

Contornos Ativos Geodésicos: Um Método Alternativo para Segmentação de Imagens de Satélite

Cassius Marcelus Ferreira Pereira ¹
Flávio Luis de Mello ²
Oscar Ricardo Vergara ¹

¹ Instituto Militar de Engenharia (IME) – Seção de Engenharia Cartográfica (SE/6)
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP 22290-270
cassius27@gmail.com, vergara@ime.eb.br

² Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro- Departamento de Engenharia Eletrônica e Computação. Av. Pedro Calmon, nº 500, BI-H, Cidade Universitária RJ-Brasil
flavioluis.mello@gmail.com

Abstract: With the purpose to minimize the inconsistencies generated by the traditional techniques of images segmentation, this work considers an alternative form of segmentation based on a particular type of deformable models: the Geodesic Active Contours. The developed algorithm is tested in band 3 of a scene CCD-CBERS 2 of Rio De Janeiro. The results show that this method has a great potencial on remote sensing image segmentation.

Keywords: segmentation, deformable models, snakes satellite images, image processing .

1. Introdução

Os algoritmos tradicionais de segmentação baseiam-se em dois princípios: o da descontinuidade, que detecta mudanças abruptas dos níveis de cinza de uma cena, e o da similaridade, que realiza o agregamento de pixels que guardam semelhanças com os vizinhos (N-Barbosa *et al*, 2003). Alguns exemplos de algoritmos de segmentação são os de agrupamento de pixels (*clusterização*), o crescimento de regiões e o de detecção de bacias. Entretanto, estes algoritmos ainda geram alguns resultados indesejáveis para o usuário, como hipersegmentação de área homogêneas, construção de falsos contornos e o surgimento de segmentos abertos. Sob esta ótica, tais resultados acabam por demandar uma pós-segmentação mais custosa nas feições segmentadas, a fim de minimizar os erros na fase posterior de classificação ou extração semi-automática.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor um método alternativo para segmentação de imagens de satélite baseado em modelos deformáveis, mais especificamente, nos contornos ativos geodésicos. Tais modelos apóiam-se na teoria de evolução de curvas e fluxos geométricos, ou seja, a curva inicial é modelada através de uma equação diferencial parcial e a deformação desta curva em direção às bordas da feição é explicada pelas técnicas de evolução de uma curva no espaço bidimensional (Caselles *et al*, 1995). Assim, os modelos geométricos relacionam-se diretamente com a geometria intrínseca da curva em relação à imagem. Este modo de tratar da segmentação de imagens difere significativamente dos métodos tradicionais de segmentação ora citados, principalmente devido a sua proposição envolvendo conceitos físicos e de geometria diferencial que não são abordados nos métodos clássicos.

2 Modelos Deformáveis

Os modelos deformáveis, cuja geometria sofre influências das bordas dos alvos de interesse, têm por base uma técnica desenvolvida na década de 70, conhecida como técnica da máscara de borracha (Widrow, 1973). Os modelos deformáveis constituem uma poderosa técnica para solucionar o entrave da identificação de contornos de áreas homogêneas por garantirem a formação de segmentos fechados como resultado da segmentação, um problema nos algoritmos tradicionais de detecção de bordas.

Entre os modelos deformáveis disponíveis, um em especial é o foco de interesse neste trabalho: os modelos de contornos ativos, conhecidos comumente como *snakes*. O modelo original de *snakes* (Kass et al, 1987) é, basicamente, uma curva contínua parametrizada na qual age um sistema de forças proveniente de funcionais de energia, responsáveis pela deformação da curva. No modelo original proposto por Kass *et al* (1988), existem três funcionais de energia: interna, externa e da imagem. Pode-se, a partir destas, definir o funcional de energia para a *snake* através da equação 1:

$$E_{snake} = E_{interna} + E_{externa} + E_{imagem} \quad (1)$$

onde E representa o funcional de energia para cada componente (interna, externa, da imagem).

Entretanto, como o modelo original não permite que a curva inicial sofra mudanças topológicas, neste trabalho foi adotada a teoria dos Contornos Ativos Geodésicos, ou *Snakes Geodésicas* (Caselles *et al*, 1995), que apresentam uma abordagem mais geométrica do problema de segmentação de imagens. Isto se deve ao fato deste tipo de *snake* basear-se na relação entre os contornos ativos originais e o cálculo das geodésicas, ou curvas de mínimas distâncias, o que torna o modelo mais elaborado matematicamente, mas também aumenta a estabilidade quanto à identificação dos contornos.

O método das Curvas de Nível, desenvolvido por Osher e Sethian (1988), permite que a curva inicial sofra mudanças topológicas, realizando outro tipo de análise do problema de deformação de curvas, que são consideradas curvas de nível de uma função pertencente ao universo tridimensional (função *level-set*). Na **Figura 1**, ilustra-se o fundamento do método ora exposto, que possibilita segmentar múltiplos objetos.

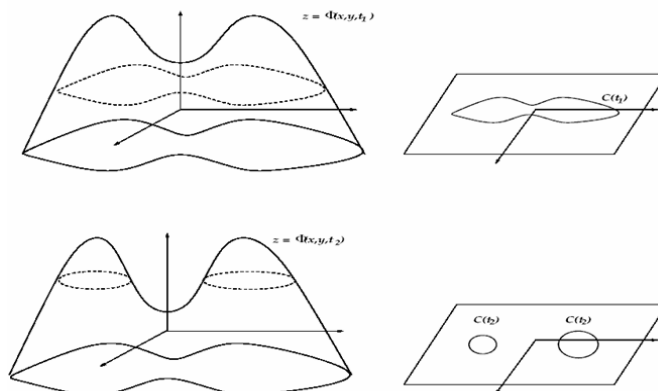


Figura 1: Mudanças topológicas no contorno propiciadas pelo Método de Curvas de Nível.

3 Metodologia

Neste trabalho foi desenvolvido, em MATLAB 6.0, o algoritmo G-Snakes, que visa segmentar imagens usando os Contornos Ativos Geodésicos, tendo o cuidado de não só ser eficiente quanto à segmentação das imagens, mas também oferecer ao usuário uma interface gráfica para interação com o programa. A imagem escolhida foi um extrato da cena CCD-CBERS 2 da cidade do Rio de Janeiro (passagem de Agosto de 2005). O módulo selecionado corresponde ao Aeroporto Internacional do Galeão/Antônio Carlos Jobim, por conter vários tipos de feições, lineares e de área, adequadas para o teste do algoritmo. Também foram utilizados os softwares ENVI 4.2 e MapViewer 5. Na **Figura 2** é mostrado o fluxograma da metodologia seguida para desenvolver o algoritmo:

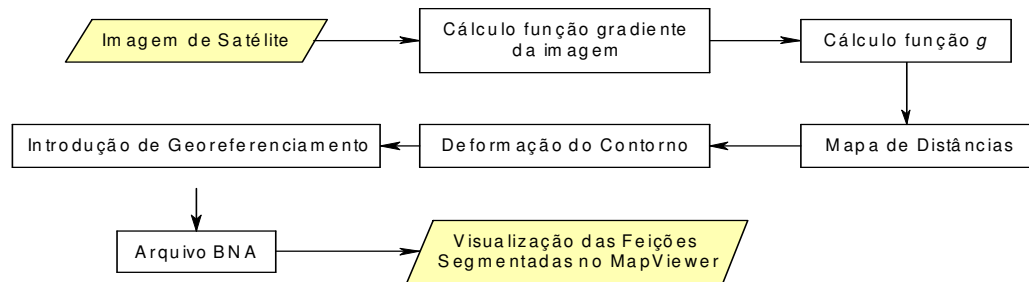


Figura 2: Fluxograma do algoritmo G-Snakes

Para reduzir o custo computacional, que é função do cálculo do mapa de distâncias, a entrada do algoritmo foi realizada com um recorte de 400 x 400 pixels ao redor das feições selecionadas na imagem CBERS 2. Em linhas gerais, este mapa é o conjunto de distâncias euclidianas de cada pixel da imagem à curva inicial, cujo valor é armazenado na posição de cada pixel da imagem. Vale salientar que a curva inicial é adquirida automaticamente quando a imagem é carregada no algoritmo G-Snakes.

Com o fim da evolução da curva inicial, os segmentos são obtidos em formato vetorial e descritos em forma de uma lista de coordenadas de pixel. Para que seja possível confrontar fielmente os segmentos vetoriais com a imagem, introduzem-se, no programa, os pontos oriundos do georeferenciamento da imagem. Estes pontos podem ser inseridos manualmente ponto a ponto, ou através de um arquivo texto contendo as coordenadas de mundo e as coordenadas de pixel correspondente. O georeferenciamento destes segmentos baseados nestes pontos se dá através de uma transformação afim.

Após adquirir o mapa de distâncias, inicia-se o processo de deformação da curva inicial. A partir deste ponto, a tarefa de deformação resume-se em calcular iterativamente a função Φ , até atingir as bordas das feições de interesse na segmentação ou o número máximo de iterações, que no programa é configurado em 1000.

Os segmentos georeferenciados podem ser salvos num arquivo BNA (*Boundary Atlas*) contendo o número de pontos que formam cada segmento e as coordenadas de cada ponto. Este arquivo pode ser lido no software *MapViewer* de modo que sejam restauradas as formas geométricas das feições segmentadas.

