ÁP DỤNG PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET 2-D ĐỂ TÁCH TRƯỜNG DỊ THƯỜNG TỪ

Đặng Văn Liệt[1], Dương Hiếu Đẩu[2] và Đỗ Đức Cường[1]

ABSTRACT

A measurement magnetic field may be composed by regional anomalies - corresponding to low frequencies - and by local anomalies - corresponding to high frequencies. The initial step of the magnetic interpretation was the separation of local or regional anomalies from the measurement magnetic field.

The Wavelet transform can be used to decompose a signal into approximation components - corresponding to high scales or low frequencies - and detail components - corresponding to low scales or high frequencies. In this manner, the Wavelet transform can be used to separate the local and regional magnetic anomalies. In this paper we used the Wavelet transform to separate the local - regional magnetic anomalies in one area's offshore of South Viet Nam. The results were compared with the ones calculated by a traditional method.

Keywords: Wavelet transform, multi-resotution analysis, regional anomalies, local anomalies.

Title: Application of the wavelet transform 2-D to separate the magnetic anomalies.

TÓM TẮT

Trường từ quan sát là chồng chập của các dị thường từ khu vực - ứng với các tần số thấp - và các dị thường từ địa phương - ứng với các tần số cao. Việc tách các dị thường này ra khỏi dị thường từ quan sát là cần thiết trong việc giải đoán các tài liệu về trường nói chung, trường từ, nói riêng.

Trong phép biến đổi Wavelet, tín hiệu được chia thành hai thành phần: thành phần xấp xỉ - ứng với tỉ lệ cao (tần số thấp) - và thành phần chi tiết - ứng với tỉ lệ thấp (tần số cao). Vậy có thể sử dụng trực tiếp phéo biến đổi Wavelet để tách trường. Trong bài này chúng tôi sử dụng phép biến đổi Wavelet 2-D để thực hiện việc tách trường cho một vùng biển ở Nam Việt Nam. Kết quả được đem so sánh với các kết quả có được bằng phương pháp truyền thống.

Từ khóa: Phép biến đổi Wavelet, phân tích đa phân giải, dị thường địa phương, dị thường khu vực.

1 MỞ ĐẦU

Trường từ quan sát được là tổng của các nguồn trường từ nằm dưới mặt đất. Tuỳ theo mục đích nghiên cứu, người ta chú trọng tới các nguồn trường từ gần mặt đất hay nguồn trường từ nằm ở sâu. Do đó, việc tách hai nhóm nguồn trường từ này là cần thiết trong việc phân tích các tài liệu về *trường dị thường từ* cũng như trường trọng lực. Nghiên cứu chính xác trường từ tại một địa phương sẽ cho ta đánh giá được cấu trúc địa tầng của nơi đó cũng như lập bản đồ khoáng sản địa phương.

Các phương pháp truyền thống thông dụng (J.M. Reynolds, 1997) để loại bỏ thành phần của nguồn trường không mong muốn là phương pháp trung bình hóa (Griffin,1949), phương pháp bình phương tối thiểu (Abdelrahman et al., 1991), phương pháp biến đổi Fourier nhanh (Bhattacharyya, 1976) và phương pháp lọc truy hồi (Vaclac et al., 1992). Hai trong các phương pháp mới được đưa ra trong mười năm gần đây gồm phương pháp phần tử hữu hạn (K. Mallick and K.K. Sharma, 1999) và phương pháp dùng phép biến đổi Wavelet (Fedi and Quarta, 1998); trong đó, phương pháp dùng phép biến đổi Wavelet đang được phát triển mạnh.

[1] Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh
[2] Bộ môn Vật lý, Khoa Khoa Học, Đại học Cần Thơ

Trong bài này chúng tôi sử dụng phương pháp phân tích đa phân giải (MRA) để tính phép biến đổi Wavelet-2D và ứng dụng để tách trường dị thường từ khu vực ra khỏi trường dị thường từ quan sát (Ucan et al., 2000).

