基于 4 种不变矩和 BP 神经网络的稻飞虱分类

邹修国^{1,2}, 丁为民^{1,2*}, 刘德营^{1,2}, 赵三琴^{1,2}

(1. 南京农业大学工学院,南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室,南京 210031)

摘 要: 针对稻飞虱远程实时识别采集图像质量不高的问题,研究了基于不变矩提取形状特征值对稻飞虱进行分 类。采用自行设计的拍摄装置采集稻飞虱图像,进行灰度化后用大津法二值化,再用数学形态学滤波;对二值图 像采用 Hu 矩、改进 Hu 矩、Zernike 矩和 Krawtchouk 矩 4 种不变矩分别提取特征值,再用 BP 神经网络进行训练 和测试,以此检测 4 种矩的提取效果。试验用 Matlab2008 验证算法,对白背飞虱、褐飞虱和灰飞虱共 300 个样本 进行了训练和测试,结果表明 Krawtchouk 矩提取稻飞虱图像形状特征值的识别率最高,总体达到了 91.7%。该文 可为大田中现场识别稻飞虱提供参考。

关键词:农作物,图像识别,分类,BP神经网络,大津法,Hu矩,Zernike矩,Krawtchouk矩,害虫doi:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.18.021

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1002-6819(2013)-18-0171-08

邹修国,丁为民,刘德营,等.基于4种不变矩和 BP 神经网络的稻飞虱分类[J].农业工程学报,2013,29(18): 171-178.

Zou Xiuguo, Ding Weimin, Liu Deying, et al. Classification of rice planthopper based on invariant moments and BP neural network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(18): 171-178. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

农作物害虫实时识别和分类已经成为一个研究热点,目前储粮害虫的现场识别国内外研究的比较多,已经有了一定的应用,国外 Zayas等^[1]首先设计了粮虫自动识别系统,70 幅图像中谷蠹识别率为90.3%,国内邱道尹等^[2-3]设计了基于机器视觉的储粮害虫智能检测系统,对粮仓中常见的9种害虫的识别率达到95%以上。但是在野外大田里对害虫的识别研究还不多见,野外的采集和识别还处于探索的阶段,主要原因是实时识别采集图像困难和传输距离远等条件限制,得到的图像质量和实验室直接用高质量的工业相机拍摄相比差很多,害虫纹理特征或其它微小特征很难捕捉到。

通过对比,害虫形态特征是远程实时识别的一 个有效方法,不变矩具有经平移、旋转及比例变换

收稿日期: 2013-02-23 修订日期: 2013-05-07

后仍保持不变的特性,作为害虫图像的形态特征是 非常有效的。不变矩是由 Hu 在 1961 年提出的^[4], 现在已经有多种矩,如改进 Hu 矩、Zernike 矩、 Krawtchouk 矩等,国内外很多学者将其用在了害虫 识别上^[5-12]。丁为民、刘德营、赵三琴等用基于形 状的图像频谱特征、傅里叶描述子和不变矩对稻飞 虱形状进行判别^[13-19],已经取得了一些研究成果。

本文在研制的拍摄稻飞虱装置的基础上,采用 Hu 矩等 4 种不变矩对 3 种稻飞虱提取特征值,用 BP 神经网络经行识别分类,从而选取一种不变矩 用于稻飞虱的分类,为设计低成本的远程实时稻飞 虱分类装置打下基础。

1 稻飞虱图像采集装置

稻飞虱图像采集装置结构示意图见图 1。主要 包括 2 部分,一是幕布,二是 H 型移动拍摄装置。 幕布是固定不动的,光源采用稻飞虱喜好的 160 W 自镇流高压汞灯。H 型移动拍摄装置两端立柱起到 固定作用,立柱上面的滑轮有 2 组,一组用于同步, 一组用于带动横轨上下运动。横轨上也有一组滑 轮,用于上面的工业相机及控制系统横向运动,控 制系统核心采用三星公司的 S3C2440 芯片,天线通 过 WIFI 与无线路由器连接,将采集的图像实时传 输给远程 PC 机。

