

OTIMIZAÇÕES NA BIBLIOTECA INT-HAAR VISANDO INCREMENTO NA EXATIDÃO DE CÁLCULOS

VINÍCIUS DOS SANTOS¹; MAURÍCIO PILLA², RENATA REISER²; ALICE KOZAKEVICIUS³

² Universidade Federal de Pelotas – {vrdsantos, pilla, reiser}@inf.ufpel.edu.br

³ Universidade Federal de Santa Maria – alicek@ufsm.br

1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos resultados em Computação Científica (SC) depende do conhecimento e controle dos erros nos dados e processos computacionais. Este trabalho considera a Matemática Intervalar (IM) e propõe uma solução baseada na aritmética de (MOORE, 1979).

Resultados intervalares carregam a segurança de sua qualidade e o grau de sua incerteza (MOORE, 1979), pois o diâmetro do intervalo solução, além de conter as incertezas dos parâmetros de entrada, também é um indicativo da influência dos erros (intervalo de erro) dos dados de entrada e dos erros de arredondamento e truncamento contidos no resultado final calculado.

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 de imagens, veja OM; BISWAS (2012) e 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)**. Nesta etapa, propõe-se uma implementação da TWH utilizando C-XSC, consistindo num estudo de caso para a implementação da biblioteca Int-DWTs. Este trabalho, insere-se no Projeto T-CSAPU (Técnicas para Computação Sustentável em Ambientes Paralelos e Ubíquos), visando a obtenção de resultados intervalares para validação automática das TDWs.

A metodologia de desenvolvimento do trabalho consiste no estudo e na análise dos algoritmos que viabilizam a computação da TWH incluindo sua versão ortonormal, reportada em STOLLNITZ (1995). A partir dos algoritmos originais, desenvolveu-se uma biblioteca contendo extensões intervalares, denominada Int-Haar, introduzida em SANTOS (2013).

Durante o estudo das formulações originais para a transformada em STOLLNITZ (1995), percebeu-se a possibilidade de otimizá-las, executando simplificações algébricas a fim de se eliminar o cálculo de valores irracionais, originalmente responsáveis pelas normalizações das transformações e considerados em cada iteração de seus algoritmos usuais. Através dessas simplificações, obteve-se um ganho de precisão na formulação intervalar obtida.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são discutidas as otimizações realizadas neste trabalho. Na Seção 3, discorre-se sobre a implementação da extensão intervalar. Os testes e resultados são apresentados na Seção 4. Finalmente, na Seção 5 as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados.

2. OTIMIZAÇÕES

No estudo e análise dos algoritmos originais da TWH presentes em STOLLNITZ (1995), percebe-se que para os procedimentos normalizados, todas as iterações do programa executam divisões utilizando o valor $\sqrt{2}$ como divisor. O principal problema destes procedimentos é que, como esse valor não é computável, cada nível de decomposição ou composição adiciona um certo grau de erro de cálculo aos dados. O erro gerado a cada iteração então é propagado por todos os níveis de transformação até o fim do mesmo procedimento.

Nossa solução desenvolvida para este problema, baseia-se em realizar simplificações algébricas para eliminar o cálculo de valores não computáveis, quando possível, reduzindo o erro de cálculo envolvido no processo. Dessa maneira, os novos procedimentos produzem resultados mais confiáveis em comparação com os algoritmos da literatura, reportado em STOLLNITZ (1995).

A comparação entre os algoritmos originais e os desenvolvidos neste trabalho pode ser realizada ao se analisar os resultados de ambos, dada uma mesma entrada, utilizando-se a extensão intervalar da TWH desenvolvida neste trabalho.

De acordo com os novos procedimentos, o processo de decomposição normalizada, tanto unidimensional quanto bidimensional, é executado da seguinte maneira: primeiramente é feita a decomposição não-normalizada dos dados, como indica o pseudocódigo da Figura 1; após essa etapa é realizada a normalização de todos os coeficientes, multiplicando-os por $2^{-j/2}$, sendo j o nível no qual o coeficiente se encontra.

```

procedure DecompositionStep(C: array [1..h] of reals)
  for i ← 1 to h/2 do
    C'[i] ← (C[2i - 1] + C[2i])/ 2
    C'[h/2 + i] ← (C[2i - 1] - C[2i])/ 2
  end for
  C ← C'
end procedure

```

Figura 1: Procedimento de decomposição da TWH 1D.

Dependendo de j , o cálculo de $\sqrt{2}$ não é necessário, e nesses casos não há erro de cálculo envolvido. Esse processo é ilustrado na Figura 2. Na ilustração em questão o vetor de entrada [9 7 3 5] é formado inteiramente por coeficientes de escala dados no nível $j = 2$, mas após o processo de decomposição em dois níveis, vetor [6 2 1 -1], contém então o coeficiente de escala 6 e o coeficiente *wavelet* 2, ambos do nível $j = 0$. Os demais coeficientes *wavelets* [1 -1] são então relativos ao nível $j = 1$.

Por último, o processo de normalização é executado levando em conta os níveis de cada coeficiente, para $j = 0$ não há correção por $\sqrt{2}$, mas para $j = 1$ a correção é realizada ao final do processo de decomposição.

$$[9 \ 7 \ 3 \ 5] \rightarrow [6 \ 2 \ 1 \ -1] \rightarrow [6 \ 2 \ \frac{1}{\sqrt{2}} \ \frac{-1}{\sqrt{2}}]$$

Entrada → **Decomposição** → **Normalização**

Figura 2: Exemplo unidimensional da otimização.

Os procedimentos para a execução da TWH bidimensional utilizam do mesmo princípio apresentado no parágrafo anterior. Porém, como é mostrado na Figura 3, existem dois algoritmos para decomposição e composição de matrizes, o que sugere procedimentos de normalização distintos entre ambos.

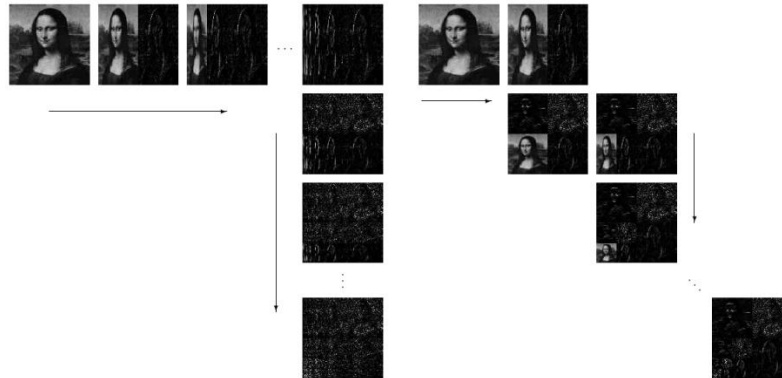


Figura 3: Decomposição 2D Padrão (esquerda) e não-padrão (direita).

Durante o estudo dos algoritmos originais STOLLNITZ (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 sequência, na Figura 4, onde foram usadas matrizes 8x8 como exemplos, as quais apresentam 3 níveis transformação, onde j' e j'' indicam os níveis de aplicação da normalização.

A regra R_N aplicada para se calcular os fatores de normalização, a qual é baseada nos padrões estudados, está descrita pela equação dada logo a seguir:

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

sempre que $0 \leq j', j'' \leq (\log_2 n) - 1$ e onde n indica a ordem da matriz.

	0	1	2	...
0	$j' = 0$ $j'' = 0$	$j' = 0$ $j'' = 1$	$j' = 0$ $j'' = 2$	
1	$j' = 1$ $j'' = 0$	$j' = 1$ $j'' = 1$	$j' = 1$ $j'' = 2$	
2	$j' = 2$ $j'' = 0$	$j' = 2$ $j'' = 1$	$j' = 2$ $j'' = 2$	
...				

(a)

	0	1	2	...
0	$j' = 0$ $j'' = 0$			
1		$j' = 1$ $j'' = 1$		
2			$j' = 2$ $j'' = 2$	
...				

(b)

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.

A implementação dos procedimentos intervalares que estão presentes na biblioteca Int-Haar, faz o cálculo do intervalo de erro do processo apresentando o maior diâmetro de intervalo contido nos resultados da transformação.

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 composição.

Métodologias	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

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

É importante verificar que, como é mostrado na Figura 4, os cálculos de $\sqrt{2}$ para o novo método não-padrão não precisaram ser executados, devido à simplificação algébrica implementada. Obtém-se ao final um erro de cálculo nulo.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a implementação da versão intervalar do algoritmo da TWH obtendo bons resultados quanto à análise do erro, ou seja, as otimizações viabilizaram o aumento na exatidão dos cálculos.

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 precisão 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*).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOS SANTOS, V.; PILLA, M.; REISER, R.; KOZAKEVICIUS, A. Int-Haar: Extensão intervalar da transformada de Haar. In: Anais da Escola Regional de Alto Desempenho, SBC, 2013, p. 167–170, POA.

OM, H.; BISWAS, M. An improved image denoising method based on wavelet thresholding. **Journal of Signal and Inf. Processing**, v.3, p.109–116, 2012.

KUMAR, M.; SUDHANSU, S.; KASABEGOUDAR, V. Wavelet based texture analysis and classification with linear regression model. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v.2, p.1963–1970, 2012.

MOORE, R. *Methods and Applications of Interval Analysis*. SIAM, 1979 Philadelphia.

STOLLNITZ, E.; DeROSE, T.; SaALESIN, D. Wavelets for computer graphics: A primer, Part 1. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1995, 15(3):76–84.