

Sobre a segmentação de imagens de fibras musculares com o uso de GVF-Snakes

About the image segmentation of muscular fibres with use of GVF-Snakes

Alexandre Fioravante de Siqueira

Licenciado em Matemática – UNESP – Presidente Prudente

Messias Meneguette Junior

Professor Doutor – DMEC – UNESP – Presidente Prudente

Resumo

O uso de snakes, ou contornos ativos, na segmentação de imagens traz bons resultados. Entretanto, problemas associados com inicialização e convergência precária limitaram sua utilização. Para solucionar tais problemas, utiliza-se a energia externa chamada gradient vector flow, que é derivada da imagem e calculada como a difusão dos vetores-gradientes do mapa de borda de uma imagem binária ou em tons de cinza. O campo resultante de tal energia permite uma inicialização mais flexível, com um amplo alcance, e converge para concavidades presentes no contorno, o que não acontece com o uso de snakes tradicionais. Aplicam-se as snakes em conjunto com a técnica de gradient vector flow para a segmentação de imagens de fibras musculares, obtidas por microscópios digitais. Na UNESP/FCT, as análises de hipertrofia ou atrofia de fibras eram todas executadas manualmente, com um microscópio óptico, no qual se tornava difícil a visualização de uma forma. Neste trabalho, foram apresentados os resultados obtidos com o uso de GVF snakes na segmentação de imagens musculares.

Palavras-chave: Contornos ativos. Fluxo do vetor gradiente. Segmentação de imagens. Imagens médicas. Snakes.

Abstract

The use of snakes, or active contours, in image segmentation brings good results. However, problems related with initialization and poor convergence limited their utilization. To solve this problems, we use the external energy called gradient vector flow, derived from image, and calculated as a diffusion of the gradient vectors of a binary or gray-level edge map. That resulting field allows a more flexible initialization, with a wide range, and converges to boundary concavities, what not happen

with traditional snakes. We applied snakes with gradient vector flow technique to segmentation of muscular fibre images, obtained with digital microscopes, and present the acquired results. In UNESP/FCT, the analysis of hypertrophy or atrophy of fibres was performed manually, with an optical microscope, in which the visualization of a form was difficult. In this paper, we present the obtained results with the use of GVF snakes in segmentation of muscular images.

Keywords: Active contours. Gradient vector flow. Image segmentation. Medical images. Snakes.

Introdução

Snakes são amplamente utilizadas na segmentação de imagens, pois as técnicas tradicionais de segmentação consideram somente a informação local, podendo assumir hipóteses incorretas durante o processo. Com isso, tais técnicas acabam por dificultar o reconhecimento de objetos, necessitando de um alto grau de intervenção por parte de um profissional. Por outro lado, a utilização de snakes apresenta bons resultados. Elas são amplamente utilizadas em várias aplicações, como detecção de bordas, modelagem de contornos, segmentação e rastreamento de imagens, também intensamente utilizadas na área médica. Nesta área, a segmentação dos órgãos humanos geralmente é realizada através de sistemas, que pela forma de operação, devem utilizar a técnica das snakes, onde o usuário fornece um conjunto de pontos ao redor da região de interesse, definindo um contorno inicial. Em seguida é realizado o processamento. A forma suave dos órgãos, porém não regular, incentiva a sua utilização.

Desde que o modelo original das snakes foi introduzido (KASS et al., 1988), ele é conhecido como um recurso bem sucedido na solução de problemas relacionados à

segmentação de imagens. Todavia, várias limitações existem neste modelo, o que fez com que pesquisadores procurassem adaptações no modelo original que pudessem melhorar o resultado final obtido. Uma destas adaptações é o Gradient Vector Flow (GVF), que é um novo tipo de energia externa proposta por Xu; Prince (1998). O resultado obtido com o uso do modelo unido ao GVF é superior em relação ao original, por não ter limitações relacionadas com a inicialização e conseguir realizar o processamento mesmo em regiões com concavidades profundas.

A partir do modelo tradicional e desta energia externa, foram feitos testes em imagens binárias de fibras musculares, obtendo resultados bastante satisfatórios. Um interesse importante em análises de fibras musculares está relacionado com fins comerciais, por exemplo, o caso do trabalho realizado em músculos de búfalo para se testar a qualidade da carne (BRITTO, 2006).

Material e Métodos

Snakes

A segmentação de imagens utilizando snakes é caracterizada por tentar ajustar uma curva (spline) sobre a imagem. A movimentação da spline ocorre sob a influência de forças internas (forças de elasticidade e de curvatura), presentes no interior da própria curva, e forças externas (forças potenciais, em conjunto com outras forças), derivadas dos dados da imagem, de forma a tentar minimizar a energia funcional, dada pela combinação das energias internas e externas.

Tipicamente, as curvas são atraídas na direção das bordas pelas forças potenciais, que são definidas como o gradiente negativo de uma função.

Devido ao fato da spline se mover constantemente, na tentativa de se ajustar aos níveis mínimos de energia, a técnica é também conhecida como snake, ou contorno ativo. Algumas das vantagens obtidas com a utilização de snakes:

- São controladas interativamente. Podem, por exemplo, ser modeladas com o uso de molas – modelos físicos;
- São fáceis de manipular, pelo fato das forças externas se comportarem de uma forma intuitiva;
- São autônomas e auto-adaptáveis na busca pelo estado de menor energia;
- São menos sensíveis ao ruído;
- Podem ser utilizadas para seguir dinamicamente

objetos em dimensões temporais, assim como em espaciais.

Esta técnica é particularmente mais eficiente quando aplicada sobre imagens com altos níveis de ruído, por manter, mesmo nestas situações, uma melhor continuidade do contorno.

Uma snake é definida no interior do domínio de uma imagem, como uma curva $v(s) = [x(s), y(s)]$. Como as forças internas e externas são definidas, a snake irá ajustar-se ao contorno de um objeto ou a outros aspectos internos da imagem. A energia da snake é dada por:

$$E_{snake} = \int_0^1 E_{int} v(s) + E_{ext} v(s) ds \quad (1)$$

A principal função da energia interna é manter a suavidade da curva. Define-se esta energia como

$$E_{int} = \alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 \quad (2)$$

onde α e β representam a elasticidade e a rigidez da curva, respectivamente.

A energia externa, por sua vez, é obtida a partir da imagem. Considerando uma imagem binária como $I(x, y)$, uma energia externa apropriada para trazer a snake às bordas da imagem inclui:

$$\begin{aligned} E_{ext}^{(1)}(x, y) &= I(x, y) \\ E_{ext}^{(2)}(x, y) &= G_{\sigma}(x, y) * I(x, y) \end{aligned} \quad (4)$$

onde $G_{\sigma}(x, y)$ é uma função gaussiana com desvio padrão σ .

Uma snake que minimize a energia (1) deve satisfazer a equação de Euler, dada por

$$\alpha v''(s) - \beta v^{(4)}(s) - \nabla E_{ext} = 0 \quad (5)$$

que pode ser vista como uma equação de balanceamento de forças

$$F_{int} + F_{ext}^{(p)} = 0 \quad (6)$$

onde $F_{int} = \alpha v''(s) - \beta v^{(4)}(s)$ e $F_{ext}^{(p)} = -\nabla E_{ext}$. A força interna mantém a suavidade da curva, enquanto a força externa traz a snake para as bordas desejadas da imagem.

Para encontrar uma solução de (5), tomamos v como função do tempo t e de s , isto é, $v(s, t)$. Então, tomou-se a derivada parcial de v em relação a t igual ao lado esquerdo de (5), ou seja:

$$x_t(s, t) = \alpha v''(s, t) - \beta v^{(4)}(s, t) - \nabla E_{ext} \quad (7)$$

Uma solução numérica de (7) pode ser encontrada pela discretização da equação e solução do sistema discreto resultante feita de forma iterativa.

O problema de convergência das snakes pode ser atribuído à convergência para um local mínimo da função-objetivo (1). Pesquisadores deram soluções para tal problema formulando snakes diretamente da equação (6), onde a força externa $F(p)_{ext}$ é trocada por uma força mais geral, dada por $F(g)_{ext}$.