用装置采集到的3种稻飞虱图像见图2。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目 (2012AA101904);公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203059); 南京农业大学青年科技基金资助项目(KJ2010031)

作者简介: 邹修国(1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事视觉技术 与模式识别方面的研究。南京 南京农业大学, 210031。

Email: zouxiuguo@njau.edu.cn

[※]通信作者:丁为民(1957-),教授,博士生导师,主要从事农业机 械理论与设计、设施农业及其环境控制方面的研究。南京南京农业大 学,210031。Email: wmding@njau.edu.cn



1.幕布 2.纵向电机及滑轮 3.横向电机及滑轮 4.立柱 5.工业相机 及控制器 6.横轨 7.天线 8.横轨吊绳 9.同步滑轮 10.同步履带 1.curtain 2.longitudinal motor and pulley 3.transverse motor and pulley 4.upright 5.industrial camera and controller 6.cross rail 7.antenna 8.lifting rope of cross rail 9.synchronous pulley 10.synchronous pedrail

图 1 稻飞虱图像采集装置结构示意图 Fig.1 Structure diagram of equipment



图 2 3 种稻飞虱原图 Fig.2 Sample images of rice planthoppers

2 图像预处理

2.1 灰度化

R、*G*、*B*分别表示红、绿、蓝3种颜色分量值, *Y*分量表示图像的亮度。系统以Y分量作为图像像 素的灰度,由于人眼感知红、绿、蓝3种颜色的权 重不一样,将彩色像素转换为灰度像素的公式见式 (1)^[20]。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \tag{1}$$

图 3 是灰度化的稻飞虱图像。





2.2 0TSU 法二值化

OTSU 是一种自适应的阈值确定的方法,也称 为最大类间方差法,是转换灰度图像为二值图像的 简单高效方法,是由日本学者大津(Otsu)于1979 年提出的[21]。

把图像像素按灰度级用阈值t划分为2类 C_0 和 C_1 ,其表示为^[22]。

$$C_0 = \{0,1,\cdots, t\}$$

$$C_1 = \{t+1, t+2, \cdots, l-1\}$$
(2)

式中, $C_0 \approx C_1 \beta_{BD} t$ 划分的 2 种灰度值的集合; t 为划分 $C_0 \approx C_1$ 的阈值; l 为灰度级数,此处定为 256; 括弧内为图像的灰度级,若用 σ_W^2 、 σ_B^2 、 $\sigma_T^2 \beta$ 别表示类内、类间和总体方差,那么通过式(3) 使关于 t 的等价的判决准则函数达到最大来确定最 佳阈值 $t_0^{[23]}$ 。

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2} \qquad \eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \qquad \kappa = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2} \tag{3}$$

式中, λ 、 η 、 κ 是确定最佳阈值的3个准则。

图 4 是采用 OTSU 算法并且用数学形态学去噪 后的二值图像。



图 4 去噪后的二值图像 Fig.4 Binary images after morphological denoising

3 4 种不变矩提取特征值算法设计

3.1 Hu 矩特征值提取算法

Hu 矩不变量具有不随图像的位置和方向而变 化的特点,对于提取图像的形态特征来说是一个非 常有效的工具。在 Hu 的基础上,R.Y.Wong 给出了 离散状态下的各阶矩的计算方法^[5]。

对于 *o-xy* 平面上的二维函数 $f(x,y) \in L(R2)$,离散状态下的(p+q)阶原点矩 m_{pq} 和中心矩 μ_{pq} 定义见式(4)和(5)^[24]。

$$m_{oq} = \sum_{x=1}^{M} \sum_{y=1}^{N} x^{p} y^{q} f(x, y) \quad (p, q = 0, 1, 2, \cdots)$$
(4)
$$\mu_{oq} = \sum_{x=1}^{M} \sum_{y=1}^{N} (x - \overline{x})^{p} (y - \overline{y})^{q} f(x, y) \quad (p, q = 0, 1, 2, \cdots)$$
(5)

