 原始图像
Fig.1 Original images

1.2 图像预处理

图像预处理主要是将虫体背部区域分割出来。为此, 需要对稻飞虱的原始图像进行二值化、形态滤波等预处理, 得到虫体背部图像, 为后续图像特征提取和描述做好准备。

1.2.1 阈值统计

二值化处理是为了将目标与背景区分开, 处理结果的好坏决定于阈值的选择是否合适。观察图 1, 可以发现, 图像背景单一, 目标清晰。因此, 本文随机选取多张稻

收稿日期: 2011-08-03 修订日期: 2012-02-10

基金项目: 江苏省农机局科研启动基金项目“水稻虫情测报装置的研制”(GXZ10006)

作者简介: 刘德营(1963-), 男, 浙江义乌人, 博士, 副教授。主要研究方向为模式识别和自动控制。南京 南京农业大学工学院/江苏省智能化农业装备重点实验室, 210031。Email: dyliu@njau.edu.cn

飞虱图像，在 RGB 颜色空间下，手工统计背景与目标区域各 17086 个像素点的红色 (R)、绿色 (G)、蓝色 (B) 颜色分量^[10]。数据分布散点图如图 2。从图中不难发现，原始图像背景区域的 3 个颜色分量值，基本在 140~200 之间，其分布呈现较好的对称性和一致性。而目标区域

的 3 个颜色分量值的分布较为分散，其分布中心值明显小于背景区域的分布中心值，其中蓝色分量值的差异较大。当以 $B=140$ 为阈值对目标区域和背景区域进行分割并统计时，只有 3.82% 背景区域的像素在此阈值范围内。分割效果如图 3 所示。

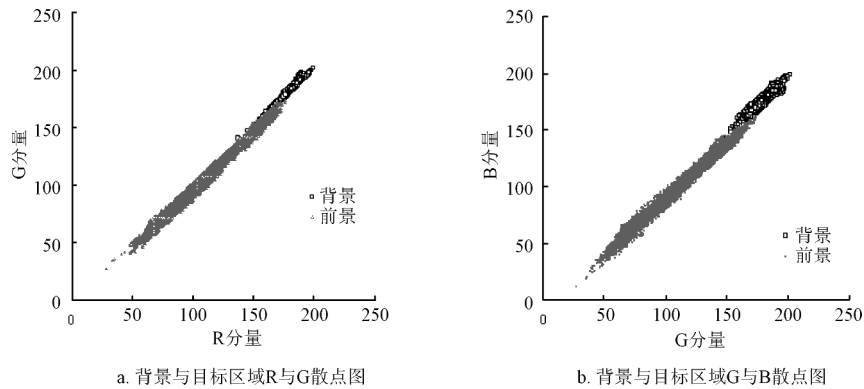


图 2 图像背景与目标的 R、G、B 数据散点图
Fig.2 R, G, B scatter diagram between the background and the object

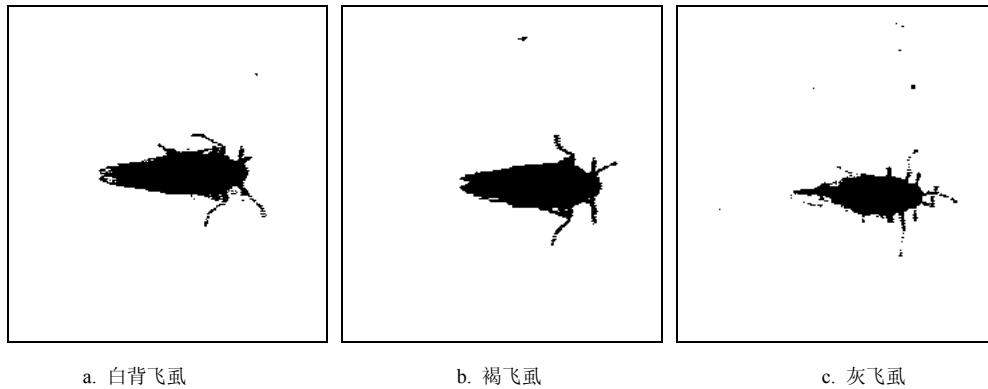


图 3 基于颜色阈值的二值化处理结果
Fig.3 Binarization result based on color threshold

1. 2. 2 形态学滤波

从图 3 中可以看出，在图像二值化过程中，将不可避免地产生一定的噪声，如一些小目标（小黑点），触角、腿。由于这些噪声干扰后续图像的描述，需要将这些噪声滤除。为此，基于信号的几何特性，设计一个形态学滤波器对图像进行滤波处理，步骤如下：

