

Redimensionamento para intercomparação entre levantamentos de radar e satélites

Sylvio Luiz Mantelli Neto^{1,2}
Leandro Coser²
Mathias Henrique Weber²
Maximiliano Pessoa Junior²
Mário Antônio Ribeiro Dantas²
Aldo von Wangenheim²
Izabelly Carvalho Costa³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
sylvio.mantelli@inpe.br

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia e Gestão do Conhecimento
Departamento de Informática e Estatística
Caixa Postal 476 – 88040-900 – Florianópolis – SC, Brasil
coser,mathias,maxpessoajr@incod.ufsc.br,
awangenh, mario@inf.ufsc.br

³ Centro Nacional de Monitoração e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN
Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ – CEP: 12630-000 – Cachoeira Paulista – SP, Brasil
izabelly.costa@cemaden.gov.br

Abstract. This work describes the methodology used to match the resolution of planified meteorological radar estimates and satellite images. Distinct resolution existent among remote sensing imaging systems, difficult image comparisons used to match quantitative features generally employed on forecasting, mapping etc. A naive approach generally used is the translation of pixel averages considering the surrounding values into new resolution. But this procedure always face problems of rounding fractional resolution into new ones, reducing the quality of subsequent quantitative analysis and degrading the uncertainty of results. Current work uses a more appropriate method to reduce this problem by using open source image processing library OPENCV for image resizing. But again a new decision have to be made when selecting the scale interpolation method. Current research compare the available methods of interpolation check which one is the most appropriate to be used in our case. Results by image and surface graphics comparison concluded that nearest neighbor interpolation is most appropriate due to simplicity, fidelity to original image and no inclusion of artificial pixels.

Keywords: remote sensing, image processing, resampling sensoriamento remoto, processamento de imagens, redimensionamento

1. Introdução

A área de sensoriamento remoto comumente depara-se com o a análise de múltiplas imagens que possuem resolução espacial distintas. Comum também é a transformação de imagens para uma mesma resolução, em um procedimento denominado redimensionamento (*resizing*) Lillesand e Kiefer (1994). O redimensionamento permite a análise simultânea das imagens na mesma escala espacial entre sistemas que produzem imagens e dados espectrais em resoluções diferentes. Por exemplo o GOES-12 utilizado amplamente em previsões do tempo no Brasil,

possui cinco sensores e três resoluções distintas que variam de 1 a $8km/pixel$ no mesmo sistema. Caso seja necessário utilizar uma análise simultânea ou multivariada destas imagens, será necessário realizar um redimensionamento com um fator de escala para mais ou para menos na ordem de até 8 vezes, para que haja uma superposição exata dos dados ou píxeis a serem analisados.

Um dos procedimentos mais utilizados é a reamostragem (*resampling*) Lillesand e Kiefer (1994), Schowengerdt (2007) onde uma nova imagem corrigida é gerada a partir da imagem original. A reamostragem também é utilizada na correção geométrica, e neste procedimento, nem sempre a matriz original de píxeis se sobrepõe exatamente na nova matriz de píxeis gerada. O procedimento mais simples é a atribuição do pixel mais próximo ou de uma média dos píxeis adjacentes da imagem original para o local correspondente na nova imagem, desprezando-se os pequenos desvios (*offsets*) entre as imagens. Mas estes procedimentos causam erros de aproximação, aumento das incertezas envolvidas nos cálculos quantitativos e das estimativas secundárias obtidas a partir das imagens.

No desenvolvimento das pesquisas foi encontrado este problema, quando tentou-se utilizar estimativas obtidas a partir de imagens de radar para correspondência de estimativas em imagens de satélite. As imagens de radar são volumétricas e suas estimativas precisam ser planificadas, antes de serem comparadas com as estimativas de satélite. As imagens de radar planificadas e as de satélite não possuem a mesma resolução espacial. A resolução espacial do radar é de $0,75km/pixel$, enquanto que a de satélite varia de 1 a $8km/pixel$. O método sugerido preliminarmente pelo grupo de pesquisas foi pela utilização da média dos píxeis, para diminuir a dispersão dos dados. Mas o redimensionamento nestas condições não permite a sobreposição exata na geometria das imagens causando fracionamento (por exemplo encaixar 5,3 píxeis de radar em 1 pixel de satélite). O uso do valor médio poderia ocasionar erros de aproximação na atribuição de valores por descasamento geométrico. Por isto foram utilizadas rotinas de redimensionamento que utilizam interpolação de imagens. Optou-se por utilizar as técnicas disponíveis na biblioteca aberta OPENCV¹ Bradski (2000). OPENCV é um conjunto de bibliotecas multiplataforma em código aberto na linguagem C^{++} especificamente desenvolvida para aplicações de visão computacional pela INTEL². Entre as técnicas de interpolação disponíveis torna-se necessário saber qual delas é a mais apropriada para ser utilizada no presente caso.

