

Extração de estradas em imagens SAR aerotransportadas: Uma abordagem semiautomática utilizando Semeação e Modelo de Contorno Ativo

Rodolfo Georjute Lotte¹, Sidnei João Siqueira Sant'Anna³, Cláudia Maria de Almeida²,
Corina da Costa Freitas³

¹Laboratório Associado de Matemática e Computação Aplicada - LAC

²Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR

³Divisão de Processamento de Imagens - DPI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 – 12.227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil

rodolfo.lotte@inpe.br, sidnei@dpi.inpe.br, almeida@dsr.inpe.br,

corina@dpi.inpe.br

Abstract. *The great advantage in the usage of radar images is the possibility of surveying areas often covered by clouds, since the imaging by active sensors is independent from atmospheric conditions in the region of interest. In this work, we discuss the use of an active contour model (Snakes) to extract the center-axis of roads in a airborne SAR image. Therefore, it is necessary to have previously defined points within the feature of interest, called seed points. The generation of these points (seeding) will be performed in semi-automatic way through Self-Organizing Maps (SOM). The interpolation of these points characterize the input data Snakes method.*

Resumo. *A grande vantagem na utilização de imagens de radar (Radio Detection and Ranging) é a possibilidade de levantamento em áreas frequentemente recobertas por nuvens, uma vez que o imageamento por sensores ativos independe das condições atmosféricas presentes na região de interesse. Este trabalho aborda a utilização do Modelo de Contorno Ativo (Snakes) para a extração do eixo de simetria de estradas em uma imagem SAR aerotransportada. Para tanto, é necessário que se tenham pontos pré-estipulados próximos à feição de interesse, denominados pontos-sementes. A marcação desses pontos (seeding) é realizada de maneira semiautomática por meio do conceito de Mapas Auto-Organizáveis (Self-Organizing Maps - SOM). A interpolação desses pontos caracteriza a entrada para o método de extração.*

Palavras-chave: *extração de estradas, radar, snakes, semeação, mapas auto-organizáveis.*

1. Introdução

O uso de imagens de radar (*Radio Detection and Ranging*) para o reconhecimento de padrões terrestres e o levantamento de informações acerca de mudanças nos alvos da superfície vem sendo muito utilizado em diferentes áreas de aplicação, tais como: geologia, hidrologia, oceanografia, cartografia e outras. O funcionamento dos radares imageadores é baseado na transmissão de micro-ondas em uma determinada faixa na superfície. As

imagens são formadas através da radiação emitida pelos sensores e retroespalhada pelos objetos. Parte da energia emitida pelos sensores é absorvida pelo objeto, e o restante é retroespalhada. Essa energia é retornada ao sensor e medida pelo mesmo. Desta forma, a aquisição da imagem é possível em qualquer horário do dia, sob quaisquer condições de tempo, necessitando somente de condições propícias de sobrevoo.

Existem fatores que são considerados como obstáculos na formação de imagens óticas. No entanto, alguns desses fatores são desprezíveis no imageamento por radar, tais como nuvens, horário do dia, sombras causadas por grandes edifícios e árvores. Em contrapartida, o imageamento por radar pode apresentar alguns obstáculos como a presença de ruído em grande quantidade, distorções por interferências de sinal ou a formação de sombras, geralmente causadas por objetos com formas cônicas.

A pesquisa sobre a extração de estradas em imagens de radar de abertura sintética (*SAR - Synthetic Aperture Radar*), surgiu na década de 70, com o pioneirismo de Bajcsy e Tavakoli [Bajcsy e Tavakoli 1976] e Quam [Quam 1978], e se intensificou desde então. A extração de feições lineares, ou estradas, utilizando o imageamento por radar é ainda uma questão científica em aberto, e as aplicações existentes exprimem soluções diferenciadas [Poz e Agouris 2001, Agouris et al. 2001]. Pode ser aplicada em áreas como o mapeamento cartográfico, a correção automática ou a atualização de produtos em sistemas de informação geográfica (*Geographic Information Systems - GIS*), entre outras.

