SỬ DỤNG HÀM TRỌNG LƯỢNG-TUYẾN NHẰM TĂNG CƯỜNG ĐỘ PHÂN GIẢI TRONG PHÂN TÍCH TÀI LIỆU TỪ VÀ TRỌNG LỰC BẰNG PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET

ĐẶNG VĂN LIỆT, LƯƠNG PHƯỚC TOÀN,
DƯƠNG HIẾU ĐẨU

I. MỞ ĐẦU

Phân tích định lượng giữ một vai trò quan trọng trong phân tích tài liệu từ và trọng lực nên đã có nhiều phương pháp được đưa ra nhằm xác định vị trí và độ sâu của nguồn (dị vật). Hai phương pháp tiêu biểu sử dụng máy tính là phương pháp tiến và phương pháp Parker-Oldenburg sử dụng biến đổi Fourier [2]. Từ năm 1988 trở lại đây, người ta sử dụng phép biến đổi Wavelet trong phân tích tài liệu từ và trọng lực và đây có thể xem là phần tiếp nối của việc sử dụng phép biến đổi Fourier. Phương pháp phổ biến nhất là sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh để phát hiện các điểm có tính chất khác thường trên tín hiệu ; từ đó, suy ra các thông tin ẩn chứa bên trong tín hiệu, đặc biệt là phương pháp xác định biên đa tỷ lệ (MED, Multiscale Edge Detection) sử dụng phép biến đổi Wavelet liên tục [7]). Đã có nhiều công trình nghiên cứu liên quan đến việc phân tích tài liệu từ và trọng lực [8-10] . Ở Việt Nam, trong phân tích định lượng tài liệu từ và trọng lực có các công trình của [3, 6] đã xây dựng một hàm Wavelet mới để sử dụng trong phương pháp xác định biên.

Tuy nhiên, việc sử dụng giá trị của trường quan sát làm dữ liệu để xác định biên đã không tránh khỏi nhiễu ; để loại nhiễu, các tác giả [3, 6] đã dùng giá trị gradien ngang làm dữ liệu. Tuy nhiên, khi phân tích, các đường đẳng pha thường không đối xứng, chúng thường 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 báo này chúng tôi áp dụng hàm trọng lượng-tuyến (LWF, Line-Weight Function) [4] để lọc dữ liệu quan sát nhằm tăng cường khả năng phân giải của phương pháp xác định biên đa tỷ lệ cho bài toán ngược từ và trọng lực ; việc phân tích cho biết ngoài vị trí và độ sâu mặt trên của nguồn còn có thể xác định thêm các tham số khác như độ rộng, phương nghiêng.

II. TÓM TẮT PHƯƠNG PHÁP

1. Hàm trọng lượng-tuyến

Trong việc xác định biên của hình ảnh, thường người ta sử dụng phép lọc Gauss (Gaussian filter), thực chất đây là các phép lọc thông thấp nên nó loại bỏ không chỉ nhiễu mà còn loại bỏ các thông tin ẩn chứa trong các tần số cao. A. Fiorentini và L. Mazzatini đã giới thiệu hàm trọng lượng-tuyến nhằm loại nhiễu và tăng cường độ tương phản ở biên [4]. Đây là một hàm kết hợp tuyến tính giữa hàm Gauss và đạo hàm bậc hai của hàm Gauss ; điều này tương đương với sự kết hợp của hàm Hermite bậc không và bậc hai.

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

Định nghĩa toán tử :

$$p = -\frac{d^2}{dx^2} + x^2 \qquad (1)$$

và một hàm thử :

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

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

$$pu = \lambda u \qquad (3)$$

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

$$- u'' + x^2 u = \lambda u \qquad (4)$$

Lời giải của phương trình (4) có dạng :

$$u(x) = ch_n(x) = c.\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) H_n(x) \qquad (5)$$

trong đó, c - hằng số, H_n - đa thức Hermite bậc n, h_n - 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 :

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

Vậy, $h_0(x/\sigma)$ là hàm Gauss :

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

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

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

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

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

Hàm trọng lượng-tuyến chỉ gồm các hàm Hermite bậc chẵn nên chúng đối xứng đã áp dụng LWF để xử lý hình ảnh của sinh vật [1, 5] ; sau đó, xác định biên bằng phương pháp Sobel và các kết quả đạt được tốt hơn khi dữ liệu chưa xử lý.

