

CẢI THIỆN ĐỘ PHÂN GIẢI KHI XỬ LÝ TÀI LIỆU TỪ BẰNG BIẾN ĐỔI WAVELET

Dương Hiếu Đầu¹, Lương Phước Toàn¹ và Lê Minh Tùng²

ABSTRACT

The wavelet transform for multiscale edge detection (MED) was used in the field of the inversion problem of geomagnetism to determine the positions and the depths of sources. In this paper, we used the line-weight function (LWF) to treat the observational data to enhance the resolution of the results of MED method.

Firstly, the method was applied on the magnetic experimental model to prove the reliability of method and secondly, the method was used to interpret the magnetic profile in Mekong delta area. The results shown that this method can determine the positions and the depths as well as the widths, the thickness and the dip of the sources. The determination of these parameters of sources is the special achievement comparing with other methods.

Keywords: Multiscale edge detection, inversion problem, line-weight function

Title: Enhancing the resolution for interpretation of magnetic profile using the wavelet transform

TÓM TẮT

Phương pháp xác định biên đa tỉ lệ sử dụng phép biến đổi wavelet được áp dụng trong việc giải bài toán ngược từ và trọng lực. Sử dụng dữ liệu là giá trị trường quan sát hoặc gradien ngang của trường, phép xác định biên đa tỉ lệ đã xác định được vị trí ngang và độ sâu của nguồn. Trong bài này, chúng tôi sử dụng hàm trọng-lượng-tuyến (LWF, line-weight function) để xử lý dữ liệu đầu vào nhằm tăng cường độ phân giải khi áp dụng phương pháp xác định biên trong việc phân tích dữ liệu từ 2-D.

Phương pháp được áp dụng trên mô hình thực nghiệm của dị thường từ với các tham số của hàm LWF khác nhau để tìm tham số thích hợp. Sau đó phương pháp được áp dụng để phân tích trên tuyến đo từ ở Nam bộ. Các kết quả cho thấy, phương pháp được đề xuất không chỉ xác định được vị trí ngang và độ sâu mà còn xác định được bề rộng, bề dày và độ nghiêng của nguồn và đây là điểm đặc sắc của phương pháp.

Từ khóa: Phương pháp biên đa tỉ lệ, bài toán ngược, hàm trọng lượng tuyến

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Hai phương pháp tiêu biểu trong phân tích định lượng tài liệu từ và trọng lực để xác định vị trí và độ sâu của nguồn (dị vật) sử dụng máy tính là phương pháp tiến và phương pháp Parker-Oldenburg với biến đổi Fourier [4]. Từ năm 1988, biến đổi wavelet được tận dụng trong phân tích tài liệu từ và trọng lực bởi vì phương pháp này là tiếp nối của việc sử dụng biến đổi Fourier. Phương pháp sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh - để phát hiện các điểm có tính chất khác thường trên tín hiệu là một trong những ý tưởng mới từ đó tìm ra các thông tin ẩn chứa bên trong tín hiệu -

¹ Khoa Khoa Học, Trường Đại học Cần Thơ

² Trường Đại học Tiền Giang

đặc biệt trong đó là phương pháp xác định biên đa tỉ lệ (MED, Multiscale Edge Detection), áp dụng biến đổi wavelet liên tục (S. Mallat and W.L. Hwang (1992) [7]). Tuy nhiên, việc sử dụng giá trị của trường quan sát làm dữ liệu để xác định biên đã không tránh khỏi nhiều; để loại nhiễu, các tác giả [1] [2] đã dùng giá trị gradient ngang làm dữ liệu. Tuy nhiên, khi phân tích, các đường đẳng pha thường mất đối xứng, bị uốn cong hoặc chỉ hội tụ một bên và điểm hội tụ chỉ cho biết vị trí và độ sâu mặt trên của nguồn.

