

Migración mediante apilado por difracción en medios con gradiente constante de velocidad

LUIS ANTONIO CASTILLO LÓPEZ

Profesor asistente

Departamento de Geociencias - Facultad de Ciencias - Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Para investigar la reflectividad en el subsuelo de la Tierra por métodos sísmicos, se necesita introducir algunas suposiciones acerca del macromodelo de velocidades para la capa suprayacente al reflector. Esto se logra al aplicar a los datos de entrada un peso al operador de apilado por difracción, cuyo desarrollo teórico es basado en la integral tipo Kirchhoff. Al escoger el propio peso para apilado de datos, el resultado del proceso de la migración es una sección sísmica, donde la amplitud es proporcional al coeficiente de reflexión, conocido como migración con amplitudes verdaderas. En el presente artículo se pretende mostrar la cuantificación de un parámetro sísmico, es decir la amplitud, mediante el uso de un algoritmo de migración, cuyo desarrollo e implementación del mismo permite la evaluación de datos sintéticos, considerando modelos sencillos. Este algoritmo se desarrolló para trabajar con modelos sintéticos en un medio con gradiente constante de velocidad. Para entender mejor el comportamiento numérico del algoritmo propuesto, se tienen presentes algunas consideraciones, como los aspectos cinemáticos del proceso de migración, por ejemplo, cuando la función peso es la unidad.

PALABRAS CLAVE: PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS, MIGRACIÓN EN TIEMPO, MODELAMIENTO, PROBLEMA DIRECTO

ABSTRACT

In order to investigate the reflectivity in the earth subsurface by seismic method, we need to introduce some assumption about the macrovelocity model above the reflector. This is achieved by applying to the input seismic data a weighted diffraction stack operator, which theoretical development is based on a Kirchhoff type migration integral. By choosing the proper weight for stacking the data, the result of the migration process is a seismic section where the amplitude is proportional to the reflection coefficient, the so-called true-amplitude migration. For considering a more realistic situation, we develop a migration algorithm that works very well with constant gradient velocity media and the parameter quantified for results. In order to better understanding the numerical behavior of the proposed algorithm, we consider in this paper only the kinematic aspects of migration process, i.e. when the weight function is the unit.

KEY WORDS: SEISMIC DATA PROCESSING, TIME MIGRATION, MODELLING, DIRECT PROBLEM

INTRODUCCIÓN

El operador de apilado por pesos de difracción usado para migrar los datos sísmicos, se basa en la sumatoria de datos de entrada, a través de una trayectoria definida por superficie de tiempos de tránsito por difracción (superficie de Huygens), para un punto dado en el modelo, y diferentes fuentes y receptores sobre la superficie de la Tierra. Uno de los puntos críticos en esta migración es el incremento de tiempo computacional como consecuencia de la complejidad geométrica del modelo sísmico. En años recientes algunos métodos alternativos han sido propuestos, para suplir este problema (Vidale, 1988; Schneider *et al.*, 1992). En este ensayo se presenta un algoritmo rápido capaz de trabajar en forma cinemática o efectuar la migración con amplitudes verdaderas en profundidad, al considerar una situación más general cuando el modelo de velocidad sísmica es presentado por una función de las variables espaciales. Esta clase de modelo es importante para simular muchas situaciones en la exploración sísmica (Japsen, 1993).

OPERADOR BIDIMENSIONAL DE APILADO POR DIFRACCIÓN

Siguiendo el formalismo usado por Urban (1999), y basado en Schleicher *et al.* (1993), se puede escribir el operador bidimensional de apilado por difracción como

$$V(M, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_A d\xi w(\xi, M) \partial_{t-\tau_D}^{1/2} U(\xi, t + \tau_D) \quad (1)$$

En la ecuación (1), los pares fuente y el receptor (S, G) están parametrizados por la variable ξ , de tal manera que la difracción de la curva de tiempo de tránsito τ_D en el plano es definida por todos los puntos de parámetro ξ sobre la superficie de la Tierra, y un punto M dentro de un volumen especificado del modelo sísmico. El símbolo $\partial_{t-\tau_D}^{1/2}$ es el operador de la derivada anti-causal de medio tiempo, que corresponde en el dominio de la frecuencia al filtro $\sqrt{-i\omega}$. La función peso w puede ser escogida hasta que el resultado del proceso de migración sea proporcional al coeficiente de reflexión. La función $U(\xi, t + \tau_D)$ representa la componente principal del campo de onda sísmico primario reflejado. El resultado de la integral (1) es colocado en el punto M dentro del modelo, dando como resultado lo que aquí se denomina migración en profundidad por apilado de difracción. En el caso en que la función peso es la unidad, considerada en este artículo, se tiene sólo una imagen cinemática de un reflector sísmico.

CURVA DE TIEMPOS DE TRÁNSITO

En el procesamiento de apilado por difracción, el modelo de macrovelocidad es considerado *a priori* como conocido, y una curva

de tiempo de tránsito de apilado por difracción debe ser construida para cada punto dentro de una grilla del modelo. Para este caso se considera una situación donde la velocidad en la capa suprayacente está representada por una función de tipo lineal

$$v(z) = v_o + gz \tag{2}$$

donde v_o es la velocidad cerca de la superficie de la Tierra, g es el gradiente de la función velocidad en la dirección del eje vertical z , en profundidad. Esta clase de función de velocidad es la primera aproximación por ser considerada cuando están siendo estudiadas variaciones regionales de velocidad para muchas rocas sedimentarias (Japsen, 1993). En tales modelos con variaciones lineares de velocidad, la trayectoria del rayo es circular y los tiempos de tránsito son dados como solución de la integral (Bleistein, 1986)

$$\tau = \frac{1}{v_o} \int_0^{z_M} \frac{n^2(z) dz}{\sqrt{n^2(z) - \sin^2 \beta}} \tag{3}$$

En la integral (3) z_M es la profundidad del punto M en el subsuelo, el β es el ángulo entre el eje vertical z , y la dirección de la trayectoria del rayo en el punto M . La función $n(z) = v_o / v(z)$ es el índice de refracción. La integral referida tiene una solución analítica, la cual provee una manera de desarrollar un algoritmo rápido y estable para migrar los datos sísmicos (figura 1).

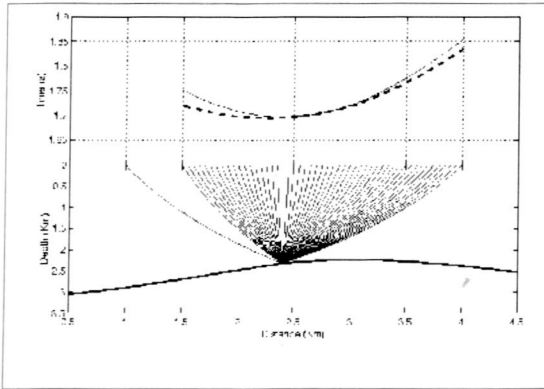


Figura 1. Curva de tiempos de tránsito de reflexión (línea interrumpida) y la curva de tiempos de tránsito por difracción (línea continua). El punto en profundidad coincide con el punto de reflexión real

EJEMPLOS

Para medir la inestabilidad del algoritmo de apilado por difracción, ha sido aplicado a una serie de datos con una configuración disparo común. El modelo sísmico (figuras 2 y 4) está constituido por un reflector curvo debajo de un medio con capas heterogéneas con un medio de gradiente constante de velocidad, donde la velocidad cerca de la superficie es 2.0 km/s y un gradiente de 0.9375/s. La posición del punto de disparo es 1.0 km a la izquierda, mientras el primer receptor está a 1500 m, y el más lejano a 4000 m. La fuente tiene una frecuencia dominante de 75 Hz, y el intervalo de muestreo es de 4.0 ms. En la figura 2 los datos sísmicos están sin ruido, en tanto que en la figura 4 la razón s/n es 1:0.1. En las figura 3 y 5 se tienen los

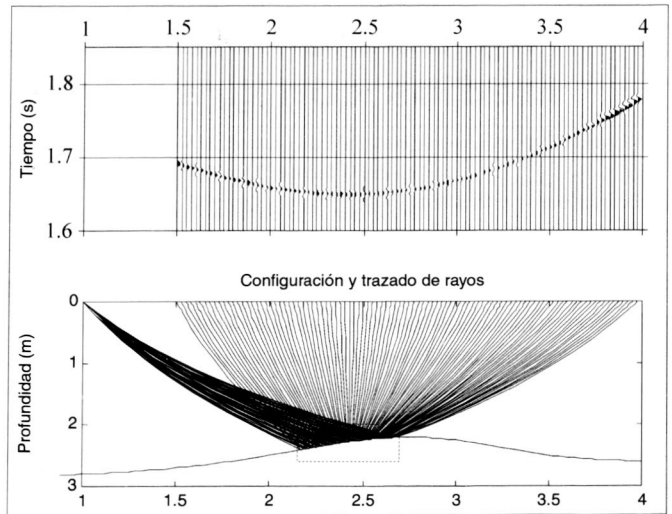


Figura 2. Parte inferior: modelo y trayectorias de rayos. Parte superior: sismograma sintético en un medio con gradiente constante de velocidad. (Líneas punteadas indican la zona por migrar)

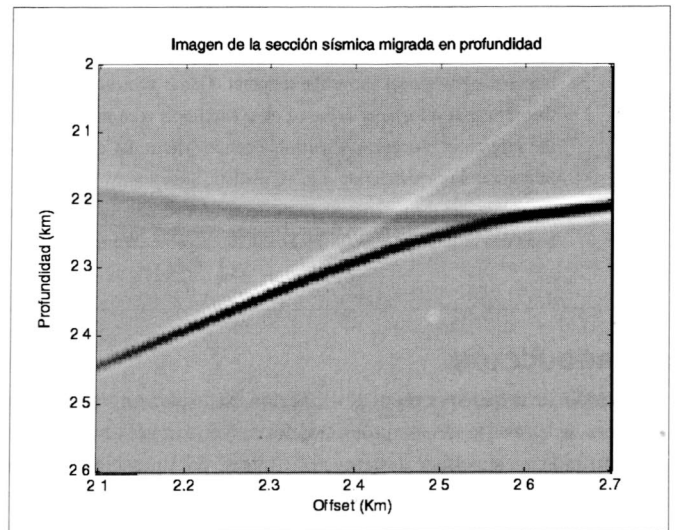


Figura 3. Imagen de la sección migrada en profundidad. Zona migrada $x_0 = 2.0$, $x_1 = 2.8$ y $z_0 = 2.0$, $z_1 = 2.6$

datos sísmicos migrados en profundidad, después de aplicar el operador de apilado por difracción para una serie respectiva de datos. Es importante notar que el algoritmo propuesto provee una buena imagen del reflector, al igual que en un ambiente con ruido, y puede ser usado para migrar datos con un medio de gradiente constante de velocidad.

DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El algoritmo por seguir fue desarrollado e implementado con el fin de efectuar migraciones para medios con un gradiente constante de velocidad, además de recuperar los valores de amplitudes verdaderas. Éste utiliza como parámetros de entrada datos referentes a las diferentes características del rayo, por ejemplo, ángulo de emergencia, de inci-

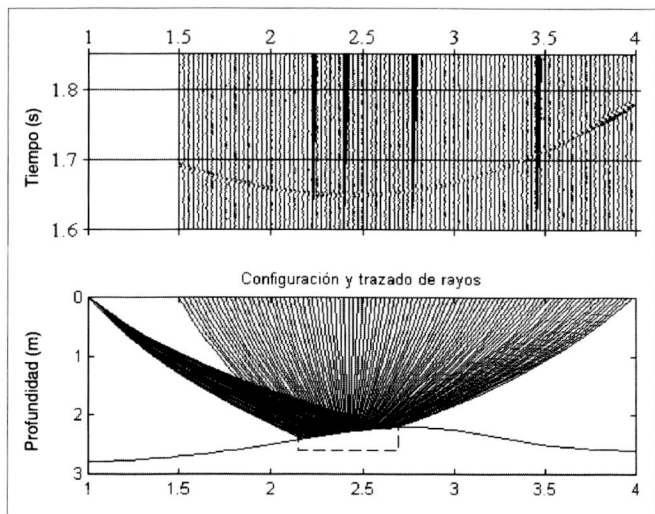


Figura 4. Parte inferior: modelo y trayectoria de rayos. Parte superior: sismograma sintético (con ruido. S/N: 1:0.1) en un medio con gradiente constante de velocidad. (Líneas punteadas indican zona por migrar)

dencia, modelo de velocidades, etc. El algoritmo es presentado en fortran y utiliza para el modelamiento de trazado de rayos y el sismograma sintético el algoritmo seis88, desarrollado por Cerveny y Pšensik (1988), útil en el modelamiento de sismogramas sintéticos para prospección sísmica.

CONCLUSIONES

En este ensayo se desarrolló y probó el algoritmo de migración por apilado de difracción, siendo aplicado a una serie de datos con configuración disparo común, sintéticamente generado por la teoría de rayo para un medio con gradiente constante de velocidad. El algoritmo fue probado sin ruido y con ruido sobre los datos, proveyendo una buena imagen de la zona alvo de interés (reflector). Este resultado es muy importante en el sentido de que el algoritmo es rápido, estable y se ajusta para ser usado para migración con amplitudes verdaderas.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al grupo de sísmica del Geophysical Institute, Charles University, Prague, Czechoslovakia, por permitirme disponer del software para trazado de rayos "the ray tracing software SEIS88", y al grupo de geofísica de la Universidad Nacional de Colombia en la cual encuentro gran soporte para la realización del trabajo como geofísico.

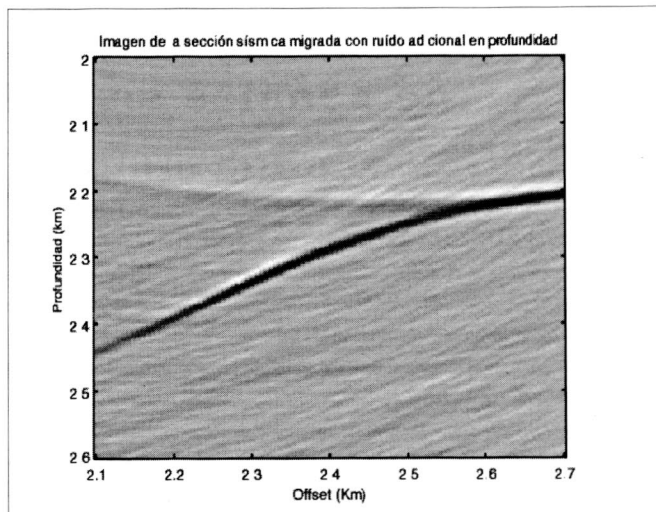


Figura 5. Imagen de la migración preapilado en profundidad (con ruido). Zona alvo $x_0 = 2$, $x_1 = 2.8$ y $z_0 = 2$, $z_1 = 2.6$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLEISTEIN, N. 1986: Two-and -one-half dimensional in-plane wave propagation. *Geophysical Prospecting*, **34**: 686-703.
- CERVENY, V., and PŠENSIK, I. 1988: Program for computing ray synthetic seismograms in 2D laterally inhomogeneous, Czech.
- JAPSEN, P. 1993: Influence of Lithology and Neogene Uplift on Seismic Velocities in Denmark: Implications for Depth Conversion of Maps. *The AAPG*, **77**, n. 2, 194-211.
- SCHLEICHER, J., TYGEL, M., & HUBRAL, P. 1993: 3-D True-Amplitude Finite-Offset Migration. *Geophysics*, **58**(8): 1820-1830.
- SCHNEIDER, Jr. W. A., RANZINGER, K. A., BALCH, H. & KUSE, C. 1992: A dynamic programming approach to first arrival travelttime computation in media with arbitrarily distributed velocities. *Geophysics*, **57**(1): 39-50.
- URBAN, J. 1999: Two-Dimensional True-Amplitude Migration and Introduction to 2.5-D Case. Master Thesis. Federal University of Pará, Brazil (en portugués).
- VIDALE, J. 1988: Finite-difference calculation of the travel times. *BSSA*, **78**(6): 2062-2076.