2. Hàm Wavelet Poisson và hàm Wavelet Poisson- Hardy

Theo lý thuyết xử lý ảnh, các biên của hình ảnh là những vùng có cường độ sáng thay đổi nhanh hay mầu sắc tương phản mạnh ; khi xác định được các biên thì có thể tái tạo lại khuôn mẫu chính của hình ảnh. Khi áp dụng lý thuyết xử lý ảnh vào việc phân tích tài liệu từ và trọng lực, việc xác định các biên sẽ tương ứng với 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 Laplaxien - 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 :

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

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

F. Moreau và P. Shailac đã xây dựng hàm Wavelet Poisson có dạng tường minh như sau [8, 10] :

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

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

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

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

trong đó, $\psi^2(x)$ - đạo hàm bậc hai theo phương ngang của hàm làm trơn (10), $\psi^z(x)$ - biến đổi Hilbert của $\psi^2(x)$ (phương pháp Laplaxien).

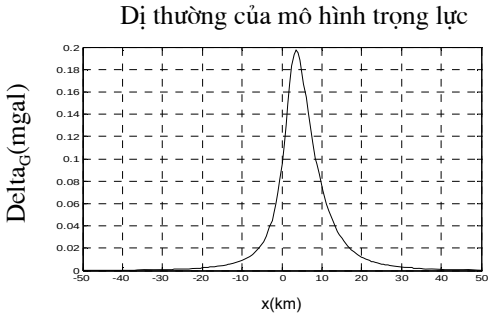
Vẽ các đường đẳng pha của biến đổi Wavelet của tín hiệu f(x) sử dụng hàm Wavelet Poisson $\psi^P(x)$ hoặc hàm Wavelet Poisson-Hardy $\psi^{PH}(x)$; chúng là đường nối các cực trị địa phương hoặc các điểm không nên hội tụ về nguồn. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng hàm Wavelet Poisson-Hardy để phân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

III. ỨNG DỤNG

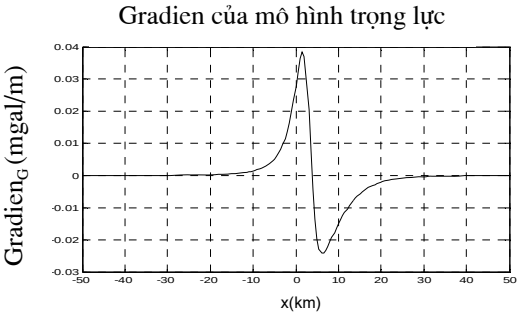
1. Mô hình trọng lực của một thanh nghiêng

Thanh nghiêng là một hình trụ tròn đường kính 1 m, có chiều dài L = 10 m, đặt nghiêng một góc 45^o tính từ mặt đất theo chiều kim đồng hồ, mật độ 450

kg/m^3. Tuyến đo dài 120 m đi từ -60 m đến 60 m, bước đo 0,5 m ; vị trí đầu trên của thanh là x_1 = 0 m và z_1 = 3 m, vị trí đầu dưới là x_2 = 7 m và z_2 = 10 m. Công thức tính trường trọng lực của thanh nghiêng cho bởi W. M. Telford et al [12]. Trường trọng lực của mô hình cho bởi *hình 1* có dạng hình chuông nhưng bị lệch về phía phải. Để xác định vị trí ngang và độ sâu của nguồn, trong các công trình trước [3, 6], chúng tôi lấy biến đổi Wavelet Poisson-Hardy của gradien ngang của dữ liệu. *Hình 2* là gradien ngang của trường trọng lực của mô hình, nó có dạng bất đối xứng.

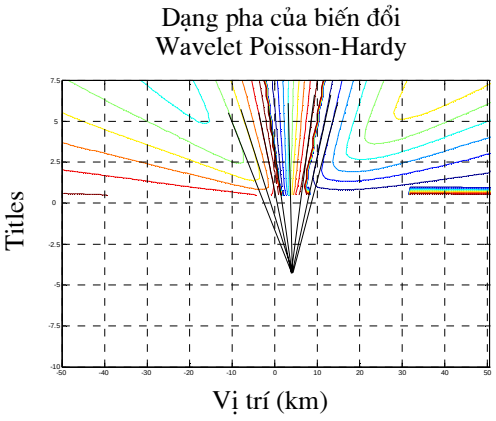


Hình 1. Dị thường trọng lực của thanh nghiêng



Hình 2. Gradien ngang của dị thường trọng lực của thanh nghiêng

Hình 3 là biến đổi Wavelet với hàm Wavelet Poisson-Hardy trên gradien ngang ; kết quả cho thấy các đường đẳng pha hội tụ về một điểm có x = 4 m và z = 4,3 m ; điểm này gần với tâm của thanh (x = 3,5 m và z = 5 m).

