

DÙNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH BIÊN ĐA TỈ LỆ MED (MULTISCALE EDGE DETECTION) ĐỂ XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ VÀ ĐỘ SÂU CỦA CÁC DỊ THƯỜNG TỪ Ở VÙNG NAM BỘ

Dương Hiếu Đầu¹, Trần ngọc Chánh¹ và Đặng Văn Liệt²

ABSTRACT

In recent years, several researchers have used the digital image processing method with the help of continues Wavelet transform to solve the inverse potential field problems of geophysics interpretation. For this reason, we use the multiscale edge detection (MED) technique and a complex wavelet, so-called Poisson–Hardy wavelet to determine the horizontal positions and the depths of the sources from the measured geomagnetic field data of Mekong Delta.

Keywords: *Inverse potential field problems, Multiscale edge detection, Wavelet poisson-hardy*

Title: *Using the Med method to determine the locations and the deapths of geomagnetic sources in the Mekong Delta*

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, có nhiều nhà nghiên cứu đã dùng phương pháp xử lý trên ảnh kỹ thuật số với công cụ hỗ trợ hùng mạnh của phép biến đổi wavelet liên tục để giải quyết các bài toán ngược của trường thế trong ngành phân tích Địa vật lý. Cũng với mục đích đó, chúng tôi dùng kỹ thuật phát hiện các biên đa tỉ lệ (MED) và hàm wavelet phức gọi là wavelet Poisson Hardy để xác định vị trí và độ sâu của các nguồn từ trường trên số liệu đo thực tế ở vùng đồng bằng Nam Bộ.

Từ khóa: *Bài toán ngược trường thế, phát hiện các biên đa tỉ lệ, Wavelet Poisson-Hardy*

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong công tác thăm dò khoáng sản và dầu khí để khai thác các nguồn tài nguyên thiên nhiên phục vụ cho nền kinh tế quốc gia, người ta thường chú ý đến việc giải bài toán ngược của trường thế. Bài toán xuất phát từ dị thường quan sát tại mặt đất, ta đi xác định vị trí và tính chất các dị vật tạo ra nó. Đây là một công việc nhiều khó khăn do tính đa trị của lời giải và các công cụ dùng để thực hiện. Từ thập niên 1970, người ta đã sử dụng các phương pháp đặt cơ sở trên đạo hàm theo phương ngang và phương thẳng đứng của trường quan sát để xác định nguồn của dị vật khá hữu hiệu như phương pháp giải tích tín hiệu, phương pháp giải chập Euler. Trong những năm gần đây, người ta chú ý vào các kỹ thuật xử lý ảnh số dùng biến đổi wavelet, để áp dụng vào việc phân tích các bài toán trường thế. Trong nghiên cứu này, chúng tôi áp dụng lý thuyết của Mallat, S. & Hwang, W.L. (1992) - Dùng phân tích wavelet và cách xác định điểm kỳ dị bằng phương pháp biên đa tỉ lệ cho việc xử lý ảnh để áp dụng lý thuyết trường thế và xây dựng một hàm wavelet phức

¹ Khoa Khoa Học Đại học Cần Thơ

² Đại học Khoa học Tự nhiên TP HCM

có tên là wavelet phức Poisson-Hardy. Chúng tôi sử dụng nó để xác định vị trí và độ sâu của dị vật (nguồn) gây nên trường dị thường từ quan sát trên mặt đất hoặc trên không nằm bên trên nguồn.

2 PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET LIÊN TỤC MỘT CHIỀU (1D)

Phép biến đổi wavelet liên tục dùng hàm khai triển wavelet $\psi(x) \in L^2(\mathbf{R})$ lên tín hiệu một chiều $f(x) \in L^2(\mathbf{R})$ cho bởi:

$$W(s, b) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\psi\left(\frac{b-x}{s}\right)} dx = \frac{1}{\sqrt{s}} (f * \overline{\psi}) \tag{1}$$

với, $s \in \mathbf{R}^+$ là tham số tỉ lệ và $b \in \mathbf{R}$ là tham số vị trí (độ dịch chuyển), $L^2(\mathbf{R})$ là không gian Hilbert của các hàm một chiều mà năng lượng của nó là hữu hạn và $\overline{\psi}(x)$ là lượng liên hiệp phức của $\psi(x)$ cũng là hàm wavelet được dùng trong khai triển tín hiệu. Như vậy, khi thực hiện biến đổi wavelet liên tục lên một tín hiệu $f(x)$ ta được các hệ số khai triển wavelet $W(s, b)$ là hàm theo hai biến là tỉ lệ và không gian. Phép biến đổi wavelet liên tục có thể sử dụng nhiều dạng hàm khai triển wavelet khác nhau sao cho kết quả mong muốn là tốt nhất.

