

文章编号: 2095-4980(2016)05-0768-04

## 添加自适应高频谐波的改进经验模态分解算法

甘一鸣, 任伟基, 许家琛

(北京理工大学 信息与电子学院, 北京 100081)

**摘要:** 提出了一种改进的添加自适应高频谐波进行经验模态分解(EMD)的算法, 减少了 EMD 原始算法中频谱混叠现象。通过对原始信号的预处理, 自动提取出原始信号中包含的最高频率分量, 并根据提取出的频率分量进行高频谐波添加。仿真验证了添加自适应高频谐波的 EMD 算法, 可有效减少 EMD 算法中频谱混叠现象, 同时解决了高频谐波添加中频率难以确定的问题。

**关键词:** 经验模态分解; 模态混叠; 高频谐波

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201605.0768

## Empirical Mode Decomposition adding self-adaption high frequency harmonic wave

GAN Yiming, REN Weiji, XU Jiachen

(School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** An improved Empirical Mode Decomposition(EMD) method adding high frequency harmonic wave with self-adaption is put forward, aiming to address the problem of the mode aliasing in the original empirical mode decomposition algorithm. The method tries to extract the highest frequency component of the original signal and adds it to the original signal. The simulation shows that the improved EMD algorithm could solve both the mode aliasing problem and the problem that the frequency of adding wave is difficult to determine.

**Key words:** Empirical Mode Decomposition; mode aliasing; high frequency harmonic wave

经验模态分解(EMD)<sup>[1]</sup>算法是一种全新的信号处理方法, 最早由 NordenE Huang 于 1998 年提出。EMD 算法的基本方法是先将复杂信号分解为一系列包含原始信号局部特征的本征模函数, 再经过一定的变换得到有物理意义的信息。EMD 算法的目的是将多分量的信号一步步分解为独立分量的信号, 其非线性、非平稳信号的处理方面, 有独特的优势。EMD 算法应用广泛, 但有一个重要缺陷是模态混叠问题<sup>[2]</sup>, 最早同样由 Huang 在用 EMD 分解含有间断信号时发现。

针对 EMD 算法在应用过程中出现的模态混叠问题, 许多学者采取了针对性的解决方法。文献[3]提出了整体平均经验模态分解, 该算法虽然可行, 但需多达上百次的 EMD 分解运算, 明显提升了运算量, 降低了效率。秦品乐<sup>[4]</sup>等提出了在进行 EMD 分解之前对信号进行预处理, 然后使用小波分解等方法对信号进行重构, 相当于对原始信号进行滤波, 但滤波并不能完全消去信号中的异常部分。还有一种比较常见的方法是辅助信号法, 即分解之前选择一个<sup>[5]</sup>或多个信号<sup>[6]</sup>作为辅助信号, 通过在原信号中加入辅助信号, 以改变原信号的极值分布, 从而消除模态混叠, 但由于 EMD 算法存在位置敏感性问题, 效果并不理想。文献[7]提出了一种简单的处理模态混叠的问题: 高频谐波加入法, 对原始信号加入一个高频谐波之后再 EMD 分解, 但存在高频谐波的频率确定问题。本文针对高频谐波添加法做出改进, 提出了一种自适应的高频谐波添加方法, 和原始 EMD 算法比较, 该算法对模态混叠问题有明显的抑制效果。

### 1 EMD 算法的模态混叠问题

EMD 算法较常见的一个问题是模态混叠, 即信号经过筛分后, 出现本征模分量(Intrinsic Mode Function, IMF)

收稿日期: 2015-06-30; 修回日期: 2015-09-08

包含不同时间尺度组份的情况。模态混叠导致不能根据时间特征尺度，对不同的模态成分进行有效分离，主要是由于对信号中的间断成分或者密频分量<sup>[8]</sup>求取极值点包络线时，产生极值点误差。解决模态混叠问题是 EMD 算法改进的一个重要方向。

## 2 自适应高频谐波添加

高频谐波添加是辅助信号添加方法中的特殊情况，添加的辅助信号是一个比原始信号频率高多倍的正弦信号。通过将高频谐波加入到原始信号中，淹没某些间断成分，从而减少信号分解过程中的模态混叠。由于 EMD 分解时，IMF 分量的顺序由高频到低频，因此添加的高频谐波分量将会被首先分解出来。在考察真实的 IMF 分量时，只需要将第 1 个 IMF 分量舍弃，从第 2 个 IMF 分量开始，即可得到相对正确的结果。

针对不同的初始信号，高频谐波的频率不是固定的，高频谐波添加中频率的提取和确定是非常关键的。对于 20 Hz 的原始信号来说，1 kHz 的频率分量可被认为属于高频谐波，但对于 500 Hz 信号来说，1 kHz 的信号就不属于高频谐波了。图 1 和图 2 是对频率分别为 400 Hz 和 50 Hz 的信号添加 10 kHz 的高频谐波，然后进行 EMD 分解的仿真图。

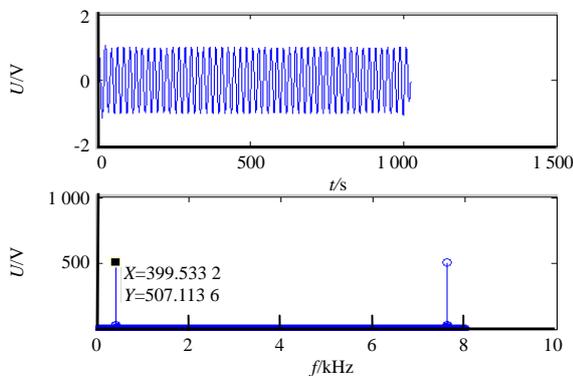


Fig.1 EMD used on 400 Hz signal adding 10 kHz harmonic wave  
图 1 400 Hz 信号添加 10 kHz 高频谐波的 EMD 分解图

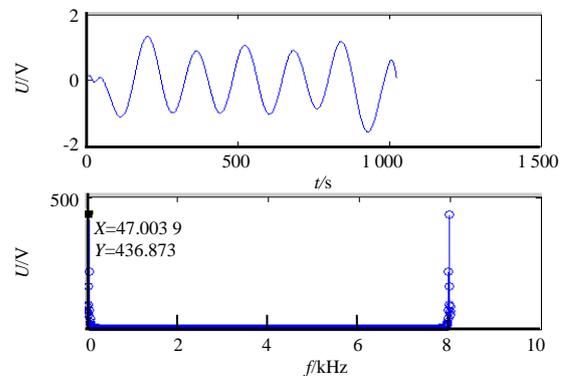


Fig.2 EMD used on 50 Hz signal adding 10 kHz harmonic wave  
图 2 50 Hz 信号添加 10 kHz 高频谐波的 EMD 分解图

图 3 和图 4 则是同样使用了 10 kHz 的高频谐波，分解对象变成 20 kHz 和 200 Hz 的信号后进行 EMD 分解的仿真效果图。

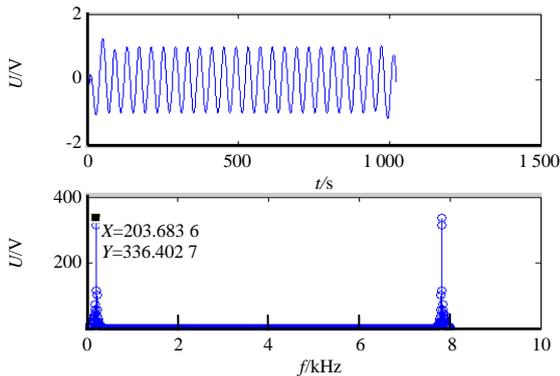


Fig.3 EMD used on 20 kHz signal adding 10 kHz harmonic wave  
图 3 20 kHz 添加 10 kHz 高频谐波的 EMD 分解图

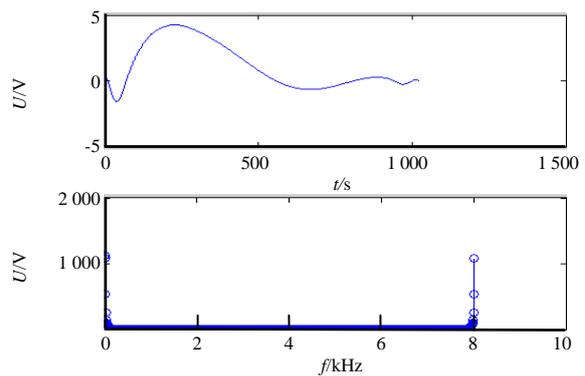


Fig.4 EMD used on 200 Hz signal adding 10 kHz harmonic wave  
图 4 200 Hz 添加 10 kHz 高频谐波的 EMD 分解图

通过仿真结果可以看出，高频谐波添加中的频率是该 EMD 改进算法的关键。不正确的高频谐波添加频率，不但没有消除模态混叠现象，且原始信号的频率分量没有准确提取出。因此在采用高频谐波添加方法进行 EMD 算法改进中，高频谐波的选取不能是固定的，而是自适应的。

本文提出了一种自适应的高频谐波添加方法，即先对已有的信号进行一次 EMD 分解，对提取出的第 1 个 IMF 分量进行快速傅里叶变换，然后通过对频谱信息的提取，得到第 1 个 IMF 分量中包含的频率分量。高频谐波的高频定义为原始信息中高频分量的 50 倍以上的频率，将新定义的高频信号加入原信号之后，再次进行 EMD 分解，分解得到的信号舍弃第 1 个 IMF 分量，得到的就是需要的分解结果。

### 3 与原始 EMD 算法的比较

采用 2 个正弦分量组成的信号作为原始信号： $x = \sin(400 \times 2\pi t) + \sin(80 \times 2\pi t)$ 。通过 Matlab 对改进前的 EMD 算法与改进后的 EMD 算法进行比较,图 5 和图 6 是改进前的 EMD 算法对原始信号进行分解的前 2 个 IMF 分量,图 7 和图 8 是进行高频谐波添加改进之后的 EMD 算法对原始信号进行分解的前 2 个 IMF 分量。

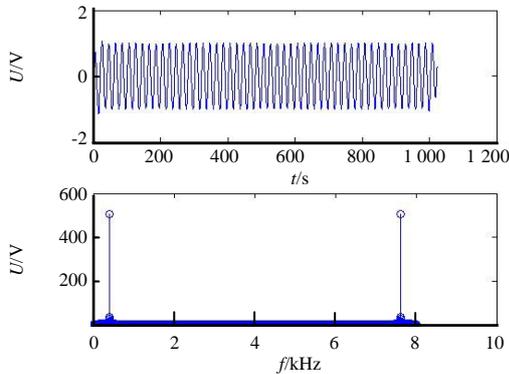


Fig.5 IMF1 from EMD  
图 5 EMD 算法分解 IMF1 分量

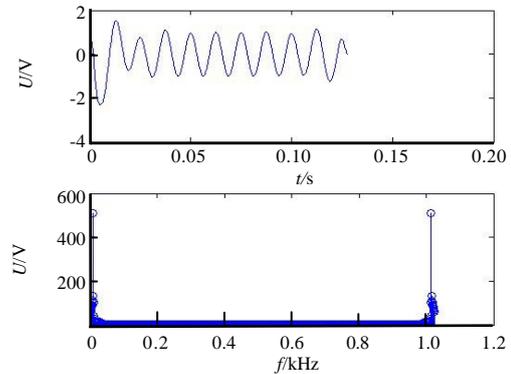


Fig.6 IMF2 from EMD  
图 6 EMD 算法分解 IMF2 分量

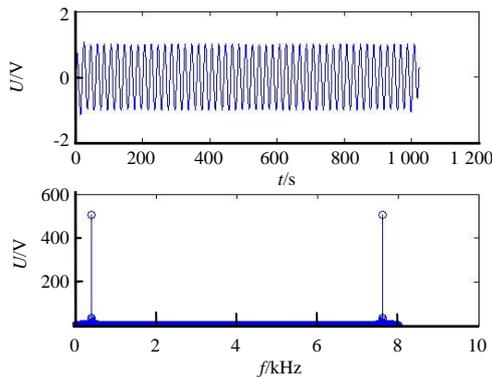


Fig.7 IMF1 from improved EMD  
图 7 改进 EMD 算法分解 IMF1 分量

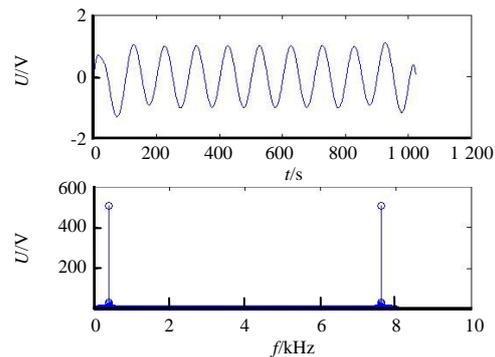


Fig.8 IMF2 from improved EMD  
图 8 改进 EMD 算法分解 IMF2 分量

通过仿真结果明显地观察到,改进之后的 EMD 算法分解得到的 IMF2 分量中,多余的频率分量要少很多。但在计算效率上,改进之前的 EMD 算法仿真计算时间是 0.431 s,改进之后的 EMD 算法仿真计算时间为 0.671 s,改进之后的 EMD 算法计算效率略微降低。

### 4 结论与展望

自 EMD 算法提出以来,很多学者对 EMD 算法进行改进,开发了很多解决模态混叠等 EMD 算法缺陷的方法。本文在前人提出的高次谐波添加方法上进行了改进,提出了一种自适应的高次谐波添加方法,对其进行了 Matlab 仿真,经过自适应的高次谐波添加后,EMD 算法分解效果有明显改善,一定程度上抑制了模态混叠问题。但在进行仿真及试验过程中,也发现了很多问题,改进后的 EMD 算法频率分辨力没有改善,对高频信号的处理不够理想,在处理实际信号(包含噪声)时,对信噪比有一定要求等问题,还有待继续去研究和发掘。

#### 参考文献:

- [1] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society A Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454(1971): 903-995.
- [2] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R. A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2003, 31(1): 417-457.

(下转第 777 页)