

基于 Fisher 判别分析的玉米叶部病害图像识别

王娜^{1,2}, 王克如^{1,2}, 谢瑞芝², 赖军臣^{1,2}, 明博^{1,2}, 李少昆^{1,2}

(¹新疆兵团绿洲生态农业重点开放实验室/新疆作物高产研究中心, 新疆石河子 832003; ²中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081)

摘要: 【目的】利用计算机视觉技术实现玉米叶部病害的自动识别诊断。【方法】在大田开放环境下采集病害图像样本, 综合应用基于 H 阈值分割、迭代二值化、图像形态学运算、轮廓提取等算法处理病害图像, 抽取病斑, 提取病害图像的纹理、颜色、形状等特征向量, 采用遗传算法优化选择出分类特征, 并利用费歇尔判别法识别普通锈病、大斑病和褐斑病 3 种玉米叶部病害。【结果】研究中提取了熵、相关信息测度、分形维数、H 值、Cb 值、颜色矩、病斑面积、圆度、形状因子等 28 个特征向量, 利用遗传算法优选出 H 值、颜色矩、病斑面积、形状因子等 4 个独立、稳定性好、分类能力强的特征向量, 应用费歇尔判别分析法识别病害, 准确率达到 90% 以上。【结论】综合运用数字图像处理技术、图像纹理、颜色、形状特征分析方法、遗传算法、费歇尔判别分析方法可以有效识别基于田间条件下采集的病害图像, 为田间开放环境下实现大田作物病虫害的快速智能诊断提供借鉴。

关键词: 玉米; 叶部病害; 特征提取; 遗传算法; 费歇尔判别分析

Maize Leaf Disease Identification Based on Fisher Discrimination Analysis

WANG Na^{1,2}, WANG Ke-ru^{1,2}, XIE Rui-zhi¹, LAI Jun-chen^{1,2}, MING Bo^{1,2}, LI Shao-kun^{1,2}

(¹Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Construction Corps/The Center of Crop High-Yield Research, Shihezi 832003, Xinjiang; ²Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/The National Key Facilities for Crop Genetic Resources and Improvement, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】The recognition and diagnosis methods of main maize leaf diseases using machine vision were studied in this paper. 【Method】The diseases pictures of different varieties or periods were taken in fields, methods of threshold segmentation based on hue, iteration binarization, image morphological operation and contour extraction were adopted for image processing and image segmentation, then the texture, color and shape features were extracted. Genetic algorithm was used to get approximate features. Finally Fisher discrimination analysis was applied to recognize main maize leaf diseases. 【Result】In the research, 28 characters including energy, informationization measure, fractal dimension, hue, cb, color moment, disease spot area, rotundity, figure factor, and others were extracted, and four approximate features were selected from 28 primordial features. The results indicated that the precision of the three kinds of maize disease recognition was higher than 90%. 【Conclusion】Disease image obtained in fields were recognized by the application of digital image processing technology, analysis of image texture, color and figure characters, genetic algorithm and Fisher discrimination analysis. It has provided a technical support for the automatic recognition of crop diseases and insets with disease image obtained in fields.

Key words: maize; leaf disease; feature extraction; genetic algorithm; Fisher discrimination analysis

0 引言

【研究意义】随着计算机图像处理和模式识别技

术的发展, 图像识别技术为作物病害识别与诊断提供了新的手段, 并以其客观、快速、智能等特点日益受到重视。【前人研究进展】应用图像识别技术诊断植

收稿日期: 2009-01-13; 接受日期: 2009-03-30

基金项目: 国家“863”计划(2007AA10Z237 和 2006AA10Z207)

作者简介: 王娜(1984—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 研究方向为机器视觉技术在农业上的应用。E-mail: haolema09@163.com。通信作者李少昆(1963—), 男, 甘肃张掖人, 研究员, 博士, 研究方向为作物栽培与信息科学。Tel: 010-82108891; E-mail: Lishk@mail.caas.net.cn

