



Atenuação de ruídos coerentes utilizando EMD

Felipe Zumba Amorim, CPGeo e UFRN, Brasil
Luiz Henrique Gomes Popoff, CPGeo e UFRN, Brasil
Gabriel de Almeida Araújo, CPGeo e UNP, Brasil
Dr. Liacir do Santos Lucena, UFRN, Brasil

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This paper will present a new technique of coherent noise filtering based on Empirical Mode Decomposition (EMD). We use this method for coherent noise attenuation with dipping events in pre-stack sections in the frequency-space domain and compare it with other filtering techniques. This tool was implemented in the Java platform and can be applied to any digital data. For practical tests were used: a real data and a synthetic data. The developed method showed fairly satisfactory results for the case of real seismic data.

Introdução

Os dados sísmicos apresentam vários tipos de ruídos coerentes que precisam ser atenuados, como o *ground roll* e as múltiplas.

O projeto de filtros para eliminação ou atenuação de sinais indesejáveis ou ruídos constitui um grande desafio tecnológico devido à não-linearidade e não-estacionariedade dos dados. Apesar dos progressos registrados, há necessidade de novas idéias para melhorar a eficácia desses filtros visando à obtenção de imagens da subsuperfície com melhor resolução.

O desenvolvimento de novas tecnologias na área de processamento de sinais, o surgimento de novos conceitos matemáticos e o avanço computacional têm permitido um aperfeiçoamento da análise de dados sísmicos. Este trabalho está enquadrado nesta categoria e tem como objetivo apresentar uma nova técnica de atenuação dos ruídos aleatórios e coerentes utilizando a Decomposição em Modos Empíricos no domínio F-X, com a finalidade de aumentar a razão Sinal/Ruído do dado sísmico.

Uma vez que o traço sísmico é um sinal não-linear e não-estacionário, a atenuação do ruído de *ground roll* utilizando a transformada de Fourier não é tão eficiente, pois utiliza como base da transformada os senos e cossenos que são funções estacionárias. O método EMD, desenvolvido por Huang (et. al. 1998), apresenta-se como uma técnica com grande capacidade de aperfeiçoar os resultados de atenuação desses ruídos.

A técnica EMD decompõe os sinais, de uma forma adaptativa, numa soma de um número finito de

componentes oscilatórias (ou modos), que constituem blocos construtivos naturais “**intrínsecos**” desses sinais. Estas componentes são representadas por **Funções associadas aos Modos Intrínsecos (IMFs)**, extraídas diretamente dos sinais e “bem comportadas” do ponto de vista matemático. Elas são equivalentes a formas senoidais modificadas localmente por modulação em frequência e amplitude.

As IMFs representam modos de diferentes frequências, e são obtidas de uma maneira iterativa. A primeira IMF possui as maiores frequências enquanto a última se apresenta com as menores frequências. Essas IMFs podem ser subtraídas do dado original de acordo com o filtro desejado. Utilizamos um artifício onde é possível subtrair porcentagens variáveis das IMFs, alterando o fator de atenuação do filtro.

O filtro baseado na decomposição em modos empíricos no domínio F-X tem, portanto, como características ser adaptativo (base da decomposição retirada do próprio dado), não-linear e não-estacionário.

Decomposição em Modos Empíricos

A decomposição em modos empíricos decompõe os dados em pequeno número de funções de modo intrínseco (IMF). As IMFs representam diferentes modos oscilatórios intrínsecos presentes nos dados, que podem corresponder a estruturas correlacionadas ou padrões associados a efeitos de certos fenômenos embutidos nos sinais. Para ser uma IMF é preciso satisfazer duas condições: 1) o número de zeros e extremos iguais ou diferentes em um; 2) para qualquer ponto, o valor da média da envoltória máxima com a envoltória mínima é igual a zero.

Para encontrar as IMFs de um sinal é necessário determinar seus máximos e mínimos locais. Depois de determinados os máximos e mínimos, utilizamos a técnica *cubic spline* para interpolação dos pontos criando-se assim os envelopes máximos e mínimos. A média entre o envelope máximo e mínimo é calculada e subtraída do dado de entrada. Este processo é denominado *Sifting*. O dado resultante será a primeira IMF se satisfizer as condições descritas acima. Depois de encontrada a primeira IMF, ela é subtraída do dado original e o resultado é tratado como um novo dado e submetido ao mesmo processo descrito para se obter as outras IMFs. Esse processo é repetido até que o resíduo seja uma função com no máximo 3 extremos, não podendo mais obter suas envoltórias.

