

二维局域波分析在图像消噪中的应用研究

盖 强^{1,2},殷福亮¹,邹岩崑³

(1. 大连理工大学,辽宁大连 116024;2. 海军大连舰艇学院,辽宁大连 116018;3. 中兴通讯股份有限公司,广东深圳 518000)

摘 要: 本文研究了局域波分析的二维分解算法,实现了二维 Hilbert-Huang 变换的分解方法,清晰地分解出图像的细节.同时在去除图像噪声应用中,与小波分析进行了对比,取得了满意的效果,从而拓宽了 Hilbert-Huang 变换的应用范围.

关键词: 二维局域波分析;数字图像消噪;小波变换

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 09-1763-03

Study of Application of the 2-Dimension Local Wave Analysis in Image Denoising

GAI Qiang^{1,2}, YIN Fu-liang¹, ZOU Yan-kun³

(1. Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China; 2. Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China; 3. Zhong Xing Communication Stock Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: The 2-D decomposition arithmetic of local wave analysis (LWA) is studied deeply, and the 2-dimension decomposition method of HHT is developed and applied. The new method not only can adaptively extract details of a digital image, but also can get better results in eliminating image noise by comparing with the Wavelet Transform.

Key words: 2-D local wave analysis; digital image denoising; Wavelet Transform

1 引言

局域波分析^[1,2]源于瞬时频率的概念,它能把动态信号的局部特征正确地描述在时频域内.局域波分解的基不是固定的,它随动态信号波形的变化而变化,具有自调节自适应的特征,摆脱了傅立叶理论的束缚,且有极高的时频分辨率.与传统的时频分析方法(短时 Fourier 变换、Wigner-Ville 分布、小波分析)相比,它更适用于非平稳信号和盲信号的分析与处理,并已表现出独特的优点,已成功地应用在地球科学^[3,4]、设备故障诊断工程^[5,6]和生物医学工程^[7,8]等领域.本文研究二维局域波分析分解算法及其在二维图像分解和降噪的应用问题,开拓了局域波分析的应用领域,对二维数据的处理提供了新的工具.

2 二维局域波分解算法

二维局域波算法是将一维局域波分解的思想拓展到二维数据,下面给予详细介绍.

2.1 局部极值点的选取

本文采用 3×3 的局部区域.局部区域极值点的选取方法是对二维图像 $F(x, y)$ 加一 3×3 的移动窗,在窗

口每一步移动过程中,判断窗口内中心点 (i, j) 是否是窗口内 9 个点灰度值的极值点,如果是,则记录相应的极值点的位置(包括极大值和极小值).对于边界数据的处理,因为有一边邻域无数据,只能在 $2/3$ 的邻域区间中寻找极值点,所以筛选结果同一维局域波分解过程一样存在边界效应.

2.2 构造平面三角剖分

获得的极值点构成了一个离散点集,需要把它们按一定的邻接关系有序地组织起来,以便在空间上进行曲面拟合.俄国数学家 Delaunay 曾证明,对于离散点集 P ,必定存在且仅存在一种三角剖分(DT, Delaunay Triangulation),使得所有三角形的最小内角之和最大.因此, Delaunay 三角剖分能够尽可能地避免病态三角形的出现,而这正是有限元分析所期望的,因此很适合于有限元网格自动生成. DT 也就是最近点意义下的 Voronoi 图的直线对偶图, Voronoi 图由许多胞元组成,每一个胞元包含点集中的一个点,连接相邻胞元中两个点便形成点集的 DT. DT 具有很多性质,剖分中常用的性质有最小内角最大和最大空圆原则.

图 1 中实线构成了 Voronoi 多边形,图 2 是得到的剖分结果示意图,其中三角型的顶点就是局部极大值点.

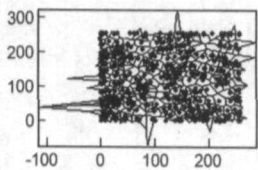


图1 极大值及 Voronoi 图

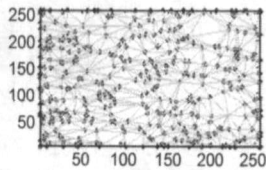


图2 Delaunay三角剖分图

2.3 拟合包络曲面

把曲面极大值点与极小值点进行拟合,形成其包络面,是二维局域波分解的关键.利用二维局部极值离散数据点形成包络曲面,要求插值曲面必须通过每一个数据点,并在任何位置必须二阶导数连续,从而使得插补的表面足够平滑.

二维散列数据插值有两种方式:距离加权插值与三角插值.前者适用于多变量插值.几何造型中主要应用三角插值.本文在三角剖分的基础上,采用了三角插值曲面的拟合方法.步骤如下:

(1) 散列数据的三角剖分及其优化.其中包括数据的预处理、初步三角剖分、主体三角剖分、边界裁剪和三角剖分的精化等步骤;

(2) 三次曲线网和三角曲面的构造.首先估算各顶点处的法向量,而后根据法向量构造各顶点的切平面.在切平面上计算各边靠近该顶点的诸内控制点.由此,相对于每条边可构造一控制多边形.对每一三角形,可得到三条边界的共9个控制顶点,三角形内部的控制顶点可按现有公式计算;

(3) 按给定连续条件拼接两相邻三角曲面片;

(4) 三角形的分割.当三角曲面片的三条边界需同时与其他三张曲面片连续拼接时,内控制点的计算会发生矛盾.为增加拼接的自由度,需将三角曲面片细分为三张子曲面片,使每张三角曲面片仅与一张子三角曲面片发生联系;

(5) 子三角曲面片内部各控制顶点的调整.三角曲面片划分为三张子曲面片,可根据跨界连续性要求来计算每张子曲面片内的控制顶点.为保证原始三角曲面片本身是一张连续曲面,应修正各子三角曲面片的相应控制顶点;

(6) 生成连续的散列点插值曲面.

根据图像极大值点可得到拟合的上包络面,同理可以得到极小值点对应的下包络面.

2.4 获取局域波分量曲面

按照一维局域波分解的思想,可以给出二维分量曲面的筛选过程.对于二维图像信号 $F(x, y)$, 它的上、下包络曲面分别表示为 $f_{\max}(x, y)$ 和 $f_{\min}(x, y)$, 则得到局部均值曲面 $m_1(x, y)$:

$$m_1(x, y) = \frac{f_{\max}(x, y) + f_{\min}(x, y)}{2} \quad (1)$$

根据局域波分量的定义,在理想情况下,第一次筛选结果可以作为第一个分量 $h_1(x, y)$, 可由下式得出:

$$h_1(x, y) = F(x, y) - m_1(x, y) \quad (2)$$

由于一些非对称波仍可能存在于 $h_1(x, y)$ 中,为使得波形剖面更加对称,需要继续筛选,这一过程可能被重复多次,第二次筛选是需要以 $h_1(x, y)$ 作为待处理数据,就有:

$$h_{11}(x, y) = h_1(x, y) - m_{11}(x, y) \quad (3)$$

其中 $m_{11}(x, y)$ 是 $h_1(x, y)$ 的局部均值.当重复筛选进行到第 k 次,就有:

$$h_{1k}(x, y) = h_{1(k-1)}(x, y) - m_{1k}(x, y) \quad (4)$$

记:

$$C_1(x, y) = h_{1k}(x, y) \quad (5)$$

$C_1(x, y)$ 就是从原始信号中获得的第一个局域波分量曲面.把从原始信号 $F(x, y)$ 中分离出的信号 $R_1(x, y)$ 作为新数据进行处理,最终可以得到:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n C_i(x, y) + R_n(x, y) \quad (6)$$

也就是原始图像被分解为 n 个局域波分量图像 $C_1(x, y) \sim C_n(x, y)$ 和一个趋势项 $R_n(x, y)$.

3 二维局域波分析应用

3.1 图像分解应用

二维局域波分析方法处理图像的结果如图3所示.图3(a)图是cman的标准原始图像;图3(b)、(c)图是用二维局域波变换分解处理后得到的两幅子图像.(b)图包含原始图像中的细节部分,而(c)图则包含了原始图像中的轮廓部分.图像显示灰度被线性变换拉伸.与两幅原始图像比较可以发现,原图像中灰度变化缓慢的部分在细节图像中都变成了一种中间灰度,而原图像中灰度陡变的边缘和灰度陡变边缘包围的较小细节区域在细节图像中都被清晰地提取出来.轮廓图像(c)可被继续分解出细节和轮廓.该方法可以提取出清晰的图像细节,为图像的进一步处理打下了良好的基础.