2 PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET VÀ PHÂN TÍCH ĐA PHÂN GIẢI

Trường dị thường từ quan sát được là sự chồng chập của các *trường dị thường từ* sinh ra bởi nhiều nguồn trường nằm bên dưới mặt đất. Mục đích của công tác thăm dò là tìm kiếm các đối tượng có kích thước nhỏ nằm gần mặt đất. Trường từ của chúng thường bị che lấp bởi *trường dị thường* khu vực sinh ra do các nguồn trường lớn hơn và ở sâu hơn. *Trường dị thường từ* khu vực là đối tượng của công việc nghiên cứu cấu trúc địa chất sâu của khu vực. Việc giải đoán và lập mô hình số hoá trong việc phân tích các đối tượng nông, sâu sẽ phụ thuộc vào việc tách *trường dị thường từ* địa phương - ứng với các tần số cao - và *trường dị thường từ* khu vực - ứng với các tần số thấp - ra khỏi *trường dị thường từ* quan sát.

Các hàm Wavelet phải thỏa một số điều kiện toán học nhất định và được dùng trong việc biểu diễn dữ kiện hay các hàm số khác. Theo nghĩa này, phép biến đổi Wavelet được dùng để phân tích một tín hiệu thành các thành phần có tần số khác nhau: thành phần xấp xỉ - ứng với tỉ lệ cao (tần số thấp) - và thành phần chi tiết - ứng với tỉ lệ thấp (tần số cao); mỗi thành phần được biểu diễn ứng với vị trí của nó trong không gian (hoặc thời gian). Vậy phép biến đổi Wavelet là một công cụ để có thể xác định mối quan hệ giữa tần số và vị trí của các thành phần của một tín hiệu. Với tính chất cơ bản này, phép biến đổi Wavelet có thể sử dụng để tách trường dị thường từ khu vực hay trường dị thường từ địa phương ra khỏi trường dị thường từ quan sát như vừa đề cập ở đoạn trên.

2.1 Phép biến đổi Wavelet

Wavelet được đề cập bởi Haar từ năm 1909, nhưng nó chỉ thực sự phát triển trong xử lý tín hiệu số từ khi Mallat (1989) đưa ra thuật toán hình tháp và các cơ sở Wavelet trực chuẩn và nhất là từ khi Daubechies (1990) dùng công trình của Mallat để tạo nên một tập hợp các hàm cơ sở trực chuẩn Wawelet.

Một lớp các hàm số có bình phương khả tích có thể biểu diễn bằng phép biến đổi Wavelet, lớp này được ký hiệu là $L^2(R)$:

$$f(x) \in L^2(R) \Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2\, dx < \infty \qquad (1)$$

Một hàm số Wavelet $\Psi(x) \in L^2(R)$ có hai tham số đặc trương là tham số tỉ lệ (giãn) (s) và tham số dịch chuyển (vị trí) (t), chúng thay đổi liên tục. Các hàm Wavelet dùng trong phân tích ở đây xuất phát từ một hàm Wavelet cơ bản gọi là hàm Wavelet mẹ (morther Wavelet) bằng cách thay đổi hai tham số tỷ lệ và dịch chuyển. Một tập hợp các hàm cơ sở Wavelet $\psi_{s,\tau}(x)$ cho bởi:

$$\psi_{s,\tau}(x) = \frac{1}{\sqrt{|s|}}\psi\left(\frac{x-\tau}{s}\right) \quad \text{với } s,\tau \in R, \quad s \neq 0 \qquad (2)$$

Trong đó, tham số tỷ lệ (s) tương ứng với việc nén hoặc giãn tín hiệu và nó là nghịch đảo của tần số; tỷ lệ lớn ứng với thành phần có tần số thấp nên cho biết thông tin toàn thể, tỷ lệ nhỏ ứng với thành phần tần số cao nên cho biết thông tin chi tiết của tín hiệu. Tham số dịch chuyển (τ) cho biết vị trí của tín hiệu trong không gian hoặc thời gian.