Com o objetivo de extrair estradas presentes em imagens de radar, neste trabalho, serão abordados dois conceitos que trabalharam em conjunto para a realização do processo, que é a utilização da Semeação semiautomática e o Modelo de Contorno Ativo (*Snakes*). Para que o conceito de semeação seja automatizado em parte de seu processo, foi adotado o uso das Redes Neurais Artificiais (RNA), com o método Mapas Auto-organizáveis (Self Organizing Maps - SOM) [Kohonen 1982]. A segunda etapa é caracterizada pela realização do método *Snakes* [Kass et al. 1987], onde os pontos obtidos no processo antecessor são interpolados obtendo uma curva próxima a estrada, constituindo-se então, a curva inicial para o método de extração.

2. Fundamentação Teórica

Atualmente, existem inúmeras técnicas para extração de estradas em imagens digitais. As pesquisas envolvendo este problema se resumem em imagens provenientes de sensores ópticos e de micro-ondas, ambos apresentando soluções diferenciadas. Com a grande disponibilidade de artigos abordando o problema, nota-se um intenso avanço no desenvolvimento de novos métodos nas últimas décadas [Tupin et al. 1998, Doucette et al. 2004, Gruen e Li 1997]. Tendo em vista a enorme quantidade de trabalhos, esta seção destina-se a apresentar as principais contribuições para o tema.

Dentre os inúmeros métodos, a morfologia matemática é uma das abordagens mais utilizadas, em que pode ser aplicada desde a filtragem da imagem até a extração de estradas propriamente dita. Chanussot et al. [Chanussot et al. 1999] apresentaram um método automático para a extração de feições lineares em imagens *SAR*, na qual utilizaram operadores morfológicos para a filtragem das estradas e remoção de regiões indesejáveis. Zhang [Zhang et al. 1999] utilizaram o processo de afinamento para a obtenção dos eixos de simetria e estradas. O processo é realizado sobre uma imagem segmentada, onde são aplicados dois outros operadores: de abertura, para que sejam removidos pontos espúrios

da detecção, e de fechamento, para que os extremos dos segmentos de estrada desconectados sejam conectados.

A segmentação tem um papel importante no processamento de imagens de radar. Mena e Malpica [Mena e Malpica 2005] utilizaram a segmentação baseada na análise de textura da imagem, em que o processo é realizado sobre uma imagem óptica de composição colorida. Após concluir a etapa de segmentação, a imagem é submetida a um processo de esqueletonização, fornecendo os eixos de simetria da rede de estradas. Amini et al. [Amini et al. 2002] utilizaram o método *split-and-merge* para a segmentação. O método é baseado na estrutura “*quadtree*” [Finkel et al. 1974] para a partição da imagem, que explora as regiões homogêneas e em seguida as combinam caso suas vizinhas possuam homogeneidade semelhante.

Apesar de não se tratar de um método de extração, a sementeção é, muitas vezes, uma importante ferramenta nesse processo e, portanto, relacionada nesta seção como um dos métodos de extração. Geralmente, o método de sementeção é utilizado em alguns trabalhos como predecessor ao algoritmo de extração. Algoritmos como o delineador de estradas (*road trackers*) e Modelo de Contorno Ativo (*Snakes*) são exemplos de métodos de extração que utilizam a marcação de pontos-sementes.

Zhao et al. [Zhao et al. 2002] apresentaram um algoritmo semiautomático para a extração de estradas em imagens ópticas orbitais de alta resolução, em que o processo de sementeção é realizado sobre uma imagem binária. Os pontos são marcados, conforme a análise dos vizinhos dos *pixels* de borda. Gruen e Li [Gruen e Li 1996] utilizaram também um semeador manual para a extração de estradas em imagens ópticas, em que abordam o método LSB-*Snakes* (*Least Square B-spline Snakes*), que utiliza o ajuste dos mínimos quadrados combinados ao método *Snakes* para o delineamento das fronteiras das vias.

