



Detecção Automática de Múltiplas Fraturas usando Perfilagem Geofísica com Otimização Multimodal

Dayara Bastos Palheta¹; Carlos Eduardo Guerra¹; Anderson Alvarenga de Moura Meneses¹

¹IEG / Instituto de Engenharia e Geociências – Universidade Federal do Oeste do Pará

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

O objetivo geral da investigação deste problema é o estudo, implementação e testes de métodos de inteligência computacional, para a detecção automática de múltiplas fraturas em imagens geradas por perfilagem geofísica com base em otimização multimodal. Como resultados, apresentamos uma prova de conceito para fraturas sintéticas com o algoritmo PSO. O algoritmo é capaz de identificar as duas fraturas existentes no modelo, em múltiplas inicializações, o método de reinicialização, usado como estratégia para escapar de ótimos locais e realizar uma busca completa pelo espaço de busca é conhecido como método *Multistart*.

Introdução

A perfilagem geofísica, conhecida, também, como *well logging* foi desenvolvida por Marcel e Conrad Schlumberger em 1927 (ELLIS & SINGER, 2007). A perfilagem determina, em geral, características estáticas das formações, tais como litologias, tipos e saturações de fluidos, porosidade, inclinação de fraturas e camadas. Um perfil de poço contém informações das rochas que se formam ao longo de um intervalo de profundidade, sendo muito relevante em geofísica para determinar as características do poço e a viabilidade econômica. Um dos avanços da perfilagem são os perfis de imagem. A imagem coletada se trata de uma imagem virtual da parede do poço. As informações mais relevantes para esse trabalho são de inclinações, tanto de camadas, quanto de ocorrências de fraturas. A descrição detalhada das fraturas pode ser obtida através de uma análise de testemunho, mas este processo é muito caro e é realizado apenas para alguns poços. Assim, a necessidade de um método computacional para resolver este problema é pertinente. Deste modo, pretende-se aplicar um método de detecção automática de múltiplas fraturas em imagens geradas por perfilagem geofísica com base em otimização multimodal, com o objetivo de encontrar todas as múltiplas soluções, já que cada uma corresponde a uma fratura.

A metodologia proposta utiliza uma abordagem baseada no método *Multistart* que consiste em múltiplas reinicializações, gerando soluções iniciais aleatórias, em conjunto com a otimização por enxame de partículas

(*Particle Swarm Optimization*, PSO), que é um método de Inteligência Computacional muito utilizado em problemas de otimização global (MENESES; MACHADO; SCHIRRU, 2009), proposto originalmente por Kennedy e Eberhart em 1995 (Kennedy e Eberhart, 1995; Eberhart e Kennedy, 2001). Neste sentido, foi desenvolvido um método baseado na otimização global para a detecção de múltiplas fraturas automatizada, visando à tomada de decisão, a fim de economizar tempo e esforço na análise de dados. O algoritmo modela uma busca colaborativa, levando em conta aspectos sociais da inteligência, além de realizar múltiplas reinicializações, como estratégia para escapar de ótimos locais e realizar uma busca completa pelo espaço de busca, esse método de reinicialização é conhecido como método *Multistart*. Como resultados, apresentamos uma prova de conceito para fraturas sintéticas com o algoritmo PSO. Em múltiplas inicializações, o algoritmo é capaz de identificar as duas fraturas existentes no modelo.

Metodologia

Para demonstração do método, inicialmente utilizou-se uma função de teste conhecida como função de Himmelblau, com característica multimodal e espaço de busca bidimensional (Figura 1). A função é dada pela equação 1 e os seus valores de *fitness* mínimas e os valores de mínimos estão contidos na Tabela 1. A função de Himmelblau foi implementada no Optimization ToolboxTM do software MATLAB[®].

$$f(x, y) = (x^2 + y - 11)^2 + (x + y^2 - 7)^2 \quad (1)$$

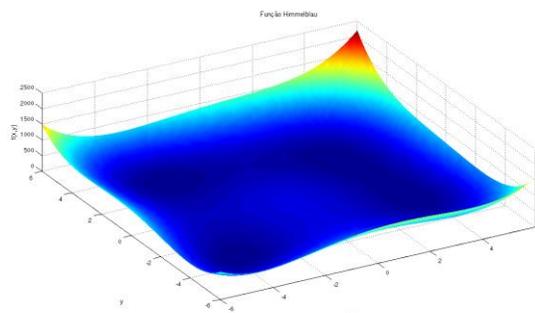


Figura 1 – Gráfico da Função de Himmelblau.