3 PHƯƠNG PHÁP TÍNH BIÊN ĐA TỈ LỆ

Phương pháp tính các biên đa tỉ lệ MED bao gồm việc tìm các hàm wavelet thỏa tính chất giống như các đạo hàm có bậc khác nhau của một hàm làm trơn tín hiệu ở các mức tỉ lệ s khác nhau và nguyên lý về việc xác định các điểm kỳ dị trên tín hiệu.

Hàm làm trơn tín hiệu $\theta(x)$ là một toán tử được chọn có đáp ứng xung của một phép lọc thông thấp, hàm này có tích phân bằng một và có khuynh hướng tiệm cận về zero ở vô cực. Hàm θ được chọn có đạo hàm đến bậc n để ta có thể tính được các hàm wavelet nhiều cấp theo các công thức lần lượt như sau:

$$\psi^{(1)}(x) = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2}, \psi^{(2)}(x) = \frac{d^3\theta(x)}{dx^3} \text{ và } \psi^{(n)}(x) = \frac{d^n\theta(x)}{dx^n} \tag{2}$$

Ký hiệu phiên bản của hàm wavelet ψ ở tỉ lệ s là:

$$\psi_s(x) = (1/\sqrt{s}) \cdot \psi(x/s) \tag{3}$$

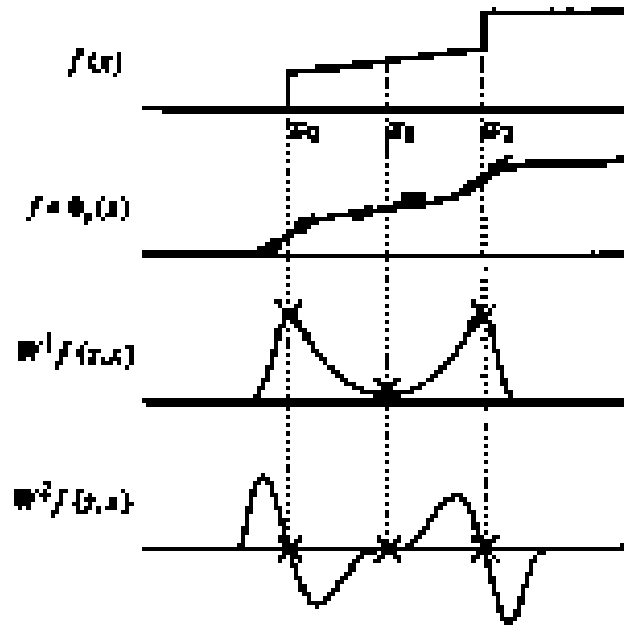
Thực hiện lần lượt biến đổi wavelet $\psi^{(1)}, \psi^{(2)} \dots \psi^{(n)}$ với một hàm tín hiệu $f(x)$ ở tỉ lệ s và vị trí x (độ dịch chuyển) được cho bởi các công thức sau:

$$W_s^1 f = f * \psi_s^1 = f * \left[s \frac{d\theta_s(x)}{dx} \right] = s \frac{d}{dx} (f * \theta_s) \tag{4}$$

$$W_s^2 f = f * \psi_s^2 = f * \left[s^2 \frac{d^2\theta_s(x)}{dx^2} \right] = s^2 \frac{d^2}{dx^2} (f * \theta_s) \tag{5}$$

$$W_s^n f = f * \psi_s^n = f * \left[s^n \frac{d^n\theta_s(x)}{dx^n} \right] = s^n \frac{d^n}{dx^n} (f * \theta_s) \tag{6}$$

Các biến đổi wavelet $W_s^1 f$; $W_s^2 f \dots W_s^n f$ lần lượt là đạo hàm bậc một, bậc hai và bậc thứ n của tín hiệu đã được làm trơn ở tỉ lệ s. Như vậy, vị trí các cực trị địa phương của $W_s^1 f$ sẽ ứng với vị trí của các giao điểm-zero (còn gọi là các ‘đấu vân tay’) của $W_s^2 f$ theo mô tả ở Hình 1 (cũng là vị trí của điểm uốn của tín hiệu sau khi được làm trơn ở tỉ lệ s cho bởi tích chập $f * \theta_s$).



