

网络出版时间:2015-09-09 15:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.10.026

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150909.1541.052.html

基于光源不变图和聚类算法的 叶片阴影中病斑的分割

张星龙,冯 全,杨 梅,张华南

(甘肃农业大学 工学院,甘肃 兰州 730070)

【摘 要】 【目的】提出了一种基于光源不变图的病斑分割方法,以提高病斑识别程序的准确性和稳定性。【方法】将阴影区和非阴影区视为不同光源照明,通过最小熵法计算原图的光源不变图,在该图上采用 K 均值聚类算法对病斑进行分割,以采集的病斑叶片为材料,对该方法的处理效果进行验证。【结果】比较光源不变图法和 H 分量法的处理结果后发现,采用光源不变图法处理病斑不同区域的平均差异较 H 分量法更低,仅为 10.7%;聚类分割算法对使用光源不变图法处理病斑图像的分割准确率为 95.0%,较 H 分量法具有更高的正确率,且误检率更低。【结论】采用光源不变图法对病斑图像处理的效果好、性能稳定,同一目标在不同光照条件下处理结果的一致性较高。

【关键词】 病斑分割;光源不变图;对数变换;最小熵;聚类分析

【中图分类号】 TP391.41

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)10-0189-06

Segmentation of shaded plant lesions using illuminant invariant image and clustering algorithm

ZHANG Xing-long, FENG Quan, YANG Mei, ZHANG Hua-nan

(Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: 【Objective】 This study proposed a segmentation method based on illuminant invariant image to improve the accuracy and stability of lesion recognition program. 【Method】 This method deemed shadow and non-shadow areas as different illumination sources and illuminant invariant image of the original map was calculated using entropy minimization method. Then the K-mean clustering algorithm was used to segment plant lesions in shaded and non-shaded areas based on illuminant invariant image. Experiments were also carried out to verify the effectiveness. 【Result】 Comparison of these two methods showed that the difference of grey value between the lesions in shadow or non-shadow areas when using illuminant invariant image method was 10.7%, much less than H component method. Clustering segmentation algorithm based on illuminant invariant image had the accuracy of 95.0%, better than H component method and the false reject rate was lower. 【Conclusion】 Illuminant invariant image method was better and more stable than H component method. It also had higher consistency for same lesion under different lighting conditions.

Key words: lesion segmentation; illuminant invariant image; logarithmic transformation; entropy minimization; clustering segmentation

【收稿日期】 2015-04-21

【基金项目】 国家自然科学基金项目(61461005)

【作者简介】 张星龙(1988—),男,陕西扶风人,硕士,主要从事图像处理研究。E-mail:zhangxinglong21@163.com

【通信作者】 冯 全(1968—),男,甘肃兰州人,教授,博士,硕士生导师,主要从事图像处理、生物加密研究。

E-mail:fquan@gasau.edu.cn

利用图像处理技术进行农作物病害诊断,进而达到防治病害、节约成本等目的,是现代农业的主要发展方向之一^[1]。目前,应用于这一领域的数字图像处理技术有很多,其中图像分割是很重要的一部分,其将病斑从枝叶、天空、土壤等背景中分离出来,这一过程的处理效果关系到特征提取和后续识别的准确率。

传统的将病斑从复杂背景中提取出来的检测方法主要是基于颜色、纹理和几何形态特征等参数的提取^[2],近年来较为流行的智能识别算法也是以这些特征参数为基础。目前常见的病斑分割和检测方法有基于病斑色差分量的 Ostu 分割算法^[3]、Hough 变换和边缘检测算子提取轮廓特征^[4]、小波变换消除光照影响^[5]、区域生长法^[6]以及模糊识别和支持向量机等^[7-10]。以上方法都依赖于对图像颜色和纹理的准确识别,对光照条件有较高要求,且不能适应复杂环境中随机采集的图像。而在自然环境下成像的图像中,由于物体相互遮挡、太阳光入射角度的变化,使得叶片上常常存在阴影,阴影的存在对病斑的分割造成极大的干扰,主要体现在两个方面:第一,由于阴影比较暗,很多分割算法往往会将其从叶片中分离出去,使阴影中的病斑被漏检;第二,由于阴影区的叶片表面反射被削弱、对比度降低,导致病斑纹理特征不明显,边缘模糊,且病斑颜色有别于正常光照的病斑,很多分割方法会将其与阳光直射下的病斑标识为不同类型。因此,采用合适的图像增强方法消除阴影影响,不仅能够获得准确的图像数据,更是提高图像处理的自动化程度的保证。