As forças externas $F(g)_{ext}$ podem ser divididas em duas classes: estáticas e dinâmicas. Forças estáticas são as computadas dos dados da imagem, que não se modificam quando a snake se move. Forças dinâmicas são as que variam conforme ocorre a deformação da snake.

Gradient Vector Flow e GVF snakes

Será tomada a condição de balanceamento de forças (6) para criar uma snake. Definiu-se uma novo campo de força estático externo, $F(g)_{ext} = k(x, y)$, que será chamado de campo gradient vector flow (GVF). Para obter a equação da snake dinâmica correspondente, trocou-se a força potencial $-\nabla E_{ext}$ em (7) por $k(x, y)$, obtendo

$$x_t(s, t) = \alpha v''(s, t) - \beta v^{(4)}(s, t) + k \quad (8)$$

A solução da equação dinâmica acima é chamada de GVF snake que é resolvida da mesma forma que uma snake tradicional, numericamente por discretização e iteração. Tomando o mapa de borda da imagem como uma função $f(x, y)$ derivada da imagem $I(x, y)$, define-se o campo gradient vector flow como o campo de vetores $k(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$ que minimiza a energia funcional dada por

$$\varepsilon = \iint \mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |k - \nabla f|^2 dx dy \quad (9)$$

Usando o cálculo das variações, tem-se que o campo GVF pode ser encontrado resolvendo as equações de Euler abaixo:

$$\begin{aligned} \mu \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) &= 0 \\ \mu \nabla^2 v - (v - f_y)(f_x^2 + f_y^2) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

onde ∇^2 é o operador laplaciano.

Implementação Numérica

Para implementar o campo GVF, resolvem-se as equações (10) tratando u e v como funções do tempo e obtendo $u_t(x, y, t)$ e $v_t(x, y, t)$, que são conhecidas como equações de difusão generalizada.

Para construir-se a solução iterativa, tomam-se os índices i, j e n correspondendo a x, y e t respectivamente, e o espaçamento entre os pixels é dado por Δx e Δy . Seja também Δt o tempo necessário para cada iteração. Logo as derivadas parciais acima podem ser aproximadas por

$$\begin{aligned} u_t &= \frac{1}{\Delta t} (u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n) \\ v_t &= \frac{1}{\Delta t} (v_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^n) \\ \nabla^2 u &= \frac{1}{\Delta x \Delta y} (u_{i+1,j} + u_{i,j+1} + u_{i-1,j} + u_{i,j-1} - 4u_{i,j}) \\ \nabla^2 v &= \frac{1}{\Delta x \Delta y} (v_{i+1,j} + v_{i,j+1} + v_{i-1,j} + v_{i,j-1} - 4v_{i,j}) \end{aligned} \quad (11)$$

Substituindo estas aproximações nas derivadas u_t e v_t , tem-se a solução iterativa para o GVF:

$$\begin{aligned} u_{i,j}^{n+1} &= (1 - b_{i,j} \Delta t) u_{i,j}^n + r(u_{i+1,j}^n + u_{i,j+1}^n + u_{i-1,j}^n + u_{i,j-1}^n - 4u_{i,j}^n) + c_{i,j}^1 \Delta t \\ v_{i,j}^{n+1} &= (1 - b_{i,j} \Delta t) v_{i,j}^n + r(v_{i+1,j}^n + v_{i,j+1}^n + v_{i-1,j}^n + v_{i,j-1}^n - 4v_{i,j}^n) + c_{i,j}^2 \Delta t \end{aligned} \quad (12)$$

onde

$$r = \frac{\mu \Delta t}{\Delta x \Delta y}, b(x, y) = f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2,$$

$$c^1(x, y) = b(x, y) f_x(x, y) \quad e \quad c^2(x, y) = b(x, y) f_y(x, y)$$

Para que a convergência do GVF seja mantida, deve-se ter a seguinte condição em Δt :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x \Delta y}{4\mu}.$$

Usando estes dados, implementa-se um programa a partir do Matlab que cumpre bem a tarefa de contornar

fibras musculares obtidas pelo microscópio. Abaixo, um exemplo de imagem obtida por lâminas histológicas, preparadas a partir de fibras musculares de ratos utilizados para experimento.

