



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ATENUAÇÃO DE RUÍDO COERENTE COM FILTRO *FX* EM DADOS SÍSMICOS ORGANIZADOS EM FAMÍLIAS DE RECEPTOR COMUM

Gary C. Aldunate¹, Flor A. Vivas²

¹ CPGG /UFBA, Instituto de Geociências, sala 312-C - Campus Universitário de Ondina, Salvador-BA, Brasil, e-mail: gcap@cpgg.ufba.br, favm@cpgg.ufba.br

² CPGG /UFBA, Instituto de Geociências, sala 312-C - Campus Universitário de Ondina, Salvador-BA, Brasil, e-mail: favm@cpgg.ufba.br, favm@cpgg.ufba.br

Resumo – Os dados sísmicos de reflexão contaminados por ruído associado ao dispositivo de registro, ao serem organizados em famílias de receptor comum (FRC), apresentam ruído coerente na dimensão espacial de forma independente do tempo. O filtro de Wiener complexo de predição unitária *FX* permite a eliminação deste ruído e é calculado em forma direta mediante a decomposição LU, de forma iterativa mediante o conjugado gradiente (CG) e de forma recursiva pela recursão de Levinson (RL) para sistemas Toeplitz Hermitianos, sendo este último o mais eficiente computacionalmente.

A filtragem *FX* no domínio de receptor comum é uma alternativa ao processo de muting convencional e evita a eliminação de traços que normalmente seriam zerados em dados sísmicos organizados em famílias de tiro comum.

Palavras-Chave: Filtragem *FX*; Modelos de Predição Unitária; Sistemas Toeplitz Hermitianos

Abstract – Noisy seismic data associated to receivers sorted in common receiver gathers (FRC), presents coherent noise in the spatial dimension. The Wiener complex unitary prediction *FX* filter allow us to attenuate this noise in a direct way by LU decomposition, iteratively through gradient conjugate (CG) and by Levinson recursion (LR), all for solve the Hermitian Toeplitz matrix systems in the filtering process.

FX filter in CRG domain its an alternative to avoid the process of zeroing noise traces

Keywords: *FX* filter, Unitary Prediction models, Hermitian Toeplitz systems

1. Introdução

A técnica de predição FX foi introduzida por Canales (1984) e depois desenvolvida por Gulunay (1986), baseada no trabalho de series de predição complexa (Treitel, 1974). Esta técnica divide o problema de filtragem 2-D em muitos problemas de filtragem 1-D no espaço, um para cada frequência. A deconvolução FX, como usualmente aplicada, atenua ruído aleatório na direção espacial da seção CMP empilhada com mergulhos pequenos (Yilmaz, 2001). Na seção empilhada a informação do refletor é linearmente predecível numa janela com poucos traços e a energia que não é predecível corresponde ao ruído. A deconvolução FX calcula um filtro para cada frequência e cada janela com longitude típica de 5 a 10 traços, que garante a coerência do refletor.

Em dados sísmicos organizados em famílias de tiro comum o ruído associado a cada traço é diferente (Figura 1(a)), mas organizando-os em FRC, pelo contrario, é o ruído associado ao instrumento de registro que aparece como um ruído coerente espacial independente do tempo, como pode ser visto na Figura 2. Utilizando um modelo de predição unitária de ordem N para a amostra $D(x_i, \omega)$ a partir das amostras $D(x_{i-1}, \omega), D(x_{i-2}, \omega), \dots, D(x_{i-N}, \omega)$ e tomando em conta que só a componente predecível, que em nosso caso corresponde ao ruído $\eta(x_i, \omega)$, pode ser obtida pelo filtro, se obtém um erro de predição $e(x_i, \omega)$ que corresponde com as informações dos refletores:

$$e(x_i, \omega) = D(x_i, \omega) - \tilde{D}(x_i, \omega) = D(x_i, \omega) - \eta(x_i, \omega).$$

Como o ruído no domínio FRC, apresenta uma coerência espacial alta, a janela para o calculo do filtro FX pode ser bem maior que a utilizada convencionalmente, podendo ser aplicado só um filtro para toda a família com bons resultados.

