

ABORDAGENS BAYESIANAS NÃO-LOCAIS PARA FILTRAGEM DE RUÍDO POISSON UTILIZANDO DISTÂNCIAS ESTOCÁSTICAS

Rodrigo C. Evangelista¹ e Nelson D. A. Mascarenhas²

¹Ciência da Computação – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho
Muzambinho – MG – Brasil

²Mestrado em Ciência da Computação – Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP)
Campo Limpo Paulista – SP – Brasil

rodrigo.evangelista@ifsuldeminas.edu.br, nelson@cc.faccamp.br

Abstract. A problem found in applications with imaging by low photon exposure and is the degradation of the original signal by Poisson noise. This occurs with photon counting reaching a surface detector during low exposure period in computed tomography. The presence of noise may compromise the ability of interpretation of an image, and a possible solution to improve the image quality would be to increase the exposure time during signal acquisition. This longer exposure involves subjecting the patient to a higher dose of radiation. Since the increasing acquisition time may be unfeasible, noise filtering is required. The algorithm proposed for Poisson noise reduction is derived from the non-local means (NLM) algorithm, which takes into account that natural images have many similar regions but spatially disjoint. The objective of this work is to extend the NLM algorithm for filtering Poisson noise by adopting a bayesian approach and using the fact that Poisson and Gamma distributions are conjugated. Symmetrical divergences known as stochastic distances for the Gamma distribution will also be used in the derivation of the algorithm.

Resumo. *Um problema encontrado em aplicações com imageamento por baixa exposição de fótons é a degradação do sinal original por ruído Poisson. Esse é um problema que surge na contagem de fótons atingindo a superfície de um detector durante um baixo período de exposição e captura da tomografia. Presença de ruído pode comprometer a capacidade de interpretação de uma imagem, e uma possível solução para melhorar a qualidade da imagem é aumentar o tempo de exposição durante a aquisição do sinal. Este tempo maior de exposição implica em submeter o paciente a uma dosagem maior de radiação. Visto que o aumento de tempo para aquisição pode ser inviável, a filtragem de ruído de se faz necessária. O algoritmo proposto para redução do ruído Poisson é derivado do Non-Local Means (NLM), que leva em consideração que imagens naturais possuem muitas regiões similares, porém, localmente disjuntas. O objetivo deste trabalho é estender o algoritmo NLM para filtragem de ruído Poisson adotando uma abordagem bayesiana e utilizando o fato de distribuições Poisson e Gamma serem conjugadas. Também serão utilizadas divergências*

simétricas conhecidas como distâncias estocásticas para a distribuição Gamma na derivação do algoritmo.

1.Introdução

O ruído é um problema encontrado em aplicações de imageamento digital e ocorre no processo de aquisição e formação da imagem. Em aplicações onde o processo de aquisição de imagens é realizado através da contagem de fótons, o ruído é modelado como *Poisson*. Em uma imagem corrompida por ruído *Poisson*, a variância do ruído depende da taxa média de fótons em cada região de uma imagem, portanto é dependente de sinal (BERTERO et. al. 2010);

Presença de ruído pode comprometer a capacidade de interpretação de uma imagem, e uma possível solução para melhorar a qualidade da imagem é aumentar o tempo de exposição durante a aquisição do sinal. Este tempo maior de exposição implica em submeter o paciente a uma dosagem maior de radiação. Visto que o aumento de tempo para aquisição pode ser inviável, a filtragem de ruído de se faz necessária. O objetivo dos algoritmos de filtragem de ruído é recuperar uma imagem ou tentar gerar uma imagem com o mínimo possível de ruído a partir de uma imagem.

O algoritmo *Non-Local Means* (NLM) proposto por Buades, Coll e Morel (2005), insere uma nova abordagem para filtragem de imagens ruidosas com um princípio não-local. O presente trabalho adapta o algoritmo NLM para filtragem de ruído *Poisson* com uma abordagem bayesiana, utilizando a conjugação das distribuições *Poisson* e *Gamma* e distâncias estocásticas para a distribuição *Gamma*.

Os resultados obtidos no processo de filtragem de imagens ruidosas serão futuramente comparados aos resultados obtidos no trabalho de Assis et al (2015), que utilizam filtragem antes e depois da reconstrução de tomografias computadorizadas.

