

EDUARDO WU JYH HERNG

**Detecção de bordas em imagens de ecocardiografia
utilizando redes neurais artificiais**

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, Entidade Associada da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Medicina, Tecnologia e Intervenção em Cardiologia

Orientador: Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi

Co-Orientador: Prof. Dr. Aron José Pazin de Andrade

São Paulo
2012

Eduardo Wu Jyh Herng

**Detecção de bordas em imagens de ecocardiografia
utilizando redes neurais artificiais**

Tese apresentada ao Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, Entidade Associada da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Medicina, Tecnologia e Intervenção em Cardiologia

Orientador: Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi

Co-Orientador: Prof. Dr. Aron José Pazin de Andrade

São Paulo
2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia

©reprodução autorizada pelo autor

Herng, Eduardo Wu Jyh

Detecção de bordas em imagens de ecocardiografia utilizando redes neurais artificiais / Eduardo Wu Jyh Herng.
- São Paulo, 2012.

Tese (doutorado)—Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia.

Área de Concentração: Medicina, Tecnologia e Intervenção em Cardiologia

Orientador: Denys Emilio Campion Nicolosi

Co-orientador: Aron José Pazin de Andrade

Descritores: 1. Detecção de bordas. 2. Ecocardiografia. 3. Redes Neurais (Computação)

USP/IDPC/Biblioteca-014/12

Dedico este trabalho a todos aqueles
que usam a ciência como instrumento
para aliviar as dores do próximo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi e ao meu co-orientador Prof. Dr. Aron José Pazin de Andrade pela dedicação e paciência que tornaram possível concluir este trabalho.

Agradeço ao Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia que, na pessoa do Dr. Sérgio Pontes, do Dr. Jorge Assef e da tecnóloga em ecocardiografia Daniela Akemi, forneceu as imagens para este trabalho e a eles por traçarem pacientemente as bordas das imagens para servir de comparação.

Agradeço às funcionárias Valquíria Cristina dos Santos Dias e Janeide Alves dos Santos da Coordenação do Programa de Pós-Graduação que nunca mediram esforços para atender às minhas solicitações de ajuda e orientação.

Agradeço à bibliotecária Anna Simene que prontamente elaborou a ficha catalográfica para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a meus pais (in memoriam) que, com sacrifício, investiram na minha formação acadêmica que possibilitou a execução deste trabalho.

Agradeço a minha esposa Marta e aos meus filhos Ângela, Anne e Albert cujo carinho e compreensão me serviram de motivação para perseverar na realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Mais importante do que nossa morte representar uma perda é nossa vida representar um benefício aos que nos cercam.”

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

SUMMARY

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo.....	4
2 REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Redes Neurais Artificiais.....	5
2.3 Técnicas de Processamento de imagem médica.....	28
2.4 Técnicas de detecção da borda do ventrículo esquerdo.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1 Introdução.....	53
3.2 Aquisição de Imagens.....	53
3.3 Cálculo do tamanho da amostra.....	54
3.4 Implementação da rede neural artificial em linguagem C.....	54
3.5 Exibição da imagem 'TIFF' na tela de vídeo.....	58
3.6 Implementação do algoritmo de treinamento da rede neural artificial.....	61
3.7 Implementação do algoritmo de teste da rede neural artificial.....	64
3.8 Implementação do algoritmo de detecção dos pontos da borda...67	

3.9 Implementação do algoritmo para traçado da borda.....	68
3.10 Avaliação do desempenho.....	71
4 RESULTADOS.....	73
5 DISCUSSÃO.....	83
6 CONCLUSÕES.....	92
7 ANEXOS.....	94
8 REFERÊNCIAS.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Bidimensional
AQ	Acoustic Quantification
AAM	Active Appearance Models
AAMM	Active Appearance Motion Model
AE	Area error
ANN	Artificial Neural Network
CK	Color Kinetics
CT	Computed tomography
CE	Contour error
CMRG	Contour-Modified Region Growing
CAD	Conversor analógico-digital
et al.	e outros
ECG	Eletrocardiografia
EEG	Eletroencefalograma
EMG	Eletromiogramas
ED	End diastolic
EDV	End diastolic volume
ES	End systolic
ESV	End systolic volume
HT	Hand tracing
HR	Heart rate
LVQ	Learning Vector Quantization
MRI	Magnetic resonance imaging

Man	Manual
MD	Mean difference
MUAP's	Motor unit action potentials
MG	Multiscale gradient
NMI	Neuromolecular imaging
NMR	Nuclear magnetic resonance
PC	Personal computer
PET	Positron emission tomography
RF	Radiofrequência
ROC	Receiver Operating Characteristic
RNA	Rede(s) Neural(is) Artificial(is)
ROI	Region of Interest
SOFM	Self-organizing feature map
SNR	Signal-noise ratio
SPECT	Single-photon emission computed tomography
SD	Standard deviation
SEE	Standard Error of the Estimate
SQUID	Superconducting quantum interference device
UTI	Unidade de terapia intensiva
VE	Ventrículo esquerdo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama das etapas do método	4
Figura 2.1: Rede Neural Artificial	6
Figura 2.2: Rede Tipo Perceptron para classificação simples	9
Figura 2.3: Separação de classes para função AND	10
Figura 2.4 – ADALINE	11
Figura 2.5 – MADALINE de duas camadas	12
Figura 2.6: Rede de Hopfield discreto	13
Figura 2.7: Rede de Retropropagação com uma camada escondida	14
Figura 2.8: Rede Neural de Kohonen	19
Figura 2.9: Rede ART1	20
Figura 2.10: Tomografia computadorizada de Raio X	31
Figura 2.11: Evolução dos sistemas de Tomografia Computadorizada da primeira a quarta geração de “scanners”	32
Figura 2.12: Geometria para aquisição de dados com projeção em qualquer ângulo θ	33
Figura 2.13: Princípio de detecção de coincidência	34
Figura 2.14: Diagrama de blocos de um sistema “scanner” de Ressonância Magnética Nuclear	37
Figura 2.15: Método de detecção de envelope do ultra-som	38
Figura 2.16 – Diagrama de blocos de um neuromagnetômetro SQUID de canal simples	40
Figura 2.17: Imagem com aplicação de limiar e o respectivo histograma	42

