

ANÁLISE ENTRE TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DE RUÍDO EM IMAGENS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA UTILIZANDO WAVELET

V. B. Bastos*, C. L. S. de Melo**, M. V. P. Lima*, e P. R. G. Kurka*

*FEM/UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

** EST/UEA – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil.

e-mail: bastos_est@hotmail.com

Resumo: A utilização de imagens de Ressonância Magnética em estudos clínicos e diagnóstico de alterações no corpo humano se tornou comum atualmente. Porém, por mais isoladas e bem construídas que possam ser, as máquinas de ressonância não estão livres de artefatos de imagem ou ruídos, que podem ser causados por falhas na operação do aparelho de ressonância, pacientes que se movem durante a captura, ou mesmo pelo movimento de seus fluidos corporais. Neste trabalho, técnicas de tratamento para imagens de ressonância magnética foram comparadas, visando eliminar eventuais problemas causados durante a captura. A metodologia consiste em selecionar cinco imagens e para cada uma, criar dez variações contendo ruído branco gaussiano com variância de 10 a 100, formando assim os grupos para realizar o processo de remoção de ruídos (*denoising*), utilizando as wavelets de Haar, Deubechies, Symlet, Meyer e Coiflet. Em cada uma, serão aplicadas as técnicas de *soft* e *hard thresholding*. Com os grupos formados e tratados, as técnicas utilizadas foram comparadas para a geração de tabelas comparativas do desempenho de cada uma.

Palavras-chave: Transformada de Wavelet, Ressonância Magnética, Imagem.

Abstract: *The use of Magnetic Resonance Imaging (MRI) for diagnosis of changes in the human body has become common nowadays, but as isolated and well-constructed that they can be, the MRI machines are not free of image artifacts or noise, which may be caused by problems in the operation of the MRI system, patients movement during capture, or by the movement of own body fluids. In this paper, techniques were compared in order to eliminate problems that can be caused during the image acquisition. Five images were selected and for each one ten corrupted images with white gaussian noise were generated with variance from 10 to 100, thus generating the groups to compare the denoising process, using the Haar, Deubechies, Symlet, Meyer and Coiflet wavelets. In each one, the soft and hard thresholding techniques were applied. After the groups were made and treated, the techniques were compared in order to generate a comparison table of their performance.*

Keywords: MRI, Wavelet Transform, Image.

Introdução

A área da imagiologia clínica possibilita a obtenção da informação relativa à fisiologia e anatomia dos órgãos

internos de um modo não-invasivo, através de variadas técnicas atualmente existentes, como a Ressonância Magnética (RM), o Raio-X (R-X), a Tomografia Computorizada (TC) e a Tomografia por Emissão de Pósitrons (TEP).

Graças a essas, é possível uma detecção precoce de doenças, uma melhor coordenação de tratamentos médicos e um melhor conhecimento geral da atividade molecular dos organismos vivos, além de auxiliar os algoritmos de segmentação. A Engenharia Biomédica tem um papel fundamental nesta área através do *design*, construção e análise de sistemas de imagiologia clínica, o que permite que esta seja uma área com enorme expansão nos campos da instrumentação e da análise computacional [1]. Mesmo sendo muito bem construídas, máquinas de ressonância magnética apresentam problemas como artefatos de imagem. Artefatos são quaisquer elementos presentes na imagem gerada que não estão presentes no objeto original [2].

Técnicas de eliminação de ruído, conhecidas como *denoising*, têm sido tema de várias pesquisas nas mais diversas áreas da engenharia. O objetivo destas técnicas é reconstruir ou recuperar imagens degradadas, normalmente utilizando-se algum conhecimento a priori da imagem a ser restaurada [3].

Neste trabalho, investiga-se a utilização da Transformada Wavelet no processo de remoção de ruídos (*denoising*) aplicado a sinais bidimensionais, especificamente, imagens corrompidas por ruídos brancos gaussianos. Em particular, o interesse principal desta pesquisa é comparar técnicas que anulem ou suavizem os coeficientes wavelets associados às informações de alta frequência, permitindo que o ruído seja reduzido, resultando em uma melhoria na percepção visual das imagens.

