

Rodrigo Costa Fernandes

Registro de sísmica 3D a dados de poços

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio

Orientador: Prof. Marcelo Gattass

Rio de Janeiro
Agosto de 2009



Rodrigo Costa Fernandes

Registro de sismica 3D a dados de poços

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcelo Gattass

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes Filho

PUC-Rio

Prof. Alejandro César Frery Orgambide

UFAL

Prof. Hélio Côrtes Vieira Lopes

PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de Agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Rodrigo Costa Fernandes

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco. Trabalha como analista de sistemas desde 1999. Atualmente trabalha na Petrobras, especializando-se em desenvolvimento científico.

Ficha Catalográfica

Fernandes, Rodrigo Costa

Registro de sísmica 3D a dados de poços / Rodrigo Costa Fernandes; orientador: Marcelo Gattass. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2009.

v., 70 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Sísmica. 3. Função de Base Radial. 4. Segmentação de Imagens. 5. Casamento de Padrões. 6. Geometria Computacional. I. Gattass, Marcelo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

À minha esposa Yrama, à minha filha Ylana, a meu pai Cícero, à minha
falecida mãe Maria do Socorro, à minha segunda mãe Maria Izabel e a meus
irmãos Diego e Cícero Jr.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marcelo Gattass pelo apoio, paciência, simpatia e incentivo para a realização deste trabalho.

À Petrobras pelo crédito concedido e pela confiança.

À minha esposa Yrama pelas dicas de apresentação e por ter suportado o estado nebuloso de presença-ausência.

Ao Professor Alejandro Frery pelas palavras de apoio ao longo dos anos.

Aos amigos Ítalo Matias e Ricardo Szczerbacki pelas frutíferas discussões.

Aos colegas Marcos Machado e Aurélio Figueiredo pelo apoio e pela troca de idéias.

A Deus por ter vivido este momento.

Resumo

Fernandes, Rodrigo Costa; Gattass, Marcelo. **Registro de sísmica 3D a dados de poços**. Rio de Janeiro, 2009. 70p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A confiabilidade dos dados coletados diretamente ao longo do caminho de poços de petróleo é maior que a confiabilidade de dados sísmicos e, por isto, os primeiros podem ser utilizados para ajustar o volume de aquisição sísmica. Este trabalho propõe um ajuste dos volumes de amplitudes sísmicas através de um algoritmo de três passos. O primeiro passo é a identificação de feições comuns através de um algoritmo de reconhecimento de padrões. O segundo passo consiste em gerar e otimizar uma malha alinhada às feições de interesse do dado sísmico volumétrico através de um novo algoritmo baseado em processamento de imagens e inteligência computacional. E o terceiro e último passo é a realização de uma deformação volumétrica ponto-a-ponto usando interpolação por funções de base radial para registrar o volume sísmico aos poços. A dissertação apresenta ainda resultados de implementações 2D e 3D dos algoritmos propostos de forma a permitir algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave

Sísmica; Função de Base Radial; Segmentação de Imagem; Casamento de Padrões; Geometria Computacional.

Abstract

Fernandes, Rodrigo Costa; Gattass, Marcelo (Advisor). **Registration of 3D seismic to well data**. Rio de Janeiro, 2009. 70p. MSc. Dissertation — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Data acquired directly from borehole are more reliable than seismic data, and then, the first can be used to adjust the second. This work proposes the correction of a volume of seismic amplitudes through a three step algorithm. The first step is the identification of common features in both sets using a pattern recognition algorithm. The second step consists of the generation and the optimization of a mesh aligned with the features in the volumetric data using a new algorithm based on image processing and computational intelligence. The last step is the seismic-to-well registration using a point-to-point volumetric deformation achieved by a radial basis function interpolation. The dissertation also presents some results from 2D and 3D implementations allowing conclusions and suggestions for future work.

Keywords

Seismic Acquisition; Radial Basis Function; Image Segmentation; Pattern Matching; Computational Geometry.

Sumário

1	Introdução	13
2	Geração de malha de tetraedros	16
2.1	Malhas atômicas	18
2.2	Malhas atômicas melhoradas	20
2.3	Malhas atômicas não determinísticas	21
3	Aplicação de Deformações	28
3.1	<i>Warping</i> de imagens	29
3.2	Deformação espacial	30
3.3	Funções de base radial	32
3.4	Deformação de sísmica	36
4	Casamento de Padrões	40
4.1	Casamento de variância mínima	41
4.2	Casamento de variância mínima com múltiplas elasticidades	42
4.3	Análise de complexidade	44
5	Registro de sísmica	46
5.1	Registro de sísmica a poços	46
5.2	Um algoritmo de registro de sísmica a poços	47
6	Resultados	49
6.1	Geração de malhas 2D	49
6.2	Geração de malhas 3D	51
6.3	Registro de sísmica a poços	56
7	Conclusão e trabalhos futuros	59
	Referências Bibliográficas	61
A	Geração de traço sísmico sintético	65
B	Geração de números aleatórios para probabilidades discretas não uniformes	68
B.1	Método de inversão	68
B.2	Método das tabelas-guias	69

Lista de figuras

1.1	Interpretação geológica com horizontes e falhas. Adaptada de (Agüero, 2005).	13
2.1	Exemplos de malhas. À esquerda, malha estruturada. Ao centro, malha não estruturada. À direita, malha híbrida. Adaptada de (Bern e Plassmann, 2000).	17
2.2	Gráfico com as funções de força ($f(u)$) e potencial ($\phi(u)$).	19
2.3	Correção gama sobre imagem. Original ao centro, adaptada de (Hale, 2001).	23
2.4	Gráfico das correções gama aplicadas às imagens da Figura 2.3	23
2.5	Normalização aplicada às imagens com correção gama da Figura 2.3.	24
2.6	Algoritmo para posicionamento de átomos	24
2.7	Algoritmo para otimização de átomos baseado em algoritmo genético.	27
3.1	Exemplo de <i>warping</i> de imagem.	29
3.2	Deformação baseada em pontos. À esquerda, antes da deformação e à direita, depois da deformação. Adaptada de (Gain e Bechmann, 2008).	30
3.3	Deformação baseada em curvas. À esquerda, antes da deformação e à direita, depois da deformação. Adaptada de (Gain e Bechmann, 2008).	31
3.4	Deformação baseada em curvas. À esquerda, antes da deformação e à direita, depois da deformação. Adaptada de (Gain e Bechmann, 2008).	31
3.5	Deformação volumétrica de objeto. À esquerda, antes da deformação e à direita, depois da deformação. Adaptada de (Gain e Bechmann, 2008).	32
3.6	Deformação volumétrica de dado de aquisição médica. Adaptada de (Ruprecht, Nagel e Müller, 1995).	33
3.7	Movimentação de malha usando interpolação por funções de base radial. Note-se que os pontos de controle são marcados por círculos. Acima, em (a), malha original. Ao centro, em (b), retângulo central foi movido. Abaixo, em (c), retângulo central sob dobramento. Adaptada de (Boer, Schoot e Bijl, 2006).	35
3.8	Deformação de figura. Imagem original acima e à esquerda adaptada de Esperança, Oliveira e Cavalcanti (2008). A imagem acima e à direita resulta da aplicação dos operadores de Sobel sobre a imagem original. Abaixo à esquerda, pontos gerados usando o algoritmo de malhas atômicas não determinísticas, parte dos quais usados como pontos de controle (em verde). Abaixo à direita, resultado da aplicação das matrizes de interpolação direta (pontos movidos) e inversa (pixels da imagem movidos).	38

4.1	Matriz de diferenças entre o padrão $p = (1, 2, 8, 6, 8)$ e o alvo $t = (1, 2, 9, 3, 3, 5, 9)$ formada com linhas correspondentes a elementos de p e colunas a elementos de t ($r_{ij} = t_j - p_i$). Em parênteses, a melhor correspondência segundo o algoritmo MVM. Adaptada de (Latecki et al., 2007).	42
4.2	Casamento de curvas usando o algoritmo MVM. Acima à esquerda, a curva alvo. Acima à direita, curva de busca (padrão). Ao centro, casamento realizado. Abaixo, detalhe do casamento. Curvas geradas usando Perlin Noise (Perlin, 1985).	43
5.1	Ilustração da janela de busca e trechos de traço sintético ao longo do caminho do poço.	47
6.1	Imagens utilizadas para teste do método proposto. À esquerda, seção vertical de volume de amplitudes (383x403 pixels) (adaptada de (Esperança, Oliveira e Cavalcanti, 2008)). À direita, imagem médica de ressonância nuclear magnética com realce de bordas (512x512 pixels).	49
6.2	Posicionamento inicial dos átomos segundo o método proposto (à esquerda), triangulação de Delaunay induzida pelos átomos (à direita) e imagem combinada (ao centro).	51
6.3	Posicionamento final dos átomos usando o método dos gradientes descendentes após 40 iterações (à esquerda), triangulação de Delaunay induzida pelos átomos (à direita) e imagem combinada (ao centro).	52
6.4	Posicionamento final dos átomos segundo o algoritmo genético após 4 iterações (à esquerda), triangulação de Delaunay induzida pelos átomos (à direita) e imagem combinada (ao centro).	52
6.5	Tetraedrização a partir de dado sísmico 3D usando o método das malhas atômicas não determinísticas.	54
6.6	Análise dos tetraedros gerados usando volume. Acima, histograma e densidade acumulada para a razão de aresta. Abaixo, histograma e densidade acumulada para o menor diedro.	55
6.7	Análise combinada dos tetraedros gerados usando volume. Eixo horizontal: razão de aresta. Eixo vertical: menor diedro.	55
6.8	Traços selecionados para teste do casamento de padrões e registro de sísmica. A linha representa o dado como lido do volume. Pontos representam as amostras selecionadas formadoras dos trechos usados para casamento. Amostras foram lidas da base para o topo do cubo. De cima para baixo, traços 1, 2, 3, 4, e 5, respectivamente.	57
6.9	Resultado da deformação no volume. Acima as seções originais do volume antes da deformação. Abaixo, seções após a deformação. À esquerda, seções em $x = 15$. Ao centro, seção em $x = 40$. À direita, seção em $x = 97$.	58
A.1	Modelo litológico em cunha com valores de densidade de rocha (ρ) e velocidade compressional. Adaptada de Sancevero, Remacre e Portugal (2006).	66

A.2	Modelo de impedância acústica em tempo a partir do dado da Figura A.1. Adaptada de Sancevero, Remacre e Portugal (2006).	66
A.3	Wavelet e seus espectros de fase e amplitude. Adaptada de (Sancevero, Remacre e Portugal, 2006).	66
A.4	Seção sísmica sintética (traços verticais) extraída a partir da convolução da ondaleta com o modelo de impedância. Adaptada de (Sancevero, Remacre e Portugal, 2006).	67

Lista de tabelas

4.1	Efeito de diferentes elasticidades sobre o casamento entre uma seqüência e o padrão $\{4, 1, 5, 9, 8, 2, 7, 1\}$. Cada emparelhamento mostrado abaixo da seqüência é resultado do algoritmo MVM usando diferentes valores de elasticidade (e).	42
4.2	Resultado de execuções do algoritmo MVM para os trechos (A) e (B) em separado usando variados valores de elasticidade. Percebe-se sobreposição entre os casamentos dos trechos (A) e (B) para elasticidade igual a 1, 2 e 3.	44
4.3	Efeito da modificação aplicada ao algoritmo MVM original. O padrão é dividido em dois grupos ($\{4,1,5,9\}$ e $\{8,2,7,1\}$) pela presença de um número muito grande na posição final do primeiro grupo de amostras.	44
6.1	Parâmetros da execução dos testes em 2D.	50
6.2	Comparação de resultados do posicionamento inicial em 2D.	50
6.3	Resultado da aplicação de algoritmos de otimização de malhas à configuração inicial.	53
6.4	Parâmetros da execução dos testes em 3D.	53
6.5	Parâmetros do algoritmo genético para otimização da malha 3D.	54
6.6	Consolidação de resultados da geração e otimização da malha para o volume da Figura 6.5.	56
6.7	Localização dos traços usados nos testes.	56
6.8	Translações verticais aplicadas em trechos de traços para executar a deformação.	57

Como manifestação presente à experiência vital, a curiosidade humana vem sendo histórica e socialmente construída e reconstruída. Precisamente porque a promoção da ingenuidade para a criticidade não se dá automaticamente, uma das tarefas precípua da prática educativo-progressista é exatamente o desenvolvimento da curiosidade crítica, insatisfeita, indócil. Curiosidade com que podemos nos defender de “irracionalismos” decorrentes do ou produzidos por certo excesso de “racionalidade” de nosso tempo altamente tecnologizado. E não vai nesta consideração nenhuma arrancada falsamente humanista de negação da tecnologia e da ciência. Pelo contrário à consideração de quem, de um lado, não diviniza a tecnologia, mas, de outro, não a diaboliza. De quem olha ou mesmo a espreita de forma criticamente curiosa.

Paulo Freire, *Pedagogia da Autonomia*.