



Fusão de Imagens utilizando o método de multirresolução para Super-resolução¹

Micael Gonçalves de Oliveira², Winner Assis Carvalho³, Carlos Danilo Miranda Regis⁴

¹Parte do projeto de pesquisa PIBICT.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil. e-mail: micael1702@gmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil. e-mail: assiswinner@gmail.com

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil. e-mail: regis.danilo@gmail.com

Resumo: A área de processamento de sinais vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em categorias bem distintas, como o aprimoramento de informações contidas em uma imagem. O conceito de fusão é a utilização de técnicas de processamento para obter uma imagem de alta resolução (AR) a partir de duas ou mais imagens. As imagens utilizadas possuem características técnicas em termos de resoluções apropriadas para finalidade pretendida. As simulações computacionais foram realizadas no MATLAB versão r2011b. O ambiente de computação técnica *Wavelet Toolbox*, possui ferramentas gráficas e linha de comando para o desenvolvimento de funções *wavelet*. Por meio das simulações dois resultados foram gerados por intermédio do método de multirresolução. O primeiro funde duas imagens em escala de cinza, e o segundo restaura uma imagem a partir de duas versões difusas. Nesse estudo foi apresentado um método de fusão de imagens por multirresolução. A transformação gera o resultado esperado, isto é, a imagem resultante apresenta mais detalhes que as imagens originais para fins de interpretação visual. As técnicas de processamento de imagens (PI) são eficientes, pois permitem uma notória percepção de detalhes por meio do sistema visual.

Palavras-chave: fusão de imagens, multirresolução, processamento de sinal.

1. INTRODUÇÃO

A área de PI vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em categorias bem distintas, como o aprimoramento de informações contidas em uma imagem. O conceito original de fusão é a utilização de técnicas de processamento para obter uma imagem de AR a partir de duas ou mais.

Tsai e Huang (1984) foram os primeiros a desenvolver pesquisas sobre o problema da reconstrução de imagem de alta resolução (AR), a partir de uma sequência de imagens de baixa resolução (BR). O método por eles desenvolvido explora a relação entre a transformada rápida de cosseno e transformada direta de Fourier dos frames subamostrados. Kim et al. (1990) estenderam o método de Tsai e Huang e consideraram o ruído e o borrimento nas imagens BR e desenvolveram um algoritmo baseado na teoria de mínimos quadrados ponderados. Posteriormente o método foi melhorado por Kim e Su (1993) que consideraram o borrimento em cada uma das imagens BR. A reconstrução de imagens AR a partir de um conjunto de imagens foi proposta inicialmente por Stark e Oskui (1989), na qual usaram a formulação da projeção sobre conjuntos convexos (1988) (TELLES JUNIOR, 2007).

Processar uma imagem, como é feito pelo sistema visual humano, é extremamente complexo. Esta característica faz com que o PI seja uma área com extrema dependência do sistema no qual ele está associado, não existindo, no entanto uma solução única e abrangente para todos os problemas. Daí a não existência, até o momento, de sistemas de processamento e análise de imagens complexas e que funcionem para todos os casos.

O termo imagem estava inicialmente associado ao domínio da luz visível capaz de excitar os órgãos visuais, proporcionando a sensação de visão. Porém, atualmente as imagens apresentam uma grande quantidade de dados sendo representada sob a forma bidimensional (como as imagens de satélites e infravermelhas) com faixas de frequência diferentes.

A fusão visa à geração de uma imagem a partir de múltiplas (por exemplo, imagens

multiespectrais, fotografias aéreas e imagens de radar) para extrair informação de maior qualidade. A fusão de imagens (FI) com diferentes resoluções busca melhorar a resolução espacial e conservar a qualidade espectral. Imagens de maior e menor resolução espacial podem ser combinadas mediante o uso de técnicas apropriadas. A resolução espectral sendo preservada, a resolução espacial mais alta é incorporada representando o conteúdo de informação das imagens com muito mais detalhes (SCHNEIDER, 2011).

As técnicas de processamento digital de imagens propiciam a exploração de detalhes inacessíveis pelos métodos convencionais. Os métodos recentes de exploração automática desta informação permitiram o desenvolvimento de técnicas complexas, que comportem uma melhoria significativa da imagem. Desta forma, o resultado apresenta uma visão que fisicamente não existe de maneira eficiente e que assegure uma qualidade aceitável da imagem fusionada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os métodos de multirresolução são de alta complexidade computacional, em particular os que usam a transformada *wavelet Haar* são os que produzem os melhores resultados no processo de FI (GHANTOUS, 2008). A transformada *wavelet* discreta (DWT) introduzida por Mallat, é uma ferramenta de análise que fornece uma decomposição de imagens em bases biortogonais e resultados em uma representação não redundante. Estas bases são chamadas *wavelets*, e são funções geradas de uma única função chamada *wavelet* mãe.

A *wavelet* empregada é *Haar*, pois decompõe a imagem em sub-bandas com diferentes informações de conteúdo em frequência. O resultado é similar a construção de uma árvore de região quaternária, onde cada nível i corresponde a um nível da transformada, isto é, à projeção da imagem sobre os espaços $V_i \times V_i$, $V_i \times W_i$, $W_i \times V_i$ e $W_i \times W_i$. Cada nível de refinamento (nível i da árvore) corresponde à transformada da imagem contida no espaço $V_{i+1} \times V_{i+1}$ (espaço imediatamente superior). Portanto, a imagem final será formada somente por regiões quadradas. A Figura 1 mostra o esquema da decomposição da imagem pela DWT.

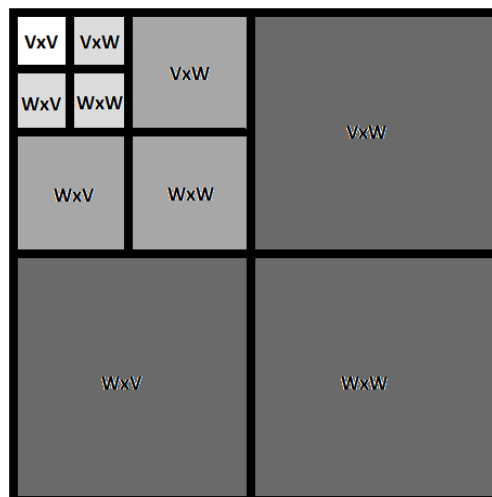


Figura 1- Regiões geradas pelos passos da transformada de nível 3.

O princípio da FI utilizando *wavelets* é mesclar as decomposições *wavelet* das duas imagens originais utilizando métodos de fusão aplicados aos coeficientes de aproximações e os coeficientes de detalhes. As duas imagens devem ser do mesmo tamanho e associado a um mapa de cores em comum.

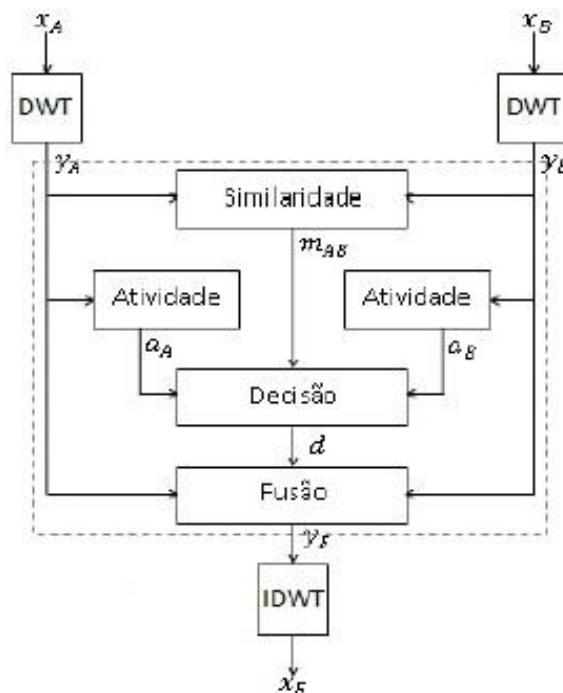


Figura 2 - Processo de fusão de imagem.

O processo de fusão de imagens, Figura 2, usa técnicas de multirresolução, por meio da transformada *wavelet* (PIELLA, 2003). O processo aplica a DWT nas imagens originais pela regra de decomposição representada pelos blocos denominados decisão e fusão, resultando numa representação desta combinação no domínio da transformada (yF). A imagem fundida xF é obtida com a transformada inversa (IDWT) na representação desta combinação. Os coeficientes da *wavelet* das imagens originais no domínio da transformada estão representados por yA e yB . A medida de atividade, que denota o nível de relevância de cada coeficiente, e a de similaridade, que quantifica o grau de correlação entre os coeficientes das duas imagens, calcula os mapas de decisão e fusão. Estes mapas determinam a combinação dos coeficientes da *wavelet* que são processados.

O bloco da transformada *wavelet* (DWT) calcula as decomposições de multirresoluções das imagens fontes, defini o tipo e o número de níveis da decomposição, assim como os filtros utilizados. Pesquisas em FI enfatizam o processo de escolha da representação multirresolução que facilite a seleção e a combinação de regiões relevantes para aplicação desejada (GHANTOUS, 2008). O bloco denominado decisão, é o ponto chave da fusão, uma vez que determina como os coeficientes serão combinados pelo processo de fusão (PIELLA, 2003).

O material utilizado é constituído por imagens que possuem características técnicas em termos de resoluções apropriadas à finalidade pretendida. Uma cena registrada com câmeras de espectros diferentes, luz visível e infravermelho (SILVA, 2011) utilizada na primeira simulação. Outra, por uma máquina fotográfica digital, na qual o processo de difusão aplicado num dos lados da imagem, ou seja, borramento por intermédio do site Picnik (<http://www.picnik.com.br>).

As simulações computacionais foram realizadas no MATLAB versão r2011b. O ambiente de computação técnica *Wavelet Toolbox*, possui ferramentas gráficas e linha de comando para o desenvolvimento de funções *wavelet*. A Figura 3 representa esquematicamente os procedimentos metodológicos adotados para formar a FI.

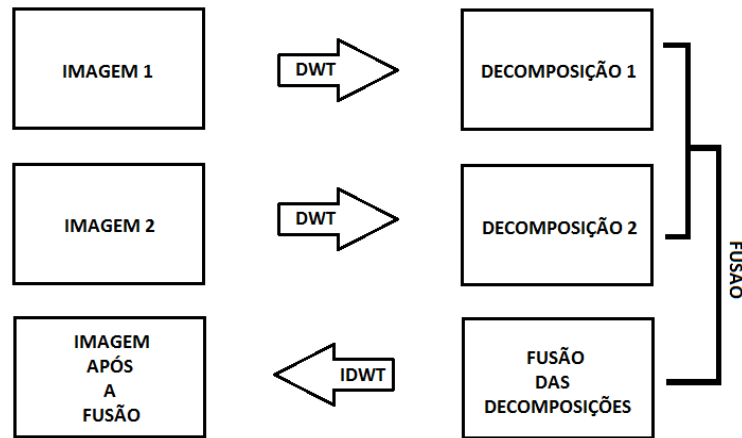


Figura 3- Esquema representativo dos procedimentos da fusão na transformada *wavelet*.

Em geral, o processo de fusão é dividido em registro das imagens, decomposição e fusão das decomposições. A DWT calcula as decomposições das imagens registradas de acordo com o tipo e número de níveis da decomposição. Como também dos filtros de aproximação e detalhes, podendo ser máximo, para gerar a melhor combinação da imagem na fusão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos por meio das simulações em que dois exemplos serão examinados. O primeiro funde duas imagens em escala de cinza e o segundo restaura uma imagem a partir de duas versões difusas resultando em uma imagem de melhor resolução.

Diversas aplicações que utilizam fusão de múltiplos sensores, em especial os de regiões na luz visível e do infravermelho, estão presentes na área militar, na área médica, no resgate de vítimas de incêndios e desastres naturais, sensoriamento remoto, bem como nas áreas de vigilância. Este tipo de fusão enfatiza a informação de cada faixa de frequência. Já as técnicas de restauração de imagens podem auxiliar historiadores, geógrafos e arqueologistas a restaurar fotografias borradas de artefatos raros e implementado nos softwares de reconstrução de imagens.

Nesse estudo foi apresentado um método de fusão por multirresolução. Utilizado com o intuito de aumentar a resolução espacial e manter a espectral, a fim de aprimorar a interpretação visual que é essencialmente sensível a mudanças locais de contraste. As simulações foram realizadas usando níveis de decomposição apresentando os melhores resultados para as imagens testadas. O critério de decisão utilizado é de máxima seleção para todos os casos apresenta melhores resultados de aproximação e detalhes.

A qualidade percebida da imagem é fortemente dependente do observador e da aplicação temática, com medida quantitativa em níveis de decomposição. Os quais, quando alterados confirmam a eficiência da teoria de *wavelets Haar*, que otimizam as aplicações de processamento digital de imagens. Pois a multirresolução combina coeficientes da *wavelets* que facilita a seleção e a combinação de regiões relevantes.

Cabe destacar que níveis de decomposição mais elevados apresentam um alto custo computacional e seus resultados podem não ser significativamente melhores. Assim, uma análise prévia para escolher o melhor método de fusão e o nível de decomposição adequada para cada estudo é necessário. Áreas de engenharia, informática, matemática e física, dentre outras, poderiam ser recicladas para incorporar novos conhecimentos oriundos do PI. Os resultados do procedimento metodológico proposto são apresentados a seguir.

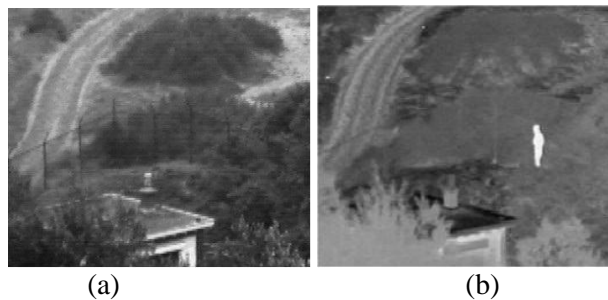


Figura 4 - Cena na região da luz visível (a) e a mesma cena no espectro do infravermelho (b).

Os detalhes visíveis na Figura 4(a) não estão presentes na Figura 4(b), igualmente ocorrem na Figura 4(b) com relação à Figura 4(a). Alguns dos detalhes são: vegetação, telhado da casa e o homem escondido na vegetação presente na imagem infravermelho.

A Figura 5 representa a fusão em baixo nível de contraste global sendo possível perceber que existe uma pessoa na cena. Mas, dependendo da imagem, um método de fusão tão simples pode não produzir bons resultados. No entanto, a imagem do homem, antes representada com um nível de cinza mais claro, aparece em um tom mais escuro após o processo de fusão.



Figura 5 - Resultado da fusão com características das Figuras 4(a) e 4(b).

No segundo procedimento a FI é feita a partir de imagens difusas com a finalidade de aumentar a quantidade e qualidade da informação para o usuário final. Sempre que tais imagens forem combinadas de maneira adequada, a imagem resultante pode se transformar num importante conjunto de dados que vai oferecer mais informações do que duas imagens isoladas. Na Figura 6(a) aplicou-se difusão em um dos lados da imagem. O processo foi repetido no lado oposto da Figura 6(b).



Figura 6 - Difusão do lado esquerdo (a) e do lado direito (b).

A Figura 7 mostra o resultado da fusão de imagens representada pelas Figuras 6(a) e 6(b). A fusão selecionou os *pixels* não difusos resultando em uma imagem restaurada de melhor qualidade usando a técnica de multirresolução.



Figura 7 - Versão restaurada de boa qualidade das imagens difusas.

A transformação gera o resultado esperado, isto é, a imagem resultante apresenta mais detalhes que as imagens originais para fins de interpretação visual. A qualidade pode também variar para os diferentes métodos com base nas características da imagem inicial. Para realização de futuros estudos as técnicas de super-resolução podem ser úteis nas imagens fusionadas em muitas aplicações que exigem requisitos em termos de qualidade e complexidade computacional.

4. CONCLUSÕES

Os métodos de fusão que usam algoritmos de multirresolução permitem combinar regiões e não somente *pixels*. Uma das vantagens é que o processo de fusão fica menos suscetível ao ruído. Desta forma, é possível identificar pontos de interesse nas imagens que qualificam para super-resolução.

As técnicas de PI utilizadas são eficientes, pois permitem uma notória percepção de detalhes por meio do sistema visual. Como pode ser visto na Figura 5 quando o homem, antes escondido pela vegetação, aparece na cena e, na Figura 7 a restauração apresenta mais detalhes que as imagens originais aumentando a quantidade e a qualidade de informação.

Aplicações dessas técnicas podem melhorar a capacidade de análise e interpretação das imagens fusionadas e, atender um grande número de instituições e usuários, nas diferentes áreas do conhecimento em que suas imagens são utilizadas.

Os resultados apresentados nessa pesquisa terão continuidade com o desenvolvimento deste método de fusão baseado em super-resolução e estudo de outros. Visando aperfeiçoar a qualidade da imagem e, em contraposição, reduzir a complexidade computacional.

REFERÊNCIAS

GHANTOUS, M. GHOSH, S. BAYOUMI, M. **A gradient-based hybrid image fusion scheme using object extraction.** *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING ICIP*, 2008. p 1300-1303.

MALLAT, S.G. **A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation.** *In: IEEE TRANS. PATTERN ANAL*, 1989. 674-693 p.

PIELLA, G; HEIJMANS, H. **A new quality metric for image fusion.** *In: IEEE International Conference on Image Processing vol III*, 2003. p 173-176.

SCHNEIDER, M. J. BELLON, O.R.P. RAKI, H. **Experimentos em fusão de imagens de alta resolução.** *Boletim de Ciências Geodésicas*, 2003, Curitiba.

SILVA, E.S. PAGLIARI, C.L. SILVA, E.A.B. ELLMAUTHALER, A. **Análise Comparativa de Métodos de fusão de imagem.** *In: XXIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES*, 2011, Curitiba.

TELLES JUNIOR, M.A.B.G; ROSA, A.N.C.S. **Super-resolução de imagens CBERS2.** *In: ANAIS XIII SIMPÓSIO*, 2007, Florianópolis: INPE.