



Verificação do desempenho do empilhamento CRS-2D com o operador de quarta ordem em dados reais

*Manuel Costa, German Garabito** & João C. R. Cruz**, *Programa de Pós-graduação em Geofísica, **Faculdade de Geofísica em Geofísica / IG / UFPA.

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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

A simulação de uma seção sísmica *zero-offset* (ZO) a partir de dados de cobertura múltipla pode ser realizada através do empilhamento sísmico, como tradicional método de empilhamento CMP. Com este propósito, atualmente está sendo bastante utilizado o método de empilhamento CRS (*common-reflection-surface*) que produz seções ZO empilhadas com melhor resolução mesmo em ambientes geologicamente complexos. O método CRS utiliza um operador definido por uma aproximação hiperbólica de segunda ordem de tempos de trânsito (CRS²). Neste trabalho, apresenta-se a aplicação do método de empilhamento CRS baseado na aproximação hiperbólica de quarta ordem (CRS⁴). A implementação do método CRS com ambos operadores é realizado em uma etapa, isto é os três parâmetros CRS são otimizados simultaneamente. O resultado preliminar da aplicação do método CRS⁴ em dados reais da Bacia do Tacutu mostra pequenas diferenças em relação ao obtido com o operador CRS². Contudo, este resultado não é conclusivo, devendo-se aplicar o referido operador em outros dados.

Introdução

O imageamento sísmico tem como um dos objetivos gerar a melhor imagem possível das estruturas geológicas em subsuperfície, a partir dos dados sísmicos de reflexão. Nos últimos anos, foram propostos vários métodos de imageamento que não dependem do macro modelo de velocidade para simular seções *zero-offset* (ZO), a partir dos dados de cobertura múltipla. Dentre estes métodos, destaca-se o empilhamento por superfície de reflexão comum (*common reflection surface* - CRS), (Muller, 1998; Mann et al., 1999; Mann (2001); Jaeguer et al., 2001; Garabito et al., 2001). Este método foi desenvolvido com base numa aproximação hiperbólica de segunda ordem de tempos de trânsito que define o operador de empilhamento CRS². O método CRS, com o operador de segunda ordem, é aplicado com sucesso em dados sísmicos com baixa qualidade (baixa razão sinal-ruído) e em meios com variações laterais de velocidades, produzindo seções ZO com alta razão sinal-ruído, com boa definição na continuidade dos refletores e boa

resolução dos refletores com fortes inclinações (Trappe et al., 2001). Neste sentido, objetivando uma melhora no que diz respeito à precisão na aproximação dos tempos de trânsito e conseqüentemente uma melhora na imagem, Höcht et al. (1999) apresentaram uma extensão da aproximação hiperbólica de segunda ordem para quarta ordem em 2D. Em Chira et al., (2003) apresenta-se uma revisão teórica do operador de quarta ordem (CRS⁴) e também resultados numéricos comparativos entre os operadores CRS² e CRS⁴, onde considerando um modelo sintético simples foram comparados os ajustes das curvas de tempos de trânsito de ambos operadores com os tempos de trânsito exatos calculados por traçado de raios. De forma similar, no presente trabalho, apresenta-se os resultados da implementação do método de empilhamento CRS com os operadores de segunda e quarta ordem. Para verificar o desempenho do método CRS com o operador de quarta ordem, o mesmo será aplicado em uma linha sísmica da Bacia do Tacutu, correspondente a uma área com fortes variações laterais de velocidades.

Operador de empilhamento CRS

O método de empilhamento CRS é um método que simula uma seção ZO a partir de dados de cobertura múltipla, através do somatório de eventos sísmicos ao longo das superfícies de empilhamento associadas a cada ponto de amostragem da seção ZO a ser simulada. A superfície de empilhamento, chamada também de operador CRS, neste trabalho, é definida por duas expansões hiperbólicas de segunda e quarta ordem (CRS²), (CRS⁴), respectivamente, dos tempos de trânsito de raios paraxiais na vizinhança de um raio central com afastamento fonte-receptor nulo e incidência normal. Estes operadores podem ser obtidos por meio de uma aproximação geométrica (Höcht et al., 1999) onde, as expressões em 2D de segunda e quarta ordem são dadas por, respectivamente:

$$t^2(x_m, h) = t_0^2 + Am + Bm^2 + Ch^2 \quad (1)$$

$$t^2(x_m, h) = t_0^2 + Am + Bm^2 + (C + Em + Gm^2)h^2 + Dm^3 + Fm^4 + Hh^4 \quad (2)$$

Onde:

$$m = (x_m - x_0)$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{4t_0 \sin \beta_0}{v_0}, \\
 B &= 2 \frac{v_0 t_0 \cos^2 \beta_0 + 2R_N \sin^2 \beta_0}{v_0^2 R_N}, \\
 C &= \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0 R_{NIP}}, \\
 D &= \frac{2 \sin \beta_0 \cos^2 \beta_0 (2R_N - v_0 t_0)}{v_0^2 R_N^2}, \\
 E &= \left(\frac{2 \sin \beta_0 \cos^2 \beta_0 (2R_{NIP} R_N - 2v_0 t_0 R_{NIP} - v_0 t_0 R_N)}{v_0^2 R_{NIP}^2 R_N} \right) \\
 F &= \frac{\cos^2 \beta_0 [R_N (10 \cos^2 \beta_0 - 8) + v_0 t_0 (4 - 5 \cos^2 \beta_0)]}{2v_0^2 R_N^3} \\
 G &= \cos^2 \beta_0 \left[\frac{v_0 t_0 (4 - 5 \cos^2 \beta_0)}{2v_0^2 R_N^3} \right] \\
 H &= \frac{\cos^2 \beta_0 (4v_0 t_0 R_{NIP} \sin^2 \beta_0 - v_0 t_0 R_N \cos^2 \beta_0 + 2R_{NIP} R_N \cos^2 \beta_0)}{2v_0^2 R_{NIP}^2 R_N}
 \end{aligned} \quad (3)$$

sendo, t_0 o tempo duplo do raio central de afastamento nulo e v_0 a velocidade próxima à superfície conhecida, velocidade esta, medida em torno do ponto de emergência do raio central, $X_0 = (x_0, h = 0)$ sobre a linha sísmica com o par fonte-receptor coincidentes, as coordenadas x_m e h definem o ponto médio e o afastamento médio, respectivamente, β_0, R_{NIP}, R_N , são o ângulo de emergência do raio central, o raio de curvatura da onda do ponto de incidência normal e o raio de curvatura da onda normal nesta ordem.

Algoritmo de empilhamento CRS-2D

Os primeiros algoritmos de implementação do método CRS consistem de várias etapas. Normalmente, nas primeiras etapas são determinados os parâmetros separadamente e na etapa final chamada de refinamento são procurados simultaneamente os três parâmetros ótimos por meio de algoritmos de otimização local. Nesses algoritmos CRS de multi-etapas os erros cometidos nas primeiras etapas podem ser propagados até a etapa final, comprometendo assim o resultado final.

Para uma comparação mais fidedigna do método CRS baseado no operador de quarta ordem, neste trabalho o algoritmo de implementação consiste de uma única etapa, ou seja, os três parâmetros ótimos

(β_0, R_{NIP}, R_N) que definem os operadores de segunda CRS² e quarta ordem CRS⁴ são determinados simultaneamente por meio da aplicação do algoritmo de otimização global *Simulated Annealing* (SA). Após a determinação dos três parâmetros é realizado o empilhamento CRS obtendo-se como resultados uma seção ZO, uma seção de coerência e três seções com os parâmetros CRS.

Resultados

Nesta seção apresentam-se os resultados da aplicação do algoritmo descrito acima na linha sísmica 50-RL-90 da bacia do Tacutu, que foram adquiridos pela Petrobras na década dos anos 80. Esta linha esta composta por 179 tiros adquiridos utilizando um lança simétrico split-spread com 96 canais. O intervalo entre tiros é de 200m e entre estações receptoras de 50m, com offsets mini e máximo de 150m e 2500m, respectivamente. O tempo total de registro é 4s com intervalo de amostragem de 4ms.

Previamente a aplicação do método CRS, os dados foram submetidos a uma etapa de pré-processamento, cujos processos principais são: edição, correção de amplitudes, deconvolução e filtro F-K para remoção de *ground roll*. Neste trabalho, apresenta-se apenas uma parte da seção ZO correspondente a linha sísmica. Nas Figuras 1 e 2 mostram-se os resultados do empilhamento CRS, respectivamente, com os operadores de segunda e quarta ordem. Observam-se em ambas as seções empilhadas uma boa resolução, verificando ainda pequenas diferenças em algumas partes das seções. Nas áreas marcadas com círculos de cor preta, pode-se observar que o resultado do operador de quarta ordem mostra pequenas melhoras quanto à continuidade dos refletores. Quanto tempo de CPU do empilhamento CRS com operador de quarta mostrou-se aproximadamente 5% mais lento quando comparado com o operador de segunda ordem.