O filtro de Wiener complexo de ordem N pode ser obtido sem aritmética complexa, transformando o sistema complexo num sistema real de tamanho $2N$ e utilizando a decomposição LU. Com o objetivo de tomar vantagem da estrutura Toeplitz Hermitiana do sistema a resolver, implementamos a recursão de Levinson complexa. Para efeito de comparação também foi implementada a solução pelo método de gradiente conjugado.

2. Filtro de Predição espacial

Seja $D(x, t)$ um dado sísmico organizado em FRC, aplicando a transformada de Fourier no tempo obtemos $D(x, \omega)$. Para cada frequência ω definimos o vetor complexo $D_\omega = D(x, \omega), i = 0, \dots, M$ na direção x , onde M é o tamanho da janela para aplicação do filtro.

O filtro de Wiener complexo de predição unitária e ordem N , $F_N = F_j, j = 1, \dots, N$; corresponde com a solução do sistema de equações normais na forma ampliada (4), Porsani (2000):

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & \dots & r_N \\ r_1^* & r_0 & \dots & r_{N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_N^* & r_{N-1}^* & \dots & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_N \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

onde os r_i, r_i^* são os coeficientes de autocorrelação e seus conjugados respetivamente, do dado D_ω .

2.1. Recursão de Levinson

A equação (1) pode ser escrita na forma matricial real como

$$\begin{pmatrix} R_r & -R_i \\ R_i & R_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_r \\ F_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_r \\ G_i \end{pmatrix}, \quad (2)$$

e resolvida pelos métodos diretos como decomposição LU, métodos iterativos (CG) ou métodos recursivos (Levinson). Tomando vantagem da estrutura Toeplitz Hermitiana da matriz complexa, implementou-se uma solução a mediante a recursão de Levinson complexa:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ F_{1,n+1} \\ F_{2,n+1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{n,n+1} \\ F_{n+1,n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ F_{1,n} \\ F_{2,n} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{0,0} \\ 0 \end{pmatrix} + k_{n+1} \begin{pmatrix} 0 \\ F_{n,n}^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_2^* \\ F_1^* \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Substituindo a recursão (3) no sistema de equações (1) para o ordem n+1, temos:

$$\begin{pmatrix} E_n \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ q \end{pmatrix} + k_{n+1} \begin{pmatrix} q^* \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ E_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{n+1} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

onde $q = r_{n+1}^* + r_n^* F_{1,n} + r_{n-1}^* F_{2,n} + \dots + r_1^* F_{n,n}$.

Da equação (4) obtemos as relações:

$$k_{n+1} = -\frac{q}{E_n},$$

$$E_{n+1} = E_n - \frac{qq^*}{E_n}.$$

A solução recursiva, procede na mesma forma que Levinson para sistemas Toeplitz simétricos reais.

2.2 Algoritmo para deconvolução FX

O algoritmo para a filtragem FX do dado $D(x, t)$ é feita nas seguintes etapas:

- Seleção da janela de temporal
- Transformada de Fourier temporal
- Seleção da janela espacial

- Laço sob as frequências ω
- Cálculo de coeficientes de autocorrelação
- Resolução do problema matricial: LU, CG, RL
- Construção do filtro
- Filtragem em ω
- Transformada de Fourier inversa.

Neste trabalho apresentam-se os resultados de filtragem FX com três resoluções diferentes do problema matricial: recursão de Levinson complexa, decomposição LU e Gradiente Conjugado; todos os programas foram implementados no programa SUFXDECON do pacote livre Seismic Unix (2005).