物病害的研究起步较晚,1999 年 Yutaka 等^[1]利用不同的分光反射特性与光学滤波特性识别黄瓜炭疽病,但由于未充分使用病害的颜色及纹理信息,识别精度不高;2008 年 Sanyal 等^[2]通过分析图像的彩色纹理,实现了水稻褐斑病和稻瘟病的自动识别,为病害识别提供了新的技术和方法。国内毛罕平等^[3]、胡春华等^[4]利用活体采样光箱采集病害图像,进而实现黄瓜、番茄缺乏素的自动识别。田有文等^[5-6]利用支持向量机分类方法,提高了病害的识别准确率。在病症图像采集方面,为减少外界因素影响,徐贵力等^[7]设计了活体采样光箱,采用漫反射光,避免了阴影,减少了误差。陈佳娟^[8]利用便携式扫描仪采集图像,以减少自然光对图像质量的影响。马文杰等^[9]采用白色标准板进行光强校正。这些方法简化了后期图像处理和病害识别的难度,取得一定效果,但对图像采集环境要求严格,限制了该项技术在基层的广泛应用。【本研究切入点】本研究以玉米叶部病害为例,研究在大田环境下通过数码相机获取叶部病害样本图像和实现病害识别的方法。【拟解决的关键问题】通过改进作物病害图像计算机处理和模式识别技术,实现在田间条件下对病害图像的采集与自动识别和诊断。

1 材料与方法

1.1 图像获取

2008 年 4 月至 8 月分别在四川、河南、云南等地,在大田开放环境条件下采集玉米普通锈病、大斑病、褐斑病等病害图像样本。所用数码相机为佳能 G9 (分辨率 1 200×1 600) 和索尼 a700 (分辨率 3 104×2 064)。拍摄图像时,相机设置为手动调节焦距和光圈,自动白平衡,关闭闪光灯。图 1 所示为玉米大斑病图像样本。为获取清晰的病害图像和方便拍摄,拍摄前裁剪玉米发病部位叶片,并将一张 A4 白纸置于病叶下方,作为图像背景以消除大田中其它复杂背景的影响;在病叶旁放置一已知尺寸蓝色硬纸卡,作为病斑大小的参照。共获取 123 幅普通锈病,182 幅大斑病和 85 幅褐斑病图像。图像处理和分析在台式计算机上完成,操作系统为 Windows XP,可视化开发软件 Delphi 7.0 作为图像分析和处理软件平台。

1.2 图像处理

病害图像以 JPEG 格式导入计算机,录入玉米叶部病害图像数据库。随机选取 3 种病害各 50 幅图像作为训练样本,另各选 30 幅为测试样本。通过比较图像处理算法效果,确定降噪效果最好的图像预处理流程,



图 1 玉米叶部病害原始图像示例

Fig. 1 Original image of maize leaf disease

如图 2 所示。

1.3 图像特征提取及优选

利用灰度共生矩阵算法^[10-11]和计盒维数法^[12-13]分析病害图像纹理分布,提取熵、能量、惯性、对比度、相关性、相关信息测度和分形维数等纹理特征。综合运用 RGB 颜色空间、HIS 颜色空间和 YCbCr 颜色空间^[14-15]分析病斑颜色,提取 RGB 颜色空间原始颜色分量 R、G、B,归一化的颜色分量 r、g、b, HIS 颜色

