

用亮度信息提取黄瓜霜霉病害窄带多光谱 图像特征波段

冯 洁 李宏宁 刘 微 朱云东 吴绍仙

(云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650092)

摘要 为了挖掘有利于光谱分类的有效特征信息,选取园艺作物黄瓜的霜霉病害为研究对象,利用窄带滤光片型多光谱成像系统,获取患病黄瓜叶面的 14 个可见光通道、近红外通道和全色通道的多光谱图像。在此基础上,实验采用多光谱图像的平均灰度值和标准差,通过图像可识别度模型,对 6 个霜霉病害样本的 16 通道多光谱数据可识别度排序,目的是探讨能有效识别黄瓜植株霜霉病害的特征波段。实验结果表明,用亮度信息提取霜霉病害的多光谱图像特征波段,能快速提取病害的特征波段信息。其中 700,600,589 和 546 nm 的窄带多光谱图像具有较丰富的黑白强度分布和较好的明暗对比度,可以作为黄瓜霜霉病害光谱分类的有效特征信息通道。

关键词 光谱学;多光谱成像;光谱特征提取;亮度信息;霜霉病害

中图分类号 O433.4;S436.421.1⁺¹

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201138.s109003

Extract Spectral Feature Bands of *Pseudoperonospora Cubensis*'s Narrow-Band Multispectral Images Using Brightness

Feng Jie Li Hongning Liu Wei Zhu Yundong Wu Shaoxian

(School of Physics and Electronic Information Technology, Yunnan Normal University,
Kunming, Yunnan 650092, China)

Abstract In order to extract spectral feature for achieving spectral classification, 16 multispectral images of *pseudoperonospora cubensis* for cucumber disease, including visual light band, near-infrared band and a panchromatic band, were captured for 6 samples in this paper. Then, the distinguish ability of all multispectral images were computed by average gray, standard error and background gray. We ordered the 16 bands using the distinguish ability to 6 samples. The bands with high distinguish ability were extracted as spectral feature bands of cucumber' *pseudoperonospora cubensis*. The result showed that it was speedy to extract spectral feature of cucumber disease by the gray of images. The multispectral images of 700, 600, 589 and 546 nm bands have plentiful black-white distribution and good contrast. They were spectral feature bands of cucumber' *pseudoperonospora cubensis*.

Key words spectroscopy; multispectral imaging; extraction of spectral feature; brightness; cucumber' *pseudoperonospora cubensis*

OCIS codes 110.4234; 110.2960; 350.4600; 170.0170

1 引 言

多光谱成像技术是多波段光谱成像技术的简称,虽然该方法光谱分辨率较低,但实现起来较简单,因此对于目标识别或物质成分分析有重要的用途。多光谱成像技术在农业工程中的早期应用主要

是大尺度作物病害监测、生长状态识别等^[1~3]。进入 20 世纪 80 年代,随着人们对农业作物特性认识的深入,出现了红外、近红外图像处理应用的研究,使多光谱成像技术从单纯的外观视觉,向识别作物的形状、组成和成分分布等内部特性分析方向发展。

收稿日期: 2011-08-09; 收到修改稿日期: 2011-09-20

基金项目: 国家自然科学基金(60968001,60768002)、云南省自然科学基金(2009CD047)和云南省大学生创新实验(CX07)资助课题。

作者简介: 冯 洁(1975—),女,博士,副教授,主要从事主光谱成像技术和颜色科学等方面的研究。

E-mail: fengjie@yahoo.com.cn

至今已形成了主要集中在作物病害诊断、农产品品质检测、作物生长状态监测等方面的研究方向^[4~8]。将多光谱成像技术用于近距离园艺植物叶面的病害诊断,通过采集病害植株的多光谱图像,重建光谱信息和颜色信息,实验结果说明多光谱成像系统在植物病虫害的诊断方面优于传统的诊断方法^[9,10]。通常认为在可见光波段多光谱图像的光谱分辨率大于10 nm,该分辨率能够以较高的精度拟合或重建自然界中多数目标的辐射光谱或反射光谱信息。较多的通道能获得丰富的光谱和图像信息,但是过多的通道却会导致数据采集时间较长、数据冗余、过多耗用存储空间和计算耗时。因此在进行多光谱成像技术下的光谱分类时,有必要通过挖掘有利于光谱分类的有效特征信息,来提高光谱识别分类效果。为了解决这个问题,本文基于园艺植物病害多光谱成像系统原型,探讨图像亮度信息在光谱特征提取中的运用以提高分类效果。

