

TĂNG CƯỜNG ĐỘ PHÂN GIẢI TRONG PHÉP CHUYỂN TRƯỜNG XUỐNG CỦA CÁC DỮ LIỆU TRƯỜNG THỂ

ĐẶNG VĂN LIỆT, LƯƠNG PHƯỚC TOÀN, BÙI THỊ ÁNH PHƯƠNG

I. MỞ ĐẦU

Chuyển trường xuống dưới là một trong các bài toán biến đổi trường được sử dụng rộng rãi, nhất là trong thăm dò quặng mỏ và trong phân tích các nguồn trường nông. Phương pháp thông dụng là sử dụng biến đổi Fourier để chuyển tích chập trong miền không gian thành tích đại số trong miền số sóng (tần số). Tuy nhiên, khi tính toán, ngoài việc khuếch đại các thành phần có tần số cao hữu ích, nó còn khuếch đại rất mạnh các nhiễu chứa trong dữ liệu và thường chúng làm lu mờ các thành phần có tần số cao. Do đó, đã có nhiều phương pháp được đưa ra nhằm cải thiện việc tính chuyển trường xuống dưới sao cho kết quả được sắc nét hơn; phương pháp thông dụng như phương pháp tách nhiễu dùng biến đổi Wavelet rời rạc của Donoho, phương pháp tách nhiễu sử dụng phép lọc tuyến tính tối ưu Wiener, phương pháp đạo hàm bậc hai tích hợp theo phương thẳng đứng (ISVD, Integrated Second Vertical Derivative) của Fedi và Florio và phương pháp biến đổi biên đa tỷ lệ (MET, Multiscale Edge Transform) của F. Boschetti và nnk [6]. Theo đánh giá của H. Trompat và nnk [6] phương pháp ISVD và đặc biệt là phương pháp MET có độ ổn định tốt; tuy nhiên, phương pháp tính phức tạp, nên hai phương pháp này không được áp dụng rộng rãi. Ngoài ra, H. Trompat và nnk chỉ tính trên dữ liệu của một tuyến (2D), không thấy tính toán trên diện tích (3D).

Trong bài này, chúng tôi đề nghị một phương pháp đơn giản, nhưng hữu hiệu để tăng cường độ phân giải của phép chuyển trường xuống khi sử dụng phương pháp thông dụng cho cả hai trường hợp 2D và 3D. Phương pháp đề nghị là sử dụng hàm trọng-lượng-tuyến (LWF Line-Weight Function) - hàm được dùng để tăng cường độ phân giải trong phương pháp xác định biên trong xử lý ảnh - để lọc nhiễu đã được khuếch đại và làm rõ biên của các dị

thường địa phương chứa trong bản đồ chuyển trường xuống dưới.

II. PHƯƠNG PHÁP

1. Tóm lược về phương pháp chuyển trường xuống dưới

Công thức tính chuyển trường lên trên cho bởi [2]:

$$\Delta T(x, y, -h) = \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{h/2\pi}{(\alpha^2 + \beta^2 + h^2)^{3/2}} \times \Delta T(x - \alpha, y - \beta, 0) d\alpha d\beta \quad (1)$$

trong đó, $\Delta T(x, y, -h)$ - giá trị của trường tính ở bên trên mặt quan sát một đoạn là h , $\Delta T(x, y, 0)$ - giá trị của trường quan sát trên mặt đất.

Công thức (1) là một tích chập giữa hai hàm số

$$W_{up}(x, y) = \frac{h/2\pi}{[x^2 + y^2 + z^2]^{3/2}} \text{ và } \Delta T(x, y, 0).$$

Công thức trên cũng được dùng để tính chuyển trường xuống dưới, nghĩa là tính $\Delta T(x, y, 0)$ khi có $\Delta T(x, y, -h)$; trong trường hợp này, bài toán trở nên phức tạp vì phải tính hàm trong dấu tích phân; tuy nhiên, việc tính toán trở nên dễ dàng khi tính trong miền số sóng (tần số).