Trong bài này chúng tôi áp dụng hàm trọng-lượng-tuyến (LWF) [5] để lọc dữ liệu quan sát nhằm tăng cường khả năng phân giải của phương pháp xác định biên đa tỉ lệ cho bài toán ngược. Kết quả phân tích cho biết ngoài vị trí và độ sâu đến mặt trên của nguồn, chúng ta còn ước lượng được các tham số khác như độ rộng, phương nghiêng

2 TÓM TẮT PHƯƠNG PHÁP

2.1 Hàm trọng-lượng-tuyến

Phép lọc Gauss (Gaussian filter) thường được dùng trong xác định biên của hình ảnh, thực chất đây là các phép lọc thông thấp nên loại bỏ nó không chỉ nhiễu mà còn loại bỏ các thông tin ẩn chứa trong các tần số cao. A. Fiorentini và L. Mazzatini, (1966) [5] đã giới thiệu hàm trọng-lượng-tuyến nhằm loại nhiễu và tăng cường độ tương phản ở biên. Hàm trọng lượng tuyến là một hàm kết hợp tuyến tính giữa hàm Gauss và đạo hàm bậc hai của hàm Gauss. .

A.L. Stewart và R. Pinkham, (1991) [11] dùng tiếp cận toán học để giải quyết một thí nghiệm cổ điển về vật lý tâm thần; trong đó, xử lý độ nhạy tương phản như việc giải một bài toán trị riêng và họ đã tìm được tập hợp các hàm riêng trực giao. Sau đây là tóm tắt công thức toán của bài toán trị riêng.

Định nghĩa toán tử:

$$p = - \frac{d^2}{dx^2} + x^2 \tag{1}$$

và một hàm thử:

$$u = \exp\left[- \frac{x^2}{2}\right] \tag{2}$$

Áp dụng toán tử p của (1) vào hàm thử (2):

$$pu = \lambda u \tag{3}$$

Nói khác đi, u là hàm riêng của toán tử p ứng với trị riêng λ . Kết quả dẫn đến phương trình vi phân:

$$- u'' + x^2 u = \lambda u \tag{4}$$

Lời giải của phương trình (4) có dạng:

$$u(x) = c \cdot h_n(x) = c \cdot \exp\left(- \frac{x^2}{2}\right) H_n(x) \tag{5}$$

trong đó, c là hằng số, H_n là đa thức Hermite bậc n , h_n là hàm số Hermite. Để đưa vào phân tích đa tỉ lệ, tham số vô hướng σ (độ lệch chuẩn của hàm Gauss) được đưa vào hàm Hermite:

$$h_n(x/\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} \cdot \frac{d^n}{d(x/\sigma)^n} \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

Vậy, $h_0(x/\sigma)$ là hàm Gauss:

$$h_0(x/\sigma) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

và $h_2(x/\sigma)$ là đạo hàm bậc hai của hàm Gauss :

$$h_2(x/\sigma) = \frac{1}{\sqrt{8\pi\sigma^2}} \left(-\exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] + \frac{x^2}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \right) \quad (8)$$

Hàm trọng-lượng-tuyến (LWF) là tổ hợp của $h_0(x/\sigma)$ và $h_2(x/\sigma)$.

$$l(x/\sigma) = c_0 h_0(x/\sigma) + c_2 h_2(x/\sigma) \quad (9)$$

Hàm trọng-lượng-tuyến chỉ gồm các hàm Hermite bậc chẵn nên chúng đối xứng qua trục. L.M. Kennedy và M. Basu, (1997) [6]; M. Basu, (1994) [3] đã áp dụng LWF để xử lý hình ảnh; sau đó, xác định biên bằng phương pháp Sobel và các kết quả đạt được tốt hơn khi dữ liệu chưa xử lý.

2.2 Hàm wavelet Poisson và hàm wavelet Poisson Hardy

Khi áp dụng lý thuyết xử lý ảnh vào phân tích tài liệu từ, việc xác định các biên tương ứng việc xác định các nguồn của dị thường. Có hai nhóm phương pháp xác định biên là phương pháp gradien – tính đạo hàm bậc nhất theo phương ngang – và phương pháp Laplacien – tính đạo hàm bậc hai theo phương ngang của tín hiệu hay tín hiệu được làm trơn.

Việc lấy đạo hàm theo phương ngang của tín hiệu được làm trơn (tiêu biểu cho hình ảnh) tương đương với việc lấy biến đổi wavelet của tín hiệu với hàm wavelet là đạo hàm theo phương ngang của hàm làm trơn [7]. Hàm làm trơn được chọn trong phân tích tài liệu từ và trọng lực là nhân của phép chuyển trường lên [8], có dạng:

$$\theta_{up}(x, z) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{z}{z^2 + x^2} \right) \quad (10)$$

trong đó, z là độ sâu, x là tọa độ của tuyến đo theo phương ngang.

F. Moreau, (1997) [8], P. Shailac, (2000) [10] đã xây dựng hàm wavelet Poisson có dạng tường minh như sau:

$$\psi^p(x) = \psi^1(x) + i\psi^z(x) = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{x}{(1+x^2)^2} + i \frac{1}{\pi} \cdot \frac{x^2-1}{(1+x^2)^2} \quad (11)$$

trong đó, $\psi^1(x)$ và $\psi^z(x)$ lần lượt là đạo hàm bậc nhất theo phương ngang và theo phương thẳng đứng của hàm làm trơn (10) (phương pháp gradien).

Đặng Văn Liệt và Dương Hiếu Đầu (2007) [1] đã xây dựng hàm wavelet Poisson – Hardy có dạng tường minh như sau:

$$\psi^{PH}(x) = \psi^2(x) + i\psi^3(x) = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1-3x^2}{(1+x^2)^2} + i \frac{2}{\pi} \cdot \frac{(-3x+x^3)}{(1+x^2)^3} \quad (12)$$

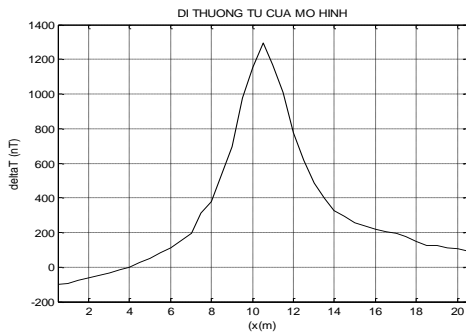
trong đó, $\psi^2(x)$ là đạo hàm bậc hai theo phương ngang của hàm làm tròn (10) và $\psi^3(x)$ là biến đổi Hilbert của $\psi^2(x)$ (phương pháp Laplaxien).

Vẽ các đường đẳng pha của biến đổi wavelet của tín hiệu $f(x)$ sử dụng hàm wavelet Poisson $\psi^P(x)$ hoặc hàm wavelet Poisson – Hardy $\psi^{PH}(x)$; chúng là đường nối các cực trị địa phương hoặc các điểm không nên hội tụ về nguồn. Trong bài này, chúng tôi sử dụng hàm wavelet Poisson-Hardy để phân tích tài liệu.