Coordenadas (x,y)	Valores da função f(x, y)
(3.000000 , 2.000000)	0
(-2.805118 , 3.131312)	0
(-3.779310 , -3.283186)	$7,889 \times 10^{-31}$
(3.584428 , -1.848126)	$7,889 \times 10^{-31}$

Tabela 1 – Valores das coordenadas (x, y) e os valores de f(x, y) dos mínimos da função de Himmelblau.

O *Optimization Toolbox*TM proporciona a utilização de algoritmos em grande escala de otimização. Estes algoritmos podem resolver problemas restritos e irrestritos podendo ser tanto contínuos quanto discretos. O *Toolbox* também inclui programação de funções de otimização multiobjetivo, que é o caso da função de Himmelblau. O objetivo era encontrar as *fitnesses* mínimas e os valores de mínimo da função de teste utilizando o método *Multistart* com a função *fminunc*. A função *fminunc* tenta encontrar o mínimo de uma função de várias variáveis, a partir de uma estimativa inicial. Na Tabela 2, estão contidos os melhores valores para 50 iterações. Pode-se observar que o método *Multistart* com a função *fminunc* conseguem localizar os mínimos e as *fitnesses* da função de Himmelblau, porém a precisão não é satisfatória.

Valor mínimo f(x,y)	<i>Fitnesses</i>
$f(3.0000, 2.0000)$	1.3219×10^{-13}
$f(3.5847, -1.8482)$	2.62880×10^{-06}
$f(3.6702, -1.8260)$	0.4148
$f(-2.9291, 3.1493)$	0.5312

Tabela 2 – Valores das *Fitnesses* mínima e os valores de mínimo da função de Himmelblau.

Em (Cardoso e Meneses, 2008) foi realizado um teste de desempenho para demonstrar o funcionamento do algoritmo PSO e apresentar seus resultados na otimização da Função de Himmelblau. Os resultados obtidos com a aplicação do PSO para a localização dos mínimos e das *fitnesses* da função de Himmelblau possuem maior precisão que o método aplicado no *Optimization Toolbox*TM do *software* MATLAB[®], como pode ser observado na Tabela 3.

Número de Iterações	Valor mínimo f(x,y)	<i>Fitnesses</i>
5	$x = 3,5785368742$ $y = -1,8418531428$	0,002134077
10	$x = 3,5818830895$ $y = -1,8568916070$	0,0016250543

15	$x = 3,5817583283$ $y = -1,843683983$	0,0005795378
20	$x = -2,8033666030$ $y = 3,1350747506$	0,0006781964

Tabela 3 – Resultados obtidos com a aplicação do PSO para a Função de Himmelblau (Cardoso e Meneses, 2008).

Os resultados adquiridos com *Optimization Toolbox*TM do *software* MATLAB[®] demonstraram que o seu uso se torna inviável para a detecção automática de múltiplas fraturas, justificando, assim, o uso de uma metaheurística de otimização como o algoritmo PSO associado com o Método *Multistart*.

Para a prova de conceito, foi selecionada uma imagem (Figura 1), referida como modelo sintético (com 250x337pixels²).

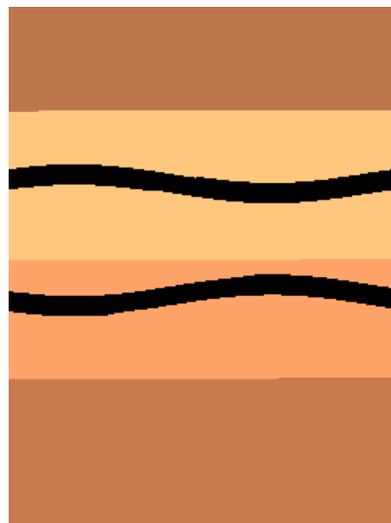


Figura 2 – O modelo sintético de levantamento geofísico 5 usado para demonstrar o método.

Um primeiro passo foi converter a imagem em tons de cinza de 8 bits. Em seguida, foram criadas imagens binarizadas com o auxílio do *software* MATLAB[®], com limiar de intensidade ajustado para 65 pixels para o modelo sintético 5 (Figura 3).

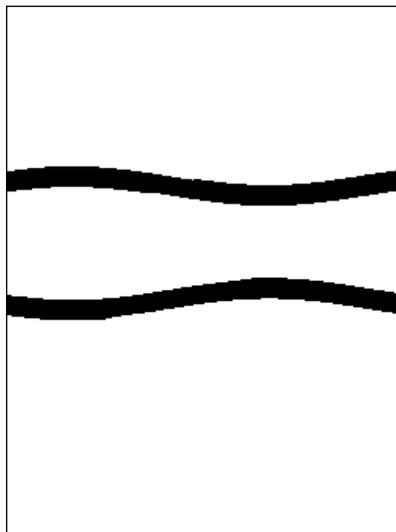


Figura 3 – Imagem binarizada obtida a partir da síntese do levantamento geofísico para o modelo 5.

Resultados

A técnica consiste em determinar automaticamente os parâmetros de amplitude, ângulo de fase, e coeficiente linear relacionados com uma senóide que representa a fratura em mapas de sondagem. Para o caso do modelo sintético 5 o algoritmo foi executado com 10 inicializações. A cada experimento o algoritmo zera os resultados e reinicializa a busca por todo o espaço de busca. Durante a execução as partículas alteram o seu estado (velocidade e posição). A cada iteração, a partícula é acelerada em direção à posição anterior da melhor partícula e a melhor posição global da mesma. A localização de cada partícula no enxame é afetada pela posição mais favorável durante o seu movimento, o que se convencionou chamar de experiência individual ou de avaliação da localização, que analisa a posição mais vantajosa do grupo (Figura 4).

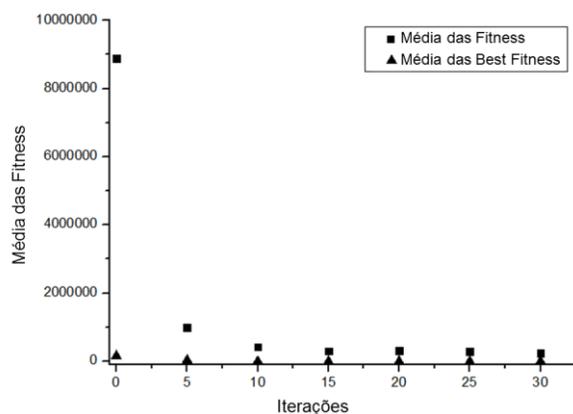


Figura 4 – Convergência do algoritmo PSO associado com o Método *Multistart* para a detecção automática das duas fraturas do modelo sintético 5 (Figura 2).

Na Tabela 4, pode-se observar os melhores parâmetros encontrados para as duas fraturas (Figura 2), de acordo com a aplicação do algoritmo PSO associado com o Método *Multistart*. O coeficiente linear, da inicialização 1, corresponde a primeira fratura (Figura 5). Já a segunda fratura foi detectada pelo coeficiente angular da inicialização 2 (Figura 6).

Paramêntros	Inicialização 1	Inicialização 2
Amplitude	1.000000	1.000000
Ângulo de Fase	4.040338	6.283185
Ceficiente Linear	113.312270	186.250823
Best Fitness Final	0.000000	0.000000
Fitness Média Final	200033.800000	300003.900000

Tabela 4 – Resultados obtidos com a aplicação do PSO associado com o Método *Multistart* para a detecção das duas fraturas do modelo sintético 5.

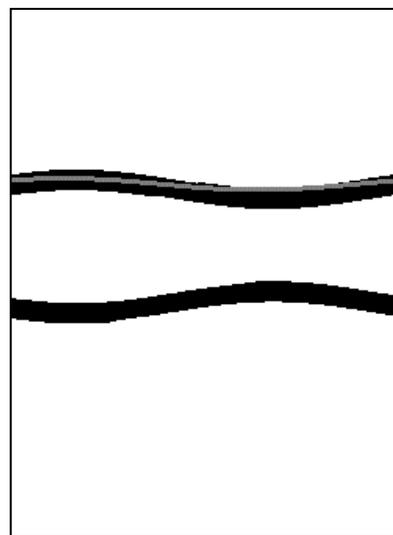


Figura 5 – Sobreposição entre a imagem da Figura 3 com a senóide gerada com os melhores parâmetros encontrados para a primeira fratura para o modelo sintético 5 (em tons de cinza).

