



CRS-beam PSDM : Migração pré-empilhamento em profundidade usando o operador CRS

German C. Garabito, CPGf/UFPA, german@ufpa.br

Carlos A. S. Ferreira, ANP, caferreira@anp.gov.br

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The Common-Reflection-Surface (CRS) stack method produces from multi-coverage seismic data a zero-offset (ZO) stacked section with high signal-to-noise ratio and improved resolution. Besides the ZO section, the CRS method produces three useful kinematic attributes, which can be applied to determine the projected Fresnel zone and geometrical spreading factor required for Kirchhoff true-amplitude limited-aperture migration. In this work, we present a new depth migration procedure combining the Kirchhoff depth migration and the CRS stacking method. This new Kirchhoff type prestack depth migration called CRS-beam PreSDM is based on beam stack using the CRS operator to do the imaging from time-domain to depth-domain. To demonstrate the efficiency and robustness of the proposed migration procedure, it was applied to very noise synthetic dataset of a model with steeper dip reflectors.

Introdução

No processamento de dados sísmicos aplicados a exploração de petróleo e gás, a migração de dados sísmicos produz imagens mais representativas da subsuperfície. A migração Kirchhoff é um o método de imageamento sísmico mais popular e bastante utilizado na migração devido a sua eficiência e flexibilidade. No entanto, em meios com fortes variações laterais de velocidades a migração kirchhoff perde eficiência, tanto no domínio do tempo como da profundidade. Apesar desta limitação, no domínio do tempo a migração Kirchhoff pré-empilhamento é pratica comum no processamento de dados sísmicos devido a obtenção de imagens com melhor qualidade do que as obtidas com a migração pós-empilhamento de seções ZO (*zero-offset*) empilhadas pelo método de empilhamento CMP (*common-mid-point*).

O método de empilhamento CRS (*common-reflection-surface*) também produz seções ZO empilhadas, e vem se tornando como uma alternativa ao método de empilhamento CMP. Aspectos teóricos e de implementação do método CRS podem ser encontrado em Jäguer et al., (2001), Garabito et al., (2001) e Mann (2001). O operador de empilhamento do método CRS é

uma aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito na vizinhança de um raio central com incidência normal, expressa em função de três atributos cinemáticos relacionados às propriedades locais do refletor como: posição, ângulo de inclinação e curvatura. Devido a este fato o método CRS pode ser aplicado em dados de meios estruturalmente complexos e com variações laterais de velocidades. Aplicações deste método em dados reais mostram imagens com alta qualidade, isto é, imagens com alta razão sinal-ruído e melhor resolução lateral dos refletores sísmicos. Exemplos de aplicação que mostram esta melhor qualidade comparado com os resultados dos métodos CMP(NMO/DMO), migração pré-empilhamento em tempo (PSTM - *prestack time migration*) e profundidade (PSDM - *prestack depth migration*) podem ser encontrados em Bergler et al., (2002), Hertweck et al., (2007), Eisenberg-Klein et al., (2008).

Os atributos CRS determinados durante o empilhamento podem ser aplicados para determinar algumas propriedades da migração kirchhoff. Em Mann et al. (2000) foi apresentada uma primeira aplicação desses atributos na migração pré-empilhamento aproximada em tempo. Outras aplicações na migração Kirchhoff com preservação de amplitudes e abertura limitada podem ser encontradas em Spinner and Mann (2006). Em Garabito et al., (2006) e Luz (2007) apresentam-se a migração pós- e pré empilhamento tipo Kirchhoff em profundidade usando o operador CRS para o mapeamento das amplitudes empilhadas do domínio do tempo para o domínio da profundidade.

