



Deconvolução de volume sísmico 3D utilizando norma L_p

Paulo E. M. de Melo e Milton J. Porsani, CPGG/UFBa, Brasil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are author's responsibility 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

We present some results obtained with a new method of interactive deconvolution applied to 3D seismic volumes. A sub-set of seismic traces of the original volume is deconvolved with the interactive method and the result is used in the estimation of a non-causal filter which is applied to the whole remaining volume. This procedure was applied to a maritime 3D pos-stacking seismic volume (demo VoxelGeo PARADIGM) and it showed itself to be quite effective and efficient in computational terms. Events associated to the deconvolved 3D volume translate the increase in temporal resolution of the XT panels.

Introdução

A deconvolução é uma etapa do processamento de dados por meio da qual é possível aumentar a resolução temporal dos dados sísmicos através da compressão do pulso sísmico. É utilizada também para a atenuação de reflexões de múltiplas que ocorrem nos registros de reflexões sísmicas. O sismograma registrado é o resultado da convolução de um pulso gerado perto da superfície com a resposta impulsiva, somado aos ruídos de diversas origens (movimento devido aos ventos, ruído do ambiente, etc). Assim, o modelo convolucional de um sismograma pode ser matematicamente descrito, pela equação:

$$x_t = p_t * e_t + \eta_t. \quad (1)$$

Representamos por: x_t o sinal registrado, p_t a "wavelet" (pulso), e_t a função refletividade ou resposta impulsiva da terra, η_t o ruído diverso e $*$ o sinal de convolução. O método de deconvolução pode ser descrito em termos de filtros lineares, que são calculados com base na solução de sistemas lineares de equação.

No processo de deconvolução do pulso são levados em consideração os seguintes critérios:

- o pulso é de fase mínima;
- a refletividade é branca;

- e a autocorrelação do traço r_{xx} é proporcional à autocorrelação do pulso r_{pp} , quando a wavelet é desconhecida e a refletividade é branca. A semelhança é verificada ao comparar os espectros de amplitude do pulso e do traço (Yilmaz, Ö., 1987).

Deconvolução iterativa do pulso sísmico

Seguindo o procedimento proposto por Porsani et. al. (2001) e Melo (2002), podemos definir a função objetivo em termos da norma L_p como segue:

$$Q(\mathbf{a}, p) = \sum_{t=0}^{M+N} \left\{ [(e_t)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^p, \quad (2)$$

onde e_t representa o erro de predição unitário $+e_t$ ou $-e_t$ dado por:

$$\begin{pmatrix} +e_t & -e_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_t & x_{t-1} & \dots & x_{t-N} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -a_N \\ & \vdots \\ & -a_1 & \\ & \vdots & -a_1 \\ -a_N & & & 1 \end{bmatrix}.$$

O vetor erro é dado por:

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{X}\mathbf{a}_k,$$

sendo a matriz \mathbf{X} , Toeplitz, formada pelos elementos x_t do vetor \mathbf{x} e \mathbf{a}_0 o filtro de Wiener-Levinson usado para iniciar o método.

Deixemos:

$$f(\mathbf{a}, p, t) = (e_t^2)^{\frac{p}{4}} \quad (3)$$

e expandindo a equação (3) por série de Taylor em torno do modelo corrente \mathbf{a}_k , e tomando a aproximação de primeira ordem, obtém-se:

$$f(\mathbf{a}, p, t) \cong \tilde{f}(\mathbf{a}, p, t) = f(\mathbf{a}_k, p, t) + \frac{p}{2} (e_t^2)^{\frac{p}{4}-1} (e_t) \frac{\partial e_t}{\partial \mathbf{a}} \Big|_{\mathbf{a}_k} (\mathbf{a} - \mathbf{a}_k). \quad (4)$$

A aproximação por série de Taylor faz com que a função $f(\mathbf{a}, p, t)$ que antes era de natureza não linear, se torne agora uma função linear.

A equação (4) pode ser representada de forma mais compacta,

$$\tilde{\mathbf{f}}_{p_k} = \mathbf{f}_{p_k} - \mathbf{F}_{p_k} \mathbf{X} \Delta \mathbf{a}, \quad (5)$$

onde os elementos F_{ii} da matriz diagonal \mathbf{F}_{p_k} são dados por

$$F_{ii} = \frac{p}{2} (e_i^2)^{\frac{p}{4}-1} e_i, \quad (6)$$

$$f_i = (e_i^2)^{\frac{p}{4}} \quad (7)$$

e e_i^2 representa a amostra na posição $t = i\Delta t$ do traço deconvolvido com o filtro preditivo de erro ($1 - a_k^T$).

O vetor $\Delta \mathbf{a}$ pode ser calculado de forma a minimizar a forma quadrática,

$$\tilde{Q}(\mathbf{a}, p) = \tilde{\mathbf{f}}_{p_k}^T \tilde{\mathbf{f}}_{p_k}. \quad (8)$$

Derivando com relação aos parâmetros a_j , $j = 1, \dots, N$, obtém-se as equações normais:

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{F}_{p_k}^2 \mathbf{X}) \Delta \mathbf{a} = \mathbf{X}^T \mathbf{F}_{p_k} \tilde{\mathbf{f}}_{p_k}. \quad (9)$$

Resolvendo a equação (9) para o vetor $\Delta \mathbf{a}$ podemos atualizar os coeficientes do filtro por:

$$\mathbf{a}_{k+1} = \mathbf{a}_k + \Delta \mathbf{a}. \quad (10)$$

Os filtros de Wiener-Levinson (WL) causal e anti-causal são utilizados para iniciar o algoritmo de deconvolução iterativa.

A figura 1 apresenta o método de deconvolução iterativa aplicado em um dado sintético. Pulso de fase mista (Fig. 1-a), refletividade aleatória (Fig. 1-b), traço sintético (Fig. 1-c) gerado pela convolução do pulso (Fig. 1-a) com a refletividade aleatória (Fig. 1-b), resultado da deconvolução de WL (Fig. 1-d) e resultado utilizando o método de deconvolução iterativa (Fig. 1-e). Podemos observar que a deconvolução iterativa conseguiu restituir a função refletividade com alto grau de fidelidade.

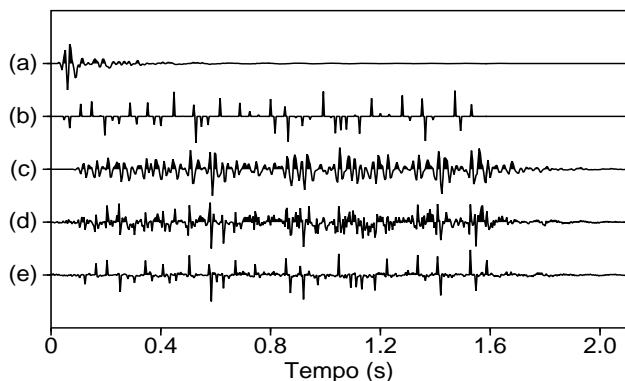


Figura 1: Pulso de fase mista (a), refletividade aleatória (b), traço do sintético (c), deconvolução convencional de WL (d) e deconvolução iterativa (e).

Estimativa do pulso sísmico e do filtro inverso

O pulso estimado pela deconvolução iterativa é obtido resolvendo-se o sistema:

$$\mathbf{X} \mathbf{h} = \mathbf{y}, \quad (11)$$

onde a matriz Toeplitz \mathbf{X} é formada pelos elementos do traço deconvolvido pelo método iterativo, o vetor \mathbf{y} contém os elementos do traço original e o vetor \mathbf{h} é a solução do sistema que representa o pulso estimado. Um conjunto de traços da seção original são utilizados para estimar o pulso.

O filtro estimado pela deconvolução iterativa é obtido resolvendo-se o sistema (11), onde a matriz Toeplitz \mathbf{X} é formada pelos elementos do traço original, o vetor \mathbf{y} contém os elementos do traço deconvolvido pelo método iterativo, e o vetor \mathbf{h} é a solução do sistema que representa o filtro inverso.

Aplicação do método iterativo de deconvolução

O método de deconvolução iterativa foi aplicado a um, dado marítimo, volume sísmico 3D empilhado (demo do VoxelGeo) contendo 751 amostra, 203 traços e 72 panéis. Foram utilizados 40 traços para estimar o filtro inverso (Figura 2-b). Os parâmetros utilizados para a deconvolução foram: 10 coeficientes, norma 1.5, 5 iterações e 3 loop's. A Figura 3-a apresenta o volume sísmico 3D original e o resultado da deconvolução (Fig.3-b), a Figura 4-a mostra o painel 64 retirado do volume original e o resultado da deconvolução (Fig.4-b), a Figura 5-a indica o time slice 0.952 retirado do volume original e o deconvolvido (Fig.5-b), a Figura 6-a apresenta o mapeamento de um horizonte do volume sísmico 3D deconvolvido e após horizontalizar (Fig.5-b), e a Figura 7-a mostra o time slice 0.308s retirado do volume 3D deconvolvido e após horizontalizar (Fig.7-b).

Conclusões

O método apresentado de deconvolução iterativa é de fácil implementação computacional, numericamente estável e não requer que o pulso sísmico seja de fase mínima. Este novo procedimento de deconvolução foi aplicado a um volume sísmico 3D empilhado. Eventos associados às reflexões sísmicas, representados nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7, traduzem o aumento da resolução temporal e espacial do volume sísmico 3D (Fig. 3-a). Os testes realizados com o método iterativo de deconvolução são bastante promissores e mostram sua aplicabilidade na deconvolução de dados sísmicos de reflexão.

Agradecimentos

Paulo E. M. Melo agradece a ANP pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo e ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG-UFBA) pelo apoio a este trabalho e MJP agradece ao CNPq, FINEp, PETROBRAS e PGS. Agradecemos, também, à empresa PARADIGM GEOPHYSICS e aos geofísicos Michelangelo G. Silva e Marco Schinelli pelo apoio dado no uso do software VoxelGeo.

Referências Bibliográficas

Melo, P. E. M. (2002) Deconvolução iterativa de dados sísmicos utilizando norma L_p , dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Porsani, M. J. e Ursin, B. (2000) Mixed-phase deconvolution and wavelet estimation, *The Leading Edge*, 19(01):76-79.

Porsani, M. J.; Niwas, S. e Ferreira, N. R. (2001) A robust inversion of vertical electrical sounding data using a multiple reweighte least-squares method, *Geophysical Prospecting*, 49(02):255-264.

Yilmaz, Ö (1987) *Seismic data processing*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

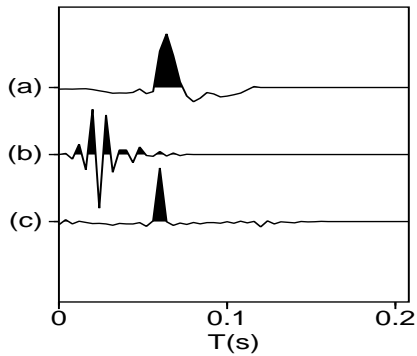


Figura 2: Pulso estimado (a), filtro inverso estimado (b) e o resultado da convolução entre eles (c)

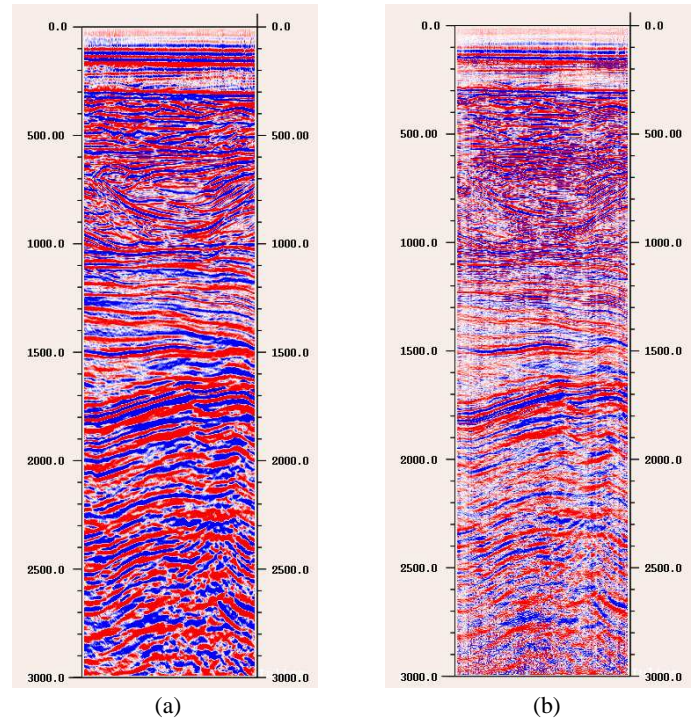


Figura 4: Painel 64 retirado do volume sísmico 3D original (a) e deconvolvido (b)

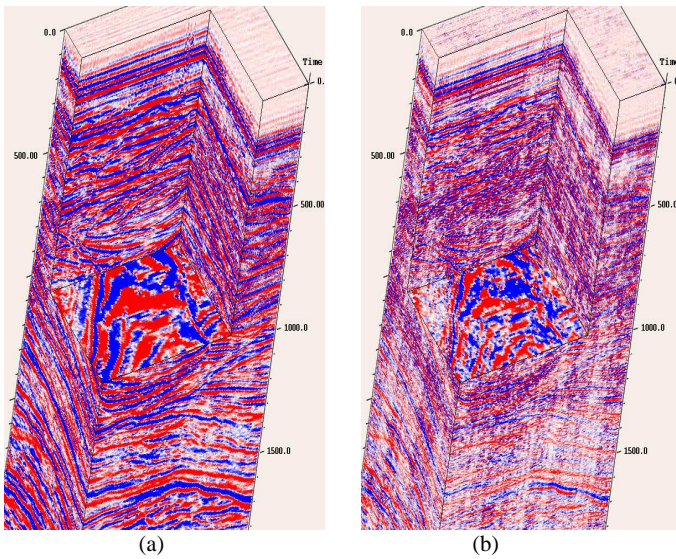


Figura 3: Volume sísmico 3D original (a) e deconvolvido (b)

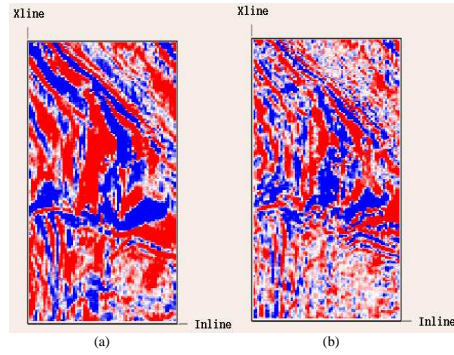


Figura 5: Time slice 0.952s retirado do volume sísmico 3D original (a) e o deconvolvido (b)

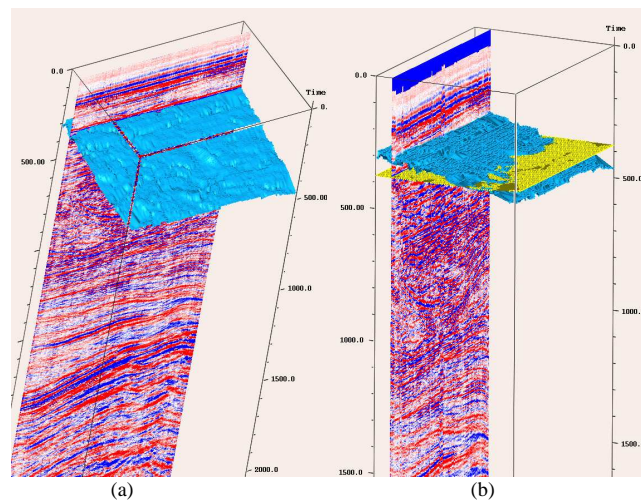


Figura 6: Mapeamento de um horizonte do volume sísmico 3D deconvolvido (a) e após horizontalizar indicado em amarelo (b)

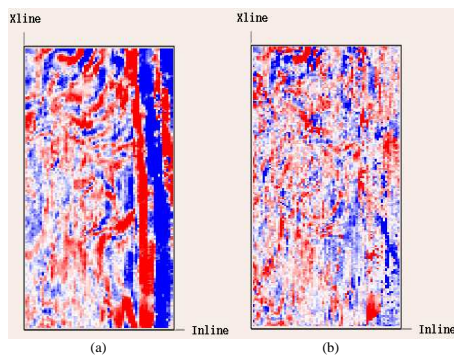


Figura 7: Time slice 0.308s retirado do volume sísmico 3D deconvolvido (a) e após horizontalizar (b)