本研究采用最小熵法生成不受阴影影响的光源不变图的方法以削弱阴影区,增强阴影区病斑与周围健康区域的对比度,采用同一种分割算法将阴影区和非阴影区病斑同时提取出来,以期提高病斑识别程序的准确性和稳定性。

1 光源不变图原理与阴影分割

光源不变图是 Finlayson 等^[11-12]和 Heikkilä^[13]基于普朗克照明(Planckian lighting)、朗伯表面(Lambertian surfaces)和窄频带相机^[14](Narrow-band camera)3点假设提出的。

对于采集的植物病斑 RGB 图像,为了消除光照强度的影响,特将 RGB 值代入色度对数坐标系中进行计算。红色通道与绿色通道及蓝色通道与绿色通道之间的色度对数差为:

$$\begin{cases} \rho_{RG} = S_R - S_G + \frac{1}{T}(D_R - D_G) \\ \rho_{BG} = S_B - S_G + \frac{1}{T}(D_B - D_G) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\rho_{RG} = \log p_R - \log p_G$,为红色分量与绿色分量之间的色度对数差; $\rho_{BG} = \log p_B - \log p_G$,为蓝色分量与绿色分量之间的色度对数差; $S_k = \log[S(\lambda_k) \cdot \lambda_k^{-5} c_1]$, $D_k = -c_2/T\lambda_k$,其中 c_1, c_2 为常数, T 为不同辐射照明的温度, λ_k 表示对应颜色的波长, $k=R, G, B$ 。

将公式(1)表示为向量形式,有:

$$\rho = s + \frac{1}{T}d. \quad (2)$$

式中: ρ 为颜色向量, $\rho = (\rho_{RG}, \rho_{BG})^T$; $s = (S_R - S_G, S_B - S_G)^T$, $d = (D_R - D_G, D_B - D_G)^T$ 。

由 S_k 的定义可知, s 只与物体的表面反射特性和相机的响应频率有关,与光照强度无关。同时 d 只与相机的响应频率有关,而与物体表面的反射特性和光照均无关。公式(2)表示了一条以色温 T 为参数的直线,即对于指定相机,同一颜色在不同色温的光源照射下,其向量 ρ 对应的点在一条直线上,而不同颜色的特性直线是相互平行的。图 1 中 4 条短线给出了 4 种颜色在不同色温下的分布。可将所有颜色特性直线投影到 f 上的数值作为该颜色对光源的不变值;对一副图像中每个像素求投影不变值,就可以得到一幅与光源强度和色温无关的灰度图像,称之为光源不变图(Illuminant invariant image)^[11]。

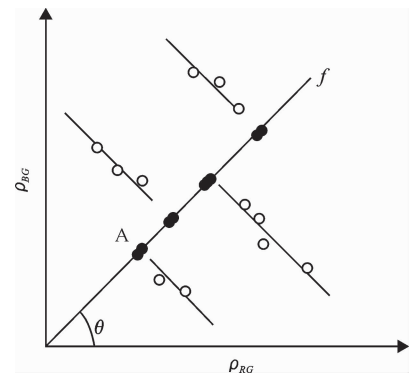


图 1 色度对数坐标系

f 与所有颜色特性直线垂直,其与横轴夹角为 θ ,空心圆圈为某一点变换为色度对数后在坐标系中的对应位置,

实心圆圈为空心圆圈在 f 上的投影

Fig. 1 Log-chromaticity coordinates

f is perpendicular to all color characteristics lines, θ is the angle between f and the horizontal axis, hollow circle is a point's position in Log-chromaticity coordinates after being converted to Logarithmic space, and solid circle is the projection of the hollow circle on f