Por fim, os trabalhos envolvendo o uso de Modelos Deformáveis na extração de estradas. A técnica consiste em uma abordagem promissora, embora seja complexa, sua utilização permite identificar com exatidão o contorno de objetos presentes na cena. Na literatura, os trabalhos mostram-se eficazes quando a imagem possui propriedades ópticas. Por outro lado, na imagem de radar, a aplicação desse modelo possui limitações, justamente pela presença de ruído em grande quantidade.

Gruen e Li [Gruen e Li 1997] abordaram o uso do método *Snakes* em conjunto com a Programação Dinâmica [Bellman 1954], o qual é utilizada como método de otimização na evolução da curva. Mayer et al. [Mayer et al. 1997] utilizaram o método *Ribbon-Snakes* em imagens ópticas de alta resolução, em que o eixo de simetria é replicado para as fronteiras das estradas. Bentabet et al. [Bentabet et al. 2003] propuseram um método para a extração de estradas em imagens de radar, utilizando para tanto o método *Snakes*. Os autores utilizaram filtros redutores de ruído *speckle*, em que após a suavização, é aplicado um detector de linhas, proposto por Ziou [Ziou 2000] e em seguida o método *Snakes*.

Muitos dos trabalhos envolvendo o problema de extração de estradas, mencionados acima, não possuem uma abordagem específica para a sua resolução. Porém, as soluções se baseiam grande parte em soluções híbridas, que consiste em utilizar o melhor de cada método para um conceito mais global, neste caso, a extração de estradas.

3. Metodologia

Neste trabalho é apresentada uma solução híbrida para a extração de estradas em uma imagem de radar aerotransportada. A solução é baseada na combinação de um método semiautomático de sementeção e o método *Snakes*. A técnica consiste basicamente em identificar pontos que caracterizam a passagem de uma estrada na imagem. Como foi dito na seção anterior, o método de Sementeção não é um método de extração de estradas por si só, embora sua utilização tenha uma parcela importante no processo. Os pontos sementes identificados nesta etapa, interferem diretamente na método *Snakes*.

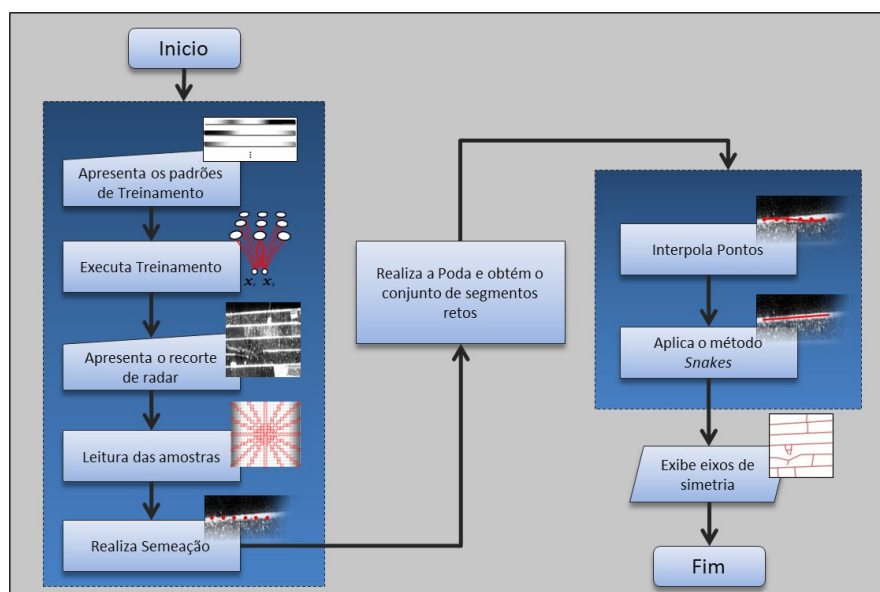


Figura 1. Fluxograma do processo de extração de estradas.