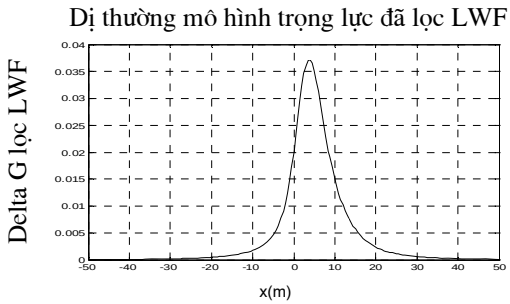


Hình 3. Pha của biến đổi Wavelet Poisson-Hardy của gradien ngang
Vị trí tâm của thanh x = 4 m và z = 4,3 m
Mô hình (x = 3,5 m và z = 5 m)

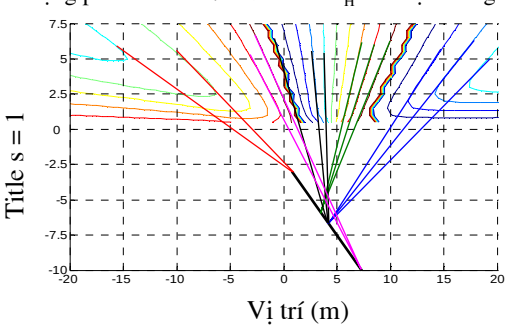
Tiếp theo, chúng tôi sử dụng hàm trọng lượng-tuyến để lọc dữ liệu (thực hiện tích chập), hàm LWF được chọn có 64 giá trị, độ lệch σ = 2, thay đổi các tham số c_0 (giữ vai trò loại nhiễu) và tham số c_2 (giữ vai trò tăng cường độ tương phản của biên) để tìm tham số thích hợp cho mô hình. Theo M. Basu, LWF có c_0 = 0,1 và c_2 = - 0,05 thích hợp cho việc xử lý hình ảnh của sinh vật [1]. Tuy nhiên, hai giá trị này không thích hợp cho việc giải bài toán ngược từ và trọng lực. Chúng tôi lần lượt chọn (c_0 = 0,065 và c_2 = - 0,042), (c_0 = 0,065 và c_2 = - 0,065), (c_0 = 0,065 và c_2 = - 0,1), (c_0 = 0,07 và c_2 = - 0,1), (c_0 = 0,07 và c_2 = - 0,2), (c_0 = 0,08 và c_2 = - 0,2) để thực hiện phép lọc với dữ liệu có được từ mô hình lý thuyết trọng lực và mô hình thực nghiệm của dị thường từ. Các dữ liệu sau khi lọc LWF với các c_0 và c_2 như trên được lấy biến đổi Wavelet với hàm Wavelet Poisson-Hardy và chọn kết quả nào phù hợp với mô hình nhất để chọn c_0 và c_2. Kết quả cho thấy LWF có c_0 = 0,07 và c_2 = - 0,1 áp dụng để phân tích dị thường lý thuyết trọng lực và của mô hình thực nghiệm của dị thường từ là phù hợp. Điều này có thể giải thích là do mô hình không có nhiễu hoặc ít nhiễu nên thích hợp với giá trị c_0 = 0,07 bé, giá trị c_2 = - 0,1 được chọn có trị tuyệt đối lớn để tăng cường độ phân giải của biên làm cho việc xác định biên được tốt hơn.

Hình 4 là dị thường trọng lực của mô hình được lọc qua phép lọc LWF.

Hình 5 là biến đổi Wavelet Poisson-Hardy của dị thường trọng lực của mô hình đã lọc LWF. Kết quả cho thấy đầu trên có vị trí x_1 = 0,7 m, z_1 = 3 m và đầu dưới x_2 = 7 m và z_2 = 10 m, góc nghiêng 45^o. Kết quả này hầu như phù hợp với mô hình, trừ vị trí ngang của đầu trên kết quả phân tích bị lệch về phía phải 0,7 m so với mô hình.



