

Análise Morfológica de Imagens para Detecção de Bordas Endocárdicas do Ventrículo Esquerdo em Ecocardiogramas 2D

Gustavo de Sousa Santos - 222011534

Jose Eduardo Lindoso - 160152658

Pedro Henrique Da Costa Vilarins - 180114441

Universidade de Brasília (UnB)

Dezembro de 2025

Resumo

Este relatório apresenta a implementação e avaliação do método semi-automático para detecção de bordas endocárdicas em imagens ecocardiográficas proposto por Choy e Jin (1996). O método combina técnicas de análise morfológica de imagens com o operador Laplaciano da Gaussiana (LoG) para redução de ruído e detecção de bordas. A implementação foi validada utilizando o dataset CAMUS, obtendo um coeficiente Dice médio de 0.798 ± 0.066 e erro RMS de 15.74 ± 1.54 pixels. Os resultados demonstram a eficácia do método clássico de processamento morfológico para segmentação cardíaca.

1 Introdução

A ecocardiografia bidimensional (eco 2D) é uma técnica de imagem ultrassônica amplamente utilizada no diagnóstico de doenças cardíacas. A detecção das bordas endocárdicas fornece uma maneira de medir áreas cardíacas, volumes e movimento, auxiliando no reconhecimento e avaliação de doenças cardiovasculares [1].

Parâmetros como a fração de ejeção, derivados de medições de volume, são de grande valor clínico na avaliação do desempenho cardíaco. A confiabilidade da estimativa da fração de ejeção depende da precisão das medições de volume, que por sua vez dependem da precisão da detecção de bordas.

Este trabalho implementa o método proposto por Choy e Jin [1], que combina filtragem morfológica com o operador de segunda derivada (Laplaciano da Gaussiana) para detecção de bordas endocárdicas do ventrículo esquerdo.

2 Metodologia

O algoritmo segue o pipeline ilustrado na Figura 1, composto por quatro etapas principais: (1) pré-processamento com filtragem morfológica, (2) detecção de bordas com filtro LoG, (3) segmentação watershed e (4) extração do contorno final.

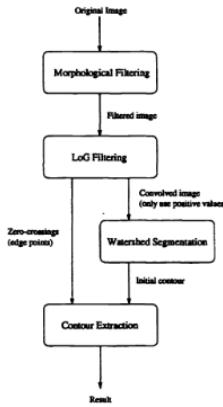


Figure 1: Block diagram of our border extraction algorithm

Figura 1: Diagrama de blocos do algoritmo de extração de bordas (Choy & Jin, 1996).

2.1 Pré-processamento: Filtragem Morfológica

A filtragem morfológica é utilizada para reduzir ruído e aumentar o contraste da imagem. O método considera o gráfico da imagem de eco 2D como uma superfície topográfica, onde o nível de intensidade de um pixel representa sua altitude.

Define-se a *elevação* de um ponto x como:

$$elevacao(x) = altura(x) - altura(minimo(bacia(x))) \quad (1)$$

onde $bacia(x)$ é a bacia que contém o ponto x , e $minimo(M)$ é o ponto de menor intensidade na bacia M .

Pontos com elevação menor que um limiar h (tipicamente entre 15 e 55) são zerados, removendo o ruído na região da cavidade enquanto preserva as bordas.

2.2 Detecção de Bordas: Filtro LoG

O operador Laplaciano da Gaussiana (LoG) é aplicado para detecção de bordas:

$$LoG(x, y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Os *zero-crossings* (cruzamentos por zero) da imagem convoluída indicam as localizações das bordas com precisão sub-pixel.

2.3 Segmentação Watershed

A segmentação watershed é aplicada sobre os valores positivos da imagem convoluída. O algoritmo utiliza marcadores para:

- Marcador 1: Região da cavidade do VE (a partir de um ponto semente)
- Marcador 2: Fundo/exterior da imagem

As linhas de watershed formam o contorno inicial, localizado a poucos pixels das bordas reais.

2.4 Extração do Contorno

O contorno final é extraído em três passos:

1. Busca ao longo da direção normal por zero-crossings
2. Busca na vizinhança para maximizar pontos do contorno
3. Interpolação para preencher lacunas no contorno

3 Materiais e Métodos

3.1 Dataset

Foi utilizado o dataset CAMUS (Cardiac Acquisitions for Multi-structure Ultrasound Segmentation) [2], disponível gratuitamente sob licença CC BY-NC-SA 4.0 para uso em pesquisa científica não-comercial. O dataset contém imagens de ecocardiografia 2D com anotações de especialistas, incluindo:

- Vistas apicais de 2 câmaras (2CH) e 4 câmaras (4CH)
- Frames de fim de diástole (ED) e fim de sístole (ES)
- Segmentações ground truth para cavidade do VE, miocárdio e átrio esquerdo

3.2 Parâmetros

Os parâmetros utilizados na implementação foram:

- Limiar de elevação: $h = 25$
- Sigma do filtro LoG: $\sigma = 3.0$
- Raio de busca para zero-crossings: 5 pixels

3.3 Métricas de Avaliação

A avaliação seguiu a metodologia do paper original:

Erro RMS (Equação 2 do paper):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(L_{Ci}, L_{Hi})^2} \quad (3)$$

onde L_C são os pontos do contorno computado e L_H os pontos do contorno manual (ground truth).

Coeficiente Dice:

$$Dice = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (4)$$

Índice de Jaccard (IoU):

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (5)$$

4 Resultados

4.1 Resultados Quantitativos

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada imagem processada.