Cinco métodos de interpolação para uma resolução maior ou menor estão disponíveis na biblioteca OPENCV, conforme descrito a seguir.

- *NEAREST*: nearest neighbor, Kawabata (1991), Altman (1992).
- *LINEAR*: bilinear (default).
- *AREA*: resampling.
- *CUBIC*: bicubic $4x4$ pixel neighborhood, Keys (1981).
- *LANCZOS4*: Lanczos over $8x8$ pixel neighborhood.

Vale a pena salientar que durante o redimensionamento da imagem, não podem haver lacunas de dados, pois estas causam erros semânticos durante a interpolação utilizada no redimensionamento. Esta é outra razão pela qual as imagens de radar são interpoladas somente em 2-D. Por exemplo, a interpolação CUBIC utiliza a vizinhança $4x4$ dos píxeis.

¹OPENCV esta disponível em <http://opencv.org>

²INTEL Corporation <http://www.intel.com/english>

Se houver uma ou mais lacunas na vizinhança dos píxies, a interpolação apresentará resultados matematicamente válidos porém sinteticamente gerados. As lacunas ocorrem predominantemente entre os níveis de elevações. Neste trabalho o redimensionamento é aplicado somente nas imagens planas (ou que se encontram no mesmo plano) e não em imagens volumétricas em diferentes altitudes.

O presente trabalho apresenta um estudo, avaliando o procedimento de superposição das imagens, comparando as técnicas de redimensionamento por interpolação encontradas na literatura especializada. Nas próximas seções estarão descritas e avaliadas as técnicas encontradas na literatura especializada, apresentados os resultados encontrados e a conclusão desta avaliação.

2. Metodologia de Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido como parte das atividades de cooperação técnica entre o CEMADEN³ (Centro Nacional de Monitoração e Alertas de Desastres Naturais) e a UFSC-LAPIX⁴ (Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Processamento de Imagens e Computação Gráfica) para pesquisas na validação das estimativas do satélite GOES-12 utilizando imagens do radar meteorológico, ainda em andamento. Foram utilizadas imagens do Radar do Morro da Igreja em Santa Catarina (lat = -28.1285956° , long = -49.47176413° , alt = 1820 m), pertencentes ao DCEA⁵ disponibilizadas pelo CEMADEN, obtidas no dia 25 de abril de 2012. Foram utilizadas também as imagens do satélite GOES-12 correspondentes aos canais C3 e C4, mais apropriados para a avaliação em questão, previamente convertidas para uma resolução de $4km/pixel$.

As imagens de radar são tridimensionais e encontram-se no formato HDF-5⁶ NCSA (2000). Um conjunto de algoritmos foi desenvolvido especificamente para ler e processar as imagens em linguagem C++. As imagens 3-D do radar foram utilizadas para calcular as estimativas do conteúdo de água líquida integrada verticalmente (VIL) utilizando técnicas de processamento de imagens e o método desenvolvido por Greene e Clark (1972).

As estimativas de VIL do radar apresentadas na forma de imagens e as imagens dos canais do satélite GOES-12 não possuem a mesma resolução espacial. A resolução espacial do radar é de $0,75km/pixel$, enquanto que a de satélite utilizada foi a de $4km/pixel$. Antes de utilizá-las foi necessário convertê-las para a mesma resolução através de redimensionamento.