Hình 4. Dị thường trọng lực của thanh nghiêng được lọc LWF ($\sigma = 2$, $c_0 = 0,07$ và $c_2 = -0,1$)

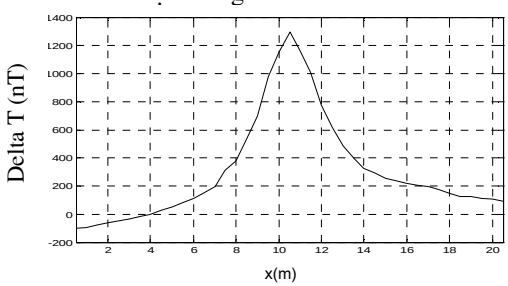


Hình 5. Biến đổi Wavelet của dị thường trọng lực của thanh nghiêng đã lọc LWF

Việc phân tích cho các mô hình khác có chiều dài của thanh lớn hơn đường kính 10 lần chỉ xác định được vị trí của đầu trên và góc nghiêng mà không xác định được vị trí của đầu dưới của thanh.

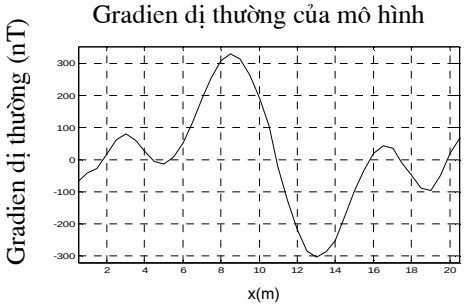
2. Mô hình thực nghiệm của dị thường từ

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



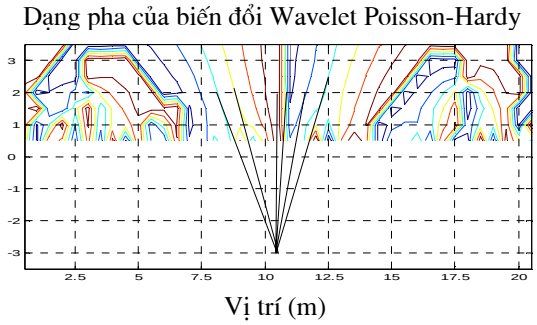
Hình 6. Cường độ dị thường từ toàn phần của phuy sắt đặt nằm ngang

Hình 7 là gradien ngang của dị thường từ của mô hình có dạng đối xứng lẻ qua vị trí 10,5 m .

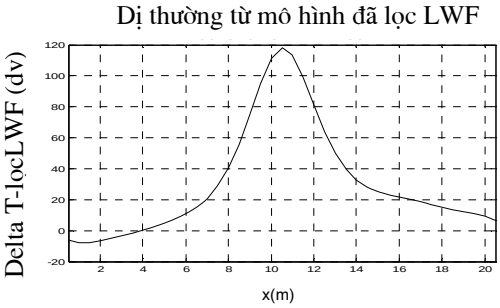


Hình 7. Gradien ngang cua dị thường từ của phuy sắt đặt nằm ngang

Tính biến đổi Wavelet Poisson - Hardy của gradien 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 8, cho thấy vị trí mặt trên của mô hình x =10,5 m và z = 3 m ; kết quả phù hợp với vị trí mặt trên của mô hình thực nghiệm.



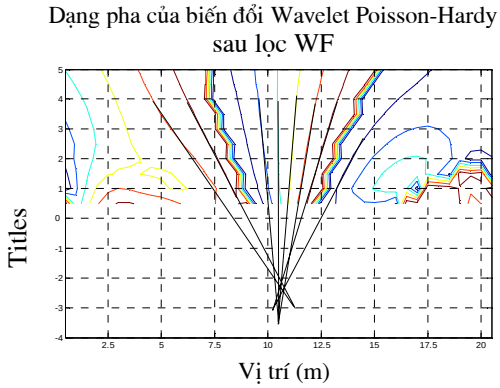
Hình 8. Pha của biến đổi Wavelet Poisson-Hardy Vị trí nguồn (x = 10,5 m và z = 3 m)



Hình 9. Dị thường quan sát qua lọc LWF

Hình 9 là dị thường từ của mô hình thực nghiệm được lọc qua phép lọc LWF. *Hình 10* là biến đổi Wavelet Poisson-Hardy của giá trị dị thường được lọc qua phép lọc LWF. Kết quả cho thấy biên trên ở độ sâu 3 m (đúng với mô hình), bề rộng xác định được là 1 m (thực tế mô hình dài 1,2 m), độ sâu

biên dưới 3,5 m (của mô hình là 3,6 m), vị trí ngang xác định bằng điểm hội tụ bên dưới là 10,5 m (phù hợp).

