



Extração de difrações por empilhamento de superfícies de difração comum

German Garabito C.*, João C. R. Cruz, e Peter Hubral **

(*) CPGF/UFPA/Brasil, (**)Universidade de Karlsruhe/Alemanha

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 was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

Using the paraxial hyperbolic travelttime approximation for diffraction point condition, an algorithm called Common Diffraction Surface (CDS) stack was developed to simulate zero-offset (ZO) sections for diffracted waves. This new algorithm need to determine from the multi-coverage data two parameters that define the best CDS operator for each ZO sample point. These parameters are the emergence angle of the central ray and the radius of curvature of the Normal Incident Point (NIP) wave. The main feature of this algorithm is the identification of the diffracted events in the common-offsets domain. The application of the CDS stack algorithm in a synthetic dataset containing reflected and diffracted events, provide a simulated ZO section with diffractions events very well enhanced and reflected events strongly attenuated. To determine the positions of the diffracted points associated with the diffraction events, it was applied to the ZO diffraction stacked section the post-stack time and depth migrations. The first migration was applied using the CDS surface parameters and the last with the true velocity model.

Introdução

Os dados sísmicos, normalmente, são constituídos pela superposição de diferentes tipos ondas, tais como: ondas diretas, ondas refletidas, ondas de reflexões múltiplas, ondas difratadas e outras. No processamento convencional de dados sísmicos, normalmente, as ondas difratadas são consideradas como ruído. Existem poucos trabalhos que mostram o uso deste tipo de ondas na interpretação de dados sísmicos. Em Harlan et al., 1983 as ondas difratadas foram usadas para extrair informações sobre as velocidades do meio. Landa et al., 1987, apresentaram um método para a detecção de ondas difratadas nas seções de afastamento fonte-receptor comum (AC) e estimar parâmetros como: posição e velocidade (constante) do meio sobre o difrator.

Normalmente, uma seção de afastamento fonte-receptor nulo (AN) simulada a partir de dados de cobertura múltipla, contém campos de ondas refletidos, difratados e outros. A presença de eventos difratados nos dados sísmicos normalmente revela a complexidade da estrutura geológica em subsuperfície. Nesse sentido, a

identificação dos eventos difratados pode constituir-se numa informação relevante na interpretação de dados sísmicos, como por exemplo para a localização mais precisa de falhas geológicas e flancos de domos. Por outro lado, as ondas difratadas também podem ser usadas como informação adicional na estimativa das velocidades do meio. As ondas difratadas podem ser produzidas por diferentes estruturas geológicas em subsuperfície, tais como: bordas (*edge diffractions*), pontas (*tip diffractions*), estruturas em forma de cunha (*wedge diffractions*), contraste laterais de velocidades, refletores irregulares (irregulares) e outros.

Com base na aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito de raios paraxiais (Tygel, et al., 1997), o método de empilhamento por superfícies de reflexão comum (SRC) realiza a simulação de seções de AN a partir de dados de cobertura múltipla (Mann, et al., 1999; Jäger et al., 2001; Garabito et al., 2001). Este método não depende do modelo de velocidades, mas precisa da determinação a partir dos dados de três atributos de frentes de ondas hipotéticas.

Neste trabalho, também com base na aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito, é apresentado um método, denominado empilhamento por superfícies de difração comum (SDC), para a simulação de seções AN com preservação de eventos difratados e atenuação de reflexões. Em outras palavras, apresenta-se um método de extração de eventos difratados através de um processo de simulação de uma seção ZO. Como exemplo, é mostrado o resultado da aplicação deste algoritmo em dados sintéticos que contém difrações de bordas. Por outro lado, com o objetivo de mostrar uma das aplicações dos resultados obtidos para a localização de descontinuidades associadas com falhas geológicas, na seção AN simulada será aplicada uma migração pós-empilhamento no tempo usando os parâmetros (β_0, R_{NIP}) que resultam como subproduto do empilhamento SDC. Como primeiros exemplos deste tipo migração baseados num operador de migração tipo Kirchhoff definido por parâmetros extraídos dos dados encontram-se em Queiroz et al., (1997) e Mann et al., (2000). Por outro lado, para confirmar a validade dos resultados também será aplicada uma migração pós-empilhamento em profundidade, isto com o objetivo de mapear as posições em subsuperfície dos difradores correspondentes aos eventos de difrações da seção AN simulada.