Hình 1: Tín hiệu đo của từ trường trên một tuyến ngắn qua Trà Vinh với bước đo 1 km

Trên cùng là dạng tín hiệu đo gián đoạn. Tiếp sau là tín hiệu sau khi qua bộ lọc làm trơn ở tỉ lệ s; Gần cuối là khai triển wavelet bậc nhất với các vị trí đánh chéo là cực đại của modul biến đổi wavelet bậc nhất và dưới cùng là khai triển wavelet bậc hai chứa các giao điểm-zero ở cùng vị trí của các điểm kỳ dị

Để xác định các điểm kỳ dị trên tín hiệu ta xuất phát từ phương trình (4), ở đó biến đổi wavelet $W_s^1 f$ là đạo hàm bậc nhất của tích chập ($f * \theta_s$), nên cực đại của $|W_s^1 f|$ ứng với sự thay đổi nhanh của ($f * \theta_s$) và chúng được giải đoán là vùng mà cường độ thay đổi nhanh (kỳ dị) nên là các biên hay cạnh của tín hiệu ($f * \theta_s$). Từ yếu tố này ta có thể xác định các điểm kỳ dị trên tín hiệu (các điểm mà tốc độ thay đổi của tín hiệu là cực lớn). Theo Fedi et al., 2004, các đường nối liền các cực đại địa phương của các hệ số wavelet ứng với các tỉ lệ s khác nhau gọi là các đường cực đại của biến đổi wavelet hay là những gò (đỉnh) (ridges) sẽ tương ứng với các giao điểm-zero của $W_s^2 f$ cho nên tìm các giao điểm-zero của $W_s^2 f$ sẽ giúp ta xác định nhanh các điểm kỳ dị và nó có mối quan hệ chặt chẽ với vị trí nguồn dị vật gây ra dị thường từ quan sát.

4 HÀM WAVELET POISSON - HARDY

Để xác định các giao điểm-zero, Grossmann, A. và ccs. đã đề nghị sử dụng hàm wavelet phức Hardy:

$$\psi^{(4)}(x) = \psi^{(2)}(x) + i\psi^{(3)}(x) \tag{7}$$

trong đó, $\psi^{(2)}(x) = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2}$, $\psi^{(3)}(x)$ là biến đổi Hilbert của $\psi^{(2)}(x)$.

Theo Grossmann, những đường đẳng trị của biến đổi wavelet phức $\psi^{(4)}(x)$ với thành phần góc pha không đổi là các đường thẳng cắt nhau tại các giao điểm-zero tương ứng với các vị trí của các điểm kỳ dị có liên quan với vị trí nguồn điểm của trường .

Vậy ứng với các điểm kỳ dị trong mặt phẳng không gian-tỉ lệ (x, s) , các đường cực đại (xác định từ $|W_s^1 f|$) và các giao điểm-zero của $|W_s^2 f|$ (tương ứng với các đường thẳng mà có thành phần góc pha của $W_s^4 f$ là không đổi) trùng nhau; chúng có dạng hình nón và hội tụ về điểm kỳ dị nằm trên biên của tỉ lệ đồ.

Khi dùng MED cho bài toán từ của trường thế chúng ta cần chọn hàm làm trơn tín hiệu thích hợp (đáp ứng xung của một phép lọc thông thấp). Ở đây ta chọn toán tử chuyển trường lên trên từ công thức Dirichlet, biến đổi một trường điều hoà từ độ cao đo đạc chọn làm gốc lên độ cao h có dạng như sau:

$$\theta_{up}(x) = \frac{1}{\pi} \frac{h}{h^2 + x^2} \tag{8}$$

Hàm wavelet bậc nhất là đạo hàm bậc nhất của $\theta_{up}(x)$ theo “phương ngang” được tính là:

$$\psi^{(1)}(x) = \frac{d\theta_{up}(x)}{dx} = -\frac{2}{\pi} \times \frac{x/h}{(1 + \frac{x^2}{h^2})^2} \tag{9}$$

