

NOVA TÉCNICA DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS CINTILOGRÁFICAS DO VENTRÍCULO ESQUERDO BASEADA NO MÉTODO DE LIMIAZIZAÇÃO DAS TRÊS CLASSES

M. Alves Filho*, G. L. Ribeiro*, R. G. G. Carvalho* e C. B. Aguiar*

*IFPB, João Pessoa, Brasil
e-mail: manael.alves@ifpb.edu.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma nova técnica para segmentar imagens do ventrículo esquerdo obtidas no exame de cintilografia de perfusão miocárdica. A técnica se baseia no método de limiarização das Três Classes que utiliza um processo iterativo para obter o limiar ótimo de separação entre o objeto e o fundo da imagem. A aplicação da técnica, com bons resultados, só foi possível após a isolação automática do ventrículo esquerdo em uma área retangular mínima, excluindo das imagens regiões extra cardíacas que inviabilizam a utilização da técnica. Utilizamos uma base de dados com 59 pacientes para avaliar o desempenho da técnica e os resultados da segmentação foram comparados, qualitativa e quantitativamente, com o método de Otsu Padrão e também com a segmentação manual realizada por um especialista. Os resultados da comparação mostraram que a aplicação da técnica proposta é viável para segmentar imagens obtidas no referido exame.

Palavras-chave: Segmentação de imagens, limiarização das três classes, limiar ótimo, ventrículo esquerdo, cintilografia miocárdica.

Abstract: *This paper presents a new technique to segment images of the left ventricle obtained in the myocardial perfusion scintigraphy exam. The technique is based on an iterative Triclass thresholding method to obtain the optimal threshold to separate the object from the background. The application of the technique with good results was only possible after the automatic isolation of the left ventricle in a minimum rectangular area, excluding from the images extra cardiac regions that hinder the use of the technique. We use a database of 59 patients to evaluate the technique performance and the segmentation results were compared qualitatively and quantitatively with standard Otsu's method and either with manual segmentation performed by an expert. The comparison results show that the technique application is viable to segment images obtained in the referred exam.*

Keywords: *Image segmentation, Triclass thresholding, optimal threshold, left ventricle, myocardial scintigraphy.*

Introdução

A segmentação de imagens é um desafio contínuo quando se trabalha com imagens médicas. O campo de aplicação das técnicas de segmentação de imagens é

abrangente, envolvendo áreas tais como: automação industrial, segurança, geoprocessamento, meteorologia, sensoriamento remoto, imagens médicas, etc [1], [2].

Limiarização é uma das técnicas utilizadas para auxiliar o processo de segmentação de imagens. Na limiarização a imagem é dividida em duas classes, objeto (OB) e fundo da imagem ou background (BG), de modo que *pixels* com valores de níveis de cinza (NC) acima de certo limiar sejam relacionados à classe do OB e *pixels* abaixo deste limiar relacionados à classe do BG. Existem na literatura vários algoritmos para determinar o limiar ótimo de separação entre o OB e o BG [3], [4], [5], [6], sendo um dos mais conhecidos o proposto por Otsu [7] no qual para cada possível valor de limiar, o método avalia a eficácia deste valor utilizando análise estatística. O método de Otsu pode produzir bons resultados quando o histograma da imagem é bimodal, ou seja, quando o histograma da imagem é composto por dois picos distintos, um pertencente ao BG e outro pertencente ao OB. Para imagens com histograma multimodal se faz necessário um pré-processamento da imagem para possibilitar a aplicação com eficácia do método.

Este trabalho propõe uma nova técnica de segmentação de imagens do ventrículo esquerdo (VE), baseada no método de Limiarização das Três Classes proposto por Cai *et al* [8]. As imagens foram obtidas no exame de cintilografia de perfusão miocárdica, as quais produzem histogramas multimodais. A Figura 1 mostra uma imagem resultante do exame de cintilografia miocárdica que apresenta regiões extra cardíacas com elevada concentração do material radioativo aplicado. Esta imagem possui histograma multimodal, portanto, para que a técnica proposta neste trabalho pudesse ser utilizada, com eficácia, aplicamos a técnica proposta por Alves [9] para isolar, das imagens originais, o VE em uma área retangular mínima, resultando assim em imagens de histograma bimodal.