Thật vậy, nếu gọi $K(u, v)$ là biến đổi Fourier của $\Delta T(x, y, -h)$, $Y_{up}(u, v)$ là biến đổi Fourier của $W_{up}(x, y)$ và $G(u, v)$ là biến đổi Fourier của $\Delta T(x, y, 0)$. Theo định lý tích chập thì (1) biểu diễn trong miền tần số (u, v) như sau:

$$K(u, v) = Y(u, v).G(u, v) = G(u, v). e^{-h\sqrt{u^2+v^2}} \quad (2)$$

$$\text{nên } G(u, v) = K(u, v). e^{h\sqrt{u^2+v^2}} \quad (3)$$

trong đó, u - số sóng theo phương x và v - số sóng theo phương y .

Sau khi có giá trị $G(u,v)$, tính biến đổi Fourier ngược để có giá trị $\Delta T(x,y,h)$ trong miền không gian (x,y) .

Toán tử lọc của phép chuyển trường xuống $e^{h\sqrt{u^2+v^2}}$ là một hàm mũ, chúng tăng nhanh khi số sóng lớn lên với các bước sóng ngắn (của dữ liệu quan sát) sẽ được khuếch đại rất nhiều và mức độ khuếch đại sẽ phụ thuộc vào giá trị của h và khoảng lấy mẫu của dữ liệu. Nếu có các sai số trong số liệu đo, chúng sẽ bị khuếch đại và tạo ra các biến thiên giả tạo, làm mờ các tín hiệu có ích và các dị thường khi chuyển trường xuống dưới không còn sắc nét nên khó phân tích hoặc không thể phân tích.

2. Hàm trọng-lượng-tuyến trong việc xác định biên của hình ảnh

Trong việc xác định biên của hình ảnh, thường người ta sử dụng phép lọc Gauss (Gaussian filter) để loại nhiễu; thực chất đây là các phép lọc thông thấp nên không chỉ loại nhiễu mà còn loại bỏ các thông tin ẩn chứa trong các tần số cao và có thể làm lệch vị trí các biên. A. Fiorentine và L. Mazzantini (1966) [3] đã giới thiệu hàm trọng-lượng-tuyến để xử lý dữ liệu trước khi xác định biên; hàm này không những loại được nhiễu mà còn tăng cường độ tương phản ở biên, nên rất thích hợp trong việc xác định biên. Về mặt toán học, 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) Hàm trọng-lượng-tuyến một chiều

A.L. Stewart và R. Pinkham (1991) [5] dùng tiếp cận toán học để giải quyết một thí nghiệm cổ điển về vật lý tâm thần (psychophysics); 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. 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 dưới dạng bài toán trị riêng.

Định nghĩa toán tử:

$$p = -\frac{d^2}{dx^2} + x^2 \quad (4)$$

và một hàm thử:

$$u = \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] \quad (5)$$

Áp dụng toán tử p của (4) vào hàm thử (5):

$$pu = \lambda u \quad (6)$$

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

$$-u'' + x^2u = \lambda u \quad (7)$$

Lời giải của phương trình (7) có dạng:

$$u(x) = ch_n(x) = c \cdot \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] H_n(x) \quad (8)$$

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 tỷ lệ, tham số vô hướng σ (độ lệch chuẩn của hàm Gauss) được đưa vào hàm Hermite:

$$h_n(x/\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} \cdot \frac{d^n}{d(x/\sigma)^n} \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

Vậy, $h_0(x/\sigma)$ là hàm Gauss:

$$h_0(x/\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

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

$$h_2(x/\sigma) = \frac{1}{\sqrt{8\pi\sigma^2}} \left(-\exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] + \frac{x^2}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \right) \quad (11)$$

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

$$l(x/\sigma) = c_0 h_0(x/\sigma) + c_2 h_2(x/\sigma) \quad (12)$$

b) Hàm trọng-lượng-tuyến hai chiều

Công thức LWF hai chiều được tính tương tự như khi tính công thức một chiều. Lúc đó hàm thử đặt dưới dạng:

$$U(x,y) = X(x).Y(y) \quad (13)$$

và xây dựng hai phương trình tương tự như phương trình (7):

$$-X'' + x^2X = \lambda_x X \quad (14)$$

$$\text{và} \quad -Y'' + y^2Y = \lambda_y Y \quad (15)$$

trong đó, λ_x và λ_y là hằng số.