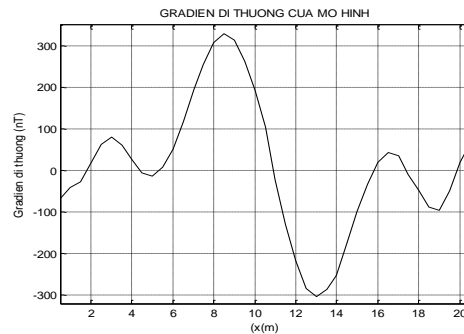
3 ỨNG DỤNG

3.1 Mô hình thực nghiệm của dị thường từ

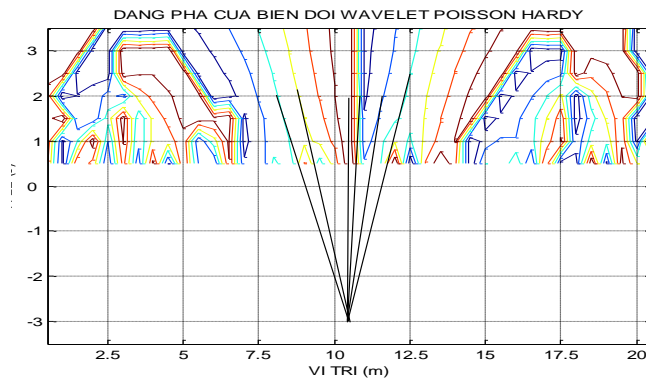
Mô hình là dị thường từ của một thùng phuy sắt đặt nằm ngang dài 1,2m, đường kính 0,6m. Tuyến đo từ 0 đến 21m, các điểm đo cách nhau 0,5m. Phuy sắt đặt nằm ngang dưới mặt đất, tâm mặt trên có vị trí ngang $x = 10,5m$, độ sâu $z_1 = 3m$, độ sâu mặt dưới $z_2 = 3,6m$. Trường từ đo bằng từ kế Proton PM-2 (Việt Nam). Hình 1 là cường độ dị thường từ toàn phần của mô hình có dạng hình chuông. Hình 2 là gradient ngang của dị thường từ của mô hình có dạng đối xứng lẻ qua vị trí 10,5 m.



Hình 1: Cường độ dị thường từ toàn phần của phuy sắt đặt nằm ngang



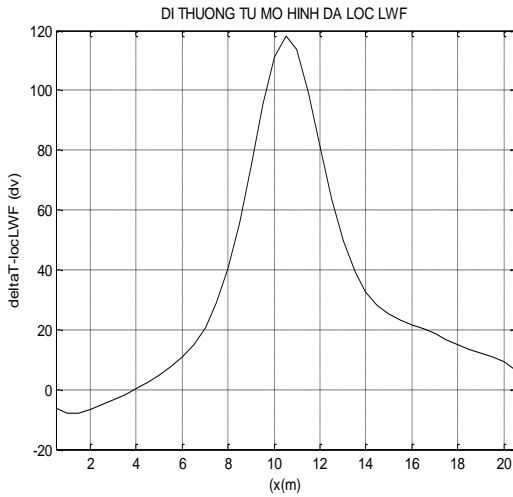
Hình 2: Gradient ngang của dị thường từ của phuy sắt đặt nằm ngang



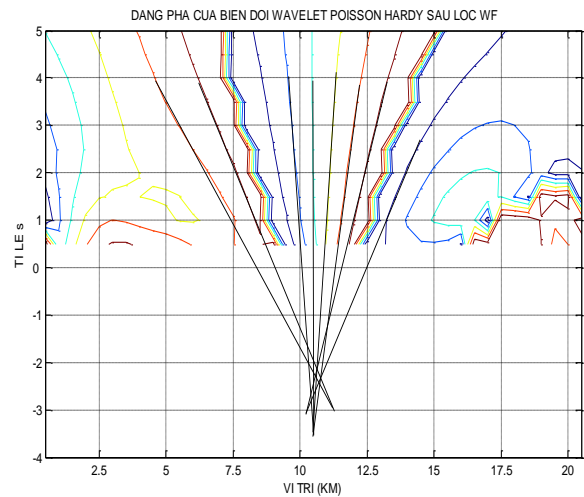
Hình 3: Pha của biến đổi wavelet Poisson-Hardy

Vị trí nguồn ($x = 10,5 m$ và $z = 3 m$)

Tính biến đổi wavelet Poisson - Hardy của gradient ngang của dị thường từ của phuy sắt để xác định vị trí ngang và độ sâu mặt trên của nguồn. Kết quả ghi trong hình 3, cho thấy vị trí mặt trên của mô hình $x = 10,5\text{m}$ và $z = 3\text{m}$; kết quả phù hợp với vị trí mặt trên của mô hình thực nghiệm.