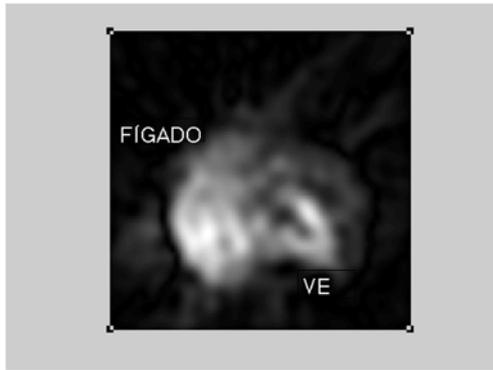


Figura 1: Imagem do exame de cintilografia miocárdica mostrando um corte transversal ao tórax do paciente onde o fígado e o VE apresentam elevada concentração do material radioativo.

Este trabalho utiliza imagens obtidas de exames com seres humanos, portanto, obtivemos a aprovação do Comitê Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos para o nosso projeto, cujo número de registro é: 15637813.5.0000.5185. A partir da aprovação do projeto estruturamos uma base de dados prospectiva com 59 pacientes, para avaliar o desempenho da técnica. Os resultados da segmentação foram comparados visualmente com a segmentação manual efetuada por um especialista da área. Realizamos também uma comparação quantitativa, utilizando a análise do erro de falsa classificação (EFC) dos *pixels* que correlaciona as imagens obtidas automaticamente pelas técnicas avaliadas no trabalho com as imagens obtidas pela observação humana [3].

Materiais e métodos

A técnica proposta neste trabalho foi utilizada em uma base de dados composta de 59 pacientes, todos com resultado positivo no exame de cintilografia miocárdica, fornecendo assim imagens do VE com defeito de captação do material radioativo em uma ou mais de suas paredes. As imagens da fase de esforço destes pacientes podem ser acessadas na página da WEB: http://conteudodigital.ifpb.edu.br/docente/manoel.aves/dados-projeto-pos-doutorado/project_data.

Imagens do VE com déficit de perfusão tornam o processo de segmentação automático difícil uma vez que a região hipoperfundida se confunde com o BG.

Pré-processamento da Imagem – As imagens da cintilografia miocárdica apresentam regiões extra cardíacas, como por exemplo, o fígado e intestino, que impedem a aplicação direta das técnicas de limiarização baseadas do método de Otsu. Portanto, conforme descrito em Alves, [9] utilizamos os valores máximos de contagem dos *pixels* dos planos transversal, coronal e sagital para gerar curvas desses valores máximos em função dos cortes de cada plano e assim, definir, automaticamente, uma área retangular mínima isolando o VE do resto da imagem. A Figura 2 mostra o VE isolado do resto da imagem em uma área retangular

gerada pelas três curvas, com as regiões extra cardíacas eliminadas da imagem.

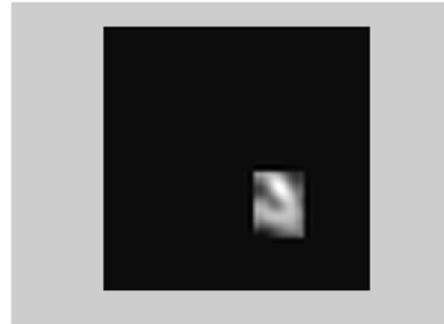


Figura 2: Exemplo de um VE isolado do resto da imagem em uma área retangular gerada pelas curvas dos valores máximos dos *pixels* dos planos transversal, sagital e coronal.

Método de Otsu Padrão – O método de Otsu padrão utiliza o histograma da imagem para estabelecer um limiar ótimo de separação entre o OB e o BG. Este limiar é aquele que resulta na menor variância entre classes dos NC da imagem. O limiar de Otsu binariza a imagem em duas classes, uma classe formada pelos *pixels* que compõem o BG e outra classe pelos *pixels* que compõem o OB. O limiar ótimo T_{ot} pode ser determinado pela Equação 1.

$$T_{ot} = \arg \min \sigma_{\omega}^2(T) \quad (1)$$

Portanto, T_{ot} é obtido a partir do cálculo do limiar que minimiza a variância entre classes. A variância entre classes σ_{ω}^2 é dada pela Equação 2.

$$\sigma_{\omega}^2(T) = q_0(T)\sigma_0^2(T) + q_1(T)\sigma_1^2(T) \quad (2)$$

Na Equação 2 o subscrito “0” denota o BG e o subscrito “1” denota o OB. As grandezas q_0 e q_1 representam, respectivamente, as probabilidades de um determinado nível de cinza da imagem pertencer a classe “0” (BG) ou a classe “1” (OB). Já as grandezas σ_0^2 e σ_1^2 representam as variâncias individuais do BG e do OB respectivamente. Estas grandezas podem ser obtidas pelas Equações 3, 4, 5 e 6.

