

二维经验模态分解边界效应抑制研究

蔡碧野, 陈文辉, 李峰

CAI Bi-ye, CHEN Wen-hui, LI Feng

长沙理工大学 计算机与通信工程学院, 长沙 410076

College of Computer & Communication Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China

E-mail: chenhnsd@126.com

CAI Bi-ye, CHEN Wen-hui, LI Feng. Research restraint of border effect on bi-dimensional empirical mode decomposition. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(13): 176-178.

Abstract: Restraint of border effect is a key issue in bi-dimensional empirical mode decomposition. The existing algorithms which are used to restrain border effect are based on one-dimensional empirical mode decomposition with the fundamental thought of signal extension. Therefore, they are not good ways for carrying out border restraint on bi-dimensional signals. In this paper, a new method which restrains border effect has been proposed in bi-dimensional image decomposition. This new method carries out extremal interpolation on border point according to the symmetrical principle, the partial principle and the Newton interpolation principle. Thus we can gain some border points extremal which are further used for linearity cubic interpolation to produce the maximum and the minimum for every border pixel. This new method for restraining border has been applied to bi-dimensional empirical mode decomposition with a good experimental effect.

Key words: BEMD (Bi-dimensional Empirical Mode Decomposition); border effect; IMF (Intrinsic Mode Function)

摘要: 二维经验模态分解中边界效应抑制是一个关键问题, 现有方法主要讨论一维信号端点效应抑制, 基本思想是信号延拓, 不适合对二维信号进行边界效应抑制。提出一种二维图像边界效应抑制方法, 该方法根据对称性、局部性原理和牛顿插值理论, 对边界点进行插值, 获取部分边界极值, 采用这些极值对边界进行线性插值获取图像每个边界像素点的极大值和极小值。把这种边界效应抑制方法应用到二维经验模态分解中收到了较好的实验效果。

关键词: 二维经验模态分解; 边界效应; 固有模函数

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.13.054 **文章编号:** 1002-8331(2008)13-0176-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.4

1 引言

希尔伯特—黄变换^[1] (Hilbert-Huang Transform, HHT) 是最近提出的一种信号分析方法, 它由两部分构成: (1) 经验模态分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD); (2) Hilbert 谱分析。经验模态分解是一种根据信号自身特性进行信号分解的方法, 它主要涉及三个问题: (1) 边界效应抑制; (2) 散乱极值点插值方法设计与选取; (3) 筛选算法的选取与筛选准则的制定。边界效应抑制方法是最近讨论的热点问题^[2-6], 现有文献主要讨论一维信号端点效应抑制。二维信号经验模态分解及其应用是一个新的研究方向^[7,8], 本文对经验模态分解中已有边界处理方法进行分析比较, 提出了一种二维信号边界效应抑制方法——退避算法, 把它应用到经验模态分解中, 取得了较好的实验效果。

2 现有经验模态分解方法边界效应抑制及其缺陷

二维信号逻辑上是一维信号在行方向上的延拓, 理论上可

以采用一维信号 EMD 分解的端点抑制方法来抑制二维图像分解产生的边界效应。邓拥军等^[9]的神经网络方法计算量大, 张郁山等^[10]提出了线性预测模型, 图像数据量大, 边界信号是非线性关系, 他们不适合用于二维信号的边界效应抑制。沈滨等^[7]的二维经验模态分解对图像的行和列分别进行分解, 该方法的边界效应抑制本质上就是一维信号端点效应抑制, 方法简单, 但不能很好地分解图像边界的固有特征。常用的边界抑制方法还有镜像法, 一维信号采用全镜像法使数据量增加到原来的 3 倍, 二维信号增加到原数据量的 9 倍, 采用全镜像法进行边界效应抑制, 时间和空间开销太大; Christpphe 等^[8]对全镜像法进行了改进, 提出了一种新的局部镜像方法, 选择离边界点最近的极值进行镜像, 从一定程度上减少了算法的开销, 提高了分解速度, 但是, 如果二维信号边界区域极值点很少, 算法的时间复杂度和空间杂度就会增加, 边界效应抑制效果受到影响。综上所述, 这些方法应用于二维信号边界效应抑制存在不同程度

基金项目: 湖南省自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.05JJ30123); 湖南省教育厅科学研究项目 (the Scientific Research Program of Hunan Provincial Education Department No.05C246)。

作者简介: 蔡碧野 (1962-), 男, 副教授, 主要研究领域为模式识别、网络与信息安全、数据库; 陈文辉 (1976-), 男, 硕士, 主要研究领域为图像处理、模式识别; 李峰 (1964-), 男, 博士, 教授, 主要研究领域为小波分析与图像处理、模式识别。

收稿日期: 2007-08-21 **修回日期:** 2007-11-19

的问题, 二维图像整体是非平稳非线性信号, 但是可能出现部分区域或者部分行和列是平稳信号, 现有方法都不能有效地解决二维信号边界效应问题。

3 一种新的二维图像边界效应抑制方法

二维经验模态分解边界效应对图像进行筛选分解时图像边界数据发生异变, 使图像边界数据的分解结果偏离预期结果。为了保证图像正常分解, 在图像分解过程中对边界数据进行适当的预处理, 对图像边界数据进行预处理的过程称之为边界效应抑制。本章介绍一种新的二维图像边界效应抑制方法, 它不延拓图像边界, 在图像分解过程中分别对图像边界提取极大值点和极小值点并进行线性立方插值, 获取图像边界数据的极大包络线和极小包络线, 即图像边界点的极大值和极小值。获取图像边界极大值和极小值的过程就是二维经验模态分解边界效应抑制过程。

3.1 二维图像边界效应抑制原理

钟佑明等^[11]提出了希尔伯特-黄变换的统一理论依据——Hilbert 变换的局部乘积定理, Semion^[12]给出了三个假设理论对希尔伯特-黄变换的理论基础进行了详细阐述。方法的理论依据是对称性、局部性原理和多项式插值理论。图像边界点是图像中的特殊点, 二维经验模态分解过程中他们的值受到外界的影响, 很容易发生变异, 很难获得他们的极值。为了抑制边界数据的异变, 提出了一种退避算法, 算法分两步获取边界点极值: (1) 获取二维图像顶点极值; (2) 获取边界点极值和插值边界极值包络线。

牛顿插值分为节点任意分布的牛顿插值和等距节点的牛顿插值, 考虑到图像像素间的等距性, 本文采用等距节点的牛顿插值公式。牛顿多项式插值理论参阅文献[13]。

3.2 二维图像边界效应抑制算法描述

二维经验模态分解中边界效应抑制实质是在图像分解过程中采用恰当的边界处理方法获取图像边界信号正确的极大值和极小值, 使图像准确分解。设 $f(i, j)$ 为原始图像函数, 下面简单描述二维经验模态分解中的边界效应抑制算法——退避算法。

(1) 获取图像顶点极值

①以图像顶点为角点, 选取 $K \times K$ 像素的矩形区域, 获取该区域的局部均值 $mean = \sum_{i=x_0}^{x_0+K} \sum_{j=y_0}^{y_0+K} f(i, j)$, x_0, y_0 表示顶点坐标, K 值符号根据顶点位置调整;

②采用牛顿插值从水平、垂直和对角 3 个方向对图像顶点进行插值, 分别获取图像顶点水平、垂直和对角插值, 求出顶点插值均值;

③根据图像顶点的局部均值和插值均值获得该点的极大值和极小值。

(2) 获取图像边界像素点极值, 分别对每一条边求极值给出图像第一行数据的极值包络线算法, 其他边界依此类推。

初始化: 令 $count=1, i=1$ // $count$ 表示极值数目, $i=1$ 表示取图像的第一行

// 图像左上角顶点极值做为第一行数据插值的左端点

$Location[count]=1$ // $Location$ 数组存储极值点位置, $Extremum$ 数组存储极值

$Extremum[count]$ =该行的第一个像素点(左上角图像顶点)极值

FOR $j=2$ to $N-1$ // 提取边界极值点位置及其极值

IF $f(i, j)$ 是 5 邻域极值

$count=count+1, Location[count]=j, Extremum[count]=f(i, j)$

ELSE IF $f(i, j)$ 是水平和垂直 3 邻域极值

从 5 个邻域点方向计算该像素点的牛顿插值及他们的均值

$avgnewton5$

IF $avgnewton5 > f(i, j)$ { $avgnewton5 < f(i, j)$ } // $avgnewton5$ 做为该点的极值

$count = count + 1, Location [count] = j, Extremum [count] =$

$avgnewton5$

ELSE // $f(i, j)$ 做为该点的极值

$count=count+1, Location[count]=j, Extremum[count]=f(i, j)$

END IF

ELSE IF $f(i, j)$ 是水平 2 邻域极值

从垂直和水平 3 个邻域点方向计算该像素点的牛顿插值及他们的

均值 $avgnewton3$

IF $avgnewton3 > f(i, j)$ { $avgnewton3 < f(i, j)$ } // $avgnewton3$ 做为该点的极值

$count = count + 1, Location [count] = j, Extremum [count] =$

$avgnewton3$

ELSE // $f(i, j)$ 做为该点的极值

$count=count+1, Location[count]=j, Extremum[count]=f(i, j)$

END IF

END IF

END IF

END IF

END FOR

// 图像右上角顶点极值做为第一行数据插值的右端点

$count=count+1$

$Location[count]=N$

$Extremum[count]$ =该行最后一个像素点(右上角图像顶点)极值

IF $count \geq 3$ // 当极值个数大于等于 3 时进行插值

对边界极值 $Extremum$ 进行线性立方插值, 获得边界极值包络线;

ELSE

把所有边界点做为边界极值包络线;

END IF

3.3 二维图像边界效应抑制实验分析

前两小节分别对二维图像边界效应抑制原理和边界效应抑制算法进行了介绍, 本节用一个实例来验证算法的可行性。在 CPU 为 1.73 G, 内存 512 M 的 Windows XP 环境下用 matlab7 进行仿真实验, 图 1 是 matlab 系统自带的 Lena 图像第一行数据采用退避算法得到的极值包络线。选择图像顶点局部区域大小为像素, 图 1(a) 中采用退避算法得到的图像极大值中有 13 个大于边界线性极大值, 图 1(b) 中采用退避算法得到的图像极小值中有 19 个小于边界线性极小值。实验结果表明退避算法得到的边界包络更光滑, 更符合图像边界变化的趋势。获取 Lena 图像第一行数据的极大和极小值的时间是 0.24 s。采用退避算法更好, 更快地获取到图像边界数据的极值。

4 新的边界效应抑制方法在二维经验模态分解中的应用

根据第 3 章的二维图像边界效应抑制方法, 可以获得图像每个边界点的极大值和极小值, 根据二维图像极值定义分别找

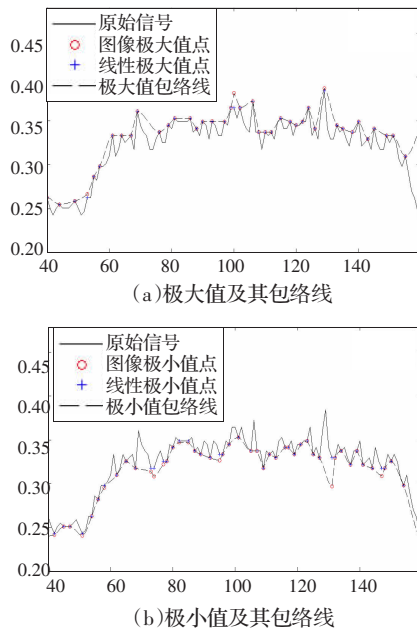


图1 Lena 图像第一行数据的插值结果

出图像内部像素的极大值和极小值点,把获得的图像边界极大值和极小值分别作为极大包络面和极小包络面的边界数据,以边界点和内部极值点为基础,对极大值和极小值分别应用散点三角划分和立方插值方法进行数据插值得到图像的上下包络面和中值包络面,根据文献[8]的筛选算法进行二维经验模式分解。

在 3.3 节相同的软硬件环境下采用退避算法做为边界效

应抑制方法,对二维经验模式分解进行仿真实验,图 2(a)是 Brodatz 标准纹理库的草地图像,应用二维经验模式分解算法把它分解成 4 幅二维固态模函数图像和 1 幅残差图像,如图 2(b)~(f)所示,分解时间为 7.98 s,它们清晰反映了图像纹理变化趋势,图像边缘纹理清晰;图 2(h)~(k)分别对应该图 4 个二维固态模函数(Bi-dimensional IMF, BIMF)和残差的灰度函数值图像, BIMF 灰度函数值图像有明显的频率特性,图像边界效应得到了很好的抑制,图像边界信息得到了真实准确的分解,没有受到边界效应的影响。Lena 图像是 matlab 系统自带的一幅普通图像,图 3 是 Lena 图像的分解结果,图 2 是自然纹理图像的分解结果,无论是纹理图像还是非纹理图像,采用退避算法进行边界效应抑制都得到了较好的实验效果。本文算法不仅适合非线性非稳态自然纹理图像,而且对普通图像也非常有效。

5 结束语

本文根据对称性、局部性原理和牛顿插值提出了一种二维图像边界效应抑制方法,该方法不对图像进行延拓,计算量小,牛顿插值计算复杂度低,边界效应抑制的时间和空间开销都较小。把它应用到二维经验模式分解中,实验表明,该方法快速、高效,降低了二维经验模式分解的时间复杂度和空间复杂度,得到了比较理想的实验结果。本文对顶点的极值插值只从三个方向进行,存在一定误差,以后将从多方向进行插值提取顶点极值,牛顿插值法是一种多项式插值方法,误差较大,在后面的工作中将尝试改用其他的插值方法,进一步提高边界效应抑制强度和二维经验模式分解的精度。

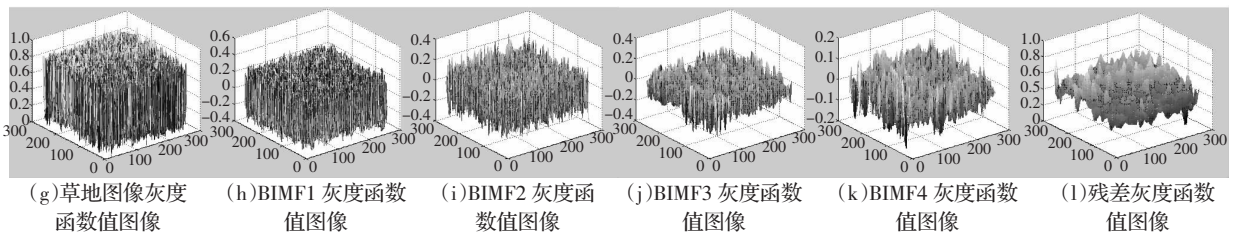
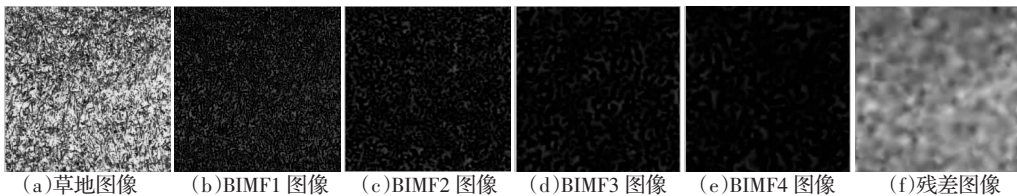


图2 自然纹理图像 BEMD 分解结果

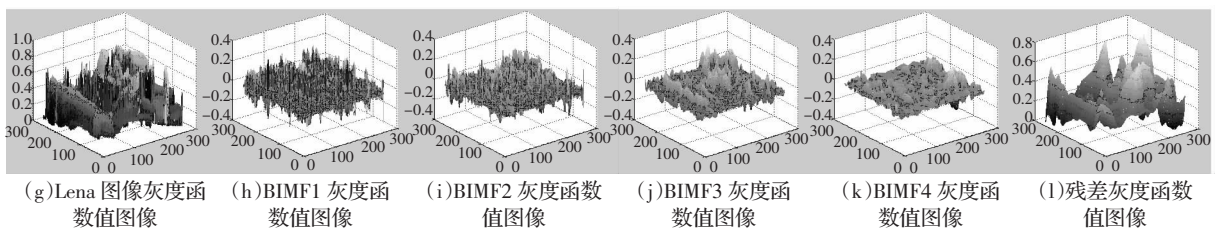
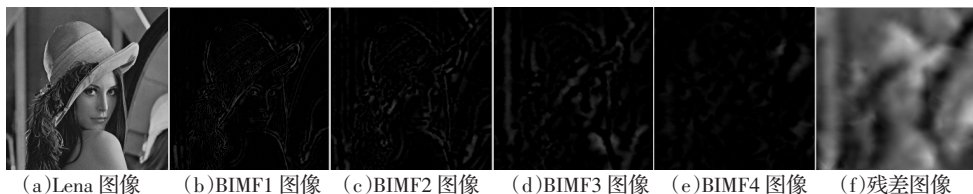


图3 Lena 图像 BEMD 分解结果

(下转 223 页)