

基于多重分形的油菜病虫害叶片图像分割

施文, 邹锐标*, 王访, 苏乐

(湖南农业大学理学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 利用多重分形理论中的基于 sum 容量测度、max 容量测度和 min 容量测度的多重分形谱分割方法, 分别对油菜菌核病害、白斑病害、油菜潜叶蝇虫害叶片图像进行识别与分割。结果表明: 基于多重分形理论的油菜病虫害叶片图像分割优于传统的阈值分割, 基于 C 均值聚类的分割以及传统区域分割, 主要在于能够清晰地分割出病虫害叶片边缘轮廓, 准确定位病虫害斑区域, 同时还能保留较多细节, 具有局部性强、准确性高的特点。相比而言, 基于 max 和 min 容量测度的分割优于基于 sum 容量测度的分割。

关键词: 油菜病虫害叶片; 多重分形; 容量测度; 图像分割

中图分类号: O242.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)05-0556-05

Multifractal theory for image segmentation of rapeseed leaf affected by diseases and insects

SHI Wen, ZOU Rui-biao*, WANG Fang, SU Le

(Science College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In this paper, we use multifractal spectrum (MFS) based on sum measure, minimum measure and maximum measure to diagnose and segment images of rapeseed leaf eroded by rapeseed sclerotinia, rapeseed leukoplakia and rapeseed phytomyza atricornis, respectively. The results illustrated that the image segmentation obtained by the MFS method are superior to those obtained by traditional threshold method, C-means clustering method and region growing method. The advantage of the MFS method is mainly manifested in segmenting the disease leaf edge clearly and locating the lesion area accurately while maintaining more details with strong locality and high accuracy. By comparison, the segmentation results obtained by the max and min capacity measure are superior to those by the sum capacity measure.

Key words: rapeseed leaf affected by diseases and insects; multifractal; capacity measure; image segmentation

智能化和精准化农业要求与较高的图像处理能力相匹配。图像分割是图像分析的关键步骤, 在复杂的自然背景下进行图像分割, 难度较大^[1]。

1973年, Mandelbrot首次提出分形与分维理论^[2]。近年来, 分形几何与其他学科结合, 成为处理和研究非线性事物的强有力工具^[3]。分形中的迭代原则还可以生成不同维数的自相似图像, 反过来对于自然界中复杂的现象和事物, 分形维数也可以作为描述

其复杂程度的一个度量, 表征其非线性特征, 因此分形维数与图像的复杂性有种必然的联系, 并且可以用分形维数定量地描述这种复杂性。

分形理论应用于图像领域取得了一系列成果^[4-5]。薛东辉等^[6]应用分形方法进行图像边缘检测, 其算法简便快捷, 并具有较高的抗噪性, 同时还能检测出丰富的边缘信息。刘文萍等^[7]采用基于分形理论的分割方法, 利用自然景物与人造目标在分形特

征上的差异,并用概率方法将这种差异增强,继而将人造目标从自然场景中分割出来。随着研究的进一步深入,单一的分形已无法满足实际研究的需求,Grassberger等^[8]提出多重分形理论。多重分形考虑的是研究对象在几何上的空间奇异性^[9],该理论在各领域都得到很好的应用^[10-14]。李会方等^[15]提出基于容量的多重分形图像分析方法,能将图像中不同类型的纹理区分开来。赵健等^[16]利用SAR图像中原始信号与噪声的多重分形特征上的差异,提出基于多重分形奇异性分析的雷达图像消噪方法。彭复员等^[17]提出基于相关多重分形奇异性分析的弱目标检测方法。肖亮等^[18]建立了基于多重分形理论的图像奇异性分析框架,将实际图像分割成具有不同奇异性指数的分形集,对图像奇异性检测和分析有重要意义。韩书霞等^[19]采用多重分形频谱分析方法,对原木CT图像进行有效的边缘检测,取得了良好的效果,并具有较好的局部性,为原木CT图像的边缘检测提供了一种新方法。刘元永等^[4]尝试将多重分形理论引入到植物叶片的图像处理中,重点对葫芦科的4种植物叶片图像进行处理,用多重分形谱描述植物叶片的特点。王瑞^[20]提出基于多重分形分析的图像特征提取的图像识别算法,利用多重分形谱特征作为识别特征,对4类不同类型的图像进行了有效的分类并获得较高的识别率。金春兰等^[21]采用基于max容量测度、sum容量测度、概率测度的多重分形谱对医学图像进行了分割。