式中,M、N为图像的行数和列数,x、y为图像像 素点的坐标, \overline{x} 、 \overline{y} 为图像中心点的坐标。

Hu 提出了 7 个不变矩,它们满足平移和旋转 不变的条件,见式(6)^[25]。

$$Hu[0] = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$Hu[1] = (\eta_{20} - \eta_{02})^{2} + 4\eta_{11}^{2}$$

$$Hu[2] = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^{2} + (3\eta_{21} + \eta_{03})^{2}$$

$$Hu[3] = (\eta_{30} + \eta_{12})^{2} + (\eta_{21} + \eta_{03})^{2}$$

$$Hu[4] = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{03})[(\eta_{30} + \eta_{12})^{2} - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^{2}] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^{2} - (\eta_{21} + \eta_{03})^{2}]$$

$$Hu[5] = (\eta_{20} + \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^{2} - (\eta_{21} + \eta_{03})^{2}] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})]$$

$$Hu[6] = (3\eta_{21} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^{2} - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^{2}] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})]$$

 $[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$ 其中 η_{pq} 是 f(x,y) 的归一化(p+q)阶中心矩, Hu[0]到 Hu[6]是 7 个 Hu 矩的特征值变量。

对每头稻飞虱提取的 Hu 矩特征值有 7 个,图 4 中 3 幅稻飞虱图像提取的特征值见表 1。

表 1 Hu 矩提取稻飞虱二值图像的特征值
Table 1 Extracted eigenvalues of rice planthoppers by Hu
moment

moment			
Hu 矩特征值 Eigenvalues of Hu moment	白背飞虱 Sogatella	褐飞虱 Nilaparvata lugens	灰飞虱 Laodelphax
<i>Hu</i> [0]	6.944746	6.791726	6.597092
Hu [1]	14.45809	14.45675	13.44499
Hu [2]	24.82198	24.06297	17.86678
Hu [3]	28.30401	25.95675	18.67288
<i>Hu</i> [4]	58.56871	47.97946	37.34272
Hu [5]	35.82468	31.54792	25.97476
<i>Hu</i> [6]	55.36783	49.80338	34.54167

3.2 改进 Hu 矩特征值提取算法

Hu 矩具有平移、旋转不变性,但是在缩放运算上存在较大的误差,针对这一问题,可以采用改进Hu,利用Hu矩之间的比值来去掉比例因子,使提取的特征值仅与几何形状有关,解决因拍摄距离不一致导致的缩放问题。采用改进Hu矩的公式见式(7)^[26]。每头稻飞虱提取的改进Hu矩特征值有10个,图4中3幅稻飞虱图像提取的特征值见表2。 *ImpHu*[0] = *sqrt*(*hu*[2])/*hu*[1] *ImpHu*[1] = (*hu*[1] + *sqrt*(*hu*[2])/*hu*[1]

ImpHu[2] = sqrt(hu[3]) / sprt(hu[4])ImpHu[3] = sart(hu[3]) / sart(sart(hu[5]))

$$Impfiu[5] = sqrt(nu[5]) / sqrt(sqrt(nu[5]))$$

$$ImpHu[4] = sqrt(hu[4]) / sqrt(sqrt(hu[5]))$$

ImpHu[5] = hu[6]/(hu[1] * hu[3])

$$ImpHu[6] = hu[6]/(hu[1] * sqrt(hu[5]))$$

ImpHu[7] = hu[6]/(hu[3] * sqrt(hu[2]))

$$ImpHu[8] = hu[6] / sqrt(hu[2] * hu[5])$$

ImpHu[9] = hu[5]/(hu[3] * hu[4])