Hình 4: Dị thường từ quan sát qua phép lọc LWF



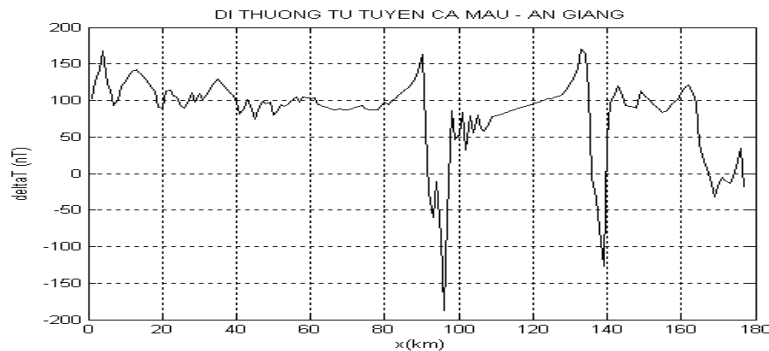
Hình 5: Biến đổi wavelet của dị thường từ đã qua phép lọc LWF

Hình 4 là dị thường từ của mô hình thực nghiệm được lọc qua phép lọc LWF. Hình 5 là biến đổi wavelet Poisson-Hardy của dị thường được lọc qua phép lọc LWF. Kết quả cho thấy biên trên ở độ sâu 3m (đúng với mô hình), bề rộng xác định được là 1m (thực tế mô hình dài 1,2m), độ sâu biên dưới 3,5m (của mô hình là 3,6m), vị trí ngang xác định bằng điểm hội tụ bên dưới là 10,5 m (phù hợp).

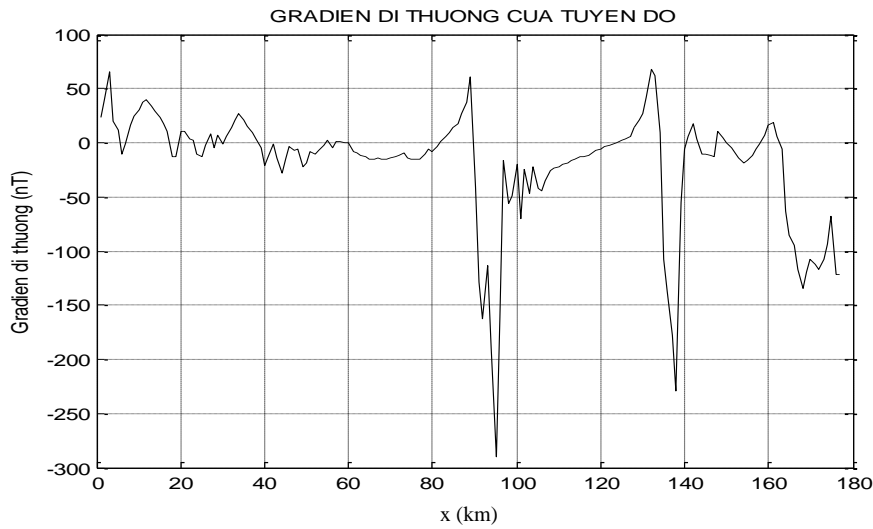
Kết quả tính toán trên mô hình thực nghiệm của dị thường từ khá chính xác; các kết quả này được đọc trên hình phóng đại 500%.