1) 采用文献[11]所述的扫描线法，对二值图中闭合区域内小孔洞进行填充；

2) 用半径为 3 的圆盘型结构元素对图像进行开运算，在消除尖峰、凸缘、切断细小的连接，并使边界平滑的情况下，保持大的分割区域尺寸和形状不变，消除比结构元素小的噪声，如稻飞虱足和触角等非目标区域；

3) 对二值图中各个不连通区域进行标记和编号；计算标记编号区域的面积，保留最大面积目标区域，去除足、触角和噪声等较小的非目标区域。图 4 给出滤波的结果图。

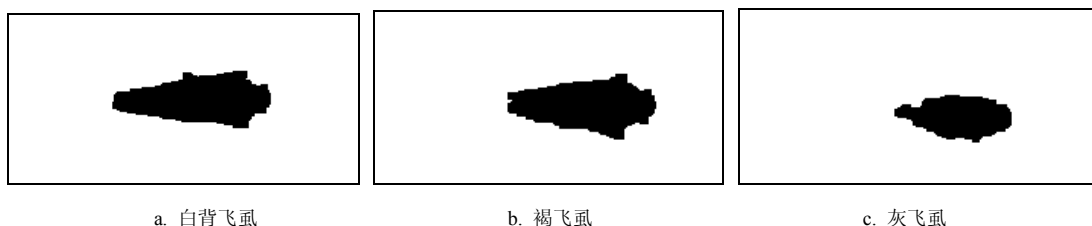


图 4 形态学去噪
Fig.4 Morphologic noise removal

1. 2. 3 获取虫体背部区域的灰度图像

为采用傅里叶频谱特征来描述稻飞虱的背部区域，

首先需要获得该区域的灰度图像。设 $f(i,j)$ 为经过形态学滤波处理后稻飞虱图像，并令背部区域 $f(i,j)=1$ ，其他区

域 $f(i,j)=0$; 设 $g(i,j)$ 为稻飞虱灰度图像, 根据式 (1) 将 2 幅图像进行逻辑 “与”, 为减少后续图像处理和建模的计算量, 将图像尺寸裁剪为 128×128 像素, 得到的稻飞虱背部区域灰度图像如图 5 所示。可以看出, 稻飞虱原始图像中被目标区域所覆盖部分的图像信息保留下来, 而将没有被目标区域所覆盖部分的图像信息去除, 从而得到信息完整的稻飞虱背部区域图像。

$$f(i,j) \otimes g(i,j) = \begin{cases} g(i,j) & f(i,j) = 1 \\ 0 & f(i,j) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

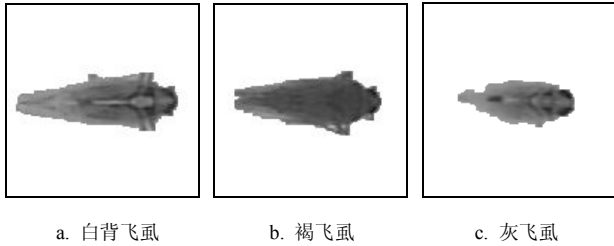


图 5 128×128 稻飞虱背部区域灰度图像
Fig.5 Gray image of the back region of rice plant hopper (128×128)

1.3 图像频谱特征分析

对二维数字图像来说, 一幅图像表示了灰度在二维空间变化的信息, 而经二维傅里叶变换, 其频谱图反映了原图像是由哪些空间频率所构成的。在频谱图中, 其中心点的亮度称之为直流分量, 它反映了原图像的平均亮度。离重心点相同距离的不同点具有相同的频率和不同的方向。距中心点越近, 表示频率越低; 距中心点越远, 则频率越高。

一幅图像通常由周期性、非周期性成分及噪声等组成。其经过二维傅里叶变换后, 周期性成分在频谱图上会形成一个峰值点, 其峰值的大小反映其在原图像中所占的比重。峰值越大, 原图像的周期性越好。因此, 傅里叶频谱可以作为周期模式或非周期模式以及周期模式之间相互区分的特征^[12]。

一幅 $M \times N$ 图像 $f(x,y)$ 的二维离散傅里叶变换的计算公式如下:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (2)$$

式中, $x=0,1,2,\dots,M-1$; $y=0,1,2,\dots,N-1$

频谱值 (特征值) 的计算式为

$$|F(u,v)| = [R^2(u,v) + I^2(u,v)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中, $R(u,v)$, $I(u,v)$ 分别表示 $F(u,v)$ 的实部和虚部。傅里叶变换具有共轭对称性, 即 $|F(u,v)| = |F(-u,-v)|$, 也就是频谱分布是以图像原点为对称的。

根据式 (2) 得到的稻飞虱傅里叶对数频谱图如图 6 所示。从图中可以看出, 3 种稻飞虱频谱图 (亮度) 不同, 可以作为识别稻飞虱的特征。

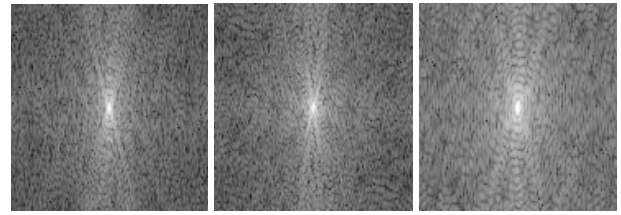


图 6 二维对数傅里叶频谱
Fig.6 Two dimension logarithm Fourier spectrum

1.4 识别模型的建立

要建立基于傅里叶频谱特征的稻飞虱识别模型, 首先需要选取合适的特征参量, 并构建由特征参量组成的特征矢量。由于傅里叶频谱分布以图像原点对称, 选取 $l \times l (l=1,2,\dots,n)$ 的二维对数傅里叶频谱窗口数据 $\log[F(u,v)]$ 作为描述图像特征的参量^[13-16], 并建立特征矢量

$$x = (x_1, \dots, x_p)^T \quad (4)$$

式中, $p=l \times l$ 为特征个数, x_i 为第 i 个特征的频谱数据。

将特征矢量作为判别分析的输入, 建立基于贝叶斯准则的 Fisher 线性判别函数^[17]

$$\begin{cases} y_1 = b_{10} + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1p}x_p \\ y_2 = b_{20} + b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2p}x_p \\ y_3 = b_{30} + b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3p}x_p \end{cases} \quad (5)$$

式中, y_1, y_2, y_3 分别对应白背飞虱、褐飞虱、灰飞虱 3 种稻飞虱的判别函数; b_{ij} 为判别函数系数。

对于未知样本, 首先计算其特征值 x_1, x_2, \dots, x_p , 然后将这些值分别代入每一个判别函数, 根据函数值的大小进行归类识别。

2 识别结果与分析

选定 80 张稻飞虱图像为训练集, 22 张稻飞虱图像作为测试样本。选取 1 个 (1×1)、4 个 (2×2)、9 个 (3×3)、16 个 (4×4)、25 个 (5×5) 和 36 个 (6×6) 二维对数频谱窗口的频谱数据作为稻飞虱背部特征参数, 窗口左上角始终为二维傅里叶频谱中心, 输入 Fisher 线性判别函数, 建立稻飞虱种类判别函数, 计算出采用不同特征集所得判别模型的预测正确率, 然后再利用测试集样本, 计算出不同特征集所得判别模型的预测正确率, 结果如表 1 所示。