Dùng lại biến x ở dạng x/h ta có:

$$\psi^{(1)}(x) = \frac{d\theta_{up}(x)}{dx} = -\frac{2}{\pi} \times \frac{x}{(1 + x^2)^2} \tag{10}$$

Để xác định các giao điểm-zero, chúng tôi sử dụng hàm wavelet phức gọi tên là hàm wavelet Poisson-Hardy như sau:

$$\psi^{(4)}(x) = \psi^{(2)}(x) + i\psi^{(3)}(x) \tag{11}$$

trong đó, $\psi^{(2)}(x)$ là đạo hàm bậc hai của $\theta_{up}(x)$ theo “phương ngang” :

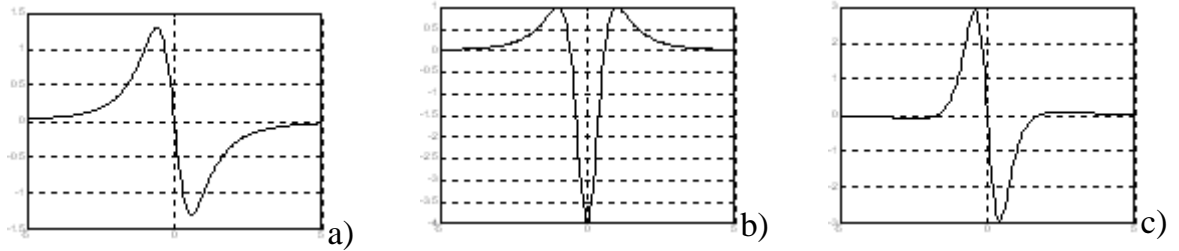
$$\psi^{(2)}(x) = \frac{d^2\theta_{up}(x)}{dx^2} = \frac{d\psi^{(1)}(x)}{dx} = -\frac{2}{\pi} \times \frac{1-3x^2}{(1+x^2)^3} \tag{12a}$$

và $\psi^{(3)}(x)$ là biến đổi Hilbert của $\psi^{(2)}(x)$:

$$\psi^{(3)}(x) = \text{Hilbert}(\psi^{(2)}(x)) = \frac{2}{\pi} \times \frac{-3x + x^3}{(1+x^2)^3} \tag{12b}$$

Pha của hàm Poisson-Hardy $\psi^{(4)}(x)$ dùng để xác định các giao điểm-zero. Hình 2 là đồ thị của họ các hàm wavelet được sử dụng.

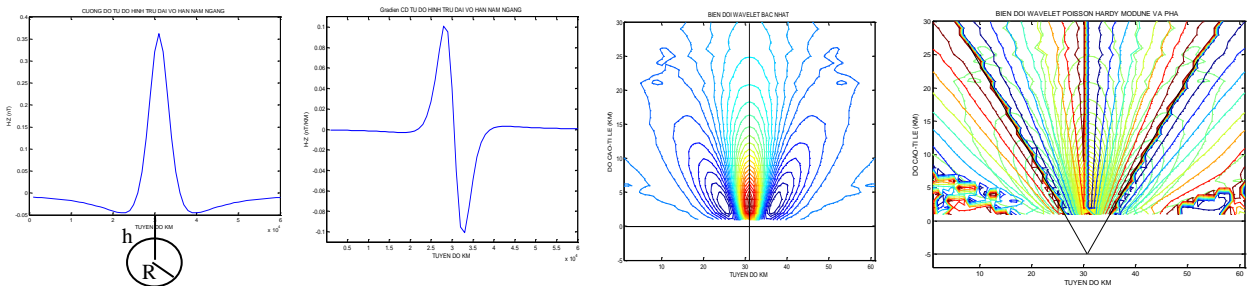
Trong thăm dò từ và trọng lực, trường quan sát nằm bên trên nguồn trường (điểm kỳ dị) một khoảng h , nên khi lấy biến đổi wavelet của trường và biểu diễn trong mặt phẳng không gian - tỉ lệ, các đường cực đại và các đường giao điểm zero sẽ hội tụ về nguồn trường nằm bên dưới biên của tỉ lệ đồ một đoạn là h .



