

基于 Shannon - cosine 小波的农田遥感图像纹理延拓

郭书君 梅树立 李 丽

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 农田遥感图像一般都是大图像,对这种大图像进行后续的分析,分块处理是较常见的方法,而在进行分块处理的时候易产生边界效应。消除边界效应最常用的方法是进行图像延拓,常见的延拓方法有对称延拓、零延拓和周期延拓,但在边界处会引入大量高频信息。农田遥感图像中的纹理承载了重要的信息,因此,结合农田遥感图像纹理呈现出的直线特性,本文提出了一种基于纹理方向的图像延拓法。利用多尺度插值小波解偏微分方程的方法根据图像的灰度变化自适应选取配置点,即在图像平坦区域稀疏取点,在纹理细节处密集取点。然后根据配点利用包围盒识别农田遥感图像的纹理方向,进一步沿纹理方向进行延拓。试验结果表明,本文提出的图像延拓方法有效地克服了常规延拓方法的缺点,提高了计算效率,消除了边界效应。

关键词: 农田遥感图像; 纹理方向; 图像延拓

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)S0-0142-05

Texture Extension Method for Farmland Remote Sensing Image Based on Shannon - cosine Wavelet

GUO Shujun MEI Shuli LI Li

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Remote sensing images are generally large images. For the subsequent analysis of this kind of image, there is a common method of dividing image into blocks, while the boundary effect is easy to occur in block processing. Therefore, the elimination of boundary effects is a problem that needs to be studied in block processing. The most common way to eliminate the boundary effects is to extend the image. Symmetry extension, zero extension and periodic extension are the common extension methods. The conventional extension method is not applicable because texture in farm remote sensing images carries important information. Thus, according to the line characteristics shown on remote sensing images, a new extension method based on texture orientation was proposed in this paper. Here, we used the method of multi-scale interpolation wavelet to solve the partial differential equation, according to the change of gray level of the image. In this method, external collocation points were chosen adaptively. Thus the computational efficiency could be greatly improved. Then, the texture direction of farm remote sensing images was identified by using bounding boxes, and the texture is further extended along the texture direction. Experimental results show that the image extension method proposed effectively overcomes the shortcomings of the conventional extension method, greatly improve the efficiency of calculation and the boundary effect is effectively eliminated.

Key words: farmland remote sensing image; texture direction; image extension

引言

农田遥感图像分析^[1]是快速获取农作物信息的重要手段,而一般遥感图像都是大图像,需进行分

块处理^[2],在还原时易产生边界效应,因此,消除边界效应是分块处理需解决的一个问题。常用的方法是进行延拓,传统的延拓方法有零值延拓、对称延拓和周期延拓等^[3],但这些方法进行延拓时在边界处

收稿日期: 2017-07-14 修回日期: 2017-11-20

基金项目: 北京市自然科学基金项目(4172034)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAH28F0103)

作者简介: 郭书君(1995—),女,硕士生,主要从事计算机图像处理研究,E-mail: 13161982567@163.com

通信作者: 梅树立(1968—),男,副教授,主要从事小波分析与图像处理变分法研究,E-mail: meishuli@163.com

会引入大量高频信息,产生“Gibbs 现象”^[4-5]。已有文献[6-7]提出了基于中心仿射变换的延拓方法,这种方法保证了图像边界处的光滑连续性。

基于纹理方向进行图像延拓,首先需识别纹理方向。基于纹理“基元”的分布情况,有灰度模板空间滤波法,如 Sobel、Canny 等边缘检测算子。基于纹理图像的变换域特性,常见的有小波变换法^[8-10]、傅里叶变换法、Gabor 变换法^[11]以及多尺度变换域方法等。姬莘^[12]研究了基于相位一致性的纹理方向检测,但这种方法需要进行图像旋转,旋转后图像的大小会改变,因此对于图像尺寸很小的纹理并不适用。徐贵力等^[13]用图像灰度差分算子提取缺失叶片的纹理特征,但叶片纹理杂乱,纹理方向也没有规律,与农田遥感图像的纹理特征有很大差别。王蕾等^[14]利用 FFT 和 Hough 变换对织物纹理方向进行了检测,但织物纹理属于人工纹理,而遥感图像的纹理是自然纹理。余道喜^[15]利用光学信息处理方法对纹理方向进行检测,纹理方向检测的角度精度不高,提高检测精度方法是增加方向滤波器的数目,这会增大复杂度。刘晓杰等^[16]结合二维 EEMD 和小波分解对遥感图像的纹理方向进行了检测,但文中所提算法的方向自适应性不是很强,在检测时不能提供较灵活的方向性选择。