3.2 Tuyến dị thường từ Cà Mau –An Giang

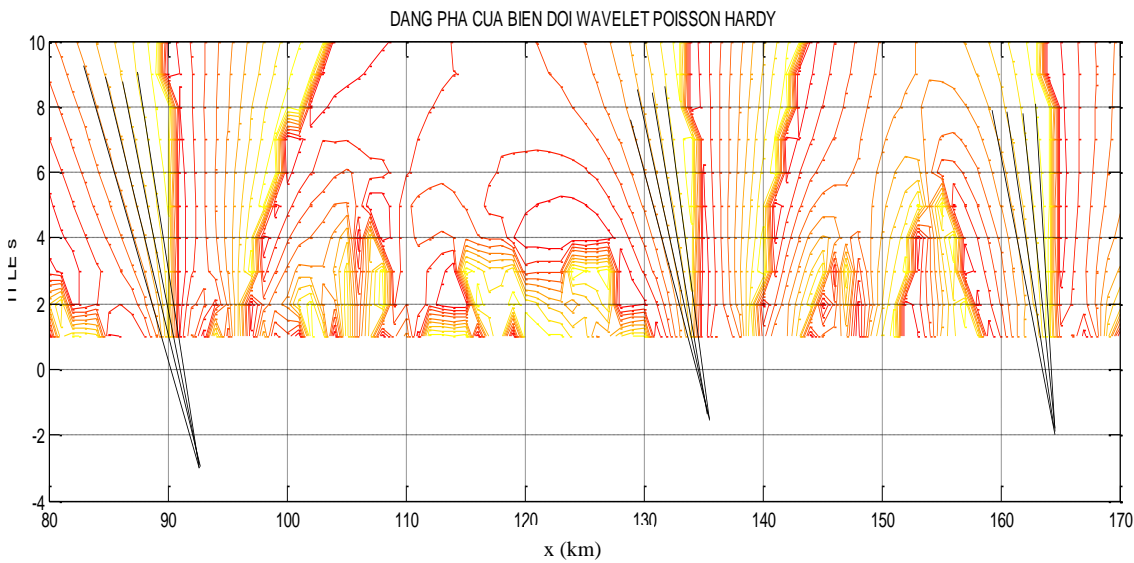
Tuyến đo từ Cà Mau đến An Giang, dài 177km, có phương Tây Bắc – Đông Nam; về phía Bắc lệch so với kinh tuyến một góc 3^0 ; các giá trị góc lấy trên bản đồ từ hàng không ở độ cao 300m, khoảng cách các điểm là 1km. Hình 6 là cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến. Hình 7 là gradient ngang của dị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau- An Giang. Các giá trị gradient này được chọn để tính biến đổi wavelet, nhằm xác định vị trí và độ sâu của các dị thường từ.



Hình 6: Dị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau – An Giang



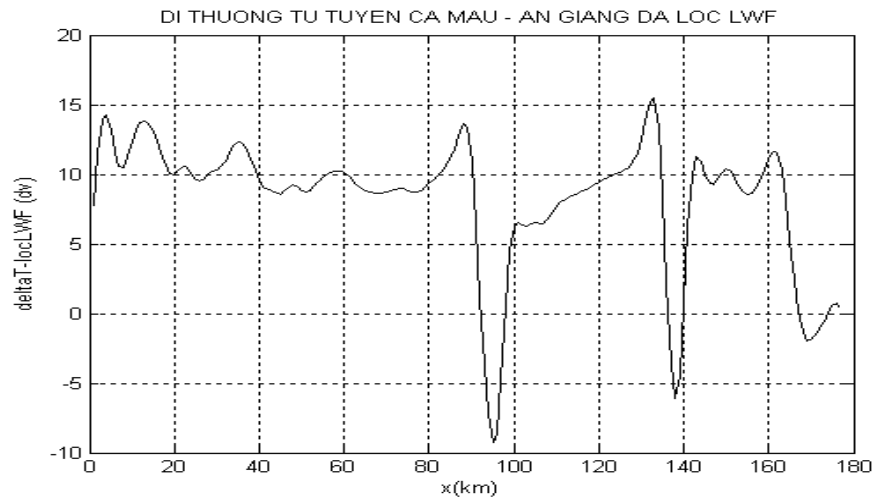
Hình 7: Gradien ngang của dị thường từ toàn phần tuyến Cà Mau-An Giang