$$q_0(T) = \sum_{i=1}^T P(i) \quad (3)$$

$$q_1(T) = \sum_{i=T+1}^K P(i) \quad (4)$$

$$\sigma_0^2(T) = \sum_{i=1}^T [i - \mu_0(T)]^2 \frac{P(i)}{q_0(T)} \quad (5)$$

$$\sigma_1^2(T) = \sum_{i=T+1}^K [i - \mu_1(T)]^2 \frac{P(i)}{q_1(T)} \quad (6)$$

onde K é o número de níveis de cinza da imagem, μ_0 e μ_1 as médias dos níveis de cinza da imagem de

cada classe e $P(i)$ a probabilidade de ocorrência do nível de cinza “ i ”.

Método de Limiarização das Três Classes - Nesta técnica, baseada no método de Otsu, a imagem $u(x, y)$ é separada em três classes, OB, BG e uma terceira classe, denominada classe a ser determinada (CSD). A terceira classe é formada pelos *pixels* cujos valores dos NC estão no intervalo $\mu_0 \leq u(x, y) \leq \mu_1$, onde as variáveis μ_0 e μ_1 são, respectivamente a média dos NC do BG e do OB. Portanto, neste processo é realizada uma busca iterativa por subregiões na imagem ao invés de tratar a imagem como um todo em cada iteração.

A iteração começa a partir da aplicação do método de Otsu Padrão onde o limiar T^l e os valores médios dos NC das duas primeiras classes (BG e OB), μ_0^1 e μ_1^1 são calculados. O índice em super-escrito “1” indica o número da iteração.

Na primeira iteração são classificadas regiões cujos valores dos *pixels* são menores do que μ_0^1 como BG¹ e regiões cujos valores dos *pixels* são maiores do que μ_1^1 como OB¹. Os *pixels* remanescentes da imagem $u(x, y)$, tais que $\mu_0^1 \leq u(x, y) \leq \mu_1^1$, são denotados como RM¹ e pertencem a região da CSD. O processo assume que todos os *pixels* cujos valores são menores do que μ_0^1 são *pixels* do BG. Similarmente, todos os *pixels* cujos valores são maiores do que μ_1^1 são *pixels* do OB. Os *pixels* da CSD que tipicamente provocam erros de classificação no método de Otsu Padrão [7], são submetidos ao processo de limiarização, gerando a segunda iteração. Então, novos valores médios dos NC para o BG e OB são calculados, assim como uma nova região da CSD, que por definição é menor do que a região da CSD da iteração anterior.

As iterações terminam quando o limiar de Otsu calculado entre duas iterações é menor do que um limiar pré-determinado. Para as imagens do VE definimos este limiar como sendo dado pela diferença percentual entre duas iterações subsequentes de modo que esta diferença fosse menor que 10%. A partir deste limiar, todas as classes do OB e do BG de cada iteração são combinados para criar o resultado final do processo de limiarização.

O processo iterativo pode ser descrito como segue; na primeira iteração, temos:

$$U = BG^1 \cup OB^1 \cup RM^1 \quad (7)$$

Em que \cup é a operação lógica da união. Na segunda iteração são gerados BG², OB² e RM², tal que:

$$RM^1 = BG^2 \cup OB^2 \cup RM^2 \quad (8)$$

Na última iteração, iteração “ n ” a imagem é separada em apenas duas classes BG ^{n} e OB ^{n} e é calculado o limiar ótimo T^n para separar os *pixels* do OB e BG da imagem original.

A inovação do método é a definição iterativa de uma região da CSD para melhorar os resultados do método de Otsu Padrão e também a aplicação da técnica de Alves [9] para tornar as imagens compatíveis com a utilização do método.

Resultados

A Tabela 1 mostra os resultados da comparação quantitativa entre a técnica proposta e o método de Otsu Padrão. A comparação quantitativa utilizou como referência a segmentação manual e foram obtidos os valores percentuais do EFC (médio, mínimo e máximo) e do desvio padrão desses erros para a população testada.

Tabela 1: Resultados da comparação quantitativa das técnicas de limiarização com a segmentação manual para a população testada.

