

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.04.07

引用格式: 王小兵. 融合提升小波阈值与多方向边缘检测的矿区遥感图像去噪[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(4): 46-52.
(Wang X B. Denoising algorithm based on the fusion of lifting wavelet thresholding and multidirectional edge detection of remote sensing image of mining area[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(4): 46-52.)

融合提升小波阈值与多方向边缘检测的矿区遥感图像去噪

王小兵^{1,2,3}

(1. 中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司, 马鞍山 243000; 2. 金属矿山安全与健康国家重点实验室, 马鞍山 243000; 3. 华唯金属矿产资源高效循环利用国家工程研究中心有限公司, 马鞍山 243000)

摘要: 遥感图像在矿区生态修复、地质灾害监测与防治等方面发挥了重要作用,但由于矿区环境复杂,导致获取的遥感图像存在噪声,在很大程度上影响了后续的图像解译与分析。为此,融合图像边缘检测与噪声抑制思路,提出了一种基于提升小波阈值(lifting wavelet thresholding, LWT)与改进 Prewitt 算子边缘检测(improved edge detection of Prewitt operator, IEDPO)的矿区遥感图像去噪算法(LWT-IEDPO)。首先,对原始遥感图像进行提升小波变换,在保留低频小波子带不作处理的情况下,设计了一种双参数阈值函数模型对高频子带进行自适应噪声抑制,经过小波逆变换获得初步去噪后的遥感图像;其次,为有效增强滤波后图像的细节信息,将经典 Prewitt 算子的检测模板扩展到 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 和 150° 这6个方向,并设计了相应的检测结果融合规则,提出了改进的 Prewitt 算子来提取图像边缘轮廓,获得轮廓图像和非轮廓图像;然后,为了进一步改善视觉效果,针对非轮廓图像采用改进的 Pal-King 模糊算法提升对比度;最后,将增强后的非轮廓图像和轮廓图像进行叠加,实现对遥感图像的高清晰度复原。在 MATLAB 平台上,将所提出的遥感图像处理方法与经典硬阈值、软阈值模型以及2种已有的改进小波阈值算法进行对比,并引入峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR)和边缘保持指数(edge protection index, EPI)对各算法的噪声抑制性能进行定量分析和比较。研究表明所提方法能够有效实现遥感图像去噪,其总体性能优于其余4种算法。

关键词: 图像处理; 遥感图像; 提升小波变换; Prewitt 算子; 图像增强

中图法分类号: TP 751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)04-0046-07

0 引言

随着矿山生态日益受到重视,矿山遥感图像在矿区土壤监测、开采沉陷监测、地质灾害调查等方面得到了广泛应用,为矿区生态环境监测与治理提供了大量有价值的键数据^[1-2]。遥感传感器在采集矿区地物信息的过程中,极易受到矿区复杂成像环境(尤其是露天矿区空气中高浓度粉尘)的影响,导致获取的图像含有一定的噪声,视觉效果不佳。并且,在地物信息采集、传输等环节中,也不可避免地会混入一定的噪声,影响了后续对矿区遥感图像的准确判读。因而,有必要对遥感图像进行高质量去噪处理。对于图像去噪方面的研究,现阶段主要采用空间域滤波和变换域滤

波2类思路进行图像噪声抑制,前者主要采用中值滤波、非局部均值滤波和人工神经网络等算法^[3-6]对图像进行降噪处理;后者主要通过对图像进行多尺度变换,在变换域对部分分解子带根据噪声分布特征,设定相应的噪声抑制模型进行处理,通过逆变换来复原图像,代表性的方法有小波变换^[7-9]、复小波变换^[10]和轮廓波变换^[11-12]等。近年来,不少学者将上述2种思路进行有机结合,实现对遥感图像的去噪,如袁明月等^[13]将中值滤波算法与小波变换相结合,利用高斯噪声来模拟遥感图像中含有的噪声,通过对经过中值滤波预处理后的图像进行二级小波变换,对于高频子带,通过逐点计算灰色关联度,并将其与经典小波阈值进行对比,来实现各高频子带的滤波,通过小波逆变换得到去噪后的遥感图像。该算法对于

去除遥感图像噪声有一定的成效,但是在逐点计算灰色关联度等环节中,计算量较大,并且该项研究中小波阈值选取仍沿用传统方法,灵活性有所不足。

在结合已有成果^[14-18]的基础上,引入提升小波变换^[19-20]对遥感图像进行处理。本研究融合图像边缘检测与噪声抑制思路,提出了一种基于提升小波阈值(lifting wavelet thresholding, LWT)与改进 Prewitt 算子边缘检测(improved edge detection of Prewitt operator, IEDPO)的矿区遥感图像去噪算法(LWT-IEDPO)。以遥感图像中常见的加性噪声为例,通过对遥感图像添加不同方差的高斯白噪声来模拟不同失真程度的遥感噪声图像,将图像进行多尺度提升小波分解,在小波域,针对传统硬阈值、软阈值函数模型的不足,设计了一种双参数改进型小波阈值函数模型处理高频子带中的噪声;在实现遥感图像去噪后,为进一步提升图像质

$$W_{j,k} = \begin{cases} w_{j,k} & |w_{j,k}| \geq T_2 \\ \text{sgn}(w_{j,k})(|w_{j,k}| - T_1) & T_1 < |w_{j,k}| < T_2 \\ 0 & |w_{j,k}| \leq T_1 \end{cases}, \quad (1)$$

式中: $w_{j,k}$ 为提升小波分解子带; $\text{sgn}(\cdot)$ 为符号函数,当 $w_{j,k}$ 为负值时,取值为 -1,反之取值为 1; j 为分解层数,本研究 $j \geq 2$; k 为小波分解方向系数; T_1 和 T_2 为阈值。表达式分别为:

$$T_1 = 3^{-j} \sigma \sqrt{2 \ln(XY)}, \quad (2)$$

$$T_2 = \sigma \sqrt{2 \ln(XY)}, \quad (3)$$

式中: X 和 Y 分别为图像的长和宽; σ 为图像中噪声标准差,即

$$\sigma = \frac{\text{median}(|w_{j,k}|)}{0.6745}, \quad (4)$$

式中 $\text{median}(\cdot)$ 为取中值运算函数。

式(1)~(4)构成了本研究双阈值改进型阈值函数模型。该模型借鉴了经典硬阈值、软阈值去噪的思路,通过将传统硬阈值、软阈值模型进行有机结合,通过设置双阈值,将幅值较大的小波子带直接予以保留,最大限度地保留图像的细节信息。模型的阈值中, T_2 为经典的全局阈值, T_1 为对全局阈值经过添加与分解层数有关的系数改进而来,该阈值随着提升小波分解层数的增加快速缩小,具有一定的自适应性。通过将小于 T_1 的阈值直接置零,将幅值大于 T_2 的小波子带直接保留,一方面可以有效抑制噪声,另一方面则有效保留了

量,采用了一种改进的 Prewitt 算子进行 6 个方向边缘检测;对于非边缘图像,采用改进型的 Pal-King 模糊算法进行增强处理,通过增强后的非边缘图像和边缘图像进行叠加,获取复原后的遥感图像。

1 算法原理

1.1 LWT 函数模型

遥感图像经过提升小波变换^[21-22]后,不同分解层数的子带含有的噪声信息有所不同,并且随着分解层数的增加,不同方向的分解子带幅值也会快速变小。如果对高频子带采用传统小波阈值法处理,尽管能够去除部分噪声,但去噪后的图像难以保存完整的边缘轮廓信息。为充分发挥传统阈值模型的优势,并结合遥感图像小波变换后的特性,提出了改进型去噪函数模型,即

子带中的高频信息。对于处理 2 类阈值之间的子带幅值则可借鉴软阈值去噪思路,将相应子带的幅值减去一个自适应变化的数值,从而实现对该部分子带的有效去噪,避免了传统软阈值去噪后存在的图像失真现象。

1.2 基于改进 Prewitt 算子的图像边缘检测

采用 Prewitt 算子对图像边缘进行检测时,通常采用的模板有 0° 和 90° 方向 2 类^[23-24]。但对于遥感图像来说,除道路、建筑物边缘较为平直之外,图像中的大量信息并非都呈水平、垂直方向分布,如湖泊等地物边缘在图像上一般呈现不规则特征,如果采用经典 Prewitt 算子进行边缘提取,势必难以准确提取出该类地物的边缘信息,从而影响后续的图像判读与分析。为此,本研究对经典 Prewitt 算子进行改进,基本思路是将检测模板进行多方向性扩展,在此基础上,根据多方向性的检测结果,进行适当的运算,最终输出边缘检测结果。

本研究将经典的 Prewitt 算子的检测模板由 0° 和 90° 方向扩展到 6 个方向: $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 和 150° 方向,如图 1 所示。采用此 6 个方向模板对图像进行边缘信息检测后,需要对各个方向的检测信息进行有机融合,方可获得最终的检测结果。以图像中任一 5×5 区域为例,分别采用本研究扩展后的 Prewitt 算子 6 方向模板对图像进行卷积运算,得到 6 个方向上的边缘检测结果 F ,即

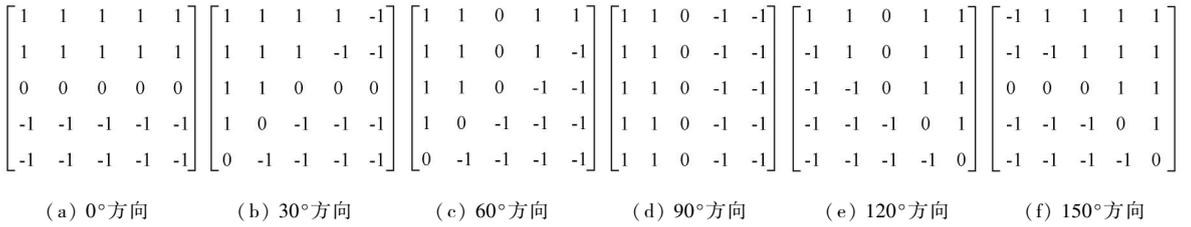


图 1 扩展后的 6 方向 Prewitt 算子检测模板

Fig. 1 Expanded detection template of the Prewitt operator with six directions

$$F = \{F_{0^\circ}, F_{30^\circ}, F_{60^\circ}, F_{90^\circ}, F_{120^\circ}, F_{150^\circ}\} \quad (5)$$

针对集合 F , 首先提取其极大值 F_{\max} 和极小值 F_{\min} , 然后对剩余元素组成的集合 F' 中的元素求取平均值, 得到 \bar{F}' 即为最终的边缘信息检测结果。

1.3 改进 Pal - King 模糊增强算法

Pal - King 算法用于图像增强处理的基本思路是: 首先构建模糊隶属映射函数将图像由空间域变换至模糊域, 然后在模糊域中采用非线性函数进行增强处理, 最后通过逆变换得到增强后的图像^[13]。边缘轮廓信息是遥感图像中最为重要的一类信息, 对于后续图像判读与分析至关重要。许健才^[25]采用 Pal - King 算法对经过非下采样非轮廓波阈值去噪后的水果图像进行增强处理, 取得了较好效果。

$$U_{x,y} = G_n(u_{x,y}) = G_1[G_{n-1}(u_{x,y})] = \begin{cases} \frac{u_{x,y}^2}{\lambda} & 0 \leq u_{x,y} \leq \lambda \\ 1 - \frac{(1 - u_{x,y})^2}{1 - \lambda} & \lambda < u_{x,y} \leq 1 \end{cases}, \quad (6)$$

式中: $G_n(\cdot)$ 为模糊增强函数; $\lambda \in (0, 1)$; $u_{x,y}$ 为

$$u_{x,y} = \begin{cases} \frac{f(x,y) - f_{\min}(x,y)}{f_{\text{median}}(x,y) - f_{\min}(x,y)} & f_{\min}(x,y) \leq f(x,y) \leq f_{\text{median}}(x,y) \\ \frac{f_{\max}(x,y) - f(x,y)}{f_{\max}(x,y) - f_{\text{median}}(x,y)} & f_{\text{median}}(x,y) < f(x,y) \leq f_{\max}(x,y) \end{cases}, \quad (7)$$

式中: $f(x,y)$ 为图像中 (x,y) 处的像素点灰度值; f_{\min} 和 f_{\max} 分别为图像中像素点灰度值最大值和最小值; $f_{\text{median}}(x,y)$ 为 5×5 区域中的像素点灰度中值。

最后, 对经过模糊增强后的图像进行逆变换, 可得到最终增强后的图像, 即

$$f'(x,y) = G^{-1}(U_{x,y}), \quad (8)$$

式中: $f'(x,y)$ 为图像中 (x,y) 处像素点增强后的灰度值; $G^{-1}(\cdot)$ 为模糊逆变换函数。

1.4 本文算法步骤

本文提出的融合提升小波阈值与多方向边缘检测的矿区遥感图像去噪算法 (LWT - IEDPO) 步骤为: ①对遥感噪声图像进行 3 层 (式(1)中, $j = 3$) 提升小波变换, 获得低频子带和高频子带, 保留低频子带不变, 对高频子带进行处理; ②对高频子带采

但在该项研究中, Pal - King 算法运算对象是整幅图像, 对于小尺寸图像效果较好, 但对于大尺寸遥感图像来说, 运算耗时较长, 并且在构建模糊变换函数中, 未能有效顾及图像细节特征。这是因为, 本研究是针对经过提升小波去噪后的遥感图像进行增强处理, 经过去噪后的图像中, 细节信息基本为图像中的有用信息, 需要保留, 否则会影响后续图像准确判读。为此, 本研究对该算法进行改进: 一方面将增强运算范围限定在 5×5 区域内; 另一方面在模糊变换函数中, 采用图像像素点灰度中值来代替文献^[25]的灰度均值。

首先将去噪后的遥感图像由空间域变换至模糊域, 对变换后的图像进行 n 次增强的算子为^[25]:

模糊变换函数。公式为:

用式(1) — (4) 描述的双参数小波函数模型进行噪声抑制, 采用自适应小波阈值函数模型进行噪声抑制, 得到滤波后的小波高频子带; ③将去噪后的小波高频子带与低频子带进行提升小波逆变换, 得到经过噪声抑制后的遥感图像; ④对于噪声抑制后的遥感图像, 采用本研究改进的多方向模板的 Prewitt 算子进行边缘检测, 获得边缘图像和非边缘图像, 而对于非边缘图像采用改进的 Pal - King 模糊算法进行增强处理; ⑤将通过增强处理后的非边缘图像和边缘图像进行叠加, 实现对遥感图像的清晰化处理。

2 算法实验分析

2.1 实验一

本研究采用 MATLAB 软件进行算法程序设计

和运算,采用 2 景某矿山的遥感图像(分别记为图像 1 和图像 2)通过加入不同强度的高斯噪声进行实验。实验中,引入了经典小波硬阈值、软阈值函数

模型以及文献[22]、文献[7]提出的改进小波阈值法与本文所提算法(LWT-IEDPO)进行去噪效果横向对比,实验结果如图 2 和图 3 所示。

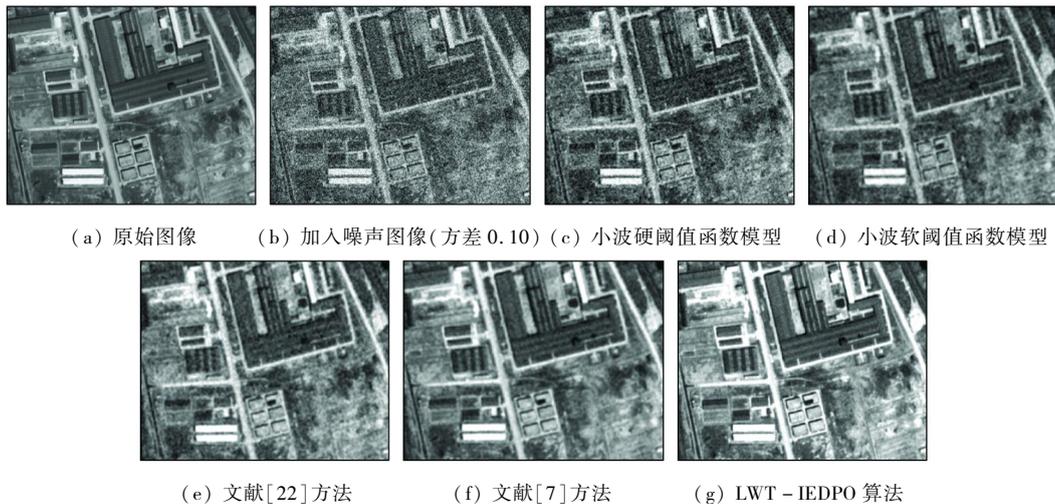


图 2 图像 1 实验结果对比

Fig. 2 Comparison of the test results of image 1

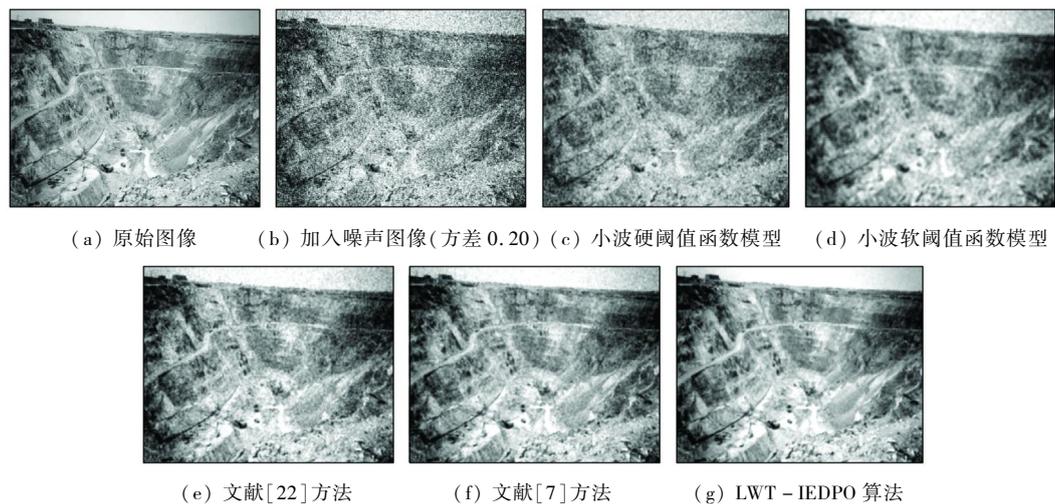


图 3 图像 2 实验结果对比

Fig. 3 Comparison of the test results of image 2

通过分析图 2 和图 3 可知,小波硬阈值、软阈值对于 2 景遥感图像噪声的抑制效果均不理想,特别是软阈值去噪后图像中出现了很大程度的模糊(图 2(d)和图 3(d)),分析是由该函数模型通过小波幅值减去恒定的数值所致;文献[22]和文献[7]分别提出的改进小波阈值方法对于失真程度较小的图像 1(噪声方差为 0.10)去噪效果较理想(图 2(e)和图 2(f)),但是图像 2 中噪声方差达到 0.20 时,两者的去噪性能有了大幅度下降(图 3(e)和图 3(f));本文方法(LWT-IEDPO 算法)对于噪声方差为 0.10 的图像 1,去噪效果(图 2(g))与文献[7]和文献[22]所提算法较为接近,当图像 2 中的噪声方差提升至 0.20 时,去噪后图像的清晰度(图 3(g))明显优于其余 4 种方法。

此外,本研究采用峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR)^[26]以及边缘保持指数(edge protection index, EPI)^[27]2 个指标对上述 5 种方法的去噪性能进行定量评估,结果见表 1。对于文中 5 种方法的 PSNR 和 EPI 指标值分析可知,当噪声方差逐步增加的过程中,5 种方法的 PSNR 和 EPI 值均有所减小,反映出随着图像失真程度的逐步提升,各类方法对于噪声的抑制能力也有所下降,相对而言, LWT-IEDPO 算法对应的 PSNR 和 EPI 指标值下降幅度最小;对于方差为 0.10, 0.15 以及 0.20 噪声图像,该算法对应指标值均优于其余 4 种方法,表明在 5 种方法中采用该算法复原后的图像质量与原始图像最为接近。

表 1 算法去噪性能评价指标取值

Tab. 1 Values of the evaluation indexes of the performance of filtering algorithms

遥感图像	高斯噪声方差	PSNR/dB					EPI				
		小波硬阈值	小波软阈值	文献[22]方法	文献[7]方法	LWT - IEDPO 算法	小波硬阈值	小波软阈值	文献[22]方法	文献[7]方法	LWT - IEDPO 算法
图像 1	0.10	23.345	24.480	26.603	28.135	28.305	0.678 8	0.703 4	0.808 6	0.828 7	0.863 2
	0.15	21.056	22.305	25.559	26.406	27.002	0.599 0	0.609 8	0.775 4	0.769 3	0.810 5
	0.20	19.807	20.209	20.698	23.790	25.329	0.506 7	0.598 8	0.620 1	0.670 4	0.755 6
图像 2	0.10	24.478	25.387	26.668	28.090	28.669	0.700 9	0.675 9	0.795 6	0.821 4	0.864 7
	0.15	22.006	23.076	24.490	25.308	26.365	0.574 3	0.620 3	0.603 2	0.706 5	0.795 9
	0.20	18.565	19.690	21.212	22.210	24.497	0.489 6	0.556 9	0.573 3	0.601 2	0.703 1

2.2 实验二

在上述实验的基础上,采用辽宁某露天采场的一幅视觉效果较差的航拍图像进一步对本文方法(LWT - IEDPO)性能进行检验,并与经典小波硬阈

值、软阈值函数模型以及文献[22]、文献[7]分别提出的改进小波阈值方法进行去噪效果对比分析,实验结果如图 4 所示。

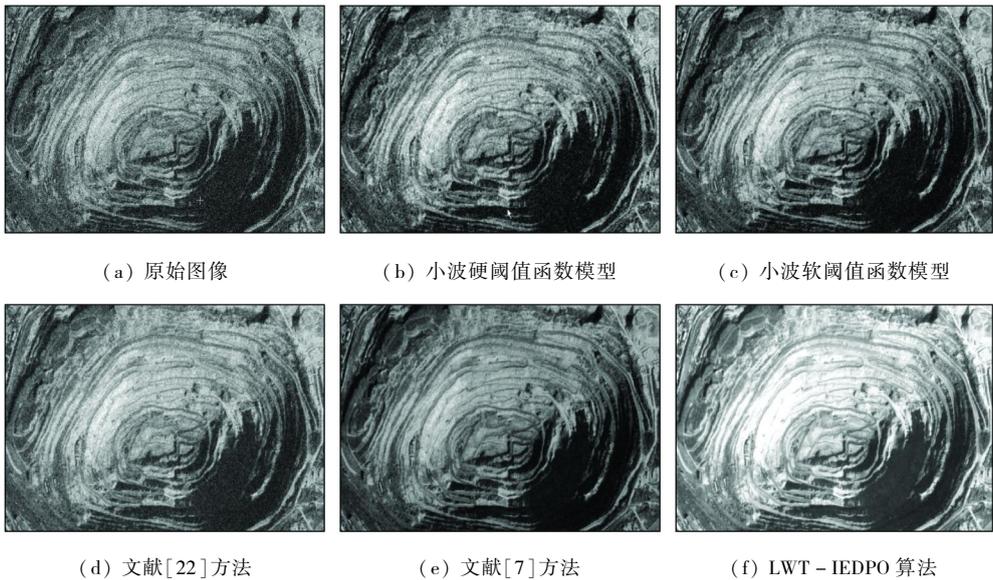


图 4 某露天采场图像滤波效果对比

Fig. 4 Comparison of the filtering results of an open - pit mine image

分析图 4 可知:文献[22]和文献[7]分别提出的改进小波阈值函数去噪模型对于露天采场航拍图像的处理效果明显优于经典小波硬阈值、软阈值模型;采用 LWT - IEDPO 算法处理后,图中采场台阶边缘清晰可辨,图像视觉效果总体上优于其余 4 种方法,与实验一结果基本吻合。由此可以认为,LWT - IEDPO 算法对于遥感噪声图像的处理,相对于同类算法而言有一定的优势。

通过算法实验,该算法总体性能不仅优于传统的小波硬阈值、软阈值函数模型,相对于已有的 2 种改进型小波去噪算法,也有一定的优势。但是,算法在图像处理中还存在一定的过增强现象,后续工作还需要对算法中的模糊增强环节进行不断优化,确保在高效去除图像噪声的同时,进一步改善图像的视觉效果。

3 结论

实现对矿山遥感图像的高质量复原,有助于提升遥感图像信息判读与分析的准确性。针对矿山遥感图像在获取、传输等过程中易被噪声干扰的情形,融合提升小波阈值去噪与多方向边缘检测思路,提出了一种遥感图像改进去噪算法(LWT - IEDPO)。

参考文献(References):

[1] 姚 薇,钱玲玲. 矿山遥感图像自适应加权改进中值滤波算法[J]. 金属矿山,2016(4):101 - 105.
Yao W, Qian L L. Adaptive weighted improved median filtering algorithm of mine remote sensing image[J]. Metal Mine, 2016(4): 101 - 105.

[2] 张元军. 基于双边滤波与小波阈值法的矿区遥感图像处理[J]. 金属矿山,2017(9):170 - 173.
Zhang Y J. Remote sensing image processing method of mining area

- based on bilateral filtering algorithm and wavelet thresholding method[J]. *Metal Mine*,2017(9):170-173.
- [3] 任超,李现广,邓开元,等. 结合 BM3D 和多级非线性加权平均中值滤波的遥感影像混合噪声去噪方法[J]. *测绘通报*,2020(1):89-93.
Ren C, Li X G, Deng K Y, et al. Mixed noise denoising method for remote sensing images combining BM3D and multi-level nonlinear weighted average median filtering[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*,2020(1):89-93.
- [4] 高飞,朱磊,冯子金,等. 基于变差系数的 SAR 图像非局部均值滤波算法[J]. *信息通信*,2019(10):42-44.
Gao F, Zhu L, Feng Z J, et al. Non-local mean filtering algorithm for SAR image based on coefficient of variation[J]. *Information and Communications*,2019(10):42-44.
- [5] 陈清江,石小涵,柴昱洲. 基于小波变换与卷积神经网络的图像去噪算法[J]. *应用光学*,2020,41(2):288-295.
Chen Q J, Shi X H, Chai Y Z. Image denoising algorithm based on wavelet transform and convolutional neural network[J]. *Journal of Applied Optics*,2020,41(2):288-295.
- [6] 魏江,刘潇,梅少辉. 基于卷积神经网络的遥感图像去噪算法[J]. *微电子学与计算机*,2019,36(8):59-62,67.
Wei J, Liu X, Mei S H. Remote sensing image denoising based on convolutional neural network[J]. *Microelectronics and Computer*,2019,36(8):59-62,67.
- [7] 陈竹安,胡志峰. 小波阈值改进算法的遥感图像去噪[J]. *测绘通报*,2018(4):28-31.
Chen Z A, Hu Z F. Remote sensing image denoising based on improved wavelet threshold algorithm[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*,2018(4):28-31.
- [8] 张倩. 基于双重离散小波变换的遥感图像去噪算法[J]. *国土资源遥感*,2015,27(4):14-20. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.03.
Zhang Q. Remote sensing image de-noising algorithm based on double discrete wavelet transform[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*,2015,27(4):14-20. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.03.
- [9] 刘尚旺,郜刘阳,王博. 联合双边滤波器和小波阈值收缩去噪算法研究[J]. *国土资源遥感*,2018,30(2):114-124. doi:10.6046/gtzyyg.2018.02.16.
Liu S W, Gao L Y, Wang B. Research on image denoising algorithm of joint bilateral filter and wavelet threshold shrinkage[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*,2018,30(2):114-124. doi:10.6046/gtzyyg.2018.02.16.
- [10] 徐冬,罗蕾,罗建书. 结合 NAPCA 和复小波变换的高光谱遥感图像去噪[J]. *红外与激光工程*,2015,44(1):327-334.
Xu D, Sun L, Luo J S. Denoising of hyperspectral remote sensing imagery using NAPCA and complex wavelet transform[J]. *Infrared and Laser Engineering*,2015,44(1):327-334.
- [11] 黄涛,薛丰昌,钱洪亮,等. 基于 NSCT 和自适应模糊阈值遥感图像去噪算法[J]. *计算机技术与发展*,2016,26(1):65-69.
Huang T, Xue F C, Qian H L, et al. Remote sensing image denoising algorithm based on NSCT and adaptive fuzzy threshold[J]. *Computer Technology and Development*,2016,26(1):65-69.
- [12] 丁海勇,郭瑞瑞,罗海滨. 顾及纹理信息的遥感图像 NSCT 域自适应阈值去噪[J]. *遥感技术与应用*,2017,32(3):435-442.
Ding H Y, Guo R R, Luo H B. Denoising of remote sensing images using adaptive threshold in NSCT domain by concerning texture information[J]. *Remote Sensing Technology and Application*,2017,32(3):435-442.
- [13] 袁明月,魏悦,孙伟,等. 一种改进的遥感影像去噪综合模型[J]. *北京测绘*,2019,33(7):776-780.
Yuan M Y, Wei Y, Sun W, et al. An improved model of remote sensing image denoising[J]. *Beijing Surveying and Mapping*,2019,33(7):776-780.
- [14] 王小兵,孙久运,汤海燕. 一种基于数学形态学与小波域增强的滤波算法[J]. *微电子学与计算机*,2012,29(7):64-67.
Wang X B, Sun J Y, Tang H Y. A new filter algorithm based on mathematical morphology and wavelet domain enhancement[J]. *Microelectronics and Computer*,2012,29(7):64-67.
- [15] 王小兵,孙久运,汤海燕. 基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法[J]. *微电子学与计算机*,2012,29(6):91-95.
Wang X B, Sun J Y, Tang H Y. Adaptive filtering algorithm for mixed noise image based on wavelet transform[J]. *Microelectronics and Computer*,2012,29(6):91-95.
- [16] 王小兵,姚雪晴,邱银国,等. 一种新型煤矿视频监控图像滤波算法[J]. *工矿自动化*,2014,40(11):76-80.
Wang X B, Yao X Q, Qiu Y G, et al. A new filtering algorithm for video monitoring image of coal mine[J]. *Industry and Mine Automation*,2014,40(11):76-80.
- [17] 王小兵,孙久运. 一种新型高斯噪声滤波算法[J]. *北华大学学报(自然科学版)*,2011,12(5):606-609.
Wang X B, Sun J Y. A new Gaussian noise filtering algorithm[J]. *Journal of Beihua University(Natural Science)*,2011,12(5):606-609.
- [18] 王小兵,孙久运,汤海燕. 一种高斯噪声组合滤波方法[J]. *佳木斯大学学报(自然科学版)*,2011,29(5):696-698.
Wang X B, Sun J Y, Tang H Y. A mixed filter method on Gaussian noise[J]. *Journal of Jiamusi University(Natural Science Edition)*,2011,29(5):696-698.
- [19] 王延霞,曹传龙,李鹏,等. 提升小波变换的部分残差相位模拟与去除[J]. *测绘科学*,2019,44(10):165-171.
Wang Y X, Cao C L, Li P, et al. Part of residual phase simulation and purify based on the lifting wavelet transform method[J]. *Science of Surveying and Mapping*,2019,44(10):165-171.
- [20] Zhang L B, Chen J, Qiu B C. Region of interest extraction in remote sensing images by saliency analysis with the normal directional lifting wavelet transform[J]. *Neurocomputing*,2016,179:186-201.
- [21] 董雪,林志贤,郭太良. 基于 LoG 算子改进的自适应阈值小波去噪算法[J]. *液晶与显示*,2014,29(2):275-280.
Dong X, Lin Z X, Guo T L. Improved self-adaptive threshold wavelet denoising analysis based on LoG operator[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*,2014,29(2):275-280.
- [22] 纪峰,李翠,常霞,等. 基于改进阈值函数的自适应图像去噪方法[J]. *传感技术学报*,2014,27(3):351-354.
Ji F, Li C, Chang X, et al. Adaptive image denoising based on the improved threshold function[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*,2014,27(3):351-354.
- [23] Zhou R G, Yu H, Cheng Y, et al. Quantum image edge extraction based on improved Prewitt operator[J]. *Quantum Information Processing*,2019,18(9):1-24.

- [24] Tian X S. A novel image edge detection algorithm based on Prewitt operator and wavelet transform [J]. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2012, 19(4): 73 – 82.
- [25] 许健才. 一种非下采样轮廓波变换域水果图像预处理方法 [J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(11): 499 – 501.
- Xu J C. A pre – processing method for fruit image in non – subsampled contourlet transform domain [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(11): 499 – 501.
- [26] 周自顾, 曹杰, 郝群, 等. 保留边界特征的深度图像增强算法研究 [J]. *应用光学*, 2018, 39(2): 200 – 206.
- Zhou Z G, Cao J, Hao Q, et al. Depth image enhancement algorithm for preserving boundary [J]. *Journal of Applied Optics*, 2018, 39(2): 200 – 206.
- [27] 李贺, 秦志远, 周丽雅. SAR 图像斑点噪声整体变分偏微分方程滤波算法研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(6): 910 – 914.
- Li H, Qin Z Y, Zhou L Y. Study on SAR image speckle noise smoothing algorithm with TV – PDE [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(6): 910 – 914.

Denoising algorithm based on the fusion of lifting wavelet thresholding and multidirectional edge detection of remote sensing image of mining area

WANG Xiaobing^{1,2,3}

(1. *Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co., Ltd., Maanshan 243000, China*; 2. *State Key Laboratory of Safety and Health for Metal Mines, Maanshan 243000, China*; 3. *Huawei National Engineering Research Center of High Efficient Cyclic and Utilization of Metallic Mineral Resources Co., Ltd., Maanshan 243000, China*)

Abstract: Remote sensing image plays an important role in ecological restoration, geological disaster monitoring and prevention of mining area; nevertheless, due to the complex environment of mining area, the obtained remote sensing images of the mining area contains different kinds of intensity noise, which affects the subsequent image interpretation and analysis to a great extent. In this paper, the study ideas of image edge detection and noise suppression are effectively fused together, and the improved denoising method (LWT – IEDPO) of remote sensing image in mining area based on the fusion of lifting wavelet thresholding (LWT) and improved edge detection of Prewitt operator (IEDPO) is proposed. According to the basic principal of the new method proposed in this paper, firstly, lifting wavelet transform is done for the original remote sensing image; under the condition that the low – frequency wavelet sub – band is left untreated, a two – parameters thresholding function model is designed for adaptive noise suppression of high – frequency sub – bands, and the remote sensing image after initial denoising is obtained by the operation of inverse lifting wavelet transform. Secondly, for the purpose of effectively enhancing the details of the filtered remote sensing image, the detection template of the classical Prewitt operator is extended to 6 directions of 0°, 30°, 60°, 90°, 120° and 150°, and the corresponding detection results fusion rules are proposed. The improved Prewitt operator is put forward to extract the image edge information of the filtered image, and the edge and non – edge image are obtained. Then, the visual effect non – edge image is further improved by adopting the improved Pal – King fuzzy algorithm. Finally, the goal of high definition restoration of the original remote sensing image is realized by the superimposition of the enhanced non – edge image and edge image. Based on MATLAB language, the proposed remote sensing image processing method is compared with the classical hard thresholding model, soft thresholding model and two existing improved wavelet thresholding algorithms; in addition, the two indices of peak signal to noise ratio (PSNR) and edge protection index (EPI) are used to conduct quantitative analysis and comparison of the performance of the above algorithms. The study results show that the goal of effectively filtering of noise remote sensing image can be realized effectively, and the overall performance of the proposed algorithm is better than that of the other four algorithms.

Keywords: image processing; remote sensing image; lifting wavelet transform; Prewitt operator; image enhancement