O fluxo de execução do processo de extração de estradas é dividido nas etapas de Sementeção e *Snakes*. Na Figura 1 é apresentada as etapas que constituído cada um dos métodos. A arquitetura da rede foi definida com mapa de dimensão de 6x6 neurônios, taxa de aprendizagem de 0,05, 25 neurônios de entrada e treinamento com condição de parada por variação mínima de erro. Após o treinamento da rede *SOM*, é realizada a leitura das amostras na imagem. Tal processo consiste em varrer a imagem em saltos pré-estabelecidos, de forma que, a cada salto uma janela de dimensão fixa especifica o conjunto de *pixels* que correspondem a respectiva amostra. A cada salto são lidos os valores de diferentes orientações (Figura 2). Em cada uma destas orientações são obtidos os perfis (vetor de valores) que, posteriormente, são utilizados na identificação das estradas.

No processo de marcação dos pontos, cada amostra é apresentada a rede *SOM* treinada para que esta faça o reconhecimento daquelas que se apresentarem semelhantes. Os valores da amostra são associados a uma posição no mapa de neurônios, o que caracteriza o neurônio vencedor para este vetor de dados, se a localização do neurônio vencedor corresponder a um dos padrões de estrada, a amostra é definida como estrada. Os pontos-sementes são separados em grupos de segmentos de reta, em que cada linha dessa matriz é aplicado o método *Snakes*. Tal matriz é submetida a um processo de poda, que consiste em identificar e excluir os pontos isolados ou de discontinuidades. Desta forma, a aplicação do método *Snakes* é realizada sobre pontos mais concisos.

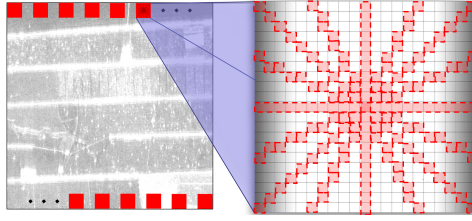


Figura 2. Varredura na imagem para a leitura das n amostras, de modo que em cada amostra são lidos um conjunto de perfis (Na ilustração, oito perfis).

Desenvolvido por Kass et al. [Kass et al. 1987], o problema do método *Snakes* se resume ao processo de minimização da energia da curva (Equação 1). O modelo pode ser considerado como sendo uma *spline* cúbica, controlada sobre a influência das energias interna e externa.

$$\begin{aligned} E_{total} &= \int_0^1 E_{total}(v(s))ds \\ &= \int_0^1 E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s))ds \end{aligned} \quad (1)$$

A energia interna corresponde a energia da curva dada pela Equação 2, consistindo-se de dois termos que controlam a elasticidade e rigidez da curva, respectivamente.

$$E_{int} = \frac{1}{2} \int_0^1 \alpha(s)|v_s(s)|^2 + \beta(s)|v_{ss}(s)|^2 ds \quad (2)$$

A segunda energia, representando a energia da imagem, é composta pela soma do produto de três outras energias, Equação (3).

$$E_{ext} = w_{line}E_{line} + w_{edge}E_{edge} + w_{term}E_{term} \quad (3)$$

Os valores de w_{line} , w_{edge} e w_{term} são constantes que funcionam como ajustes para suas respectivas energias. E_{line} especifica as características do contorno quanto aos níveis de intensidade da forma. Tal energia é simplesmente os níveis de intensidade da imagem:

$$E_{line} = I(x, y) \quad (4)$$

O funcional de borda, E_{edge} , pode ser interpretado também, como um operador para a identificação de bordas na imagem:

$$E_{edge} = -|\nabla I(x, y)|^2 \quad (5)$$

em que $\nabla I(x, y)$ é o gradiente da imagem I . E_{term} é definido por Kass et al. [Kass et al. 1987], como o funcional de terminação que tem como responsabilidade ignorar pontos de descontinuidades de segmentos de linhas e formas subjetivas, negligenciado na extração de feições lineares.