Cada um dos métodos de redimensionamento disponíveis no OPENCV foi utilizado, e todos eles apresentaram resultados diferentes nas imagens. As técnicas de redimensionamento em geral, são aplicadas sobre imagens de mapas que permitem interpretação semântica dos resultados a partir das formas presentes nas imagens. Através da inspeção visual das imagens de VIL obtidas, é possível notar alguns aspectos qualitativos dos efeitos de cada método de interpolação, no entanto, ficou impossível realizar uma análise semântica nos resultados e perceber os impactos dos métodos ou as diferenças entre elas. Por isto foi utilizado um estudo teórico, para saber quais eram as diferenças entre eles. Lillesand e Kiefer (1994, cap. 7.2), comparam os métodos de redimensionamento aplicados ao processamento de imagens em sensoriamento remoto para aumentar as imagens *upsampling* ou reduzir *downsampling* como no presente trabalho. Entretanto o mais importante a ser analisado, são os efeitos causados nas imagens de acordo com a aplicação. Nos próximos parágrafos serão analisadas algumas destas

³<http://www.cemaden.gov.br/>

⁴<http://www.lapix.ufsc.br/>

⁵Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Ministério da Aeronáutica www.decea.gov.br

⁶HDF-5 Hierarchical Data Format, desenvolvido pelo National Center for Supercomputing Applications (NCSA) <http://www.ncsa.illinois.edu>

características para saber qual dos métodos é o mais apropriado para esta pesquisa.

Lillesand e Kiefer (1994), Schowengerdt (2007), Dodgson (1992) e Parker, Kenyon e Troxel (1983), Richards (1995, cap. 2) mencionam os mesmos métodos de interpolação utilizados no redimensionamento (*nearest neighbor*, *bilinear*, *cubic*) disponíveis na biblioteca OPENCV.

Lillesand e Kiefer (1994) comentam que a interpolação *CUBIC* possui vantagens sobre os métodos *NEAREST* e *LINEAR* na aparência final da imagem. Lillesand e Kiefer (1994) não comentam acerca dos métodos *AREA* e *LANCZOS4*. Parker, Kenyon e Troxel (1983) também comparam 5 métodos de interpolação utilizados em imagens médicas, com três variações do método *CUBIC* (*cubic B-Spline*, *high-resolution cubic spline with edge enhancement* e *high-resolution cubic spline*). Parker, Kenyon e Troxel (1983) concluíram que os métodos *CUBIC* possuem uma melhor resposta de frequência do que o *NEAREST* e o *LINEAR*. Apesar dos métodos *LINEAR* e *CUBIC* apresentarem uma imagem mais nítida, eles acrescentam píxeis na imagem e não preservam os valores originais. Por esta razão estes métodos são aplicados depois do reconhecimento de padrões e classificação ou não são utilizados antes da análise estatística das imagens Richards (1995).

A tabela 1, apresenta um sumário das vantagens e desvantagens dos métodos avaliados. Um estudo mais profundo acerca da definição do melhor método de interpolação excede ao escopo do presente trabalho, mas pode ser encontrado em Dodgson (1992), Lehmann (1999) e Thevenaz (2000). As palavras *aliasing*, *smoothing*, *halos* e *blurring* foram mantidas do original em inglês e descrevem respectivamente os efeitos de serrilhamento de linhas, suavização, fastasmas e borramento na imagem.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos métodos de interpolação candidatos a *resampling* levantados.

Método	Desvantagens	Vantagens	Uso
NEAREST	<i>aliasing</i> <i>offset</i> -	simplicidade não altera original não introduz novos píxeis	técnicas estatísticas
LINEAR	sintético altera original problemas pós análise e executado depois do reconhecimento de padrões introduz novos píxeis	<i>smoothing</i> reduz <i>aliasing</i> <i>blurring</i>	<i>upsampling</i>
CUBIC	aumenta um pouco produz <i>undershooting</i> problemas da LINEAR <i>halos</i>	melhor <i>aliasing</i> introduz <i>halos</i> precisão e rapidez mais precisa que LINEAR	<i>upsampling</i> <i>downsampling</i>

Baseado na indicação de Schowengerdt (2007) e Richards (1995) foi utilizado o redimensionamento por interpolação *NEAREST*, para preservar os valores originais da imagem durante a análise estatística.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos a partir do uso do redimensionamento por interpolação nas imagens de radar, podem ser observados na figura 1. Nesta figura está ilustrada a mesma imagem de radar, o resultado de vários métodos de redimensionamento por interpolação e os respectivos gráficos de superfície. Conforme pode ser observado nas figuras cada imagem apresenta um resultado diferente, de acordo com o método de interpolação utilizado. Os gráficos de superfície ao lado de cada imagem foram incluídos para facilitar a visualização do problema.