式中 sqrt()是平方根函数, *ImpHu*[0]到 *ImpHu*[9] 是 10 个改进 Hu 矩的特征值变量。

表 2 改进 Hu 矩提取稻飞虱二值图像的特征值 Table 2 Extracted eigenvalues of rice planthoppers by

Improved Hu moment			
改进 Hu 矩 特征值 Eigenvalues of Improved Hu moment	白背飞虱 Sogatella	褐飞虱 Nilaparvata lugens	灰飞虱 Laodelphax
ImpHu [0]	0.547519	0.559829	0.555812
ImpHu [1]	3.420074	3.543685	3.502595
ImpHu [2]	0.936471	0.962830	0.978177
ImpHu [3]	1.800951	1.863849	1.709904
ImpHu [4]	1.923125	1.935804	1.748051
ImpHu [5]	0.207821	0.193037	0.220370
ImpHu [6]	0.674052	0.670599	0.644312
ImpHu [7]	0.379569	0.344815	0.396483
ImpHu [8]	0.160865	0.172934	0.189699
ImpHu [9]	0.083365	0.076817	0.111930

3.3 Zernike 矩特征值提取算法

Zernike1963 年引入了一组在单位圆 (x^2+y^2) 上 定义的具有完备性的复值正交函数集 $\{V_{nm}(x,y)\}$ 。 $\{V_{nm}(x,y)\}$ 的完备性和正交性使其可以表示定义在 单位圆内的任何平方可积函数,其表示形式如式 (8)^[27]。

 $V_{nm}(x,y) = V_{nm}(\rho,\theta) = R_{nm} \exp(jm\theta)$ (8) 式中, n 为正整数或零, m 为正整数或负整数, 且 必须满足 n-|m|为偶数, 同时要求 |m| \leq n, ρ 为原点 到(x,y)点长度的矢量, θ 为矢量 ρ 和 x 轴的夹角, $R_{nm}(\rho)$ 为径向多项式。

Zernike 矩提取特征值的步骤如下^[28-29]:

1)分割图像,得到目标图像,找出目标所在 区域的最小外接矩形,设矩形的长为 a,宽为 b, 将图像重心移至原点,再将图像缩放 $2/\sqrt{a^2+b^2}$ 倍,放到单位圆中。

2) 计算图像目标的面积,即目标图像的零阶 几何矩 *m*₀₀,见式(9)。

$$m_{00} = \iint f(x, y) \mathrm{d}x \mathrm{d}y \tag{9}$$

3) 在单位圆中, 各阶 Zernike 矩值 Z_{nm} 的计算 公式见式(10)。

$$Z_{nm} = \frac{n+1}{\pi} \sum_{x} \sum_{y} f(x,y) \ V_{nm}^{*}(\rho,\theta) \ x^{2} + y^{2} \leq 1 \ (10)$$

式中, $V_{nm}^{*}(\rho,\theta)$ 为 $V_{nm}(\rho,\theta)$ 的共轭正交函数集。

4) 归一化 Zernike 矩,取矩的模值 $|Z_{nn}|$ 作为 目标图像形状的特征值,见式(11)。

$$Z_{nm} \Big| = \frac{|Z_{nm}|}{m_{00}}$$
(11)

此处采用的每头稻飞虱提取的 Zernike 矩特征 值有 9 个,图 4 中 3 幅稻飞虱图像提取的特征值见 表 3。

表 3 Zernike 矩提取稻飞虱二值图像的特征值

Table 3 Extracted eigenvalues of rice planthoppers by Zernike moment

Zernike 矩 特征值 Eigenvalues of Zernike moment	白背飞虱 Sogatella	褐飞虱 Nilaparvata lugens	灰飞虱 Laodelphax
Zernike00	4.278247	2.618481	4.368115
Zernike11	3.710437	5.446516	4.650069
Zernike20	7.837067	9.262646	5.553780
Zernike22	2.459054	7.516454	3.688241
Zernike31	10.28060	12.01323	10.48174
Zernike33	1.776882	3.814905	2.584267
Zernike40	1.766383	4.372448	4.821760
Zernike42	8.769125	14.68893	14.21222
Zernike44	0.847999	2.337468	2.287772