3. Aplicação no dado marino real NIC

A filtragem FX foi aplicada num dado marino real adquirida na Nicarágua (NIC), este dado contém 240 receptores em cada família de tiro, sendo 659 tiros em toda a linha de aquisição, foram registradas 1501 amostras a cada 4 ms para cada traço. Na Figura 1(a), apresenta-se uma família de tiro comum, nesta vemos que cada traço correspondente a cada receptor contém um ruído diferente um do outro, o traço do receptor numero 10 é sinalizado por zetas e se apresenta como a mais ruidosa. No processamento convencional este traço seria mutado perdendo-se informação.

Reorganizando todo o dado em famílias de receptor comum, ou seja agrupando os traços pertencentes a cada hidrofone, vemos que cada um de eles possui um ruído de intensidade diferente como observado na Figura 3. A família do hidrofone 10 é a mais ruidosa e é sinalizada. O ruído presente no dado organizado em FRC aparece como coerente e misturado com os eventos (refletores).

Analisemos a FRC-10 após a filtragem. Com o método LU Figura 4 (b), todo o ruído foi atenuado e os refletores apresentam-se mais definidos e com maior resolução do que a original, Figura 4 (a), para obter este excelente resultado foi aplicado um filtro de 4 coeficientes e tendo como janela toda a FRC-10. O resultado usando o método Levinson, Figura 4(c) também tem uma alta qualidade de imagem, e foi o mais eficiente computacionalmente. Já a filtragem com o método do conjugado gradiente atenua o ruído de forma muito brusca comprometendo em mínima maneira a continuidade dos refletores, Figura 4 (d). Uma análise de amplitude em um traço mostra como os métodos afetaram à informação dos refletores, a Figura (2) mostra uma comparação entre todos os métodos, sendo o CG o método que afetou muito a amplitude do traço mas ao mesmo tempo é muito eficiente na atenuação de ruído. Tanto o método LU e Levinson apresentam resultados similares na qualidade.

Após feita a filtragem no domínio CRF os dados devem ser reorganizados em famílias de tiro comum para serem processados de forma convencional, mas agora sem ruído, a figura 1(b) mostra a família de tiro comum filtrada com o método LU, comparando-o com a Figura 1(a), família de tiro comum de entrada, vemos uma notória melhoria na qualidade do dado e na continuidade dos eventos, sem a presença de ruído espúrio. É importante mencionar que o dado não foi pré-processado antes da filtragem FX.

4. Conclusões

Três métodos de filtragem FX foram estudadas e testadas no dado real marino NIC com o objetivo de atenuar ruído coerente associado a um determinado receptor. A filtragem FX em dados sísmicos organizados em famílias de receptor comum, se apresenta como uma alternativa para o típico processo de zerar traços ruidosos e desta forma evita-se a perda de importante informação.

A recursão de Levinson para a solução dos sistemas Toeplitz Hermitianos usada filtragem FX, embora utilize aritmética complexa é mais eficiente que as soluções do sistema real associado como nos métodos LU e CG, diminuindo o custo computacional em 30 por cento.

7. Agradecimentos

Flor Vivas agradece à Universidad Complutense (Colômbia) e CPGG/UFBA, Gary Aldunate agradece à agencia CAPES pelo suporte financeiro em forma de bolsa de estudos e ao CPGG/UFBA.

8. Referências

CANALES, L. Random noise reduction: 54th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., 525-527, 1984.

GULUNAY, N. Fxdecon and complex Wiener prediction filter: 56th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., 279-287, 1986.
 PORSANI, MILTON Aulas de Processamento de Dados Sísmicos I – II: CPGG/UFBA, 2004.
 TREITEL, S. The complex Wiener filter : *Geophysics*, 39, 169-173, 1974.
 SEISMIC UNIX, pacote de processamento sísmico freeware, *Colorado School of Mines*, www.cwp.edu, versão 38.5, 2005.
 YILMAZ, O. Seismic data analysis: *Society of exploration Geophysicists*, Tulsa, 2001.

