

Título em Português: Remoção de Ruído em Sinais e Imagens por Ressonância Magnética utilizando Transformada Wavelet

Título em Inglês: Noise removal from Magnetic Resonance Signals and Images using Wavelet Transform

Autor: Caio de Jesus de Oliveira

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Fernando Fernandes Paiva

Área de Pesquisa / SubÁrea: Física Geral

Agência Financiadora: CNPq - PIBIC

REMOÇÃO DE RUÍDO EM SINAIS E IMAGENS POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA UTILIZANDO TRANSFORMADA WAVELET

Caio de Jesus de Oliveira

Gustavo Solcia

Fernando F. Paiva

Universidade de São Paulo

caio.dejesusoliveira@usp.br

Objetivos

As técnicas de ressonância magnética (RM) nos permitem obter sinais e imagens de extrema utilidade para diversas aplicações biológicas e clínicas (1). Porém, durante o processo de geração, há um fator intrínseco que degrada a informação: o ruído. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é buscar as melhores configurações para a filtragem de ruído com transformada wavelet em sinais e imagens de RM.

Métodos e Procedimentos

Foi feito um estudo sobre a transformada discreta wavelet (DWT) em até três dimensões espaciais para aplicar os métodos presentes na literatura para a filtragem de dados simulados de RM. Todos os códigos, tanto para simulação quanto para filtragem e análise foram desenvolvidos em Python e estão disponíveis em github.com/CIERMag-FFPaivaStudents/Wavelet. Nos aprofundamos, mais especificamente, em 1D simulando um sinal de ruído controlado e aplicando a filtragem com DWT a partir do thresholding dos coeficientes de detalhe (2) como descrito pela Figura 1. Os sinais de RM foram simulados com uma única componente de frequência (variando desde 0Hz até 750 em passos de 250Hz), utilizando 2048 pontos, espaçamento temporal de 0,5 ms e tempo de relaxação T2 de 100 ms. O ruído simulado possuía sempre média nula. Ao longo do

trabalho, avaliamos a influência da escolha da wavelet mãe (Daubechies, Coiflet e Symlet), do modo de thresholding (hard e soft) e dos níveis de decomposição na filtragem. Para a família Daubechies, testamos as combinações possíveis entre suportes de 1, 4 e 8 com 2, 3, 4 e 6 níveis. Ao passar para as outras famílias, percebemos que tinha uma relação entre o número máximo de níveis e o suporte, então pra Coiflet e Symlet testamos três suportes e o número máximo de níveis correspondente. Para as wavelets Coiflet de ordem 5, 10 e 17 fomos até os níveis 6, 5 e 4, respectivamente, enquanto para as Symlet 8, 16 e 20 fomos até os níveis 7, 6 e 5, respectivamente. Para análise do desempenho, utilizamos métricas de qualidade e análises de artefatos e regiões de resíduo nulo no domínio da frequência.

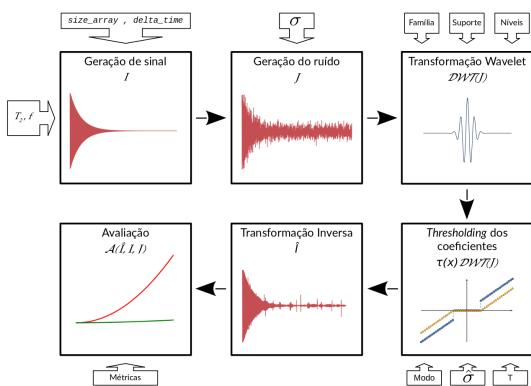


Figura 1: Workflow da simulação de sinais de RM e processamento com transformada wavelet. Nas margens estão escritos os parâmetros relevantes de cada etapa.

Resultados

Observamos que a filtragem wavelet de sinais de RM cria artefatos no domínio da frequência que se propagam no tempo (Figura 2).

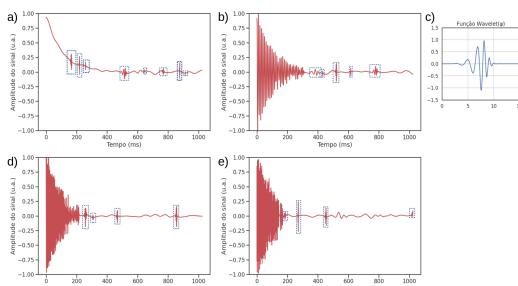


Figura 2: Sinais filtrados com db8, hard thresholding e decomposição em 6 níveis. Os resultados foram mostrados para as frequências de 0, 100, 250 e 750 Hz em (a), (b), (d) e (e), respectivamente. Em cada uma das figuras, foi destacada a forma da função wavelet db8, mostrada em (c).