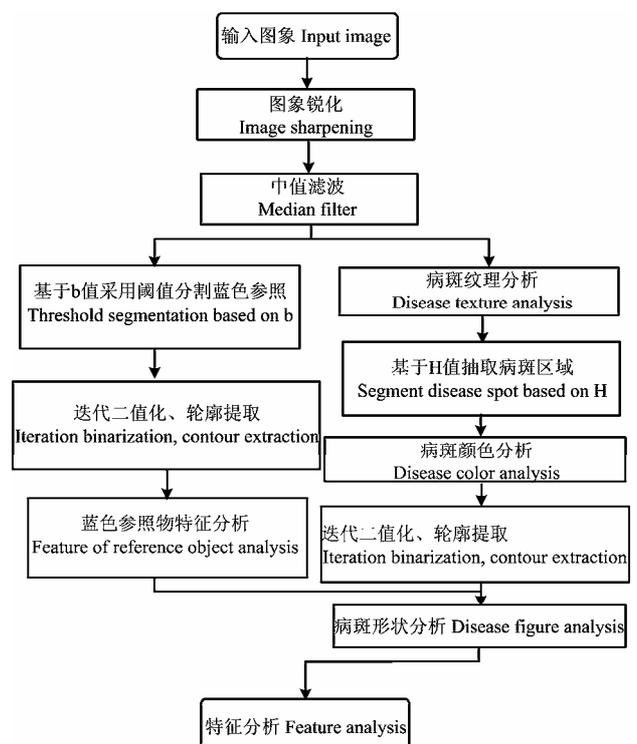


图 2 玉米病害图像处理流程

Fig. 2 Image processing flow of maize disease

空间色调 H、亮度 I、饱和度 S, YCbCr 颜色空间色彩 Cb、Cr 值及一、二、三阶颜色矩, 共计 14 个颜色特征向量; 利用区域标记法和区域跟踪算法^[5,16]计算病斑面积、周长、圆度、形状因子、离散指数、等效面积圆半径、内切圆半径等 7 个形状特征向量。

利用遗传算法^[3,17]进行特征向量优选, 选出分类能力强的特征组合, 其过程如图 3 所示。

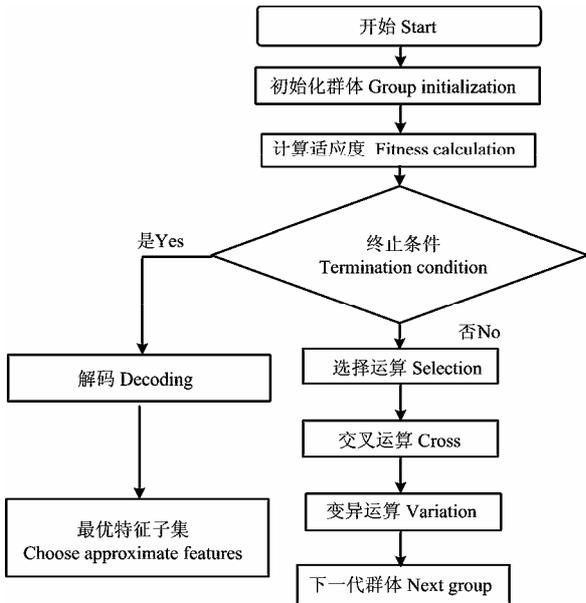


图 3 遗传算法优选特征流程图
Fig. 3 Flow chart of selecting features by genetic algorithm

采用公式 1 计算个体适应度:

$$J(x) = \frac{Sb}{Sw} - \alpha \left(\frac{k}{n} \right) \tag{1}$$

式中, Sb 为类间距离, Sw 为类内距离, n 为特征总个数, k 为所选特征个数, α 为一加权系数。

1.4 病害识别

针对以往采用特征向量直接判别分类, 容易出现误判, 而人工神经网络需大量样本训练网络, 并且学习性能差, 处理非线性问题算法复杂的问题^[18-19]。本文利用 SPSS 软件提供的 Fisher 判别分析模块对遗传算法优选出的特征组合进行判别分析。流程如图 4。

$$\begin{cases} Y_1 = -0.190X_1 - 0.125X_2 + 0.535X_3 + 1068.207X_4 + 8.476 \\ Y_2 = 0.352X_1 - 0.077X_2 + 0.428X_3 + 374.996X_4 - 15.206 \end{cases} \tag{2}$$