Operador do empilhamento SDC

A expressão da aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito dos raios de reflexões primárias na vizinhança de um raio central com reflexão normal, aplicável para configurações irregulares de fontes e receptores, depende de três parâmetros: do ângulo de emergência

De forma similar ao algoritmo de empilhamento SRC apresentado em Garabito, et al., 2001, o método de extração de difrações por meio do empilhamento por superfícies de difração comum (SDC) proposto neste trabalho, também usa os algoritmos de otimização global (*Simulated Annealing*) e local (quase-Newton) para a determinação dos parâmetros que definem os operadores de empilhamento usados nas diferentes etapas. Os resultados do algoritmo de otimização global são usados como aproximações iniciais da otimização local. A seguir descreve-se as três etapas do algoritmo de empilhamento SDC.

Etapa 1: Empilhamento de difrações

A partir dos dados de cobertura múltipla, usando o algoritmo *Simulated Annealing*, são determinados dois parâmetros (β_0, R_{NIP}) para cada ponto de amostragem da seção AN a ser simulada. O espaço de busca é definido pelos intervalos: $-\pi/2 < \beta_0 < +\pi/2$ e $0 < R_{NIP} < +\infty$. Os resultados obtidos nesta etapa, são: Duas seções de ângulos de emergência, duas seções de raios de curvaturas das ondas NIP, uma seção de coerência e uma seção AN. Uma das seções dos parâmetros correspondem aos mínimos globais e a outra corresponde aos mínimos locais.

Etapa 2: Empilhamento de difrações e reflexões

Na seção empilhada resultante da etapa anterior, também usando o algoritmo *Simulated Annealing*, é determinado o parâmetro R_N para cada ponto de amostragem da seção AN. Neste caso as trajetórias de empilhamento são calculadas pela equação (1) sob a condição $h = 0$ mas com R_N em lugar de R_{NIP} . Os valores de β_0 são conhecidos da primeira etapa e o espaço de busca de R_N é dado pelo intervalo $-\infty < R_N < +\infty$. Esta etapa é importante para a determinação de uma seção de coerências com valores maiores associados aos eventos de difrações, isto comparado com a seção de coerências da Etapa 1. Os resultados a serem usados na próxima etapa são: Duas seções com valores R_N e uma seção de coerência.

Etapa 3: Empilhamento e extração de difrações

Usando o algoritmo de otimização local quasi-Newton realiza-se a otimização local dos parâmetros β_0 e R_{NIP} nos dados de cobertura múltipla. A otimização local e o empilhamento através das superfícies de difração comum, definidas com os parâmetros finais, é realizada somente para os pontos de amostragem com valores de coerências acima de um certo valor limite definido usando a seção de coerências resultante da etapa anterior. Também são descartados os eventos com valores de R_N negativos e valores de R_N e R_{NIP} que diferem em mais de 10%. Os resultados desta etapa são: a seção AN com predominância de eventos difratados, uma seção de coerência e as seções com valores

otimizados dos parâmetros β_0 e R_{NIP} . No caso das três últimas seções, devido à presença de eventos com mergulhos conflitantes, foram obtidas duas seções; uma seção para os mínimos globais e outra seção para os mínimos locais.

Exemplo de aplicação em dados sintéticos

No modelo da parte inferior da Figura 1, usando um algoritmo de diferenças finitas foram gerados os dados sísmicos de cobertura múltipla, que consiste de um total de 140 seções com fonte comum, cada um com 48 receptores separados por um intervalo constante de 25 m. O intervalo entre fontes consecutivas também é de 25 m. O afastamento mínimo entre a fonte e o primeiro receptor é de 100 m. O sinal da fonte é o *wavelet* Ricker com uma frequência dominante de 40 Hz e o intervalo de amostragem é 2 ms. Nestes dados foi adicionado ruído aleatório com distribuição uniforme, tendo-se uma razão sinal-ruído igual a $S/R = 5$. Este conjunto de dados contém eventos de reflexões e difrações, sendo portanto adequado para testar a eficiência do algoritmo proposto neste trabalho. Para a comparação, na Figura 2 mostra-se a seção AN modelada sem ruído.

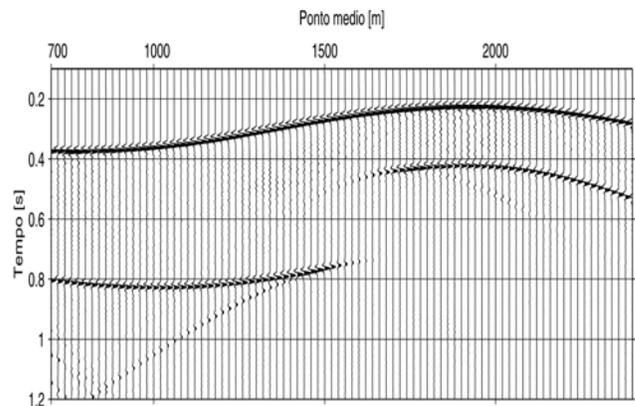


Figura 2: Seção AN modelada composto por reflexões primárias e difrações, correspondentes ao modelo sintético da Figura 1.