2.Técnica Não-Local para filtragem de ruído

Os algoritmos locais para filtragem de ruído levam em consideração a vizinhança local de um pixel da imagem para realização da filtragem. O algoritmo NLM compara pequenas regiões da imagem individualmente e não leva em consideração a distância espacial entre estas regiões. Tais regiões são denominadas janelas. O fato de não levar em consideração a distância espacial entre as regiões, caracteriza o nome de filtragem *Non-Local Means*. Algoritmos baseados no NLM constituem o estado-da-arte em filtragem de ruído em imagens.

O algoritmo original NLM utiliza a distância euclidiana entre os valores de vizinhanças de um pixel para calcular os coeficientes do filtro e suas similaridades. As comparações entre áreas da imagem que não são vizinhas são realizadas através das janelas. A janela de similaridade é a vizinhança do pixel observado a ser filtrado e a janela de busca consiste idealmente na busca por toda a imagem, pixel a pixel com distâncias euclidianas mais próximas do pixel observado.

3.Distâncias Estocásticas

Divergências estatísticas são métricas capazes de caracterizar a separabilidade entre distribuições de probabilidade. Estas métricas acrescidas de simetria são conhecidas como distâncias estocásticas. Como o objetivo do trabalho é comparar duas janelas, as distâncias estocásticas serão utilizadas para a métrica de similaridade entre a janela de similaridade e janela de busca.

Nascimento, Cintra e Frery (2010), utilizam oito distâncias estocásticas que são utilizadas em dados corrompidos por ruído *speckle*. São elas: (1) Kullback-Leibler, (2) Rényi, (3) Hellinger, (4) Bhattacharyya, (5) Jensen-Shannon, (6) Aritmética-Geométrica, (7) Triangular e (8) Média-Harmônica. Neste trabalho será utilizada a distância Kullback-Leibler.

4. Metodologia

O custo computacional do algoritmo NLM é alto, pois a janela de busca (P) do algoritmo original percorre todos os pixels (N) da imagem gerando uma complexidade de $O(N^2|P|)$ (BROX; KLEINSCHMIDT, CREMERS, 2008). Uma alteração no algoritmo será feita para redução de seu custo. Considerando que as imagens capturadas possuem inúmeras áreas redundantes, a janela de busca será reduzida para janelas centralizadas no pixel central da janela de similaridade. Obviamente a janela de busca deve ser maior do que a janela de similaridade. Com estas alterações a complexidade do algoritmo passa a ser de $O(N \cdot |P| \cdot |\Omega|)$ onde $|\Omega|$ representa o número de pixels da janela de similaridade dentro da janela de busca.

Vários tamanhos de janelas de similaridade e de busca serão testados no processo de filtragem da imagem com o algoritmo NLM proposto. Os tamanhos utilizados nas janelas de similaridade serão de 3x3 até 7x7, já as janelas de busca vão variar de 9x9 até 15x15. Estes tamanhos influenciam diretamente no resultado da filtragem da imagem.

O NLM original utiliza a distância euclidiana como métrica de similaridade entre duas janelas. Esta distância é uma métrica confiável para ruído gaussiano, mas não para outros modelos de ruídos.

O trabalho de Nascimento, Cintra e Frery (2010), utiliza fórmulas fechadas para distância estocásticas e as mesmas foram deduzidas para ruído *speckle*. De oito expressões, somente foi possível a dedução de quatro métricas. São elas: (1) distância de *Kullback-Leiber*, (2) distância de *Rényi*, (3) distância de *Hellinger* e (4) distância de *Bhattacharyya*.

Neste trabalho, somente a distância *Kullback-Leiber* será implementada, e para trabalhos futuros as outras três métricas citadas serão utilizadas no algoritmo NLM para filtragem das imagens com ruído *Poisson* numa abordagem bayesiana com distribuições condicional *Poisson*, *a priori* e *a posteriori Gamma*, substituindo a distância euclidiana do algoritmo original.

Duas métricas para avaliação quantitativa e qualitativa das imagens são utilizadas neste trabalho. A métrica PSNR (*peak signal-to-noise ratio*) e SSIM (*structural similarity index*). As duas métricas dependem de uma imagem referência para obtenção dos resultados. A PSNR é baseada no erro médio quadrático e a SSIM apresenta uma métrica de correlação com o sistema de visão humano.

5. Resultados

Nesta seção são apresentados alguns resultados preliminares do processo de filtragem do ruído *Poisson* com utilização da distância estocástica Kullback-Leibler nas imagens.