2 图像亮度信息提取特征波段

人眼能否最大限度地识别灰度图像,主要看灰度图像有没有合适的亮度,不宜过亮或过暗。在380~780 nm的可见光范围内,人眼对于光亮的感觉有以下特点:在不同的亮度值下,人眼能察觉的最小亮度变化也不同,亮度值越大,最小亮度变化越大;反之越小,但是最小亮度变化与亮度的比值大致相同。也就是说不同的光亮背景会影响到人眼所能察觉的最小亮度变化的值。

人眼在识别灰度图像时,还应看灰度图像中的亮暗反差,即灰度值的分布离散情况。通常采用平均灰度值来衡量灰度图像的亮度,用标准差来衡量图像灰度的离散程度,其表达式分别为

$$\bar{I} = \frac{\sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N I(x, y)}{M \times N}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N [I(x, y) - \bar{I}]^2}{M \times N}} \quad (2)$$

式中 $I(x, y)$ 是图像每个像素点的灰度值, M 和 N 是图像的横纵坐标。一幅灰度图像的亮度最强定为255,通常情况下人眼视觉最好的亮度为最强亮度值的一半。因此把一幅灰度图像的视觉效果定为尽可能接近 $\frac{255}{2} \approx 128$ 为越好^[11], 它的接近程度用以下模型来衡量

$$C = \begin{cases} \frac{\bar{I}}{128}, & \bar{I} \leq 128 \\ 2 - \frac{\bar{I}}{128}, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

由于一幅多光谱图像是由一系列的灰度图像组成的,而每个灰度图像都是在一个很窄的波段内获得的^[12]。利用亮度信息进行特征波段选择时,所选择的通道应该是人眼能觉察的最小亮度变化小,参考背景值 $I_{\text{Background}}$ 小,通道图像的方差大,且有较好视觉效果通道图像。综合以上因素,计算通道图像可识别度可采用

$$P = \frac{C \times \sigma}{I_{\text{Background}}}, \quad (4)$$

P 值越大说明该通道具有越好的识别效果。

3 材料制备与多光谱数据获取

实验选取园艺植物中常见的黄瓜霜霉病害作为研究对象,采用自行设计的用于植物病虫害诊断的多光谱成像系统^[9],在 CIE1931 d/0(漫反射/垂直)标准照明和观测条件下,采集了中心波长分别为400, 434.8, 460, 490, 515.7, 530, 546, 589, 600, 620, 635, 650, 670, 700, 850 nm 共15个窄带多光谱图像和1个全色图像。

黄瓜霜霉病害植株样本来自中国农业科学院。实验共采集了6个典型霜霉病害植株样本,每个植株样本均呈现无病、轻度、中度和重度病害的复合特征。图1是样本1的16通道原始多光谱图像。从图1可以看出,由于成像装置视场限制,样本1的原始多光谱图像中出现黑色背景边缘。该边缘亮度值

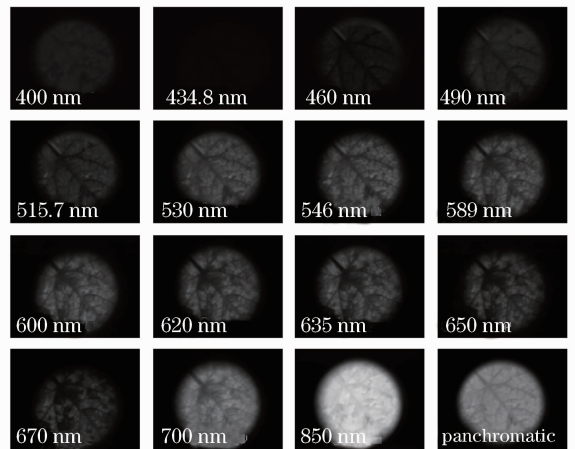


图1 样本1的16通道多光谱图像
Fig. 1 16 multispectral images of sampe 1

较低,不含有霜霉病害信息。为了防止图像边缘的无效信息干扰图像的亮度信息分布,实验对6个样本的16通道多光谱图像进行预处理,去除边缘的噪声部分。同时要确保多光谱图像在裁减中没有丢失有效特征,样本1的预处理结果如图2所示。

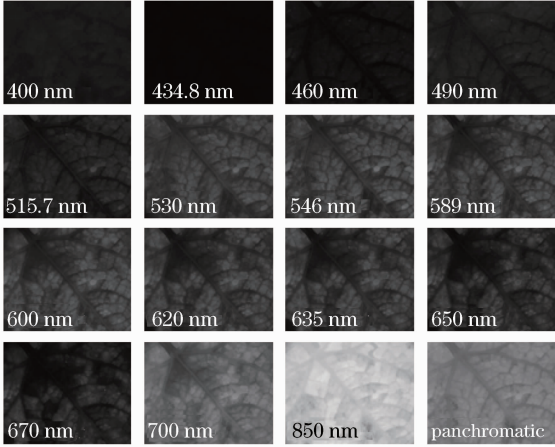


图2 样本1预处理后的16通道多光谱图像

Fig. 2 16 multispectral images preprocessed of sampe 1

4 实验与分析

4.1 实验

从心理学上讲,人眼观察一幅图像时,总是先对较强的像素部位发生反应,然后以较亮部位为参考来感受较暗部位的明亮程度,即在潜意识中人们已经把较亮部位当作了整幅图的参考背景,因此选择一个合适的参考背景是实验的关键。通常在选择参考背景时,有两个因素需要考虑:1)背景图像中的最亮点值;2)整幅图的最亮点的分布情况。

如果已知一幅 $M \times N$ 的图像,像素点是以二维形式分布的。现以 $I(x, y)$ 表示坐标为 (x, y) 的像素点的灰度值。表1表示图像的像素分布和参考背景计算流程。根据表1所示,分别在纵向 $(y = 1, 2, \dots, M)$ 上取亮度最大的像素点得到 $I_{\max}(x)$,其中 $(x = 1, 2, \dots, N)$ 。最后对取出的亮度最大的向量取平均灰度值,得到背景的灰度值:

$$I_{\text{Background}} = \frac{1}{N} \sum_i^N I_{\max}(x). \quad (5)$$

得到参考背景的灰度值 $I_{\text{Background}}$ 后,再分别利用(1)~(3)式得到图像平均灰度值 \bar{I} 、标准差 σ 和接近度 C ,最后代入(4)式得到图像的可识别度 P 。

表1 参考背景计算流程

Table 1 Flow of compute reference background

$I_{\max}(x)$	$I_{\max}(1)$	$I_{\max}(2)$	$I_{\max}(3)$	$I_{\max}(4)$	$I_{\max}(x)$	$I_{\max}(N-1)$	$I_{\max}(N)$
(x, y)	1	2	3	4	.....	$N-1$	N
1	$I(1,1)$	$I(1,2)$	$I(1,3)$	$I(1,4)$	.....	$I(1,N-1)$	$I(1,N)$
2	$I(2,1)$	$I(2,2)$	$I(2,3)$	$I(2,4)$	.....	$I(2,N-1)$	$I(2,N)$
.....
$M-1$	$I(M-1,1)$	$I(M-1,2)$	$I(M-1,3)$	$I(M-1,4)$	.....	$I(M-1,N-1)$	$I(M-1,N)$
M	$I(M,1)$	$I(M,2)$	$I(M,3)$	$I(M,4)$	.....	$I(M,N-1)$	$I(M,N)$

4.2 结论与分析

实验分别计算了6个样本16个通道的多光谱图像的可识别度 $P_{(i,j)}$ (其中 $i = 1, 2, \dots, 6$, $j = 1,$

$2, \dots, 16$)。6个样本各通道的识别度如表2所示。根据各通道的识别度,实验按识别度由高到低对各通道排序,6个样本的通道排序见表3。


表2 6个样本的识别度

Table 2 Distinguish ability of 6 samples

Channel	P					
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Panchromatic	0.069	0.080	0.099	0.078	0.059	0.091
400	0.018	0.018	0.019	0.020	0.017	0.022
434.8	0.010	0.007	0.009	0.012	0.009	0.009
460	0.019	0.018	0.017	0.028	0.017	0.019
490	0.026	0.025	0.026	0.047	0.025	0.029
515.7	0.036	0.026	0.039	0.072	0.040	0.049
530	0.058	0.042	0.064	0.096	0.064	0.077
546	0.067	0.045	0.076	0.107	0.074	0.088
589	0.070	0.038	0.070	0.114	0.062	0.083

Channel	P					
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
600	0.074	0.043	0.070	0.120	0.062	0.086
620	0.071	0.043	0.063	0.114	0.058	0.077
635	0.072	0.044	0.061	0.113	0.056	0.075
650	0.059	0.041	0.049	0.095	0.047	0.059
670	0.049	0.042	0.036	0.081	0.037	0.043
700	0.087	0.059	0.090	0.134	0.073	0.101
850	0.026	0.073	0.028	0.020	0.023	0.029

表 3 6 个样本的 16 个通道排序
Table 3 Order of 16 channels for 6 samples

Order	Channel						
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	
P High  Low	1	700	Panchromatic	Panchromatic	700	546	700
	2	600	850	700	600	700	Panchromatic
	3	635	700	546	620	530	546
	4	620	546	589	589	600	600
	5	589	635	600	635	589	589
	6	Panchromatic	620	530	546	Panchromatic	530
	7	546	600	620	530	620	620
	8	650	670	635	650	635	635
	9	530	530	650	670	650	650
	10	670	650	515.7	Panchromatic	515.7	515.7
	11	515.7	589	670	515.7	670	670
	12	850	515.7	850	490	490	490
	13	490	490	490	460	850	850
	14	460	460	400	850	460	400
	15	400	400	460	400	400	460
	16	434.8	434.8	434.8	434.8	434.8	434.8

从表 3 可以看出,综合 6 个样本的识别度,700 nm 的通道具有最好的亮度信息;其次是 600 nm 和 589 nm;546 nm 的通道也在 4 个样本中具有较高的识别度。对比识别度高的通道,400,434.8,460 和 490 nm 4 个通道的可识别度均不理想。

根据植物光谱特征,在 400~700 nm 的可见光波段,健康植物叶片的反射和透射都很低。由于色素的强烈吸收造成 450 nm 的蓝光和 650 nm 的红光两个吸收谷,550 nm 的绿光一个反射峰。在近红外区(700~1300 nm)由于叶肉内的海绵组织结构内有很多大反射表面的空腔,且细胞内的叶绿素呈水溶胶状态,光谱呈现强烈的反射。但是植物在受病害迫害时,光谱会随受迫程度的不同发生一定的改变。

结合以上植物光谱特征和实验采用的照明光源的光谱特征,实验结果表明在 16 个光谱通道中,700,600,589 和 546 nm 的窄带多光谱图像具有较

丰富的黑白强度分布和较好的明暗对比度。而 400,434.8,460 和 490 nm 的可识别度很小,图像有效信息较少,不适合成为黄瓜霜霉病害的特征光谱波段。

然而对于能够表征植株水分分布特征的 850 nm 的近红外通道,在可识别度计算中却出现不同的样本具有不同的可识别度排序。该结果的出现,是因为 850 nm 作为植叶水分弱吸收谷点,其光谱具有高反射率的数值;而灰度图像主要体现一幅图像强度的分布变化,在强度变化很小的情况下人眼是感知不到的,不利于对图像的识别。显然,亮度信息分析不适合黄瓜植叶霜霉病害近红外通道。

5 结 论

提出了基于图像亮度信息提取黄瓜霜霉病害的多光谱特征波段的方法。在此基础上,用多光谱图像平均灰度值、标准差和背景灰度,得到通道图像可

识别度；最后通过可识别度高低选择出4个具有较丰富的灰度信息值的多光谱图像通道。和其他通道相比较，这4个通道的多光谱图像具有较丰富的黑白强度分布和较好的明暗对比度，为后期的识别工作提供了更有价值的信息。同时实验证明，在可见光范围采用亮度信息提取光谱特征通道，算法简单可行。由于绿色植物的反射率变化基本趋势一致，不同叶面相同通道图像的亮度特征也基本一致，因此该方法可扩展应用到其他园艺植物上，但需要针对具体植物进行实验修正。