Conclusões

Neste trabalho, foi apresentada a implementação em uma única etapa do método de empilhamento CRS utilizando os operadores CRS² e CRS⁴. Este algoritmo foi aplicado com sucesso em dados reais da Bacia do Tacutu que tem baixa qualidade e correspondente a uma área com variações laterais de velocidades. Com base na qualidade das seções ZO obtidas com este algoritmo, pode-se indicar que os resultados obtidos com o algoritmo de quarta ordem tiveram sucesso por serem consistentes com os obtidos através do algoritmo de segunda ordem, a partir dos mesmos dados. Quanto ao desempenho do novo operador, estes primeiros resultados obtidos mostraram que o desempenho do operador de quarta ordem CRS⁴ em relação ao operador de segunda ordem CRS² não foi relevante, visto que as imagens obtidas mostram apenas pequenas diferenças. Neste sentido, precisam-se fazer novos testes, em dados sísmicos adquiridos com diferentes coberturas e offsets, e nos mais variados meios com estruturas geológicas complexas de tal forma que possamos caracterizar de uma forma mais precisa a eficiência do operador de quarta ordem.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Milton Porsani e o M.Sc. Michelângelo G. Silva – UFBA por nos fornecer a linha sísmica utilizada neste trabalho, que foi cedida pela Agência Nacional do Petróleo – ANP para seu acadêmico através do processo CNPq 465.529/00-3.

Bibliografia

Chira, P., Tygel, M., Hubral, P., Shleicher, J., 2003, A fourth-order CRS moveout for reflection and diffraction events: *Journal of Seismic Exploration*, v.12, n. 10, 197-219

Garabito, G., Cruz, J. C., Hubral, P., and Costa, J, 2001, Common reflection surface stack: A new parameter search strategy by global optimization. *71th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. San Antonio, Texas, USA.*

Höcht, G., de Bazelaire, E., Majer, P, Hubral, P., 1999, Seismics and optics: hyperbolae and curvatures: *Journal of Applied Geophysics*, 42, 261–281

Mann, J., Jäger, R., Müller, T., Höcht, G., and Hubral, P. (1999). Common-reflection-surface stack - a real data example. *Journal of Applied Geophysics*, 42: 301–318.

Mann, J., 2001, Common-reflection-surface stack and conflicting dips. *In Extended Abstracts, 71th Annual Internat. Mtg., Expl. Geophys.*

Müller, T., 1998, Common reflection surface stack versus nmo/stack and nmo/dmo/stack. 60th Mtg. Eur. Assoc. Expl. Gophys., Extended Abstracts.