Do phương trình (14) và (15) có cùng dạng với phương trình (7), nên $U(x,y)$ có thể viết:

$$U(x,y) = h_m(x).h_n(y) \quad (16)$$

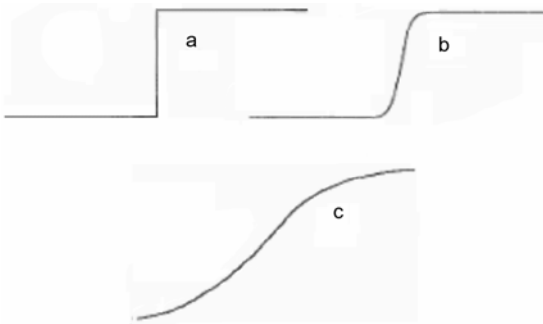
trong đó, m và n là bậc lần lượt theo x và y.

Phương trình LWF hai chiều với tham số vô hướng σ cho bởi :

$$L(x/\sigma, y/\sigma) = c_0 h_0(x/\sigma).h_0(y/\sigma) + c_2[h_0(x/\sigma).h_2(y/\sigma) + h_2(x/\sigma).h_0(y/\sigma)] \quad (17)$$

Công thức (17) được sử dụng trong phép lọc 2D. Hàm trọng-lượng-tuyến chỉ gồm các hàm Hermite bậc chẵn nên chúng đối xứng. L.M. Kennedy và M. Basu (1997) [4], M. Basu (1994) [1] đã áp dụng LWF để xử lý hình ảnh của sinh vật ; sau đó, xác định biên bằng phương pháp Sobel và các kết quả đạt được tốt hơn khi dữ liệu chưa xử lý.

Việc lọc nhiễu và không làm dịch chuyển biên của hàm LWF được minh họa trong hình 1; hình 1a là một biên bậc thang, hình 1b là phép lọc LWF áp dụng trên biên bậc thang và hình 1c là phép lọc Gauss trên cùng một biên bậc thang [4]. Kết quả cho thấy phép lọc LWF làm trơn biên (lọc nhiễu) nhưng không làm thay đổi vị trí của biên ; trong khi đó, phép lọc Gauss lọc nhiễu nhưng kéo dài biên theo phương nằm ngang.



Hình 1. Biên bậc thang (a), biên bậc thang được lọc bởi hàm LWF (b), Biên bậc thang được lọc bởi hàm Gauss (c) [4]

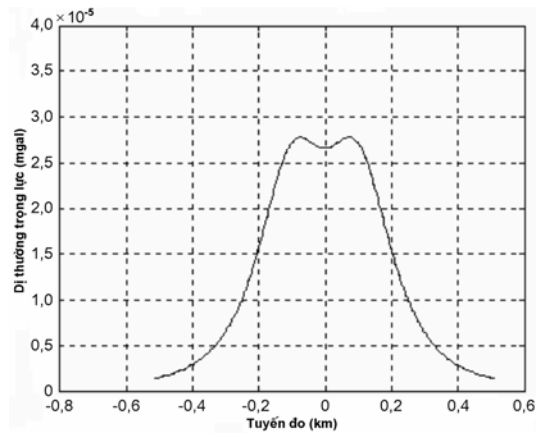
3. Ứng dụng vào bài toán trường thế

Chúng tôi áp dụng phép lọc dùng hàm trọng-lượng-tuyến LWF vào các dữ liệu trường thế (2D hoặc 3D) đã được tính chuyển trường xuống bằng phương pháp thông dụng (sử dụng biến đổi Fourier). Việc thực hiện phép lọc có thể thực hiện trong miền không gian hoặc trong miền số sóng. Trong bài này chúng tôi áp dụng phép lọc trong miền không gian cho dữ liệu 2D và phép lọc trong miền số sóng cho dữ liệu 3D.

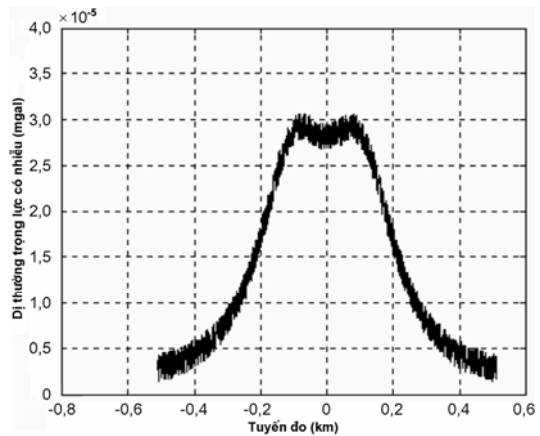
III. ÁP DỤNG

1. Áp dụng trên mô hình

Mô hình là hai hình cầu có cùng bán kính $R = 10$ m, đặt cùng độ sâu độ sâu 150 m tại hai vị trí -100 m và 100 m, tuyến đo đi từ -500 m đến 500 m, bước đo là 0,5 m. Hình 2a là trường trọng lực của hai hình cầu và hình 2b là trường trọng lực của hai hình cầu được cộng thêm nhiễu (sử dụng hàm tạo nhiễu của Matlab : $2e-6*\text{rand}(1,1000)$).



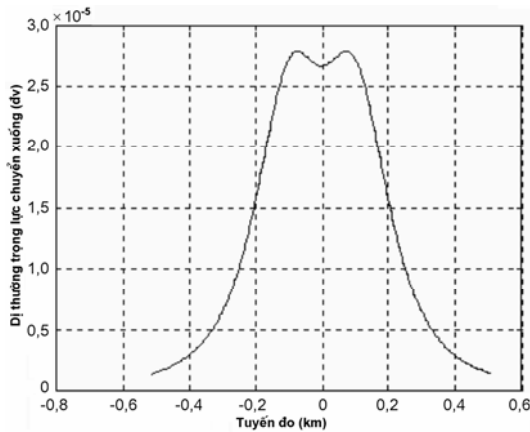
Hình 2a. Dị thường Bouguer của hai hình cầu



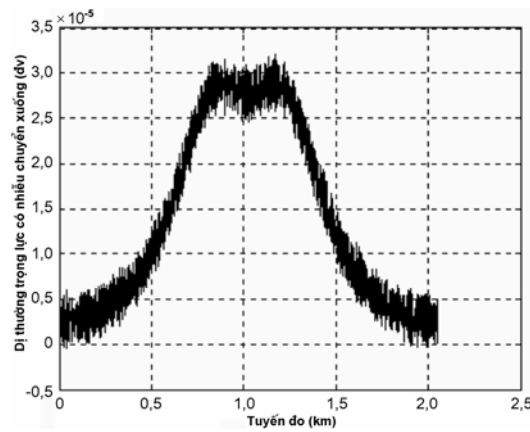
Hình 2b. Dị thường Bouguer của hai hình cầu được cộng nhiễu

Hình 3a là giá trị chuyển trường xuống 5 m bằng phương pháp truyền thống dùng biến đổi Fourier với dữ liệu là trường trọng lực của hai quả cầu chưa cấy nhiễu, hình 3b là chuyển trường xuống 5 m của dữ liệu đã cấy nhiễu.

Áp dụng phép lọc LWF cho dữ liệu là giá trị chuyển trường xuống có chứa nhiễu trong hình 3b.



Hình 3a. Chuyển trường xuống 5 m với dữ liệu vẽ trong hình 2a (không nhiễu)

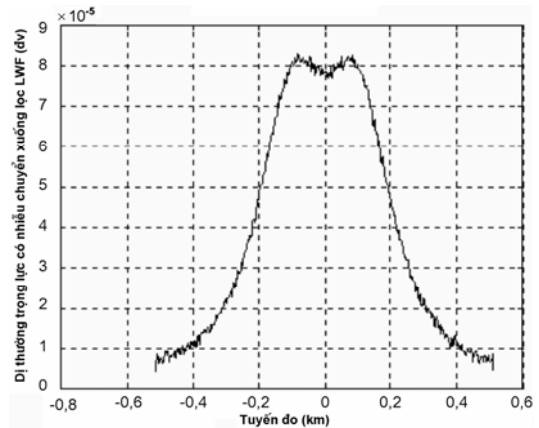


Hình 3b. Chuyển trường xuống 5 m với dữ liệu vẽ trong hình 2b (chứa nhiễu)