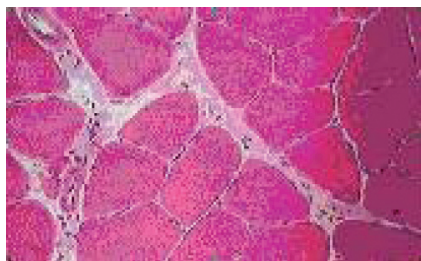


Figura 1: Corte transversal de músculo sóleo, com aumento de 50 vezes.

A partir da imagem acima, executam-se etapas de pré-processamento para obter-se uma imagem digital. Tais etapas envolvem tomar a imagem correspondente em tons de cinza, extrair a borda usando o filtro de Sobel, tomar o complementar da imagem resultante, dilatar e erodir a imagem obtida pela aplicação do filtro de Sobel. Como resultado, tem-se uma imagem binária. A imagem correspondente à figura 1 é dada abaixo.

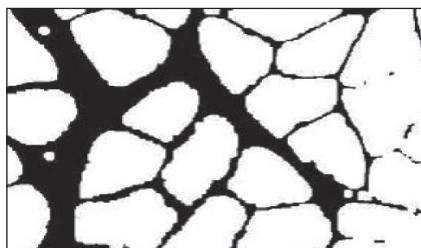


Figura 2: Imagem binária obtida a partir de transformações aplicadas na Figura 1.

Resultados

Aqui foram vistos alguns exemplos da utilização do programa implementado. Na figura abaixo, as snakes são delineadas em torno de uma área da imagem.

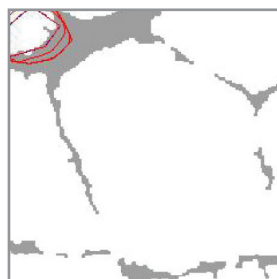


Figura 3: Snakes contornando área da imagem especificada pelo usuário.

A imagem abaixo mostra a figura com o contorno completo.

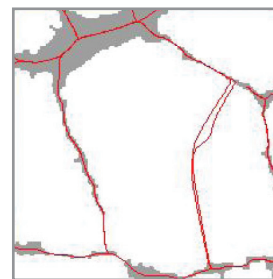


Figura 4: Fim do processamento realizado pelo programa implementado.

Conclusão

A segmentação de imagens médicas com o uso de snakes vem sendo estudada amplamente, com vários trabalhos dedicados a elas. Existem vários motivos para isto, dos quais apenas serão citados eficiência e baixo custo computacional. Em conjunto com a técnica gradient vector flow, tem-se uma ferramenta altamente poderosa para cumprir satisfatoriamente a tarefa de contornar imagens binárias de fibras musculares.

O objetivo era criar um programa de fácil uso, de forma que o trabalho feito antes manualmente pudesse ser mais confortável. O trabalho foi realizado com sucesso.

Referências

Periódicos

KASS, M.; WITKIN, A.; TERZOPOULOS, D. **Snakes:** Active contour models, *International Journal of Computer Vision*, 1, 321 – 331, 1998.

XU, C.; PRINCE, J. L. **Gradient Vector Flow:** A New External Force for Snakes, *IEEE Proc. Conf. On Comp. Vis. Patt. Recog.*, 66 – 71, 1997.

XU, C.; PRINCE, J. L. **Snakes, shapes, and gradient vector flow**, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, no 3, pp. 359 – 369, 1998.

Livros e Relatórios

BRITTO, M. K. M. **Obtenção de parâmetros geométricos em análise de imagem de fibras musculares**, 2004, Relatório de Iniciação Científica apresentado à Fundação

de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo.

CUMINATO, J.A.; MENEGUETTE, M. **Discretização de Equações Diferenciais Parciais**, 2000, ICMC/USP – São Carlos.

GONZALEZ, C.R.; WOODS, E.R. **Digital Image Processing using Matlab**. Prentice Hall, 2003.

HANSELMAN D.; LITTLEFIELD, B. **Matlab 6: Curso Completo**. Pearson, 2003.

NAKAMURA, S. **Numerical Analysis and Graphic Visualization with MATLAB**. Prentice Hall, 2002.

SIQUEIRA, A. F. **Contorno Ativo para fibras musculares**. Relatório de Iniciação Científica apresentado ao PIBIC/CNPq, 2007.