在自然光照下进行验证,从上午 09:00 至下午 17:00 选择 6 个时间点,采用同一相机(Sony W390 相机)对标准色卡(型号为 SpyderCHECKER)进行拍摄,计算色卡中每种颜色的平均值,以此计算该颜色的颜色向量。结果发现在色度对数坐标系中,自然光下成像的颜色向量分布仍然与基于 3 点假设的理想条件下的情况相似,同一种颜色的颜色向量分布近似在一条直线上,不同颜色的特性直线近似平行。图 2 为色卡中的橙色、黄色、紫色、粉色和赭色在不同光照下颜色向量的分布。

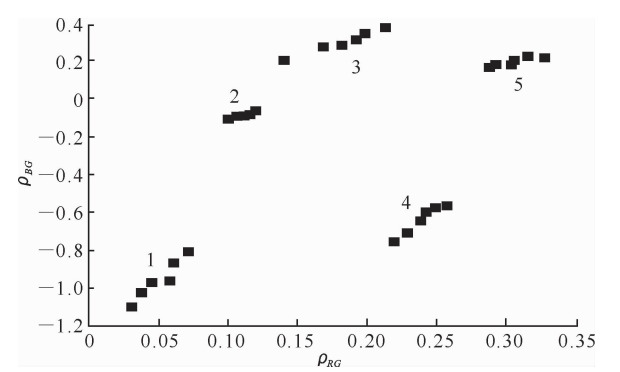


图 2 自然光照下色卡中 5 种颜色向量在色度对数坐标系中的分布
1~5 表示的颜色依次为黄色、赭色、紫色、橙色和粉色
Fig. 2 Distribution of five colors vectors in log-chromaticity coordinates
1~5 are yellow, ochre, purple, orange and pink, respectively

从图 2 可以发现,不同颜色向量在 f 上的投影仍集中在某些区域,不同颜色形成了若干峰值。对于任意多光源照明图像,可以采用最小熵的方法求最优的 f 。在信息学中,熵可以用来衡量体系的混乱程度,计算公式为:

$$\eta=-\sum p_i(\varphi)\log p_i(\varphi)。(3)$$

式中: η 为所有出现信号的平均信息量,称为“熵”; p_i 表示信号 φ 出现的概率; φ 表示某信号的值。

由信息学理论可知,若各个信号分布的越平均,则“熵”越大;若某些信号出现的频率大,其他信号出现的频率小,则“熵”越小^[15]。因此,选用熵最小的投影作为最优 f 。

采用最小熵法计算 f ,具体方法如下:

1)对一幅有多光源照明的彩色 RGB 图像,根据公式(1)计算出每个像素点的颜色向量,在色度对数坐标系中以直线与横轴夹角 θ 为参数,遍历从 0° 到 180° ,计算该图像中所有像素的颜色向量在某个 θ 对应直线上的投影,得到相应的直方图。

2)对于 θ 对应的直方图,根据公式(3)计算每个 θ 对应的熵。

3)找到熵最小时对应的 θ ,该参数即为最优 f 。

求得最优 f 后,即可按照公式(2)的方法计算图像对应的光源不变图。对于自然光照条件下获得的有阴影的叶片图像,在无阴影区将其视为太阳直射光和天空光 2 种光源照明,而对阴影区,则视为由天空光照明^[16]。在满足光源不变图的条件下,使得阴影区和非阴影区的病斑有近似一致的灰度值,以便于分割。图 3 为由 RGB 图计算的光源不变图。与图 3-(a)相比,图 3-(b)的阴影区在光源不变图上明显减弱。图 3-(c)给出了根据最小熵计算的最优投影直线 f 的结果,可以看出,投影直线在角度为 110° 时的熵最小,图 3-(b)就是根据该角度对应直线计算的投影值获得的光源不变图。获得光源不变图后,可以进一步采用聚类分割算法从叶片图像中分割出病斑^[17]。

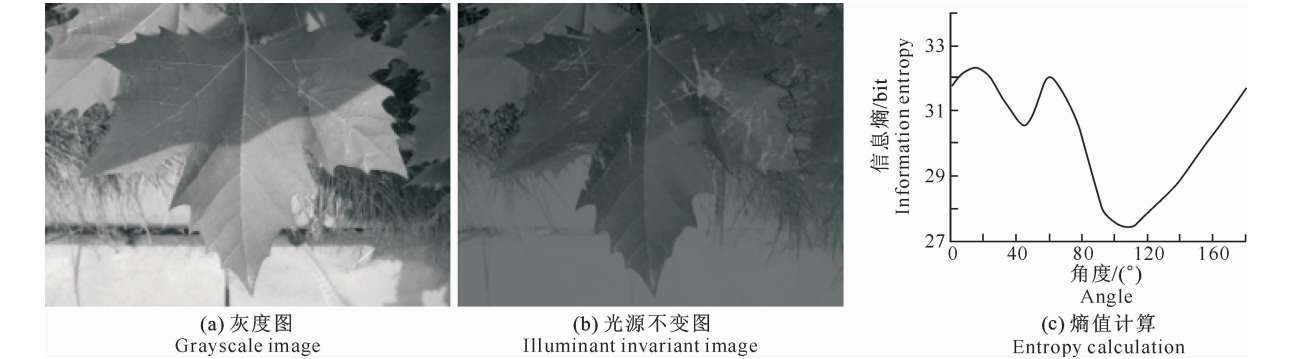


图 3 最小熵法求光源不变图
Fig. 3 Illuminant invariant images using entropy minimization

2 结果与分析

叶片图像于 2014 年 10 月 15—23 日采集自甘

肃省兰州市安宁区,采集对象为患有褐斑病、叶斑病的葡萄叶片和梧桐叶片。在自然光照下,用 Sony W390 相机采集了 8 幅部分区域处于阴影中的病斑

叶片图像;拍摄时,相机在叶片的正上方,采用自动对焦。每幅图像中有 1~3 张叶片,一些叶片上有多处病斑,共计有 37 处病斑,其中有 21 个处于阴影区,其余则处于非阴影区。由于所采集的图像存在杂乱背景,直接采用聚类分割法在叶片区域之外可能产生错误分割结果。本研究采用无边界主动轮廓算法^[18]从图像中分割出单个叶片,仅在叶片区域使用光源不变图算法分割病斑。为验证基于光源不变图的病斑分割算法的效果(以下称“方法 1”),还同时选择 HSI 颜色模型的 H 分量^[19-21]进行病斑分割(以下称“方法 2”),并对二者的分割效果进行对比。

对于 8 幅图像样本,每片叶子有同一类病斑,且

表 1 H 分量和光源不变图法处理后阴影区及非阴影区灰度值差异的比较

Table 1 Comparison of H component and illuminant invariant image on the shadow and non-shadow areas

样本编号 Sample number	H 分量 H component			光源不变图法 Illuminant invariant image method		
	有阴影 Shadow area	无阴影 Non shadow area	差异度/% Difference degree	有阴影 Shadow area	无阴影 Non shadow area	差异度/% Difference degree
1	137	175	21.7	159	174	8.6
2	162	180	10.0	167	178	6.2
3	165	191	13.6	156	172	9.3
4	137	184	20.1	168	189	11.1
5	203	171	18.7	191	177	7.9
6	105	137	23.3	130	155	16.1
7	147	208	28.8	164	193	15.2
8	95	124	23.3	140	158	11.4
平均 Average			19.9			10.7

进一步采用 K 均值聚类算法对经上述 2 种方法处理的图像进行聚类分割。聚类时,以每个像素作为聚类对象、平方欧式距离作为相似度距离量度、均方差作为聚类准则函数,聚类数设为 2,代表背景和病斑,对每个像素的聚类结果进行二值标记并生成聚类区域,最后利用数学形态学滤波对结果进行处理以提高分割精度。

首先,以统计病斑数量的方法检验病斑区域的检测率和误检率,即考虑 2 种方法对叶片阴影区和非阴影区的病斑能否分割出来。检测率与误检率的计算公式为:

检测率= $[(M_2-M_3)/M_1]\times 100\%$;

表 2 H 分量和光源不变图法处理结果的检测率及误检率

Table 2 Detection rate and error detection rate of H component and illuminant invariant image method

阴影类型 Shadow type	H 分量 H component				光源不变图法 Illuminant invariant image method			
	检测数 Detection number	检测率/% Detection rate	误检数 False number	误检率/% False reject rate	检测数 Detection number	检测率/% Detection rate	误检数 False number	误检率/% False reject rate
有阴影 Shadow area	17	61.9	4	19.0	21	100.0	0	0
无阴影 Non shadow area	11	56.3	2	12.5	14	87.5	0	0
合计 Total	28	59.5	6	16.2	35	94.6	0	0

其次,对 2 种方法的病斑分割精度进行分析。

分别处于阴影区和非阴影区,采用方法 1 和方法 2 对叶片图像处理,手动提取了各病斑区域,以非阴影区病斑的灰度平均值作为基准,比较同一叶片上阴影区与非阴影区同一类病斑灰度值基准的差异,结果见表 1。从表 1 可以看出,HSI 颜色模型 H 分量提取时阴影与非阴影区病斑灰度值的平均差异度为 19.9%;而采用光源不变图法处理后,灰度值的平均差异度为 10.7%,较 HIS 颜色模型 H 分量分割方法减小了 46.2%。这说明经方法 1 处理后,阴影区病斑与非阴影区的同类病斑具有更高的一致性,在自动分割时更容易将阴影区与非阴影区的病斑分为同一类,有效提高了分割精度。

误检率= $[M_3/M_1]\times 100\%$ 。

式中: M_1 为实际病斑数量, M_2 为检测到的病斑数量, M_3 为误检的病斑数量。

由表 2 可见,对于试验样本,在所有的 37 处病斑中,不论病斑是否处于阴影中,采用方法 1 处理后大部分病斑都能够被分割出来,且处于不同区域的同种病斑被分为同一类,病斑的检测率达到了 94.6%,误检率为 0。而依据 HSI 颜色空间中的 H 分量进行分割的方法对阴影较为敏感,部分病斑不能准确地分割出来,且处于不同区域的同种病斑可能会被分为不同的类,检测率仅为 59.5%,误检率为 16.2%。

通过自动分割与手动分割的匹配率、错分率评价图

像的分割效果^[22],匹配率越高而错分率越低则分割效果就越好。匹配率与错分率的计算公式为:

$$\text{匹配率} = [(N_1 - |N_2 - N_1|) / N_2] \times 100\%;$$
$$\text{错分率} = [(N_2 - N_1) / (m \times n)] \times 100\%。$$

表 3 H 分量和光源不变图法分割精度的比较

图像序号 Image number	H 分量 H component		光源不变图法 Illuminant invariant image method	
	匹配率 Matching rate	错分率 Misclassification rate	匹配率 Matching rate	错分率 Misclassification rate
1	76.5	7.3	98.1	2.7
2	81.7	7.9	95.7	2.4
3	77.9	9.1	92.4	3.3
4	92.5	13.2	93.7	2.1
5	83.1	10.8	94.6	3.2
6	79.8	6.9	95.0	2.6
7	93.3	49.2	96.1	3.8
8	82.6	11.2	94.7	4.2
平均 Average	83.4	14.5	95.0	3.1

从表 3 可见,用本研究建立的光源不变图法分割 8 幅图像的平均匹配率为 95.0%,平均错分率仅为 3.1%;而基于 H 分量分割时的匹配率为 83.4%,错分率为 14.5%。显然前者的匹配率较高、错分率较低,分割精度较高。

