



As dificuldades da combinação da deconvolução determinística do fantasma com a deconvolução estatística.

Armando Lopes Farias e Adelson Santos de Oliveira, PETROBRAS S/A

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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.

Resumo

A deconvolução determinística vem sendo largamente empregada na indústria de petróleo, particularmente para dados marítimos, onde a assinatura da fonte é razoavelmente conhecida e a definição dos efeitos do fantasma de fonte e do receptor são aceitáveis. Já no caso terrestre as dificuldades crescem sobremaneira, pois além de não se dispor da assinatura da fonte, caso de fonte explosiva, a modelagem dos efeitos do fantasma da fonte são dificultadas por não se dispor de dados confiáveis sobre o material sobrejacente, bem como são comuns variações na profundidade da carga. Apesar destes problemas sua deconvolução vem se mostrando necessária, principalmente pela forte distorção de fase por ele imposta ao dado. No entanto a deconvolução determinística do fantasma pode se mostrar inócua, quando seguida da deconvolução estatística, dependendo da quantidade de ruído aleatório presente no dado. Ressuscitar o fantasma pode estar sendo uma prática comum na indústria, o que pode resultar em dados mais distorcidos do que aqueles obtidos na ausência deste tipo de deconvolução.

Introdução

Contornar problemas relacionados ao não atendimento das premissas da deconvolução Wiener em dados terrestres tem sido uma constante nos centros de geofísica. É bem verdade que parte considerável destes esforços hoje está voltado para dados marítimos. Neste caso, se percebe uma clara tendência da indústria do petróleo em substituir a deconvolução estatística pela deconvolução determinística, combinada com a recuperação das perdas devida à absorção. Mas isto em dados marítimos cumpre uma tarefa menos árdua do que para dados terrestres. No caso específico do fantasma da fonte, a modelagem é sobremaneira dificultada pelas variações da velocidade na superfície do terreno. No entanto, Rosa (1996) mostrou que mesmo não atendendo completamente ao rigor necessário, o modelo normalmente gerado pode vir a ser robusto o suficiente a ponto de propiciar uma boa deconvolução. Sugeriu então este autor o uso da deconvolução determinística do instrumento e do fantasma, para assim como nos dados marítimos, se ter como resultado um pulso de fase mínima, ou próximo disto o suficiente para que a deconvolução estatística propicie resultados satisfatórios.

Esta seqüência viria como alternativa à deconvolução estatística após a deconvolução determinística do efeito do instrumento, ou mesmo a técnica sugerida por Conelli e Hart (1985), que difere daquela, apenas por prever a deconvolução determinística do fantasma após o empilhamento, levando-se em consideração a quantidade de ruído aleatório presente no dado quando da deconvolução estatística.

Sabidamente, o problema desta última técnica, que prevê a modelagem do resíduo de fase após a deconvolução estatística, está no impacto do ruído aleatório, pois estimar corretamente sua presença no dado real é praticamente impossível. Mas a deconvolução estatística após a eliminação do fantasma pode, a depender da quantidade de ruído, trazer de volta para o dado o fantasma antes eliminado. Isto equivale a dizer que o resultado desta última pode ser próximo àquele obtido sem a deconvolução do fantasma. Em outras palavras, a depender da quantidade de ruído aleatório presente no dado, a deconvolução determinística realizada antes da deconvolução estatística, pode não ter importância, devolvendo um dado igualmente distorcido. Portanto todos os três métodos - correção de fase após o empilhamento, e deconvolução estatística antes do empilhamento, com e sem eliminação do fantasma - podem trazer como resultado final os dados com fase igualmente distorcida. Um deslocamento constante de fase em torno de 100 graus já por diversas vezes foi observado em dados de bacias terrestres no Brasil (Rosa, 1996) quando não se realiza a deconvolução determinística do fantasma. Neste trabalho será mostrado, através de modelos e dados reais, que da mesma forma pode-se observar deslocamento parecido em dados onde a deconvolução do fantasma antecedeu a deconvolução estatística.