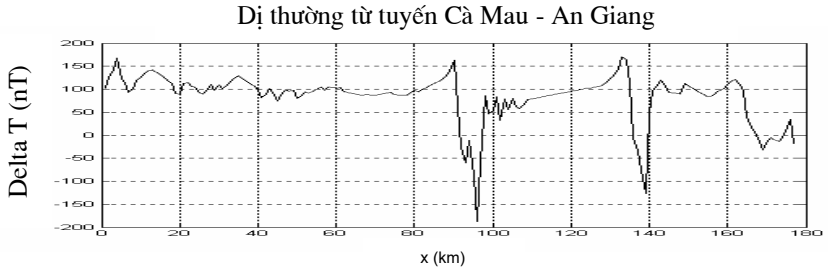


Hình 10. Biến đổi Wavelet của dị thường đã lọc LWF

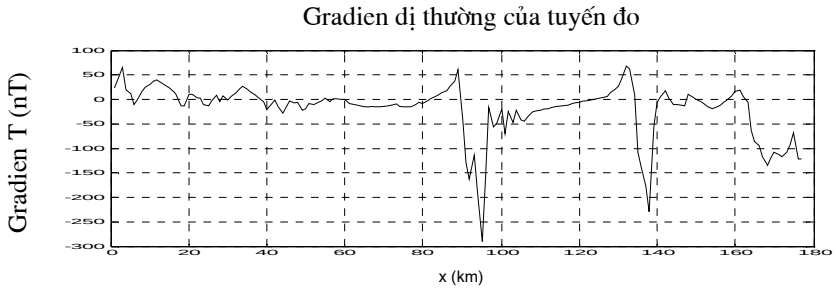
Kết quả tính toán trên mô hình trọng lực lý thuyết và mô hình thực nghiệm của dị thường từ khá chính xác ; các kết quả này được đọc trên hình phóng đại 500 %.

3. Tuyến dị thường từ Cà Mau - An Giang

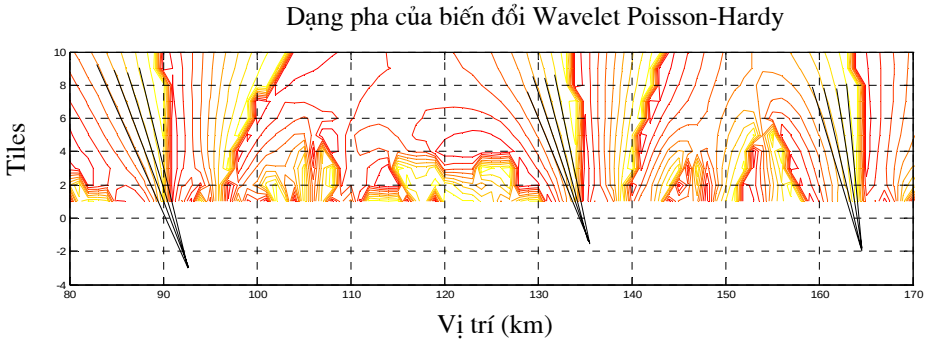
Tuyến đo từ Cà Mau đến An Giang, dài 177 km, có phương tây bắc - đông nam ; về phía Bắc lệch so với kinh tuyến một góc 3^o ; các giá trị gốc lấy trên bản đồ từ hàng không ở độ cao 300 m, khoảng cách các điểm là 1 km. *Hình 11* là cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến. *Hình 12* là gradien ngang của dị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau - An Giang. Các giá trị gradien này được chọn để tính biến đổi Wavelet, nhằm xác định vị trí và độ sâu của các dị thường từ.



Hình 11. Dị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau - An Giang

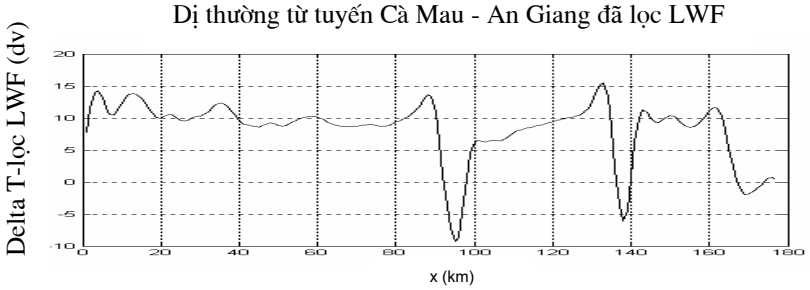


Hình 12. Gradien ngang của dị thường từ toàn phần tuyến Cà Mau - An Giang

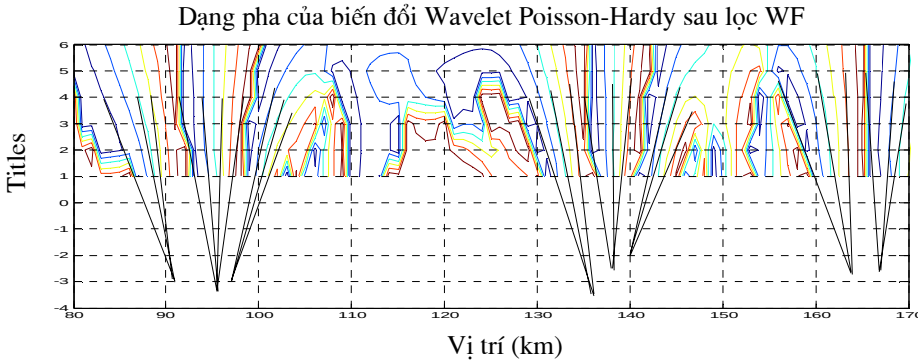


Hình 13. Kết quả phân tích với dữ liệu là Gradien ngang

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 km, z = 3,0 - 0,3 = 2,7 km), (x = 136 km, z = 1,8 - 0,3 = 1,5 km), (x = 165, z =2,0-0,3 = 7 km) (*hình 13*). 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 14. Dữ liệu này được dùng để tính biến đổi Wavelet Poisson-Hardy.



Hình 14. Lọc LWF trên dị thường cường độ từ toàn phần



Hình 15. Kết quả phân tích với dữ liệu là dị thường từ toàn phần đã lọc LWF

Hình 15 là kết quả phân tích, cho thấy :

- Dị thường từ thứ nhất có biên trên x từ 91 km đến 97 km (rộng 6 km), 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^o 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.

- Dị thường từ thứ ba là biên trên x từ 164 km đến 167 km (rộng 3 km), 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.

KẾT LUẬN

Qua áp dụng hàm trọng lượng-tuyến để xử lý dữ liệu từ và trọng lực 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 dầy 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 dầy bị hạn chế khi biên dưới của dị vật khá lớn so với kích thước ngang của dị vật.

TÀI LIỆU DẪN

[1] M. BASU, 1994 : Gaussian Derivative model for edge enhancement, Pattern Recognition, Vol.27, No.11, *1451-1461*.

[2] R. J. BLAKELY, 1995 : Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambidge University Press, USA.

[3] DƯƠNG HIẾU ĐẨU, 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, *279-284*.

[4] 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, *738-747*.

[5] L. M. KENNEDY, M. BASU, 1997 : Image enhancement using a human visual system m211010011014odel, Pattern Recognition, Vol. 30, No. 12, *2001-2014*.

[6] 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, *99*.

[7] S. MALLAT and W. L. HWANG, 1992 : Singularity detection and processing with wavelets, IEEE Trans. Information Theory, Vol. 38, *617- 643*.

[8] F. MOREAU, D. GIBERT, M. HOLSCHNEIDER, G. SARACCO, 1997 : Wavelet analysis of potential fields, Inverse Problem 13, U.K, *165 - 178*.

[9] F. MOREAU, D. GIBERT, M. HOLSCHNEIDER, G. SARACCO, 1999 : Idenfication of sources of potential fields of with the continuous wavelet transform : Basic theory, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, B3, *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, *19455-19475*.

[11] A. L. STEWART, R. PINKHAM, 1991 : A space-variant differential operator for visual sensitivity, Biol. Cybernetics, Vol. 64, *373-379*.

[12] W. M. TELFORD, L. P. GELDART and R. E. SHERIFF, 1990 : Applied Geophysics, Cambridge Univ. Press.

SUMMARY

Using the line-weight function to enhance the resolution of gravity and magnetic data in interpretation by Wavelet transform

The multiscale edge detection (MED) using wavelet transform was used to solve the inversion problem of gravity and 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 theoretical gravity model and the magnetic experimental model to prove the reliability of method. Secondly, the method was used to interpret the magnetic profile in Mekong delta area as well. The results showed that this method can determine not only the positions and the depths but also the widths, the thickness and the dip of the sources. The determination of these source parameters is the special achievement of this method comparing with other methods.

Ngày nhận bài : 05 - 11 - 2009

Trường đại học Khoa học Tự nhiên
Tp Hồ Chí Minh

Trường Cao đẳng Xây dựng Vĩnh Long
Trường Đại học Cần Thơ