Hình 2: Họ các hàm wavelet được sử dụng. (a): $\psi^{(1)}(x)$, (b): $\psi^{(2)}(x)$ và (c): $\psi^{(3)}(x)$

5 MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Để kiểm chứng phần lý thuyết, chúng tôi sử dụng mô hình dị thường từ tạo ra do một hình trụ dài vô hạn, nằm ngang có bán kính $R=4$ km, đặt song song với mặt phẳng lấy số liệu và có trục chính của hình trụ cách mặt đo một đoạn $h=5$ km. Sự từ hóa của hình trụ xảy ra theo phương thẳng đứng với độ từ hóa là 0.09 (đơn vị cơ bản). Tuyến đo dài 60km và hình trụ nằm giữa tuyến đo, bước đo thực hiện là 1 km. Hình 3c và 3d cho thấy, dùng biến đổi wavelet thành phần modune và pha của hàm wavelet Poisson-Hardy $\psi^{(4)}(x)$ tác động lên số liệu đo của gradien dị thường từ thành phần thẳng đứng, ta tìm được vị trí nguồn dị vật trùng với vị trí của tâm hình trụ có tọa độ $L=31$ km và độ sâu dị vật (nơi các đường đẳng pha của $\psi^{(4)}(x)$ gặp nhau) hình 3d có độ sâu là: $h = -s = 5$ km.



Hình 3a

Hình 3b

Hình 3c

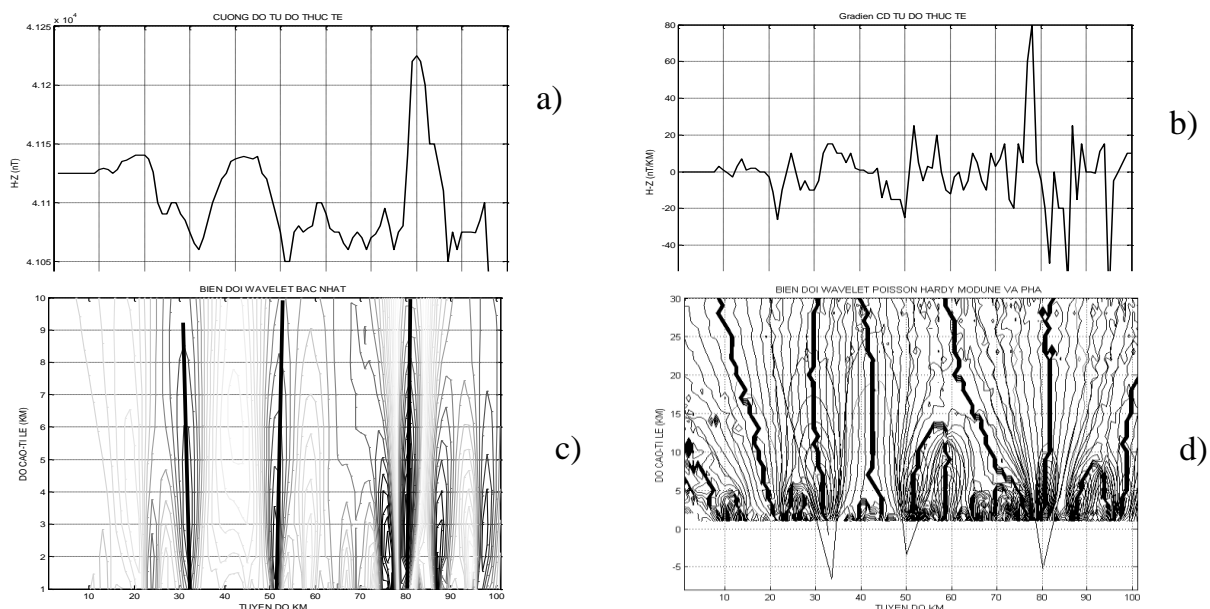
Hình 3d

Hình 3: Các dạng đồ thị của dị thường từ và gradien của dị thường từ cùng các đồ thị biến đổi wavelet trên gradien của dị thường từ với mô hình thử nghiệm

a) Đồ thị của dị thường từ thành phần thẳng đứng dọc theo tuyến đo tạo ra do một hình trụ dài vô hạn, nằm ngang. b) Đồ thị của gradien dị thường từ thành phần thẳng đứng dọc theo tuyến đo. c) Khai triển wavelet $\psi^{(1)}(x)$ của gradien dị thường từ thành phần thẳng đứng. Vị trí nguồn trường xác định từ các cực đại của độ lớn biến đổi wavelet $\psi^{(1)}(x)$. d) Khai triển wavelet $\psi^{(4)}(x)$ của gradien dị thường từ thành phần thẳng đứng. Dựa vào thành phần module và pha không đổi của $\psi^{(4)}(x)$ ta có thể xác định chính xác vị trí và độ sâu của nguồn dị vật.