4 Resultados

Na **Figura 3** tem-se o resultado da segmentação pelo algoritmo G-Snake, onde se observa o comportamento das *snakes* geodésicas, na medida em que elas extraem os contornos da pista de pouso em toda sua extensão. Isto se deve principalmente a abordagem geométrica que os Contornos Geodésicos têm do problema da segmentação, ou seja, a curva é sempre atraída para as maiores diferenças de contraste da imagem e, com isso, encontra seu ponto de equilíbrio, estabilizando-se nas bordas das feições. Portanto, não importa a forma da feição ou suas dimensões, mas sim sua relação de contraste com seus pixels vizinhos.

Esta também é a razão pela qual nas regiões ao redor do aeroporto (**Figura 3**) o algoritmo não extrai inteiramente nenhuma feição. Nestes locais percebe-se que o tênue contraste de alguns alvos não foi suficiente para que as *snakes* os segmentassem por completo.

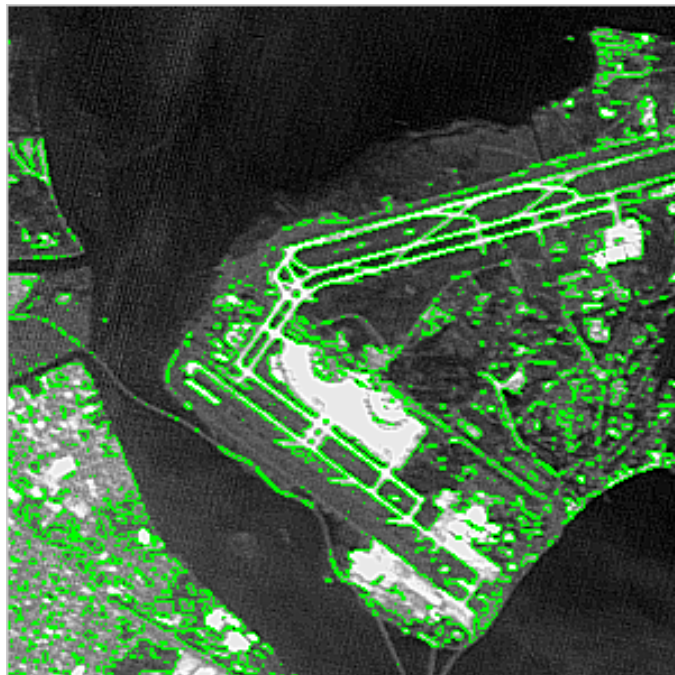


Figura 3: Segmentação do Aeroporto do Galeão pelas *snakes* geodésicas.

Para uma primeira análise visual dos resultados, os segmentos obtidos foram superpostos aos correspondentes vetores da base cartográfica (**Figura 4**). Os vetores da base cartográfica aparecem em azul, enquanto que os segmentos aparecem na cor vermelha. Note-se que os segmentos gerados pelo algoritmo, principalmente na pista de pouso, aproximam-se, quanto à forma e localização, de seus vetores correspondentes da base cartográfica. Na **Figura 4**, percebe-se também que o algoritmo não conseguiu segmentar parte das feições no interior do aeroporto, conseqüência do baixo contraste das feições desta região, como pode ser observado na **Figura 3**.

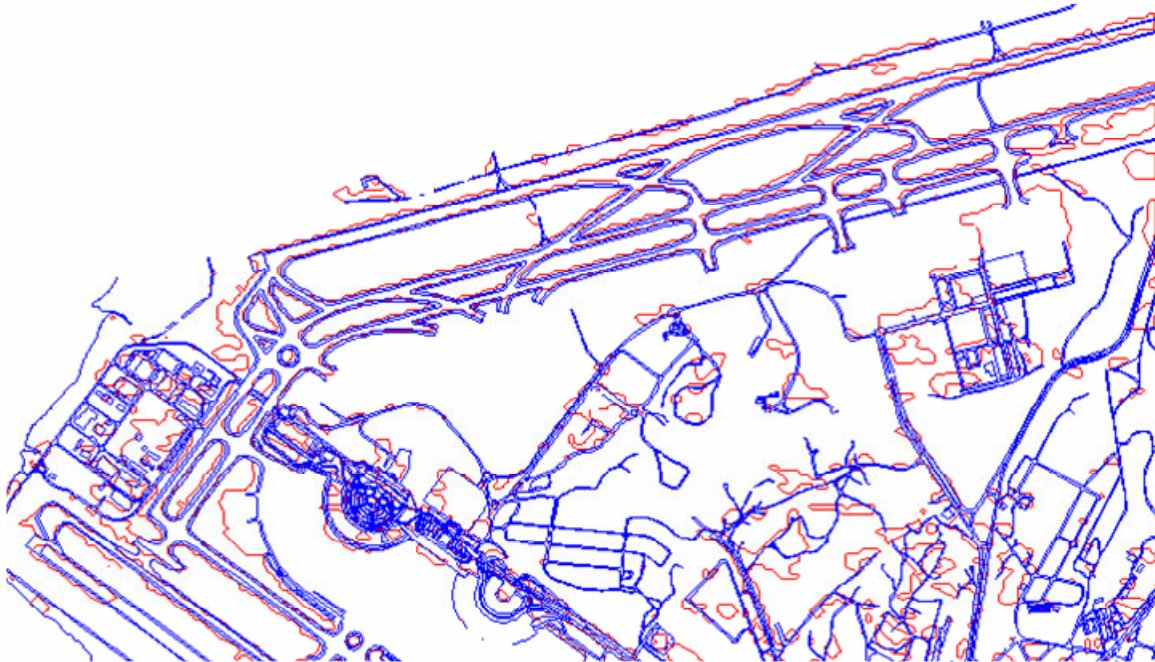


Figura 4: Superposição entre os vetores da base cartográfica e os segmentos obtidos com a segmentação.

A análise visual descrita foi complementada com uma avaliação quantitativa utilizando os parâmetros área e perímetro, para o qual foram selecionadas 8 feições no setor do aeroporto (**Figura 5**). Embora, em alguns casos tais parâmetros possam não refletir fielmente a forma e a localização das feições (Ferreira, 1998), eles permitem uma avaliação mais objetiva dos resultados da segmentação.



Figura 5: Identificação das feições selecionadas, cujas áreas e perímetros foram medidos.

Na **Tabela 1** são mostrados os resultados das medições de área e perímetro dos segmentos gerados pelo algoritmo G-Snake, sendo possível observar que as discrepâncias medidas variaram entre 0,1% e 6% para o perímetro, enquanto a área variou entre 0,3% e 15%.

Tabela 1: Comparativo entre os valores de área e perímetro na base e na segmentação.

Feição	Base		Contorno Ativo		Diferença em Área (%)	Diferença em Perímetro (%)
	Área (m ²)	Perímetro (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)		
1	253534,41	2929,35	254343,12	3116,26	0,3	6
2	45414,47	1232,93	36163,28	1191,84	12	3
3	65552,24	1591,46	54775,87	1591,74	15	0,1
4	124232,61	1781,41	114449,97	1745,48	8	2
5	44906,57	1099,27	37336,09	1119,87	15	2
6	29317,38	926,4	32066,17	957,76	9	3
7	100014,56	1539,98	99403,96	1547,22	0,7	0,5
8	59009,23	1056,23	57188,08	1023,89	3	3

5 Conclusões

O algoritmo de *snakes* geodésicas aqui desenvolvido (*G-Snake*), foi idealizado e testado com vistas a minimizar as inconsistências advindas dos algoritmos tradicionais de segmentação de imagens de satélites. Os resultados obtidos mostram que o modelo constitui-se em um método alternativo para a segmentação de imagens. As avaliações aplicadas (visual e quantitativa) mostram diferentes níveis de adaptação dos segmentos gerados em relação às formas das feições de interesse, na imagem. Isto indica um potencial para aplicações tais como atualização cartográfica e extração semi-automática de feições. Destaca-se que é o fato dos segmentos serem gerados no formato vetorial apresenta a vantagem de permitir a edição de possíveis resultados inconsistentes (segmentos indesejados gerados no processo). Cabe comentar a conveniência de continuar os testes deste algoritmo utilizando imagens de outros sensores, sobre áreas de estudo com diferentes características.

Referências

Caselles, V., Kimmel, R., Sapiro, G., Geodesic Active Contours. *Procedures of International Conference in Computer Vision Boston*, EUA, junho de 1995, p.694–699.

Crósta, Á.P.. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.170p.

Gonzalez, R.C. e Woods, R.E. **Processamento de Imagens Digitais**. Editora Edgard Blücher Ltda.1992. São Paulo, Brasil.

Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D. *Snakes: Active Contour Models*, **International Journal of Computer Vision**, 1988, 321-331 pp

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa, 2003.307p

N-Barbosa, K. M.; Acco, M.; Kirchner, F. F.; Classificação de Imagens Ikonos e Comparação por meio de Segmentação e Fotointerpretação da Área Amostral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais**

Osher, S. J. e Sethian, J. A., Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations, **Journal of Computational Physics**, vol. 79, p. 12–49, 1988.

Widrow, B. The Rubber Mask technique parts I and II, **Pattern Recognition**, vol 5, 175-211 p, 1973.