

Exemplos de Análise de Imagens de Sensoriamento Remoto armazenados em uma Biblioteca Digital

ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS¹
GERALD JEAN FRANCIS BANON²

¹DECart /UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego 1235; Cidade Universitária
50670-901, Recife, PE, Brasil
analucia@lms.br

²DPI /INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970
São José dos campos, SP, Brasil
banon@dpi.inpe.br

Abstract. This paper presents to the Remote Sensing Community new tools to extract information from digital images. These tools are from Mathematical Morphology theory and they were proposed in the sixties, in France. Such tools are typically non-linear and they are rarely available in conventional image processing software. This work shows, through real examples, how these tools can help in Remote Sensing image analysis. These examples are stored in a digital library (URLib) and can be accessed through four tables by internet. This set of examples should help to find out the solution for similar image analysis problems.

Introdução

A análise automática de imagens digitais de Sensoriamento Remoto (SR) não é trivial devido ao seu alto grau de complexidade (textura, ruído, diversidade de sensores, etc.). A extração de informação de imagens digitais é de grande importância para o SR bem como para diversas outras áreas do conhecimento, tais como: Medicina, Biologia, Visão, etc.

Raramente, os softwares de processamento digital de imagens (PDI) são equipados com ferramentas para extrair informações de imagens a partir da análise geométrica de estruturas. É necessário, portanto, incluir nestes softwares novas técnicas que suportem este tipo de análise.

Na literatura voltada para PDI tem-se, em geral, uma técnica específica para cada tipo de problema de extração automática. Existe porém, uma abordagem em PDI que resolve, de forma eficiente, problemas distintos de extração de informação, a partir da análise de estruturas geométricas dos alvos contidos nas imagens digitais. Esta abordagem é denotada Morfologia Matemática (MM).

Historicamente, um dos primeiros estudos da aplicação da MM à análise de imagens de SR foi desenvolvido por Destival (1986). Naquele trabalho, apresenta-se uma comparação entre a abordagem usando as ferramentas da MM e técnicas clássicas.

Trabalhos desenvolvidos por Flouzat (1989), Banon e Barrera (1989), Ansoult e Soille (1990), Candeias e Fernandez (1993), Banon e Candeias (1993), Candeias et al. (1995), Candeias e Sousa (1996), Candeias (1996a) e Candeias (1996b) e Candeias (1997) entre outros mostram a importância da MM na análise de imagens de SR.

Barrera (1992) e Banon e Barrera (1994) descrevem um ótimo histórico do crescimento desta teoria que hoje é

intensivamente estudada em vários centros de pesquisas e universidades em todo mundo. No Brasil, alguns institutos e universidades desenvolveram pesquisas nesta área a partir do projeto PROTEM-CC AniMoMat (Análise de Imagens por ferramentas da Morfologia Matemática) (Banon, 1995a). Este projeto teve como objetivo principal a difusão da MM e suas aplicações em várias áreas do conhecimento.

Um passo importante no desenvolvimento dos exemplos aqui apresentados é a utilização da plataforma KHOROS (Konstantinides e Rasure, 1994) e um conjunto de programas denotado por caixa de ferramentas MMach (Morphological Machine) apresentada em Barrera et al. (1995).

2 Morfologia Matemática

Em análise de imagens, a extração de estruturas geométricas é muito útil. Porém, a abordagem linear do processamento de imagens não é suficiente para extrair tais estruturas. Por esta razão, tem-se que o domínio de aplicação a partir da abordagem linear é restrita.

Na década de sessenta, George Matheron e Jean Serra perceberam as restrições da abordagem linear para análise estrutural de rochas e metais obtidas a partir de imagens digitais adquiridas a partir de lâminas de microscópio. Então, eles desenvolveram uma abordagem não linear para estruturas espaciais denotada Morfologia Matemática (MM). Morfologia por auxiliar na análise de forma e Matemática, por esta análise se basear na teoria de conjuntos, topologia, reticulados, etc..

A teoria da MM é construída a partir da noção de ordem parcial, isto é, baseia-se em três axiomas (reflexividade, anti-simetria, transitividade).

Na MM supõe-se o caso particular dos conjuntos providos por uma relação de ordem parcial chamada de reticulado. Neste caso, duas operações podem ser definidas: união e interseção que possuam propriedades de comutatividade, associatividade e absorção. Os operadores morfológicos são então construídos a partir destas ideias (Candeias, 1997; Serra 1982; Banon e Barrera, 1994).