在作物病害图像领域中,已有的研究主要侧重于信息分析,例如改进某种图像处理技术,以便有效提取病害特征,结合多种统计方法分析,利用病害图像的特征进行病害研究^[22-24]。

笔者提出一种利用多重分形理论对油菜病虫害叶片图像进行诊断、识别的方法。首先提取病虫害叶片图像的多重分形特征,得到多重分形谱;利用多重分形谱对叶片图像进行模式识别,实现基于多重分形参数的图像分割,并与阈值分割、传统区域分割、C均值聚类分割进行了比较,现将结果报道如下。

1 多重分形算法

1.1 多重分形谱定义

对于空间 \bar{X} , μ 是 \bar{X} 的 1 个测度,将 \bar{X} 分割成尺度大小为 δ 的网立方体单元,当尺度 δ 足够小时,第 i 个单元的测度和尺度之间存在以下幂律关系:

$$\mu_i(\delta) \propto \delta^\alpha \quad (1)$$

式中: α 为分形奇异指数,控制每个单元的局部奇异性。

将单元个数设为 $N(\alpha)$,则它与尺度 δ 之间有如下关系:

$$N(\delta) \propto \delta^{f(\alpha)} (\delta \rightarrow 0) \quad (2)$$

式中: $f(\alpha)$ 表示的是具有相同分形特征指数区域的分形维数,表征全局奇异性^[25]。

1.2 计算多重分形谱

计算多重分形谱主要采用文献[21]中盒维的计算方法。

首先将图片转换为灰度图,对图中每 1 个像素点计算分形奇异指数 α ,在计算之前,定义区域 Ω 的测度,用 $I(x,y)$ 来表示像素点 (x,y) 的灰度值,则容量测度可以由以下 3 种测度确定。

$$\mu_{\max}(\Omega) = \max(I(x,y)) \quad (3)$$

$$\mu_{\min}(\Omega) = \min(I(x,y)) \quad (4)$$

$$\mu_{\text{sum}}(\Omega) = \text{sum}(I(x,y)) \quad (5)$$

式中: $(x,y) \in \Omega$ 。以 1 个大小为 $\delta \times \delta$, $\delta=2k+1$ 的正方形网格区域覆盖,该区域的中心像素点为 (x,y) 。对 δ 取不同的值,当 δ 取值较小时,显示的是图像的局部特征,所以取 $k=[1,2,3]$ 。利用最小二乘法作线性拟合,得出 $\ln(\mu(x,y))$ 和 $\ln(\delta)$ 拟合直线,并将此直线的斜率作为该像素点 (x,y) 的 α 值。将这个正方形区域在图像上作平行滑动并计算,即得到每 1 个像素点的 α 值。所有像素点的 α 值计算完成后,得到一幅由 α 值所构成的图。此图显示的是图像的局部奇异性,与整幅图的全局奇异性无关。

将所有上述像素点的 α 值构成 1 个集合,求出这个集合的最大值 α_{\max} 和最小值 α_{\min} ,则构成 1 个区间 $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ 。把这个区间分成 N (本研究取 $N=20$) 段,用盒维的方法,当 δ 取不同值时,计算在 $[\alpha, \alpha+d\alpha]$

内概率测度为 μ_α 的单元个数 $N(\alpha)$ ，利用最小二乘法作线性拟合，得出 $\ln N(\alpha)$ 和 $\ln(\delta)$ 拟合直线，则该直线斜率为多重分形谱 $f(\alpha)$ 。把 α 图中的所有像素的 α 值映射成对应的 $f(\alpha)$ 值，即可得到 $f(\alpha)$ 图。

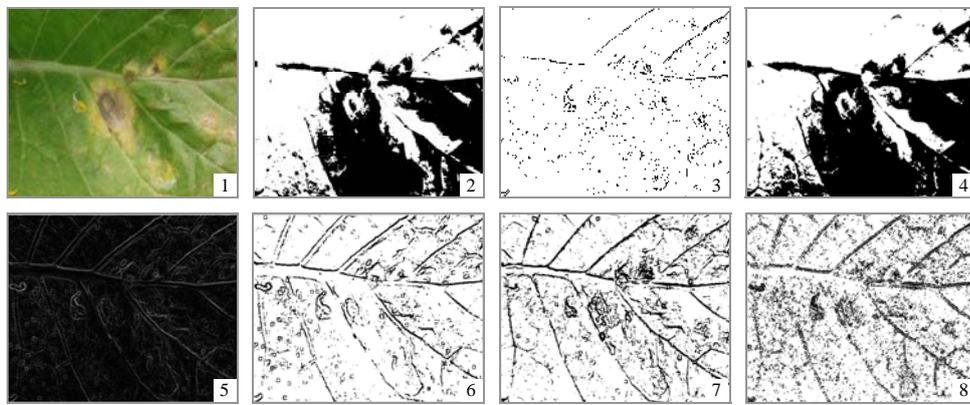
1.3 基于多重分形理论的图像分割

图像中每1个像素点的多重分形谱，其所表征的是图像表面的不规则程度，相当于物体所能占领空间的本领，因而当像素点的 $f(\alpha)$ 值接近于1时，所表示的是光滑的边缘线。在实际计算中，选取 $T < f(\alpha) < 1.0$ 作为阈值，将满足条件的点取出，作为边

缘奇异点，即为原图像的多重分形分割图像。

2 基于多重分形谱的油菜病虫害叶片图像分割

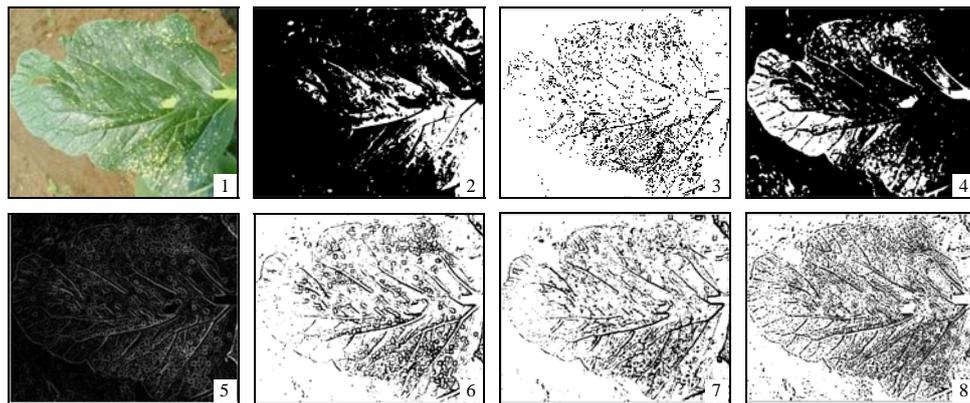
对油菜菌核病、白斑病、油菜潜叶蝇虫害的病虫叶片图像^[26]进行基于多重分形的 max 容量测度分割、min 容量测度分割、sum 容量测度分割。并将同样的叶片图像进行阈值分割、传统区域分割、C 均值聚类分割(本研究取 $C=2$)。分割效果如图1~3所示。



1 病害叶片; 2 阈值分割; 3 传统区域分割; 4 C 均值聚类分割; 5 α 图; 6 max 容量测度分割; 7 min 容量测度分割; 8 sum 容量测度分割。