A matemática envolvida

Para tentar responder às várias questões envolvidas, será utilizado um modelo convolucional simplificado, trabalhando apenas com elementos de maior significado durante a propagação da onda da fonte até o receptor. Assim:

$$s(t) = [w(t) * r(t) * g(t) * f(t) + n(t)] * i(t),$$

Onde $s(t)$, $w(t)$, $r(t)$, $g(t)$, $f(t)$, $n(t)$ e $i(t)$ são, respectivamente, o traço sísmico, a assinatura da fonte; a função refletividade; o fantasma; os efeitos da terra; ruídos adicionados e, por fim, o efeito do instrumento.

Mas, ao se remover deterministicamente $i(t)$, e considerando a assinatura da fonte explosiva como sendo um impulso unitário, bem como o filtro da terra de

fase mínima, ou seja, ele será removido pelo deconvolução sem maiores problemas:

$$s(t) = r(t) * g(t) + n(t).$$

No domínio da frequência:

$$S(f) = |R(f)| |G(f)| e^{i[\theta_R(f) + \theta_G(f)]} + |N(f)| e^{i\theta_N(f)} \quad (1)$$

onde $|R(f)|$, $|G(f)|$, $|N(f)|$, $\theta_R(f)$, $\theta_G(f)$, e $\theta_N(f)$ são respectivamente os espectros de amplitude e de fase da função refletividade; do fantasma; e do ruído.

Para se estudar o impacto do ruído aleatório na deconvolução determinística antes da deconvolução estatística, inicialmente será mostrado como este ruído inibe a deconvolução convencional, explicitando o termo que promove a distorção de fase. Ou seja, as observações das distorções de fase mencionadas no trabalho de Rosa (1996), serão expressas na forma de um fator, que estará presente também na deconvolução estatística após a deconvolução determinística do fantasma. Partindo de (1) e definindo o operador inverso:

$$O(f) = \frac{e^{i\theta_{mF}(f)}}{\sqrt{[G^2 + |N(f)|^2 + 2|N(f)| |G(f)| \cos[\theta_R(f) + \theta_G(f) - \theta_N(f)]}}$$

onde $B = |R(f)| |G(f)| \theta_{mF}(f)$ é o equivalente de fase mínima do espectro de amplitude do operador $o(t)$ e foi considerada a função refletividade aleatória. Desprezando o resultado da ação do operador sobre o termo $|N(f)| e^{i\theta_N(f)}$; e aplicando este operador sobre (1):

$$s(f).O(f) = \frac{|G(f)| e^{i[\theta_R(f) + \theta_G(f)]}}{\sqrt{[G(f)|^2 + |N(f)|^2 + 2|G(f)| |N(f)| \cos[\theta_R(f) + \theta_G(f) - \theta_N(f)]}} e^{i\theta_{mF}(f)}$$

Assim, através de simples manipulações matemáticas:

$$s(f).O(f) = e^{i\theta_R(f)} e^{i\theta_G(f)} \frac{|G(f)|}{\sqrt{[|G(f)|^2 + |N(f)|^2 + 2|G(f)| |N(f)| \cos[\theta_R(f) + \theta_G(f) - \theta_N(f)]}} e^{i\theta_{mF}(f)}$$

onde, $\theta_{mF}(f)$ corresponde ao equivalente de fase mínima de,

$$\frac{|G(f)|}{\sqrt{[|G(f)|^2 + |N(f)|^2 + 2|G(f)| |N(f)| \cos[\theta_R(f) + \theta_G(f) - \theta_N(f)]}}$$

o qual, quando associado à sua fase mínima, será chamado de fator de distorção, e doravante será representado nas equações como $D(f)$. Já

$\theta_{Gr}(f) = \theta_G(f) - \theta_{Gm}(f)$, ou seja, é a diferença entre a fase do fantasma e seu equivalente de fase mínima ($\theta_{Gm}(f)$).

Reescrevendo esta expressão:

$$s(f).O(f) = e^{i\theta_R(f)} e^{i[\theta_G(f) - \theta_{Gm}(f)]} D(f) \quad (2)$$

A hipótese de refletividade de espectro plano está fartamente disseminada na literatura geofísica e não perturba as discussões envolvidas neste texto. Já o termo aditivo foi desconsiderado por se saber que ele não afetará a fase da wavelet resultante do processo de deconvolução. Assim sabe-se que ele afetará o dado em seu aspecto geral, porém não a sua fase, e o objeto de discussão é a fase resultante da deconvolução.

