

双正交小波阈值去噪在套管检测中的应用

尚福华¹, 李爽¹, 赵鹏², 王兴兆³

(1. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318;

2. 大庆油田测试技术服务分公司, 黑龙江 大庆 163453;

3. 中国石油管道公司 信息中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要:为解决套损检测情况图像中的噪声污染对测井解释的影响,文中分析了几种图像去噪的方法,详细介绍了双正交小波理论的提出背景、基本原理、分解与重构、阈值去噪过程,利用双正交小波的正交性、多尺度性等优点,将其应用于套损检测情况图像去噪中,在频域上对图像进行去噪处理。试验结果表明,双正交小波去噪相比正交小波去噪有效地提高了图像的质量和信噪比,同时能够最大限度地保留原有图像的边缘特征,有利于后续的目标特征提取与识别。

关键词:双正交小波;套管检测;图像去噪

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)07-0176-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.07.045

Application of Biorthogonal Wavelet Threshold Denoising in Casing Inspection

SHANG Fu-hua¹, LI Shuang¹, ZHAO Peng², WANG Xing-zhao³

(1. College of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;

2. Logging & Testing Services Company of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing 163453, China;

3. Information Center, Petroleum Pipeline Company of China, Langfang 065000, China)

Abstract: To solve the influence of well logging interpretation in the images of casing inspection, analyze several kinds of image denoising methods, describe the background, basic principle, decomposition and reconstruction, threshold denoising process of biorthogonal wavelet theory in detail, which are applied in biorthogonal wavelet threshold denoising in the image of casing inspection, using the multi-scale, orthogonality of biorthogonal wavelet, processing noise from frequency domain in the image. The experiments indicate that biorthogonal wavelet on casing inspection not only improves the image quality, but also greatly keeps the original image edge character, which is propitious to the latter feature extraction and recognition.

Key words: biorthogonal wavelet; casing inspection; image denoising

0 引言

随着油田开发进入中后期,套损井数逐年增多,检测套损井的状况以及套损类型变得极其重要^[1]。进行套管检测的超声波彩色成像测井仪在进行测井时,由于井下情况复杂,测井仪器受泥浆、井壁上结垢、结蜡等的影响,测井图像存在一些假象^[2]。这些假象的存在严重影响了后期的套管损坏状况分析。为了提高套管情况分析的准确度、精度以及后续解释评价的效果,通常要对测井图像进行去噪处理^[3]。

目前测井软件常采取直方图均衡化、中值滤波等空域滤波方法进行图像的增强处理,这些方法处理图像时不能凸显细节,不能有效地区分信号和噪声,而且可能增强噪声或者湮灭掉有用的图像信息^[4]。

由于小波变换具有良好的尺度变化特征、方向性特征和时频局部化特征^[5],这使其在图像处理中得到了广泛的应用。又因为正交小波变换中使用的滤波器组具有的正交性、软件实现简单、分解和重构滤波器相同等优点,使其在小波阈值去噪中比较常用。但是正

收稿日期:2012-10-08

修回日期:2013-01-14

网络出版时间:2013-04-08

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05020-007);国家自然科学基金资助项目(61170132);黑龙江省教育科学技术研究项目(12521055)

作者简介:尚福华(1962-),男,吉林延吉人,教授,博士后,主要研究方向为人工智能、机器学习、数据挖掘、图像处理等;李爽(1988-),男,硕士研究生,研究方向为信息智能处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130408.1709.049.html>

交小波变换也存在很多问题,例如不具有线性相位性、平移不变性^[6,7]等等,经其处理的图像会引起图像边缘的失真。

针对这些问题,文中分析了双正交小波变换去噪方法,将其应用到套损情况检测图像的去噪中,利用双正交小波的优点,克服标准正交小波变换阈值去噪中存在的问题。

1 双正交小波变换

小波变换的图像去噪过程,实际上是对图像信号的特殊的滤波处理过程。从图像的重构角度来说,这种滤波运算对原图像产生的失真越小越好,这就要求滤波器具有对称性、反对称性以及线性。又由于正交小波基比较难构造,而且其对称性与正交性不兼容,于是 Daubechies, Albert Cohen 等人提出了双正交小波理论^[8]。双正交小波理论一出现,就由于其兼顾正交性和对称性,而被大家青睐并广泛应用于图像处理领域^[9]。

1.1 双正交小波变换基本原理

如果两个对偶的小波母函数 $\psi_{j,k}, \tilde{\psi}_{m,n}$ 满足如下的双正交关系,同时其对应的尺度函数 $\varphi_{j,k}$ 满足如下关系:

$$\langle \psi_{j,k}, \tilde{\psi}_{m,n} \rangle = \delta(j-m)\delta(k-n) \quad (1)$$

$$\langle \varphi_{j,k}, \tilde{\varphi}_{j,n} \rangle = \delta(k-n) \quad (2)$$

此时相应的多分辨率分析子空间的嵌套序列分为两种:

$$\cdots V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset V_{-2} \cdots \quad (3)$$

$$\cdots \tilde{V}_2 \subset \tilde{V}_1 \subset \tilde{V}_0 \subset \tilde{V}_{-1} \subset \tilde{V}_{-2} \cdots$$

其中 $v_i = \text{span}\{\varphi_{j,k}(t)\}$, $\tilde{v}_j = \text{span}\{\tilde{\varphi}_{j,k}(t)\}$ 且

$$V_j \perp \tilde{V}_j, \tilde{V} \perp V_j \quad (4)$$

另外 $\tilde{\psi}_{j,m}(t)$ 和 $\tilde{\varphi}_{j,k}(t)$ 也有对应的高通滤波器 $\tilde{g}[n]$ 和低通滤波器 $\tilde{h}[n]$, 相应的双尺度方程为:

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} h(k) \varphi(2t-k), \tilde{\varphi}(t) = \\ &\sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} \tilde{h}(k) \tilde{\varphi}(2t-k) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} g(k) \varphi(2t-k), \tilde{\psi}(t) = \\ &\sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} \tilde{g}(k) \tilde{\varphi}(2t-k) \end{aligned} \quad (6)$$

因此 $g[n], h[n], \tilde{g}[n], \tilde{h}[n]$ 共同构成了双正交滤波器组。更重要的是,有了双正交性质以后的信号分解就变成了 $f(t) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{n \in \mathbb{Z}} \langle f(t), \tilde{\psi}_{j,k}(t) \rangle \cdot \psi_{j,n}(t)$ 。

1.2 双正交多小波分解与重构

双正交方法用于图像去噪,最关心的实际上是双正交滤波器组 $g[n], h[n], \tilde{g}[n], \tilde{h}[n]$ 。用它们4个滤波器可以组成多级滤波器组,对数字信号进行多尺度的分解与重构。

对于信号分解,使用的是 $g[n], h[n]$ 构成滤波器组,采用的分解公式为:

$$(1) \text{ 离散逼近 } a_{j+1,k} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} h[n-2k] a_{j,n}$$

$$(2) \text{ 离散细节 } d_{j+1,k} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} g[n-2k] a_{j,n}$$

对于信号重构使用 $\tilde{g}[n], \tilde{h}[n]$ 重构信号,采用的重构公式为:

$$a_{j-1,n} = \sum_k \tilde{h}[n-2k] a_{j,k} + \sum_k \tilde{g}[n-2k] d_{j,k}$$

1.3 双正交小波的去噪方法

在小波阈值图像去噪方法中,如何选取阈值是决定算法性能的关键因素。一方面为了去掉尽可能多的噪声,它需要足够大,另一方面为了保留更多的图像细节特征,它又需要足够小^[8]。

阈值的求取在大多数情况下需要首先对图像的噪声大小(方差)进行估计,文中采用的方法是对带噪图像进行多层次二维小波分解,然后取高频系数的中值来计算方差: $\delta = \frac{\text{MAD}}{0.6745}$, 其中 MAD 是高频子带小波系数幅度的中值^[9]。

文中考虑到随着尺度级数的增加,由噪声所控制的模极大值的幅度和稠密度会快速减少,所以阈值的求法采用在不同分解层不同子带分别求取的方法,具体实现方法如下:

1) 对带噪图像 $g(x, y)$ 进行多层双正交小波变换,得到一组小波分解系数 $w_{g(s,j)}$, 其中, $w_{g(s,j)}(1, j) \in \{LH_j\}$ (j 层水平方向小波系数), $w_{g(s,j)}(2, j) \in \{HL_j\}$ (j 层垂直方向小波系数), $w_{g(s,j)}(3, j) \in \{HH_j\}$ (j 层对角线方向小波系数), $s = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$ 表示小波分解的层数。

2) 对各个分解层的各个子带的噪声方差 $\delta_{n_{s,j}}(s, j)$ 进行估计,采用局部方差的估计方法,即:

$$\delta_{n_{s,j}}(s, j) = \text{median}(|w_{g(s,j)}(s, j)|) / 0.6745$$

3) 在求出的 $\delta_{n_{s,j}}(s, j)$ 基础上,利用阈值估计方法求出各种小波阈值算法的阈值: $\text{thr}(s, j) = T(\delta_{n_{s,j}}(s, j))$, 其中 $T(\cdot)$ 为各种阈值估计方法。

4) 用阈值函数对分解得到的小波系数 $w_{g(s,j)}(s, j)$ 和求得的阈值进行处理,得到新的小波系数 $w_{g(s,j)}(\hat{s}, j)$ 。

5) 对新的小波系数进行小波逆变换,得到去噪图像 $g(x, y)$ 。

2 实验结果及分析

文中在 matlab 下进行模拟实验,使用 Bior4. 4 双正交小波滤波器进行成像数据去噪实验,将双正交小波应用到几种典型的小波阈值去噪方法(VisuShrink 方法^[10]、SureShrink 方法^[11]、BayesShrink 方法)中,并将其去噪效果与标准正交小波变换的去噪效果进行比较。实验中的图像为带有斑点噪声的井眼图像,小波变换采用阈值去噪中最常用的 9/7 小波作为小波基,选取 db5 做标准正交小波滤波器,小波分解的尺度系数选为 3,图像去噪效果的评价标准采用信噪比(SNR)和峰值信噪比(PSNR)^[12],其计算公式为:

$$SNR = 10\log \left\{ \frac{\frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} (x_{n,m} - \bar{x})^2}{\frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} (x_{n,m} - \hat{x}_{n,m})^2} \right\}$$

$$PSNR = 10\log \left\{ \frac{255^2}{\frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} (x_{n,m} - \hat{x}_{n,m})^2} \right\}$$

其中 $\bar{x} = \frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} x_{n,m}$, $\hat{x}_{n,m}$ 为去噪后重建图像的像素值。

各种去噪结果的表示如表 1:

表 1 各种小波去噪指标

	VisuShrink		SureShrink		BayesShrink	
	SNR	PSNR	SNR	PSNR	SNR	PSNR
标准正交小波变换	13. 8798	29. 0513	15. 3254	30. 4969	15. 2602	30. 4317
双正交小波变换	14. 2720	29. 4435	16. 2095	31. 3811	16. 0855	31. 2570

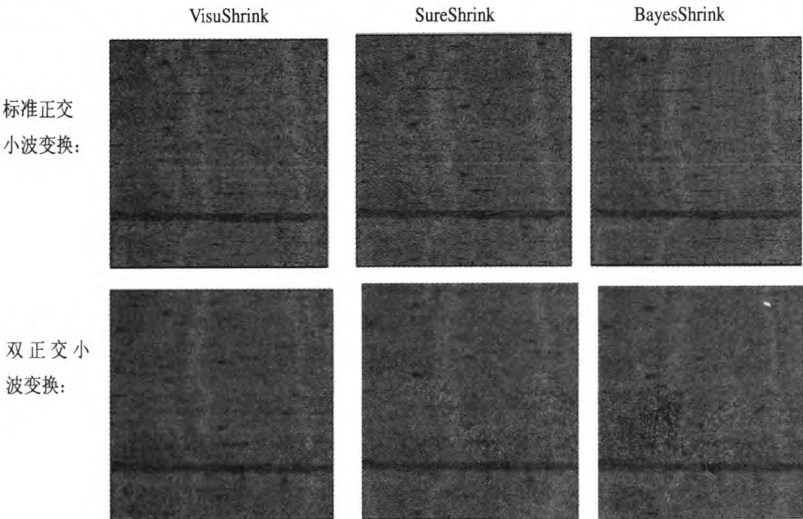


图 1 去噪效果比较

由表 1,图 1 可以看出,双正交小波由于其对称性、紧支集性等优良特性,虽然对正交性做出了“让步”,但其对带有斑点噪声的图像去噪效果比标准正

交小波变换效果好,在消除斑点噪声的同时能够有效地保留图像的有用信息,例如边缘、特征信息等。

3 结束语

文中详细说明了双正交小波变换去噪的原理和过程,使用 bior4. 4,db5 小波对实际的含有噪声的孔眼图像分别进行小波阈值去噪处理,结果表明双正交小波变换在处理带有斑点噪声的超声彩色测井图像上明显优于标准正交小波变换,使用双正交小波变换去噪能够有效地提高图像质量,为后期的套损情况分析以及图像特征提取提高准确率。

参考文献:

[1] 张建军,潘恒超,李 浩. 超声成像测井工作原理与影响因素[J]. 声学及电子工程,2001(2):32-36.

[2] 陈 琼,王 伟,葛 辉. 成像测井技术现状及进展[J]. 国外测井技术,2007,22(3):8-10.

[3] 黄 敏,张 翔. 基于二维离散小波变换的成像测井图像增强方法[J]. 国外测井技术,2009(6):43-45.

[4] 王登位,李 炜. 基于小波变换的图像去噪研究[J]. 计算机与数字工程,2007,35(9):131-132.

[5] 樊秋月,张安发. 基于双正交小波域的 SAR 图像滤波方法[J]. 通讯技术,2010(8):192-194.

[6] Mallat S G. A wavelet tour of signal processing[M]. San Diego:Academic Press,1998:302-310.

[7] Prasad L,Iyengar S S. Wavelet analysis with applications to image processing[M]. New York: CRC Press,1997:217-222.

[8] Klocke F,Friedrich D,Linke B, et al. Basics for in-process roundness error improvement by a functional workrest blade[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology,2004,53(1):275-280.

[9] 李淑霞,王汝霖,许 亮,等. 双正交冗余小波变换的图像去噪方法[J]. 光电工程,2007,34(3):89-92.

[10] 谭小容,杨保海,查代奉. 阈值开关滤波器设计及其在图像去噪中的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2011(10):49-53.

[11] 乔闹生. 一种混合噪声图像去噪方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(29):144-145.

[12] 龔 莹,邵文欣. 全方位加权自适应形态滤波的井下电视套损图像去噪算法[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2010,25(3):93-95.

双正交小波阈值去噪在套管检测中的应用

作者：尚福华, 李爽, 赵鹏, 王兴兆, SHANG Fu-hua, LI Shuang, ZHAO Peng, WANG Xing-zhao

作者单位：尚福华, 李爽, SHANG Fu-hua, LI Shuang(东北石油大学计算机与信息技术学院, 黑龙江大庆, 163318), 赵鹏, ZHAO Peng(大庆油田测试技术服务分公司, 黑龙江大庆, 163453), 王兴兆, WANG Xing-zhao(中国石油管道公司信息中心, 河北廊坊, 065000)

刊名：计算机技术与发展

英文刊名：Computer Technology and Development

年, 卷(期)：2013, 23(7)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201307045.aspx