O sinal original pode ser reconstituído pela soma de todas as IMFs e do resíduo.

A figura 1 mostra o traço sísmico original e a figura 2 mostra sua decomposição em 6 IMFs mais o resíduo. O

dado original é não estacionário e não linear. As IMFs são obtidas iterativamente das frequências maiores (IMF1) até as frequências menores (IMF6).

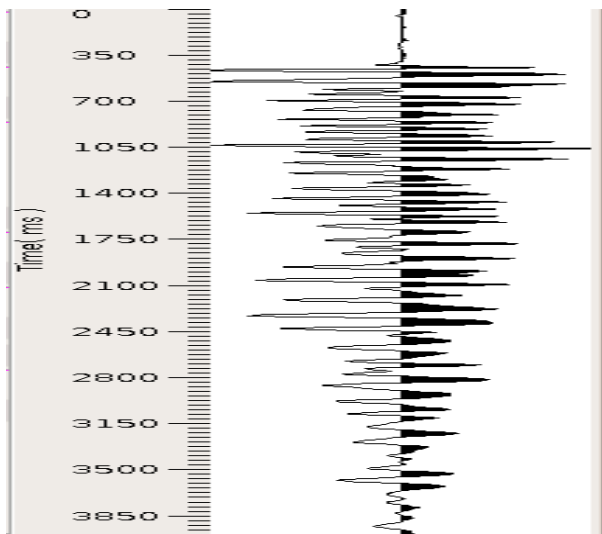


Figura 1 – Traço sísmico original.

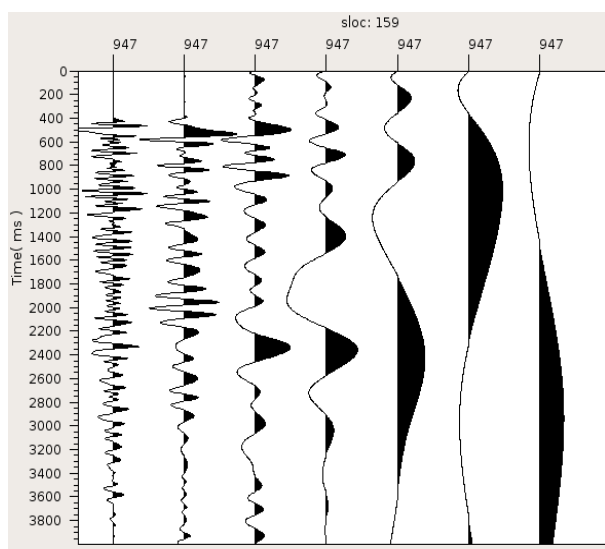


Figura 2 – Decomposição em IMFs.

EMD no domínio F-X

Sabemos que os ruídos do tipo *ground roll* correspondem à altas energias. Embora o *ground roll* tenha baixas frequências dominantes, sua velocidade aparente também é baixa, caracterizando uma alta frequência quando analisado no domínio F-X, para cada vetor selecionado na direção X e F constante. A primeira IMF representa o modo de maior frequência contida no dado. Portanto, os ruídos são atenuados, subtraindo, dos dados, porcentagens dela.

O processo de filtragem EMD no domínio F-X é implementado similarmente ao F-X-Decon e segue os seguintes passos:

- 1) Utilizamos a transformada de Fourier para obter o dado no domínio da frequência;
- 2) Para todo o dado:
 - a) Separamos os dados em partes real e imaginária;
 - b) Obtemos a primeira IMF de ambas as partes;
 - c) Subtraímos porcentagens da primeira IMF do dado original;
 - d) Combinamos as partes para obter uma filtragem complexa;
- 3) Aplicamos a transformada de Fourier inversa para voltar para o domínio T-X;

Atenuação do *ground roll* utilizando EMD-FX

Para utilizar o EMD devemos trabalhar com o traço no domínio da frequência, através da transformada de Fourier que irá decompor o dado em parte real e parte imaginária no domínio F-X. Após aplicado FFT (*Fast Fourier Transform*) o EMD será aplicado tanto na parte real como na parte imaginária, de onde serão subtraídas porcentagens de sua primeira IMF. A IMF a ser subtraída dos dados será a primeira por ela representar a componente de maiores frequências contida nos dados. Depois de subtraída a primeira IMF, a parte real e imaginária são reunidas formando um dado complexo onde será aplicado a FFT inversa deixando os dados finais no domínio T-X.