O processo de obtenção do contorno do objeto é definido como sendo um processo de minimização da energia total da curva, Equação 1. Existem diferentes maneiras de se minimizar tal energia. Na seção seguinte, serão apresentadas as principais técnicas utilizadas para a resolução do problema de minimização do funcional de energia.

4. Resultados

Para a realização dos experimentos, foi adotado um recorte de uma imagem SAR, que recobre a região de Paragominas no estado do Pará, com resolução radiométrica de 8 *bits* e espacial de 2,5 metros na banda P. A imagem foi adquirida com o sensor OrbiSAR da empresa Orbisat da Amazônia Ind. e Aerolevanteamento S.A. no período de aerolevanteamento entre 11 de fevereiro de 2007 e 13 de março de 2007, com altitude de 11.000 m.

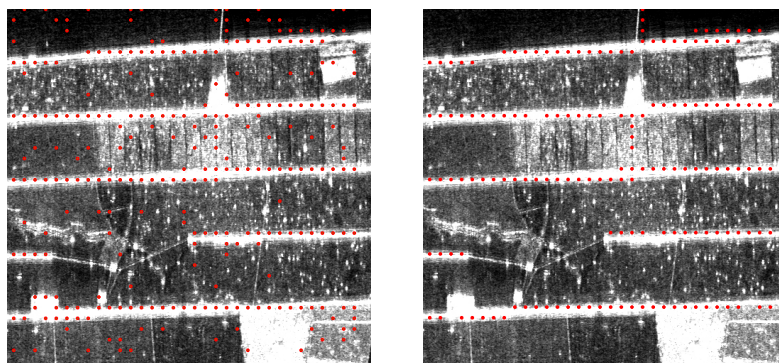


Figura 3. Resultados da sementeção: (a) Sementeção antes do processo de poda e (b) Sementeção após o processo de poda.

Na Figura 3 nota-se que o método de poda foi eficaz na exclusão dos pontos espúrios. Embora a sementeção não tenha apresentado eficiência na identificação de estradas estreitas (aproximadamente 3 *pixels*) a qualidade do resultado foi satisfatória, como pode ser analisado na Tabela 1. Os parâmetros amostrados na Tabela 1 é baseada nas métricas apresentadas por Wiedemann et al. [Wiedemann et al. 1998] para a validação do método de extração de estradas. O método *Snakes* mostrou-se eficiente quando os pontos-sementes são marcados próximos a via, convergindo muito próximo ao eixo de simetria. Na Tabela



Figura 4. Resultados finais: (a) Resultado final após a aplicação do método Snakes. (b) Resultado final sem a imagem e (c) A referência terrestre da rede de estradas.

1 são apresentados os valores correspondentes a validação dos resultados. Foi considerado um desvio de 5 *pixels*. O desvio representa o valor em *pixels* que a estrada extraída pode extrapolar em relação ao conjunto referência.

Tabela 1. Medidas de desempenho do operador de extração.

Métricas	Medida(%)
<i>Completeness</i>	0.73
<i>Correctness</i>	0.97
<i>Quality</i>	0.85
<i>Redundancy</i>	0.02

5. Conclusão

Esse trabalho apresentou a utilização dos mapas auto-organizáveis como abordagem na sementeção semiautomática de estradas em uma imagem *SAR* aerotransportada. Os resultados indicam eficiência na utilização da rede *SOM* como ferramenta para o modelo classificador de dados, e portanto, um bom método na sementeção semiautomática de estradas em imagens de radar. O processo de identificação foi realizado sem a necessidade de qualquer pré-processamento na imagem, tais como filtros suavizadores e filtros de realce.

Em face das características da imagem *SAR*, utilizada nos experimentos, são sinalizados muitos pontos espúrios, ocasionando erros de comissão em grande quantidade. Uma solução para isto foi a criação do algoritmo de poda, que viabilizou a escolha dos melhores pontos entre aqueles identificados, eliminando os demais. Com isso, muitos dos pontos espúrios são eliminados e, conseqüentemente, são selecionados hipóteses mais concisas de segmentos retos. Nota-se pelos resultados finais da extração que a sementeção influencia diretamente na qualidade final dos resultados. Devido a natureza da imagem, a identificação de um determinado padrão torna-se uma tarefa difícil e a sementeção, quase sempre, vem a errar nas suas determinações.

Embora o operador não tenha identificado trechos em que as estradas apresentaram-se mais estreitas, conclui-se que o operador no aspecto geral apresentou-se satisfatório, uma vez que ao apresentar pontos próximos a estrada a convergência para os eixos de simetria das vias, quase sempre, ocorreram.

Referências

- Agouris, P., Stefanidis, A., e Gyftakis, S. (2001). Differential snakes for change detection in road segments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(12):1391–1399.
- Amini, J., Saradjian, M., Blais, J., Lucas, C., e Azizi, A. (2002). Automatic road-side extraction from large scale imagemaps. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(2):95–107.
- Bajcsy, R. e Tavakoli, M. (1976). Computer recognition of roads from satellite pictures. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*, pages 623–637.
- Bellman, R. (1954). The theory of dynamic programming. *The RAND corporation*, (550).
- Bentabet, L., Jodouin, S., Ziou, D., e Vaillancourt, J. (2003). Road vectors update using sar imagery: a snake-based method. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 41(8):1785–1803.

- Chanussot, J., Mauris, G., e Lambert, P. (1999). Fuzzy fusion techniques for linear features detection in multitemporal sar images. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 37(3):1292–1305.
- Doucette, P., Agouris, P., e Stefanidis, A. (2004). Automated road extraction from high resolution multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(12):1405–1416.
- Finkel, R. A., Bentley, J. L., Finkel, R. A., e Bentley, J. L. (1974). Quad trees a data structure for retrieval on composite keys. *Acta Informatica*, 4(1):1–9.
- Gruen, A. e Li, H. (1996). Linear feature extraction with LSB-snakes from multiple images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31:266–272.
- Gruen, A. e Li, H. (1997). Semi-automatic linear feature extraction by dynamic programming and LSB-snakes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(8):985–995.
- Kass, M., Witkin, A., e Terzopoulos, D. (1987). Snakes: Active contour models. *International Journal of Computer Vision*, 1(4):321–331.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43:59–69.
- Mayer, H., Laptev, I., Baumgartner, A., e Steger, C. (1997). Automatic road extraction based on multi-scale modeling, context, and snakes. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32:106–113.
- Mena, J. B. e Malpica, J. A. (2005). An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution multi-spectral satellite imagery. *Pattern Recognition Letters*, 26:1201–1220.
- Poz, A. P. D. e Agouris, P. (2001). Um algoritmo de otimização global para a extração de rodovias em imagens digitais. *Revista Brasileira de Cartografia*, (53):65–72.
- Quam, L. (1978). Road tracking and anomaly detection in aerial imagery. pages 51–55. *Image Understanding Workshop*.
- Tupin, F., Maître, H., Mangin, J.-F., Nicolas, J.-M., e Pechersky, E. (1998). Detection of linear features in sar images: Application to road network extraction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(2):434–453.
- Wiedemann, C., Heipke, C., Mayer, H., e Jamet, O. (1998). Empirical evaluation of automatically extracted road axes. In *Empirical Evaluation Techniques in Computer Vision*, pages 172–187.
- Zhang, C., Murai, S., e Baltsavias, E. (1999). Road network detection by mathematical morphology. In *Proc. ISPRS Workshop 3D Geospatial Data Production: Meeting Application Requirements*, pages 185–200.
- Zhao, H., Kumagai, J., Nakagawa, M., e Shibasaki, R. (2002). Semi-automatic road extraction from high-resolution satellite image. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV(3):A–406 ff.
- Ziou, D. (2000). Finding lines in grey-level images. In *Processing of International Conference Pattern Recognition*, pages 534–537.