

基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取

郑玲 张玢 林洁 付立辰

(华北电力大学控制与计算机工程学院 北京 102206)

摘要 为了利用经验模式分解(EMD)方法对具有不同信噪比的信号提取边缘信息,提出一种采用中位数绝对离差方法来估计噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法。该算法首先采用 EMD 方法求得各尺度残余分量的斜率信号;其次采用阈值化方法去除斜率信号中的噪声,其中噪声阈值采用中位数绝对离差方法求得;最后经空间一致性检验,输出信号的边缘信息。仿真实验结果显示,基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取可以准确提取信号边缘信息,同时抑制噪声信号。

关键词 边缘提取,经验模式分解,多尺度,中位数绝对离差

中图分类号 TN911.7 **文献标识码** A

Multi-scale Edge Detection in the EMD Domain Using the Adaptive Noise Threshold

ZHENG Ling ZHANG Bin LIN Jie FU Li-chen

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract A multi-scale edge detection in the EMD domain using the median absolute deviation to estimate the noise threshold was proposed to detect the edges of noisy signals with different signal to noise ratios. The new algorithm first calculates the slope of the EMD residuals in scales. Second, it eliminates the noise in the slope signal by thresholding, the noise threshold of which is estimated by the median absolute deviation. At last, it outputs the edge information by the spatial consistence test. Simulation results show that, the multi-scale edge detection in the EMD domain using the adaptive noise threshold can accurately detect the edges of signals, and suppress the noise.

Keywords Edge detection, Empirical mode composition method, Multi-scale, Median absolute deviation

1 引言

研究精确定位的边缘提取方法一直是图像处理和语音信号处理领域中的一个重要课题。对带噪信号提取边缘时,通常可以先用平滑滤波器对信号进行平滑,再对平滑后的信号求一阶微分,或者对原信号直接用一阶微分滤波器进行滤波。但在单一尺度上或采用单一平滑滤波器的边缘提取面临“不确定原理”^[1]带来的两难问题,即平滑算子去除了噪声,却提高了边缘定位的不确定性;反之,若提高了平滑算子对边缘的敏感性,却同时提高了对噪声的敏感性。为解决去除噪声与边缘精确定位之间的矛盾,对滤波器空间尺度的选取常采用多尺度分析方法,即将信号进行多尺度分解^[2]得到不同尺度的信号,或利用不同尺度的滤波器平滑信号,然后在大尺度信号或利用大尺度滤波器得到的平滑信号中提取重要边缘,在小尺度信号或小尺度滤波器得到的信号中进行精确定位。

经验模式分解(empirical mode composition method, EMD)是 Hilbert-Huang 变换的最重要操作。它不仅吸取了小波变换多尺度分析的优势,同时由于它是一种基自适应选取的分析方法,因此克服了小波变换中小波基选择的难题。

相对于小波变换的优势,最近提出许多基于 EMD 方法的多尺度边缘检测算法,如基于 EMD 方法的多尺度边缘提取^[1]、基于 BEMD 和自适应阈值的多尺度边缘检测^[3]、二维 EMD 应用在图像边缘特征提取中的仿真研究^[4]等。借鉴基于 EMD 方法的多尺度边缘检测的思想,提出一种采用中位数绝对离差方法估计算法中所需噪声阈值的多尺度边缘提取算法。仿真实验结果显示,所提方法可以较准确地提取信号边缘信息。与文献^[1]相比,笔者所提算法给出了明确的噪声阈值选取方法。

2 EMD 方法简介

希尔伯特-黄变换^[5](Hilbert-Huang Transform, HHT)是由 Huang 等人于 1998 年提出的一种处理非线性、非平稳信号的两步骤时频分析方法。它首先采用 EMD 方法获得有限数目的窄带信号,然后利用 Hilbert 变换和瞬时频率方法获得信号的时频谱,其中 EMD 操作最重要。与传统数据处理方法不同,EMD 方法^[6]认为一组数据可以分解为若干 IMF (Instinct Mode Function, IMF) 和一个趋势项之和。IMF 必须满足以下两个条件:

郑玲(1962-),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络应用技术、电子商务技术、数据库与数据仓库技术、数据挖掘技术、管理信息与决策支持系统、智能控制与智能自动化等,E-mail: zhengling1221@126.com;张玢(1985-),女,硕士生,主要研究方向为计算机网络应用技术、数据库与数据仓库技术。

(1)在一段数据中极值点数目等于过零点数目或者最多相差为1;

(2)在任何一点由极大值点和极小值点分别定义的包络的平均值为零。

EMD方法有两个作用:去除叠加波和使数据波形更加对称。其具体步骤如下:

(1)找出待分解信号 $x(i)$ 的所有极大值点和极小值点,并采用三次样条函数分别对极大值点和极小值点拟合,得到 $x(i)$ 的上、下包络线;

(2)计算上、下包络线的均值,记为 $m_1(i)$ 。那么 $x(i)$ 的第1个IMF由式(1)计算:

$$h_1(i) = x(i) - m_1(i) \quad (1)$$

(3)理论上, $h_1(i)$ 是1个IMF,但一般 $h_1(i)$ 并不满足IMF的两个条件。因此,需要对 $h_1(i)$ 重复进行上述两步操作共 k 次,直到 $h_{1k}(i)$ 符合IMF的两个条件。这样就得到了第1个IMF分量 $c_1(i)$,它代表信号 $x(i)$ 中最高频率分量:

$$\begin{cases} h_{1(k-1)}(i) - m_{1k}(i) = h_{1k}(i) \\ c_1(i) = h_{1k}(i) \end{cases} \quad (2)$$

(4)将 $c_1(i)$ 从 $x(i)$ 中分离出来,即得到一个去掉高频分量的残余信号 $r_1(i)$,即

$$r_1(i) = x(i) - c_1(i) \quad (3)$$

将 $r_1(i)$ 作为待分解信号,重复步骤(1)至(3),得到第2个IMF分量 $c_2(i)$ 。继续对残余信号进行 $n-2$ 次筛分,就得到 n 个IMF分量。这样就有:

$$\begin{cases} r_1(i) - c_2(i) = r_2(i) \\ \vdots \\ r_{n-1}(i) - c_n(i) = r_n(i) \end{cases} \quad (4)$$

当 $c_n(i)$ 或 $r_n(i)$ 满足给定的终止条件(通常当 $r_n(i)$ 成为1个单调函数)时,循环结束。由式(3)和式(4)可以得到:

$$x(i) = \sum_{j=1}^n c_j(i) + r_n(i) \quad (5)$$

至此,我们得到 n 个模态和1个趋势项 $r_n(i)$ 。其中, $r_n(i)$ 为残余函数,代表信号的平均趋势。而各个IMF分量 $c_1(i), c_2(i), \dots, c_n(i)$ 分别包含了待分解信号中不同时间特征尺度大小的成分,其尺度依次由小到大。因此,各IMF分量也就相应包含了从高到低不同频率段的成分,每一个频率段所包含的频率成分都是不同的,且随信号不同而变化。

3 基于自适应噪声阈值的EMD域多尺度边缘提取

边缘检测的基本思想是在信号中找出具有局部斜率极值的信号元点。信号斜率表示为:

$$k_n(i) = \frac{dx(i)}{di} \quad (6)$$

基于自适应噪声阈值的EMD域多尺度边缘提取算法就是利用EMD方法的多尺度滤波特性,对待分析信号在多个尺度上进行平滑、斜率极值检测,从而提取边缘信息。

3.1 采用EMD方法的信号多尺度分解

根据式(5)可得:

$$x(i) - \sum_{j=1}^n c_j(i) = r_n(i) \quad (7)$$

由于 $c_j(i)$ 是窄带高频信号,因此 $r_n(i)$ 就是 $x(i)$ 经不同平滑滤波器输出的、在不同尺度上的数据。 n 越小, $r_n(i)$ 就越接近待分析数据; n 越大, $r_n(i)$ 就越平滑。因此,根据多尺度边缘提取的基本思想可知,可以在EMD域对信号进行多尺度边缘提取。图1显示了一个对信号 $x(i)$ 采用EMD方法分解得到 $c_1(i)$ 到 $c_6(i)$ 共6个IMF分量。