3.4 Krawtchouk 矩特征值提取算法

Krawtchouk 矩是由 Yap 等提出的一种离散正 交矩,并且应用于图像处理等领域。由 Krawtchouk 矩构成的不变量具有良好的平移、旋转、缩放不变 性^[30]。

在离散点 x 处的第 *n* 项带权 Krawtchouk 多项 式定义为式(12)^[30]。

$$K_{n}(x,p,N-1) = \sqrt{\frac{\omega(x,p)}{\rho(n,p)}} F_{1}\left(-n,-x,-(N-1),\frac{1}{p}\right) \quad (12)$$

公式中变量、常量和函数的具体含义:

1) N-1 为多项式最大阶数, x,n=0,1,...,N-1, p∈(0,1)。

2)
$$F_I$$
为超比函数, $F_1(a,b,c,z) = \sum_{v=0}^n \frac{(a)_v(b)_v}{(c)_v} \frac{z^v}{v!}$

a、b、c、z 是函数的形参, *v* 表示求和时 0 到 *n* 的 自变量, (*a*)_{*v*}表示 *a*+*v*+1 到 *a* 的降阶幂, (*b*)_{*v*}、(*c*)_{*v*} 同(*a*)_{*v*}的定义方式。

3)
$$\omega(x,p) = \binom{N-1}{x} p^x (1-p)^{N-1-x}$$
是一个二项分

布权值的计算函数。

4)
$$ho(n,p)$$
是一个常量,计算方法如下:

$$\rho(n,p) = (-1)^n \left(\frac{1-p}{p}\right)^n \frac{n!}{-(N-1)_n}$$

根据可分离性特征,正交二维 Krawtchouk 基可以定义出来,且函数 *f*(*x*,*y*)近似为式(13)。

$$f(x, y) \cong \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^{n_{max}} Q_{nm} K_n(x, p_1, N-1) K_m(y, p_2, N-1)$$
(13)

由式(13), Krawtchouk 矩的第(*n*+*m*)项 *Q_{nm}*可由式(14)得到。

$$Q_{nm} = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} K_n(x, p_1, N-1) K_m(y, p_2, N-1) f(x, y)$$
(14)

每头稻飞虱提取的 Krawtchouk 矩特征值有 6 个,图4中3幅稻飞虱图像提取的特征值见表4。

表 4	K	rawtchouk 矩提取稻飞虱二值图像的特征值
Table	4	Extracted eigenvalues of rice planthoppers by
		Krowtchouk moment

Krawtenouk moment				
Krawtchouk 矩特征值 Eigenvalues of Krawtchouk moment	白背飞虱 Sogatella	褐飞虱 Nilaparvata lugens	灰飞虱 Laodelphax	
Krawtchouk20	4.200667	2.847666	3.536139	
Krawtchouk02	2.747325	1.441106	2.365436	
Krawtchouk30	2.510750	0.933362	1.941789	
Krawtchouk03	2.807168	1.545016	2.552545	
Krawtchouk40	5.693896	4.558445	5.288110	
Krawtchouk04	1.484964	1.117260	1.138372	

4 BP 神经网络分类试验

BP (back propagation) 神经网络是一种按误差 反向传播算法训练的多层前馈网络,能学习和存储 大量的输入/输出模式映射关系,无需事前描述这种 映射关系。针对 Hu 矩提取特征值的分类采用 3 层 BP 神经网络,其中输入层 7 个节点,对应 Hu 矩的 7 个特征值,隐含层 5 个节点,输出层 3 个节点。 网络结构见图 5^[31-32]。



注: X_i : 输入值: W_{ij} W_{jk} : 网络权值: Y_i : 输出值 Note: X_i : input value; W_{ij} W_{jk} : network weights, Y_i : output value



改进 Hu 矩、Zernike 矩和 Krawtchouk 矩采用的 BP 神经网络结构只需把输入层的节点数分别改为 10 个、9 个和 6 个,其他不需要做修改。