Vì dữ liệu chứa nhiễu khá mạnh nên chọn $c_0 = 0,1$ khá lớn để lọc nhiễu mạnh ; $c_2 = -0,2$ lớn để tăng khả năng tương phản của biên, $\sigma = 2$ (thông thường). Hình 4 là giá trị chuyển trường xuống được lọc nhiễu bởi hàm LWF ; tuy chưa lọc nhiễu hoàn toàn, nhưng so với đồ thị hình 3a, chúng có dạng gần tương đương.

2. Tuyến dị thường từ Cà Mau đến 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° ; các giá trị gốc lấy trên bản đồ từ hàng không ở độ cao 300 m, khoảng cách các điểm là 1 km. Hình 5 là cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến được dùng làm dữ liệu để tính chuyển trường xuống 1 km.

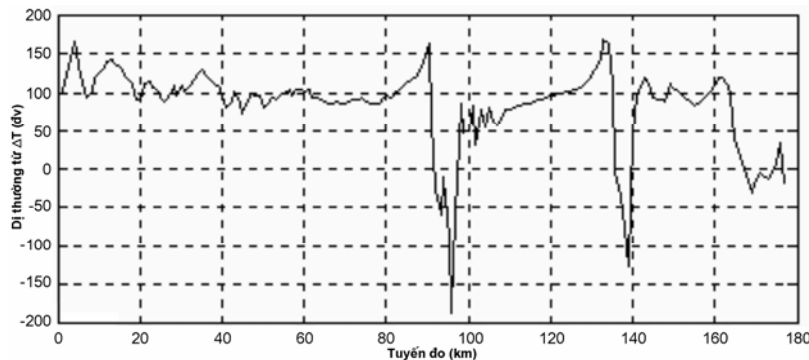


Hình 4. Lọc LWF cho dữ liệu trong hình 3b ($c_0 = 0,1$, $c_2 = -0,2$ và $\sigma = 2$)

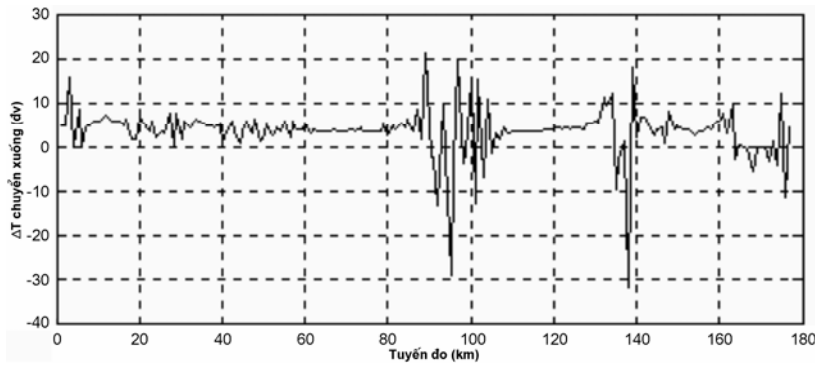
Hình 6 là cường độ dị thường từ được chuyển trường xuống 1 km, đồ thị cho thấy giá trị chuyển trường bị ảnh hưởng của nhiễu. Sử dụng phép lọc LWF để loại các nhiễu này ; do dữ liệu chứa nhiễu không nhiều nên chọn $c_0 = 0,007$ và $\sigma = 1$ bé, vì cần tăng cường biên nên chọn $c_2 = -0,4$ lớn. Hình 7 là kết quả lọc của giá trị chuyển trường xuống chứa nhiễu trong hình 6. Kết quả cho thấy dữ liệu trở nên sắc nét và có thể phân tích trên dữ liệu này.

3. Bản đồ dị thường trọng lực

Hình 8 là bản đồ dị thường Bouguer trên một mảng ô vuông 64×64 , khoảng cách $\Delta x = \Delta y = 2$ km,

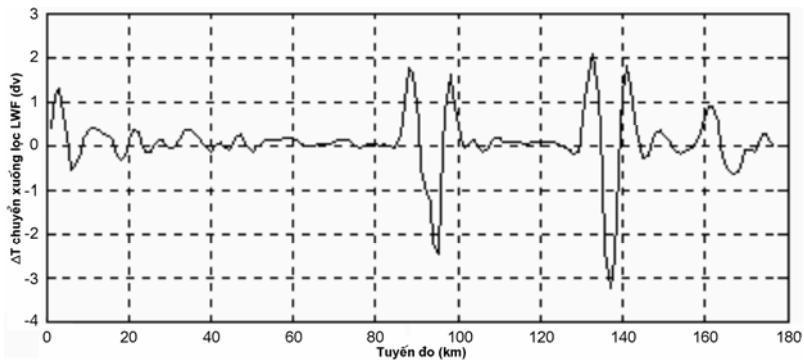


← Hình 5.
Đị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau - An Giang



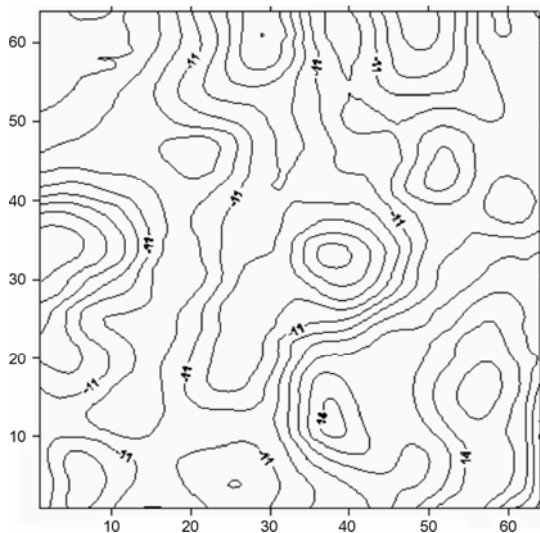
← Hình 6.
Chuyển trường xuống 1 km
của dị thường từ tuyến
Cà Mau - An Giang

Hình 7. →
Lọc LWF dữ liệu trong
hình 6
($c_0 = 0,007$, $c_2 = -0,4$ và
 $\sigma = 1$)

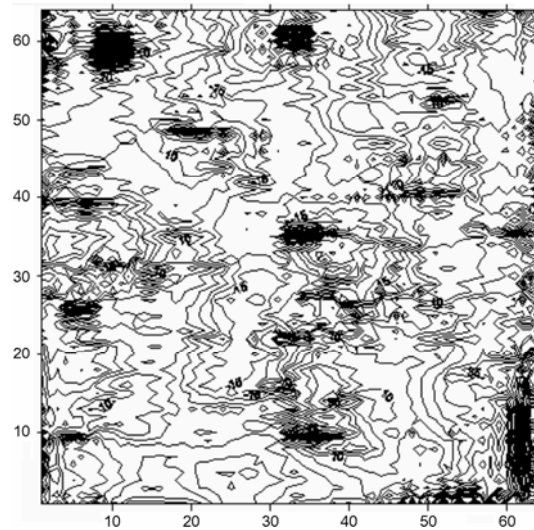


các đường đẳng trị cách nhau 5 mgal. Hình 9 là bản đồ chuyển trường xuống 3 km, các đường đẳng trị cách nhau 5 mgal; bản đồ chuyển trường xuống cho thấy các dị thường địa phương tập trung ở các tâm của các dị thường của bản đồ quan sát, nhưng nhiều đã làm nhỏ các dị thường địa phương, nên không thể phân tích được.

Áp dụng phép lọc LWD-2D (trong từ và trọng lực thường gọi là 3D) cho bởi công thức (17), chọn các tham số lọc $c_0 = 0,007$, $c_2 = -0,4$ và $\sigma = 1,3$. Kết quả ghi trong hình 10, cho thấy có thể xác định rõ các dị thường địa phương.



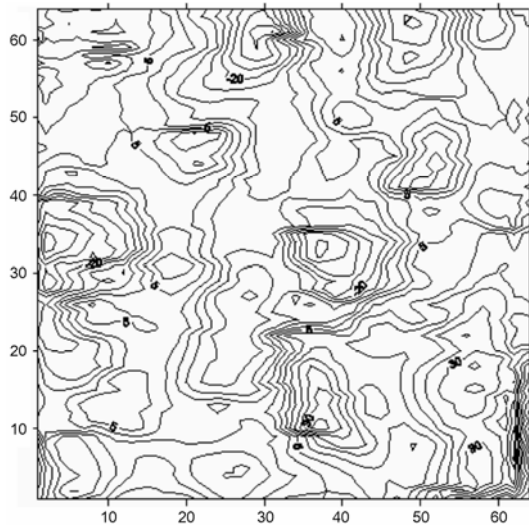
Hình 8. Bản đồ dị thường Bouguer
(các đường đẳng trị cách nhau 5 mgal)



Hình 9. Chuyển trường xuống 3 km
(các đường đẳng trị cách nhau 5 mgal)

Từ kết quả của phép lọc LWF trên một bậc thang (hình 1b) của L.M. Kennedy và M. Basu

(1997) [4], có thể nói khi áp dụng phép lọc LWF vào giá trị chuyển trường xuống, nó giữ nguyên vị trí các biên nghĩa là không xô dịch các dị thường địa phương sau khi lọc ; đây là một ưu điểm mà các phép lọc nhiễu khác (thí dụ phép lọc Gauss) không thể có được.



Hình 10. Lọc LWF dữ liệu trong hình 9
($c_0 = 0,007$, $c_2 = -0,4$ và $\sigma = 1$)

KẾT LUẬN

Chúng tôi đã sử dụng hàm trọng-lượng-tuyến để lọc nhiễu và làm rõ các dị thường địa phương chứa trong bản đồ chuyển trường xuống. Các tính toán trên mô hình toán, cũng như trên các dữ liệu thực 2D và 3D cho thấy nhiễu đã bị lọc và các dị thường địa phương hiện rõ trên bản đồ chuyển trường xuống đã lọc. Ưu điểm của phương pháp là đơn giản, dễ tính toán hơn các phương pháp hiện có và không làm dịch chuyển vị trí của các dị thường địa phương. Do đó, có thể sử dụng phương pháp này trong thực tế sản xuất, đặc biệt là trong thăm dò quặng mỏ và thăm dò các đối tượng nông.

TÀI LIỆU DẪN

- [1] M. BASU, 1994 : Gaussian derivative model for edge enhancement, Pattern Recognition, Vol. 27, 11, 1451-1461.
- [2] R. J. BLAKELY, 1996 : Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge Univ. Press, New York.
- [3] 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.
- [4] L.M. KENNEDY, M. BASU, 1997 : Image enhancement using a human visual system model, Pattern Recognition, Vol. 30, 12, 2001-2014.
- [5] A.L. STEWART, R. PINKHAM, 1991 : A space-variant differential operator for visual sensitivity, Biol. Cybernetics, Vol. 64, 373-379.
- [6] H. TROMPAT, F. BOSCHETTI, P. HORNBY, 2003 : Improved downward continuation of potential field data, Exploration Geophysics, V. 34, 249-256.

SUMMARY

Intensified resolution of downward continuation of potential field data

Potential field data usually contain noises and in the downward continuation these noises with high frequency are amplified strongly that mask all useful information of the original data. Consequently, the downward continuation maps are difficult to be interpreted. In this paper, we propose using a line-weight function (LWF) to eliminate the noises of downward continuation data. The method was applied on a gravity model, a magnetic profile and a gravity map. The results showed that this method can be used effectively to interpret local anomalies in filtered downward continuation data.

Ngày nhận bài : 15-10-2009

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp HCM
Trường Cao đẳng Xây dựng Miền Tây