图 4 为光源不变图法和 H 分量分割法 2 种方法分割效果的实例对比(为了给出原始结果,图中未给出形态学滤波结果)。由图 4 可以看出,同一叶片上由于阴影的干扰,病斑经过聚类分析后不能从叶

式中: N_1 为自动分割图像的病斑像素值, N_2 为手动分割图像的病斑像素值, $m \times n$ 为图像的像素。以像素统计的方法计算匹配率与错分率,结果见表 3。

片中被有效提取出来。而采用光源不变图法进行处理后,阴影的影响在一定程度上被消除,即将 2 种不同光照条件下的病斑识别为同一种类,且处于阴影中的病斑能够从周围健康区域中分割出来。通过对 HSI 图像 H 分量分割效果分析后发现,某些病斑在处理后的特征并不明显,无法被分割出来。而采用光源不变图法处理过后的图像,不论是在阴影区域还是在阳光直射区域都能够被识别。

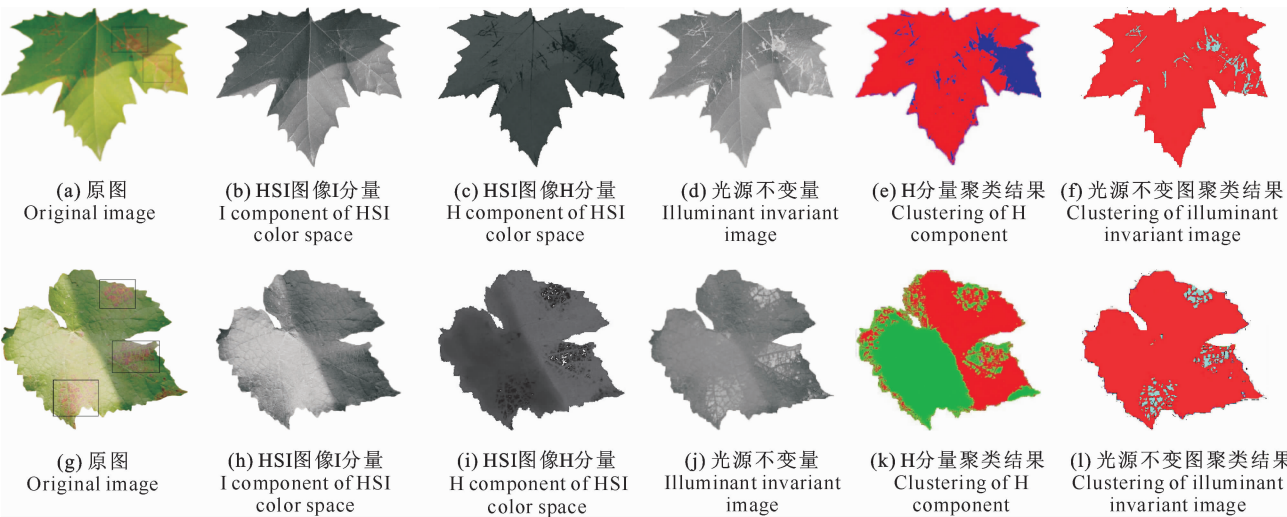


图 4 H 分量和光源不变图分割效果的对比

Fig. 4 Comparison of the effects of H component and illuminant invariant image method

对采集到的所有病斑采用 2 种算法处理后发现:在所有的 37 处病斑中,不论病斑是否处于阴影之中,采用本研究的光源不变图法处理后,都能够被准确地分割出来,且处于不同区域的同种病斑被准

确地分为同一类;而依据 HSI 颜色空间中的 H 分量进行分割的方法对阴影较为敏感,部分病斑不能准确分割出来,且处于不同区域的同种病斑可能会被分为不同的类。

3 结 论

1) 采用光源不变图法处理后, 叶片阴影与非阴影区病斑灰度值的平均差异仅为 10.7%, 而基于 H 分量方法的平均差异高达 19.9%; 聚类分割法对使用光源不变图法处理病斑的检测率较 H 分量更高, 而误检率为 0。同时在对病斑进行分割时, 光源不变图法对病斑区域的识别准确率达 95.0%, 明显高于 H 分量。说明采用光源不变图法处理叶片阴影区域的病斑后, 其与非阴影区病斑有更高的相似度, 更容易被分割算法识别。