Esse método foi aplicado em um conjunto de dados reais do Yilmaz obtido pela página eletrônica da base de dados do Center of Wave Phenomena da Colorado School of Mines e está descrito como registro de número 25 com alta incidência de *ground roll* que dificulta a visualização das reflexões, representado na figura 3.

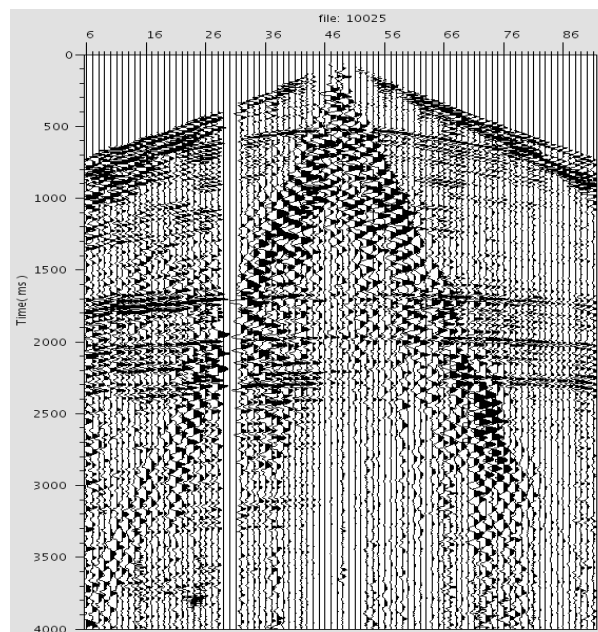


Figura 3 – Sismograma

Nesses dados foram feitos vários testes subtraindo dos dados originais 100%, 75% e 50% da primeira IMF.

A figura 4 representa a filtragem de 100% da primeira IMF e a figura 5 representa o que foi retirado com o filtro de 100%, a figura 6 representa a filtragem de 75% da primeira IMF e a figura 7 representa o que foi retirado com o filtro de 75% e a figura 8 representa a filtragem de 50% da primeira IMF e a figura 9 representa o que foi retirado com o filtro de 50%.

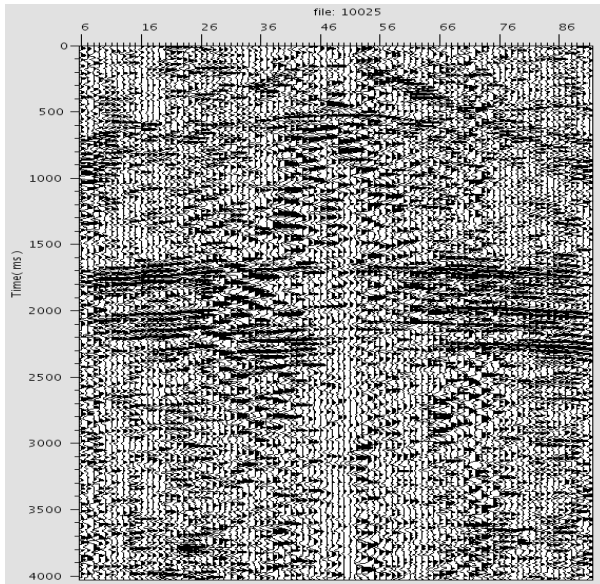


Figura 4 – Filtragem de 100% da primeira IMF.