试验选取采集到的 300 张图像样本,其中白背 飞虱 100 张,褐飞虱 100 张,灰飞虱 100 张。选取

前 240 张作为训练样本,后 60 张图像有白背飞虱、 褐飞虱和灰飞虱各 20 张图像作为测试样本。 训练及测试输出分为3类,取白背飞虱的值为 4, 褐飞虱的值为 2, 灰飞虱的值为 1, 采用 Matlab2008 验证算法,图 6 是测试结果。 真实值True value 白背飞虱识别值Recongnition value of sogatella 褐飞虱识别值Recognition value of nilaparvata lugens ── 灰飞虱识别值Recognition value of laodelphax 4.0 3.5 分类Classification 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0 10 20 30 40 50 样本编号Sample number a. 基于 Hu 矩 a. Based on Hu moment 4.0 3.5 分类Classification 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 L 10 20 30 40 50 样本编号Sample number b. 基于改进 Hu 矩 b. Based on Improved Hu moment 4.0 3.5 分类Classification 3.0 2.5 2.0 1.5



c. Based on Zernike moment



d. Based on Krawtchouk moment



由图 6 分析得到除 Hu 矩灰飞虱的识别率为 90%,其他 3 种都达到了 100%,灰飞虱的体态特征 与白背飞虱和褐飞虱的差异相对较大,所以识别率 高。其他 3 种方法,改进 Hu 矩整体识别率为 85%, Zernike 矩为 86.7%, Krawtchouk 矩为 91.7%。 Krawtchouk 矩的分类正确率最高,其中对白背飞虱 识别率为 95%,对褐飞虱的识别率为 80%,灰飞虱 的识别率为 100%。Krawtchouk 矩优于 Zernike 矩是 因为在二维函数多项式中,Zernike 多项式在所有点 上有定义,能够表征形体的全局特征;Krawtchouk 多项式低项数的矩值能够捕捉一些局部特征,而较 高项数的矩值能够反映出全局特征,即Krawtchouk 矩能够在反映出全局特征的同时展现出更好的局 部性。

5 结 论

1) 自行设计的稻飞虱图像采集装置,结构简 单,成本低,所用的 USB 接口工业相机只有不到 600 元,为进一步研制低成本的稻飞虱现场识别系 统打下基础。

2)选用 4 种不变矩提取稻飞虱形状特征值, 用 Matlab2008 验证算法。对白背飞虱、褐飞虱和灰 飞虱共 240 个样本进行了训练,再另选 60 个样本 进行测试,测试结果是 Hu 矩整体识别率只有 76.7, 改进 Hu 矩为 85%,Zernike 矩为 86.7%,Krawtchouk 矩识别率最高,为 91.7%。

3)经过对比分析,Krawtchouk 矩不仅反映出 全局特征,而且展现了更好的局部性,对于白背飞 虱和褐飞虱的识别分类明显好于其他不变矩。

4)本研究侧重寻找能提取良好特征值的不变 矩,但是用 BP 神经网络分类时发现白背飞虱和褐 飞虱的识别率还不是很高,说明 BP 神经网络对体型接近的2种飞虱的识别分类还存在进一步研究的要求。

[参考文献]

- Zayas I Y, Flinn P W. Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(3): 883-888.
- [2] 邱道尹,张红涛,陈铁军,等.基于机器视觉的储粮
 害虫智能检测系统硬件设计[J].农业机械学报,2003, 34(1):86-87.
- [3] 邱道尹,张红涛,陈铁军,等.基于机器视觉的储粮
 害虫智能检测系统软件设计[J].农业机械学报,2003, 34(2):83-85.
- [4] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1962, 8(1): 179-187.
- [5] Wong Y R. Scene Matching with Invariant Moments [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1978, 8(1): 16 -24.
- [6] Matalas L, Benjamin R, Kitney R. An edge detection technique using the facet model and parameterized relaxation labeling[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(4): 328– 341.
- [7] Liao S X, Pawlak M. On the Accuracy of Zernike Moments for Image Analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12): 1358-1364.
- [8] Ashaghathra S, Weckler P, Solie J, et al. Identifying pecan weevils through image processing techniques based on template matching[C]//American Society of Agricultural and Biological Engineering, 2007.
- [9] Li D. Analysis of moment invariants on image scaling and rotation[J]. Innovations in Computing Sciences and Software Engineering, 2010, 1(1): 415-419.
- [10] 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)

 [11] 邱道尹,张红涛,刘新宇,等.基于机器视觉的大田 害虫检测系统[J].农业机械学报,2007,38(1):120-122. Qiu Daoyin, Zhang Hongtao, Liu Xinyu, et al. Design of detection system for agriculture field pests based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 120–122. (in Chinese with English abstract)

 [12] 毛文华,郑永军,苑严伟,等.基于色度和形态特征的蝗虫信息提取技术[J].农业机械学报,2008,39(9): 104-107.

Mao Wenhua, Zheng Yongjun, Yuan Yanwei, et al. Locust information extraction using Hue and shape feature[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 104 - 107. (in Chinese with English abstract)

- [13] 赵三琴. 稻飞虱前翅形状特征测量方法的研究[D]. 南 京农业大学, 2010.
- [14] 赵三琴,丁为民,刘德营.基于傅里叶描述子的稻飞 虱形状识别[J]. 农业机械学报,2009,40(8):181-184.
 Zhao Sanqin, Ding Weimin, Liu Deying. Rice hopper shape recognition based on Fourier descriptors[J].
 Translations of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 181-184. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘德营. 稻飞虱自动识别关键技术的研究[D]. 南京农业大学, 2010.
- [16] 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):173,184-187.

Liu Deying, Ding Weimin, Chen Kunjie. Automatic acquisition system for insects images in field environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 173, 184–187. (in Chinese with English abstract)

 [17] 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)

- [18] 杨玲玲. 水稻飞虱自动识别技术的研究[D]. 南京农业 大学, 2008.
- [19] 杨玲玲,丁为民,刘德营,等.水稻飞虱图像几何形 状特征的提取[J].农机化研究,2008(6):180-183.
 Yang Lingling, Ding Weimin, Liu Deying, et al. Study of feature measuring and extraction for delphacidae

images[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(6): 180–183. (in Chinese with English abstract)

[20] 周天娟,张铁中,杨丽,等.基于数学形态学的相接
触草莓果实的分割方法及比较研究[J].农业工程学
报,2007,23(9):164-168.
Zhou Tianjuan, Zhang Tiezhong, Yang Li, et al.

Comparison of two algorithms based on mathematical morphology for segmentation of touching strawberry fruits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(9): 164 - 168. (in Chinese with English abstract)

- [21] Otsu. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans on SMC29, 1979, 9(3): 62-66.
- [22] 孙俊,武小红,张晓东,等. 基于 MFICSC 算法的生菜图像目标聚类分割[J].农业工程学报,2012,28(13): 149-153.

Sun Jun, Wu Xiaohong, Zhang Xiaodong, et al. Lettuce image target clustering segmentation based on MFICSC algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(13): 149 - 153. (in Chinese with English abstract)

 [23] 王昊鹏,冯显英,李丽.基于改进二维最大类间方差
 法的白色异性纤维检测算法[J].农业工程学报,2012, 28(8): 214-219.

Wang Haopeng, Feng Xianying, Li Li. Detection algorithm of white foreign fibers based on improved two-dimensional maximum between-class variance method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(8): 214–219. (in Chinese with English abstract)

[24] 张水发,王开义,王书锋,等.基于优化矩不变特征的鲜切菜在线分级技术[J].农业工程学报,2011,27(10):354-358.

Zhang Shuifa, Wang Kaiyi, Wang Shufeng, et al. Online grading method for fresh-cut vegetables based on optimal invariant moments[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(10): 354–358. (in Chinese with English abstract)

- [25] Flusser J, T Suk. Rotation moment invariants for recognition of symmetric objects[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(12): 3784-3790.
- [26] 刘晓丽. 基于机器视觉的异常行为检测[D]. 辽宁科技 大学, 2012.
- [27] 谭佐军,李俊,谢静,等.利用 Zernike 矩计算储粮害 虫图像倾斜角度[J].农业工程学报,2009,25(10):182 -185.

Tan Zuojun, Li Jun, Xie Jing, et al. Slanting degree calculation of storage grain insect's image based on Zernike moment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(10): 182 - 185. (in Chinese with English abstract)

- [28] 郝敏,麻硕士. 基于 Zernike 矩的马铃薯薯形检测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 347-350.
 Hao Min, Ma Shuoshi, Hao Xiaodong. Potato shape detection based on Zernike moments[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 347-350. (in Chinese with English abstract)
- [29] Khotanzad A, Hongs Y H. Invariant image recognition by Zernike moments[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(5): 489-497.
- [30] Yap P T, Paramesran R, Omg S H. Image analysis by Krawtchouk moments[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2003, 12: 1367-1377.
- [31] 张建华, 祁力钧, 冀荣华, 等. 基于粗糙集和 BP 神经 网络的棉花病害识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 161-167.

Zhang Jianhua, Qi Lijun, Ji Ronghua, et al. Cotton diseases identification based on rough sets and BP neural network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 161 – 167. (in Chinese with English abstract)

[32] Debabrata Mandal, Surjya K.Pal, Partha Saha. Back propagation neural network based modeling of multiresponse of an electrical discharge machining process[J]. International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, 2007(11): 105–113.

Classification of rice planthopper based on invariant moments and BP neural network

Zou Xiuguo^{1,2}, Ding Weimin^{1,2}^{*}, Liu Deying^{1,2}, Zhao Sanqin^{1,2}

Department of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China;
 Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment, Nanjing 210031, China)

Abstract: Aimed at the problem of the quality of images that were acquired by rice planthoppers remote real-time recognition system, the shape feature values which were extracted by invariant moments to recognize a rice planthopper. 160W self-ballasted high-voltage mercury lamp was used in the experiment to lure rice planthoppers to the curtain, then a H-shape mobile photographing device which had been designed independently by us was used to photograph the planthopper image. The device has the advantages of simple structure and low cost. The USB interface camera of this device was less than 600 RMB. It will lay the foundation for the development of a rice planthopper scene recognition system with low cost. The color images which had been photographed were grayed with a weighted formula, and then were subject to binaryzation with an Otsu method. Finally, the algorithms such as morphological operations were used for filtration to get a binary image with better quality. The feature values of the rice planthopper binary images were respectively extracted by four invariant moments: Hu moment, improved Hu moment, Zernike moment, and Krawtchouk moment, and then a BP nerve network was used to train and test the four feature values respectively, so as to detect the recognition effect of extraction feature values of the four moments. Matlab 2008a was used in the experiment. 240 samples of sogatella furcifera, nilaparvata lugens, and small brown planthoppers had been trained, and then an additional 60 samples were selected for testing. The test result was that the overall recognition rate of the Hu moment was only 76.7%, and the recognition rate of the improved Hu moment was 85%, while the recognition rate of the Zernike moment was 86.7% and the recognition rate of the Krawtchouk moment was 91.7%. The recognition rate of the Krawtchouk moment was the best of the four moments. The reason was that the Krawtchouk moment not only reflected the global feature, but exhibits better locality. The experimental result showed that the Krawtchouk moment has the highest recognition rate. It can be used for the extraction of rice planthopper feature values in the real-time system. This study focused on the search of invariant moments to extract good feature values, but the use of a BP neural network classification resulted in a recognition rate of sogatella furcifera and nilaparvata lugens that was not very high. The identification of sogatella furcifera and nilaparvata lugens was worse than that of the small brown planthoppers. It meant that recognition of two kinds of planthoppers based on a BP neural network needs further study.

Key words: crops, image recognition, classification, BP neural network, OTSU, Hu moment, Zernike moment, Krawtchouk moment, insects

(责任编辑: 信世强)