A MM está baseada na decomposição de uma transformação qualquer entre reticulados completos em termos de quatro classes de transformações elementares: dilatações, erosões, anti-dilatações e anti-erosões (Banon e Barrera, 1993). A construção destas transformações ou operadores da MM podem ser comparados de maneira metafórica com um jogo de armar LEGO (Banon e Barrera, 1994). As peças a serem encaixadas são as transformações elementares e os objetos são os operadores criados a partir destas peças.

A MM apresenta-se como uma teoria unificada a problemas de processamento de imagens (Barrera, 1992). Portanto, é possível obter metodologias para diversos estudos de extração de informação sobre imagens de SR usando o mesmo conjunto de ferramentas da MM.

A análise de imagens digitais por MM é bem adaptada para imagens binárias e para imagens em níveis de cinza. A MM para imagens coloridas é considerada uma área aberta por não estar presente neste tipo de imagem, a noção de ordem parcial (Candeias, 1997).

3 Análise de Imagens de Sensoriamento Remoto por Morfologia Matemática

A solução de um problema de análise de imagens de SR por MM pode ser representada por um operador ou uma medida,

isto é, por um mapeamento \mathbf{y} entre reticulados (**Figura 1**) que transforma uma imagem f em um reticulado L_1 em uma nova imagem g em um reticulado L_2 . A segmentação, a classificação, e o resultado de uma medida sobre uma imagem são exemplos de mapeamentos entre reticulados.

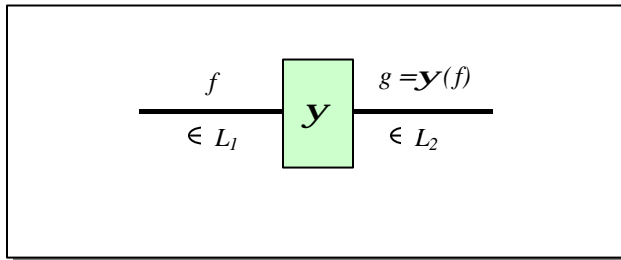


Fig. 1 – Solução de análise de imagens.

Operadores ou medidas podem ser decompostos em termos de outros operadores mais simples que podem ser reutilizados.

Para resolver um problema de análise de imagens em SR usando as ferramentas da MM é necessário que este problema esteja bem definido. Os passos para solução de um dado problema estão embutidos nesta definição. Quanto mais precisa for a definição de um problema, mais fácil será encontrar ferramentas adequadas da MM para solucioná-lo.

Candeias (1997) desenvolve doze exemplos baseados no mapeamento entre reticulados e são enumerados a seguir:

- 1 Extração de pivô central em Guaíra por um atributo de forma
- 2 Extração de corpos d'água por atributo de forma
- 3 Reconhecimento de nuvens e sombras em imagens TM

- 4 Homogeneização de temas em uma imagem de radar segmentada por máxima verossimilhança
- 5 Homogeneização de temas por uma filtragem nos planos de bits
- 6 Eliminação de listras horizontais em uma imagem NOAA
- 7 Redução do ruído de fase em interferometria em uma imagem do vulcão Etna
- 8 Casamento por seleção de feições em imagens multiespectrais e pancromática do sensor SPOT
- 9 Extração do reservatório Buritama
- 10 Extração de ilhas em imagens dos sensores TM, JERS e ERS- 1
- 11 Extração automática da drenagem em uma imagem de radar
- 12 Extração de isolinhas de uma carta topográfica

Candeias (1997) traz conceitos novos tais como: restauração local do ruído em uma imagem NOAA, filtragem da fase interferométrica, a extração de isolinhas e de ilhas, a extração automática da drenagem, etc. É apresentado aqui apenas o exemplo 9 (Extração do reservatório Buritama) dos doze exemplos mencionados anteriormente, para exemplificar a maneira de obter a solução do problema. Os outros exemplos não são mostrados aqui, mas podem ser vistos em Candeias (1997).

3.1 Extração do reservatório Buritama

Um reservatório em uma imagem digital de SR possui características espaciais e espectrais que o diferem de outros alvos. Do ponto de vista espacial, tem-se que o reservatório é

um objeto grande, está conectado a um rio e possui uma represa que separa o rio do reservatório. Do ponto de vista espectral, tem-se uma resposta espectral característica para água. No caso estudado, o rio e o reservatório possuem na banda (imagem) estudada, níveis de cinza baixos.

A partir destas observações é desenvolvida a transformação ψ vista na **Figura 2** para a extração do reservatório. Este exemplo foi objeto da publicação Candeias e Fernandez (1993).