模型对训练样本回判结果表明 (表 2), 普通锈病的正确回判率为 94%, 大斑病为 98%, 褐斑病为

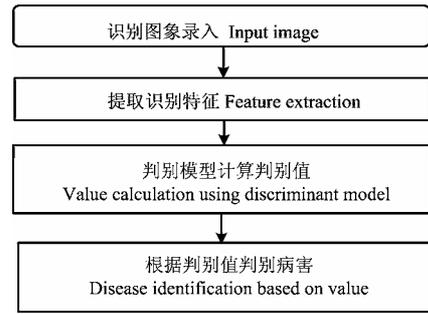


图 4 玉米叶部病害识别流程
Fig. 4 The recognition flow of maize leaf disease

2 结果与分析

2.1 病斑特征分析

提取的 28 个病害图像特征向量如表 1 所示, 综合分析各病害纹理分布、病斑颜色和形状特征可见, 病害特征值的取值区间较大, 稳定性较差; 但不同病害的病斑表现不同, 特征向量之间存在差异, 如普通锈病病斑为深褐色, 颜色较大斑病和褐斑病深, 归一化红色分量值大; 大斑病病斑面积特征值较大, 明显大于普通锈病和褐斑病。

2.2 特征优选

采用遗传算法对 28 个特征向量进行优化组合。采用二进制对个体编码, 长度为原始特征个数 28; 群体个数一般为 20~100, 本文取 40, 由随机函数产生 40 个染色体组成群体; 适应度函数中 α 取 0.06, k 为 4。采用轮盘赌算法选择适应度高的个体^[17], 采用多点交叉, 交叉率取 0.75, 变异率取 0.03, 根据反复试验, 遗传代数 400 时, 基本收敛, 增加遗传代数, 所得的解没有变化, 因此, 最大迭代代数设为 400。遗传算法优选出 4 个特征向量分别是: 色调、颜色矩、病斑面积和形状因子。

2.3 识别模型构建

利用优选出的色调 (X_1)、颜色矩 (X_2)、面积 (X_3)、形状因子 (X_4) 等 4 个特征向量进行 Fisher 判别分析, 建立识别模型如下:

90%, 回判正确率较高。

2.4 病害图像识别

表 1 玉米叶部病害图像特征

Table 1 Character values of maize leaf disease extracted from images

特征 Character	普通锈病 Rust		大斑病 Northern blight		褐斑病 Brown spot	
	均值 Mean	标准差 Standard deviation	均值 Mean	标准差 Standard deviation	均值 Mean	标准差 Standard deviation
熵 Entropy	1.1404	0.2776	1.1678	0.1145	1.0662	0.1519
能量 Energy	0.1955	0.1329	0.1306	0.0559	0.2035	0.0732
惯性 Inertia	10482	5513	70195	3538	8152	4193
对比度 Contrast	2.2838	0.2646	2.1274	0.4006	2.2932	0.3025
相关性 Relativity	1.2033	0.0281	1.1964	0.0264	1.2030	0.0341
相关信息测度 Informationization measure	0.6059	0.1316	0.7539	0.0464	0.6999	0.0809
分形维数 Fractal dimension	2.0676	0.0777	2.0829	0.0703	2.0452	0.0200
红色分量 R	105.48	35.4425	117.42	29.0180	122.42	31.3994
绿色分量 G	90.48	31.1089	102.20	27.8773	110.86	29.2268
蓝色分量 B	57.04	22.5125	73.86	29.5794	58.12	29.9044
归一化红色分量 r	0.4458	0.1497	0.4307	0.0093	0.4329	0.0313
归一化绿色分量 g	0.3667	0.0054	0.3573	0.0068	0.3854	0.0165
归一化蓝色分量 b	0.2025	0.0152	0.2293	0.0222	0.1867	0.0387
色调 Hue	42.30	2.3234	40.36	2.2293	49.30	2.9641
亮度 Intensity	37.42	11.9251	39.14	11.8115	35.54	10.5931
饱和度 Saturation	30.80	10.7874	36.36	10.5652	35.32	11.5660
色彩 Cb chroma	-18.99	5.5888	-17.26	2.4975	-24.79	5.8111
色彩 Cr chroma	13.11	3.9907	12.78	3.1735	12.56	3.9735
一阶颜色矩 First order color moment	43.57	1.8146	41.91	3.8160	50.43	13.0326
二阶颜色矩 Second order color moment	30.37	45.7846	25.13	37.9231	24.90	35.4309
三阶颜色矩 Third order color moment	14.67	2.9464	7.40	2.4925	17.04	4.3570
病斑周长 Girth	0.1045	0.03155	4.6043	1.5519	0.0689	0.0234
病斑面积 Area	0.0215	0.0240	2.1049	1.4939	0.0154	0.0208
圆度 Rotundity	0.0557	0.0644	0.1132	0.2451	0.1291	0.0627
形状因子 Figure factor	0.0004	0.0002	0.0027	0.0012	0.0001	0.0001
离散指数 Scatter index	22.9930	5.9351	97.3518	50.9640	17.6859	3.6487
等效圆半径 Equivalent circle radius	6.5716	1.3178	109.82	20.8122	3.4718	0.7675
内切圆半径 Inscribed circle radius	4.8880	0.9134	40.4138	11.9924	2.9162	0.4769

表 2 训练样本集病害识别结果

Table 2 Diagnostic results of training samples

病害 Disease	样本数 No. of sample	普通锈病 Rust	大斑病 Northern blight	褐斑病 Brown spot	正确识别率 Correctness (%)
普通锈病 Rust	50	47	0	3	94
大斑病 Northern blight	50	1	49	0	98
褐斑病 Brown spot	50	5	0	45	90

表 3 测试样本集病害识别结果

Table 3 Diagnostic results of testing samples

病害 Disease	样本数 No. of sample	普通锈病 Rust	大斑病 Northern blight	褐斑病 Brown spot	正确识别率 Correctness (%)
普通锈病 Rust	30	28	0	2	93
大斑病 Northern blight	30	0	30	0	100
褐斑病 Brown spot	30	2	0	28	93

应用所建识别模型式(2)对测试样本进行识别的结果见表3,普通锈病的正确识别率为93%,大斑病为100%,褐斑病为93%,其中2幅普通锈病图像误判为褐斑病,2幅褐斑病图像误判为普通锈病。大斑病识别准确率明显高于普通锈病和褐斑病,而普通锈病和褐斑病易混淆。观察3种病害病症表现,大斑病为大型梭形灰褐色病斑,与其它2种病害差异大,易区分开;普通锈病和褐斑病均为圆形褐色小病斑,病症相似,识别时易误判。另外,病害识别结果受发病时期影响,如回判中一幅发病初期的大斑病图像被误判为锈病。

3 讨论

为满足生产需要,本研究探索在大田环境条件下拍摄玉米叶部病害图像,研究病害的图像识别技术。结果发现,大田开放环境条件下,由于成像条件不同,将直接影响图像特征向量结果,如晴天拍摄,图像整体颜色偏亮,颜色分量R、G、B值偏大;反之,阴天光照弱时拍摄图像,颜色分量R、G、B值偏小,即使同一病害样本在不同成像环境下拍摄,图像特征向量也存在一定差异;不同玉米品种、不同发病时期的病症表现差异较大,如普通锈病发病初期为浅黄色小点,之后发展为圆形或长圆形深褐色突起;感病品种的大斑病病斑大而数量多,病斑中央灰色,边缘暗绿色,而抗病品种病斑小,病斑青灰色。这些差异应与识别效果相结合,通过制定大田条件下图像的采集规范予以解决。

前人对病害图像的分析多采用纹理或病斑颜色等个别特征^[3-6,10],本文综合分析病害图像的纹理特征、颜色特征和形状特征,并引入分形维数、YCbCr颜色空间特征分量、颜色矩等特征向量,采用参照物法提取相对准确的病斑形状特征,在病害图像识别中做了有益的探索。然而,图像识别中并非特征越多越好,应对识别特征进行优化组合。常规的优化算法,如解析法,只能得到局部最优而非全局最优解;枚举法虽

克服了这些缺点,但计算效率太低^[20]。而遗传算法寻优效率高、易于跳出局部次优解,无需建立优化方程,适合解决多特征优化问题。本研究结果进一步证明,遗传算法实现方法简单,高效便捷,优化后的特征识别病害效果良好。