4. Conclusões

Ao longo do presente trabalho foram levantados os problemas de redimensionamento para viabilizar a análise simultânea e automática de imagens de radar e satélite na mesma escala de resolução espacial. O trabalho indicou que quando se trata de imagens que não possuem a referência semântica de rios estradas etc fica difícil analisar e comparar os resultados dos métodos de redimensionamento por interpolação, utilizando as características de *aliasing*, *blurring*, entre outros como nos mapas temáticos. Mas a partir dos resultados observados nas técnicas existentes, foi possível analisar e concluir que o método de interpolação *nearest neighbor* é o mais apropriado para ser utilizado no redimensionamento das imagens à mesma escala espacial. A partir destas conclusões será possível utilizar com mais segurança técnicas de visão computacional, inteligência computacional ou métodos estatísticos multivariados na interpretação automática das imagens.

5. Agradecimentos

O autores agradecem o suporte financeiro dado pelo CNPQ através do CEMADEN e do INPE para o desenvolvimento deste trabalho no âmbito da Rede Clima.

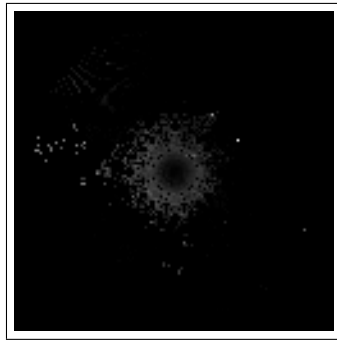
Referências

- ALTMAN, N. S. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, v. 46, n. 3, p. 175–185, 1992. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00031305.1992.10475879>>.
- BRADSKI, G. The opencv library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000.
- DODGSON, N. A. *Image resampling*. Dissertação (Mestrado) — University of Cambridge, 1992.
- GREENE, D. R.; CLARK, R. A. Vertically integrated liquid water a new analysis tool. *Monthly Weather Review*, v. 100, p. 548–552, 1972.
- KAWABATA, T. Generalization effects of k-neighbor interpolation training. *Neural Computation*, v. 3, p. 409–417, 1991.
- KEYS, R. Cubic convolution interpolation for digital image processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, v. 29, p. 1153–1160, 1981.
- LEHMANN, T. Survey: interpolation methods in medical image processing. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 18, p. 1049–1075, 1999.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.
- NCSA. *Hierarchical data Format version 5*. [S.l.], 2000. Disponível em: <<http://www.hdfgroup.org/>>.
- PARKER, J. A.; KENYON, R. V.; TROXEL, D. E. Comparison of interpolating methods for image restoration. *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING*, MI-2, p. 31–39, 1983.

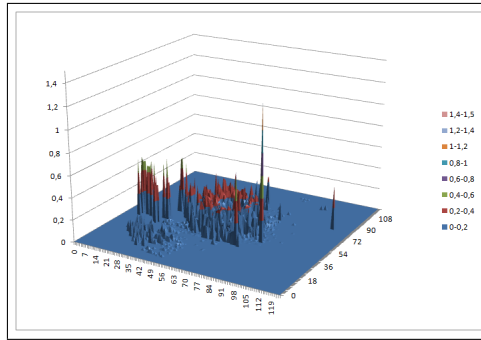
RICHARDS, J. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. 2nd. ed. Springer, 1995. ISBN 9783540251286. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=4PB5vhPBdJ4C>>.

SCHOWENGERDT, R. A. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. 3rd. ed. [S.l.]: Academic Press, 2007. 515 p.

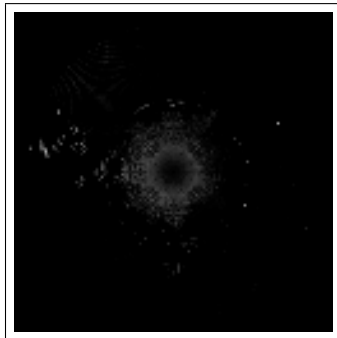
THEVENAZ, P. Interpolation revisited [medical images application]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, v. 19, p. 739–758, 2000.