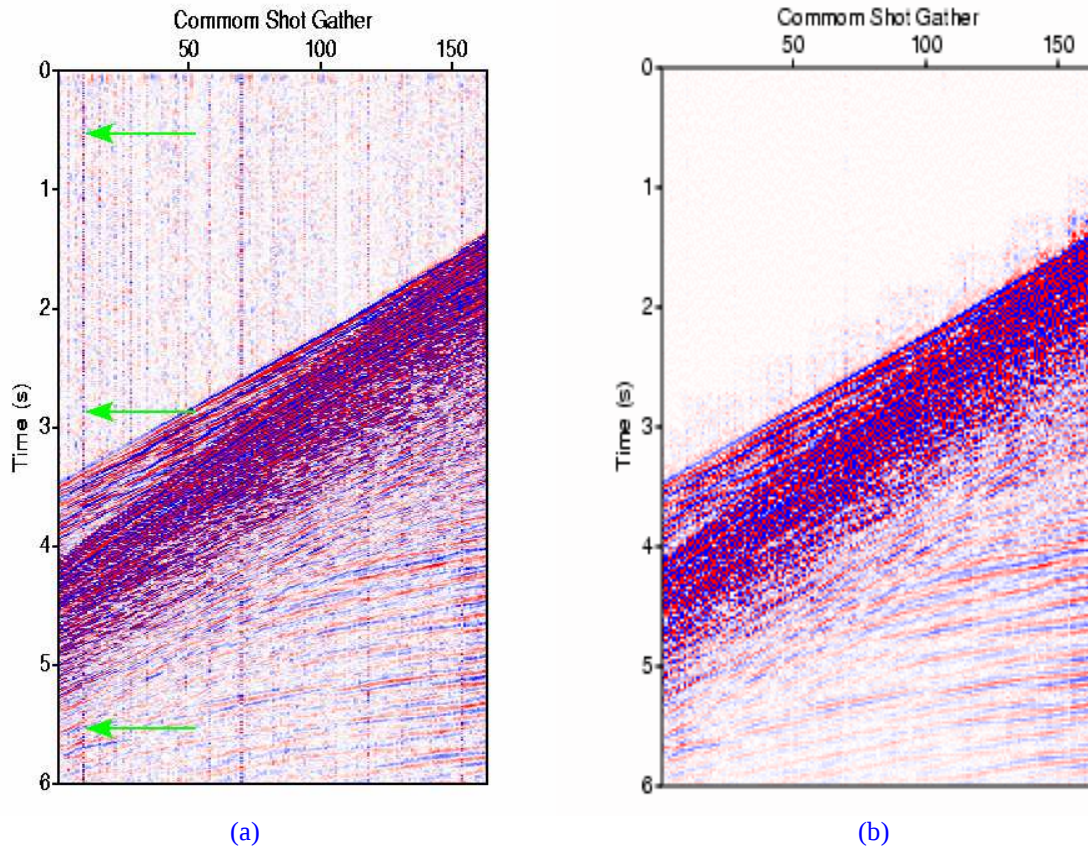


Figura 1. Uma família de tiro comum, na seção da esquerda (a) os traços apresentam-se ruidosos o traço 10 é sinalizado por zetas. O painel da direita (b) mostra a seção após a filtragem LU.

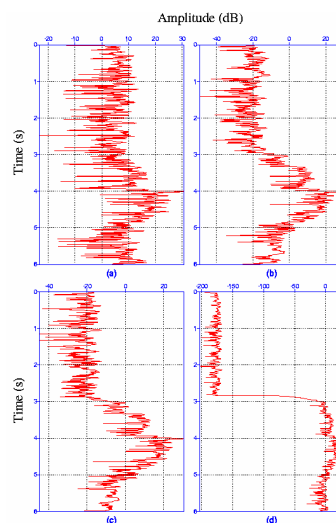


Figura 1. Análise de amplitude sobre um traço, sem filtro (a) após filtragem LU (b), Levinson (c), e CG (d).

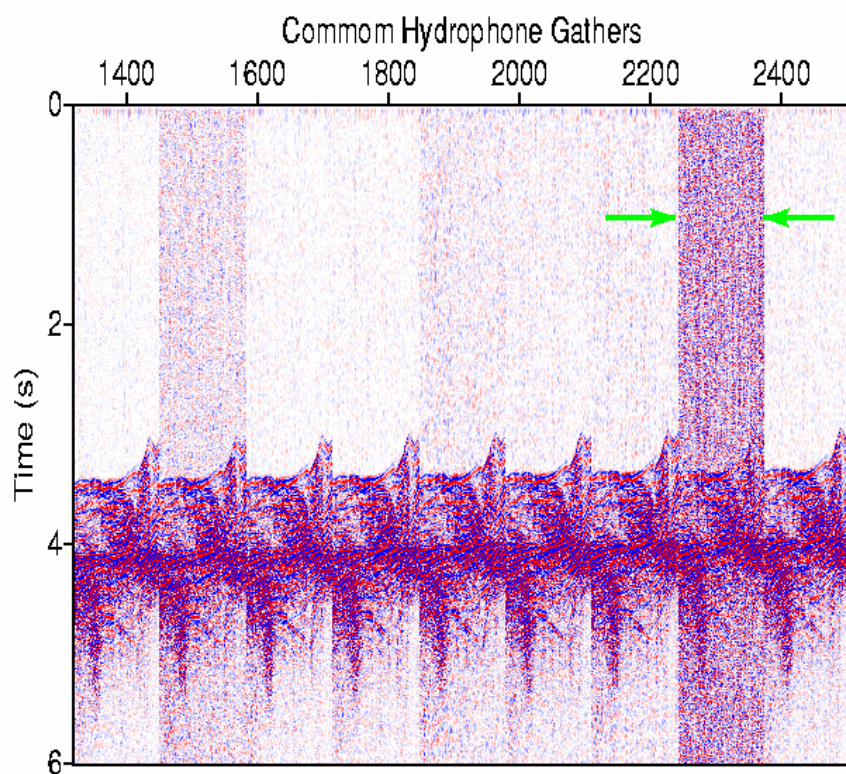


Figura 1. Dado do NIC organizado em FRC antes da filtragem, a família do traço 10 é destacado.

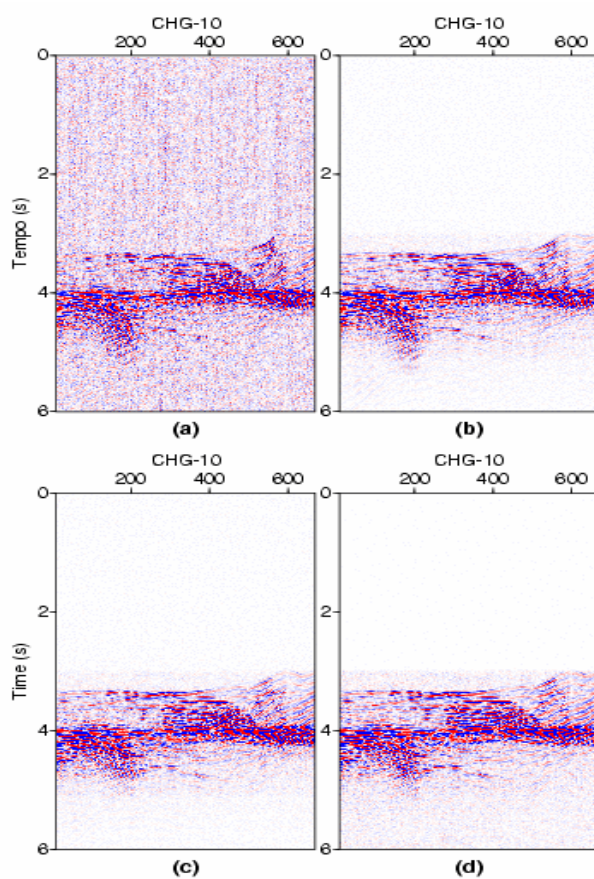


Figura 1. Filtragem para a FRC-10, antes da filtragem (a), após filtragem LU (b), Levinson (c), CG (d).