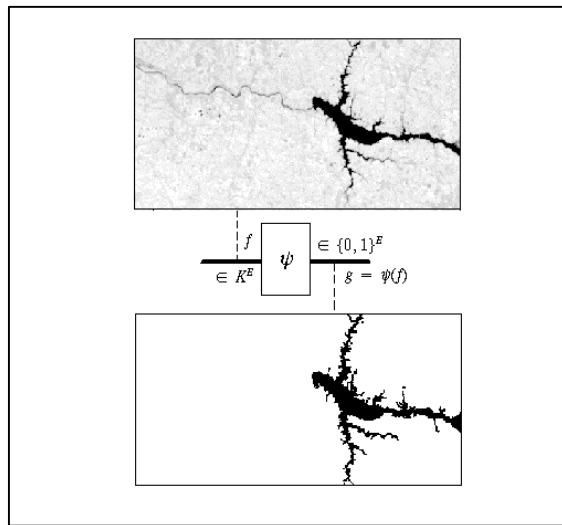


Fig. 2 - Extração do reservatório Buritama.

4 Banco de Exemplos

Para disseminar as idéias da MM aplicadas a extração de informação em imagens de SR foi utilizado o paradigma de repositórios uniformes (uniform repositories). Utilizou-se uma biblioteca digital baseada neste paradigma e denotada de

URLib (Banon, 1995b). Esta biblioteca supre os problemas de troca de informações entre as instituições bem como organiza as metodologias desenvolvidas pelos participantes em uma mesma seqüência de armazenamento. Um exemplo do índice de um acervo local é mostrado na URL:

<http://www.inpe.br/~analucia/URLib>.

A vantagem de utilizar o paradigma da URLib é o acesso rápido de todas as metodologias desenvolvidas e acesso aos respectivos dados, tais como: *workspaces*, artigos, mapas digitalizados, imagem, etc..

Com os resultados deste trabalho, foi desenvolvido um banco de exemplos de análise de imagens de SR usando MM. Os exemplos são distribuídos ao longo de vários repositórios. Um deles contém o banco de exemplos que fornece o acesso a todas as aplicações desenvolvidas. Este banco pode ser acessado pela URL:

<http://viking.dpi.inpe.br:1905/rep/dpi.inpe.br/analucia/1996/10.22.14.39>

5 Conclusões

A MM pode ser entendida como uma teoria unificada para a solução de problemas de processamento de imagens (Barrera, 1992) e fornece ao usuário possibilidades para extração de objetos na imagem.

Foi visto que esta teoria é construída a partir da noção de ordem parcial e de reticulados. E que a partir da noção de ordem parcial de um reticulado, pode-se definir duas operações: união e interseção. Com estas operações é possível definir os operadores da dilatação, da erosão, da anti-dilatação e da anti-erosão que são as bases para outros operadores mais complexos.

Em geral uma imagem de SR se enquadra na noção de ordem parcial. Porém para algumas imagens tais como: composições coloridas e imagens de fase interferométrica existe um problema de circularidade de dados (Candeias et al., 1995), ou seja, a noção de uma única ordem parcial para estas imagens não é válida (Candeias, 1997). Portanto, é necessário avaliar se o tipo do problema estudado possui a noção de ordem parcial.

Apesar do alto grau de complexidade das imagens de SR, é possível extrair objetos destas imagens usando as ferramentas da MM. Para exemplificar tais extrações, tem-se em Candeias (1997), doze exemplos que mostram a diversidade de problemas de análise de imagens de SR e onde as ferramentas da MM podem auxiliar. Estes exemplos foram adequadamente armazenados em uma biblioteca digital (Banon, 1995b) usando o paradigma de repositórios uniformes (uniform repositories). O objetivo é disseminar as idéias da MM aplicadas a extração de informação em imagens de SR a partir desta biblioteca.

Referências

- Ansault, M.M.; Soille, P.J. Mathematical morphology: a tool for automated GIS data acquisition for scanned thematic maps. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56(9):1263-1271, Sept. 1990.
- Banon, G. J. F. Projeto AnIMoMat do ProTeM-CC/CNPq. Disponível na URLib, repositório:

- col/dpi.inpe.br/banon/1995/09.19.09.44.
Consultado em 15 dez. 1995a.
- Banon, G. J. F. Uniform Repository Service. Disponível na URLib, repositório:
dpi.inpe.br/banon/1995/08.08.00.00. Consultado em 10 dez. 1995b.
- Banon, G. J. F.; Barrera, J. Morphological filtering for stripping correction of SPOT images. *Photogrammetria*, 43(3/4):195-205, Mar. 1989.
- Banon, G. J. P.; Barrera, J. Decomposition of mappings between complete lattices by mathematical morphology. *Signal Processing*, 30(3):299-327, Feb. 1993.
- Banon, G. J. F.; Barrera, J. **Bases da morfologia matemática para análise de imagens binárias**. MCT/INPE, 1998. Segunda edição. Disponível na URLib, repositório:
dpi.inpe.br/banon/1998/06.30.17.56.
- Banon, G. J. F.; Candeias, A. L. B. Restauração de imagens NOAA por morfologia matemática. In: **Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens**, 6., Recife, out., 1993. Anais. Recife, Wagner, 1993. p. 139-145. Disponível na URLib, repositório:
dpi.inpe.br/banon/1995/09.27.15.54.
Consultado em 10 dez. 1996.
- Barrera, J. **Uma abordagem unificada para problemas de visão computacional**. (Tese de Doutorado em Engenharia Eletrônica) - INPB. São José dos Campos, 1992. (INPE 5391-TAE/012).
- Barrera J.; Banon G. J. F.; R. Lotufo, R. A. A. A mathematical morphology toolbox for the KHOROS system: specifications for Version 1.2b. In: *Brazilian Workshop 95 on Mathematical Morphology*, São José dos Campos. 1995, **Anais**. São José dos Campos. INPE, 1995. Disponível na URLib, repositório:
ime.usp.br/jb/1996/04.03.14.02. Consultado em dez. 1996.

- Candeias, A. L. B.; Fernandez, M. Delimitação do reservatório Buritama a partir da imagem simulada SSR usando morfologia matemática, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba. 10-14, maio 1993. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993. v. 2, p. 318-322.
- Candeias, A. L. B. KHOROS. Disponível na URLib, repositório:
<dpi.inpe.br/analucia/1995/11.10.15.02>. Consultado em set. 1995.
- Candeias, A. L. B.; Mura, J. C.; Dutra, L. V.; Moreira, J. M. Interferogram phase noise reduction using morphological and modified median filters. In: IGARSS'95 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 1., Firenze, 10 -14 July. 1995. **Quantitative Remote Sensing for Science and Applications**, Piscataway, IEEE, 1995, p. 166-168.
- Candeias A. L. B. Drainage network extraction from a SAREX'92 RADAR image SIBIGRAPI'96. In: SIBIGRAPI'96 Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 9., Caxambu, 29-01 nov. 1996. Anais. Rio de Janeiro, Instituto de Matemática Pura e Aplicada. p. 143-150. Disponível na URLib, repositório: <dpi.inpe.br/ambro/1998/04.16.10.04>. Consultado em nov. 1996a.
- Candeias A. L. B. Identificação de ilhas usando as ferramentas da morfologia matemática. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996, Anais. São Paulo: INPE/SELPER, 1996b. 6p. CD ROM, Seção artigos. Disponível na URLib, repositório: <dpi.inpe.br/analucia/1996/03.10.12.15>. Consultado em nov. 1996b.
- Candeias, A. L. B. Banco de Exemplos em Sensoriamento Remoto. Disponível na URLib, repositório:

dpi.inpe.br/analucia/1996/10.22.14.39.

Consultado em set. 1996c.

Candeias A. L. B.; Sousa E. B. Aplicação da morfologia matemática na extração automática de curva de nível de carta topográfica. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8., Salvador, 1996, **Anais**. São Paulo: INPE/SELPER, 1996. 6p. CD Rom, Seção artigos. Disponível na URLib, repositório:

dpi.inpe.br/analucia/1996/03.18.15.57.

Candeias, A. L. B. **Aplicação da morfologia matemática à análise de imagens de sensoriamento remoto**. (Tese de Doutorado em Computação Aplicada) - INPE. São José dos Campos, 1997. Disponível na URLib, repositório:

dpi.inpe.br/analucia/1996/10.14.12.27.

Destival, I. Mathematical morphology applied to remote sensing. **Acta Astronáutica**. 13(6/7):371-385, June/July 1986.

Flouzat, G. Review on image analysis with mathematical morphology in remote sensing. In: IGARSS' 89 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, 10-14 July 1989. An economic tool for the nineties. IEEE, Canada, 1989. v. 4, p. 2424-2429.

Konstantinides, K.; Rasure, J. R. The KHOROS software development environment for image and signal processing. **IEEE Transactions on Image Processing**, 3(3):243-252, 1994.

Serra, J. P. F. **Image analysis and mathematical Morphology**. London, Academic Press, 1982, 610p. v.1.