



Imageamento sísmico de reflexões primárias e múltiplas simétricas utilizando o empilhamento sísmico i-CRS

Carlos Amanajás Soares, FAGEOF/UFPA, Dionis do Rosário, FAGEOF/UFPA, João Cruz, FAGEOF/UFPA, Pedro Chira-Oliva, IECOS/UFPA

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th 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 simulation of a zero-offset (ZO) seismic section from multi-coverage seismic data is a standard imaging method widely used in seismic processing to reduce the amount of data and increases the signal-to-noise ratio. In the last years, have appeared diverse stacking methods as an extension of the conventional imaging method, the Common-midpoint (CMP) stacking, to simulate ZO sections. Examples of such methods are the well-known Common-Reflection-Surface (CRS) stack, Multifocusing stack and Non-Hyperbolic CRS stack. Recently an implicit traveltimes approximation for monotypic waves in anisotropic media was proposed to simulate ZO sections. This new approximation depends on the same three parameters as the conventional CRS method. In this paper, we tested the performance of this approximation to simulate ZO seismic sections by considering primary and symmetric multiple reflections.

Introdução

A simulação de seções afastamento-nulo (AN) é uma das principais etapas do processamento sísmico. Para obter um traço sísmico AN existem diversos métodos de empilhamento que utilizam diversos tipos de aproximações de tempos de trânsito. Entre os principais métodos de empilhamento sísmico convencionais, está o conhecido método de empilhamento Comom-midpoint (CMP). Este método se caracteriza por organizar os dados em configurações CMP, onde cada uma destas configurações consiste dos pares fonte-receptor localizados simetricamente em relação ao CMP. Para empilhar os dados ao longo das configurações CMP, este método considera o tempo de trânsito Normal-moveout (NMO), cuja fórmula é hiperbólica e só depende de um único parâmetro chamado de velocidade de empilhamento ou NMO.

Nas últimas décadas, um variado número de aproximações de tempos de trânsito tem sido introduzido como uma extensão do método de empilhamento sísmico CMP. Exemplos de tais aproximações destacam o Polystack (e.g. de Bazelaire, 1988), o método Common-Reflection-Surface (CRS, e.g. Müller, 1999; Mann et al.,

1999; Jäger et al., 2001), o método Multifoco (MF, e.g. Gelchinsky et al., 1999 a,b; Chira, 2000; Gurevich et al., 2002; Landa et al., 2010), o método CRS não hiperbólico (Fomel e Kazinnik, 2012), etc. Estes métodos descrevem a superfície de tempos de trânsito para um evento refletido considerando um afastamento fonte-receptor curto. A exatidão destes métodos individuais difere e depende não somente do afastamento, mas também da curvatura do refletor. Além demais nenhum destes métodos considera a anisotropia sísmica.

O método CRS precisa determinar através da análise de coerência três parâmetros que correspondem ao ângulo de emergência do raio normal (raio central) e as curvaturas dos eventos sísmicos correspondentes a duas ondas hipotéticas Normal-Incidence-Point (NIP) e Normal (N) introduzidas por Hubral (1983). O método CRS convencional utiliza uma aproximação hiperbólica multiparamétrica da superfície de tempos de reflexão (Schleicher et al., 1993; Tygel et al., 1997) também conhecida como aproximação CRS de 2^a ordem ou aproximação CRS convencional. A mesma é justificada a partir da expansão da série de Taylor truncada da aproximação de tempos de trânsito elevada ao quadrado ao redor de um raio de referência ou raio normal. Esta aproximação é sempre exata em pequenos afastamentos ou desvios a partir do raio central, porém perde exatidão em grandes afastamentos ou grandes separações de pontos médios.

Na busca de uma aproximação de tempo de trânsito, que melhore a aproximação CRS de 2^a ordem, Höcht et al. (1999) consideraram a reflexão de uma interface como um conjunto contínuo de elementos de reflexão circular que osculam o refletor original. Eles derivaram uma expansão de Taylor da aproximação CRS de 2^a ordem denominado como a aproximação CRS de 4^a ordem. Esta nova aproximação é descrita com o mesmo número de parâmetros da aproximação anterior (CRS convencional).

Chira et al. (2003) revisaram a aproximação CRS de 4^a ordem e discutiram as primeiras comparações para diversas configurações sísmicas em relação à aproximação CRS de 2^a ordem. Para esta comparação os autores utilizaram dados sintéticos e sugeriram que esta nova aproximação pode fornecer uma aproximação melhor para os tempos de trânsito verdadeiros de eventos de reflexão ou difração que a aproximação CRS convencional.

Silva et al. (2012) aplicaram a aproximação CRS de 4^a ordem para simular reflexões primárias e múltiplas na configuração sísmica AN. Os autores consideraram

dados sintéticos e os resultados gerados foram satisfatórios.

Vanelle et al. (2010) introduziram uma aproximação de tempos de trânsito implícita para ondas monotípicas em meios anisotrópicos. Segundo os autores esta aproximação foi derivada a partir da Lei de Snell considerando uma superfície esférica e isto nos conduz a uma expressão implícita para a superfície de tempos de trânsito.

Vanelle et al. (2012) aplicaram a anterior aproximação em meios isotrópicos e anisotrópicos. Os resultados têm demonstrado uma exatidão superior quando comparados com o método CRS convencional (2ª ordem) para uma grande variedade de formas de refletores desde refletores planos até formas mais complexas com características de gerar eventos de difrações.

Neste trabalho, testaremos o desempenho da aproximação de tempos de trânsito i-CRS para simular além dos eventos de reflexão primária as reflexões múltiplas do tipo simétrica para afastamentos fonte-receptor nulo (AN).

Metodologia

Vanelle et al. (2010) e Schwarz (2011) introduziram uma nova aproximação de tempos de trânsito de empilhamento sísmico para ondas monotípicas em meio isotrópicos que leva em consideração uma nova aproximação implícita para avaliar o ponto de reflexão sobre um círculo fazendo uso do princípio de Fermat. Ela é referida como a aproximação common-reflection-surface ou superfície de reflexão comum implícita (i-CRS).

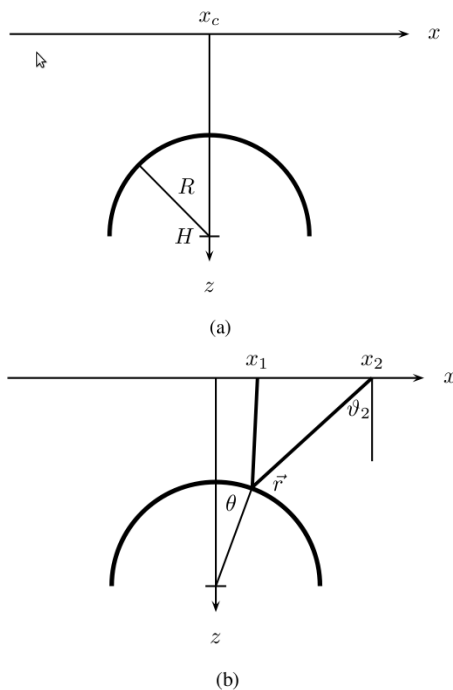


Figura 1 (a) - Geometria do refletor e b) aquisição para um refletor esférico. O ponto de reflexão é definido pelo

ângulo θ . Os ângulos ϑ_i são os ângulos de raio e de grupo, respectivamente (Vanelle et al., 2012).

Vanelle et al. (2011) consideraram um refletor esférico em um meio homogêneo. O raio do refletor é R , com o seu centro no local $(x_c, 0, H)$, como mostrado na Figura 1. x_1 e x_2 são coordenadas de uma fonte e de um receptor, respectivamente, ambos na profundidade $z = 0$ e $y = 0$. O ângulo θ define o ponto de reflexão em $\vec{r} = (R \sin\theta, 0, R \cos\theta)$. As velocidades do raios dos dois seguimentos do raio de ida e volta são $v_i(\vartheta_i)$, sendo ϑ_i o ângulo de grupo

O tempo de percurso t_i dos segmentos de raios de ida e volta são dado por:

$$t_i^2 = \frac{(x_i - x_c - R \sin\theta)^2 + (H - R \cos\theta)^2}{v_i^2(\vartheta_i)} \quad (1)$$

ou, em função das coordenadas do ponto médio e half-offset (x_m, h) expresso por

$$t_1^2 = \frac{(x_m - h - x_c - R \sin\theta)^2 + (H - R \cos\theta)^2}{v_1^2(\vartheta_1)} \quad (2)$$

$$t_2^2 = \frac{(x_m + h - x_c - R \sin\theta)^2 + (H - R \cos\theta)^2}{v_2^2(\vartheta_2)} \quad (3)$$

$$t_i = t_1 + t_2 \quad (4)$$

A soma de t_1 e t_2 deve satisfazer a Lei de Snell, ou seja, $\partial(t_1 + t_2)/\partial\theta = 0$.

Reflexões múltiplas

O problema das reflexões múltiplas no processamento sísmico é tão antigo como o método sísmico. Existem diferentes técnicas de imageamento que estão baseadas só na superposição de que os sismogramas só incluem as reflexões primárias. Na realidade, os sismogramas incluem reflexões múltiplas que podem ser tão forte quanto às reflexões primárias desejadas, e tornam os refletores-alvos profundos ser completamente invisíveis. Então, a identificação e localização do refletor-alvo, que pode indicar, por exemplo, um reservatório de petróleo, depende das múltiplas que devem ser identificadas para depois serem eliminadas ou atenuadas.

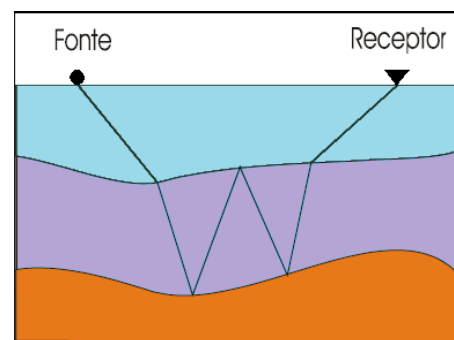


Figura 2 - Reflexão múltipla do tipo simétrica.

Para levar em consideração as reflexões múltiplas devemos colocar uma fonte hipotética no ponto NIP do raio normal múltiplo produzindo assim a frente de onda múltipla associada ao ponto NIP. Vale ressaltar que as leis de curvatura podem ser aplicadas apenas às ondas de reflexões múltiplas simétricas (Figura 2), pois as frentes de onda do raio normal de reflexões múltiplas simétricas atravessam o meio estratificado fornecendo informações de forma similar às reflexões primárias. Entretanto raios com reflexões múltiplas assimétricas não podem ser associados a uma frente de onda hipotética NIP, conseqüentemente as leis de curvatura não podem ser aplicadas da mesma maneira (Hubral e Krey, 1980).

Neste trabalho consideramos além dos eventos de reflexões primárias, os eventos de reflexões múltiplas simétricas intracamada. Dessa forma tornam-se necessárias algumas considerações segundo a Figura 3.

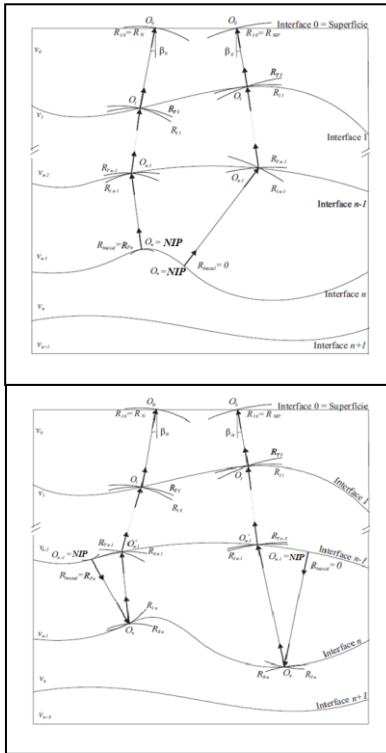


Figura 3. Trajetória dos raios considerados no processo recursivo para obter R_N e R_{NIP} . Topo: Eventos primários, aplicando as leis de propagação e transmissão. Base: Eventos de reflexões múltiplas, aplicando as leis de propagação, reflexão e transmissão (Cabral, 2002).

Para calcular o trio de parâmetros i-CRS referentes aos eventos de múltiplas reflexões intracamadas são aplicados o mesmo princípio recursivo, descrito no algoritmo acima, incrementado de uma parcela referente à reflexão na interface n . Conseqüentemente o cálculo da primeira transmissão deverá ser efetuado em relação à interface $n - 1$ (Eq. 4). Deve-se então, antes de iniciar o cálculo das demais transmissões, inserir a Eq. 6 referente ao evento de reflexão, conforme o algoritmo a seguir:

- Considera-se o raio de incidência normal com origem em $O_{n-1} = \text{NIP}$. Isto fornecerá todos os ângulos de incidência e de transmissão para todas as interfaces ($i=1\dots n-1$) e o ângulo de emergência β_0 no ponto O_0 na superfície.
- Ajustamos $R_{inicial} = 0$ para determinar o R_{NIP} ou $R_{inicial} = R_{F_n}$ para determinar R_N .
- Primeira transmissão (neste caso incidindo na interface n)

$$R_{I_n} = R_{inicial} + v_{n-1} \Delta T_{0_{n-1} \rightarrow 0_n} \quad (5)$$

- Reflexão na interface n

$$\frac{1}{R_{R_n}} = \frac{1}{R_{I_n}} + \frac{2}{\cos^2 \alpha_n} \frac{1}{R_{F_n}} \quad (6)$$

Dessa forma, ao aplicarmos este algoritmo agora considerando as reflexões múltiplas simétricas, obtemos os parâmetros R_{NIP} , R_N e β_0 correspondentes às ondas NIP e N para cada ponto P_0 na seção AN a ser simulada.

Para cada amostra (x_0, t_0) na seção empilhada, i.e. a seção AN a ser simulada, temos que determinar os três parâmetros i-CRS que produzem o melhor ajuste para um determinado evento de reflexão a ser simulado. Isto é feito através da análise de coerência (semblance, Taner e Koehler, 1969) ao longo da aproximação de tempos de trânsito i-CRS (Equação 4) nos dados de cobertura múltipla.

Após a determinação do trio paramétrico i-CRS procederá à aplicação do empilhamento i-CRS. O empilhamento i-CRS consiste na soma das amplitudes dos traços sísmicos em dados de cobertura múltipla, ao longo da superfície definida pela aproximação de tempos de trânsito i-CRS (Equação 4), que melhor se ajusta aos dados. O resultado é assinalado a pontos de uma malha pré-definida na seção afastamento-nulo. Como resultado tem-se a simulação de uma seção sísmica AN. Isto significa que para cada ponto da seção afastamento-nulo deve-se estimar o trio de parâmetros ótimos que produz a máxima coerência entre os eventos de reflexão sísmica.

Resultados

Foram considerados dois modelos para testar o desempenho do método de empilhamento sísmico i-CRS.

Modelo

O modelo 2-D está constituído por duas camadas homogêneas sob um semi-espço e separadas por interfaces curvas e suaves (Figura 4). As velocidades para cada camada, desde o topo até a base, são: 2,5 km/s, 3,5km/s e 5,5km/s. As dimensões do modelo são: 4 km de comprimento por 3,0 km de profundidade. A simulação de aquisição foi realizada considerando uma linha horizontal.

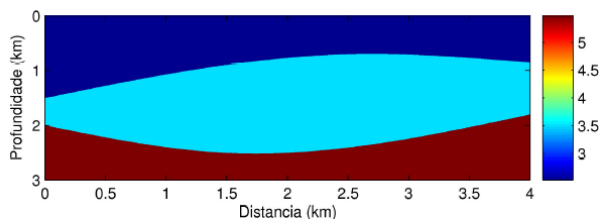


Figura 4. Modelo 2-D constituído por duas camadas separadas com interfaces curvas e suaves sob um semi-espço.

Baseado neste modelo foi gerado o conjunto de dados sintéticos de reflexão de cobertura múltipla utilizando o algoritmo de traçamento de raio, SEIS88 (Cerveny e Psensik, 1988). Os dados não contêm ruído e foram gerados utilizando a configuração common-shot (CS) ou de tiro comum. O mínimo e máximo afastamento foram 0,6 km e 2,9 km respectivamente.

Foi considerado uma fonte tipo Gabor com uma frequência dominante de 50 Hz e uma intervalo de amostragem de tempo de 0,002 s. A primeira fonte foi posicionada em $X_S = 0,5$ km e o primeiro geofone em

$X_G = 1,1$ km, sendo distribuídos 48 geofones com espaçamentos de 0,025 km entre eles. Consideramos 70 tiros com intervalos de 0,05 km cada. A seção sísmica de afastamento nulo (AN) a ser simulada é mostrada na Figura 5 e consta de 81 traços com intervalos de 0,025 km.

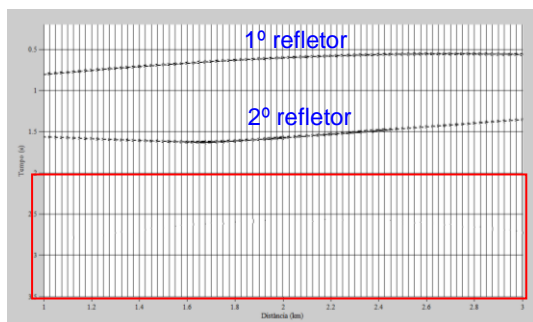


Figura 6. Seção afastamento-nulo (AN) obtida através do traçamento de raios com o software SEIS88. Reflexões múltiplas destacadas pelo retângulo vermelho.

O resultado da simulação da seção AN com o método sísmico i-CRS é apresentado na Figura 6. Este resultado apresenta-se satisfatório quando comparado com a seção sísmica AN original.

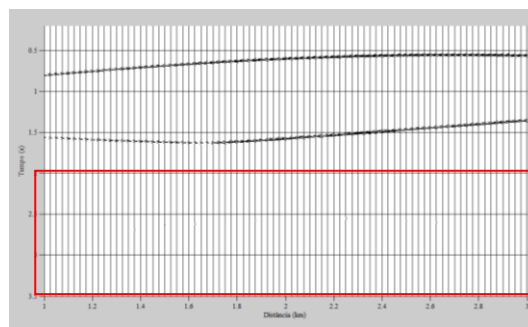


Figura 6 - Seção afastamento-nulo (AN) simulada a partir da aplicação do empilhamento sísmico i-CRS. As reflexões múltiplas simétricas destacadas pelo retângulo vermelho.

Com a finalidade de destacar melhor as múltiplas imageadas na seção AN (original) e pelo i-CRS são apresentados estes eventos através de um zoom ampliado e aplicação de um ganho para destacar as reflexões múltiplas (Figuras 7 e 8).

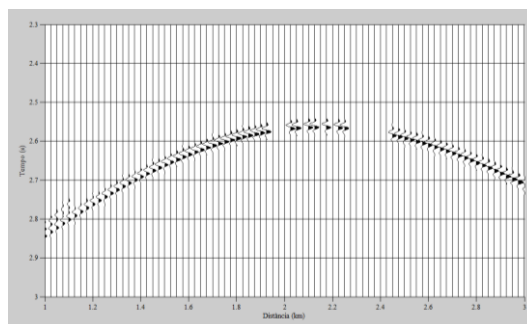


Figura 7 - Trecho destacado em vermelho da Figura 5 mostrando as reflexões múltiplas obtidas pelo traçamento de raios com o software SEIS88.

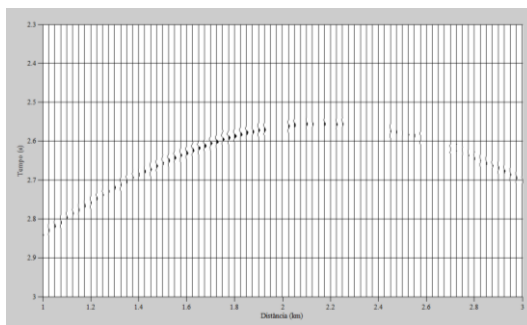


Figura 8 - Trecho destacado em vermelho da Figura 6 destacando as reflexões múltiplas simuladas pelo empilhamento sísmico i-CRS.

Conclusões

Como consequência deste trabalho pode-se concluir o seguinte:

- A aproximação de tempos de trânsito i-CRS apresenta um bom desempenho na simulação de seções sísmicas com afastamento-nulo

levando em consideração reflexões primárias e múltiplas.

- Segundo os resultados obtidos podemos observar um bom posicionamento dos tempos de trânsito e uma boa visualização dos referidos eventos quando comparados com os traços afastamento-nulo originais;
- O método i-CRS apresenta-se como uma importante alternativa para simular seções AN contendo reflexões múltiplas e primárias para diversos afastamentos.

Referências Bibliográficas

ČERVENÝ, V., PSENCIK, I., 1988. *SEIS88, Ray Tracing Program Package*.

CABRAL, R. C. M., 2002. *Simulação de reflexões múltiplas usando o método de empilhamento sísmico Superfície de Reflexão Comum*. Tese De Mestrado. Universidade Federal do Pará.

CHIRA, P., 2000. *Imageamento Multifocos de Refletores Sísmicos*. Belém, UFPa, CPGF (Tese de Mestrado).

CHIRA-OLIVA, P., TYGEL, M., HUBRAL, P., SCHLEICHER, J., 2003. *A fourth-order CRS moveout for reflection or diffraction events: numerical examples*. Journal of Seismic Exploration, 12:197–219.

DE BAZELAIRE, E. 1988. Normal moveout revisited – inhomogeneous media and curved interfaces. Geophysics, 52, 143–157.

FOMEL, S., KAZINNIK, R. 2012. *Non-hyperbolic common reflection surface*. Geophysical Prospecting, 61, 21–27.

GARABITO, G., 2001, *Empilhamento Sísmico por Superfície de Reflexão Comum: Um novo Algoritmo Usando Otimização Global e Local*, Universidade Federal do Pará. (Tese de Doutorado).

GELCHISNKY, B., BERKOVITCH, A., KEYDAR, S., 1999a. *Multifocusing homeomorphic imaging: Part 1. Basic concepts and formulae*. Journal of Applied Geophysics, v. 42, p. 229-242.

GELCHISNKY, B., BERKOVITCH, A., KEYDAR, S., 1999b. *Multifocusing homeomorphic imaging: Part 2. Multifold data set and multifocusing*. Journal of Applied Geophysics, v. 42, p. 243-260.

GUREVICH, B., KEYDAR, S., LANDA, E., 2002. *Multifocusing imaging over an irregular topography*. Geophysics, v. 67, p. 639-643.

HÖCHT, G., DE BAZELAIRE, E., MAJER, P. AND HUBRAL, P., 1999. *Seismic and optics: hyperbolae and curvatures*. Revista científica “Journal of Seismic Exploration”, 12, p. 261-282.

HUBRAL, P., 1983. Computing true amplitudes reflections in a laterally inhomogeneous earth. Geophysics, 48, 1051-1062.

HUBRAL, P. KREY, T., 1980. *Interval Velocities from Seismic Reflection Time Measurements*. Soc. Of

Exploration Geophysicists. Western Geophysical Company Houston, Texas.

JÄGER, R., MANN, J., HÖCHT, G. AND HUBRAL, P., 2001. Common Reflection Surface: Image and attributes. *Geophysics*, 66, 97-109.

LANDA, E., B. GUREVICH, S. KEYDAR, and P. TRACHTMAN, 1999, Application of multifocusing method for subsurface imaging: *Journal of Applied Geophysics*, 42, 283–300.

MANN, J., JÄGER, R., MÜLLER, T., HÖCHT, G., and HUBRAL, P., 1999. Common-reflection-surface stack - a real data example. *J. Appl. Geoph.*, 42(3,4):301–318.

MÜLLER, T., 1999. *The common reflection surface stack method: Seismic imaging without explicit knowledge of velocity model*. Germany, Karlsruhe University (Ph. D thesis).

SCHLEICHER, J., TYGEL, M., HUBRAL, P. 1993. Parabolic and hyperbolic paraxial two points traveltimes in 3D media. *Geophysical Prospecting*, 41:495-513.

SCHWARZ, B., 2011. A new nonhyperbolic multiparameter stacking operator. Diploma thesis. University of Hamburg.

SILVA, O. P., CHIRA, P., CRUZ, J. C. R., 2012. *Simulação de reflexões primárias e múltiplas usando aproximação paraxial de tempos de trânsito CRS de 4ª ordem*. V Simpósio Brasileiro de Geofísica.

TYGEL, M.; MUELLER, T.; HUBRAL, P.; SCHLEICHER, J. 1997. *Eigenwave based multiparameter traveltime expansions*. In: ANNUAL MEETING OF SEG, 67., Expanded abstracts, 1770-1773.

VANELLE, C., BOBSIN, M., SCHEMMERT, P., KASHTAN, B., GAJEWSKI, D., 2012. RSO - A new Multiparameter Stacking Operator for An/Isotropic media. 74th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2012. Copenhagen, Denmark.

VANELLE, C., KASHTAN, B., DELL, S., GAJEWSKI, D., 2010. A new stacking operator for curved subsurface structures (SPNA 3.2). 80th Ann. Int. Mtg. Soc. Expl. Geoph., Expanded Abstracts.