Phép biến đổi Wavelet liên tục của một tín hiệu cho bởi :

$$W_{s,\tau}(f) = \left\langle f, \psi^*_{s,\tau} \right\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi^*_{s,\tau}(x)dx \quad (3)$$

Trong đó,* là kí hiệu liên hợp phức; s và τ là hai tham số tỷ lệ (scale) và dịch chuyển (translation). $W_{s,\tau}(f)$ còn gọi là hệ số Wavelet và ký hiệu < > là tích nội (tích chập).

Phép biến đổi Wavelet ngược cho bởi:

$$f(x) = \frac{1}{C^2}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{\infty}\psi\left(\frac{x-\tau}{s}\right)W_{s,\tau}(f)\,\frac{dsd\tau}{s^2} \quad (4)$$

Với $C = \left[2\pi\int_{-\infty}^{\infty}\frac{|\Gamma(\omega)|^2}{|\omega|}d\omega\right]^{1/2} < \infty$ và $\Gamma(\omega)$ là biến đổi Fourier của ψ

Do nhu cầu tính toán và xử lý các dữ kiện thực trên máy tính, Daubechies (1990) đưa ra một một họ Wavelet quan trọng được dùng để tính biến đổi Wavelet rời rạc (DWT). Theo cách tiếp cận này, ứng với hàm Wavelet $\psi(x)$, người ta đưa ra một hàm số tỉ lệ $\Phi(x)$ được dùng để tính ψ (x) như sau:

$$\Phi(x) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k\,\Phi(2x-k) \quad (5)$$

$$\Psi(x) = \sum_{k=0}^{N-1}(-1)^k c_k\,\Phi(2x+k-N+1) \quad (6)$$

Với N là số chẵn. Lúc này, các tham số tỉ lệ (s) và tham số dịch chuyển (τ) là các giá trị rời rạc: $s = s_0^j$, $\tau = k\tau_0 s_0^j$, với k, j $\in$ Z và $s_0 > 1$ và $\tau_0 > 0$. Hàm Wavelet viết dưới dạng rời rạc là:

$$\psi_{s,\tau}(x) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}}\psi\left(\frac{x-k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (7)$$

Trong đó k và j là các số nguyên xác định bậc của tỷ lệ và vị trí. Trong thực tế thường chọn s_0=2 và τ_0=1 và được gọi là vị trí và tỉ lệ nhị phân, nó làm cho việc phân tích được chính xác và hiệu quả. Lúc đó, trục tần số (tỉ lệ) được phân thành dãy là lũy thừa của 2. Khi đó biến đổi Wavelet rời rạc có dạng:

$$DWT(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\left(2^{-j/2}\psi(2^{-j}x-k)\right)dx \quad (8)$$

Với $\psi_{J,K}$ (x) được xác định nghĩa như sau:

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{-j/2}\psi(2^{-j}x-k) \quad (9)$$

2.2 Phân tích đa phân giải (Multi-Resotution Analysis)

Phép biến đổi Wavelet được sử dụng rộng rãi khi Mallat (1989) đưa ra thuật giải phân tích đa phân giải (MRA) để tính DWT. Với MRA, không gian L^2 (R) gồm các không gian gần đúng liên tiếp Vj. Hàm tỉ lệ $\psi(x)\in V_0$ hiện hữu như sau:

$$\Phi_{j,k}(x) = 2^{-j/2}\Phi(2^{-j}x-k) \qquad \text{với } j,k \in Z \tag{10}$$

Với hàm $\psi(x) \in V_0 \subset V_1$ có một dãy $\{h_k\}$ sao cho:

$$\Phi(x) = 2\sum_k h_k\,\Phi(2x-k) \tag{11}$$

Đây là phương trình sai phân tỉ lệ hai. Ngoài ra, gọi W_j là không gian bù của V_j trong V_{j+1} sao cho $V_{j+1} = V_j \oplus W_j$ và $\bigoplus_{j=-\infty}^{\infty} W_j = L^2(R)$. Từ hàm Wavelet $\psi_j(x)$ và cũng là một phần tử của V_0 có một dãy $\{g_k\}$ hiện hữu như sau:

$$\Psi(x) = 2\sum_k g_k\,\Phi(2x-k) \tag{12}$$

Điều này cho thấy hàm f(x) có thể biểu diễn với các tỉ lệ khác nhau của miền tần số bởi một họ hàm số trực giao $\Phi(x)$. Bây giờ, chúng ta xét tới cách tính hàm số trong không gian Vj bằng cách chiếu tín hiệu lần lượt lên Vj và Wj :

$$P_V\,f(x) = \sum_k \left\langle f,\Phi_{j,k}(x)\right\rangle \Phi_{j,k}(x) \tag{13}$$

$$P_W\,f(x) = \sum_k \left\langle f,\Psi_{j,k}(x)\right\rangle \Psi_{j,k}(x) \tag{14}$$

Do $V_j = V_{J-1} \oplus W_{j-1}$, nên hàm gốc $f(x) \in V_0$ có thể viết lại:

$$f(x) = \sum_k \left\langle f,\Phi_{j,k}(x)\right\rangle \Phi_{j,k}(x) + \sum_j^{J-1}\sum_k \left\langle f,\Psi_{j,k}(x)\right\rangle \Psi_{j,k}(x) \quad (J > j_0) \tag{15}$$

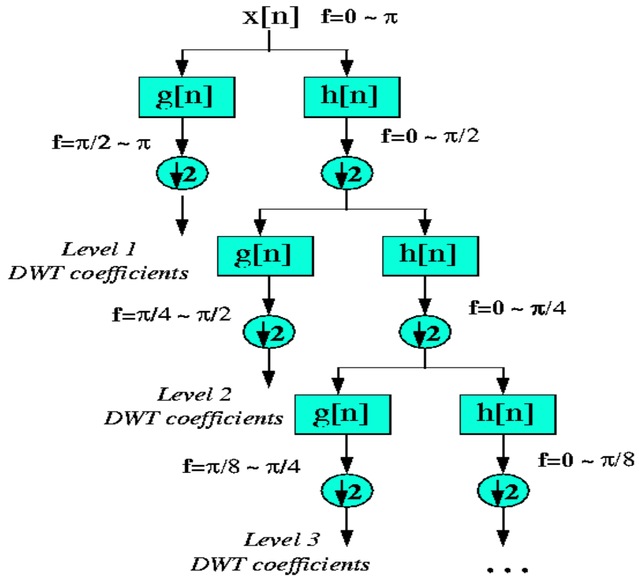
với $c_{j,k} = \left\langle f,\Phi_{j,k}(x)\right\rangle$ và $d_{j,k} = \left\langle f,\Psi_{j,k}(x)\right\rangle$ xác định bởi:

$$c_{j-1,k} = \sqrt{2}\sum_i h_{i-2k}\,c_{j,k} \tag{16}$$

và $$d_{j,k} = \sqrt{2}\sum_j g_{j-2k}\,c_{j,k} \tag{17}$$

Thuật toán RMA sử dụng kỹ thuật lọc số FIR với bộ lọc thông thấp sử dụng hàm tỉ lệ $\Phi(x)$ và bộ lọc thông cao sử dụng hàm Wavelet $\psi(x)$, chúng tạo thành một phép lọc gọi là phép lọc gương cầu phương.

Do phải sử dụng hai bộ lọc, để khối lượng tính toán không gia tăng người ta thực hiện phép lấy mẫu xuống 2 cho tín hiệu cần tính biến đổi và khi lấy phép biến đổi ngược thì người ta thực hiện phép lấy mẫu lên 2, để khôi phục đúng tín hiệu. Sơ đồ thuật toán nêu trong Hình 1.



Hình 1: Thuật toán RMA

2.3 Phân tích đa phân giải 2-D

Người ta sử dụng phép biến đổi Wavelet 1-D để tính phép biến đổi Wavelet 2-D. Trước hết, người ta lấy biến đỗi Wavelet 1-D cho tất cả các hàng {mỗi hàng gồm hai phép lọc thông thấp (H) và thông cao (G)}; tiếp theo, lấy phép biến đổi Wavelet cho từng cột. Kết quả sau cùng được tổng hợp để trở thành biến đổi Wavelet-2D của tín hiệu. Gọi x_1, x_2 là hai trục toạ độ, H là phép lọc thông thấp, G là phép lọc thông cao; phép biến đổi Wavelet-2D được tính cụ thể như sau:

$$\phi^{(1)}(x_1,x_2)=\phi(x_1)\phi(x_2): \quad HH \tag{18}$$

$$\psi^{(2)}(x_1,x_2)=\phi(x_1)\psi(x_2): \quad HG \tag{19}$$

$$\psi^{(3)}(x_1,x_2)=\psi(x_1)\phi(x_2): \quad GH \tag{20}$$

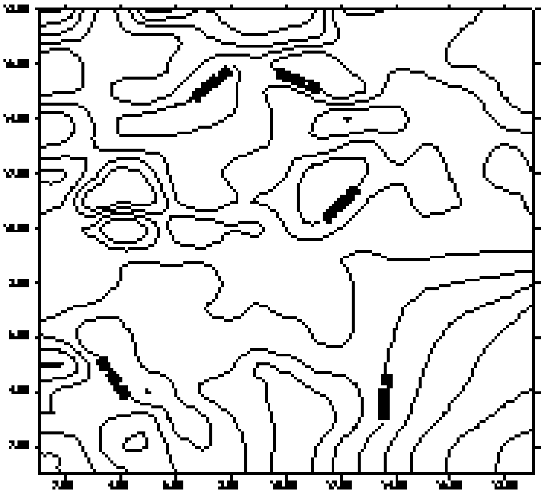
$$\psi^{(4)}(x_1,x_2)=\psi(x_1)\psi(x_2): GG \tag{21}$$

3 ỨNG DỤNG PHÉP BIẾN ĐỔI WAVELET-2D TÍNH TRƯỜNG TỪ KHU VỰC

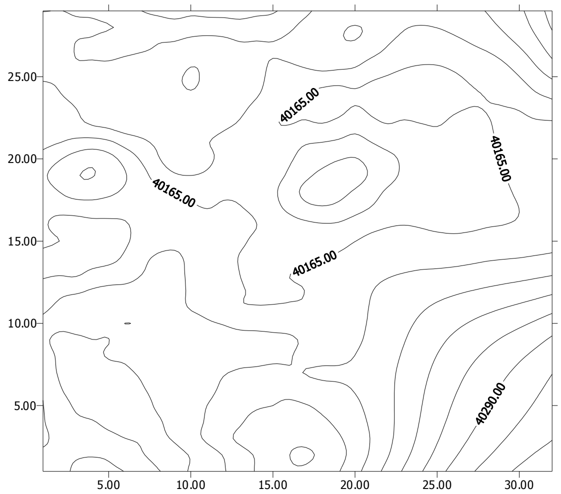
Dữ kiện là giá trị cường độ từ toàn phần đo bằng từ kế Varian V-4937 có độ chính xác là 1γ. Vùng khảo sát nằm giữa kinh độ: $106^0$15'E – $107^0$40'E, vĩ độ: $6^0$15'N – $7^0$40'N, rộng khoảng 27.000 Km^2 ỡ vùng cực Nam của vùng biển Nam Việt Nam. Các giá trị ở góc Đông-Nam không có (trên bản đồ là giá trị nội suy). Các giá trị đo đạc được đưa về mạng ô vuông 36x33 điểm với khỏang cách dx = dy = 5Km.Trong vùng đã có bản đồ dị thường từ và dị thường Bouguer tỉ lệ 1/2.000.000 của Cộng hoà Nhân dân Trung Hoa, bản đồ này chỉ dùng để tham khảo vì tỉ lệ nhỏ. Theo Uy ban hợp tác thăm dò tài nguyên khoáng sản ở vùng biển Á Châu (CCOP, 1971) độ từ cảm của đá andesit là 4070, thạch anh diorit là 92, gabbro là 50 và granit là 15.10-6cgs, độ dày của lớp trầm tích biến thiên từ 1-5Km (Đ.V. Liệt, 2002).

Dùng phương pháp MRA 2-D với hàm Wavelet Daubechies-2 (M. Misiti et al., 1996) và dừng lại ở mức (tầng) 1, các giá trị xấp xỉ sẽ cho giá trị *cường độ từ* khu vực (Hình 2). Kết quả cho thấy *dị thường từ* khu vực tập trung ở trung tâm và có khuynh hướng kéo dài theo phương ngang ở phía bắc vùng khảo sát. So sánh với bản đồ từ khu vực tính bằng phương pháp trung bình hoá theo bán kính chọn là 15,5Km (Hình 3) cho thấy có sự phù hợp của hai phương pháp. Tuy nhiên *trường dị thường từ* khu vực tính bằng phương pháp

Wavelet cho phép khảo sát được nhiều chi tiết hơn (so sánh hình 2 và 3), nó cho thấy trường khu vực tính được nông hơn trường khu vực tính bằng phương pháp trung bình hoá. Để có thể tính trường khu vực ổn định hơn, có thể tăng thêm số mức lấy biến đổ Wavelet; tuy nhiên, do vùng nghiên cứu nhỏ nên không thể tính trường khu vực ở quá sâu.



Hình 2



Hình 3

Hình 2: Trường dị thường từ khu vực tính bằng phương pháp MRA 2-D

Hình 3: Trường dị thường từ khu vực tính bằng phương pháp trung bình hóa

4 KẾT LUẬN

Qua kết quả tính toán trên cho thấy có thể sử dụng phép biến đổi wavewlet 2-D với thuật toán RMA để tính trường dị thường từ khu vực. Ưu điểm của phương pháp là việc tính toán nhanh, không cần xác định kích thước tối ưu của bán kính trung bình hoá, cũng như không cần tính phép biến đổi ngược như phương pháp dùng phép biến đổi Fourier. Vấn đề cần quan tâm khi sử dụng phương pháp là việc chọn lực hàm Wavelet và việc giới hạn số tầng khi tính phép biến đổi. Để giải quyết vấn đề này, cần có kinh nghiệm trong tính toán và hiểu biết về địa chất của vùng nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

BLATTER C., 1998, Wavelet: A prime; A.K. Peter, Natick, Massachusetts.

ĐẶNG VĂN LIỆT, 2002, Phân tích tài liệu từ ở vùng biển phía nam của Nam Việt Nam bằng phương pháp gradient có độ phân giải cao. Hội thảo khoa học công tác nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực các Khoa học về trái đất ở các tỉnh phía nam, định hướng nghiên cứu và đào tạo nhân lực phục vụ cho các mục tiêu phát triển bền vững - TP Hồ Chí Minh, 23-24/12/2002.

FEDI M. and T. QUARTA, 1998, Wavelet Analysis for the regional -residual and local separation of potential field anomalies. Geophysical Prospecting, V.46, 507-525.

MISITI M., Y. MISITI ,G. OPPENHEIM &J.M. POGGI, 1996, Matlab: Wavelet Toolbox; The MathWorks, Natick, Massachusetts.

REYNOLDS J.M., 1997, An Introduction to Applied and Emvironmental Geophysics; John Wiley &Sons, Chichester, U.K.

UCAN O.N., S. SEKER, A.M. ALBORA and A. OZMEN, 2000, Separation of magnetic fields in geophysical studies using a 2-D multi-resolution Wavelet analysis approach, J. of Bankan Geophysical Society, Vol 3, 53-58.