

基于均值滤波矩阵组的二维信号 快速经验模式分解方法

郭 珈^{1,2}, 王孝通^{2,3}, 徐晓刚^{2,4}, 张成堡⁵

(1. 海军 91550 部队, 辽宁大连 116023; 2. 海军大连舰艇学院光电技术研究所, 辽宁大连 116018; 3. 海军大连舰艇学院航海系, 辽宁大连 116018; 4. 海军大连舰艇学院装备系统与自动化系, 辽宁大连 116018; 5. 海军 32132 部队, 山东青岛 266405)

摘 要: 根据矩阵变换理论, 提出了一种基于滤波矩阵组的局部均值求取方法. 该方法构造了均值滤波矩阵组, 只需在待处理矩阵左右各乘一个均值滤波阵, 即可得到待处理阵的加权均值, 简化了包络均值求解过程. 在上述局部均值滤波理论的基础上, 提出了二维信号的快速经验模式分解算法. 实验证明, 算法运算时间比传统经验模式分解方法提高了两到三个数量级.

关键词: 经验模式分解(EMD)快速算法; 均值滤波矩阵; 图像融合

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2012)10-1980-04

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.10.013

Fast 2D Empirical Mode Decomposition Based on Mean Value Matrix Filter Sets

GUO Jia^{1,2}, WANG Xiao-tong^{2,3}, XU Xiao-gang^{2,4}, ZHANG Cheng-bao⁵

(1. Unit 91550, Dalian, Liaoning 116023, China; 2. Institute of Photoelectric Technology, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China; 3. Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China; 4. Department of Automatization, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China; 5. Unit 92132, Qingdao, Shandong 266405, China)

Abstract: A new local mean value computing algorithm is proposed based on the theory of the mean value matrix filter sets. The algorithm computes the weighted mean value of the matrix by multiplying a mean value filter matrix to each side of it. This special matrix can be calculated quickly and simplify the process of envelope computing. Based on the mean value matrix filter sets, a fast two-dimension EMD algorithm is proposed. Experiments show this algorithm works well on image fusion. It can also reduce the computation time by 1/100 ~ 1/1000 than that of the traditional EMD.

Key words: fast algorithm of empirical mode decomposition (EMD); mean value filter matrix; image fusion

1 引言

1998年美国学者 Huang^[1]等提出了一种用来分析非平稳非线性数据的基于经验的模式分解算法(Empirical Mode Decomposition, 简称 EMD), 它是基于数据时域局部特征的、自适应的时频分析工具. 近几年来, 二维经验模式分解(BEMD)的研究不断深入, 已经广泛应用在图像去噪、增强、融合等领域^[2~5], 主要方法有 Han 等人提出的单向二维经验模式分解^[6,7]、Nune 等人提出的基于二维函数提取包络曲面的二维经验模式分解^[8~11], 基于径向基函数提取包络的二维经验模式分解, 解决了灰度斑的限邻域经验模式分解^[12,13]以及信号辅助的经验模式分解^[14]等. 这些算法在某些领域获得成功应用, 但

它们都存在分解速度慢的问题, 限制了在实际工程中的应用. 本文提出了一种在空间域的快速二维经验模式分解方法, 在保证分解效果的同时, 运算时间比传统 EMD 方法提高了两到三个数量级.

2 均值矩阵滤波组

EMD 分解算法的一个关键技术就是寻求最佳局部均值, 以往 EMD 分解均采用对信号极大极小值点构成的上下包络线求均值的算法获取局部均值, 存在稳定性差、遍历效率低的缺陷. 本文提出了一种根据均值矩阵滤波组求均值的方法, 避免了传统方法中不断遍历求极值的时间. 根据矩阵变换理论, 可分别左乘和右乘初等矩阵 P 、 Q 实现对 $m \times n$ 型矩阵 A 的行列变换. 例如,

指数级增长,也就是说,随着各层 IMF 极值点间距的不断扩大,求均值的邻域也随之增大,可以省去不必要的分解,提高分解效率. 经过大量的实验验证,此算法对绝大多数图像,只需分解五层,就能取得良好的分解效果. 另外,均值权系数除了用 $1/(2h + 1)$ 外,还可以根据不同的实际需求,调整权值,可取得不同的分解效果,本文为提高速度,采用平均系数.