Como indicado na descrição do algoritmo de empilhamento SDC, são obtidos vários resultados intermediários nas duas etapas iniciais. Todos estes resultados são mostrados em Garabito (2001), neste trabalho mostraremos apenas o resultado final que é uma seção AN simulada que contém os eventos de difrações extraídos durante o processo de simulação de seção de AN (Figura 3). Neste resultado, observa-se que os eventos de reflexões foram quase totalmente atenuados enquanto que as duas difrações foram preservadas. Comparando este resultado com a seção AN modelada observa-se que os dois eventos de difração, foram preservados ou extraídos mantendo a continuidade delas, ou seja sem interrupções nos lugares de superposição com as reflexões.

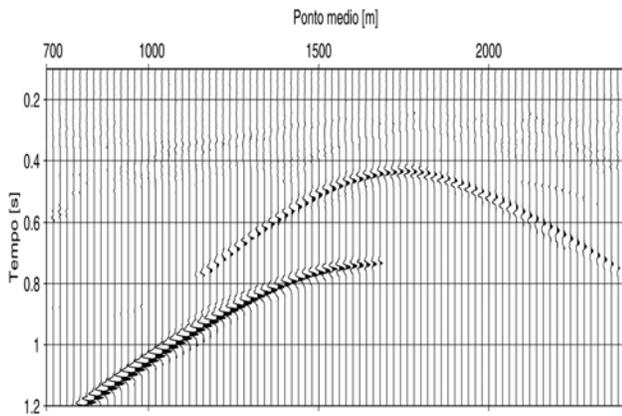


Figura 3: Seção AN simulada pelo algoritmo de empilhamento SDC. Observe que os eventos de reflexões foram fortemente atenuados.

Vale salientar que como resultados adicionais deste método de empilhamento SDC, obtém-se duas seções com valores de ângulo de emergência (β_0) e duas seções com valores do raio de curvatura da onda NIP (R_{NIP}). Como um exemplo de uma das aplicações destes parâmetros, a seguir mostra-se a aplicação na migração pós-empilhamento no tempo.

Migração pós-empilhamento

Como mencionado anteriormente, estes dois parâmetros (β_0, R_{NIP}) definem um operador tipo Kirchhoff associado a um ponto difrator em subsuperfície, conseqüentemente, estes parâmetros também podem ser usados para fazer uma migração no tempo, neste caso particular, para migrar a seção AN simulada pelo algoritmo CDS. De forma similar à migração Kirchhoff pós-empilhamento no tempo, também neste caso os eventos somados ao longo do operador definido pela expressão (1), isto é na vizinhança do ponto de amostragem da seção AN simulada, são colocados no ápice deste operador. A posição do ápice da hipérbole de difração dada por (1) para $h=0$, é determinado fazendo o cálculo de: $\partial t_D(x_m, h=0)/\partial x_m = 0$.

Ao contrário da migração Kirchhoff convencional, nesta migração com base nos atributos do operador SDC a zona de tangência entre o operador e o evento é conhecida, portanto esta migração é realizada com uma abertura limitada em torno do ponto de amostragem AN. O resultado deste método de migração aplicada na seção AN simulada (Figura 3) é mostrada na Figura 4, onde se observa que os eventos de difrações foram colapsados nos seis ápices, localizando assim as posições dos difratores no domínio espaço – tempo.

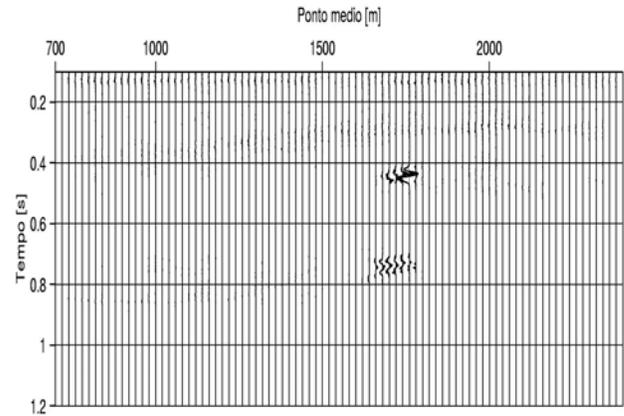


Figura 4: Seção migrada no tempo que resulta da migração da seção ZO simulada da Figura 3 e usando os parâmetros SDC para definir o operador de migração.