参 考 文 献

- Liu Xingku, Li Zhaohua. Application of multi-spectral to diagnose plant diseases[J]. *J. Northeast Forestry University*, 1993, **21**(2): 106~110
刘兴库, 李兆华. 多光谱诊断植物病害的初步研究[J]. 东北林业大学学报, 1993, **21**(2): 106~110
- Li Yingxue, Zhu Yan, Dai Tingbo *et al.*. Quantitative relations between leaf area index and canopy reflectance spectra of wheat[J]. *Chinese J. Applied Ecology*, 2006, **17**(8): 1443~1447
李映雪, 朱 艳, 戴廷波 等. 小麦叶面积指数与冠层反射光谱的定量关系[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(8): 1443~1447
- Haroon Stephen, David G. Long. Multi-spectral analysis of the Amazon basin using sea winds, ERS, seasat scatterometers, TRMM-PR and SSM/I[C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE international, 2002: 1780~1782
- Gao Zhanguo, Zhang Liquan. The identification of spectral characteristics of salt marsh vegetation using indirect ordinations[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2006, (2): 51~56
高占国, 张利权. 盐沼植被光谱特征的间接排序识别分析[J]. 国土资源遥感, 2006, (2): 51~56
- Feng Lei, Fang Hui, Zhou Weijun *et al.*. Nitrogen stress measurement of canola based on multi-spectral charged coupled device imaging sensor[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2006, **26**(9): 1749~1752
冯 雷, 方 慧, 周伟军 等. 基于多光谱视觉传感技术的油菜氮含量诊断方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, **26**(9): 1749~1752
- Xu Hanqiu. Water colour variation analysis of the coastal waters surrounding Xiamen island of SE China by multispectral and multitemporal remote sensing measurements[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, **26**(7): 1209~1218
徐涵秋. 环厦门海域水色变化的多光谱多时相遥感分析[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(7): 1209~1218
- Ye Yucheng, Ying Yibin. Application and development of multispectral imaging technique in the quality inspection of food[J]. *J. China Institute of Food Science and Technology*, 2002, **3**(4): 89~92
叶昱呈, 应义斌. 多光谱图像技术在食品品质检测中的应用与发展[J]. 中国食品学报, 2003, **3**(4): 89~92
- Chen Xiaojing, Wu Di, He Yong *et al.*. Study on discrimination of tea based on color of multispectral image[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, **28**(11): 2527~2530
陈孝敬, 吴 迪, 何 勇 等. 基于多光谱图像颜色特征的茶叶分类研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, **28**(11): 2527~2530
- Feng Jie, Liao Ningfang, Liang Minyong *et al.*. Multispectral imaging system for the plant diseases and insect pests diagnosis[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, **29**(4): 1008~1012
冯 洁, 廖宁放, 梁敏勇 等. 用于植物病害诊断的多光谱成像系统[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, **29**(4): 1008~1012
- Feng Jie, Li Hongning, Shi Junsheng *et al.*. Cucumber diseases diagnosis using multispectral images[C]. *SPIE*, 2009, **7489**: 74890E
- Xu Han. A Study of Optimal Bands Selection and Evaluation Methods on Performance of the Multi-Source Remote Sensing Image Fusion[D]. Shandong: Shandong University of Science and Technology, 2007: 32~33
许 茜: 多源遥感影响融合最佳波段选择及质量评价研究[D]. 山东: 山东科技大学, 2007: 32~33
- Guo Ningning, Zeng Libo, Wu Qiongshui *et al.*. Segmentation of blood and bone marrow smears based on multispectral techniques[J]. *Computer Engineering and Application*, 2005, **31**(6): 171~174
郭宁宁, 曾立波, 吴琼水 等. 基于多光谱采集技术的骨髓涂片细胞分割方法[J]. 计算机工程与应用, 2005, **31**(6): 171~174

栏目编辑: 李文喆