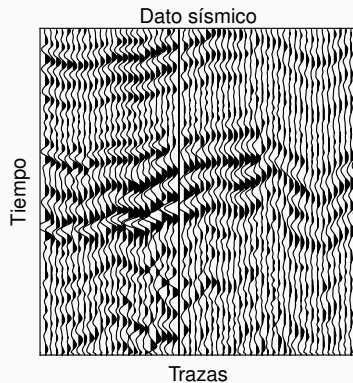
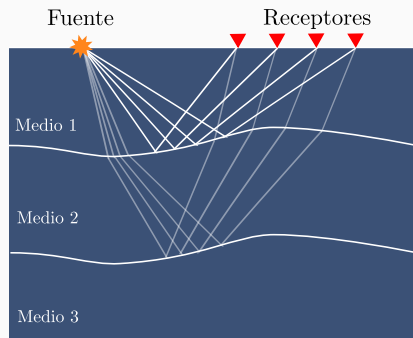


Herramientas Computacionales para Científicos

Profesores: Manuel Carlevaro y Luis Pugnaroni

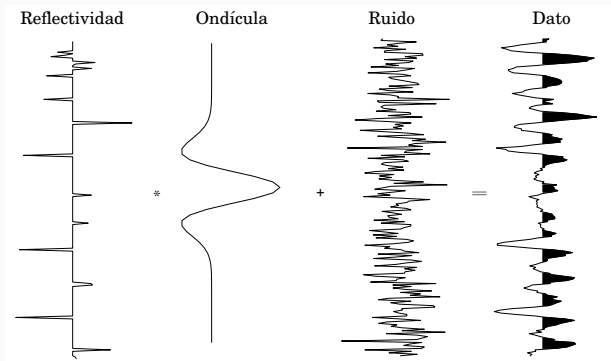
Estudiante: Gabriel Gelpi

Sísmica de reflexión



Las trazas sísmicas pueden ser modeladas como la convolución de una ondícula sísmica (fuente) con una serie de coeficientes de reflexión(modelo del subsuelo) mas algún ruido aditivo.

Matemáticamente esto se expresa como: $s = w * r + n$ (o matricialmente $s = Wr + n$)



ver script sintetico.py

La estimación de la ondícula sísmica es parte fundamental del flujo de trabajo asociado al procesamiento e interpretación de datos sísmicos. Generalmente es difícil obtener buenos estimadores de la ondícula, particularmente de su fase.

¿Por qué es necesario una buena estimación de la ondícula sísmica?

- Mejora la imagen sísmica para interpretar,
- Permite un mejor atado de pozo (*well-ties*),
- Es indispensable para una correcta inversión de traza.

- En este contexto existen varias técnicas para obtener una estimación confiable de la ondícula y que permita encontrarla directamente del dato sin depender de otro tipo de información, como ser los pozos exploratorios.
- Esta tarea se puede dividir en dos partes: Estimación de la amplitud y estimación de la fase (mas complicado).
- La propuesta es trabajar con la Kurtosis. Este es un método estadístico vastamente estudiado y utilizado en software comercial para las etapas de procesamiento e interpretación geofísica/geológica en la industria petrolera.
- La implementación la realicé siguiendo el trabajo de van der Baan 2008.

Según este método la fase óptima es estimada aplicando una serie de rotaciones de *fase constante* al dato sísmico. El ángulo correspondiente al valor máximo de la kurtosis determina el valor mas probable de la fase.

La kurtosis normalizada de un serie discreta de tiempo $s(t)$ se puede expresar como:

$$C = N \frac{\sum_{i=1}^N s_n^4}{(\sum_{i=1}^N s_n^2)^2} - 3$$

La rotación de las trazas sísmicas se realiza mediante la Transformada de Hilbert Generalizada:

$$s_t^{rot} = \cos(\phi)s_t + \sin(\phi)H[s_t] \quad (1)$$

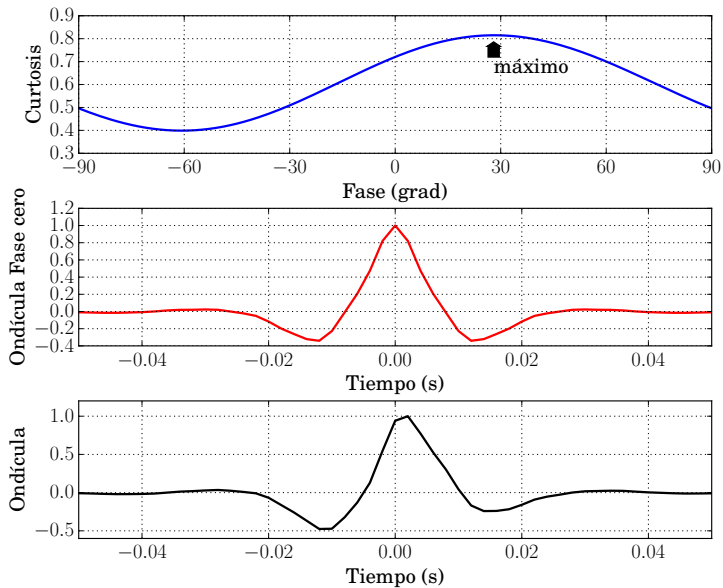
El espacio de búsqueda se define mediante una grilla con ángulos de prueba ϕ entre -90 y 90 grados. La kurtosis se promedia sobre varias trazas para asegurar robustes.

El espectro de amplitud de la ondícula no supone mayores dificultades, al menos a fines prácticos. Para estimarlo:

- Se realiza el promedio de los espectros de amplitud de todas las trazas disponibles.
- Se multiplica la señal promediada por una ventana temporal: Hanning, **Hamming**, Bartlet, triangular, etc... asegurando que el espectro de amplitud se vaya a cero hacia la frecuencia de Nyquist.

Este procedimiento permite obtener una ondícula de fase cero con la opción de agregar información que se tenga a *a priori* sobre la longitud de la ondícula.

ver script fase.py



La deconvolución es un paso del procesamiento sísmico donde se busca comprimir o remover el efecto de la ondícula atenuando ruido (múltiples de corto período y reverberaciones) y mejorando la resolución temporal. De esta manera se obtiene una representación del subsuelo (reflectividad).

Existen muchas técnicas de deconvolución:

- Determinista/estadística
- Dominio Tiempo/frecuencia
- Exacta/aproximada
- otras...

En este caso, dado que ya tenemos la ondícula, nos inclinamos por la deconvolución determinista.

La deconvolución se realiza de forma independiente para cada traza del dato, y es tratada como un problema de inversión donde, dada la ondícula y el dato el objetivo es la reflectividad. Se minimiza la siguiente función de costo:

$$J(x) = \|Wx - s\|_2^2 + \lambda \|x\|_1,$$

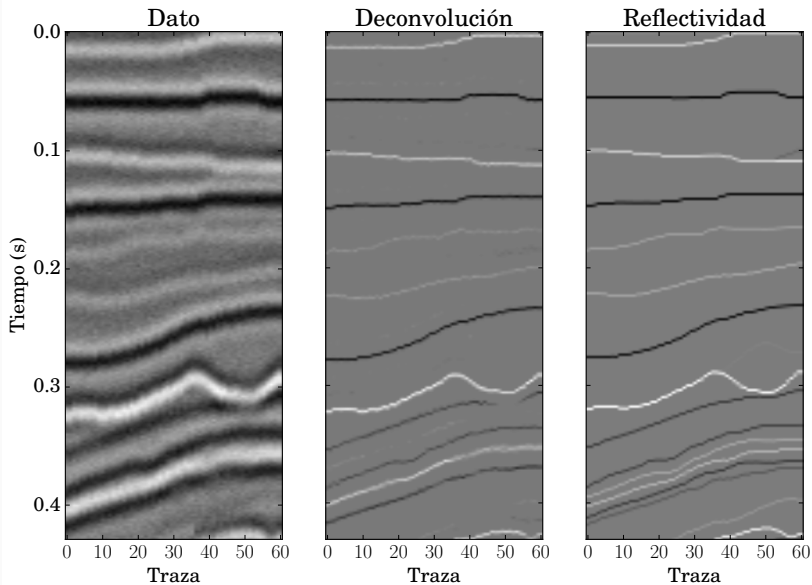
Esto se puede resolver utilizando *Iterative Reweighted Least Squares* (IRLS). En cada paso iterativo del algoritmo se resuelve el sistema de ecuaciones dado por:

$$x = [W^T W + \lambda Q(x)]^{-1} W^T s, \quad (2)$$

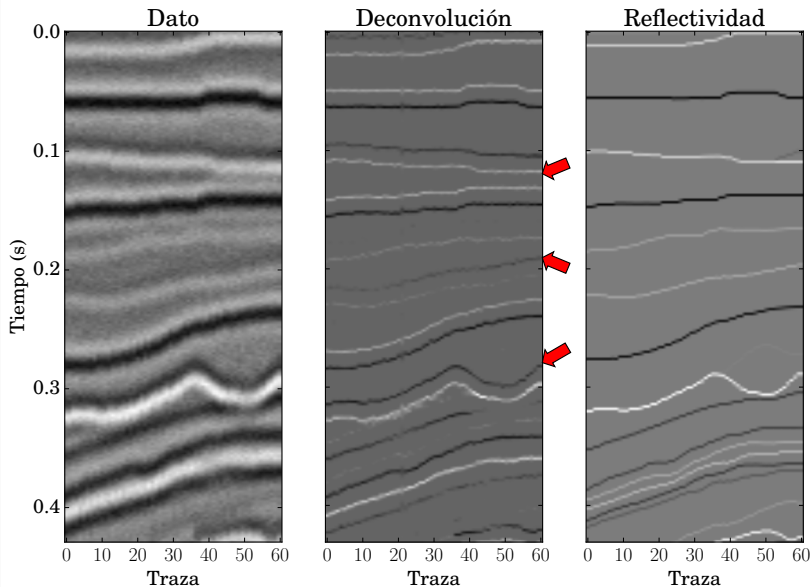
donde Q es una matriz diagonal que depende de la solución x en dicha iteración.









ver script fase.py

Resultados: deconvolución con ondícula de fase "correcta"



Resultados: deconvolución con ondícula de fase incorrecta



-  van der Baan M., Time-varying wavelet estimation and deconvolution by kurtosis maximization, 2008, Geophysics, v11-v18.
-  Sacchi, M. D., Reweighting strategies in seismic deconvolution, 1997, Geophys. J. Int., 651-656.
-  Apunte de cátedra, 2015, Herramientas de python para científicos.
-  Apunte de cátedra, 2015, Introducción al análisis espectral.
-  Yilmaz, O., Seismic data processing: processing, inversion and interpretation of seismic data , 2001, Soc. Expl. Geophys..
-  Scipy: <https://www.scipy.org/>
-  Numpy: <http://www.numpy.org/>
-  Matplotlib: <https://matplotlib.org/>