Estudo de Desempenho sobre a Biblioteca Int-Haar

Vinícius R. dos Santos[1], **Alice Kozakevicius**[2], **Maurício Pilla**[1], **Renata Reiser**[1]

[1]Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

[2]Departamento de Matemática, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

{vrdsantos, pilla, reiser}@inf.ufpel.edu.br, alicek@ufsm.br

Resumo. *Neste trabalho, descreve-se uma extensão intervalar da Transformada Wavelet de Haar, implementada utilizando C-XSC, incluindo o estudo de desempenho em termos de tempo de execução sobre as principais otimizações desenvolvidas até o momento, as quais viabilizaram o aumento da exatidão dos cálculos em relação aos apresentados originalmente na literatura.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho considera o contexto da Matemática Intervalar (IM) e propõe uma solução baseada na aritmética de (MOORE, 1979) para implementação de transformadas, visando melhor conhecimento e controle dos erros nos dados e processos associados à Computação Científica (Scientific Computing - SC).

A motivação para uso de técnicas intervalares integradas às Transformadas Discretas Wavelets (TDW) é prover resultados confiáveis e automaticamente validados às aplicações que necessitam dessas transformações, cujas áreas são as mais variadas, destacando-se neste contexto o processamento de sinais e imagens [H. Om 2012, Kumar et al. 2012]. Assim, a principal meta deste trabalho consiste no **desenvolvimento de extensões intervalares de TDWs**, sendo inicialmente abordada a **Transformada Wavelet de Haar (TWH)**.

A partir dos algoritmos originais da TWH [Stollnitz et al. 1995], desenvolveu-se uma biblioteca contendo suas extensões intervalares, denominada Int-Haar e introduzida em [dos Santos et al. 2013a]. No seguimento do estudo das formulações originais da TWH percebeu-se a possibilidade de otimizá-las. Com a implementação das otimizações estudadas foi obtido um ganho considerável em termos de exatidão de cálculo computacional, principalmente para a abordagem bidimensional da transformada em questão, como descrito em [dos Santos et al. 2013b].

Mais especificamente, neste trabalho, apresenta-se um estudo de desempenho sobre os programas implementados até o presente momento. Durante a avaliação das otimizações desenvolvidas foram detectados ganhos notáveis em termos de tempo de execução da TWH. Também foi desenvolvida a extenção intervalar do processo de compressão para a transformada em questão. Esta extensão é necessária para as decisões de compressão intervalar, para as quais a aritimética pontual não oferece o devido suporte.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são discutidas as otimizações realizadas neste trabalho. Os testes e resultados de desempenho são apresentados na Seção 3. Finalmente, na Seção 4 as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados.

2. OTIMIZAÇÕES

No estudo e análise dos algoritmos originais da TWH [Stollnitz et al. 1995] percebeu-se que para a obtenção da versão normalizada da transformada, todas as iterações da formulação original executam divisões utilizando o irracional $\sqrt{2}$. Como este valor não é computável com exatidão, cada nível de decomposição ou reconstrução da TWH adiciona um certo grau de erro de cálculo aos dados. Na solução proposta neste trabalho, consideram-se simplificações algébricas para eliminar (ou diminuir) o cálculo desses valores não computáveis.

De acordo com os novos procedimentos, o processo de decomposição normalizada, tanto unidimensional quanto bidimensional, é executado da seguinte maneira: primeiramente é realizada a decomposição não-normalizada dos coeficientes [Stollnitz et al. 1995]; após essa etapa é realizada a normalização de todos os coeficientes. O processo inverso, chamado reconstrução ou composição, realiza primeiramente a desnormalização dos coeficientes e então é executado o algoritmo para transformada inversa, retornando-se aos dados originais.

Os procedimentos para a execução da TWH bidimensional utilizam do mesmo princípio utilizado para a versão unidimensional. Porém, de acordo com o abordado em [dos Santos et al. 2013a], existem dois algoritmos (padrão e não-padrão) para decomposição e reconstrução de matrizes, o que sugere procedimentos de normalização distintos entre ambos.

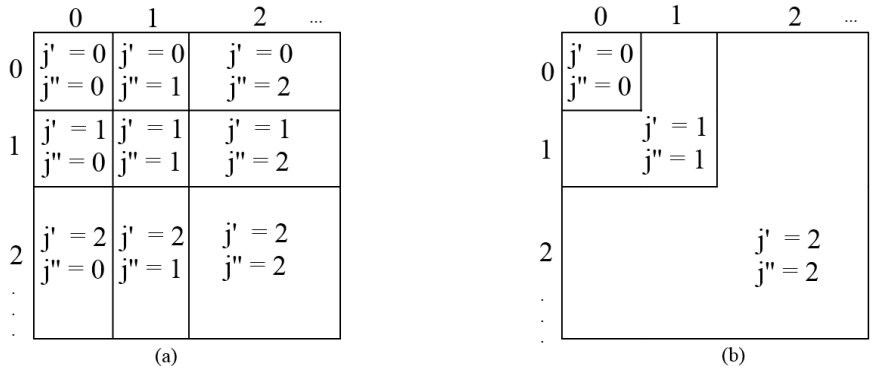

Figura 1. Combinações de fatores de normalização: (a) Algoritmo padrão; (b) Algoritmo não-padrão.

Durante o estudo dos algoritmos originais [Stollnitz et al. 1995], chegou-se ao reconhecimento de padrões dos fatores de normalização. Esses padrões foram analisados e utilizados para o desenvolvimento dos procedimentos de normalização para ambos os algoritmos bidimensionais. Estes padrões estão ilustrados na Figura 1. Como exemplo foram usadas matrizes 8x8, para as quais são apresentados 3 níveis de transformação, onde j' e j'' indicam os níveis de aplicação da normalização.

Para se calcular os fatores de normalização, sempre que $0 \leq j', j'' \leq (\log_2 n) - 1$, com n indicando a ordem da matriz, considera-se a regra R_N logo a seguir:

$$R_N = 2^{\frac{-(j'+j'')}{2}} \tag{1}$$

3. TESTES E RESULTADOS

A realização dos testes baseia-se na aplicação das TDWs para compressão de imagens. Dessa maneira, os parâmetros intervalares para as execuções foram obtidos a partir de valores pontuais contidos em *pixels* de imagens em escala-de-cinza de 8 bits, configurando assim intervalos pontuais, e usados como entrada para a TWH 2D intervalar.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, os algoritmos desenvolvidos neste trabalho apresentaram resultados mais exatos do que os originais. É possível notar o ganho de ordem E-010 pelo novo método padrão durante a decomposição, além do ganho de ordem E-008 durante a reconstrução. O novo método não-padrão desenvolvido não apresenta erro de cálculo devido às simplificações algébricas implementadas.

Tabela 1. Erros de cálculo gerados pelos algoritmos da literatura e os desenvolvidos no trabalho, utilizando a abordagem normalizada.

Metodologias	Decomposição	Composição
Método Padrão Novo	3.492460E-010	6.705523E-008
Método Padrão Original	7.916242E-008	4.671514E-006
Método Não-Padrão Novo	0.000000	0.000000
Método Não-Padrão Original	7.171184E-008	1.819804E-006

O desempenho em termos de tempo de execução foi medido ao se executar 15 vezes cada método, utilizando uma mesma matriz, para os processos de decomposição e reconstrução. Devido ao novo procedimento de normalização bidimensional, o tempo de execução diminuiu notavelmente, chegando a menos da metade do tempo, quando utilizado o novo método padrão durante a reconstrução.

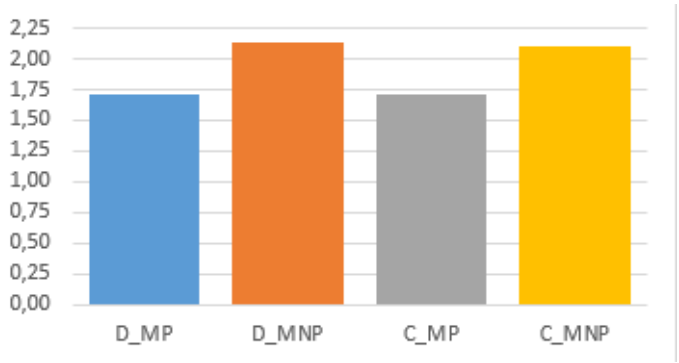

Figura 2. *Speedup* dos novos algoritmos para o método padrão (MP) e não padrão (MNP) durante a decomposição (D) e composição (C).

Entre a medição dos tempos de execução também foram medidas a qualidade das matrizes em relação à original, dada como entrada no início do programa. Os resultados sobre o erro quadrático médio (MSE) dos algoritmos originais foram 2.48004E-20 e 2.87151E-20 para os procedimentos padrão e não-padrão, respectivamente. Enquanto que os resultados da medição dos algoritmos intervalares desenvolvidos foram 4.24312E-22 e 4.08435E-22 também para os métodos padrão e não-padrão, respectivamente. Dessa maneira é possível perceber que a qualidade dos resultados alcançados é superior, levando-se

em conta que os resultados na ordem de E-022 mostram maior exatidão nos cálculos em relação aos de ordem E-020.

A máquina utilizada para a realização do teste mostrado na Figura 2 contém como hardware, um processador i7 920 à 3.07GHz (4 núcleos físicos, 8 núcleos lógicos), 6.0GB de memória DDR3 à 1066MHz. Contém como software, Windows 8.1 64-bit, Visual Studio Professional 2013 e Microsoft C/C++ Compiler utilizado para compilar os programas.

Os algoritmos originais buscam normalizar os dados preparando-os para o cálculo do próximo nível de transformação. Os novos algoritmos por sua vez executam a normalização dos dados uma única vez, ao final da decomposição ou no início da reconstrução. O *speedup* dos algoritmos desenvolvidos em relação aos originais da literatura são apresentados na Figura 2. O maior desvio padrão das execuções é de aproximadamente $0,01394486$.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a implementação da versão intervalar do algoritmo da TWH obtendo bons resultados quanto à análise do erro. As otimizações viabilizaram o aumento na exatidão dos cálculos, além de diminuírem o tempo de execução. Outras otimizações serão estudadas para se melhorar a indexação dos dados, auxiliando no acesso dos mesmos e assim diminuindo o tempo de execução da transformação. A complexidade espacial será otimizada consequentemente.

Como as transformadas *wavelets* são apropriadas para a análise de dados em contextos nos quais as escalas de representação são relevantes para o problema, o ganho de exatidão obtido com as simplificações propostas neste trabalho representam uma contribuição significativa para esta área de pesquisa.

Na continuidade, busca-se a extensão da biblioteca para suporte a programação paralela, utilizando OpenMP ou o uso de paralelização massiva em GPGPUs (*General-Processing Graphics Processing Units*).

Referências

dos Santos, V., Pilla, M., Reiser, R., and Kozakevicius, A. (2013a). Int-haar: Extensão intervalar da transformada de haar. In *Escola regional de Alto Desempenho, ERAD 2013*, pages 167–170, POA. SBC.

dos Santos, V., Pilla, M., Reiser, R., and Kozakevicius, A. (2013b). Int-haar: Improving precision of the haar interval wavelet extension. In *Theoretical Computer Science (WEIT), 2013 2nd Workshop-School on*, pages 92–96.

H. Om, M. B. (2012). An improved image denoising method based on wavelet thresholding. *Journal of Signal and Information Processing*, 3:109–116.

Kumar, M., Sudhansu, S. K., and Kasabegoudar, V. (2012). Wavelet based texture analysis and classification with linear regration model. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2:1963–1970.

Stollnitz, E. J., DeRose, T. D., and Salesin, D. H. (1995). Wavelets for computer graphics: A primer, part 1. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 15(3):76–84.