



Noam Shaham

**Métodos para Aceleração do
“non-local means” Algoritmo de
Redução de Ruído**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Eduardo Sany Laber

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2007



Noam Shaham

**Métodos para Aceleração do
“non-local means” Algoritmo de
Redução de Ruído**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Eduardo Sany Laber

Orientador

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Eduard Hermann Haeusler

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Marcos Craizer

Departamento de Matemática - PUC-Rio

Prof. Weiler Alves Finamore

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de Fevereiro de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Noam Shaham

Formou-se in Engenharia Eletrônica pelo Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel em 1990.

Ficha Catalográfica

Shaham, Noam

Métodos para aceleração do “non-local means” algoritmo de redução de ruído / Noam Shaham ; orientador: Eduardo Sany Laber. – 2007.

88 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Informática)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

CDD: 004

Este trabalho é dedicado à minha família.

Agradecimentos

À PUC-Rio, Departamento de Informática e à CAPES pela oportunidade.

À minha família pelo apoio e paciência.

Ao Professor Eduardo Sany Laber pela sua orientação e apoio.

Ao Dr. Doron Shaked, HP-Labs Haifa Israel, por apresentar-me ao *NLM*.

Resumo

Shaham, Noam; Laber, Eduardo Sany. **Métodos para aceleração do algoritmo “non-local means” de redução de ruído.** PUC-Rio, 2007. 88p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

“Non-local means” é um novo algoritmo de redução de ruídos para imagens apresentado por Buades e Morel em 2004. Este algoritmo funciona consideravelmente melhor do que os algoritmos anteriores, mas sua lenta execução causada pela alta complexidade o impede de ser usado em aplicações comuns. O objetivo deste trabalho é investigar maneiras de reduzir o tempo de execução do algoritmo, possibilitando seu uso em aplicações comuns de processamento de imagem, tal como fotografia e centros de impressão.

Palavras-chave

Processamento de imagens, redução de ruído; médias não locais;

Abstract

Shaham, Noam; Laber, Eduardo Sany. **Methods for the acceleration of “non-local means” noise reduction algorithm.** PUC-Rio, 2007. 88p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Non Local Means is an innovative noise reduction algorithm for images presented by Buades and Morel in 2004. It performs remarkably better than older generation algorithms but has a performance penalty that prevents it from being used in mainstream consumer application. The objective of this work is to find ways of reducing the time-complexity of the algorithm and enabling its use in main stream image processing applications such as home photography or photo printing centers.

Keywords

Image processing, noise reduction; non-local means;

Conteúdo

1	Introdução	15
1.1.	O problema	16
1.2.	Resultados Obtidos	17
1.3.	Organização da dissertação	17
1.3.1.	Sobre a apresentação das imagens	18
2	Conceitos básicos	19
2.1.	Ruído	19
2.2.	Avaliação de desempenho	21
2.3.	Ferramentas usadas para avaliação	22
3	Redução de ruído	23
3.1.	Algoritmo <i>NLM</i>	23
3.2.	Comentários sobre <i>NLM</i> para vídeo	30
3.3.	Complexidade de tempo do <i>NLM</i>	30
4	Otimizando o <i>NLM</i>	32
4.1.	Predizendo Resultados de Semelhança	32
4.1.1.	Quantificação Vetorial	32
4.1.1.1.	Pesquisa do vizinho mais próximo com média igual (<i>ENNS</i>)	34
4.1.1.2.	Pesquisa do vizinho mais próximo com média e variância iguais (<i>EENNS</i>)	34
4.1.1.3.	Pesquisa do vizinho mais próximo com média e variância iguais melhorada (<i>IEENNS</i>)	35
4.1.1.4.	Métodos adicionais de <i>VQ</i> e ambientes com ruído	36
4.1.2.	Uso do <i>IEENNS</i> como acelerador para <i>NLM</i>	36
4.1.2.1.	Definição das Métricas	37
4.1.2.2.	Adaptação do <i>IEENNS</i> para a distância ponderada L^2	37
4.1.2.3.	Filtro de distância mínima	39

4.1.3. Filtro de Gradiente	39
4.2. Técnicas de agrupamento	42
4.2.1. Esquema de agrupamento	42
4.3. Propriedades de Imagens Naturais	44
4.4. Considerações sobre o sistema humano de visão	45
4.4.1. Sensibilidade do HVS a ruído	45
4.4.2. Sensibilidade do HVS ao embaçamento	47
4.4.3. Alguns comentários sobre cor	49
4.5. Ajustando os parâmetros do <i>NLM</i>	50
4.5.1. Fator de decaimento	50
4.5.2. Objetivo ponderado	51
4.5.2.1. Uso de objetivo para pesos no domínio de imagens	52
4.5.3. Contribuição mínima para o peso	53
4.5.4. Distância ponderada L^2 em áreas uniformes	53
4.6. Simetria	54
4.7. Métodos adicionais	54
4.8. Resumo dos métodos propostos	55
4.9. Algoritmo proposto	56
4.10. Classificação dos pixels	57
4.11. Calibrando as expectativas	59
5 Resultados experimentais	60
5.1. Interpretando os resultados	62
5.1.1. Medição da aceleração	63
5.1.2. Medição da qualidade	63
5.2. Experimentos	63
5.2.1. Experimentos com prevenção de excesso de peso para pixels	64
5.2.2. Experimentos com filtragem por distância mínima	65
5.2.3. Experimentos com a rotação das vizinhanças de comparação	68
5.2.4. Experimentos com objetivo de peso adaptativo	68
5.2.5. Experimentos com fator de decaimento adaptativo	71
5.2.6. Experimentos com agrupamento	71
5.2.7. Experimentos com a orientação do gradiente	72

5.2.8. Uma medida de semelhança alternativa para áreas uniformes	73
5.3. Algoritmo final	74
5.3.1. O algoritmo	74
5.3.2. Experimentos	75
5.3.2.1. Levando os limites ao extremo	80
5.3.2.2. Exemplos para imagens coloridas	81
6 Trabalhos relacionados	83
7 Conclusões	85
Bibliografia	87

Lista de abreviações

<i>ENNS</i>	Equal average Nearest Neighbor Search
<i>EENNS</i>	Equal average Equal variance Nearest Neighbor Search
<i>HVS</i>	Human Visual System
<i>IEENNS</i>	Improved <i>EENNS</i>
<i>MSE</i>	Mean Square Error
<i>NLM</i>	Non Local Means
<i>SD</i>	Standard Deviation
<i>SNR</i>	Signal to Noise Ratio
<i>VQ</i>	Vector Quantization

Lista de tabelas

Tabela 1 Influência do fator de decaimento	50
Tabela 2 Sensibilidade do <i>HVS</i> ao ruído e à falta de nitidez	51
Tabela 3 Exemplos de resultados para o objetivo do peso	69
Tabela 4 Comparação entre os resultados do algoritmo modificado e do algoritmo original	76

Lista de figuras

Figura 1 Imagem com ruído branco aditivo Esq.: Imagem original v ; centro: imagem de ruído $n(D_h, v)$; dir.: imagem filtrada $D_h v$	19
Figura 2 SNR como uma medida de qualidade Esq.: imagem original; centro: $SNR=20$; dir.: $SNR=2$	20
Figura 3 Exemplo do ruído de método	21
Figura 4 semelhança	23
Figura 5 Vizinhança de similaridade	24
Figura 6 Kernel Gaussiano	26
Figura 7 5x5 Kernel Gaussiano	26
Figura 8 Peso como uma função da distância e do fator de decaimento	28
Figura 9 Efeito do fator de decaimento na imagem filtrada	29
Figura 10 Janela de semelhança	31
Figura 11 Exemplo do gradiente de uma imagem	41
Figura 12 Classificação por média quadrática ponderada e desvio padrão ponderado	43
Figura 13 Ruído em áreas uniformes e de alto contraste. Esquerda – imagem original; Direita – imagem com ruído adicionado com $\sigma_n = 20$	46
Figura 14 Marca d'água digital	46
Figura 15 Sensibilidade do HVS ao contraste	48
Figura 16 Função de sensibilidade ao contraste	48
Figura 17 Busca com raio crescente	52
Figura 18 Classificação dos pixels	58
Figura 19 Imagens de teste	60
Figura 20 Prevenção de excesso de peso para pixels; alto à esq. para embaixo à direita: imagem original, com ruído, filtrada pelo NLM , filtrada pelo NLM com limite para excesso de peso	64

Figura 21 Resultados para o filtro de distância mínimo $MSE=f(t)$	66
Figura 22 Resultados para o filtro de distância mínima, com taxa de rejeição t: topo t=1, meio t=0.5; embaixo t=0.1;	67
Figura 23 Objetivo do peso como uma função da variância local	69
Figura 24 Exemplo do objetivo do peso	70
Figura 25 Filtro do gradiente em adição ao filtro da distância mínima. Esq.: imagem filtrada pelo algoritmo original; dir.: imagem com os dois filtros aplicados	73
Figura 26 Parâmetros dependentes da variância para os testes como algoritmo final	76
Figura 27 Exemplos de resultados dos algoritmos original (esq.) e final (dir.)	78
Figura 28 Resultados do ruído de método dos alg. original (esq.) e final (dir.)	79
Figura 29 Filtragem mínima em áreas de alto contraste	80
Figura 30 Filtragem mínima para áreas de alto contraste – zoom in	81
Figura 31 Algoritmo final acelerado para imagens coloridas	82