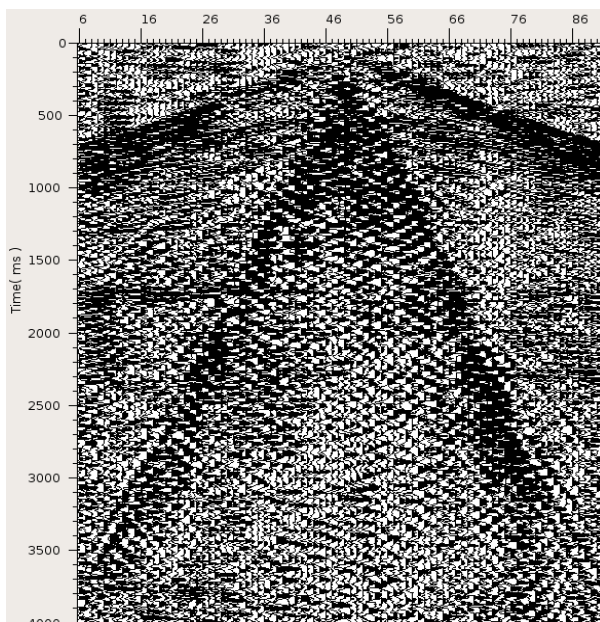


Figura 5 – Diferença entre o dado original e o filtrado com 100% da primeira IMF.

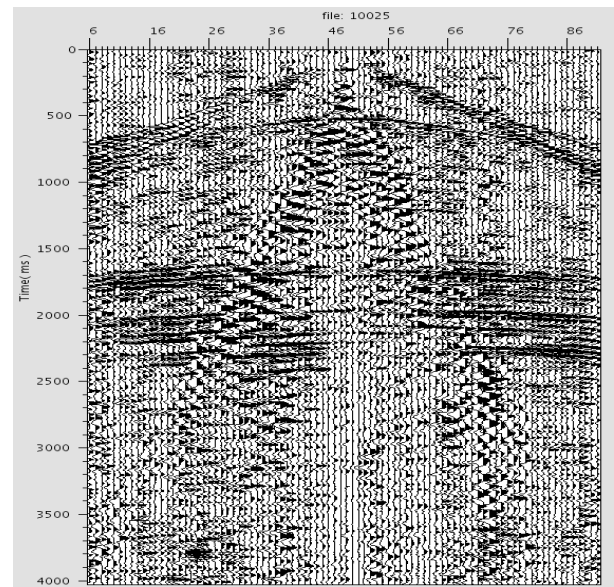


Figura 6 – Filtragem de 75% da primeira IMF.

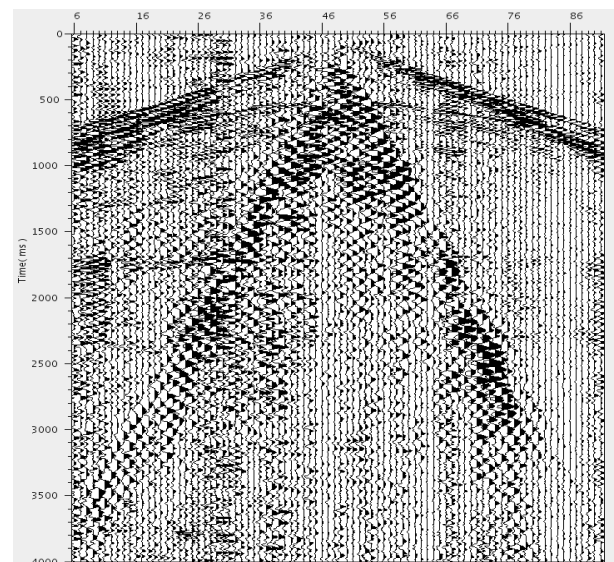


Figura 7 – Diferença entre o dado original e o filtrado com 75% da primeira IMF.

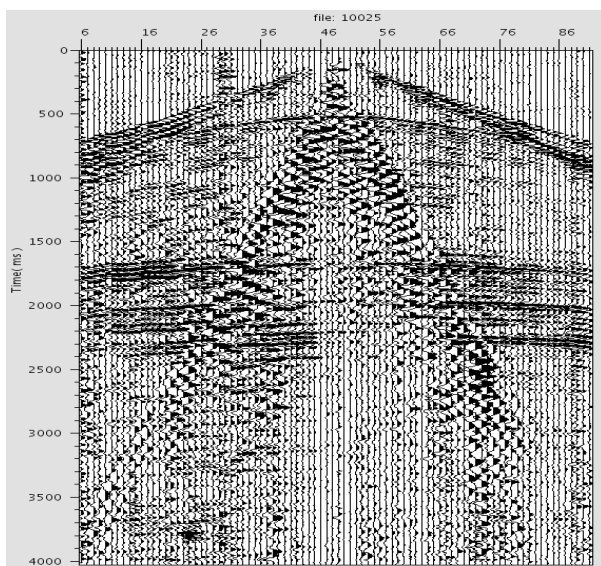


Figura 8 – Filtragem de 50% da primeira IMF.