2) 对于叶片表面的非阴影区, 可视为同时受阳光和天空光照射, 而阴影区可视为只受天空光照射, 采用光源不变图可以同时削弱这些不同光照的影响。通过最小熵法得到的光源不变图反映了物体表面真实的反射特性, 对于是否有阴影及不同程度的阴影都有良好的处理效果。对无阴影、部分阴影和完全被阴影遮盖的叶片处理后发现, 在不同阴影影响下采用光源不变图法可以得到近乎一致的结果, 该算法很大程度上降低了处理的复杂程度, 不需要再针对不同光照区域采用不同算法进行处理。

3) 光源不变图法处理效果好、性能稳定, 对同一目标在不同光照条件下处理的结果一致性较高。基于这种特性, 该方法可作为一种图像预处理手段, 结合现有的其他图像处理、模式识别等检测方法, 可以获得更准确的检测、分类结果。

综上所述, 采用光源不变图法对图像进行增强处理后, 能够大幅度削弱阴影的影响, 消除由于阴影区和正常光照区的照度差异导致的分类、分割错误, 同时该方法也为图像增强和图像预处理提供了一个新的思路。

〔参考文献〕

- [1] 冀荣华, 祁力钧, 傅泽田. 机器视觉技术在精细农业中的研究进展 [J]. 农机化研究, 2007, 16(11): 1-5.
Ji R H, Qi L J, Fu Z T. Advance in precision agriculture based on the machine vision technology [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 16(11): 1-5. (in Chinese)
- [2] 管泽鑫. 基于图像的水稻病害识别方法的研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2010.
Guan Z X. Study on recognition method of rice disease based on image [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2010. (in Chinese)
- [3] 赵进辉. 基于图像处理的田间甘蔗病害识别技术研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2008.
Zhao J H. Study on identification technology of field sugarcane

- diseases based on image processing [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [4] 吴露露, 马旭, 齐龙, 等. 改进 Hough 变换的农作物病斑目标检测方法 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 152-159.
Wu L L, Ma X, Qi L, et al. A method of target detection for crop disease spots by improved Hough transform [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 152-159. (in Chinese)
- [5] 孙月强. 非均匀光照下蔬菜病斑识别算法研究 [J]. 计算机仿真, 2012, 29(6): 257-260.
Sun Y Q. Research on vegetables disease spot recognition algorithm in uneven illumination conditions [J]. Computer Simulation, 2012, 29(6): 257-260. (in Chinese)
- [6] 沈项军, 汪增福. 一种基于色彩和纹理分析的图像分割算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2007, 20(2): 241-247.
Shen X J, Wang Z F. An image segmentation algorithm based on color and texture analysis [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2007, 20(2): 241-247. (in Chinese)
- [7] 田有文, 李天来, 李成华, 等. 基于支持向量机的葡萄病害图像识别方法 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 175-180.
Tian Y W, Li T L, Li C H, et al. Method for recognition of grape disease based on support vector machine [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 175-180. (in Chinese)
- [8] 余秀丽, 徐超, 王丹丹, 等. 基于 SVM 的小麦叶部病害识别方法研究 [J]. 农机化研究, 2014, 23(11): 151-155.
Yu X L, Xu C, Wang D D, et al. Identification of wheat leaf diseases based on SVM method [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 23(11): 151-155. (in Chinese)
- [9] 田有文, 张长水, 李成华. 支持向量机在植物病斑形状识别中的应用研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 134-136.
Tian Y W, Zhang C S, Li C H, et al. Application of support vector machine to shape recognition of plant disease spot [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 134-136. (in Chinese)
- [10] 何倩, 郑向阳. 模糊识别技术在玉米病斑识别中的应用研究 [J]. 计算机仿真, 2012, 29(5): 251-253.
He Q, Zheng X Y. Research on fuzzy recognition technology in corn disease spot identification [J]. Computer Simulation, 2012, 29(5): 251-253. (in Chinese)
- [11] Finlayson G D, Hordley S D. Color constancy at a pixel [J]. Journal of the Optical Society of America A-optics Image Science and Vision, 2001, 18(2): 253-264.
- [12] Finlayson G D, Hordley S D, Drew M S. Removing shadows from images [C]//European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer, 2002: 823-836.
- [13] Heikkila J. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction [C]//Computer Vision and Pattern Recognition. San Juan: IEEE, 1997: 1106-1112.