本文将结合农田遥感图像纹理呈现出的直线特性,利用多尺度插值小波法结合包围盒原理对纹理方向进行检测,进一步对遥感图像进行延拓。

1 方法与算法

1.1 包围盒原理

Regionprops^[17]函数是用来度量图像区域属性的函数。它描述图形测量标注矩阵中每一个标注区域的一系列属性。画包围盒主要是利用 Regionprops 函数中的 boundingbox 属性, boundingbox 即包含相应区域的最小矩形。

图 1 给出了包围盒的示意图。设 $T(X, Y)$ 为图像中的一个连通域, X, Y 分别为 T 连通域的像素点横、纵坐标,对于图像中的每个连通域都存在这样一个矩形框 $R(x, y, w, h)$, 其中 (x, y) 为矩形框左上角的顶点坐标, w 为矩形框的宽度, h 为矩形框的高度, 满足如下条件

$$\begin{cases} x = \min \{y | y = T(X, Y)\} \\ y = \min \{x | x = T(X, Y)\} \\ x + w = \max \{y | y = T(X, Y)\} \\ y + h = \max \{x | x = T(X, Y)\} \end{cases} \quad (1)$$

则称 R 为相应连通域的最小矩形。

确定包围盒的步骤为:

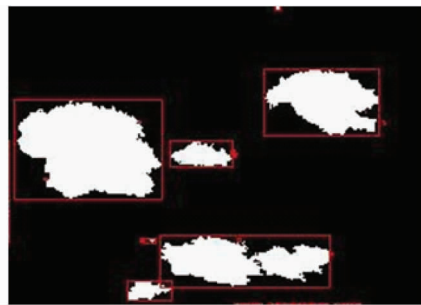


图 1 包围盒示意图

Fig. 1 Example of boundingbox

(1) 使用一条直线从图像上边界自上而下进行检测, 当该直线刚进入连通域时, 标记直线的位置, 用该直线继续(向下)检测直到该直线刚离开连通域且与连通域相切时, 标记此时直线的位置。

(2) 使用与步骤(1)中直线垂直的另一条直线从图像左边界从左向右对图像进行检测, 当该直线刚进入连通域时, 标记直线的位置, 用该直线继续(向右)检测直到该直线离开连通域且与连通域相切时, 标记此时直线的位置。

(3) 以步骤(1)、(2)中标记的 4 条直线交点的 4 个顶点为顶点的矩形为连通域的包围盒。

1.2 多尺度插值小波构造

1.2.1 小波函数选择

连续小波变换定义为 $W_f(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$ 在形式上表现为一种卷积运算, 计算速度相对较慢, 因此考虑使用具有插值特性的小波, 利用插值特性有效降低计算量。具有插值特性的小波有 Daubechies 小波的自相关函数、Haar 小波、Faber - Schauder 小波和 Shannon 类小波。Daubechies 小波正交、紧支撑且光滑, 但不是对称小波, 都是非线性相位, 不具有解析表达式, 所以不利于微分算子的构建; Haar 小波是非连续的, 光滑性差; FS 小波不光滑, 无法直接求导, 无法实现多尺度稀疏表示; Shannon 类小波具有正交性、无限次可微性和光滑连续性, 但其衰减速度慢, 计算速度慢且不具备紧支撑性^[18]。

为了利用 Shannon 小波的优良特性, 很多研究者对其进行了改进, 通常的办法是通过加窗来提高其衰减速度, 例如 Meyer 窗^[19]、Nuttall 窗^[20]、Blackman 窗^[21]、Gauss 窗等。Shannon - Gabor^[22]小波又称拟小波, 就是对 Shannon 小波增加了一个 Gauss 窗, 但其并非真正的紧支撑小波, 破坏了小波母函数应该具备的归一化特性, 造成重构误差。

为了满足归一化条件, 需要提高 Shannon 小波的衰减速度, 本文选用一种具有紧支撑性的

Shannon - cosine 小波,其用到的 Shannon - cosine 函数公式为

$$S_C(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} T_N^m(x) R_N(x) \quad (2)$$

$$\text{其中} \quad T_N^m(x) = \sum_{n=0}^m \left(a_n \cos \frac{2n\pi x}{N} \right) \quad (3)$$

$$R_N(x) = \chi \left[x + \frac{N}{2} - \chi \left(x - \frac{N}{2} \right) \right]$$

$$\chi(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ \frac{1}{2} & (x = 0) \\ 1 & (x > 0) \end{cases} \quad (4)$$

使得小波函数同时满足插值性、正交性、连续性以及紧支撑性等特性,而且还有具体的解析表达式。自适应插值小波算法在处理图像时,不需要逐个像素点进行处理,只需处理图像中的特征点,这一优点节省计算内存,提高了算法的效率。

1.2.2 多尺度插值算子构造

根据张量积的定义,可得到二维小波函数 $\psi_{j,k_1,k_2}^1, \psi_{j,k_1,k_2}^2, \psi_{j,k_1,k_2}^3$ 和二维尺度函数 φ_{j,k_1,k_2} ,即

$$\begin{cases} \varphi_{j,k_1,k_2} = \varphi_{j,k_1}(x) \varphi_{j,k_2}(y) \\ \psi_{j,k_1,k_2}^1 = \varphi_{j+1,2k_1+1,2k_2}(x,y) \\ \psi_{j,k_1,k_2}^2 = \varphi_{j+1,2k_1,2k_2+1}(x,y) \\ \psi_{j,k_1,k_2}^3 = \varphi_{j+1,2k_1+1,2k_2+1}(x,y) \end{cases} \quad (5)$$

由此可知,第 J 层的插值小波基函数可以用第 $j+1$ 层的尺度函数表示,第 J 层配置点对应的第 J 层的 3 个小波点分别为 $k_j+1, k_j+2^{j+1}+1, k_j+2^{j+1}+1+1$ 。

对于任意函数 $f \in L^2(R^2)$,总可以找到一个足够大的 J ,使得 $f_j(x,y) \in V_j$ 充分逼近 $f(x,y)$,即

$$f_j(x,y) = \sum_{k_1=0}^{2^j} \sum_{k_2=0}^{2^j} \beta_{j_0,k_1,k_2} \varphi_{j_0,k_1,k_2} +$$

$$\sum_{j \geq j_0} \sum_{k_1=0}^{2^j} \sum_{k_2=0}^{2^j} (\alpha_{j,k_1,k_2}^1 \psi_{j,k_1,k_2}^1 + \alpha_{j,k_1,k_2}^2 \psi_{j,k_1,k_2}^2 + \alpha_{j,k_1,k_2}^3 \psi_{j,k_1,k_2}^3) \quad (6)$$

其中,尺度函数系数为 $\beta_{j_0,k_1,k_2} = f(x_{k_1}^{j_0}, y_{k_2}^{j_0})$, $j = j_0, j_0+1, \dots, J-1$ 。

为最终构造出统一的多层插值小波算子,需将插值小波系数 $\alpha_{j,k_1,k_2}^1, \alpha_{j,k_1,k_2}^2, \alpha_{j,k_1,k_2}^3$ 表示为 J 层上所有配置点加权的形式,为此引入限制算子^[23],利用限制算子可得到新的插值小波系数^[24]。

可知 J 层上的逼近函数是 J 层上所有小波配置点经过插值小波算子得到的,可以表示为

$$f_j(x,y) = \sum_{k_1=0}^{2^j} \sum_{k_2=0}^{2^j} I_{k_1,k_2}(x,y) f(x_{k_1}^j, y_{k_2}^j) \quad (7)$$