Hình 8: Kết quả phân tích với dữ liệu là gradien ngang

Kết quả phân tích bằng phép biến đổi wavelet Poisson-Hardy trên dữ liệu là gradien ngang cho thấy có ba dị thường từ có vị trí của nguồn lần lượt là $(x = 93 \text{ km}, z = 3,0 - 0,3 = 2,7\text{km})$, $(x = 136 \text{ km}, z = 1,8 - 0,3 = 1,5 \text{ km})$, $(x = 165, z = 2,0 - 0,3 = 1,7\text{km})$ (Hình 8). Lưu ý giá trị 0,3km là do hiệu chỉnh độ cao máy bay.

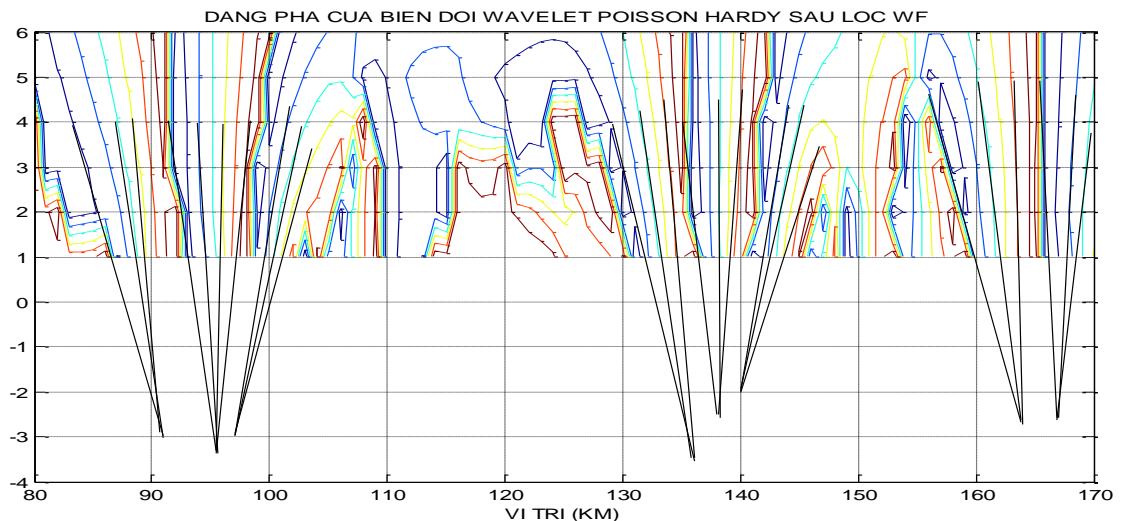
Do tuyến đo không có nhiều nhiễu nên chúng tôi thực hiện phép lọc LWF với $c_0 = 0,07$ và $c_2 = -0,1$ trên dị thường từ toàn phần, dữ liệu sau khi lọc nêu trong hình 9. Dữ liệu này được dùng để tính biến đổi wavelet Poisson-Hardy.



Hình 9: Lọc LWF trên dị thường từ toàn phần

Hình 10 là kết quả phân tích, cho thấy:

- Dị thường từ thứ nhất có biên trên x từ 91km đến 97km (rộng 6km), độ sâu $z = 3,0 - 0,3 = 2,7$ km, biên dưới $x = 95$ km và $z = 3,3 - 0,3 = 3,0$ km. Dạng này có thể là một vỉa mỏng kéo dài theo phương thẳng góc với tuyến; tính chỉ số cấu trúc của dị thường này cho $N = 1$ là dạng vỉa, phù hợp với nhận xét trên.
- Dị thường từ thứ hai có biên trên $x = 140$ km, độ sâu $z = 2,0 - 0,3 = 1,7$ km, biên giữa và biên dưới bị lệch so với biên trên, nên có thể kết luận là một vỉa cắm nghiêng khoảng 50° về phía Đông Nam; tính chỉ số cấu trúc của dị thường này cho $N = 1$ là dạng vỉa, phù hợp với nhận xét trên.



Hình 10: Kết quả phân tích với dữ liệu là dị thường từ toàn phần đã lọc LWF

- Dị thường từ thứ ba có biên trên x từ 164 km đến 167km (rộng 3km), độ sâu $z = 2,6 - 0,3 = 2,3$ km, không có biên dưới; đây có thể là một hình trụ cắm sâu vô hạn; tính chỉ số cấu trúc của dị thường này cho $N = 2$ là hình trụ, phù hợp với nhận xét trên.

4 KẾT LUẬN

Qua áp dụng hàm trọng-lượng-tuyến để xử lý dữ liệu từ trước khi áp dụng phương pháp xác định biên bằng phép biến đổi wavelet để xác định một số đặc tính của nguồn cho thấy:

(a) Hàm trọng-lượng-tuyến với tham số $c_0 = 0,07$ và $c_2 = - 0,1$ là thích hợp cho bài toán ngược từ và trọng lực có ít nhiễu.

(b) Áp dụng phương pháp xác định biên đa tỉ lệ dùng phép biến đổi wavelet với hàm wavelet Poisson-Hardy trên các dữ liệu đã được lọc bằng LWF cho thấy có thể xác định được ngoài vị trí ngang và độ sâu của mặt trên, còn có thể xác định độ rộng, bề dày và độ nghiêng của nguồn trường; đây là một kết quả đặc sắc mà kỹ thuật xác định biên bằng phép biến đổi wavelet trước đây chưa hề đạt được (chỉ xác định được vị trí ngang và độ sâu). Tuy nhiên việc xác định bề dày bị hạn chế khi biên dưới của dị vật khá lớn so với kích thước ngang của dị vật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dang Van Liet, Duong Hieu Dau (2007), *New Wavelet function for the interpretation of potential field data*, Towards a New Basic Science: Depth and Synthesis, Osaka University - Press- Japan, p.99.
- [2] Dương Hiếu Đầu, Trần Ngọc Chánh, Phan Lê Anh Quân và Đặng Văn Liệt (2007), *Sử dụng Wavelet Poisson – Hardy trong việc phân tích tài liệu từ và trọng lực*, Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHKT Địa Vật Lý VN- Lần thứ 5. NXB Khoa học & Kỹ thuật, tr. 279 – 284.
- [3] M. Basu, (1994), Gaussian Derivative model for edge enhancement, *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 11, pp 1451 – 1461.
- [4] R. J. Blakely, (1995), *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press, USA.
- [5] A. Fiorentine and L. Mazzantini, (1966), Neuron inhibition in the human fovea: A study of interaction between two line stimuli, *Atti Fond G Ronchi*, Vol. 21, pp 738-747.
- [6] L.M. Kennedy, M. Basu, (1997) Image enhancement using a human visual system model, *Pattern Recognition*, Vol. 30, No. 12, pp 2001 – 2014.
- [7] S. Mallat and W.L. Hwang, (1992), Singularity detection and processing with wavelets, *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 38, pp. 617-643.
- [8] F. Moreau, D. Gibert, M. Holschneider, G. Saracco, (1997), Wavelet analysis of potential fields, *Inverse Problem 13*, U.K, pp. 165-178.
- [9] F. Moreau, D. Gibert, M. Holschneider, G. Saracco, (1999), Identification of sources of potential fields of with the continuous wavelet transform: Basic theory, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No.B3, pp. 5003-5013.
- [10] P. Sailhac, A. Galdeano, D. Gibert, F. Moreau, C. Delor, (2000), Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Complex wavelets and applications to magnetic profiles in French Guiana, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, pp. 19455– 19475.
- [11] A.L. Stewart, R. Pinkham, (1991), A space-variant differential operator for visual sensitivity, *Biol. Cybernetics*, Vol. 64, pp. 373-379.
- [12] W.M. Telford, L.P.Geldart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge Univ. Press, 1990.