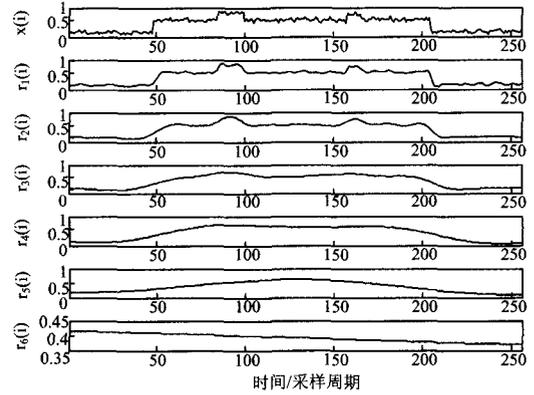


图1 待分解信号 $x(i)$ 与采用EMD方法分解得到的多尺度残余信号

3.2 阈值化

利用EMD方法得到不同尺度的数据 $r_n(i)$ 后,利用一阶有限差分近似计算 $r_n(i)$ 的斜率 $k_n(i)$:

$$k_n(i) = \frac{dr_n(i)}{di} = r_n(i+1) - r_n(i) \quad (8)$$

信号 $k_n(i)$ 中仍然包含许多由噪声和小锐变引起的峰值,可以通过选取合适的阈值来消除噪声。若选取一个阈值 T_n ,如果 $k_n(i) < T_n$,则 $k_n(i) = 0$ 。

3.3 基于中位数绝对离差的噪声阈值估计方法

本文用到的噪声软阈值函数为^[7-9]:

$$T_n = \sigma_n \sqrt{2 \ln(L)} \quad (9)$$

该噪声阈值选取函数由Donoho和Johnstone提出,并广泛应用于基于小波变换或EMD方法的信号降噪算法。式中, σ_n 为信号 $k_n(i)$ 所含噪声的标准差,由式(10)计算求得; L 为信号 $k_n(i)$ 的长度。

$$\sigma_n = \frac{\text{median}(|k_n(i) - \text{median}(k_n(i))|)}{0.6745} \quad (10)$$

式中, $\text{median}(k_n(i))$ 表示对信号 $k_n(i)$ 求中位数。

3.4 空间一致性检验

边缘聚焦算子有两种:一种是比较几种不同分辨率尺度水平上得到的边缘信号,并将这些边缘进行匹配;另一种是将不同精度水平上得到的边缘信号通过综合分析而结合起来。本文采用第一种方法,将相邻尺度上的边缘信号在左右各1个点的邻域中进行匹配,并将这个过程称为空间一致性检验。即如果

$$k_n(i_0) > 0 (\text{边缘点}) \quad (11)$$

只要

$$k_{n+1}(i_0+1) + k_{n+1}(i_0) + k_{n+1}(i_0-1) > 0 \quad (12)$$

则 i_0 为边缘点;否则 i_0 不是边缘点。

图 2 为基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取的算法流程图。

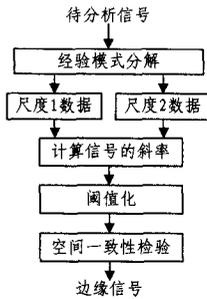


图 2 算法流程图

4 实验结果与分析

本文使用 MATLAB 仿真软件对基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法进行评估。仿真参数设置: EMD 方法的筛选门限 SD 取 0.2;图 3 所示带噪信号 $x(i)$ ($x(i) = s(i) + n(i)$),其中 $s(i)$ 为原始信号, $n(i)$ 为高斯白噪声,信噪比为 18dB 作为待分析信号; $s(i)$ 的 6 个跳变点分在第 49、85、100、158、166 和 205 点处。