表 1 预测准确率

Table 1 Accuracy of prediction

特征集	训练集预测准确率/%	测试集预测准确率/%
1×1	82.50(66/80)	72.72(16/22)
2×2	87.50(70/80)	81.81(18/22)
3×3	92.50(74/80)	90.91(20/22)
4×4	96.25(77/80)	86.36(19/22)
5×5	98.75(79/80)	90.91(20/22)
6×6	97.50(78/80)	77.27(17/22)

观察表 1, 随着窗口的增大, 即频谱特征参数个数的增加, 模型对训练集样本的预测准确率逐步增大, 在 5×5 时达到最大, 随后降低, 其中采用 9 个、16 个、25 个和 36 个特征参数, 模型对训练集的预测正确率均达 90% 以上。利用测试集对模型进行验证的结果表明, 只有采用 9 个和 25 个特征参数的判别模型, 其预测正确率可以达到 90% 以上。考虑模型的复杂性及计算量, 采用 9 个参数的模型作为稻飞虱种类的判别模型较好, 表 2 给出 3×3 频谱窗口 Fisher 线性判别函数的系数。

表 2 3×3 频谱窗口 Fisher 线性判别函数系数

Table 2 Discriminant function coefficients using 3×3 spectral data

常数项	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	
y_1	-9712	-1479	1710	42.932	1398	-60.645	3.550	64.347	18.176	-15.459
y_2	-9728	-1400	1664	42.649	1363	-56.707	2.325	62.706	17.705	-16.034
y_3	-9512	-1549	1736	44.520	1424	-63.303	5.099	65.674	19.301	-16.070

3 结论

1) 对于采用野外环境昆虫图像采集装置所拍摄的稻飞虱图像, 可以通过在蓝色通道设定固定阈值 $B=140$ 进行图像的背景分割; 通过形态学滤波和图像开运算等图像处理方法, 得到稻飞虱背部区域图像;

2) 用 $l \times l (l=1, 2, \dots, 6)$ 的二维傅里叶频谱窗口数据描述稻飞虱识别特征, 判别模型对训练集样本预测的正确率都在 80% 以上, 并随着频谱特征窗口的增大, 训练集的预测准确率总体上逐渐增大, 说明基于稻飞虱背部图像二维傅里叶频谱特征的方法可以识别稻飞虱。

3) 提取单个稻飞虱虫体的背部图像, 采用 Fisher 判别模型, 选用 3×3 二维傅里叶频谱窗口, 即用 9 个特征向量来描述稻飞虱识别特征, 测试集预测准确率达到 90.91%, 并且模型较为简单, 因此可以实现对稻飞虱种类的判别, 这对于农业虫害的自动测报具有一定应用价值。

[参 考 文 献]

- [1] Salle J L, Wheeler Q, Jackway P, et al. Accelerating taxonomic discovery through automated character extraction [J]. *Zootaxa*, 2009, 55(2217): 43—55.
- [2] 张红涛, 毛罕平, 邱道尹. 储粮害虫图像识别中的特征提取[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 126—130.
Zhang Hongtao, Mao Hanping, Qiu Daoyin. Feature extraction for the stored-grain insect detection system based on image recognition technology[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(2): 126—130. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨红珍, 张建伟, 李湘涛, 等. 基于图像的昆虫远程自动识别系统的研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(1): 188—192.
Yang Hongzhen, Zhang Jianwei, Li Xiangtao, et al. Remote automatic identification system based on insect image[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(1): 188—192. (in Chinese with English abstract)
- [4] Sarpola M J, Paasch R K, Mortensen E N, et al. An aquatic insect imaging system to automate insect classification[J]. *Transactions of the ASABE*, 2008, 51(6): 2217—2225.
- [5] 杨宏伟, 张云. 计算机视觉技术在昆虫识别中的应用进展[J]. *生物信息学*, 2005, 3(3): 133—136.
Yang Hongwei, Zhang Yun. Application and prospect of computer vision technique in identifying insect[J]. *China Journal of Bioinformatics*, 2005, 3(3): 133—136. (in Chinese with English abstract)
- [6] 管泽鑫, 姚青, 杨保军, 等. 数字图像处理技术在农作物病虫害识别中的应用[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2349—2358.
Guan Zexin, Yao Qing, Yang Baojun, et al. Application of digital image processing technology in recognizing the diseases, pests, and weeds from crops[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(7): 2349—2358. (in Chinese with English abstract)
- [7] 徐鹏, 陈乃中, 杨定. 自动识别技术在昆虫分类鉴别中的应用[J]. *昆虫知识*, 2010, 47(2): 256—262.
Xu Peng, Chen Naizhong, Yang Ding. Automatic identification of insects[J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47(2): 256—262. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘德营, 丁为民, 陈坤杰. 野外环境昆虫图像自动采集装置[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(6): 184—187, 173.
Liu Deying, Ding Weimin, Chen Kunjie. Automatic acquisition system for the images of insects in field[J]. *Transactions of the CSAM*, 2011, 42(6): 184—187, 173. (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhou F F, Shi J Q. Texture feature based on local Fourier transform[C]//*IEEE International Conference on Image Processing*, 2001, Vol 2: 610—613.
- [10] 王玲, 王萍, 陈兵林, 等. 基于颜色阈值的田间籽棉图像分割技术[J]. *作物学报*, 2010, 36(3): 502—507.
Wang Ling, Wang Ping, Chen Binglin, et al. Image segmentation technique of field cotton based on color threshold[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(3): 502—507. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杭后俊. 基于扫描线算法的多边形区域填充图案[J]. *计算机时代*, 2009(3): 22—23, 26.
- [12] 姚敏, 郁晓红, 易文晟, 等. 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [13] 徐贵力, 毛罕平. 利用傅里叶变换提取图像纹理特征新方法[J]. *光电工程*, 2004, 33(11): 55—58.
Xu Guili, Mao Hanping. A new method for extracting image texture features by Fourier transform[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 33(11): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [14] 多化琼, 王喜明, 范俊雄. 利用傅立叶变换研究铁杉木材管胞横截面尺寸[J]. *北京林业大学学报*, 2009, 31(5): 108—111.
Duo Huaqiong, Wang Ximing, Fan Junxiong. Cross section size analysis of tracheids in *Tsuga chinensis* wood with Fourier transformation[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(5): 108—111. (in Chinese with English abstract)

- abstract)
- [15] Yoko M, Yoji I, Minoru F. Transverse shape analysis of xylem ground tissues by Fourier transform image analysis I : Trial for statistical expression of cell arrangements with fluctuation[J]. *Journal of Wood Science*, 2005, 51(3): 201—208.
- [16] Yoko M, Minoru F. Transverse shape analysis of xylem ground tissues by Fourier transform image analysis II : Cell wall direction and reconstruction of cell shapes[J]. *Journal of Wood Science*, 2005, 51(3): 209—217.
- [17] Webb A R. 统计模式识别[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

Identification method for rice plant hoppers based on image spectral characteristics

Liu Deying, Zhao Sanqin, Ding Weimin, Chen Kunjie

(*College of Engineering, Nanjing Agricultural University; Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China*)

Abstract: To accurately and rapidly identify the rice plant hoppers, a novel method for identification of the rice plant hoppers was proposed by using image processing and image spectra analysis. At first, the automatic digital image acquisition device developed by us was used to capture the hopper images. The threshold 140 was utilized for the segmentation of the background and the insects after statistic and analyzing gray values of the pixels in the background and the insects. Then morphological filtering, opening and AND operations were conducted on the insect images and the back images of each insect were obtained. Two-dimensional Fourier spectra for back images of the insects were extracted through the Fourier transform. Finally, the fisher discriminant function was established based on the two-dimensional spectrum data and was used for the identification of the rice plant hoppers. The training and validation results showed that the correct recognition rates for the rice plant hoppers were more than 90%, indicating that the proposed method has potential to automatically identify the rice plant hopper.

Keywords: image recognition, Fourier transforms, spectrum analysis, insects, rice pant hopper