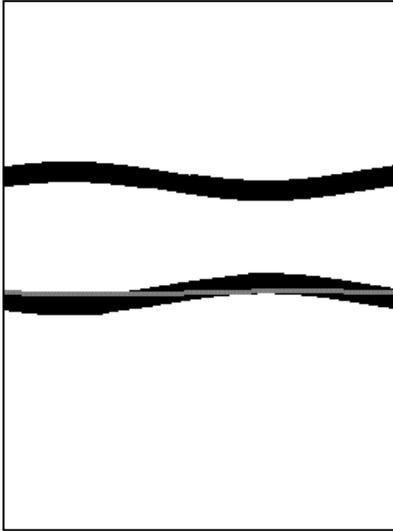


Figura 6 – Sobreposição entre a imagem da Figura 3 com a senóide gerada com os melhores parâmetros encontrados para a segunda fratura para o modelo sintético 5 (em tons de cinza).

As senóides geradas com os parâmetros encontrados com o método de combinar as fraturas representadas nas imagens do modelo sintético comprovaram a viabilidade do método (Figuras 5 e 6).

Discussão e Conclusões

O objetivo deste estudo é a implementação e testes de métodos de inteligência computacional (meta-heurísticas de otimização) para processamento e análise de perfis geofísicos, de forma a executar reconhecimento de padrões, desenvolvimento de capacidade de generalização do problema da perfilagem de poços, bem como a automatização desse processo.

Em Palheta et al. (2013) foram realizados teste, com o algoritmo PSO, para localizar os pontos de mínimo com uma única função objetivo, de modo que, o método combinava as fraturas representadas nas imagens do poço (modelo real) com cada solução candidata.

No presente trabalho, assim como em Palheta et al. (2013), cada uma das soluções candidatas é uma partícula com três coordenadas (amplitude, ângulo de fase e o coeficiente linear; parâmetros que descrevem uma senóide em um plano). Desta forma, o método de combinar as fraturas representadas na imagem do modelo sintético (Figura 2) com cada solução candidata é avaliada de acordo com as funções de *fitnesses* que avalia o ajuste da senóide em relação às fraturas que serão exibidas nas imagens (Figura 5 e 6), comprovando a viabilidade do método, pois, os parâmetros da senóide que melhor coincidem com as fraturas foram determinados. Assim, as sobreposições entre as curvas encontradas automaticamente, usando o algoritmo PSO associado com o Método *Multistart*, e a imagem original (Figura 2) demonstram o sucesso na utilização da técnica.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasil).

Referências

Cardoso, T.N.; Meneses, A. A. M. . Otimização com Enxame de Partículas - Validação e Aplicação à Função Multimodal de Himmelblau. In: XI ENCONTRO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2008, Volta Redonda. XI Encontro de Modelagem Computacional, 2008.

Eberhart, R.C., and Kennedy, J., 1995, A new optimizer using particles swarm theory: Proceedings of the IEEE sixth international symposium on micro machine and human science, Nagoya, Japan. 131p

Ellis, D.V. & Singer, J.M. Earth logging for earth scientist. 2ªed., New York, Springer Verlag, 2007.

Kennedy, J., and Eberhart, R.C., 2001, Swarm Intelligence: Morgan Kaufmann Publishers, USA.

Meneses, A. A. M, Machado, M. D., and Schirru, R., 2009. Particle Swarm Optimization applied to the nuclear reload problem of a pressurized water reactor. Progress in Nuclear Energy 51, 319-326.

Palheta, D. B; Guerra; C. E; Sacco, W. F; Meneses, A. A. M. .Automated Fracture Detection With Well Logs Using Global Optimization. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEf, 2013, Rio de Janeiro.

Ugray, Zsolt, Leon Lasdon, John C. Plummer, Fred Glover, James Kelly, and Rafael Martí. Scatter Search and Local NLP Solvers: A Multistart Framework for Global Optimization. INFORMS Journal on Computing, Vol. 19, No. 3, 2007, pp. 328–340.