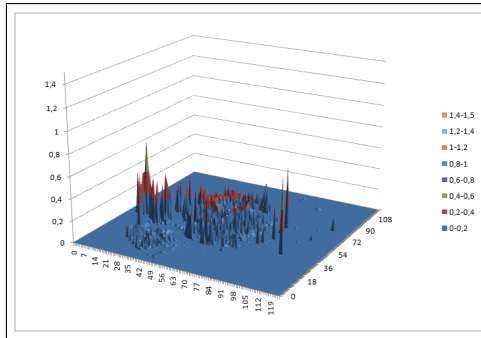
(a) *nearest neighbor*



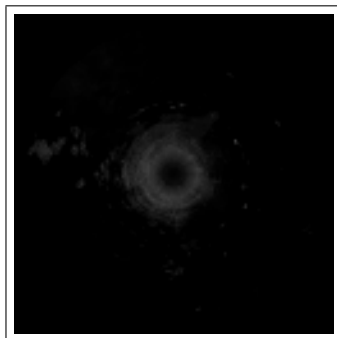
(b) Grafico de superfície para *nearest neighbor*.



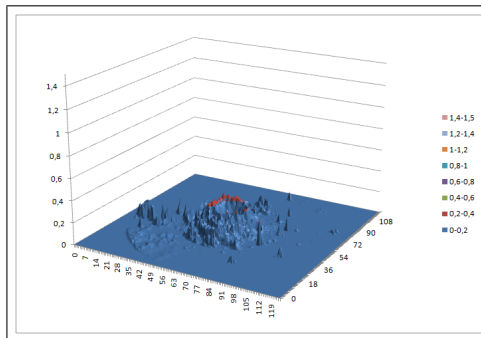
(c) *linear*



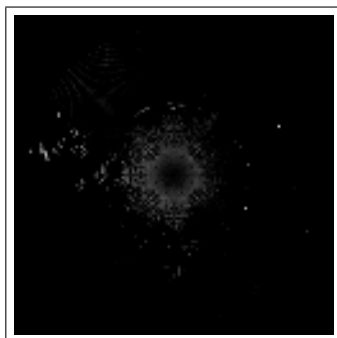
(d) Grafico de superfície para *linear*.



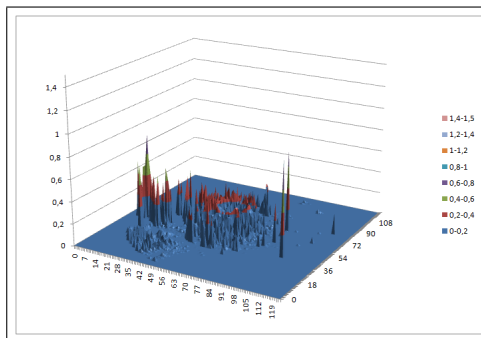
(e) *area*



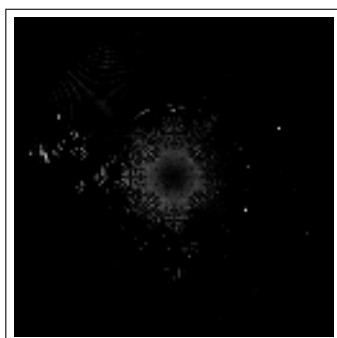
(f) Grafico de superfície para *area*.



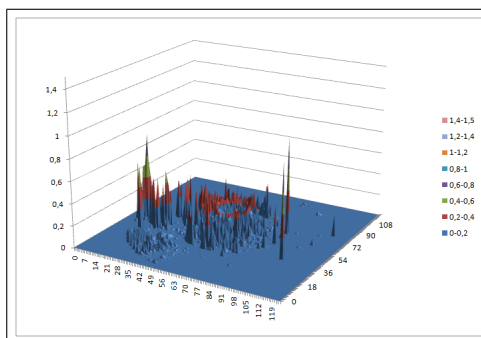
(g) *cubic*



(h) Grafico de superfície para *cubic*.



(i) *laczos4*



(j) Grafico de superfície para *laczos4*.

Figura 1: Imagens do VIL normalizadas entre valores de 0 a 255 e os respectivos graficos de superfície no dia 25/abr/2012 às 12:00h do radar de Morro da Itaia ilustrando os diferentes