nese)

[25] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21311—2007 动物源性食品中硝基呋喃类药物代谢物残留量检测方法高效液相色谱/串联质谱法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

Standardization Administration of the People’s Republic of China. GB/T 21311—2007 Determination of residues of nitrofurans metabolites in foodstuffs of animal origin-HPLC-MS/MS method [S]. Beijing: China Standard Press, 2007. (in Chinese)

[26] 欧 安, 李红权, 蒋方军, 等. 湛江出口水产品质量安全现状及监管对策研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013(5): 1596-1600.

Ou A, Li H Q, Jiang F J, et al. Research on quality analysis and regulatory countermeasures of exported aquatic products in Zhanjiang [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2013(5): 1596-1600. (in Chinese)

[27] 岑小青, 蔡 泓. 湛江口岸出口水产品药物残留检测结果分析 [J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2006, 29(1): 49-51.

Cen X Q, Cai H. Analysis of drug residue in marine product at Zhanjiang port [J]. Chinese Journal of Frontier Health and Quarantine, 2006, 29(1): 49-51. (in Chinese)

[28] 施东华, 卜仕金, 李 建, 等. 2004 年启东地区小龙虾中氯霉素、硝基呋喃类代谢物的残留调查 [C]//中国畜牧兽医学动物药品学分会. 2006 年学术年会论文集. 北京: 中国农业出版社, 2006: 68-72.

Shi D H, Bu S J, Li J, et al. Investigation of chloramphenicol and nitrofurans metabolites residues in crawfish products of Qidong [C]//Chinese Association of Animal and Veterinary Science, Association of Animal Pharmaceutical Science. Proceedings of the 2006 Symposium of Veterinary Drug Branch. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 68-72. (in Chinese)

(上接第 194 页)

[14] Finlayson G D, Drew M S, Funt B V. Spectral sharpening: Sensor transformations for improved color constancy [J]. Journal of the Optical Society of America A-optics Image Science and Vision, 1994, 11(5): 1553-1563.

[15] Byrne C L. Iterative image reconstruction algorithms based on cross-entropy minimization [J]. Image Processing, 1993, 2(1): 96-103.

[16] Nadimi S, Bhanu B. Moving shadow detection using a physics-based approach [C]//Proc of International Conference on Pattern Recognition. California: IEEE, 2002: 701-704.

[17] Pappas T N. An adaptive clustering algorithm for image segmentation [J]. Signal Processing, 1992, 40(4): 901-914.

[18] Chan T F, Vese L A. Active contours without edges [J]. Image Processing, 2001, 10(2): 266-277.

[19] 黄 芬, 于 琪, 姚 霞, 等. 小麦冠层图像 H 分量的 K 均值聚类分割 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(3): 129-134.

Huang F, Yu Q, Yao X, et al. K-means clustering segmentation for H weight of wheat canopy image [J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(3): 129-134. (in Chinese)

[20] 韩瑞珍. 基于机器视觉的农田害虫快速检测与识别研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

Han R Z. Research on fast detection and identification of field pests based on machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)

[21] 毛 亮, 薛月菊, 孔德运, 等. 基于 H 分量旋转的荔枝图像分割算法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(33): 192-194.

Mao L, Xue Y J, Kong D Y, et al. Litchi image segmentation algorithm based on rotation of hue component of HSV color space [J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(33): 192-194. (in Chinese)

[22] Camargo A, Smith J S. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms [J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(1): 9-21.