Conhecidos estes resultados, pode se agora desenvolver as equações relativas ao emprego combinado da deconvolução estatística do dado, com a deconvolução determinística do fantasma. Então, serão desenvolvidas as equações resultantes da deconvolução determinística do fantasma seguida da deconvolução estatística convencional. Para tanto será aplicado o

operador inverso do fantasma $\frac{e^{-i\theta_G(f)}}{|G(f)|}$ na equação (1):

$$S(f) \cdot \frac{e^{-i\theta_G(f)}}{|G(f)|} = e^{i\theta_R(f)} + \frac{|N(f)| e^{i[\theta_N(f) - \theta_G(f)]}}{|G(f)|}$$

Em seguida calcula-se e aplica-se o operador inverso, fazendo as mesmas considerações e simplificações feitas para o caso convencional, obtendo-se:

$$s(f) \cdot \frac{e^{-i\theta_G(f)}}{|G(f)|} \cdot O(f) = e^{i\theta_R(f)} D(f) \quad (3)$$

Discussão dos resultados

Para melhor compreensão do significado destas equações, serão aplicadas seqüências de processamento, semelhantes àquelas que foram desenvolvidas, em modelos e dados reais. Os dados sintéticos das figuras 1 e 2, são funções refletividades simples, sem a presença de wavelet e com a qual foi convolvido o operador de um determinado operador de fantasma (fig. 1b). Desta forma foi reproduzido o modelo convolucional representado na equação 1. Deve ser observado que todas as figuras tiveram para efeito de exibição, a aplicação de um filtro passa banda.

O primeiro aspecto que chama a atenção, quando compara-se as equações 2 e 3, é que em ambas aparece o termo de distorção $D(f)$, relacionado à ação inibidora do ruído sobre a deconvolução. Esta comparação mostra então que a única diferença entre deconvolver ou não o fantasma antes da deconvolução estatística convencional, reside no resíduo de fase, presente em (2), resultado da diferença entre a fase do fantasma e seu equivalente de fase mínima. Enquanto as figuras 1c e 1d corroboram a equação (2), sendo que 1c deixa claro que o resíduo de fase neste caso é desprezível, as figuras 2a e 2b corroboram a equação (3). Estas quatro figuras não deixam dúvidas quanto à ação determinante do fator de distorção, mostrando claramente que a depender da quantidade de ruído presente no dado, a ação da deconvolução determinística do fantasma pode vir a ser inócua. Deve ser destacado que no caso destas figuras não se modelou a absorção

da terra. Caso isto tivesse sido realizado o fator de distorção teria assimilado também este efeito.

Para se trabalhar com dados reais serão usados traços sintéticos, obtidos a partir do empilhamento de CDP's, gerados das equações completas de Zoeppritz, usando informações de poço. Portanto serão feitas comparações entre os dados reais processados com os diferentes fluxos manipulados no desenvolvimento das equações. Na figura 3a onde apenas o balanceamento espectral foi aplicado após a deconvolução determinística dos efeitos instrumentais, espera-se que todas as distorções de fase do dado, exceto aquelas referentes ao instrumento, estejam presentes. Nas figuras 3b e 4b o dado sísmico foi processado de acordo com os procedimentos representados nas equações (2) e (3), qual sejam, deconvolução estatística, após a deconvolução do instrumento (3b) e após a deconvolução combinada do instrumento com o fantasma (4b). Nas duas figuras é notória a distorção de fase presente no dado, impedindo a amarração. Já na figura 4a novamente o balanceamento espectral foi utilizado, porém foi precedido da deconvolução determinística tanto do instrumento quanto do fantasma. Enquanto em 4b os problemas de fase persistiram, em 4a a identificação entre o dado sintético e o real é impressionante, principalmente nos tempos iniciais, até 500ms. Já a figura 5, quando aplicada uma rotação de 150 graus ao dado da figura 3b, mostra também boa amarração. Ou seja, a melhor amarração se deu na ausência de tratamento de fase por métodos estatísticos, ou através da rotação constante de fase, tentando compensar os resíduos de fase. Mas de quanto deve ser esta rotação? A distorção de fase, além dos resíduos relacionados ao fato de o fantasma não ser de fase mínima e da absorção da terra não ser estacionária, está associada, como foi mostrado, à quantidade de ruído presente no dado, que pode e deve variar lateralmente. Portanto não se tem esta informação a priori. Também a observação mais detalhada da rotação, mostra que seu resultado apesar de aproximar o dado real do dado sintético, ainda difere deste mais do que aquele obtido sem a presença da deconvolução estatística. O que ocorre é que, como é largamente sabido, o espectro de fase final da distorção não é constante, portanto esta correção só ocorre na região das frequências dominantes, como bem mostra Rosa (1996).

Conclusões

Como palavras finais pode se dizer que, ao contrário do que já ocorre em sísmica marinha, a discussão sobre o uso da deconvolução estatística em dados terrestres vem merecendo poucos questionamentos, com os técnicos preferindo lançar mão da rotação de fase, quando o fazem, durante o processo de amarração. No entanto, é cada vez mais solicitada, para efeitos de trabalho de inversão do traço sísmico, a entrega por parte do processamento do dado com fase corretamente trabalhada. A rotação, a deconvolução determinística via informação de poço ou a deconvolução após o empilhamento, como sugerida por Connelly e Hart (1985), somente podem ocorrer localmente, onde se tem este tipo de informação. Sem isto não se pode determinar a rotação necessária, como bem ilustra o termo de

distorção presente nas equações apresentadas. O que este trabalho mostrou é que o uso da deconvolução puramente determinística em dados terrestres é viável e pode proporcionar dados com fase mais próxima de zero, quando comparada a deconvolução estatística convencional, a despeito da presença da assinatura da fonte. As tentativas hoje disponíveis no mercado de resolver ou atenuar o problema, só são viáveis em situações de alta s/r , o que é incomum em dados terrestres.

Referências bibliográficas

Connelly, D. e Hart, D. - 1985- Model-based wavelet processing of deconvolver seismic data: Congresso da S.E.G., Washington.

Rosa, A. L. R. - 1996-Processamento de fase de dados sísmicos terrestres: informe geofísico n°115.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Petrobrás por nos ter propiciado condições para a realização deste trabalho, bem como a todos aqueles que trabalham no setor de processamento geofísico da unidade de vitória, ES, que tiveram participação ativa nas discussões em torno do tema.

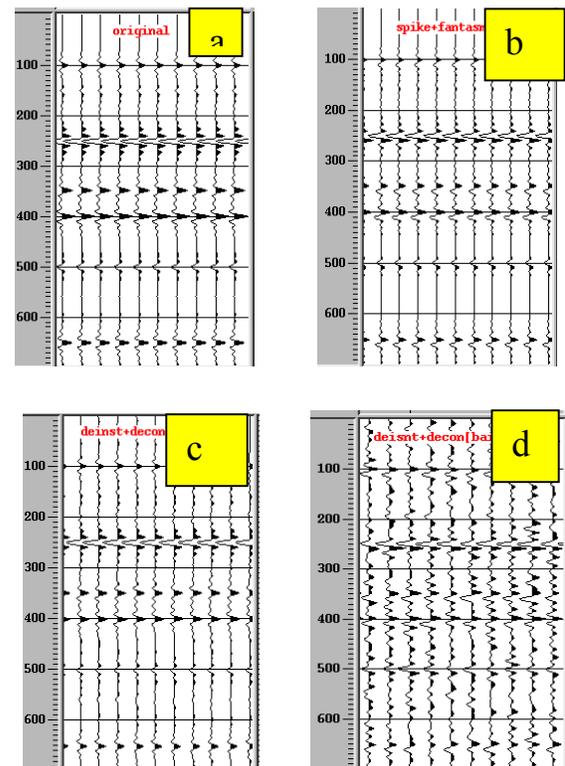


Figura 1-Modelo $s(t) = r(t)$ (a); com a convolução do fantasma (b); com deconvolução convencional com alta s/r (c) e com baixa s/r (d).