6 PHÂN TÍCH TUYẾN ĐO TỪ Ở VÙNG ĐỒNG BẰNG NAM BỘ

Tuyến đo chạy dọc duyên hải từ Cà Mau đến Sóc Trăng, dài 100km, khoảng cách mỗi điểm cách nhau 1 km được lấy trên bản đồ cường độ 1/500.000. Hình 4a là dị thường từ thành phần thẳng đứng dọc theo tuyến đo và Hình 4b là gradien của dị thường từ thành phần thẳng đứng dọc theo tuyến đo dùng làm cơ sở cho phân tích wavelet.



Hình 4: Các dạng đồ thị của dị thường từ và gradient của dị thường từ cùng các đồ thị biến đổi wavelet trên gradient của dị thường từ với tuyến đo thực tế

Hình 4c là các hệ số của wavelet thực $\psi^1(x)$ cho thấy có ba dị thường từ dọc ven biển. Hình 4d là modun và pha của wavelet phức Poisson- Hardy $\psi^4(x)$. Các đường đẳng pha vì chịu ảnh hưởng của các dị thường nhỏ chung quanh nên không còn là những đường thẳng như khi phân tích cho các dị thường đơn. Do đó, khi nối các đường đẳng pha để xác định vị trí của dị vật và độ sâu, chúng tôi tham khảo đồ thị của Hình 4c để chọn lựa các đường đẳng pha hội tụ về nguồn gây ra dị thường. Kết quả cho thấy có ba dị vật có vị trí và độ sâu lần lượt ở Km thứ 33 độ sâu khoảng 6.5km ; Km thứ 50 độ sâu khoảng 3,3km ; Km thứ 81 độ sâu khoảng 5,1km.

7 KẾT LUẬN

Việc phân tích bài toán ngược trường thế bằng phương pháp xác định biên đa tỉ lệ với dữ liệu là gradient ngang của dị thường từ khu vực Nam Bộ cho ta các kết quả rất đáng quan tâm về vị trí và độ sâu của các dị vật tạo ra dị thường quan sát. Việc chọn hàm wavelet là đạo hàm bậc nhất và bậc hai theo phương ngang của nhân phép chuyển trường lên và việc xây dựng wavelet phức Poisson-Hardy là rất thích hợp cho kỹ thuật phân tích wavelet liên tục phối hợp phương pháp xác định biên đa tỉ lệ. Phương pháp này cần có những nghiên cứu sâu hơn về các thuộc tính đặc trưng của nguồn từ như hình dạng, độ phân cực từ, góc nghiêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- COOPER, G.R.J., 2005, The application of the continuous wavelet transform to potential field data, 9th SAGA Biennial Conference, Cape Town.
- FEDI, F., PRIMICERI, R., QUARTA, T., VILLANI, A.V., 2004, Joint application of the continuous wavelet and discrete wavelet transform on gravity data to identify shallow and deep sources, *Geophys. J. Int.* V. 136, 7 -21.
- HSU, S.K., SIBUET, J.C., SHYU, C.T., 1996, High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique, *Geophysics*, Vol.61, pp. 373-386.
- MALLAT, S., HWANG. W.L., 1992, Singularity detection and processing with wavelets, *IEEE Trans. On information Theory*, V. 38, 617-643.
- MOREAU, F, GIBERT, D., HOLSCHNEIDER, M., SARACCO, G., 1997, Wavelet analysis of potential fields, *Inverse Problems*, V.13, 165-178.
- MOREAU, F, GIBERT, D., HOLSCHNEIDER, M., SARACCO, G., 1999, Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform basic theory, *J. Geophys. Res.*, V.104, 5003-5013.
- NABIGHIAN, M.N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, Vol.37, pp. 507-517 .
- REID, A.B. et al., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, Vol 55, pp. 80-91
- THURSTON, J. AND SMITH, R., 1997, Automatic conversion of magnetic data to dept, dip, and susceptibility contrast using the SPI method, *Geophysics*, 62, 807 – 813