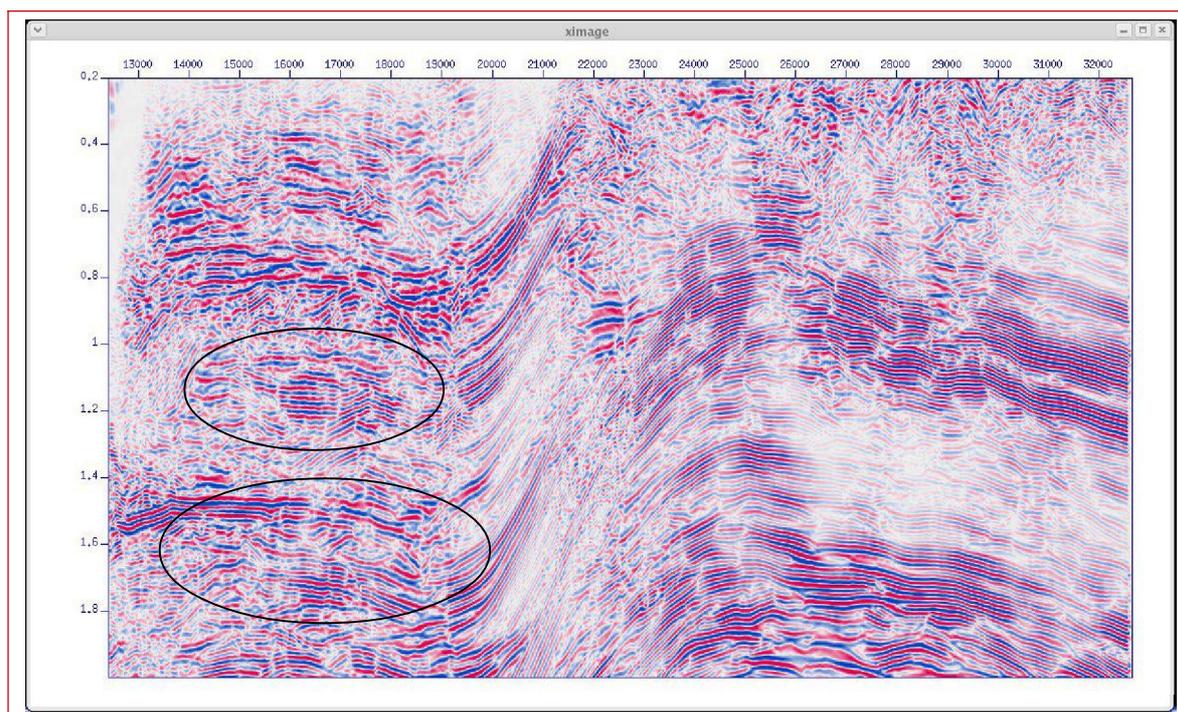


Figura 1 – Seção empilhada ZO obtida com o método CRS usando o operador de segunda ordem.

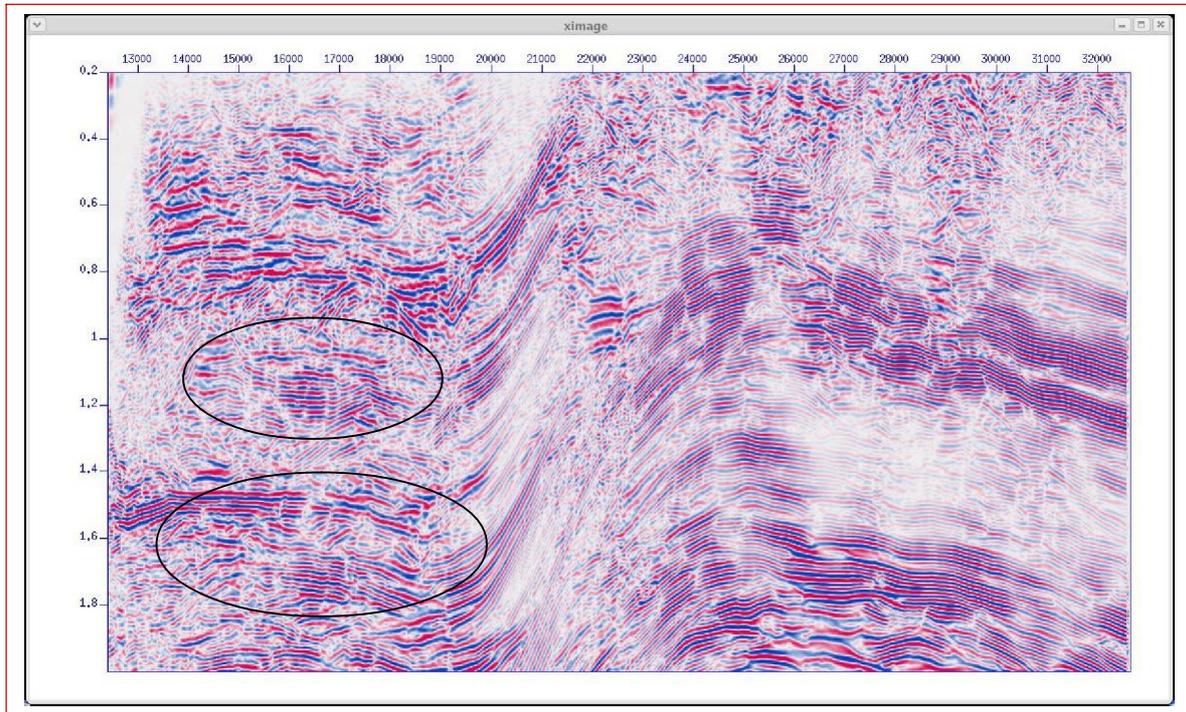


Figura 2 – Seção empilhada ZO obtida com o método CRS usando o operador de quarta ordem.