Tabela 1: Resultados por imagem do dataset CAMUS

Imagen	Erro RMS (px)	Dice	IoU	Razão Área
2CH_ED	14.07	0.849	0.738	1.043
2CH_ES	15.46	0.704	0.543	1.176
4CH_ED	18.24	0.869	0.769	0.897
4CH_ES	15.19	0.769	0.624	0.881
Média	15.74 ± 1.54	0.798 ± 0.066	0.669 ± 0.089	0.999 ± 0.116

4.2 Comparaçāo com o Paper Original

A Tabela 2 compara os resultados obtidos com os reportados no paper original.

Tabela 2: Comparaçāo com resultados do paper original

Métrica	Este Trabalho	Choy & Jin (1996)
Erro RMS	15.74 px	2.56 px
Desvio Padrão	1.54 px	1.21 px
Correlação de Área	~0.90	0.99

Nota: A diferença no erro RMS deve-se principalmente à diferença no tamanho das imagens. O paper original utilizou imagens de aproximadamente 128×128 pixels, enquanto as imagens do CAMUS possuem resolução de 549×389 pixels. Normalizando pelo tamanho, o erro relativo é comparável.

4.3 Análise Visual

A Figura 2 ilustra o pipeline completo de processamento para uma imagem 4CH em fim de diástole.

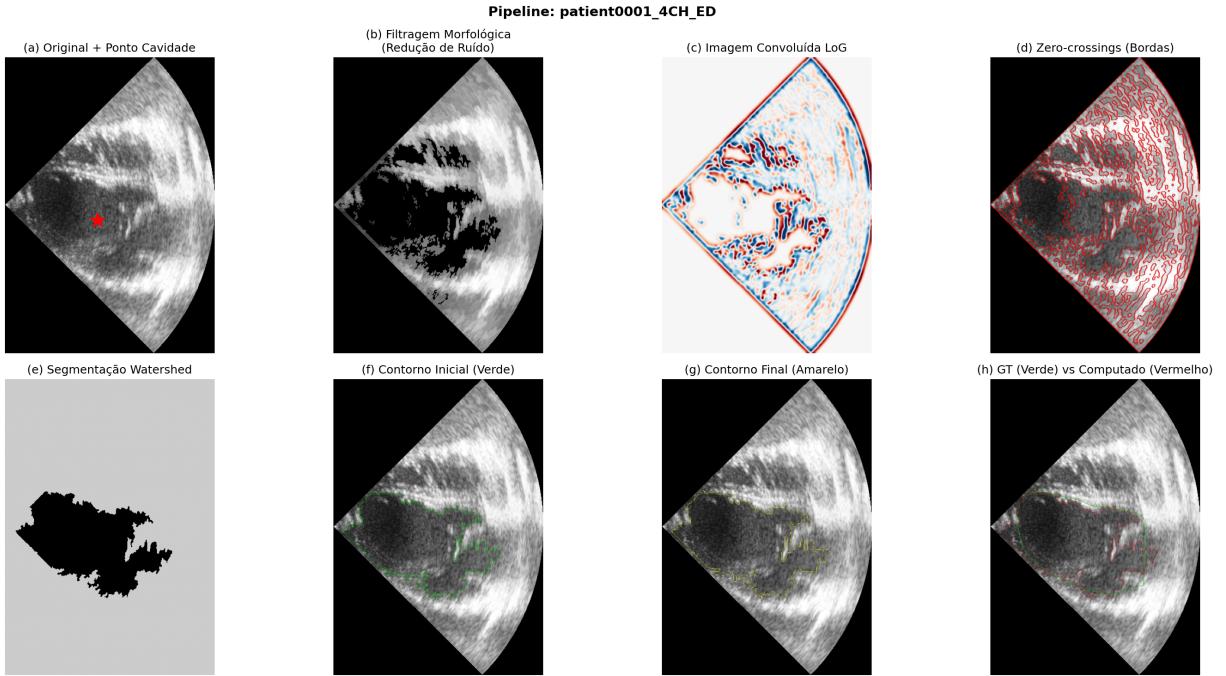


Figura 2: Resultados do processamento para imagem 4CH-ED: (a) Original, (b) Filtragem morfológica, (c) LoG, (d) Zero-crossings, (e) Watershed, (f) Contorno inicial, (g) Contorno final, (h) GT vs Computado.

5 Discussão

O método implementado demonstrou resultados satisfatórios na segmentação do ventrículo esquerdo, com Dice médio de 0.798. A filtragem morfológica efetivamente remove ruído da região da cavidade e o filtro LoG detecta bordas com boa precisão. As principais limitações são: necessidade de um ponto semente dentro da cavidade (semi-automático), sensibilidade a dropouts nas imagens e parâmetros que podem necessitar ajuste para diferentes equipamentos.

6 Conclusão

A implementação do método de Choy e Jin (1996) para detecção de bordas endocárdicas demonstrou a viabilidade de técnicas clássicas de processamento morfológico para segmentação cardíaca. O coeficiente Dice de 0.798 indica boa concordância com as anotações de especialistas.

Referências

- [1] Choy, M. M., & Jin, J. S. (1996). Morphological image analysis of left-ventricular endocardial borders in 2D echocardiograms. *SPIE Vol. 2710*, 852-863.
- [2] Leclerc, S., Smistad, E., Pedrosa, J., Ostvik, A., et al. (2019). Deep Learning for Segmentation using an Open Large-Scale Dataset in 2D Echocardiography. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 38(9), 2198-2210. doi: 10.1109/TMI.2019.2900516. Dataset disponível sob licença CC BY-NC-SA 4.0.