图 1 油菜菌核病叶片图像分割

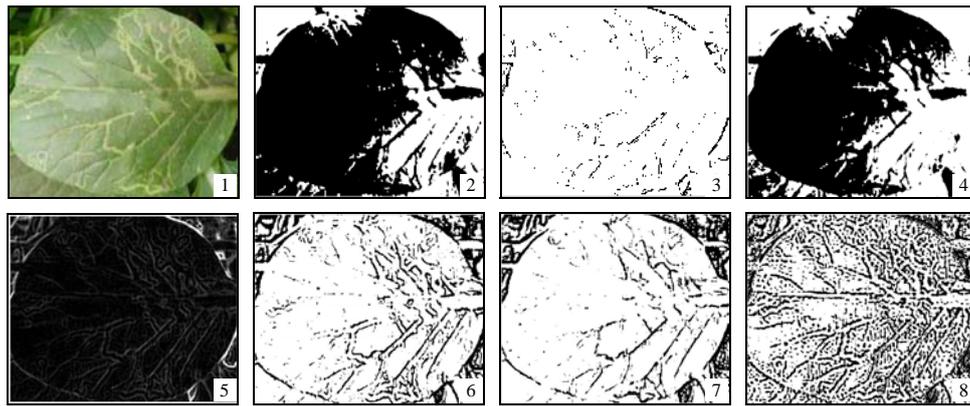
Fig. 1 Segmentation results of rapeseed leaf with sclerotinia



1 病害叶片; 2 阈值分割; 3 传统区域分割; 4 C 均值聚类分割; 5 α 图; 6 max 容量测度分割; 7 min 容量测度分割; 8 sum 容量测度分割。

图 2 油菜白斑病叶片图像分割

Fig.2 Segmentation results of the rapeseed leaf with leukoplakia



1 虫害叶片; 2 阈值分割; 3 传统区域分割; 4 C 均值聚类分割; 5 α 图; 6 max 容量测度分割; 7 min 容量测度分割; 8 sum 容量测度分割。

图 3 油菜潜叶蝇虫害叶片图像分割

Fig.3 Segmentation results of rapeseed leaf with *phytomyza atricornis*

从对 3 种病虫害叶片的阈值分割中可以发现阈值分割对病虫斑较明显部分的分割效果较好,而对于叶片中灰度值相差不大的纹理及局部病虫害区域无法有效识别。主要是该方法是以基于自动获取的阈值为基础的,而自动获取的阈值是基于整幅图像的灰度对比度得到的,无法考虑到局部区域的纹理特征。

传统区域增长分割是根据同一物体区域内像素的相似性质来聚集像素点的方法,从该方法对 3 种病虫害叶片图像分割中可以看出,其对小斑点区域以及颜色非常敏感,但方法本身的过度分割导致了其在分割自然图像边缘信息缺失,影响背景处理能力。

C 均值聚类分割($C=2$ 时)与阈值分割效果类似,对 3 种病虫害的局部区域识别效果不明显,拍摄时的光线和亮度对其干扰很大,分割效果不理想。

应用多重分形中基于容量测度的方法对 3 种病虫害叶片图像进行分割,其中基于 max 容量测度的多重分形谱的分割图中,叶片边缘和轮廓都较为清晰,对图像中灰度值变化剧烈处非常敏感,能体现局部区域最大容量测度的像素点的特征,因而对病虫斑部分像素点有很好的识别能力。基于 min 容量测度的多重分形谱的分割,对菌核病、油菜潜叶蝇为害叶片分割较好,对叶片轮廓、病虫斑都有清晰的分割,同时避免了 max 容量测度分割的缺陷,没有出现双线,但对小病斑的白斑病叶片有过度分割现象。基于 sum 容量测度的多重分形谱分割对局部病虫害纹理的变化都异常敏感,因而分割图中包含了很多斑点,甚至是肉眼看不见的斑点,

但也将非病斑区域分割出来,造成识别误差较大。

基于容量测度的多重分形谱的分割方法,能有效捕捉局部图像纹理特征,较为准确地分割出受病虫害影响的油菜叶片的关键区域,3 种容量测度分割方法中, min 容量测度分割和 max 容量测度分割,能够准确定位病虫害叶片的受害部位,同时叶片轮廓清晰,满足对分割目标的完整性要求。与阈值分割、传统区域分割和 C 均值聚类分割的比较也说明了多重分形方法在叶片关键区域分割上的有效性。

参考文献:

- [1] 黄峰茜,陈春晓,姚均营. 图像分割方法的研究进展[J]. 中国医疗器械信息, 2006, 12(12): 23-27.
- [2] Mandelbort B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. New York: W H Freeman, 1982.
- [3] 潘庆. 分形论——一门新兴的综合学科[J]. 广西林业科学, 2000, 29(3): 125-129.
- [4] 刘元永,罗晓曙,陈全斌,等. 多重分形谱在叶片图像处理中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(28): 190-192.
- [5] 蒲小勤. 基于多重分形的图像识别研究[D]. 西安: 西北大学信息科学与技术学院, 2009.
- [6] 薛东辉,朱耀庭,朱光喜. 分形方法用于有噪图像边缘检测的研究[J]. 通信学报, 1996, 17(1): 7-11.
- [7] 刘文萍,吴立德. 基于分形理论的一种图像分割方法[J]. 自动化学报, 1998, 24(4): 557-561.
- [8] Grassberger P. An optimized box-assisted algorithm for fractal dimensions[J]. Physica Letters A, 1990, 14(8): 63-68.
- [9] 王晓峰,黄德双,杜吉祥,等. 叶片图像特征提取与识别技术的研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(3): 190-193.
- [10] WANG Fang, LIAO Guiping, Li Jianhua, et al.

- Multi-fractal detrended fluctuation analysis for clustering structures of electricity price periods[J]. *Physica A* ,2013 , 392(22) : 5723–5734 .
- [11] WANG Fang , LIAO Guiping , LI Jianhua , et al. Cross-correlation detection and analysis for california power market based on analogous multifractal analysis[J]. *Chaos* , 2013 , 23 : 013129 .
- [12] WANG Fang , LIAO Guiping , ZHOU Xiaoyang , et al. Multifractal detrended cross-correlation analysis for power markets[J] . *Nonlinear Dynamics* , 2013 , 72(1/2) : 353–363 .
- [13] WANG Fang , LIAO Guiping , LI Jianhua. Analogous multifractal cross-correlation analysis for two time signals[J] . *Journal of Computational Information Systems* , 2013 , 9 (1) : 153–160 .
- [14] WANG Fang , LI Jinwei , SHI Wen , et al . Leaf image segmentation method based on multifractal detrended fluctuation analysis[J] *Journal of Applied Physics* ,2013 , 114 : 214905 .
- [15] 李会方, 俞卞章. 一种基于多重分形新特征的图像分割算法[J]. *光学精密工程* , 2003 , 11(6) : 627–631 .
- [16] 赵健, 宋祖勋, 俞卞章. 基于多重分形分析的SAR图像[J]. *西北工业大学学报* , 2003 , 21(1) : 30–33 .
- [17] 彭复员, 周麟, 阎旭光. 基于相关多重分形奇异性分析的红外弱目标检测[J]. *红外与毫米波学报* , 2004 , 23(1) : 67–71 .
- [18] 肖亮, 吴慧中, 韦志辉. 图像多重分形测度的速降函数投影方法与图像奇异性分析[J]. *电子与信息学报* , 2005 , 27(8) : 1182–1186 .
- [19] 韩书霞, 戚大伟, 于雷. 基于多重分形理论的原木CT腐朽图像分析与处理[J]. *森林工程* , 2007 , 23(5) : 15–18 .
- [20] 王瑞. 多重分形及其在图像识别中的应用研究[D]. 西安: 西北大学信息科学与技术学院, 2010 .
- [21] 金春兰, 黄华, 刘圻彬. 基于多重分形的医学图像分割方法[J]. *中国组织工程研究与临床康复* , 2010 , 14(9) : 1535–1538 .
- [22] 刘君, 王振中, 李宝聚, 等. 基于图像处理的作物病害自动识别系统的研究[J]. *计算机工程与应用* , 2012 , 48(13) : 154–180 .
- [23] 袁津生, 姚宇飞. 基于分形维度的叶片图像识别方法[J]. *计算机工程与设计* , 2012 , 33(2) : 670–673 .
- [24] 赵莹, 高隽, 陈果, 等. 一种基于分形理论的多尺度多方向纹理特征提取方法[J]. *仪器仪表学报* , 2008 , 29(4) : 787–791 .
- [25] 蒋爱萍. 基于Contourlet林火图像多重分形分割的研究[J]. *仪器仪表学报* , 2010 , 31(4) : 818–823 .
- [26] 油菜病虫害库[EB/OL]//www.agronf.com/Tech/DiseaseList?cateID=1030 . 2013–08–31 .

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维