本文算法由于每层的带宽系数 $h = h \times 2$, 导致层与层之间带宽断层,用此阵分解出来的 IMF 会出现条状边界效应. 层数越高,带宽系数差越大,边界效应也就越明显. 对此,可在 h 与 $2h$ 之间,增加带宽系数为 h

$+ i, i = 1, \dots, h$ 的过渡带,这样就可以避免分解后 IMF 的条状边界效应.

4 分解效果分析

图 1 为本文 FBEMD 算法对 lena 图像进行 5 次经验模式分解的效果图,从中可以明显看出,第一层 (b) 分解出来原图像的细节高频信息,头发纹理和边缘清晰可见,到第二层 (c),小尺度的细节基本被滤除了,剩下尺度稍大一些的细节信息,第三层 (d) 高频细节越来越少,最后只剩下模糊的低频分量,剩余量 (e) 已不含有细节信息.



图1 快速经验模式分解完整效果,分解时间为0.093588S;(a)为原图;(b)(c)(d)(e)分别为快速经验模式分解的1-3层imf及剩余量

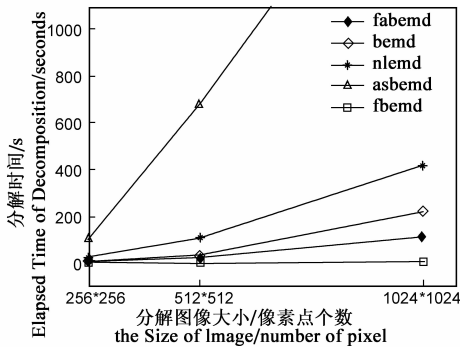


图2 各种EMD分解方法的时间比较

为验证算法明显的时间效率优势,本文与传统二维经验模式分解 (BEMD)、限邻域经验模式分解 (NLEMD)、信号辅助经验模式分解 (ASBEMD)、基于顺序统计滤波器的快速自适应经验模式分解 (FABEMD) 的运算速度进行比较,其中 BEMD 采用的筛选次数参数

取 2, ASBEMD 的辅助信号个数为 8, 方差为 5, 筛选次数为 2, 分解层数均为 3 层. 通过图 2 与其他 EMD 算法的比较可见,本文算法速度明显快于其他 EMD 分解方法,图像越大,这种速度优势越明显.

图 3 是应用 EMD 方法和小波方法进行头骨 CT 和 MR 图像融合的效果图,实验采用能量最大的策略进行图像像素级融合. 如图所示,本文的 FBEMD 方法 (e) 融合边缘明显好于小波融合算法效果 (d). 而同为 EMD 算法,对比效果较好的 NLEMD (c) 方法和 FBEMD (e) 方法,FBEMD 方法 (e) 拥有更好的融合能力. 特别是从表 1 所示的运算速度来看,FBEMD 比小波融合快约 10 倍,比传统 BEMD 快约 20 倍,比 NLEMD 快约 80 倍. 本文所做的实验均是在 Pentium (R) Dual-Core CPU 2.60GHz 主频, 2.00GB 内存配置的电脑上完成的.

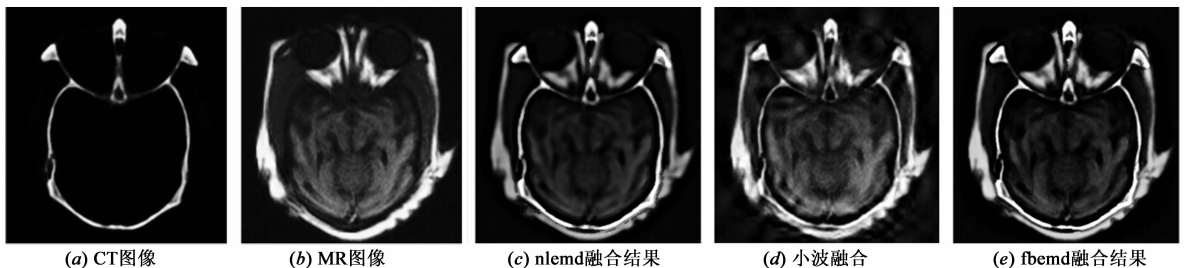


图3 不同EMD融合算法结果比较

5 总结

本文提出了均值矩阵滤波组的概念,简化了传统

经验模式分解插值求包络的方法,避免了传统方法中不断遍历求极值的时间开销,提高了算法效率. 在均值矩阵滤波组理论上,改进了初等行变换均值滤波

阵,提出了二维信号的快速经验模式分解算法,运算时间比传统的 EMD 方法提高了两到三个数量级.应用快速经验模式分解方法进行图像融合,效果优于其他方法,并且可用于实时处理.