O estudo realizado fornece um comparativo entre técnicas, utilizando a Transformada de Wavelet, para aplicação tanto no pré-processamento, tratando os erros antes do fornecimento, ou no pós-processamento, processando a imagem depois da identificação de algum erro.

Materiais e métodos

Serão descritos detalhadamente todos os passos adotados para a execução do projeto e a seleção de parâmetros para o mesmo. A divisão das etapas consiste na escolha do *software*, banco de imagens, procedimento para aplicação do ruído, processo de remoção de ruídos

(denoising) e validação das técnicas utilizadas. O fluxograma da Figura 1 descreve o procedimento adotado.

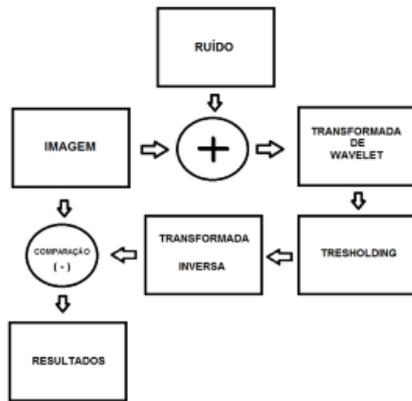


Figura 1: Fluxograma do procedimento adotado no projeto.

O *software* utilizado para o processamento das imagens foi o Matlab devido a sua praticidade e grande suporte via web.

Foram escolhidas cinco imagens, sem ruídos, do banco disponibilizado pela Clínica de Diagnóstico por Imagem – CDE [4], para a realização do estudo envolvendo Transformada de Wavelet. Devido a possuírem características semelhantes, como o fato de serem imagens monocromáticas de 8-bits, estas foram selecionadas de partes do corpo, e resoluções diferentes, de modo que o estudo seja mais abrangente.

A Figura 2 mostra um exemplo das imagens utilizadas no projeto, sendo ela da imagem do lado esquerdo do cérebro, com resolução de 451x454 pixels e formato *tif*.

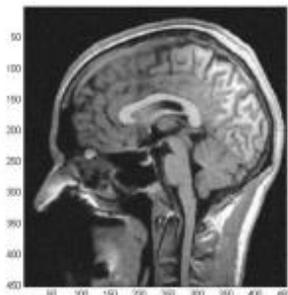


Figura 2: Imagem Lateral Cérebro.

As características das outras imagens seguem abaixo, sendo elas parte do corpo e visualização, resolução e formato:

- Imagem do topo do cérebro, possui resolução de 500x383 pixels e formato *tif*;
- Imagem da parte frontal do abdômen, possui resolução de 720x960 pixels e formato *tif*;
- Cervical vista do lado esquerdo do indivíduo. Sua resolução é a menor do trabalho, sendo 336x358, e seu formato é *tif*;
- Parte lateral esquerda do indivíduo, sendo uma visão geral da coluna. Desta forma sua resolução é a maior do projeto 1890x945, e seu formato *tif*.

As imagens adquiridas, possuíam formato *PNG* (*.PNG). Para atender os requisitos do programa, foi necessário alterar o formato para *tif* e então utilizar a função ‘*mat2gray*’ no Matlab para conversão em escala de cinza, com pixels variando de 0 a 255. O comando ‘*double(image)*’ foi utilizado para que os valores dos pixels deixassem de ser tratados como valores inteiros, possibilitando determinados tratamentos futuros.

Assim que as imagens foram selecionadas e devidamente tratadas, pôde-se dar início ao processo de aplicação do ruído. Esta etapa foi necessária, pela grande dificuldade de se encontrar a mesma imagem com diversos níveis de ruído gaussiano.

Para a aplicação do ruído nas imagens originais, foi utilizada a Equação 1.

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

Definindo-se $n(x, y) = \sigma^2 e(x, y)$, sendo σ^2 a variância do erro, temos a Equação 2.

$$g(x, y) = f(x, y) + \sigma^2 e(x, y) \quad (2)$$

Para o projeto, as imagens serão contaminadas de forma que a variância seja de dez até cem, com passo igual a dez. Seus valores portanto serão: 10,20,30,40,50,60,70,80,90 e 100.