Por outro lado, com o objetivo de verificar a validade deste algoritmo e aplicação do resultado obtido na localização de difratores em subsuperfície, na seção AN da Figura 3 foi aplicada uma migração Kirchhoff em profundidade. Neste caso, a migração pós-empilhamento foi realizada usando o modelo de velocidades verdadeiro. O resultado desta migração é mostrada na Figura 5, onde se observa que os eventos difratados foram focalizados nos pontos que correspondem as descontinuidades do refletor que está representada com linha de cor vermelho.

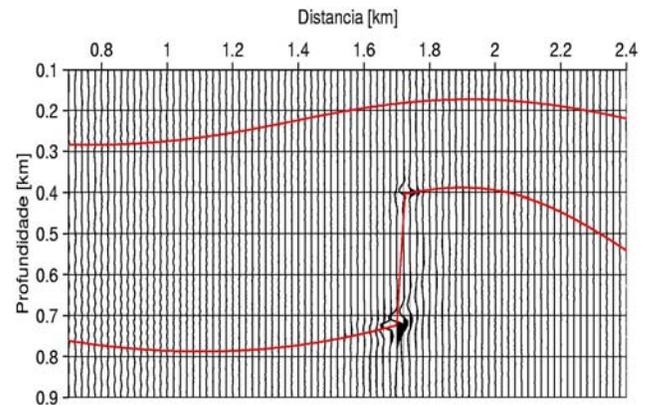


Figura 5: Seção migrada em profundidade, obtida a partir da seção AN simulada pelo empilhamento SDC (Figura 3). As linhas de cor vermelha representam aos refletores do modelo sintético da Figura 1.

Conclusões

Foi mostrado que o algoritmo de empilhamento SDC aplicado em dados sintéticos contendo eventos de reflexões e difrações, produz uma seção AN simulada contendo eventos de difrações bem preservados e eventos de reflexão bastante atenuados.

Como uma aplicação do resultado obtido pelo algoritmo proposto, na seção AN simulada foi aplicada a migração pós-empilhamento no tempo, usando os atributos do empilhamento SDC, e em profundidade, usando o modelo de velocidades verdadeiro. Os resultados de ambas migrações mostraram uma correta localização dos pontos de descontinuidades do meio, podendo-se constituir a seção AN simulada pelo método de empilhamento SDC numa alternativa atraente para ser usada na interpretação dos dados sísmicos.

Devido aos resultados promissores apresentados neste trabalho, pretende-se aplicar este algoritmo em dados sintéticos correspondentes a modelos mais complexos tais como o Marmousi e Sigsbee2a, e posteriormente em dados reais.

Agradecimentos

Agradecemos à Agência Nacional do Petróleo pelo suporte financeiro ao primeiro autor durante a realização do doutorado no Curso de Pós-graduação em Geofísica da UFPA.

Referências

Garabito, G., Cruz, J. C. R., Hubral, P. and Costa, J., 2001a. Common reflection surface stack by global optimization. In Expanded Abstracts. 71th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys,

Garabito, G., Cruz, J. C. R., Hubral, P. and Costa, J., 2001b. Empilhamento de superfícies de reflexão comum com mergulhos conflitantes. Resumo Expandido, 7º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.

Garabito G., 2001. Empilhamento Sísmico por Superfície de reflexão comum: Um novo algoritmo usando otimização global e local. Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará.

Gelchinsky, B., Landa, E., Shtivelman, V., 1985. Algorithms of phase and group correlation. Geophysics, 50(4): 596-608.

Harlan, W.S., Claerbout, J.F., Rocca, F. 1983. Extracting velocity information from diffraction. In: SEG MEETING, 55., Las Vegas. Expanded Abstracts.

Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., Hubral, P., 2001. Common-reflection-surface stack: Image and attributes. Geophysics, 66(1): 97-109.

Landa, E., Shtivelman, V., Gelchinsky, B. 1987. A method for detection of diffracted waves on common-offset sections. Geophysical Prospecting, 35: 359-373.

Mann, J., Jaeger, R., Mueller, T., Hoecht, G., and Hubral, P., 2000. Common-reflection-surface stack – a real data example. J. Appl. Geoph., 42(3,4):301-318.

Mann, J., Hubral, P., Traub, B., Gerst, A., and Meyer, H., 2000. Macro-model Independent Approximative Prestack Time Migration. In Extended Abstract, 62th Mtg. EAGE.

Queiroz, P. N., e Soellner, W., 1997, Migração 3-D no tempo usando a aproximação paraxial dos Raios, 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Resumo Expandido, v1, p. 181-183.

Tygel, M., Mueller, T., Hubral, P., and Schleicher, J., 1997. Eigenwave based multiparameter travelttime expansions. In Expanded Abstracts, pages 1770-1773. 67th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys.