

Obtención de mapas de Fold mediante algoritmo en FORTRAN 90

Informe: Física Computacional

Andrés Costa

5 de diciembre de 2021

Se desarrollo un algoritmo en el lenguaje FORTRAN 90 enfocado en la etapa inicial de la prospección, el diseño y adquisición de datos. Con la intención de poder realizar el calculo del fold para un deseado arreglo ortogonal de geofonos y puntos de disparo. Como medio para realizar un mapa que indique la distribución del fold de cobertura se utilizo la biblioteca DISLIN, la cual esta enfocada en el graficado de datos.

Previo a la explicación del código realizado es requerido hacer una breve introducción a la temática que el mismo trata.

1. Breve introducción a la adquisición sísmica

La prospección sísmica es un método geofísico en el que se utiliza una fuente de energía para generar ondas elásticas que se propagan por el subsuelo; atravesando capas de roca con diferentes propiedades físicas y litológicas de interés. Las ondas van a experimentar una partición de energía cada vez que encuentran a su paso una interfaz entre dos capas con velocidades y densidades diferentes. De esta manera una parte se va a reflejar y otra a transmitir.

La energía que se refleja va a generar campos de ondas que van a llegar a superficie y van a ser captados por receptores (Geofonos).

1.1. Captura de reflexiones

Los geofonos van a detectar, tanto la energía reflejada como el ruido no deseado. Estos arribos se registran en medios digitales. Después de registrar cada shot el equipo es cambiado de lugar y se repite el procedimiento.

1.2. Mejora de la señal

Para mejorar la señal se ordenan las trazas sísmicas registradas en un mismo CMP para posteriormente sumarlas (stacking), de esta manera se consigue una mejor relación señal/ruido; esto debido a que las reflexiones que se observan en la traza se van a reforzar de forma constructiva mientras que el ruido aleatorio se va ver reducido.

El fold que vamos a obtener en un determinado punto nos va a determinar cuantas trazas vamos a poder sumar en un determinado CMP.

1.3. Fold de cobertura

Para entender el concepto de fold es necesario introducir un par de conceptos básicos:

1.3.1. Líneas Receptoras

En los arreglos ortogonales vamos a encontrar que los geofonos se encuentran dispuestos según una determinada cantidad de líneas receptoras (NLR) que van a estar compuestas por un determinado numero de receptores (NR) por línea.

1.3.2. Líneas de Disparo

De forma análoga a las líneas receptoras vamos a tener a las de disparo. En este caso vamos a tener que la dirección en que se disponen estas líneas es perpendicular a las receptoras. En este caso también vamos a tener un determinado numero de líneas (NLS) y una dada cantidad de disparos por línea (NS).

1.3.3. Punto Medio Comun (CMP):

Se llama CMP al punto que tenemos entre cada geofono y cada punto de disparo.

1.3.4. CMP bin

Un CMP bin es un área rectangular que contiene a todos los midpionts asociados a un mismo CMP. La totalidad de las trazas que caen en un dado bin van a sumarse. En el caso de arreglos ortogonales se suele utilizar un bin cuadrado con un lado $l = 25m$

Teniendo en cuenta estos conceptos podemos entender que el fold de cobertura va a representar el numero de trazas que se van a ubicar en un mismo CMP bin y posteriormente se sumaran. Este concepto es importante debido a que durante la etapa del diseño de la adquisición es preciso