O objetivo é que seja feita a comparação de $\hat{f}(x, y)$ com $f(x, y)$, avaliando-se as técnicas escolhidas e comparando-as. A Figura 3 ilustra este processo realizado na imagem da Figura 2 para alguns valores das variâncias utilizadas.

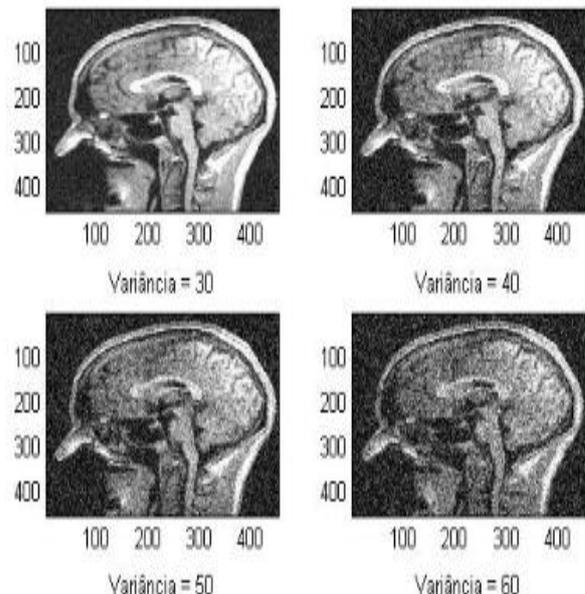


Figura 3: Comparativo entre imagens com ruído de variância diferente.

Assim que foram obtidas todas as 50 imagens corrompidas, pôde-se iniciar o processo de remoção de ruídos.

O primeiro passo é a transformada direta de wavelet. Para o trabalho foram selecionadas as seguintes famílias:

- Haar: 'haar';
- Daubelets: 'db4', 'db6' e 'db8';
- Symlet: 'sym4', 'sym6' e 'sym8';
- Coiflet: 'coif3' e 'coif5';
- Discreta de Meyer: 'dmev'.

Essas foram selecionadas por serem todas ortonormais, e disponíveis no *software* utilizado. Após escolhidas as famílias a serem trabalhadas, foram definidos os níveis da decomposição em wavelet. Esta etapa foi feita experimentalmente utilizando as cinco imagens, decompondo-as em níveis diferentes, aplicando o limiar (*thresholding*), a inversa e então comparando os resultados.

O nível foi definido utilizando a wavelet 'db8', e a técnica de *soft-thresholding*, variando-se apenas o mesmo. Além de ser visualmente mais agradável, o nível 2 também apresentou melhores resultados na análise da relação sinal-ruído, do inglês *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).

A última etapa para a remoção do ruído é a definição das técnicas de *seleção do limiar* a serem adotadas. Foram utilizados os métodos UTH e UTS que utilizam o limiar (*thresholding*) universal para determinar o limite dos coeficientes wavelets, respectivamente, o *soft* e o *hard thresholding*.

Para realizar a validação de cada procedimento, foram extraídos os valores do PSNR utilizados para avaliar a diferença global entre imagem após a remoção do ruído com relação à imagem original com auxílio da Equação 3.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(Lmax)^2}{MSE} \quad (3)$$

Onde $Lmax$ é o valor máximo de intensidade de cinza. Tipicamente, $Lmax = 255$ para imagens representadas por 8 bits. A métrica PSNR é expressa em decibel (dB), unidade originalmente definida para medir a intensidade sonora em escala logarítmica. Valores típicos de PSNR variam entre 20 e 40, neste caso, quanto maior a métrica, mais a imagem transformada se aproxima da original.

O valor do erro médio quadrático, do inglês *Mean Square Error* (MSE), é a soma dos quadrados das diferenças de cada ponto da imagem original e da imagem transformada (aproximada) dividida pelo produto das dimensões da imagem, sendo representado pela Equação 4.

$$\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x,y) - \hat{f}(x,y)|^2 \quad (4)$$

Sendo $\hat{f}(x,y)$ a imagem tratada e $f(x,y)$ a imagem original.

Resultados

Os resultados estão divididos em verificação visual, análise de PSNR e coleta de tempos.