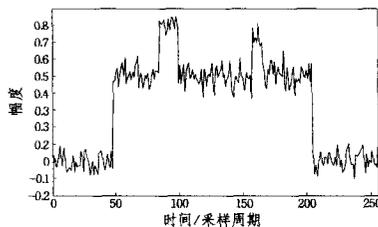
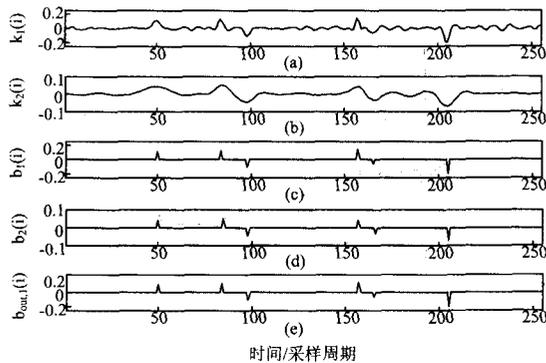


图 3 带噪声的信号 $x(i)$



(a)第 1 个尺度上斜率信号;(b)第 2 个尺度上斜率信号;(c)经过阈值检测的第 1 个尺度上斜率信号;(d)经过阈值检测的第 2 个尺度上斜率信号;(e)经空间一致性检验而输出的边缘信号。

图 4 采用基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法提取信号 $x(i)$ 的边缘信息

图 4 给出了一个采用本文所提算法提取信号边缘的例

子。由图 4(a)和图 4(c)的对比,以及图 4(b)和图 4(d)的对比可以发现,通过对斜率信号进行阈值化处理之后,信号边缘所对应的峰值得到凸显,而噪声得到明显抑制。图 4(e)显示了图 4(c)所示信号和图 4(d)所示信号经空间一致性检验而最终获得的边缘信号。该信号中峰值位置对应于信号 $x(i)$ 的边缘位置,这些峰值的位置列于表 1 中。由表 1 可以发现,基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法检测出的峰值位置与信号 $x(i)$ 中的边缘位置几乎完全相同,该算法的检测准确性很高。

表 1 采用基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法检测出的边缘位置

信号 $s(i)$ 的边缘位置	49	85	100	158	166	205
检测出的边缘位置	50	84	98	157	165	205

结束语 本文提出一种基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法。该算法基于 EMD 方法的多尺度滤波特性,对残余信号的斜率信号进行自适应阈值化处理和空间一致性检测,实现从带噪信号中提取有用信号的边缘信息。仿真实验表明,该算法所提取边缘位置准确,检测结果不受噪声影响。这种基于自适应噪声阈值的 EMD 域多尺度边缘提取算法在语音信号的基音周期提取和图像信号边缘提取方面具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 韩春明,郭华东,王长林,等.基于 EMD 方法的多尺度边缘提取[J].高技术通讯,2003,13(6):13-17
- [2] 翟俊海,王华超,翟梦尧,等.基于小波多尺度奇异值分解的人脸识别[J].计算机科学,2011,38(6):283-285
- [3] 李惠光,尹玉.基于 BEMD 和自适应阈值的多尺度边缘检测[J].工业控制计算机,2008(6):63-65
- [4] 万建,任龙涛,赵春晖.二维 EMD 应用在图像边缘特征提取中的仿真研究[J].系统仿真学报,2009,21(3):799-801
- [5] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary time series analysis[J]. Proceeding of the Royal Society A: Math, Physical and Engineering Science, 1998, 454(A):903-995
- [6] 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
- [7] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaption via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81:425-455
- [8] 李卿,张国平,刘洋.基于 EMD 的拉曼光谱去噪方法研究[J].光谱学与光谱分析,2009,29(1):142-145
- [9] 潘泉,戴冠中,张洪才,等.基于阈值决策的子波域去噪方法[J].电子学报,1998,26(1):115-121