No presente trabalho é apresentada uma nova aplicação dos atributos do método CRS na migração pré-empilhamento em profundidade tipo Kirchhoff. Na migração Kirchhoff convencional um traço sísmico dos dados de entrada no domínio do tempo é imageado em toda a seção de saída. Nos métodos de migração com feixes Gaussianos (*Gaussian beam*) são agrupados vários traços da seção de entrada em certa vizinhança por meio do empilhamento oblíquo (*slant stack*) para uma série parâmetros de raio, posteriormente, cada traço empilhado é imageado em um conjunto limitado de pontos imagem da seção de saída (Sun et al, (2000), Hill (2001), Gray (2005)). A migração por feixes Gaussianos incorpora as vantagens da migração Kirchhoff e contorna as deficiências do mesmo, assim é adequado para aplicação em meios com geologia complexa. Em Ferreira e Cruz (2005, 2007) foi introduzida a migração Kirchhoff modificada usando o operador de feixes gaussianos.

Neste trabalho é apresentado um novo procedimento de migração seguindo os conceitos da migração por feixes gaussianos e da migração Kirchhoff modificada

apresentada no ultimo trabalho referido acima. Para fazer o empilhamento dos traços de entrada numa dada vizinhança é utilizado o operador CRS, posteriormente o traço empilhado é migrado usando a curva de Huygens da migração Kirchhoff. Através da aplicação em um modelo sintético são apresentados resultados preliminares da migração cinemática obtida com o método proposto.

Operador CRS

O método de empilhamento CRS utiliza como operador de empilhamento a aproximação hiperbólica de tempos de trânsito de raios paraxiais a um raio central com incidência normal. Esta aproximação pode ser derivada através da teoria paraxial do raio, cuja expressão em 2-D é dada por (Tygel et al., 1997):

$$t_{CRS}^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} \Delta x \right]^2 + \frac{2 t_0 \cos \beta_0}{v_0} \times \left[\frac{\Delta x^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

onde $\Delta x = (x_m - x_0)$, sendo x_0 a coordenada do ponto de emergência do raio central na superfície de medição, x_m e h são, respectivamente, as coordenadas do ponto médio e meio afastamento entre fonte e receptor. A velocidade próxima a superfície, v_0 , é considerada conhecida e os três atributos cinemáticos (β_0 , R_{NIP} , R_N) são determinados a partir dos dados sísmicos por meio de processos automáticos de busca (otimização) usando a medida de coerência Semblance. No empilhamento CRS para cada ponto de amostragem, (t_0, x_0) , da seção ZO a ser simulada são determinados os três atributos CRS que definem a superfície que melhor ajusta as reflexões nos domínios ponto-médio e meio-afastamento. As amplitudes das reflexões são empilhadas ao longo da superfície e o valor da soma é atribuído ao ponto de amostragem da seção ZO. A repetição desse processo para todos os pontos de amostragem da seção de saída simula a seção ZO empilhada.

Migração tipo Kirchhoff modificada

O processo de migração Kirchhoff matematicamente é representado pela seguinte integral (Schleicher et al., 1993):

$$V(M) = \int_A d\xi W(\xi, M) D [U(\xi, t + \tau_D(\xi, M))] \quad (2)$$

sendo $V(M)$ o valor atribuído a um ponto de difração M na seção de saída ou migrada no domínio da profundidade. O dado sísmico no domínio do tempo é representado por $U(\xi, t)$ onde o parâmetro ξ representa a posição do traço a ser migrado, conhecido também como parâmetro de configuração de dos dados de entrada. O operador D é a derivada de meio tempo aplicado aos dados de entrada para restaurar a forma do wavelet. A função peso $W(\xi, M)$ pondera as amplitudes migradas

para remover o efeito do espalhamento geométrico na migração com preservação de amplitudes. A função $\tau_D(\xi, M)$ é a curva de difração (ou Huygens) ao longo da qual as amplitudes dos dados de entrada são empilhados.

Neste trabalho, a migração pré-empilhamento usando o operador CRS foi desenvolvido seguindo os conceitos da migração tipo Kirchhoff e da contribuição do empilhamento de traços na vizinhança do traço a ser migrado localizado sobre a curva de Huygens (Sun et al., 2000; Ferreira e Cruz, 2005). Nesse último trabalho, foi apresentado uma nova abordagem para fazer migração pré-empilhamento em profundidade por meio da modificação da integral Kirchhoff, onde como kernel da integral Kirchhoff é utilizado a integral de sobreposição de feixes gaussianos, cuja expressão em 2-D em forma compacta é dada por:

$$I(M, t) = \int_{\Omega} d\xi W(\xi, M) \int_{\Omega^P} d\xi^P \times H(\xi^P) L(\xi^P) D^* [U(\xi, t + \tau_D(\xi, \xi^P, M))] \quad (3)$$

A segunda integral em (3) representa ao dado sísmico a ser migrado e que é obtido por uma sobreposição de feixes gaussianos. A variável ξ é a posição do traço a ser migrado e ξ^P representa a posição dos pontos na vizinhança ao traço de referencia e que definem a contribuição paraxial. A função $\tau_D(\xi, \xi^P, M)$ é denominada de curva de difração relativa que coleta a contribuição paraxial de eventos a serem empilhados para a observação em ξ sobre a curva de Huygens. A função H pondera o empilhamento do feixe dentro da zona de Fresnel projetada e L representa o decaimento exponencial gaussiano. Na migração proposta, a contribuição paraxial de eventos na vizinhança do traço de referência é realizada utilizando o operador CRS dado em (1). Devido este fato este novo processo de migração é denominado de CRS-beam PSDM.

Exemplos numéricos

Atualmente, o algoritmo o desenvolvido realiza somente a migração cinemática, ou seja, as funções de ponderação da integral (3) foram consideradas com valor igual a 1.

Para testar a eficiência e robustez da migração CRS-beam PSDM foi gerado um conjunto de dados sintéticos com um programa de traçamento de raios, para de um modelo sintético com variações laterais de velocidades e refletores com fortes inclinações. O dado sintético consiste de 140 seções fonte comum com 120 traços, tendo um intervalo de 25m entre receptores e 50m entre fontes consecutivas. Os afastamentos mínimo é máximo são de 25m e 3000m, respectivamente. O tempo de registro dos traços é de 3s e o intervalo de amostragem de 4ms. Nesses dados sintéticos foi adicionado ruído aleatório com uma razão sinal-ruído de 3.

Para comparação com o resultado da migração CRS-beam PSDM, nos dados sintéticos foi também aplicada a migração Kirchhoff pré-empilhamento em profundidade,

cujo resultado é mostrado na Figura 1. Na Figura 2 mostra-se o resultado da migração proposta neste trabalho. Em ambas as migrações foram utilizadas as mesmas ferramentas para cálculo dos tempos de trânsito e filtros.

Devido à baixa razão sinal ruído dos dados de entrada o resultado da migração Kirchhoff tem baixa qualidade e conforme a limitação do mesmo perde resolução com o incremento da inclinação dos refletores sísmicos e a variação lateral de velocidades. Contrariamente, o resultado da migração CRS-beam PSDM mostra um grande ganho na qualidade da imagem, com melhor resolução dos eventos de reflexão em toda a seção e principalmente dos refletores com fortes inclinações.

Conclusões

Foi apresentado um novo procedimento de migração pré-empilhamento em profundidade baseado na migração Kirchhoff, no empilhamento de feixes gaussianos e no operador do método CRS. O primeiro resultado da migração CRS-beam PSDM aplicado em dados sintéticos com baixa razão sinal-ruído correspondente a um modelo com variações laterais de velocidade, mostra uma boa eficiência e robustez.

Futuros trabalhos com este método de migração prevêm o aprimoramento do algoritmo para aplicação em dados reais. Também deverão ser realizadas pesquisas para a preservação de amplitudes.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece aos amigos, professores e colegas do Instituto de Geociências e em especial da Faculdade de Geofísica da UFPA pelos ensinamentos e colaboração recebida. Agradece também à Universidade Federal do Pará pela oportunidade fornecida para fazer seus estudos de pós-graduação e como professor.

Referências

- Bergler, S., Marchetti, P. H. P., Cristini, A., Cardone, G., 2002. 3d common-reflection-surface stack and kinematic wavefield attributes. *The Leading Edge* 21 (10), 1010–1015.
- Eisenberg-Klein, G., Pruessmann, J., Gierse, G., and Trappe, H, 2008, Noise reduction in 2D and 3D seismic imagind by the CRS method. *The Leading Edge* 27 (2), 258-265.
- Ferreira, C. A. S., Cruz, J. C. R., 2005, Modified Kirchhoff prestack depth migration using the Gaussian beam operator as Green function – Theoretical and numerical results. In: International congress of Brazilian Geophysical Society, 9, Salvador.
- 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 Antoinio, Texas, USA.*

- Garabito, G., Cruz, J. C., and Luz, F. L. S., J., 2006, Depth Mapping of Stacked Amplitudes along an Attribute Based ZO stacking Operator. *76th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. New Orleans, USA.*
- Gray, H., S., 2005, Gaussian beam migration of common-shot records. *Geophysics*, 70(4):71-77.
- Hertweck, T., Schleicher, J., and Mann, J., 2007, Data stacking beyond CMP, *The Leading Edge* 27 (2), 818-827.
- Hill, N. R., 2001. Prestack Gaussian beam depth migration. *Geophysics*, 66, 1240-1250.
- Höcht, G., de Bazelaire, E., Majer, P., and Hubral, P., 1999, Seismic and optics: Hyperbolae and curvatures. *J. Appl. Geophys.*, 42(3):261–281.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P., 2001, Common reflection surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66:97–109.
- Luz, F. L. S., 2006, Migração em profundidade pré-empilhamento utilizando os atributos cinemáticos do empilhamento por superfície de reflexão comum. Tese de doutorado CPGI/UFPA, Belém, 119p.
- Mann, J., 2001. Common-reflection-surface stack and conflicting dips. In *Ex-tended Abstracts, 71th Annual Internat. Mtg., Expl. Geophys.*
- Spinner, M. and Mann, J. (2006). True-amplitude CRS-based Kirchhoff time migration for AVO/AVA analysis. *J. Seis. Expl.*, 15(2):133–152.
- Schleicher, J., Tygel, M., and Hubral, P., 1993, 3-D true-amplitude finite offset migration: *Geophysics*, 58, 1112-1126.
- Sun, Y., Qin, F., Checkles, S., and Leveille, P., J., 2000, 3-D prestack Kirchhoff beam migration for depth imaging. *Geophysics*, 65(5), 1592-1603.
- Tygel, M., T. M"uller, P. Hubral, and J. Schleicher, 1997, Eigenwave based multiparameter travelttime expansions: *Expanded Abstract of the 67th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys.*