Foram feitas comparações visuais utilizando a imagem de um abdômen, com alguns parâmetros especificados na descrição da Figura 4.

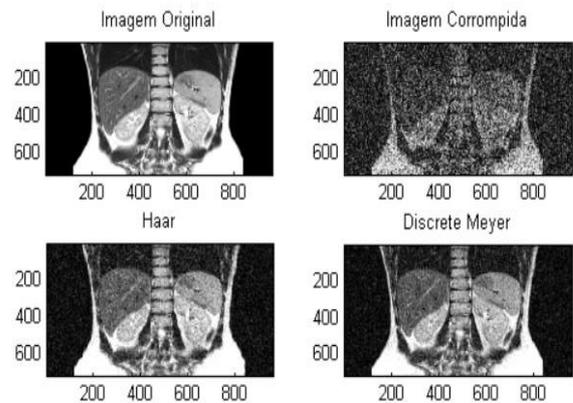


Figura 4: Comparação utilizando a imagem de um abdômen com variância =50 e soft thresholding.

Todos os dados de PSNR obtidos na comparação das 1000 imagens tratadas com as imagens originais foram inseridos em tabelas destacando seus três maiores valores, sendo azul o maior, verde o segundo, e amarelo o terceiro.

Devido à grande quantidade de conteúdo, neste artigo serão mostrados os dados apenas para a Figura 2 e técnica de *soft thresholding*. Na Tabela 1, pode-se verificar os dados utilizando-se *esta técnica*.

Tabela 1: Tabela correspondente à Figura 2 utilizando *soft thresholding*.

| Variância | Imagem Cerebro - Lateral | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Soft Thresholding | | | | | | | | | |
| | Haar | Db4 | Db6 | Db8 | Sym4 | Sym6 | Sym8 | Coif3 | Coif5 | Dmey |
| 10 | 27,4006 | 30,8742 | 31,1647 | 31,1967 | 30,7682 | 31,0597 | 31,2595 | 31,1682 | 31,3771 | 31,5468 |
| 20 | 25,7248 | 28,9664 | 29,3389 | 29,3792 | 28,9203 | 29,2081 | 29,3865 | 29,2844 | 29,5031 | 29,7042 |
| 30 | 24,6992 | 27,4429 | 27,7671 | 27,7978 | 27,4305 | 27,6685 | 27,7963 | 27,7154 | 27,8916 | 28,0574 |
| 40 | 23,8272 | 26,0343 | 26,2849 | 26,3146 | 26,0267 | 26,2113 | 26,3062 | 26,2392 | 26,3747 | 26,5023 |
| 50 | 22,9785 | 24,7305 | 24,9198 | 24,9508 | 24,7258 | 24,8652 | 24,9373 | 24,8864 | 24,9893 | 25,0841 |
| 60 | 22,1476 | 23,537 | 23,683 | 23,7144 | 23,5336 | 23,6407 | 23,6981 | 23,6587 | 23,7384 | 23,8115 |
| 70 | 21,3389 | 22,452 | 22,5678 | 22,5992 | 22,449 | 22,5337 | 22,5809 | 22,5493 | 22,6131 | 22,6714 |
| 80 | 20,5624 | 21,4655 | 21,5595 | 21,591 | 21,4625 | 21,5313 | 21,5712 | 21,5452 | 21,5977 | 21,6456 |
| 90 | 19,8236 | 20,5654 | 20,6436 | 20,675 | 20,5625 | 20,6196 | 20,6541 | 20,6322 | 20,6765 | 20,7168 |
| 100 | 19,1240 | 19,7405 | 19,8066 | 19,8382 | 19,7375 | 19,786 | 19,8164 | 19,7975 | 19,8357 | 19,8704 |

Na Tabela 1 pode-se perceber que dos testes realizados na imagem da Figura 2, para todos valores de variância, a wavelet de Meyer apresentou os maiores valores de PSNR. Porém, conforme a variância do ruído aumenta, a wavelet Daubechies 8, começa a aparecer como uma boa alternativa.

A análise do tempo de processamento, foi realizada utilizando os comandos 'tic' e 'toc' do Matlab. O computador utilizado possui as seguintes configurações:

- Modelo: Ultrabook ASUS -S46C Series;
- Processador: Intel Core I7 - 3517U, 1.9GHz;
- Memória: 8 GB;
- Placa de Vídeo: Nvidia GeForce GT 635M, 2GB;
- Sistema Operacional: Windows 8.

A Tabela 2 relaciona os tempos coletados do processamento de cada imagem em relação às famílias, utilizando erro gaussiano branco com variância 50 e *soft thresholding*.

Tabela 2: Tabela contendo tempo levado para processamento das imagens utilizando wavelets distintas.

| Imagem | Tempo (s) | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| | Haar | Db4 | Db6 | Db8 | Sym4 | Sym6 | Sym8 | Coif3 | Coif5 | Dmey |
| Cerebro - Topo | 0,9 | 0,96 | 0,97 | 0,99 | 0,95 | 0,98 | 1,01 | 0,99 | 1,13 | 1,42 |
| Cerebro - Lateral | 0,95 | 1,15 | 1,17 | 1,22 | 1,17 | 1,23 | 1,27 | 1,21 | 1,35 | 1,51 |
| Abdomen | 1,12 | 1,21 | 1,3 | 1,35 | 1,29 | 1,32 | 1,38 | 1,29 | 1,44 | 1,68 |
| Cervical | 0,78 | 0,85 | 0,89 | 0,89 | 0,86 | 0,9 | 0,93 | 0,88 | 1,13 | 1,35 |
| Coluna | 1,9 | 1,86 | 1,9 | 1,92 | 1,9 | 1,95 | 1,99 | 1,94 | 2,02 | 2,76 |

Os valores obtidos variam da cor verde(menor) para a cor vermelha(maior) e a unidade de tempo é o segundo. Percebe-se que em todos os casos a wavelet de Meyer obteve um tempo de processamento maior e que a de Haar na maioria dos casos possui o menor tempo.

Discussão e Conclusão

Das análises de PSNR realizadas no trabalho, pôde-se concluir que a wavelet discreta de Meyer apareceu como melhor opção na grande maioria dos casos. Também citam-se as wavelets de Symlet 8 e Coiflet 5, que apresentaram resultados bem favoráveis. A wavelet Daubechies 8, mostrou um comportamento peculiar ao se tornar mais viável conforme o aumento da variável do erro Gaussiano.

A wavelet discreta de Meyer apresentou um melhor valor por possuir um formato mais adequado aos padrões dos sinais representados pelas linhas e colunas das imagens de ressonância magnética. Assim, resultando em uma representação mais fiel quando escalonada e transladada.

Em geral os valores de *hard thresholding* foram melhores e pôde-se perceber que conforme o erro aumenta, o PSNR entre as famílias acaba ficando similar, fazendo com que não faça diferença a escolha do método ou da wavelet-mãe para erros muito grandes. Isto nos leva à análise temporal, pois conforme a diferença de qualidade no processo de redução de ruídos diminui entre as famílias, percebe-se que o tempo de processamento na wavelet de Meyer está sempre maior e na de Haar menor, assim surgindo uma possível relação de qualidade desejada versus tempo de processamento que deve ser verificada de acordo com a aplicação desejada.

O resultado comparativo obtido neste trabalho auxilia na escolha de técnicas de tratamento de ruídos para a criação de novos algoritmos, pois apesar de ter sido aplicado apenas um erro branco Gaussiano, pode-se utilizar a metodologia adotada para qualquer outra análise envolvendo wavelets e imagens em escala de

cinza, mesmo que sejam de outras aplicações que não de ressonância magnética.

Referências

- [1] MADIHALLY. Principles of Biomedical Engineering. Kindle, 2010.
- [2] LINKS J.; PRINCE, J. L. Current Methods in Medical Image. Annual Review of Biomedical Engineering, 2000.
- [3] BURRUS, C. S. A. Introduction to Wavelet and Wavelet Transform. [S.l.]: Prentice Hall, 1998.
- [4] CLÍNICA DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEM - CDE. Av. Barão de Itapura, 933, Campinas - SP, 2013. Disponível em: <[http://www.cdenet.com.br/site-/banco de imagens/](http://www.cdenet.com.br/site-/banco%20de%20imagens/)>.