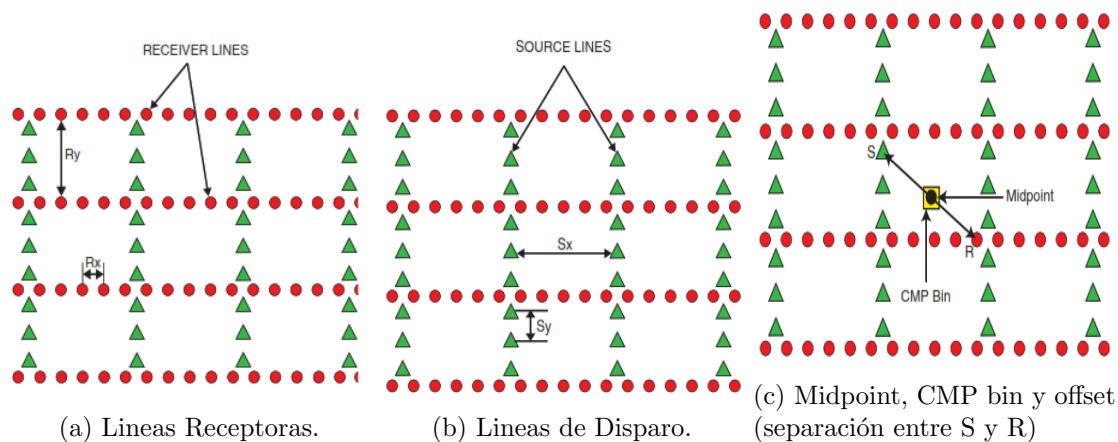


Figura 1: Conceptos asociados a la adquisición sísmica 3D.

saber cual es el fold de cobertura necesario para que determinados eventos de la sección sísmica (o bloque sísmico) se aprecien con claridad.

1.3.5. Offset

Es la separación entre los puntos de disparo y los geofonos.

Para terminar de definir el offset de un arreglo es necesario definir cual va a ser la posición del primer receptor y del primer punto de disparo dentro de nuestra geometría. Por ejemplo: en las imágenes de la figura 1 podemos considerar al primer receptor en la posición $(0, 0)$, mientras que el primer punto de disparo se va a ubicar en $(\frac{R_x}{2}, \frac{R_x}{2})$. Generalmente se utiliza una posición inicial igual a la mitad de la separación entre geofonos y disparos.

Teniendo en cuenta estos parámetros vamos a ser capaces de diseñar una geometría de adquisición 3D ortogonal.

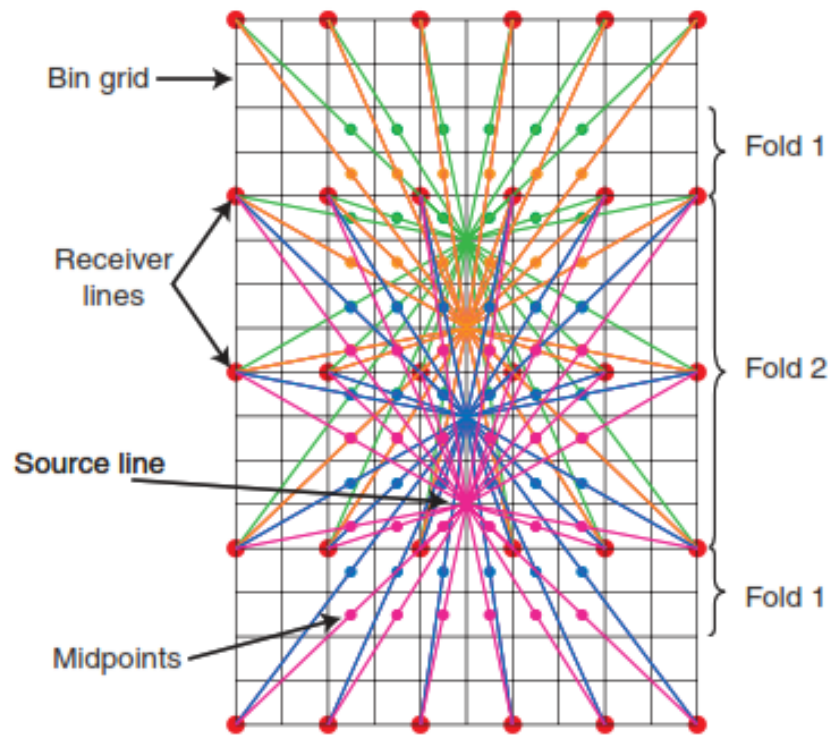


Figura 2: Ejemplo del calculo del fold para una configuración sencilla.

2. Consideraciones del Código

El código fue ideado para realizar el calculo de fold siguiendo ciertas consideraciones en cuanto a los datos a analizar:

- Se debe trabajar con un arreglo ortogonal de fuentes y receptores.
- La separación entre los receptores de una misma linea receptora debe ser igual a la de las fuentes en una misma linea fuente.
- Las celdas bin van a ser cuadradas y con un lado igual a la mitad de separación mencionada en el punto anterior.

3. Utilidades del Código

El programa desarrollado tiene la posibilidad de trabajar según dos modalidades en las cuales los datos de entrada tienen diferentes características.

3.1. Modo 1

En este modo podemos crear y analizar un arreglo sintético, el cual se va a generar a partir de los parámetros de adquisición que ingrese el usuario. Luego se determinara el tamaño de una grilla de bin en la que tendremos los valores de fold asociado a cada celda. Finalmente vamos a obtener, un gráfico del fold según una escala de colores.

Esta modalidad es particularmente útil para diseñar arreglos ortogonales. El programa nos solicitara que introduzcamos los siguientes parámetros:

- Numero de lineas receptoras.
- Numero de receptores por linea.

- Separación entre receptores.
- Separación entre líneas receptores.
- Numero de líneas de disparo
- Numero de disparos por línea.
- Separación entre puntos de disparo.
- Separación entre líneas de disparo.
- Posición inicial del primer disparo (respecto del primer geofono).

3.2. Modo 2

En este modo tenemos la posibilidad de introducir dos archivos de entrada: 'R.in' y 'S.in'. Cada uno tiene dos columnas con las posiciones x e y (en ese orden) de los receptores y los puntos de disparo respectivamente.

En este caso vamos a introducir en el programa un arreglo previamente definido. Esto es útil para estudiar como fue el fold con el que se trabajo durante una campaña ya realizada. Cabe mencionar que en este modo no es necesario que las separaciones involucradas sean constantes; dado que este modo fue pensado para ubicar los midpoints dentro de su celda correspondiente.

4. Flujo de Trabajo

Inicialmente se diagramo un flujo de trabajo con todas las tareas que el programa realiza para obtener un grilla con el fold en cada celda bin.

Cada una de esas tareas fueron programadas como un conjunto de subrutinas que posteriormente se agruparon en un modulo que trabaja en conjunto con el programa principal.

El funcionamiento de las subrutinas se detalla a continuación.

4.1. Subrutinas:

- Geometría: Realiza un arreglo de coordenadas regulares, con la posición de todos los puntos pertenecientes a una secuencia de hileras con una separación entre cada punto de una misma hilera y una separación entre las hileras de la geometría.
- Longdata: Calcula la longitud de un determinado archivo utilizando la función IOSTAT de FORTRAN.
- Readdata: Realiza la lectura de un archivo compuesto por dos columnas con datos y los almacena en una nueva variable de salida.
- Midpoints: Realiza el calculo de la ubicación de todos los puntos medios dados entre cada punto de disparo con cada punto de recepción.
- Cmpcell Ubica las posiciones de de los midpoints dentro de una grilla (bingrid) de celdas con un lado de 25 m. Esta subrutina también es capaz de trabajar con posiciones reales.
- Zerogrid Fabrica una grilla inicial donde cada elemento de la misma es un cero, esto para posteriormente incrementar el valor de cada celda en función del fold que presenta.

4.2. Obtención del Fold

El programa registra la longitud de los archivos de entrada (longdata) y posteriormente realiza la lectura de los mismos (readdata) Se utilizan los datos de las posiciones de cada disparo y cada receptor para realizar el calculo de los midpoints según las siguientes ecuaciones:

$$M_x = \frac{S_x + R_x}{2}$$

$$M_y = \frac{S_y + R_y}{2}$$

Luego se calcula la ubicación de cada uno de los CMP dentro de una grilla (índices i y j) llamando a la subrutina cmpcell.

Posteriormente se utilizan los mencionados índices para sumar todos CMP que se ubican dentro de cada celda. Para eso partimos de una grilla de ceros (zerogrid) y en un DO LOOP que analiza la ubicación de cada CMP obtenida con cmpcell sumamos 1 en la celda que corresponda; hasta que todas las celdas tengan el valor de fold propio del arreglo.

4.3. Output

Luego de ejecutar el programa obtendremos varios archivos de salida:

- FOLD.out: Es una grilla con valores de fold donde se puede analizar el comportamiento numérico de los resultados.
- Reporte.out: En un archivo donde encontramos los parámetros de ejecución del programa.
- PlotInput.dat: Es un archivo que se utiliza como input durante la ejecución del graficador.

4.4. Graficador

Una vez obtenido el archivo 'inputplot.dat' tras la ejecución del programa principal, utilizamos el script del graficador ('grafico.f90') con estos datos.

Se realiza la lectura de los archivos 'inputplot.dat' y 'Reporte.out', de donde obtendremos, los datos de cada CMP bin (Posición y fold) y el tamaño de la grilla, respectivamente.

Luego de la lectura de datos el script utiliza las subrutinas de la librería DISLIN para realizar el gráfico. En nuestro caso se utiliza la subrutina 'curve3'.

Como salida obtenemos el gráfico con el formato PNG y un reporte con algunos parámetros de los datos de entrada.

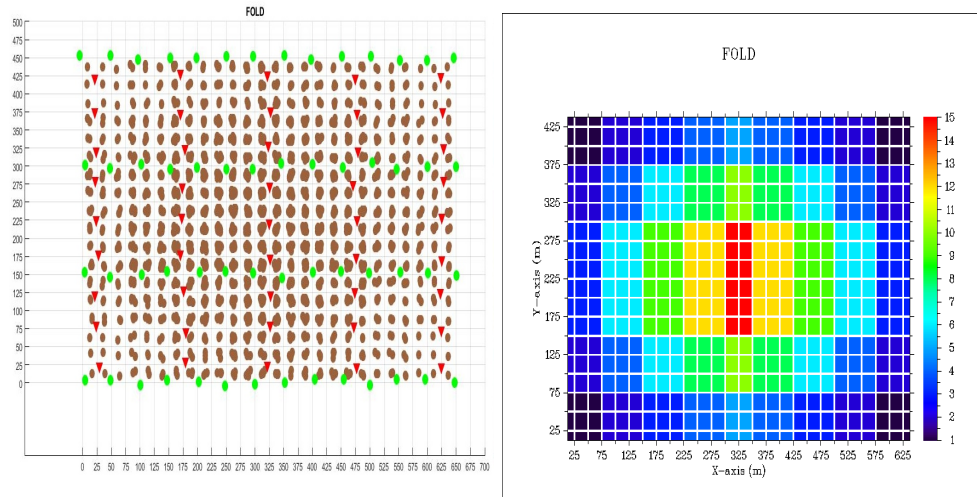
5. Implementación del Código

El código fue utilizado en algunos casos de interés en donde se pudo aprovechar las dos modalidades que ofrece el programa. Y modificar algunos parámetros de ejecución.

5.1. Caso 1

En este caso se realizó el calculo y graficado del fold para una geometría que simula una adquisición real. Para esto se realizó un diseño sintético al cual se le agregó una variación aleatoria de 10 metros.

Una vez obtenidos los datos, estos fueron introducidos en el código utilizando la segunda modalidad del mismo. La subrutina 'cmpcell' estableció la ubicación de los CMP asignándole a cada uno sus correspondientes índices dentro de la grilla de bin. En la figura 3 se puede observar como esta dada la distribución de Receptores, disparos y CMPs. Podemos ver como la densidad de midpoints aumenta hacia el centro del arreglo; sitio que coincide con los valores de fold mas elevado, como se ve en la imagen realizada utilizando el código.



(a) Caso 1: Arreglo de receptores (puntos verdes) y disparos (triangulos rojos), y CMPs consecuentes (Puntos marron). (b) Caso 1: Mapa de fold producto de la configuración establecida.

Figura 3: Relacion entre la configuración de receptores, disparos y el fold.

5.2. Caso 2

Para este caso se utilizo la primera modalidad del código. Se establecieron los parámetros de adquisición requeridos y el mismo programa genero un arreglo sintético de receptores y disparos. De esta forma, a partir del input establecido fue posible obtener rápidamente un mapa con los valores de fold asociados a cada una de las celdas.

En este caso se quiso realizar el gráfico de un arreglo que respete las dimensiones de una proyecto de adquisición real.

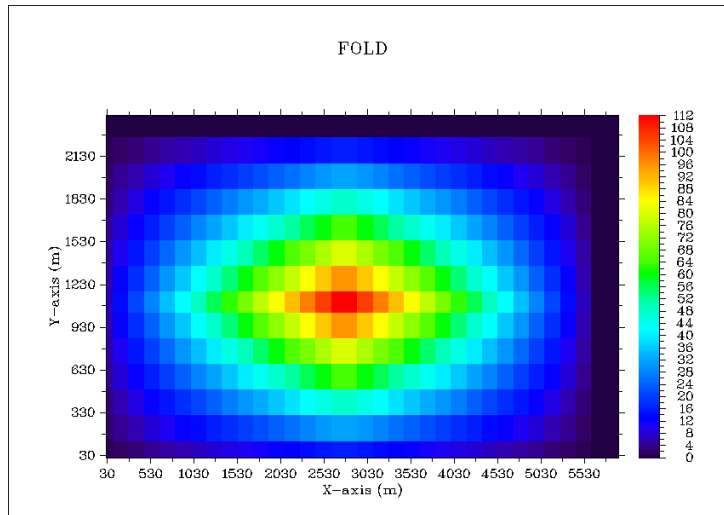


Figura 4: Mapa de fold para el caso 2.

En la figura 4, podemos ver el fold asociado a un arreglo con las siguientes características:

- Numero de geofonos por linea: 100
- Numero de lineas receptoras: 7
- Separación entre receptores: 60m
- Separación entre lineas receptoras: 360m

- Numero de disparos por linea: 41
- Numero de lineas de disparo: 16
- Separación entre disparos: 60m
- Separación entre lineas de disparo: 360m
- Ubicación del primer disparo: $X_0 = 30m$ $Y_0 = 30m$

5.3. Caso 3

Un caso que puede resultar de interés, a la hora de ejecutar el programa realizado, puede ser el verificar la siguiente relación:

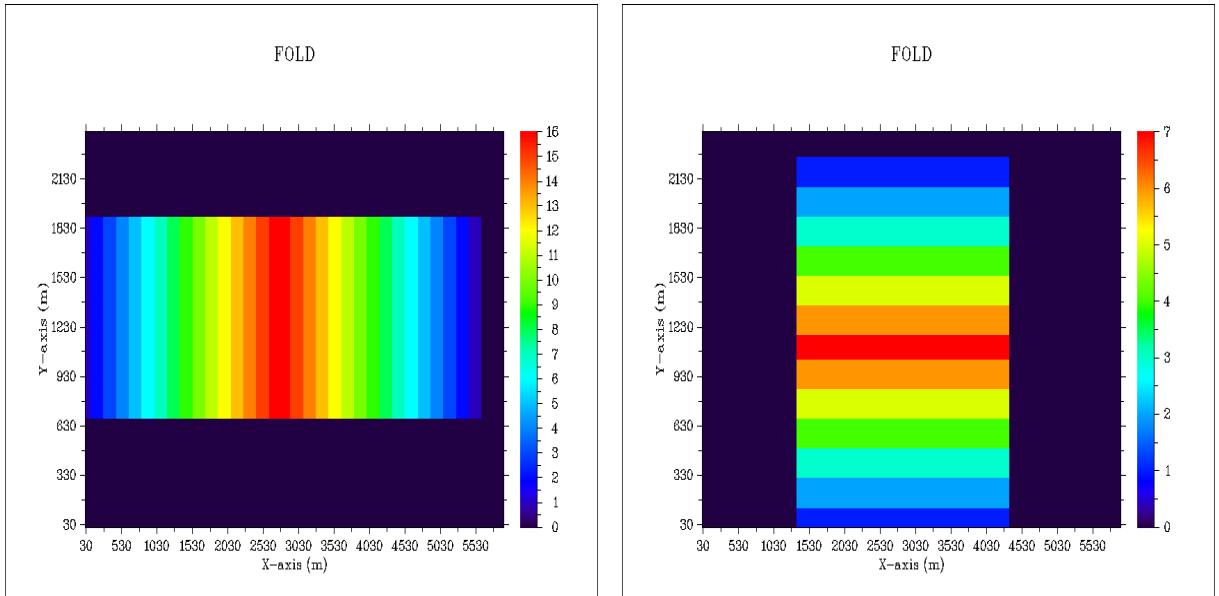
$$TotalFold = InlineFold \times CrosslineFold$$

Para esto es preciso definir un arreglo de geofonos y puntos de disparo, y ejecutar el programa en tres oportunidades:

1. Introducimos en el programa los parámetros de adquisición de nuestro arreglo, modificando e igualando a 1 el numero de lineas de receptores y observamos el máximo valor de fold obtenido. De esta manera calculamos el In-Line Fold.
2. De forma análoga al punto anterior pero para el caso de una sola linea de disparos y la totalidad de las lineas receptoras, podemos observar el valor del Cross-Line Fold.
3. Finalmente, podemos introducir los parámetros originales de nuestro arreglo y corroborar el cumplimiento de la ecuación anterior.

En la figura 5 podemos ver el gráfico del In-line Fold y del Cross-Line Fold, luego podemos corroborar el fold total con el gráfico previo de la figura 4.

En la figura 5 se utilizaron nuevamente los parámetros del caso 2 pero con una única linea receptora ubicada en $y_0 = 1440m$ para el calculo del inline fold; y con una única linea de disparos ubicada en $x_0 = 2910m$ para el caso del CrossLine Fold.



(a) Caso 3: Inline Fold.

(b) Caso 3: CrossLine Fold.

Figura 5: Mapas de fold tras modificar las dimensiones del arreglo realizado para el caso 2.

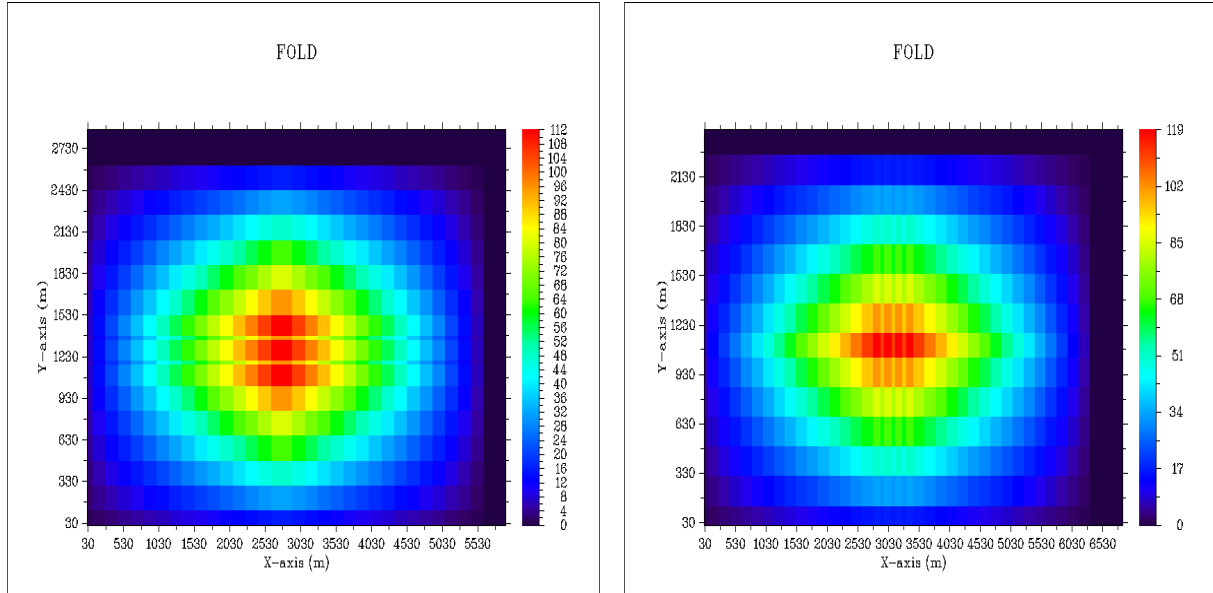
Observando los gráficos realizados podemos ver que:

$$TotalFold = InlineFold \times CrosslineFold = 16 \times 7 = 112$$

5.4. Caso 4

Finalmente puede resultar de interés ver los efectos causados en el mapa de fold como consecuencia de modificar la longitud de un arreglo.

Es posible que para poder estudiar determinadas estructuras se desee incrementar la longitud del arreglo para poder obtener un mayor fold de cobertura, sin embargo hay que tener especial cuidado al momento de realizar estas modificaciones, debido a que podemos encontrar irregularidades indeseables en el mapa de fold.



(a) Caso 4: 2 líneas receptoras adicionales respecto al caso 2.

(b) Caso 4: 4 líneas de disparo adicionales respecto al caso 2.

Figura 6: Mapas de fold tras modificar las dimensiones del arreglo realizado para el caso 2.

Estas irregularidades no son deseables debido a que dos trazas producto de un stacking de distintos números de CMPs van a tener un aspecto muy distinto.