本文将Fisher判别法应用于玉米病害图像识别,结果表明,Fisher判别分析方法识别病害图像,方便快捷,处理简单,识别精度高,对玉米叶部3种病害的识别准确率均达90%以上,表明该法可用于作物叶部病害图像识别。

植保领域专家在识别作物病害过程中,往往综合考虑病害发生时间、地点、发病外部环境和病斑是否突起等因素,作为诊断的重要依据。但在病害图像识别中,由于图像是病害识别信息的唯一载体,病害样本转换为图像后,发病时间、地点、生育时期、发病的外部环境条件等信息被消除,今后如何利用这些因素辅助于病害的图像识别是需要加强研究的工作。

目前,图像处理技术仍处于对二维空间特征的研究,如病斑突起等三维空间特征还无法用于病害识别。另外,由于图像有其自身的特征特性,对其描述的意义有时无法与图像目标物的特征建立联系,因此,除利用肉眼可视病症特征信息外,还需要进一步研究和提取新的图像特征,并有效地运用于病害识别,以提高识别精度。

4 结论

(1) 基于田间水平相对开放环境条件广泛采集病害样本图像,由于成像因素、玉米品种、生育时期、发病时期的不同,病害的特征参数存在差异;

(2) 综合分析病害图像的纹理、颜色、形状等多变量特征,并引入分形维数、相关信息测度、颜色矩应用于作物病害识别,取得较好识别效果;

(3) 应用利用遗传算法优选出H值、颜色矩、病斑面积、形状因子等4个独立、稳定性好、分类能力强的特征向量;

(4) 利用 Fisher 判别法实现了玉米叶部病害图像识别, 准确率达 90% 以上。

References

- [1] Yutaka S, Tsuguo O, Kenji M, Tooru T. Automatic diagnosis of plant disease recognition between healthy and diseased leaf. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 1999, 61(2): 119-261.
- [2] Sanyala P, Patel S C. Pattern recognition method to detect two diseases in rice plants. *The Imaging Science Journal*, 2008, 56(6): 319-325.
- [3] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 基于遗传算法的蔬菜缺素叶片图像特征选择研究. *江苏大学学报*, 2003, 24(2): 1-5.
Mao H P, Xu G L, Li P P. Study on application of genetic algorithm to feature selection of leaves image for diagnosing vegetable disease of nutrient deficiency. *Journal of Jiangsu University*, 2003, 24(2): 1-5. (in Chinese)
- [4] 胡春华, 李萍萍. 基于图像处理的黄瓜缺氮与缺镁判别的研究. *江苏大学学报*, 2004, 25(1): 9-12.
Hu C H, Li P P. Application of image processing to diagnose cucumbers short of Mg and N. *Journal of Jiangsu University*, 2004, 25(1): 9-12. (in Chinese)
- [5] 田有文, 王 滨, 唐晓明. 基于纹理特征和支持向量机的玉米病害的识别. *沈阳农业大学学报*, 2005, 36(6): 730-732.
Tian Y W, Wang B, Tang Y M. Recognition of maize disease based on texture feature and support vector machine. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2005, 36(6): 730-732. (in Chinese)
- [6] 田有文, 李天来, 李成华, 朴在林, 孙国凯, 王 滨. 基于支持向量机的葡萄病害图像识别方法. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 175-180.
Tian Y W, Li T L, Li C H, Piao Z L, Sun G K, Wang B. Method for recognition of grape disease based on support vector machine. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(6): 175-180. (in Chinese)
- [7] 徐贵力, 毛罕平, 胡永光. 基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积. *农业工程学报*, 2002, 18(1): 154-157.
Xu G L, Mao H P, Hu Y G. Measuring area of leaves based on computer vision technology by reference object. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18(1): 154-157. (in Chinese)
- [8] 陈佳娟. 基于图象处理和人工智能的植物病害自动诊断技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2001.
Chen J J. Study on the automatic diagnosis technology of the plant disease based on image process and artificial intelligence[D]. Changchun: Jilin University, 2001. (in Chinese)
- [9] 马文杰, 贺立源, 刘华波, 李翠英. 成像环境因素对烟叶图像采集结果的影响及校正研究. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2615-2620.
Ma W J, He L Y, Liu H B, Li C Y. The influences of imagery environmental factors on the acquisition of flue-cured tobacco leaf images and correction. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(12): 2615-2620. (in Chinese)
- [10] 张 静, 王双喜, 董晓志, 程鹏飞. 基于温室植物叶片纹理的病害图像处理及特征值提取方法的研究. *沈阳农业大学学报*, 2006, 37(3): 282-285.
Zhang J, Wang S X, Dong X Z, Cheng P F. A study on method of extract of texture characteristic value in image processing for plant disease of greenhouse. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(3): 282-285. (in Chinese)
- [11] 冯建辉, 杨玉静. 基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究. *北京测绘*, 2007, (3): 19-22.
Feng J H, Yang Y J. Study of texture images extraction based on gray level co-occurrence matrix. *Beijing Surveying and Mapping*, 2007, (3): 19-22. (in Chinese)
- [12] 张 志, 董福安, 伍友利. 二维灰度图像的分形维数计算. *计算机应用*, 2005, 25(12): 2853-2854.
Zhang Z, Dong F A, Wu Y L. Estimation of fractal dimension for 2-D gray image. *Computer Applications*, 2005, 25(12): 2853-2854. (in Chinese)
- [13] 李志臣, 姬长英. 基于图像分析的杂草分形维数计算. *农业工程学报*, 2006, 22(11): 175-178.
Li Z C, Ji C Y. Calculation of weed fractal dimension based on image analysis. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(11): 175-178. (in Chinese)
- [14] 张 伟, 毛罕平, 李萍萍, 夏志军. 基于计算机图像处理技术的作物缺素判别的研究. *计算机应用与软件*, 2004, 21(2): 50-51, 119.
Zhang W, Mao H P, Li P P, Gao Z J. Research on diagnosing plant nutrient deficiency based on computer image processing technology. *Computer Applications and Software*, 2004, 21(2): 50-51, 119. (in Chinese)
- [15] 刘洪臣, 陈忠建, 冯 勇. 结合颜色和形态特征的杂草实时识别方法. *光电工程*, 2006, 33(7): 96-100.
Liu H C, Chen Z J, Feng Y. Real-time weed recognition method based on color and morphological features. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, 33(7): 96-100. (in Chinese)
- [16] 于新文, 沈佐锐, 高 灵, 李志红. 昆虫图像几何形状特征提取技术研究. *中国农业大学学报*, 2003, 8(3): 47-50.
Yu X W, Shen Z R, Gao L W, Li Z H. Feature measuring and

- extraction for digital image of insects. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8(3): 47-50. (in Chinese)
- [17] 蔡健荣, 范 军, 李玉良, 赵杰文. 基于遗传算法的树上柑桔形状特征提取. *江苏大学学报*, 2007, 28(6): 469-472.
- Cai J R, Fan J, Li Y L, Zhao J W. Shape feature extraction of on-tree citrus based on genetic algorithms. *Journal of Jiangsu University*, 2007, 28(6): 469-472. (in Chinese)
- [18] 战国科, 夏哲雷. 基于支持向量机的飞机图像识别算法. *现代电子技术*, 2007, (21): 127-129.
- Zhan G K, Xia Z L. Plane image recognition based on support vector machine. *Modern Electronic Technique*, 2007, (21): 127-129. (in Chinese)
- [19] 王思臣, 倪友平, 辛玉林, 陈曾平. 核 Fisher 判别方法在低分辨率雷达目标识别中的应用. *现代电子技术*, 2007, (3): 8-10.
- Wang S C, Ni Y P, Xin Y L, Chen Z P. Application of kernel Fisher discriminant in low-resolution radar target recognition. *Modern Electronic Technique*, 2007, (3): 8-10. (in Chinese)
- [20] 陈卫东, 刘素华. 基于遗传算法的图像特征选择. *计算机工程与应用*, 2007, 43(28): 78-80.
- Chen W D, Liu S H. Image features selection based on genetic algorithm. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(28): 78-80. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)