(a) cman 原始图像



(b) HHT 分解出的 cman 图像细节



(c) HHT 分解出的 cman 图像轮廓

图3 cman原图及HHT分解的两个子图像

3.2 图像去噪性能的比较

较

图像降噪是图像预处理领域的一个热点问题,其作用是为了提高图像的信噪比,突出图像的期望特征。在实际的工程中,有用的信号通常表现为低频信号或者是一些比较平稳的信号,而噪声信号则通常表现为高频信号,但同时图像的细节也分布在高频区域。所以,图像降噪中一个两难的问题是如何在降低图像噪声和保留图像细节上保持平衡,传统的低滤波方法将图像的高频成分滤除,虽然能够达到了降低噪声的效果,但破坏了图像细节。小波变换在时域和频域上同时具有局部化特性,所以在信号与图像处理中得到了广泛应。本文采用常用的二维小波阈值的降噪方法与二维局域波分析滤除图像高频成分的方法进行比较。比较实验是采用 128×128 大小的标准 lena 图像,见图 4(a),其灰度级为 256。图 4(b) 为图 4(a) 加入了均值为零、方差为 0.01 高斯白噪声的图像。图像明显有颗粒噪声。图 4(c) 为用二维小波阈值的降噪方法得到的结果。图像中仍能看出颗粒噪声的存在。图 4(d) 为采用二维局域波分析去噪的结果,它剔除了局域波分解图像后的第一个分量。可以看出,图中的颗粒噪声明显减弱,图像质量明显优于小波阈值的降噪方法所得到的结果。

4 结束语

本文研究了二维局域波分析的分解算法。通过典型二维图像处理的分解,可以得到清晰的图像细节特征;特别是对典型图像颗粒噪声滤除的应用,得到了优于传统小波阈值降噪方法的结果,表明了这种方法的有效性。该方法为多维非平稳信号的分析处理提供了一条行之有效的新途径,具有深入的理论研究价值和应用价值。



图 4 lena 原图、噪声图像和两种去噪方法比较

参考文献:

- [1] Huang NE, Zheng Shen, Long SR, et al. The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear non-stationary time series analysis [J]. Proc R Soc London A, 1998, 454:903 - 995.
- [2] 盖强,张海勇,徐晓刚. Hilbert-Huang 变换的自适应频率多分辨率分析研究[J]. 电子学报, 2005, 33(3): 563 - 566. GAI Qiang, ZHANG Haiyong, XU Xiaogang. Study of frequency multiresolution analysis of the hilbert-huang transform [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(3): 563 - 566. (in Chinese)
- [3] Gloersen, P, Huang, NE. Comparison of interannual intrinsic modes in hemispheric sea ice covers and other geophysical parameters [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41: 1 - 14.
- [4] Huang NE, Hsing H, Shen Zheng, et al. The ages of large amplitude coastal seiches on the caribbean coast of puerto rico [J]. Journal of Physical Oceanography, 2000, 30(8): 2001 - 2012.
- [5] 王珍,马孝江. 局域波时频法在柴油机缸套活塞磨擦诊断中的应用研究[J]. 内燃机学报, 2002, 20(2): 157 - 160. WANG Zhen, MA Xiaojiang. Investigation on diagnosis of diesel engine piston/liner wear faults based on local wave time-frequency approach [J]. Transactions of CSICE, 2002, 20(2): 157 - 160. (in Chinese)
- [6] Chu Jan, Gai Qiang, Zhang Haiyong. The EMD Method and its use in ship diagnosis [A]. Proceeding of the International Symposium on Test and Measurement [C]. China: ISTM, 2003, 3. 2039 - 2042.
- [7] Essex JW, Wiley AP. Application of the hilbert-huang transform to the analysis of molecular dynamics simulations [J]. Journal of Physical Chemistry, A2003, 107. 4869 - 4876.
- [8] Huang Wei, Shen Zheng, Huang NE, et al. Engineering analysis of biological variables: An example of blood pressure over 1 day [A]. Proc of Natl Acad Sci [C]. USA: PNAS, 1998, 95. 4816 - 4821.

作者简介:



盖 强 男, 1962 年生, 教授, 大连理工大学电信学院博士后在读, 主要从事装备测控系统与故障诊断、非平稳信号处理和数字图像处理等领域的研究。
E-mail: gaiqiang@yahoo.com.cn

殷福亮 男, 1962 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事数字信号处理、语音信号处理和阵列信号处理的理论与应用研究。