表 1 各种分解方法图像融合运算时间

	BEMD	NLEMD	WT	FBEMD
头骨 CT(256 × 256)	11.488620	42.308374	5.232437	0.597187

参考文献

- [1] Huang N E, Zheng S, Steven R L, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear non-stationary time series analysis [J]. Proc R Soc London Ser A, 1998, 454: 903 – 995.
- [2] Rutkowski T M, Mandic D P, Cichocki A, et al. EMD approach to multichannel EEG data — The amplitude and phase components clustering analysis [J]. Journal of Circuits, Systems and Computers, 2010, 19(1): 215 – 229.
- [3] Looney D, Mandic D P. Multiscale image fusion using complex extensions of EMD [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(4): 1626 – 1630.
- [4] Rehan N, Mandic D P. Multivariate empirical mode decomposition [J]. Proc R Soc A, 2010, 466(2117): 1291 – 1302.
- [5] 徐晓刚, 徐冠雷, 王孝通, 等. 经验模式分解(EMD)及其应用[J]. 电子学报, 2009, 37(3): 581 – 585.
XU Xiao-gang, XU Guan-lei, WANG Xiao-tong, et al. Empirical mode decomposition and its application [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 581 – 585. (in Chinese)
- [6] Han C M, Guo H D, Wang C, et al. A novel method to reduce speckle in SAR images [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(23): 5095 – 5101.
- [7] Yue H Y, Guo H D, Han C M, et al. A SAR interferogram filter based on the empirical mode decomposition method [A]. Proceedings of IGARSS 2001: Geoscience and Remote Sensing Symposium [C]. New York: IEEE, 2001. 2061 – 2063.
- [8] Nunes J C, Bouaoune Y, Delechle E, et al. Texture analysis based on the bidimensional empirical mode decomposition with gray-Level co-occurrence models [J]. Machine Vision and Application, 2003, 2: 633 – 635.
- [9] Yang Zhihua, Qi Dongxu, Yang Lihua. Signal period analysis based on Hilbert-Huang Transform and its application to texture analysis [A]. Proceedings of the Third International Conference on Image and Graphics [C]. Washington DC: IEEE, 2004. 430 – 433.

- [10] Xiong Changzhen, Xu Junyi, Zou Jiancheng, et al. Texture classification based on EMD and FFT [J]. Zhejiang Univ Sci (A), 2006, 7(9): 1516 – 1521.
- [11] Nunes J C, Guyot S, Delechle E. Texture analysis based on local analysis of the bidimensional empirical mode decomposition [J]. Machine Vision and Applications, 2005, 16: 177 – 188.
- [12] Xu Guanlei, Wang Xiaotong, Xu Xiaogang. Multi-band image fusion algorithm based on neighborhood limited empirical mode decomposition [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2006, 25(3): 225 – 228.
- [13] 徐冠雷, 王孝通, 徐晓刚等. 基于限邻域 EMD 的图像增强 [J]. 电子学报, 2009, 34(9): 1635 – 1639.
XU Guan-lei, WANG Xiao-tong, XU Xiao-gang, et al. Image enhancement algorithm based on neighborhood limited empirical mode decomposition [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 34(9): 1635 – 1639. (in Chinese)
- [14] Xu Guanlei, Wang Xiaotong, Xu Xiaogang. Improved bi-dimensional empirical mode decomposition based on 2D assisted signals: Analysis and application [J]. IET Image Processing, 2011, 5(3): 205 – 211.

作者简介



郭 珈 女, 1983 年 8 月出生于辽宁大连市, 现为海军 91550 部队工程师、博士. 研究方向为图像视频处理.

E-mail: guojia828@163.com



王孝通 男, 1962 年 3 月出生于浙江义乌, 现为海军大连舰艇学院航海系教授、博士后、博士生导师. 研究方向为信号分析、图像处理、电子海图等.

E-mail: dljtxyxt@163.com