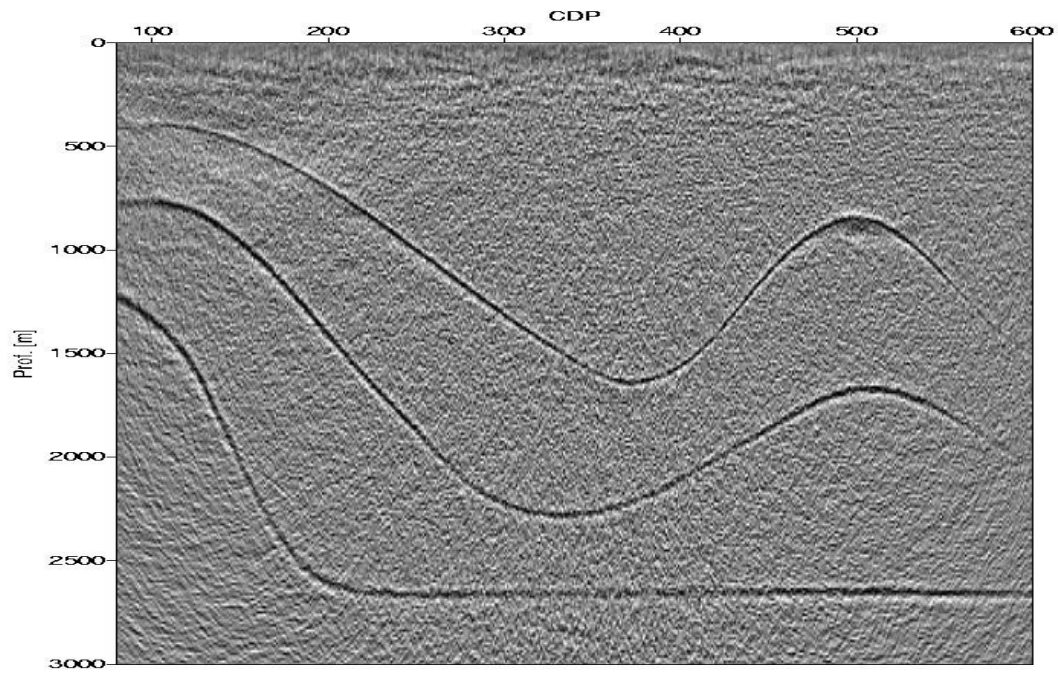


Figura 1 - Seção migrada em profundidade obtida pela migração Kirchhoff.

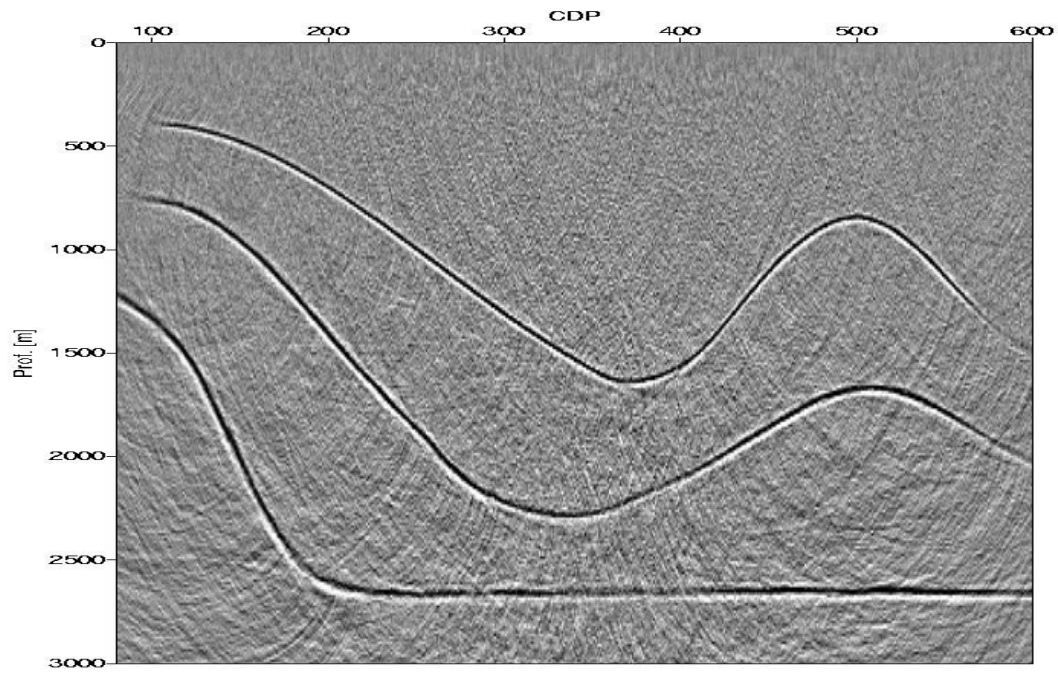


Figura 2 - Seção migrada em profundidade obtida pela migração CRS-beam PSDM.