由此可得多尺度插值小波算子为

$$I_{k_1,k_2}(x,y) = \sum_{k_{01}=0}^{2^{j_0}} \sum_{k_{02}=0}^{2^{j_0}} \sum_{k_{02}=0}^{2^{j_0}} R_{k_{01},k_{02},k_1,k_2}^{j_0,J,J} \varphi_{k_{01},k_{02}}^{j_0} +$$

$$\sum_{j=j_0}^{J-1} \sum_{k_1=0}^{2^j} \sum_{k_2=0}^{2^j} (C_1 \psi_{j,k_1,k_2}^1(x,y) +$$

$$C_2 \psi_{j,k_1,k_2}^2(x,y) + C_3 \psi_{j,k_1,k_2}^3(x,y)) \quad (8)$$

2 农田遥感图像纹理方向识别及图像延拓

2.1 多尺度插值小波法纹理方向识别及延拓流程

(1) 图 2a 选取的农田遥感图像,首先用 1.2 节所构造的多尺度插值小波得到农田遥感图像的配置点图,如图 2b 所示。图像配置点的选取是依据图像特征点的位置,在图像中纹理边缘处密集取点,平滑区域稀疏取点。配置点图充分地对待处理图像进行了稀疏表达。

(2) 然后经过膨胀,细化等一系列的形态学运算对配置点图进行处理,使得配置点不再是散点,成为连通域,得到粗纹理图如图 2c 所示。

(3) 再对得到的连通域进行提取,并画其包围盒,如图 2c 所示的红色矩形框。这样可以得到矩形框的一些几何特征,即矩形长度和宽度,由此通过矩形长宽比即可确定纹理方向。

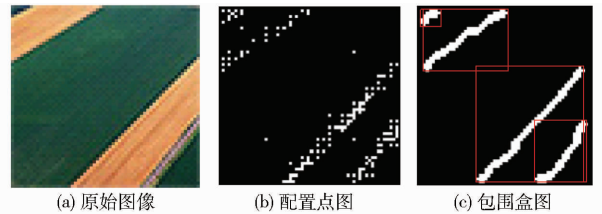


图 2 纹理方向

Fig. 2 Texture direction

(4) 依据步骤(3)确定的方向画出纹理方向线,如图 3a 所示的红色斜线,根据纹理方向线,以图像边界处的每个像素点为垂足,做其垂线,如图 3b 所示的绿色斜线。左边界的垂线斜率,从左上角第 1 个像素点到第 2 条纹理为止以第 1 条纹理的方向为准,从第 2 条纹理的像素点直到第 3 条纹理为止以第 2 条纹理的方向为准,左边界的最后 1 条纹理直到左下角边界的最后 1 个像素点为止以最后 1 条纹理的方向为准,依此类推,上、下和右边界同理。

(5) 将图像向四周进行延拓,先将原图放入延拓图像的中心位置,然后沿纹理方向将此方向上原图像的像素点经垂线对称到延拓区域,得到延拓结果。对原图的像素点进行延拓,公式为

$$x = x_0 - \frac{2a(ax_0 - y_0 + b)}{a^2 + 1} \quad (9)$$

$$x = y_0 - \frac{2(ax_0 - y_0 + b)}{a^2 + 1} \quad (10)$$

式中 x_0, y_0 ——原图像横、纵坐标
 x, y ——延拓图像横、纵坐标
 a ——垂线斜率 b ——垂线截距

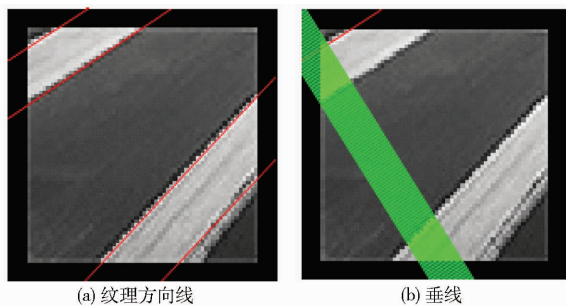


图 3 沿纹理方向的图像延拓方法

Fig. 3 Image extension method along texture direction

图 4 为沿纹理方向进行图像延拓的流程。

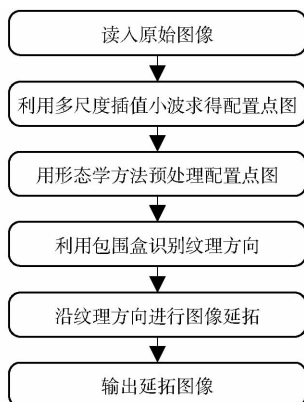


图 4 沿纹理方向进行图像延拓的流程图

Fig. 4 Flow chart of image extension along texture direction

2.2 试验对比

图 5a 为对称延拓的结果, 由于边界处有纹理, 因此在边界处形成了明显的激波, 导致 90° 拐弯纹理, 这会增加配点数量, 特别是增加方向小波和剪切波的配点数量, 增大计算量。图 5b 为本文方法的图像延拓结果, 在边界处过渡自然, 有较好的连续性, 减少了对称延拓造成的拐弯纹理, 进而减少方向小波的配点数量, 提高计算效率。

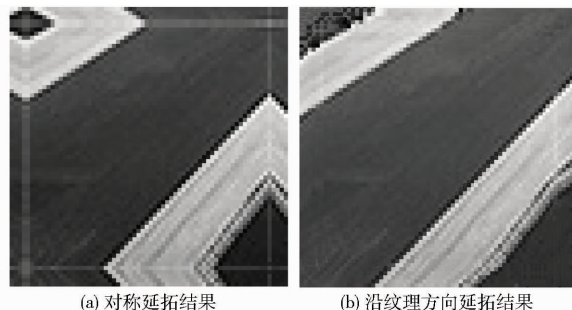


图 5 沿纹理方向延拓与对称延拓结果对比

Fig. 5 Comparison results between extension along texture direction and symmetric extension

3 结论

(1) 多尺度小波插值算子能有效地对图像进行稀疏表达, 结合包围盒算法, 能准确地识别纹理的方向。

(2) 本文提出的沿纹理方向图像延拓方法, 光滑连续且过渡自然, 为后续的分块处理提供了良好的前提条件。

参 考 文 献

- LIEBISCH F, KIRCHGESSNER N, SCHNEIDER D, et al. Remote, aerial phenotyping of maize traits with a mobile multi-sensor approach[J]. *Plant Methods*, 2015, 11(9):2025 - 2015.
- 王海华, 朱梦婷, 李莉, 等. 基于剪切波变换和无人机麦田图像的区域杂草识别方法[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(增刊 1):99 - 106.
WANG Haihua, ZHU Mengting, LI Li, et al. Regional weed identification method from wheat field based on unmanned aerial vehicle image and shearlets[J]. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(Supp. 1):99 - 106. (in Chinese)
- 孙蕾, 罗建书. 小波变换点对称边界延拓问题研究[J]. *计算机应用*, 2008, 28(2):443 - 445, 468.
SUN Lei, LUO Jianshu. Research of point symmetric boundary extension in wavelet transform[J]. *Computer Applications*, 2008, 28(2):443 - 445, 468. (in Chinese)
- PAN C. Gibbs phenomenon removal and digital filtering directly through the fast Fourier transform[J]. *IEEE Transactions on Singal Processing*, 2001, 49(2):444 - 448.
- LICHMAN E, NORTHWOOD E J. High-resolution velocity notch filter without Gibbs effect[J]. *Geophysics*, 1997, 62(1):274 - 287.
- 张彦娥, 魏朝慧, 梅树立, 等. 基于多尺度区间插值小波法的牛肉图像中大理石花纹分割[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(21):296 - 304.
ZHANG Yan'e, WEI Yinghui, MEI Shuli, et al. Application of multi-scale interval interpolation wavelet in beef image of marbling segmentation [J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(21):296 - 304. (in Chinese)
- 梅树立, 李晓飞, 赵海英, 等. 基于剪切波和全变分的农田遥感图像去噪去伪影方法[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(增刊 1):274 - 280.
MEI Shuli, LI Xiaofei, ZHAO Haiying, et al. Method of denoising and removing artifacts for farm remote sensing image based on shearlet and total variation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(Supp. 1):274 - 280. (in Chinese)
- GRIGORESCU S E, PETKOV N, KRUIZINGA P. Comparison of texture features based on Gabor filters[J]. *IEEE Transactions on*

- Image Processing, 2002, 11(10):1160-1167.
- 9 贾伟宽, 赵德安, 阮承治, 等. 苹果夜视图像的小波变换与独立成分分析融合降噪方法[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 9-17. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150902&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.002.
- JIA Weikuan, ZHAO Dean, RUAN Chengzhi, et al. Combination method of night vision image denoising based on wavelet transform and ICA[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 9-17. (in Chinese)
- 10 李天华, 施国英, 魏珉, 等. 番茄维生素 C 含量近红外预测光谱的小波去噪[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 200-204. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s136&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.036.
- LI Tianhua, SHI Guoying, WEI Min, et al. Wavelet denoising in prediction model of tomato vitamin C content using NIR spectroscopy[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.1): 200-204. (in Chinese)
- 11 YU Lei, MA Yan, HU Zijun. The 6th international conference on image and graphics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- 12 姬苹. 基于相位一致性的纹理方向检测和感知方向性度量[D]. 青岛:中国海洋大学, 2012.
- Ji Ping. Texture orientation estimation based on phase congruency and directionality of textured surfaces[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. (in Chinese)
- 13 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 差分百分率直方图法提取缺素叶片纹理特征[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2):76-79.
- XU Guili, MAO Hanping, LI Pingping. Research on extraction leaf texture features as sample of nutrient shortage by percent histogram of differentiation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(2):76-79. (in Chinese)
- 14 王蕾, 厉征鑫, 刘建立, 等. FFT 和 Hough 变换在织物纹理方向检测上的应用[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(18): 39-43.
- WANG Lei, LI Zhengxin, LIU Jianli, et al. Application of FFT and Hough transform in fabric texture directions detecting[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(18):39-43. (in Chinese)
- 15 余道喜. 纹理方向检测的光学实现方法研究[D]. 重庆:重庆大学, 2016.
- YU Daoxi. Research on optical realization of texture direction detection[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016. (in Chinese)
- 16 刘晓杰, 范虹, 党小虎. 结合二维 EEMD 和小波分解的遥感图像纹理方向检测[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(1): 66-70.
- LIU Xiaojie, FAN Hong, DANG Xiaohu. Detection method for remote sensing image texture direction based on Bi-dimensional EEMD and wavelet transform[J]. Geography and Geo-Information Science, 2016, 32(1):66-70. (in Chinese)
- 17 孙明. 数字图像处理与分析基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- 18 WANG Haihua, MEI Shuli. Shannon wavelet precision integration method for pathologic onion image segmentation based on homotopy perturbation technology[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014(3):1-10.
- 19 李晓飞, 梅树立, 李丽. 基于 Meyer 窗函数剪切变换的蝗虫切片图像去噪[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 449-456. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s068&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.068.
- LI Xiaofei, MEI Shuli, LI Li. Image denoising of locust slices based on Meyer window function shearlet transform[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.):449-456. (in Chinese)
- 20 梅树立, 朱德海. 基于 Shannon-Nuttall 小波多尺度表达的图像修复方法及装置: 中国, CN104574294A[P]. 2015-04-29.
- 21 梅树立, 朱德海. 基于 Shannon-Blackman 小波稀疏表达的图像处理方法及装置: 中国, CN104392411A[P]. 2015-03-04.
- 22 HOFFMAN D K, WEI G W, ZHANG D S, et al. Shannon-Gabor wavelet distributed approximating functional[J]. Chemical Physics Letters, 1998, 287(1-2):119-124.
- 23 梅树立. 小波随机有限元方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- 24 MEI Shuli, ZHU Dehai. HPM-based dynamic sparse grid approach for Perona-Malik equation[J]. The Scientific World Journal, 2014, 2014:417486.