Figura 2.18: Detecção de borda baseado em cruzamento de zero	43
Figura 2.19: Estratégia geral para bordas baseado em cruzamento de zero	44
Figura 3.1: Fluxograma simplificado do sistema de reconhecimento de bordas	56
Figura 3.2: Tela inicial do sistema	57
Figura 3.3: Entrada do nome do arquivo	57
Figura 3.4: Imagem e seu respectivo histograma de níveis de cinza	59
Figura 3.5: Imagem com histograma de níveis de cinza redistribuído	60
Figura 3.6: Seleção do cursor	61
Figura 3.7: Imagem com o cursor de seleção de regiões de interesse	63
Figura 3.8: Definição do erro e da taxa de aprendizagem	63
Figura 3.9: Opção para salvar os pesos	64
Figura 3.10: Opções para teste da rede	65
Figura 3.11: Imagem com a área selecionada para teste	65
Figura 3.12: Imagem com os pontos reconhecidos como borda pela rede neural artificial	66
Figura 3.13: Divisão em fatias para detecção dos pontos da borda	68
Figura 3.14: Imagem com o traçado final da borda do ventrículo esquerdo	71
Figura 3.15: Contornos para avaliação do desempenho	72
Figura 4.1: Gráfico de correlação entre as áreas determinadas (especialista X rede neural artificial)	77
Figura 4.2: Gráfico de Bland-Altman entre as áreas determinadas (especialista X rede neural artificial)	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Erro percentual e erro soma dos traçados automáticos em comparação aos traçados do especialista	73
Tabela 4.2: Tabela dos resultados de testes para cálculo da curva ROC	79
Tabela 4.3: Tabela comparativa das principais características das técnicas de detecção de bordas do ventrículo esquerdo	84

RESUMO

Detecção de bordas em imagens de ecocardiografia utilizando redes neurais artificiais

Por ser não-invasiva e de baixo custo, a Ecocardiografia tem se tornado uma técnica de diagnóstico muito utilizada para a determinação dos volumes sistólicos e diastólicos do ventrículo esquerdo a fim de se calcular, indiretamente, o volume de ejeção do ventrículo esquerdo, a razão de contração muscular das cavidades cardíacas, a fração de ejeção regional e global, a espessura do miocárdio e a massa ventricular. Para isso, torna-se necessária a detecção das bordas endocárdicas do ventrículo esquerdo, o que é dificultada pelo fato da imagem de Ecocardiografia possuir ruídos que prejudicam sua definição.

Apesar de haver várias técnicas de segmentação de imagem, este trabalho propõe detectar as bordas do ventrículo esquerdo de imagens ecocardiográficas utilizando uma rede neural artificial para reconhecer padrões de bordas.

A fim de acelerar o processo e facilitar o processamento, uma área retangular centrada dentro da janela acústica do paciente é determinada pelo operador com o uso do 'mouse' na qual serão realizadas todas as análises e reconhecimentos de borda pela rede neural. Após a marcação dos pontos reconhecidos pela rede neural como bordas, utilizam-se técnicas de gradientes e contorno móvel para se conectar os pontos de maior probabilidade e traçar a borda do ventrículo esquerdo.

Esta técnica mostrou-se eficaz quando comparados com as bordas traçadas pelo especialista, sendo um fator importante a prática do operador ao escolher adequadamente a área a ser analisada.

Após treinamento com 50 amostras de padrões de “borda” e 10 amostras de padrões de “não borda”, a técnica foi testada em 108 imagens, alcançando resultados com boa precisão e rapidez quando comparamos os resultados na determinação da área do ventrículo esquerdo com outras técnicas citadas na literatura nacional e internacional.

Palavras-chaves: 1. Detecção de bordas. 2. Ecocardiografia. 3. Redes Neurais Artificiais.

SUMMARY

Border detection in Echocardiography images using artificial neural networks

Being non-invasive and having low cost, the echocardiography has been largely applied as diagnostic technique for left ventricle systolic and diastolic volumes determination that indirectly are used to calculate the left ventricle ejection volume, the cardiac cavities muscular contraction, the regional and global ejection fraction, the myocardial thickness, the ventricular mass, etc. For this reason, the detection of the left ventricle endocardial borders become necessary, but hampered by the noise that impairs the echocardiography images definition.

In spite of having many image segmentation techniques, this work intend to detect the borders of left ventricle on echocardiography images by using a artificial neural network to recognize border patterns.

To accelerate the process and facilitate the procedure, the operator uses the mouse to define a rectangular region inside the acoustic window of the patient where all analyses and border recognitions will be accomplished. After labeling the recognized points as 'border', gradient techniques and mobile boundary are used to connect the points of greater probability and delineate the left ventricle border.

This technique has proved to be efficient when compared to the borders traced by the specialist. The ability of the operator is important in choosing of the region to be analyzed.

After training with 50 samples of “border” pattern and 10 samples of “no-border” pattern, this technique was tested on 108 images, achieving good results on precision and velocity when we compared the calculated left ventricle area with the results of other techniques published on national and international literature.

Key words: 1. Border detection. 2. Echocardiography. 3. Artificial Neural Networks.