Técnica	Três Classes	Otsu Padrão
EFC Médio(%)	1,39	1,44
EFC Mínimo (%)	0,68	0,66
EFC Máximo (%)	2,34	2,51
Desvio Padrão	0,36	0,39

A Figura 3 mostra o resultado da binarização de um dos paciente (paciente número 031) da nossa base de dados, onde pode-se comparar visualmente o resultado, para este caso, do uso das técnicas implementadas neste trabalho. A Figura 3(a) é o resultado binarizado da segmentação manual, 3(b) e 3(c) são os resultados da binarização realizada após o processo de limiarização dos métodos de Otsu Padrão e Três Classes, respectivamente.

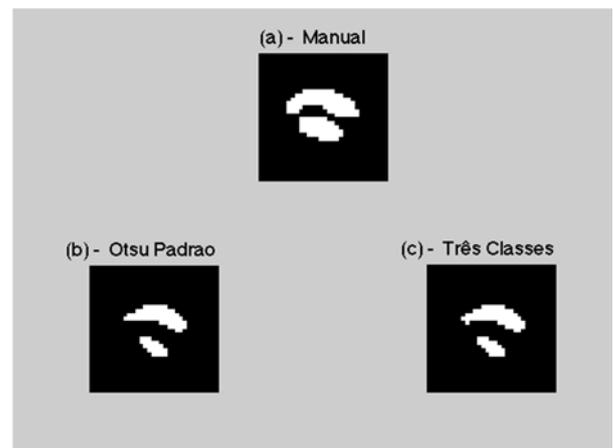


Figura 3: (a) resultado da segmentação manual binarizado. (b) resultado da binarização do método de Otsu padrão. (c) resultado da binarização do método das Três Classes.

Para este paciente os EFC foram, respectivamente, 1,42% e 1,39% para os métodos de Otsu Padrão e Três Classes.

Discussão

As técnicas de limiarização foram testadas em imagens cintilográficas do VE obtidas de pacientes com alteração na perfusão miocárdica. Aplicamos a técnica proposta por Alves [9] para compatibilizar o uso das técnicas com este tipo de imagem. Utilizamos como “padrão ouro” a segmentação manual realizada por um especialista da área para verificar a eficiência das técnicas de limiarização. Os resultados do trabalho foram comparados visualmente e também estimados em função do cálculo do EFC que tomou como referência a segmentação manual para verificar as diferenças na classificação dos *pixels* do VE e do BG. A técnica proposta, apresentou o resultado de um EFC Médio(%) de 1,39% contra 1,44% do método de Otsu Padrão.

Conclusão

Apresentamos neste trabalho uma nova técnica de segmentação de imagens médicas. Os resultados em função do cálculo do EFC e também da análise visual das imagens binarizadas mostraram que a nova técnica produz resultados superiores ao método de Otsu Padrão, tendo em vista um EFC Médio(%) menor. A técnica proposta se aproximou bastante da segmentação manual realizada por um especialista da área.

Agradecimentos

Ao CNPq e a Clínica Diagnóstica em nome do Dr. Sebastião Lolo de Lacerda Filho pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- [1] Gonzales CR, Woods RE. Processamento digital de imagens. Pearson Education do Brasil, 2010, 3ª Edição, São Paulo.
- [2] Rangayyan RM. Biomedical image analysis. CRC Press LLC, United States of America, 2005.
- [3] Arifin AZ, Asano A. Image segmentation by histogram thresholding using hierarchical cluster analysis. Pattern Recognition Letters. 2006; vol. 27, 1515-1521.
- [4] Huang M, Yu W, Zhu D. An improved image segmentation algorithm based on the Otsu method, in Proc. 13th ACIS Int. Conf. Softw., Eng., Artif. Intell. Netw. Parallel Distrib. Comput. 2012. p. 135-139.
- [5] Moghaddam RF, Cheriet M. An adaptive and parameterless generalization of Otsu’s method for document image binarization. Pattern Recognition. 2012; vol. 45, no. 6, 2419-2431.
- [6] Gupta P, Malik V, Gandhi M. Implementation of multilevel threshold method for digital images used in medical image processing. Int. J. 2012; vol. 2, n.2.
- [7] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1979; vol. 9, no. 1, 62-66.
- [8] Cai H, Yang Z, Cao X, Xia W, Xu X.. A new iterative triclass thresholding technique in image segmentation. Image Processing, IEEE Transactions on image Processing. 2014; 23(3), 1038-1046.
- [9] Alves Filho M, Melcher EK, Carvalho LC. A new method for SPECT myocardial image segmentation based on left ventricular spatial information. IFMBE Proceedings. 2005; vol. 11, 2469-2473.