

基于块排序的降噪方法及其在农业图像中的应用

王海华^{1,2} 朱梦婷¹ 王丽燕¹ 梅树立²

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 农业图像采集过程中,环境因素常会带来噪声干扰,图像噪声又会对最终信息的分析结果带来影响,因此降噪对提高农业图像处理质量具有重要意义。基于块排序的非局部均值算法是一种有效的图像降噪方法,但是存在处理时间长,对大图像的处理内存要求高等问题。提出了分块优化方法,首先对大图像进行了适应于图像纹理丰富度的图像分块研究,然后分别对每个图像块进行处理。针对处理后的图像块再组合引起的边界效应,采用图像延拓的方法,有效地消除了边界影响,提高了图像降噪效果。实验结果表明,对于一般的硬件设备,改进的块排序非局部均值降噪算法能够快速处理农业中常用的图像。对于尺寸大小为 512 像素 × 512 像素图像,当噪声标准偏差为 50,分块数为 16 时,改进后的块排序降噪方法能够有效处理噪声图像。分块数为 64 时的处理速度是分块数为 16 时的 1.89 倍。

关键词: 块排序; 图像降噪; 杂草识别; 算法复杂度; 图像延拓

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)S0-0172-06

Denoising Method and Application Based on Patch-ordering in Agricultural Image

WANG Haihua^{1,2} ZHU Mengting¹ WANG Liyan¹ MEI Shuli²

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

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

Abstract: During the collection of agricultural images, noise often caused by environmental factors, and it often affects the final result of image processing. Thus, it is important to improve the quality of agricultural image. In recent years, the non-local means filter based on patch-ordering method has been applied to deal with Gaussian noise, which has obtained great success in denoising. However, the method suffers a shortcoming of long processing time and higher memory requirements, especially in large image processing. In order to improve the denoising effect, a block optimization algorithm was used in this paper. Firstly, the sampling image was split into several blocks, in which the number of the blocks was adapted to the image texture richness. After comparison with the speed of computer and the algorithm complexity, the segmented image blocks were obtained with an appropriate size to guarantee that they could be processed by the computer. Each image block was process separately. In view of the boundary effect caused by the combination of the processed image blocks, the method of image extension was applied to effectively eliminate the boundary influence and improve the image denoising effect. Experimental results show that, for general hardware devices, improved non-local means based on patch-ordering method could rapidly process the noise image commonly used in agriculture. For the size of the 512 pixels × 512 pixels images, when the noise standard deviation was 50, the partition number was 16, the improved Non-local means based on patch-ordering method can effectively deal with the noise image, and the processing speed with 64 partitions was 1.89 times than 16 partitions.

Key words: patch-ordering; image denoising; weed detection; computation complexity; image extension

收稿日期: 2017-07-10 修回日期: 2017-11-22

基金项目: 北京市自然科学基金项目(4172034)、农业部农业物联网重点实验室开放基金项目(2017AIOT-02)和“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAH28F0103)

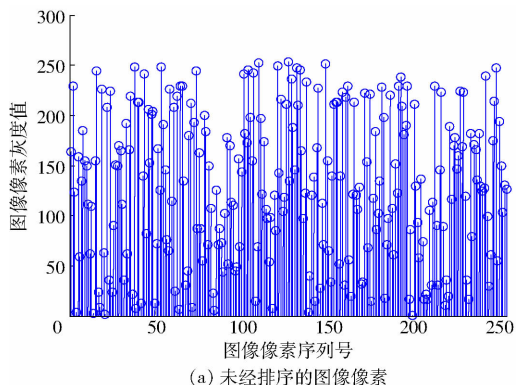
作者简介: 王海华(1976—),男,副教授,主要从事农业信息化研究,E-mail: whaihua@cau.edu.cn

通信作者: 梅树立(1968—),男,副教授,主要从事图像处理研究,E-mail: meishuli@163.com

引言

无人机图片采集在农业领域中的应用日益广泛,例如基于无人机图像的杂草识别^[1],基于无人机遥感的作物生长检测^[2]等。在图像采集过程中,无人机由于天气和机器自身的原因,采集到的图像容易受到噪声干扰,因此需要对图像进行前期降噪处理。图像降噪一直是科学家研究的热点问题^[3]。对图像的降噪方法包括直接对空间像素进行处理,如均值滤波算法^[4]、高斯滤波算法^[5]、维纳滤波算法^[6],对图像像素矩阵进行建模的偏微分方程算法^[7],也有对图像进行重构降噪的算法如小波降噪算法^[8]、剪切波降噪方法^[9]。在空间域中,BUADES等^[10-11]提出直接对噪声图像像素进行降噪处理的非局部平均值方法,该方法利用了自然图像的高冗余度,在图像中寻找与待求像素为中心的图像块相似的图像块,比较不同像素块之间的相似度,对相似度进行归一化处理得到权值,最后通过权值平均值获得像素值。2010年之后出现了基于图像块的均值方法^[12-14],该思想是将整幅图像分解为重叠的图像块,然后分别对每一个图像块进行单独处理,最后联合所有图像块进行平均处理。IDAN等^[13]利用图像块的排序代替像素的直接排序,有效地避免了直接像素排序带来的噪声像素聚拢而无法进行有效滤波的情况。同时,将块排序思想和非局部平均值算法思想相结合取得了非常好的降噪效果^[15]。

但基于块排序的非局部均值算法有一个不足之处,即随着图像的增大,处理时间变长,图像比较大的情况下,普通的计算机配置无法得到处理结果。而无人机图像往往比较大,更增加了处理难度^[16-17]。本文旨在利用算法复杂度与图像大小之间的关系来自适应设置图像分块大小,以期任何大小的图像在任何的硬件条件下都能够很好地进行噪声图像处理,同时提高运算效率,更好地发挥算法在农业实际应用中的优势。



(a) 未经排序的图像像素

1 基于块排序的非局部均值降噪原理

1.1 算法原理与分析

基于块排序的非局部均值降噪,结合了块排序和非局部均值算法的优势,首先通过块排序将分布在图像中不同位置但相似度却较高的图像块聚合在一起,然后通过待求像素的邻域内像素的权值平均值获得降噪后的图像像素值。

首先,对噪声图像建立数学模型

$$Y = AX + V \quad (1)$$

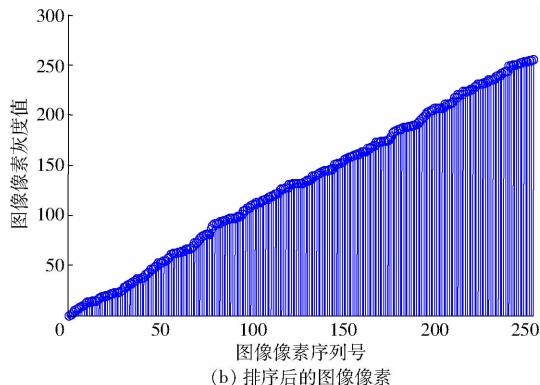
其中 X 是原始图像,大小为 $N = N_1 \times N_2$; N_1 为图像每一列的像素数, N_2 为图像每一行的像素数; A 是一个线性算子,用于表示图像的损伤程度; V 表示外加的高斯白噪声,该噪声的分布依赖于原始图像 X ,并满足均值为 0,方差为 δ^2 。

利用式(1)中创立的噪声模型,通过已知的噪声图像 Y 来获得原始图像 X 。 X 的列堆栈形式为 x , Y 的列堆栈形式为 y ,通过列堆栈转换能够将二维图像转换为二维信号。通过对 y 进行排序然后进行降噪处理能够得到降噪后的像素序列,对降噪后的像素序列进行逆排序得到降噪后的图像序列 x' 。记排序矩阵为 P ,降噪处理过程为 H 。得到块排序降噪模型为

$$x' = P^{-1}HPy \quad (2)$$

直接对图像像素进行排序后,噪声像素由于其相似度高会被排列到一起。如图1所示,图1a对取随机值的256个像素进行散乱排序,图1b对图1a中的像素按照像素值从小到大进行排列。从图1b可以看出排序后的像素比较平滑,这意味着对于含噪声图像的像素进行排列后,噪声很大可能会被排列在一起,形成平滑或不平滑的曲线,这样不利于滤波降噪处理,因此选择利用与噪声不直接相关的以像素为中心的图像块进行排序。

每个以图像像素为核心取 $n \times n$ 的图像块,一旦邻域图像块被获取,那么该图像块就视为多维空间



(b) 排序后的图像像素

图1 未经排序和排序后的像素图对比

Fig. 1 Contrast diagrams of disordered and ordered pixels

下的点,将像素块按照列堆栈形式排成一维含 n^2 个元素的列向量 z 。首先选定一个随机的图像块 Z_i , 计算它与搜索区域内其他图像块之间的欧氏距离, 通过求解旅行商问题^[10] 得到搜索区域内图像块的排序, 通过对这些图像块的排序得到排序矩阵 P 。

其中图像块的提取如图 2 所示, 图中小框表示 $n \times n$ 的小图像块, 小图像块按照从上到下, 从左到右的方向(图中箭头所示), 每移动一位得到一个新的图像块, 直到得到最后一个图像块, 共有 $(N_1 - n + 1) \times (N_2 - n + 1)$ 个图像块, 以 M 表示。图像中大框表示 $B \times B$ 的搜索区域。

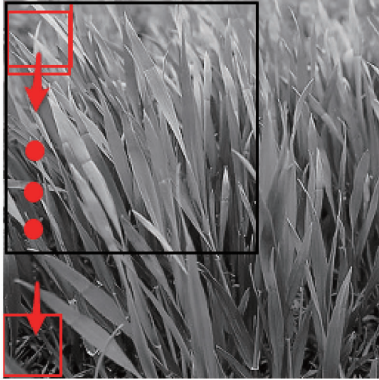


图 2 图像块的提取

Fig. 2 Extraction of image patches

图像的降噪过程如图 3 所示, 图中叠加符号“ \oplus ”表示将 K 次排序得到的待求像素的邻域进行叠加, 计算公式为

$$S_n = \bigcup_{k=1}^K S_{k,m} \quad (3)$$

$$\text{其中 } S_{k,m} = \left\{ P_k \left(J_m^k - \frac{Q}{2} \right), \dots, P_k \left(J_m^k + \frac{Q}{2} \right) \right\} \quad (4)$$

式中 P_k ——第 k 次排序

J_m^k ——第 k 次排序中待求像素 m 的位置

Q ——待求像素 m 的邻域所取的像素个数

S_m 表示 K 次排序后所有以待求像素 m 为中心的邻域像素的集合, $S_{k,m}$ 表示第 k 次排序后以待求像素 m 为中心的邻域集合。

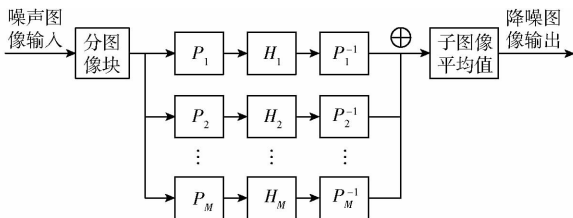


图 3 块排序降噪处理过程

Fig. 3 Processing procedures of patch-ordering denoising

由于边界处的像素无法获得统一大小的图像块, 图像块的具体数目为 $(N_1 - n + 1)(N_2 - n + 1)$, 而排序后取中心像素进行降噪处理得到的图像为原图像的子图像。为了达到更好的降噪效果, 引入了子图

像平均值操作。每个子图像由图像块中统一的某个固定位置的像素构成, 共能得到 M 个子图像, 子图像如图 4 所示。

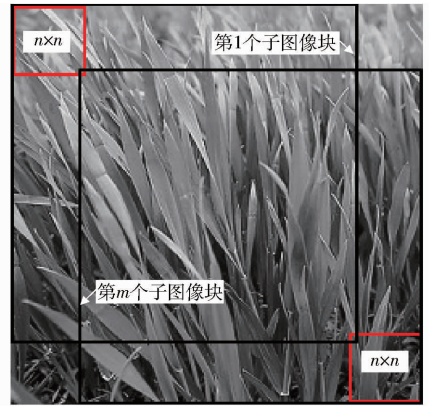


图 4 图像中的子图像

Fig. 4 Subimages in image

对图像块固定位置像素组成的子图像分别进行降噪处理, 得到的所有子图像都进行返回原图像的处理, 最终经过子图像均值处理, 引入全局均值模板, 即原始图像每个像素位置的值为该位置上叠加子图像的次数, 通过均值处理便能够得到最终处理后的图像。经图像块排序、权值平均值以及子图像均值共同处理后的图像如图 5 所示。

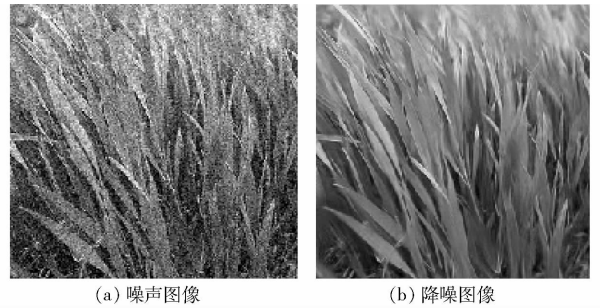


图 5 基于块排序降噪算法的图像降噪结果 (噪声标准偏差为 25)

Fig. 5 Image denoising result based on patch-ordering denoising algorithm (noise standard deviation is 25)

1.2 算法分析

由图 5 可以看出基于块排序的非局部平均值算法在处理图像时能得到非常好的降噪效果。该算法的时间复杂度为 $O(NKB^2n)$ ^[12], 其中 N 为图像的大小, K 为排序的次数, B^2 为搜索区域的大小, n 为图像块的大小。利用该降噪处理算法对不同大小和不同纹理的普通带噪声图像进行处理, 结果如表 1 所示。

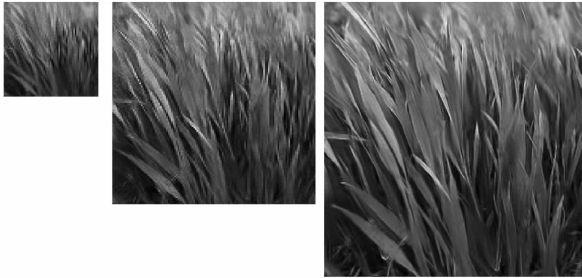
从表 1 中可以看出, 针对不同纹理图像, 随着图像大小的增大, 图像处理的时间呈线性增长。当图像达到 512 像素 \times 512 像素时, 由于像素量过大, 会造成系统内存的不足, 因此表中未列出。同时, 当纹理信息不显著时, 会出现无法处理的现象, 如表格中

表 1 不同大小不同纹理图像在噪声标准偏差为 10 情况下 PSNR 值和处理时间的对比

Tab. 1 Comparison of processing time and PSNR of different images under noise standard deviation of 10

图像序号	64 像素 × 64 像素		128 像素 × 128 像素		256 像素 × 256 像素	
	处理时间/s	PSNR 值/dB	处理时间/s	PSNR 值/dB	处理时间/s	PSNR 值/dB
1	9.58	31.63	36.45	34.80	190.09	36.84
2					230.92	27.13
3			46.16	33.13	145.93	33.86
4	13.25	32.29	39.15	33.93	148.56	34.91
5	13.49	25.87	40.89	27.00	168.78	29.60

图像 2 和图像 3 在 64 像素 × 64 像素和 128 像素 × 128 像素大小。将算法应用于不同大小的带噪声标准偏差为 25 的麦苗图像,处理效果如图 6 所示。



(a) 64像素×64像素, (b) 128像素×128像素, (c) 256像素×256像素, 204.79 s
8.04 s 47.81 s

图 6 不同大小麦苗图片处理效果及其处理时间

Fig. 6 Performance and processing time of the different sizes of image denoising

由图 6 可以看出,随着图像像素的增大,图像像素增大为原图像的 4 倍,处理时间增长为原图像的 5 倍以上。为提升块排序降噪算法的实用性,需要对普通设备处理图像大小的范围进一步拓展。

2 分块排序降噪在麦苗图像中的应用

2.1 排序次数 K 的选取

由算法的时间复杂度 $O(NKB^2n)$ 可知,图像处理的速度与图像的大小以及排序的次数有关。本文通过实验对比,选取最优的次数 K 。图像选为图 6 中 256 像素 × 256 像素的麦田杂草图像,计算在噪声为标准差为 25,排序次数 K 为 1 ~ 10 时,得出图像的 PSNR 值。



(a) 1块, 328.84 s, 26.54 dB

(b) 4块, 275.67 s, 26.44 dB

(c) 16块, 194.39 s, 26.25 dB

图 8 麦苗图片分块降噪处理后的 PSNR 值和处理时间

Fig. 8 PSNR and processing time of the block denoising images

图 7 中横轴为总共排序的次数,当排序次数 $K=3$ 时,图像的 PSNR 值最大,为 25.52 dB。

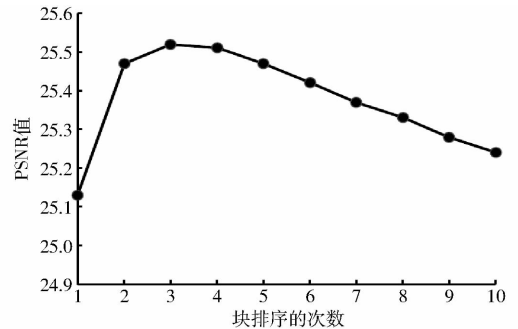


图 7 麦苗图像在不同排序次数下的 PSNR 值

Fig. 7 PSNR under different times of patch-ordering

K 值会随着图像纹理的不同而有所变化。因此,对于图像的排序次数 K 需要根据图像自适应选取。

2.2 分块降噪处理

通过 1.2 节中算法复杂度与图像大小之间关系的研究发现,随着维数增加,计算量将呈指数级增长,即出现维数灾难^[18-19]的问题。因此,本文采用了有限单元法降维的方法^[20],将图像进行分块处理,以降低图像降噪的计算复杂度。

以麦田杂草 256 像素 × 256 像素图像为例,通过测试分别进行不同分块数量的处理,处理的效果如图 8 所示。

通过图 8 可以看出,随着分块的增多,处理速度加快,在分块为 16 块时的处理时间是 194.39 s,而未分块的情况下处理时间为 328.84 s,速度提升

到 1.69 倍。

2.3 延拓处理后的分块降噪

由处理时间可以看出,经过合理的分块处理,速度得到了明显提升。但从视觉效果上看,分块处理后的图像在进行重新组合时会产生边界效应。同时,降噪效果会随着分块量的增多而下降,因此需要进行边界效应处理。本文采用延拓处理的方法,得到效果如图 9 所示。



(a) 4块, 282.31 s, 26.55 dB (b) 16块, 198.85 s, 26.48 dB

图 9 延拓处理后的麦苗分块降噪处理

Fig. 9 PSNR and processing time of the block denoising images after extension method

2.4 试验结果与分析

通过 2.1 节和 2.2 节的试验结果可以看出,随着图像分块量的增多,图像处理时间能够有效缩短。但是由于边界效应,PSNR 值会有所降低。通过图像直接延拓的方式能够有效地提高图像效果。为了验证本文方法的有效性,取 256 像素 \times 256 像素并加噪声标准偏差 50 的图像以及 512 像素 \times 512 像素并加标准偏差 50 的图像,分别进行分块处理。

表 2 说明,在图像噪声偏差增大时,通过分块处理可以得到很好的降噪效果,并且处理时间会随着分块的增加而降低。对于尺寸为 512 像素 \times 512 像

表 2 普通图像在噪声偏差很大的情况下 PSNR 值和
处理时间的对比

Tab. 2 Comparison of processing time and PSNR of different images under big noise standard deviation

分块数	256 像素 \times 256 像素 图像, $\sigma = 50$, 排序次数 3		512 像素 \times 512 像素 图像, $\sigma = 50$, 排序次数 3	
	PSNR 值/dB	时间/s	PSNR 值/dB	时间/s
	4	22.20	120.24	
16	22.24	78.64	23.35	688.01
64			23.22	364.44

素的图像,当噪声标准偏差为 50,分块数为 16 时,改进后的块排序降噪方法能够进行有效处理噪声图像。分块数为 64 时的处理速度是分块数为 16 时的处理速度的 1.89 倍。

3 结论

(1) 针对图像块排序的非局部均值算法在处理大图像时速度慢,图像像素值大的情况下对内存要求很高的问题,对块排序降噪算法进行了改进。该算法首先对大图像进行适应于图像纹理丰富度的图像分块,然后分别对每个图像块进行块排序降噪处理,有效地提高图像的降噪效率。但分块排序降噪算法会引起边界效应。

(2) 针对分块降噪处理的情况下引起的边界效应问题,引入边界延拓来降低边界效应,该处理能够有效提高图像降噪的视觉效果,且对速度上影响不大。对于尺寸大小为 512 像素 \times 512 像素,噪声标准偏差为 50 的图像,结合边界延拓处理的改进块排序降噪方法,分块数为 64 时的处理速度是分块数为 16 时的 1.89 倍。

参 考 文 献

- 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(Supp. 1): 99 - 106. (in Chinese)
- 王利民, 刘佳, 杨玲波, 等. 基于无人机影像的农情遥感监测应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 136 - 145.
WANG Limin, LIU Jia, YANG Lingbo, et al. Applications of unmanned aerial vehicle images on agricultural remote sensing monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(18): 136 - 145. (in Chinese)
- YANIV Romano, ELAD Micheal, MILANFAR Peyman. The little engine that could regularization by denoising (RED) [J]. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2017, 10(4): 1 - 32.
- 朱维文, 赵跃进, 朱慧时, 等. 改进的均值滤波算法在太赫兹成像中的应用[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(5): 1241 - 1246.
ZHU Weiwen, ZHAO Yuejin, ZHU Huishi, et al. Application of improved mean filtering algorithm in terahertz imaging [J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(5): 1241 - 1246. (in Chinese)
- 卢文龙, 王建军, 刘晓军. 基于 CUDA 的高速并行高斯滤波算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(5): 10 - 13.
LU Wenlong, WANG Jianjun, LIU Xiaojun. CUDA-based algorithm for high-speed parallel Gaussian filtering [J]. Journal of

- Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 39(5): 10–13. (in Chinese)
- 6 刘哲, 陈路, 杨静. 一种基于块局部最优维纳滤波的图像重构算法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(11): 2556–2562.
LIU Zhe, CHEN Lu, YANG Jing. An image reconstruction algorithm using patch-based locally optimal wiener filtering [J]. Journal of Electronics and Information, 2014, 36(11): 2556–2562. (in Chinese)
 - 7 李丽, 张楠楠, 梅树立, 等. 基于自适应小波偏微分方程的蝗虫切片图像去噪[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 172–177.
LI Li, ZHANG Nannan, MEI Shuli, et al. Image denoising of locust sections based on adaptive wavelet and partial differential equation method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(20): 172–177. (in Chinese)
 - 8 张兰霞, 杨勇, 梅树立. 图像降噪的小波精细积分方法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 109–112.
ZHANG Lanxia, YANG Yong, MEI Shuli. Wavelet precise integration method on image denoising[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 109–112. (in Chinese)
 - 9 梅树立. 基于变分法和剪切波耦合算法的蝗虫切片保纹理图像降噪[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 152–159.
MEI Shuli. Denoising for locust slice image with texture preserving based on coupling technology of variational method and shearlet transform[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(17): 152–159. (in Chinese)
 - 10 BUADES A, COLL B, MOREL J M. A review of image denoising algorithms with a new one Multiscale[J]. Modeling and Simulation, 2006, 4(4): 490–530.
 - 11 刘书, 王慈. 基于自适应非局部均值滤波的图像去块算法[J]. 上海交通大学学报, 2013, 47(12): 1930–1933.
LIU Shu, WANG Ci. Image deblocking with adaptive non-local means filter[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2013, 47(12): 1930–1933. (in Chinese)
 - 12 IDAN Ram, ELAD Micheal, COHEN Israel. Image processing using smooth ordering of its patches[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(7): 2764–2774.
 - 13 IDAN Ram, ELAD Micheal, COHEN Israel. Image denoising using NL-means via smooth patch ordering[J]. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing(ICASSP), 2013, 32(3): 1350–1354.
 - 14 MAIRAL J, BACH F, PONCE J, et al. Non-local sparse models for image restoration[C]. Computer Vision. 2009 IEEE 12th International Conference on. IEEE, 2009: 2272–2279.
 - 15 RAM I, ELAD M, COHEN I. Generalized tree-based wavelet transform[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2011, 59(9): 4199–4209.
 - 16 李丽, 郭双双, 梅树立, 等. 基于特征点提取匹配的蝗虫切片图像的拼接和修复方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 157–165.
LI Li, GUO Shuangshuang, MEI Shuli, et al. Mosaic and repair method of locust slices based on feature extraction and matching [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(7): 157–165. (in Chinese)
 - 17 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(Supp.1): 274–280. (in Chinese)
 - 18 PAPPYAN V, ELAD M. Multi-Scale patch-based image restoration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25(1): 249–261.
 - 19 薄树奎, 李盛阳, 朱重光. 基于统计学的最近邻查询中维数灾难的研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(21): 6–8.
BO Shukui, LI Shengyang, ZHU Chongguang. Study on dimensionality curse in the nearest neighbor queries based on statistics [J]. Computer Engineering, 2006, 32(21): 6–8. (in Chinese)
 - 20 李丽, 郭双双, 梅树立, 等. 基于单元最邻近匹配的蝗虫切片图像修复方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 15–19.
LI Li, GUO Shuangshuang, MEI Shuli, et al. Image restoration of locust slices based on nearest unit matching[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 15–19. (in Chinese)