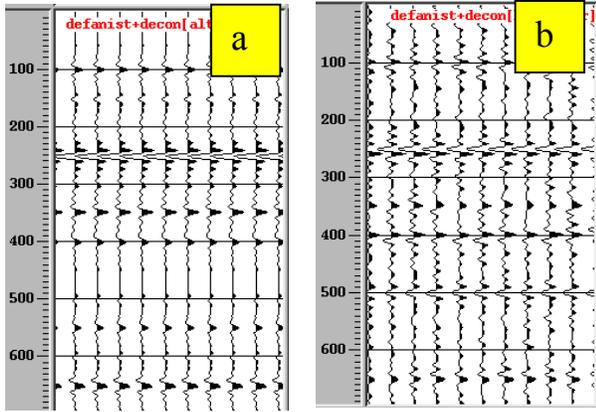


Figura 2-Deconvolução do fantasma seguida da deconvolução estatística para alta s/r (a) e para baixa s/r (b).

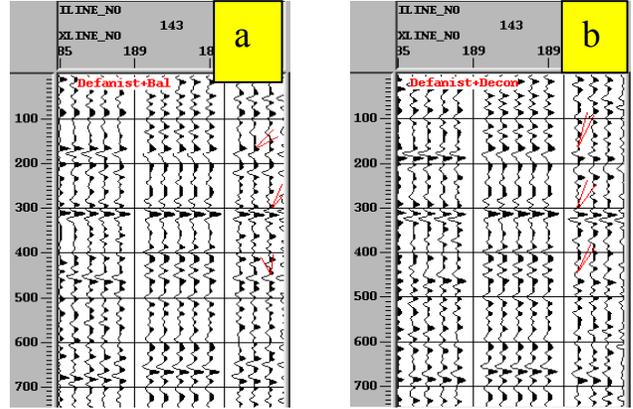


Figura 4- Dado sintético obtidos através de poço (centro) comparados a dados reais (laterais). O dado real foi processado de diferentes formas: deconvolução do instrumento e do fantasma seguida do balanceamento espectral (a) e deconvolução o efeito do instrumento e do fantasma, seguida da deconvolução estatística (b).

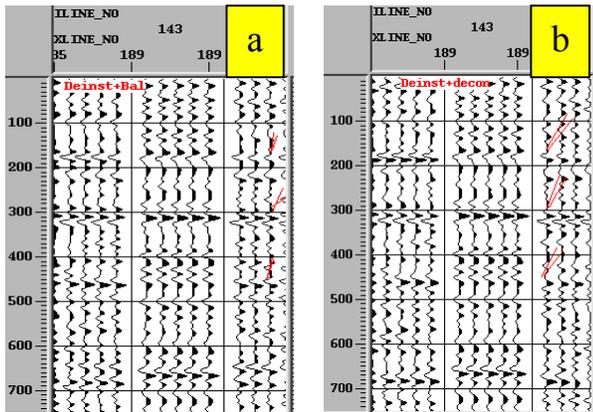


Figura 3- Dado sintético obtidos através de poço (centro) comparados a dados reais (laterais). O dado real foi processado de diferentes formas: (a) removido o efeito do instrumento de registro e aplicado balanceamento espectral; (b) deconvolução do instrumento seguida da deconvolução estatística

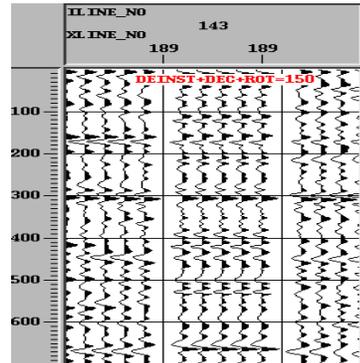


Figura 5- Dado sintético obtidos através de poço (centro) comparados a dados reais (laterais). Ao dado real foi aplicado a deconvolução do instrumento e deconvolução estatística, para em seguida ser aplicada uma rotação de fase de 150 graus.