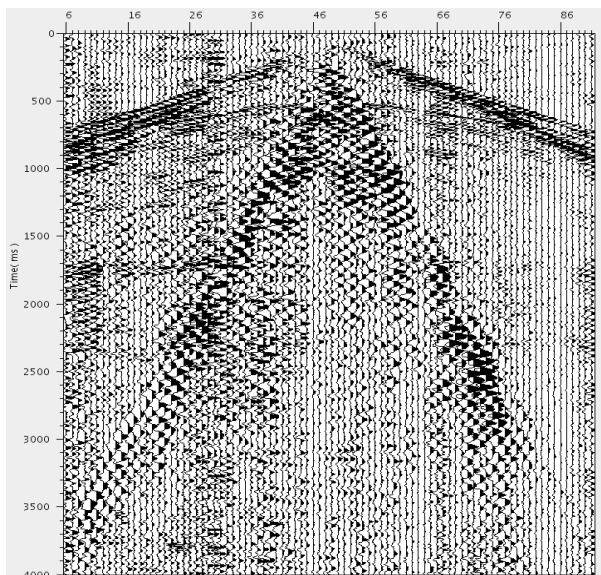


Figura 9 – Diferença entre o dado original e o filtrado com 50% da primeira IMF.

Resultados e Aplicações futuras

As figuras mostram a eficiência da filtragem para o caso de um sismograma com fortes ruídos de *ground roll*. O método, além da facilidade de aplicação, possibilita uma flexibilidade de construção dos filtros, com adoção de diferentes porcentagens de atenuação para diferentes modos.

Para um teste preliminar com o objetivo de provocar atenuar as reflexões múltiplas, criamos um dado sintético usando o *Seismic Unix* com 30 canais, o *offset* máximo foi de 3075 e mínimo de 100, razão de amostragem de 4 ms. Este dado representa uma subsuperfície com cinco reflexões.

Para atenuação das múltiplas aplicamos uma correção NMO, baseada na função velocidade das primárias, obtida através da análise de velocidade ficando, desta forma, as múltiplas sub corrigidas. Após aplicado o NMO, é aplicado o EMD no domínio T-X. O EMD é aplicado para cada tempo em todos os traços. Para a atenuação das múltiplas foi subtraída do dado 100% da primeira e da segunda IMF.

A figura 10 representa um CDP com reflexões e múltiplas, a figura 11 é o resultado do filtro utilizado para atenuar as múltiplas e a figura 12 representa o que foi retirado do dado.

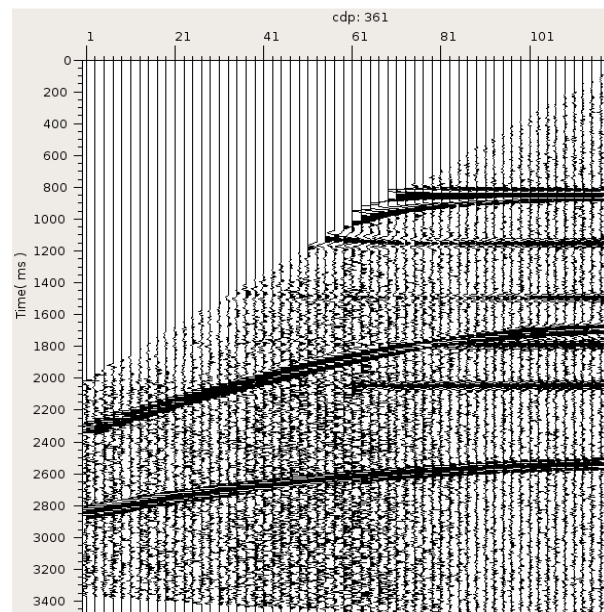


Figura 10 – Sismograma original com as primárias corrigidas de NMO.

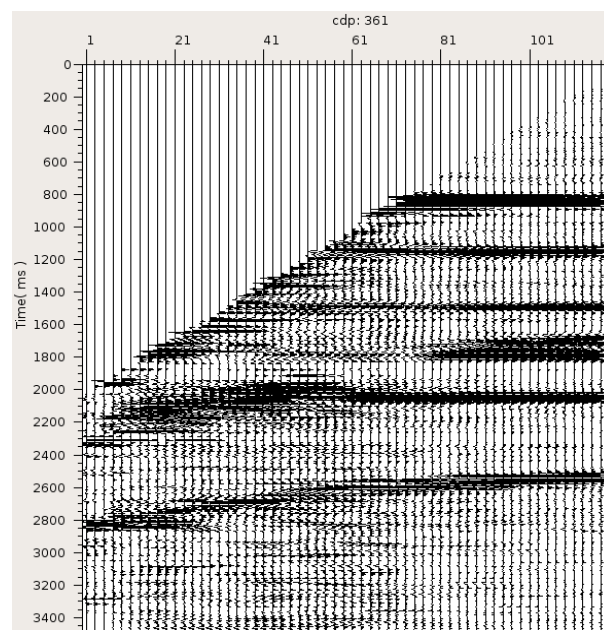


Figura 11 – Filtragem retirando as IMFs 1 e 2.

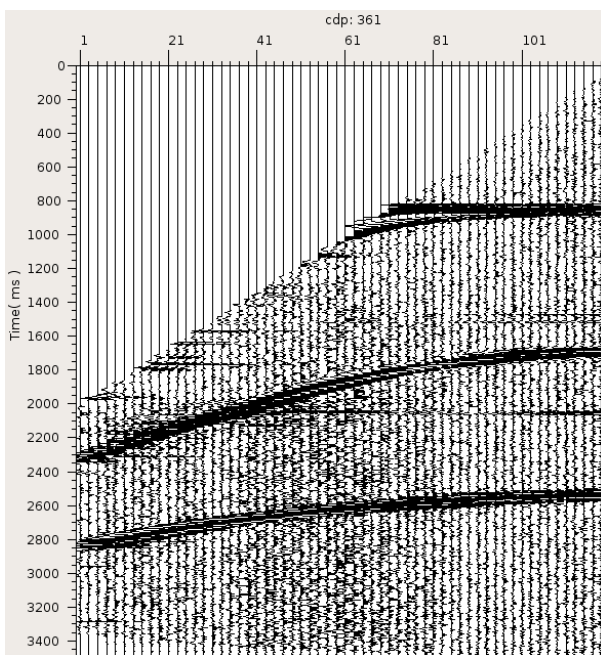


Figura 12 – Diferença entre o original e o filtrado.

Conclusão

EMD F-X é um filtro adaptativo que pode atenuar ruídos coerentes mergulhantes não necessitando de um padrão espacial regular.

É recomendado o controle de qualidade para analisar se foram atenuados sinais de interesse. Um interessante aspecto do EMD F-X é a simplicidade de sua implementação onde é necessário obter apenas a primeira IMF.

Para atenuação do *ground roll* esse método foi bastante satisfatório, conforme descrito por Bekara (et al.,2008). Porém, quando utilizado para atenuação das múltiplas esse método não é muito eficiente para offsets curtos, onde as múltiplas e primárias têm componentes muito semelhantes. Contudo, os estudos continuam sendo realizados para se obter modos de aplicação dessa ferramenta na atenuação das múltiplas, que deterioram a qualidade dos dados sísmicos em diversas situações.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Edital Universal CNPq-CTPETRO, da Rede Cooperativa de Pesquisa em Geofísica de Exploração (FINEP-PETROBRAS), do PRONEX (FAPERJ-CNPq) e o CPGeo pelo tempo e equipamentos disponibilizados.

Referências

Bekara, M., e Van der Baan, 2008, Randon and coherent noise attenuation by empirical mode decomposition, SEG Las Vegas 2008 Annual Meeting,

Huang, N. E., Z. Shen, S. R. Long, M. Wu, H. H. Shih, Q. Zheng, N. C. Yenn, C. C. tung, and H. H. Liu, 1998, The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for

nonlinear and nonstationary time series analysis: Proceedings of the Royal Society of London Series A-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 454, 903-995.