Portanto, não devemos qualificar a filtragem somente pelas métricas de qualidade, mas também por sua influência no espaço de Fourier. Estes artefatos podem ser afetados pelo ajuste do número de níveis de decomposição e pelo suporte da wavelet mãe, levando sempre em conta a correlação entre o suporte e o número máximo de níveis de decomposição. Assim, o número de níveis favorece a filtragem em um intervalo maior de frequências do espectro, mas é preciso equilibrá-lo com um suporte alto, o que diminui a amplitude dos artefatos. Vimos que famílias com resposta em fase linear (Coiflet e Symlet) são favoráveis quando comparadas às famílias com respostas não lineares (Daubechies) e o modo de hard thresholding é preferível por não diminuir a amplitude do sinal. Por fim, percebemos que realizar um deslocamento de frequência prévio à filtragem (Figura 3) resulta em menores distorções e não apresenta artefatos no domínio espectral (Figura 4).

Conclusões

Vimos na literatura como a DWT pode ser usada para filtragem de sinais, imagens e volumes de RM.

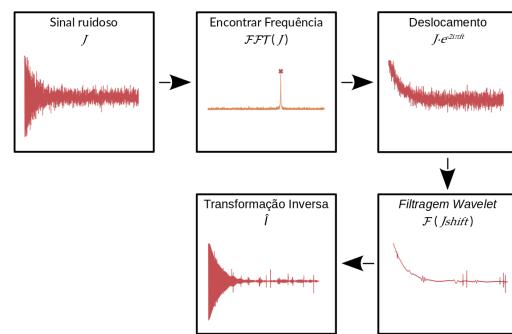


Figura 3: Workflow da filtragem wavelet com deslocamento de frequência.

Nos estudos de sinais simulados, vimos como a escolha do modo de thresholding, do número de níveis da transformada e da wavelet mãe influenciam a restauração do sinal. Além disso, percebemos que realizar um deslocamento de frequência prévio traz bons resultados. Isso não resolve totalmente o problema da filtragem em sinais de RM, mas são um bom ponto de partida para investigar a filtragem de outros tipos de sinais. Em estudos futuros, deve-se aplicar o processo descrito neste trabalho para outras dimensões espaciais.

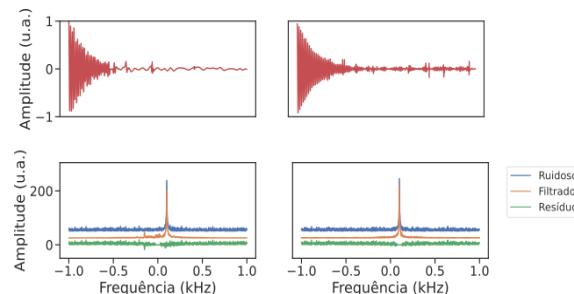


Figura 4: Filtragem sem (esquerda) e com (direita) deslocamento de frequência.

Referências Bibliográficas

1. BROWN, R. W.; CHENG, Y. C. N.; HAACKE, E. M.; THOMPSON, M.I R.; VENKATESAN, R. **Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design: Second Edition.** [s.l.: s.n.]. v. 9780471720850 DOI: 10.1002/9781118633953.
2. MALLAT, S.. **A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way.** [s.l.] : Elsevier, 2009. v. 1 Disponível em: <http://elsevier.com>.

NOISE REMOVAL IN MAGNETIC RESONANCE IMAGES AND SIGNALS WAVELET TRANSFORM

Caio de Jesus de Oliveira

Gustavo Solcia

Fernando F. Paiva

University of São Paulo

caio.dejesusoliveira@usp.br

Objectives

Magnetic resonance (MR) techniques allow us to obtain signals and images that are extremely useful for several biological and clinical applications (1). However, during acquisition noise acts as an inherent degradation factor. Therefore, our goal was to seek the best configuration of wavelet filtering in MR signals and images.

Materials and Methods

To apply the current methods in the literature for simulated MR signal filtering, we studied the discrete wavelet transform (DWT) for up to three spatial dimensions. Every code, from simulation to filtering and analysis, was developed in Python and is available at github.com/CIERMag-FFPaivaStudents/Wavelet. A 1D signal with controllable noise was simulated and filtered with DWT by thresholding its detail coefficients as described in Figure 1. The MR signals were simulated with only one frequency component (ranging from 0Hz to 750 in 250Hz steps), with 2048 points, 0,5 ms time steps, and a T2 relaxation time of 100ms. The noise simulated always had a null frequency. Throughout this work, we evaluated how the choice of mother wavelet (Daubechies, Coiflet, and Symlet), thresholding mode (hard and soft), and decomposition level affect our filtering. For Daubechies family, we tested all combinations between 1, 4, and 8 supports and 2, 3, 4, and 6 levels. Other families presented a correlation between the

maximum decomposition level and the wavelet support. Therefore, with the Coiflet and Symlet wavelets, we tested two supports and the corresponding higher decomposition level. For Coiflet wavelets of orders 5, 10, and 17, we used levels 6, 5, and 4, respectively. For Symlets of orders 8, 16, and 20 we employed levels 7, 6, and 5, respectively. To assess the filtering performance, we used quality metrics and analyzed artifacts and null residue regions in the frequency domain.

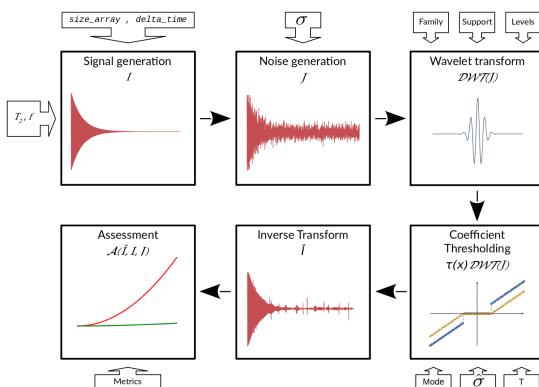


Figure 1: MR signal simulation and wavelet filtering workflow. In the margins are written the relevant parameters of each step.

Results

Our results showed that wavelet filtering created artifacts in the frequency domain that spread through time (Figure 2).

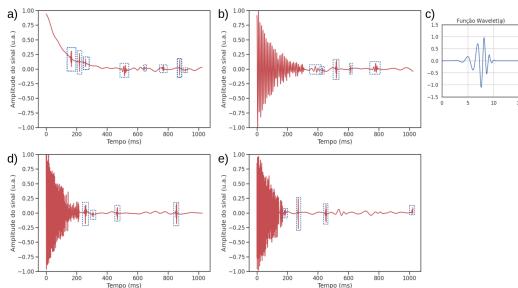


Figure 2: Signal filtered with db8, hard thresholding and 6 level decomposition. The results are shown to frequencies of 0, 100, 250 and 750 Hz in (a), (b), (d) and (e), respectively. In each figure, the shape of the db8 wavelet, shown in (c), is highlighted.

Therefore, we must analyze filtering efficiency not only through quality metrics, but also through its influence in the Fourier domain. Such artifacts are influenced by the setting of decomposition levels and wavelet mother support while considering the correlation between the support and its higher level of decomposition. Then, the number of decomposition levels allows broader frequency intervals of the spectra to be filtered. However, they need to balance with a high support to minimize the amplitude of artifacts. We saw that families with linear phase response (Coiflet and Symlet) are better when compared to wavelet families with non linear responses (Daubechies), and hard thresholding is preferred as it does not decrease the signal amplitude. Lastly, we noticed that a frequency shift before filtering (Figure 3) results in less distortions and does not show artifacts in the frequency domain (Figure 4).

Conclusions

We present here how the DWT can be used to filter MR signals, images, and volumes.

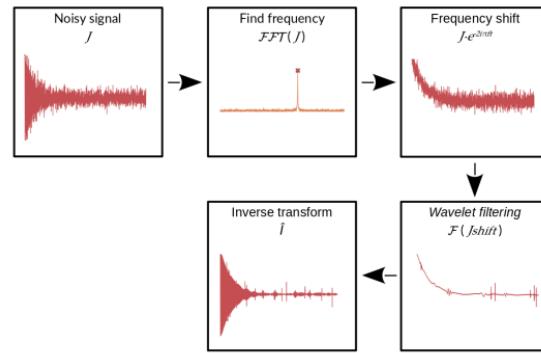


Figure 3: Workflow of wavelet filtering with frequency shift

While studying simulated signals, we saw how the choice of the thresholding mode, number of decomposition levels, and mother wavelet affect signal restoration. Also, we noticed that applying a prior frequency shift brings good results. That does not entirely solve the issue of filtering in MR signals, but it is a good starting point for investigating filtering different signals. Future studies will include the application of the same pipeline to higher spatial dimensions.

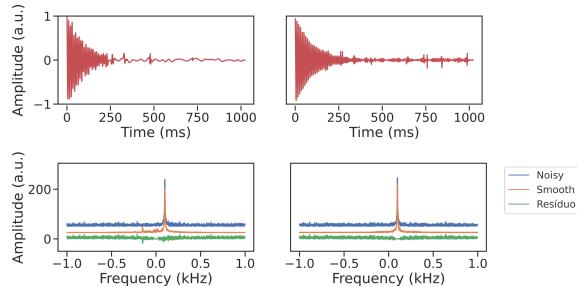


Figure 4: Filtering with and without frequency shift

References

1. BROWN, R. W.; CHENG, Y. C. N.; HAACKE, E. M.; THOMPSON, M.I R.; VENKATESAN, R. **Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design: Second Edition**. [s.l: s.n.]. v. 9780471720850 DOI: 10.1002/9781118633953.
2. MALLAT, S.. **A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way**. [s.l.] : Elsevier, 2009. v. 1 Available at: <http://elsevier.com>.