A imagem utilizada para processamento dos métodos propostos foi o *Phantom* de Shepp-Logan. É uma imagem que possui áreas homogêneas com diferentes tonalidades, tamanhos e formas, constituindo um modelo simplificado do cérebro humano. Essas imagens simuladas possuem o tamanho de 128 x 128 *pixels*. O ruído

Poisson foi inserido no sinograma da imagem, ou seja, nas projeções obtidas pela simulação de tomografia CT, caracterizando a incerteza da contagem dos fótons.

Na Tabela 1 os resultados obtidos no processamento do *Phantom* de Shepp-Logan utilizando o algoritmo NLM proposto com a distância estocástica *Kullback-Leibler* sobre a imagem ruidosa com reconstrução através do algoritmo FBP são apresentados. Na Tabela 2 os mesmos resultados são apresentados, mas com o algoritmo de reconstrução POCS. Estes resultados foram obtidos com janela de similaridade de tamanho 3x3 e janela de busca de tamanho 9x9.

Tabela1. Resultados obtidos com reconstrução através do algoritmo FBP.

Resultados	PSNR	SSIM
Non Local Means e reconstrução via FBP.	18,39	0,55

Tabela 2. Resultados obtidos com reconstrução através do algoritmo POCS.

Resultados	PSNR	SSIM
Non Local Means e reconstrução via POCS.	21,23	0,75

Na Figura 1 são apresentadas imagens processadas e reconstruídas com FBP e POCS.



Figura 1 – Imagens reconstruídas. a) Reconstruída utilizando algoritmo FBP para reconstrução da imagem e b) Reconstruída utilizando o algoritmo POCS para reconstrução da imagem.

O resultado apresentado nesta seção com a utilização da distância estocástica *Kullback-Leibler* ainda não é o resultado com a qualidade esperada. Novos testes com diferentes parâmetros de entrada serão utilizados em trabalhos futuros, como janela de busca, de similaridade e outros que podem ser alterados e utilizados eventualmente oferecendo melhores resultados.

6. Conclusões

O objetivo principal do trabalho é utilizar abordagens bayesianas não-locais para a filtragem de ruído Poisson utilizando a conjugação das distribuições de *Poisson* e *Gamma* e distâncias estocásticas da distribuição *Gamma*. O algoritmo NLM foi utilizado para o processamento dos sinogramas do *Phantom* de Shepp-Logan proposto e

os resultados preliminares com a utilização da distância estocástica *Kullback-Leibler* foram apresentados. Outras distâncias estocásticas serão utilizadas para aquisição de novos resultados.

O resultado apresentado neste trabalho com a utilização da distância estocástica *Kullback-Leibler* não foi bom com os parâmetros utilizados. Novos testes com diferentes parâmetros de entrada, como janela de busca, de similaridade e outros serão utilizados com possibilidade de obtenção de melhores resultados.

7.Referências Bibliográficas

- ASSIS, VINICIUS C., et al. **Double Filtering in CT: Pre- and Post- Reconstruction**. 2015 28th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images. P. 316, 2015.
- BERTERO, M. et al. **A discrepancy principle for Poisson data. Inverse Problems**, v. 26, n. 10, 2010.
- BROX, T. KLEINSCHMIDT, O.; CREMERS, D. **Efficiente nonlocal means for denoising of textual patterns**. IEEE Transactions on Image Processing, v.17, n7, p. 1083-1092, julho, 2008.
- BUADES, A.; COLL, B.; MOREL, J. M. A review of image denoising algorithms, with a new one. **Multiscale Model Simulation**, v. 4, n. 2, p. 490–530, 2005.
- DELEDALLE, C.-A.; DENIS, L.; TUPIN, L.. **Iterative weighted maximum likelihood denoising with probabilistic patch-based weights**. IEEE Transactions on Image Processing, v. 18, n. 12, p. 2661- 2672, December 2009.
- NASCIMENTO, A. D. C.; CINTRA, R. J.; FRERY, A. C. **Hypothesis testing in speckled data with stochastic distances**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 48, n. 1, p. 373-385, January 2010.
- RAMACHADRAN, G. N.; LAKSHMINARAYANAN, A. V. **Thee-Dimensional Reconstruction From Ragiographs and Electron Micrographs: Application of Convolutions Instead of Fourier Transforms**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 68, n. 9, p. 2236-2240, 1971.
- SALINA, F. V. **Reconstrução Tomográfica de Imagens Utilizando Técnicas POCS Sequenciais e Paralelas**. 2001. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos.