



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Phép biến đổi Wavelet trong phân tích tín hiệu ảnh Sar để xác định kích thước cửa sổ tối ưu cho quá trình khớp điểm ảnh

Trần Thanh Hà *

Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 15/6/2017
 Chấp nhận 20/7/2017
 Đăng online 28/2/2018

Từ khóa:

Wavelet
 Kích thước cửa sổ tối ưu
 Hệ số tự tương quan

Hiện nay Radar do mở tổng hợp (SAR) đang được ứng dụng để tạo ra bản đồ biến dạng bề mặt và tạo mô hình số độ cao. Tuy nhiên tín hiệu này thường không ổn định, do đó ảnh SAR thu được thường bị ảnh hưởng bởi nhiễu đốm, vấn đề này gây khó khăn cho việc tự động tìm và khớp các điểm ảnh. Vì vậy, việc sử dụng một hàm toán học phân tích tín hiệu ảnh SAR để tìm và khớp những điểm ảnh đặc trưng là rất cần thiết. Phương pháp wavelet sẽ đáp ứng được yêu cầu này, khi phân tích tín hiệu bằng hàm tự tương quan nó cho thấy những sóng nhỏ chứa các dao động ở tần số thấp, giúp chúng phát hiện các thành phần biến thiên nhanh còn ẩn bên trong tín hiệu, từ đó sẽ tìm được kích thước cửa sổ tối ưu cho việc khớp điểm ảnh để phục vụ cho quá trình đồng đăng ký ảnh SAR. Phương pháp đề xuất đã được minh họa bởi cặp ảnh SAR chụp khu vực Quảng Ninh thu nhận ngày 14/5/2017 và 26/5/2017.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Khái niệm tối ưu hóa được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, tối ưu hóa là mục tiêu cho hầu hết các dự án để đạt được kết quả tốt nhất dựa trên một tham số nhất định. Cụ thể, trong việc khớp điểm, kích thước cửa sổ tối ưu là kích thước cửa sổ cho ra kết quả giao thoa và DEM tốt nhất.

Hiện nay, việc xác định kích thước cửa sổ tối ưu chủ yếu bằng kinh nghiệm bằng cách khảo sát các kích thước cửa sổ khác nhau. Cửa sổ cho kết quả tốt nhất được xác định là cửa sổ tối ưu. Một số các nghiên cứu đã thực hiện như: Zebker et al, 1994b với kích thước cửa sổ xác định là 33x33,

hay Liao, 2000 với cửa sổ 63x63. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là tốn thời gian và công sức thực hiện, do phải khảo sát rất nhiều các kích thước cửa sổ khác nhau để có thể tìm ra một kích thước cửa sổ tối ưu. Do vậy, một giải pháp tự động xác định cửa sổ tối ưu là rất cần thiết trong phân tích tín hiệu radar.

Để xác định các điểm ảnh trên ảnh phụ (slave) khớp với các điểm ảnh trên ảnh chính (master), sử dụng một cửa sổ có kích thước nhất định quét toàn bộ ảnh slave, tại mỗi vị trí cửa sổ quét qua, điểm nào có hệ số tương quan chéo lớn nhất thì điểm đó được chọn. Như vậy, kích thước cửa sổ ảnh hưởng tới hệ số tương quan chéo và kết quả của khớp điểm ảnh vì nếu kích thước cửa sổ quá lớn sẽ làm phát sinh các điểm khớp giả, còn đối với kích thước cửa sổ quá nhỏ sẽ dẫn đến việc đồng

*Tác giả liên hệ

E - mail: tranthanhha@humg.edu.vn

đăng ký không đáng tin cậy. Điều này phản ánh mối quan hệ giữa kích thước cửa sổ và giá trị tương quan.

Tương quan phản ánh mức độ giống nhau giữa các điểm ảnh trên ảnh. Nếu các điểm ảnh có giá trị xám độ bằng nhau thì hệ số tương quan bằng 1. Ngược lại, nếu giá trị xám độ khác nhau hoàn toàn thì giá trị tương quan bằng 0. Khi các điểm ảnh thuộc cùng một ảnh được so sánh, tương quan giữa chúng là tự tương quan (auto - correlation).

Phương pháp sử dụng để xác định cửa sổ tối ưu là phương pháp phân tích ảnh dùng hàm tự tương quan. Hệ số tự tương quan được phân tích bằng phương pháp wavelet bởi khả năng ưu việt của phép biến đổi này trong phân tích tín hiệu ở các tỷ lệ (độ phân giải) khác nhau.

2. Tính toán hệ số tự tương quan

Hàm tự tương quan một chiều được xác định theo phương trình sau (Zou, 2007):

$$R(d) = \frac{Cov(d)}{V} \quad (1)$$

Trong đó $R(d)$ là hệ số tự tương quan của các điểm ảnh với khoảng cách d ; $Cov(d)$ là giá trị hiệp phương sai của các điểm ảnh với khoảng cách d ; V là phương sai của các điểm ảnh được tính như sau (Zou, 2007):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - M)^2}{N - 1} \quad (2)$$

$$Cov(d) = \frac{\sum (Z_i - M)(Z_{i+d} - M)}{N - 1} \quad (3)$$

Trong đó Z là giá trị xám độ của điểm ảnh thứ i , Z_{i+d} là giá trị xám độ của điểm ảnh có khoảng cách d với điểm ảnh thứ i . M là trị trung bình của tất cả các điểm ảnh. N là tổng số các điểm ảnh được tính toán.

Giá trị $Cov(d)$ thay đổi phụ thuộc vào khoảng cách d , do đó $R(d)$ cũng phụ thuộc vào khoảng cách d . Khoảng cách càng lớn, giá trị $Cov(d)$ và $R(d)$

càng nhỏ. Mối quan hệ này được thể hiện dưới hàm mật độ và hàm Gauss như sau (Zou, 2007):

$$Cov(d) = V \times e^{-\frac{2d}{c}} \quad (4)$$

$$Cov(d) = V \times e^{-\frac{2d}{c^2}} \quad (5)$$

Trong đó c là khoảng cách tương quan khi $Cov(d)$ tiến tới 0.

Trong không gian hai chiều, $Cov(d)$ và V được xác định như sau (Zou, 2007):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (Z_{i,j} - M)^2}{(N-1)(K-1)} \quad (6)$$

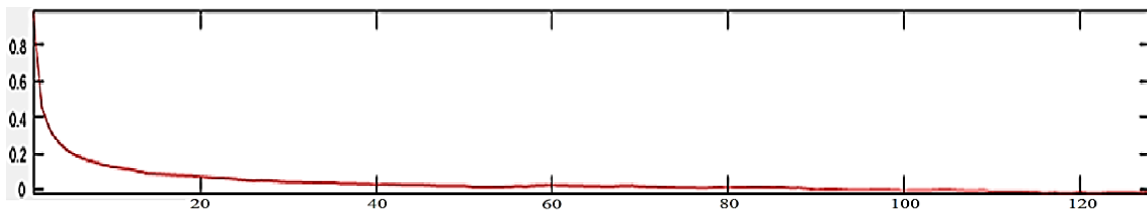
$$Cov(d) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K [(Z_{i,j} - M)(Z_{i,j+d} - M) + (Z_{i,j} - M)(Z_{i+d,j} - M)]}{(N-1)(K-1)} \quad (7)$$

Trong đó: K là giá trị độ xám trung bình của tất cả các pixel và (i, j) là tọa độ pixel.

Trong một ảnh, hệ số tự tương quan khác nhau cho khoảng cách d khác nhau. Hệ số tự tương quan thay đổi theo khoảng cách d , điều này được thể hiện ở Hình 1.

Từ Hình 1 cho thấy hệ số tự tương quan thay đổi khi khoảng cách tăng, và có sự thay đổi lớn tại một số vị trí. Đây là các vị trí có thể được sử dụng như là kích thước của cửa sổ khớp điểm ảnh. Giá trị tự tương quan bằng 0 có nghĩa là các điểm ảnh khác nhau hoàn toàn. Thực tế cho thấy hệ số tự tương quan có thể không giảm dần tiệm cận 0 mà thay vào đó là một giá trị nào đó.

Để xác định được kích thước cửa sổ tối ưu, phép biến đổi wavelet được sử dụng để phân tích sự biến đổi của hệ số tự tương quan. Hàm tự tương quan $R(d)$ được xem như một tín hiệu. Tín hiệu này được phân tích ở nhiều mức bằng phép biến đổi wavelet để tách thành hai thành phần tần số cao và tần số thấp. Thành phần tần số thấp thể hiện xu hướng chung của tín hiệu, do đó các thay đổi hay đột biến của tín hiệu có thể được xác định trên thành phần này. Thành phần tần số cao cho thấy các thay đổi cục bộ của tín hiệu. Thông qua phân tích hai thành phần tần số cao và tần số thấp



Hình 1. Sự biến thiên hệ số tự tương quan với khoảng cách.

Tại mỗi tầng lọc, biểu thức của phép lọc cho bởi công thức (Polikar,2001):

$$y_{high}(n) = \sum_n S(n)g(2k - n) \quad (10)$$

$$y_{low}(n) = \sum_n S(n)h(2k - n) \quad (11)$$

Trong đó: $y_{high}(n)$ và $y_{low}(n)$ là kết quả của phép lọc thông cao và thông thấp sau khi lấy mẫu xuống 2 lần; $S(n)$ là tín hiệu; $h(n)$ là đáp ứng xung của các bộ lọc thông thấp tương ứng với hàm tỷ lệ

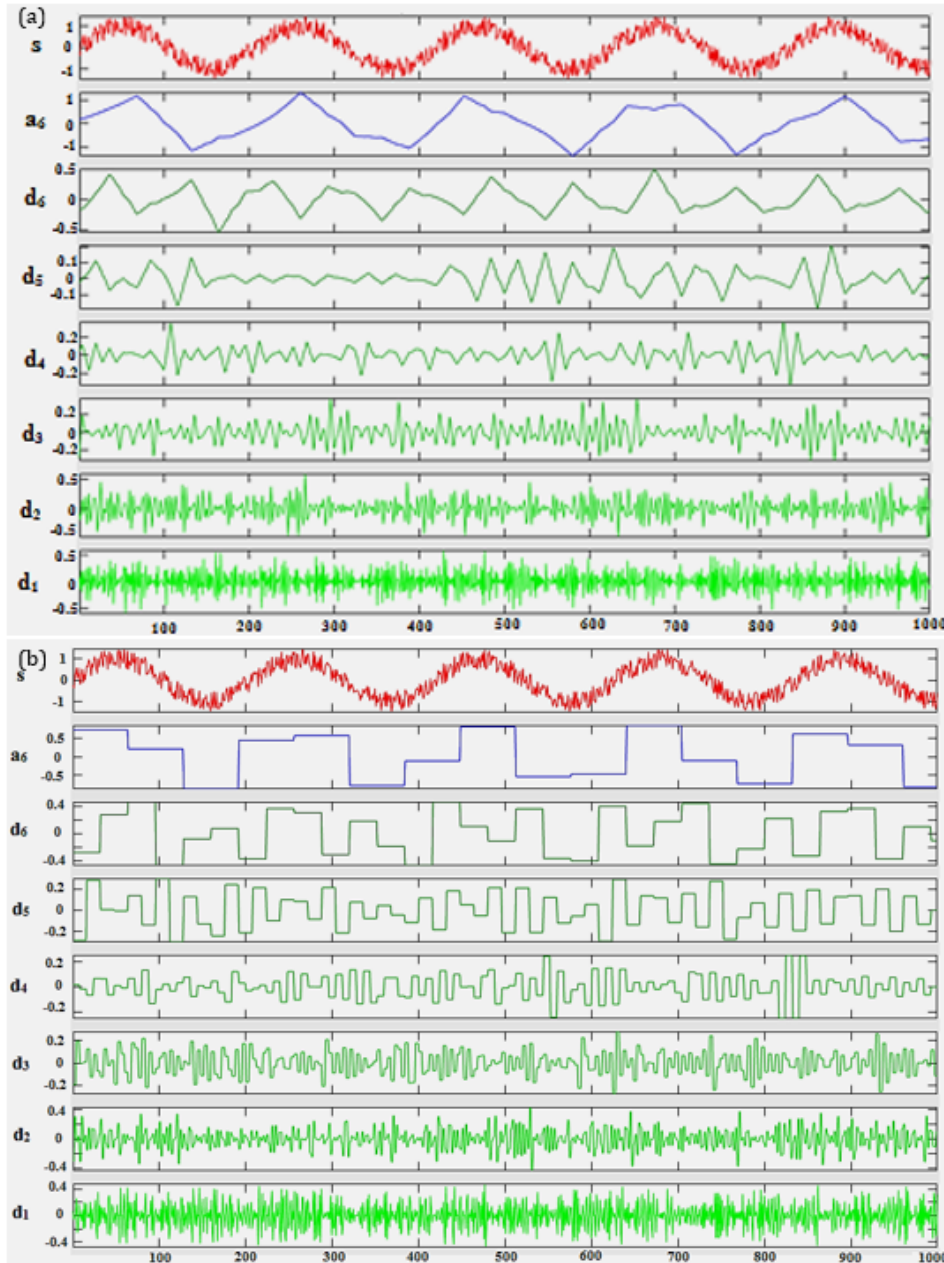
$\phi(n)$; $g(n)$ là đáp ứng xung của các bộ lọc thông cao tương ứng với hàm wavelet $\psi(n)$.

Hai bộ lọc này liên hệ nhau theo công thức:

$$h(N - 1 - n) = (-1)^n g(n) \quad (12)$$

với N là số mẫu trong tín hiệu.

Để phát hiện các điểm tại đó có đột biến của tín hiệu, phép biến đổi wavelet rời rạc thường được sử dụng do các xung ngắn dễ dàng phát hiện các khuôn dạng của thành phần rời rạc trong tín hiệu hơn là các xung dài.



Hình 4. Tín hiệu và các thành phần của tín hiệu. (a) Các thành phần tín hiệu sau khi được phân tích bởi wavelet db3; (b) Các thành phần tín hiệu sau khi được phân tích bởi wavelet db1.

Do đó, phép biến đổi wavelet Daubechies (dbn) được lựa chọn để phát hiện các thành phần rời rạc trong tín hiệu phân tích. Phép biến đổi wavelet - dbn được Daubechies giới thiệu lần đầu vào năm 1988, trong đó db là tên viết tắt Daubechie của họ wavelet, n là số thứ tự. Ưu điểm chính của phép biến đổi Daubechies là có thể phân tích tín hiệu ở nhiều mức, với mức càng cao thì càng phát hiện ra sự chi tiết của tín hiệu. Ngoài ra, ở mức càng cao thì tín hiệu càng mượt mà hơn ở tầng phân tích thấp vì biến đổi wavelet Daubechies có các cửa sổ chồng lên nhau do đó có thể phát hiện ra những điểm đột biến của tín hiệu.

Hình 4a, mô tả một tín hiệu và các thành phần của nó được phân tích bởi phép biến đổi wavelet, qua đó cho thấy các tính chất của phương pháp này. Hình 4a tín hiệu s mô tả tín hiệu gốc trong miền thời gian. Từ hình vẽ có thể thấy rằng tín hiệu gốc chứa rất nhiều nhiễu khiến việc phát hiện hình dạng tín hiệu trở nên khó khăn. Hình 4a và 4b, mô tả các thành phần của tín hiệu sau khi được phân tích bằng phép biến đổi wavelet db3 và db1. Phương pháp phân tích đa phân giải được sử dụng trong các phân tích trên. Trên hình 4a, các thành phần từ d1 đến d6 là thành phần chứa tần số cao hay các thành phần chi tiết của tín hiệu, trong khi a6 là thành phần chứa tần số thấp hay thành phần

xấp xỉ của tín hiệu. Xu hướng tín hiệu chính được thể hiện trong a6. Có thể thấy rằng tất cả các thành phần này không cho thấy các điểm có đột biến hay gián đoạn. Điều này làm việc xác định chi tiết sự rời rạc về cường độ tín hiệu trong a6 là rất khó.

Hình 4b mô tả tất cả các thành phần sau phân tích bằng wavelet db1 với 6 tầng phân tích. Thành phần xấp xỉ ở tầng phân tích thứ 6 cho thấy các điểm đột biến. Những biến đổi của cường độ tín hiệu tại các vị trí xảy ra đột biến này có thể phản ánh các tính chất cơ bản của tín hiệu. Chính vì vậy mà wavelet db1 thường được sử dụng trong phân tích tín hiệu.

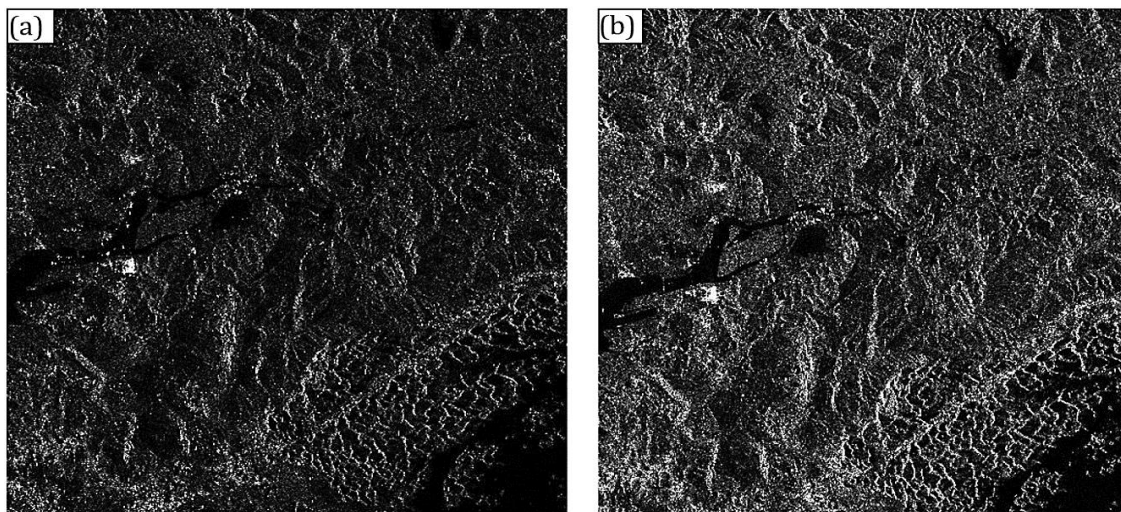
3.2. Phân tích hệ số tự tương quan (auto - correlation) bằng phương pháp wavelet

3.2.1. Dữ liệu thực nghiệm

Đối với dữ liệu ảnh SAR cho khu vực nghiên cứu, tác giả chọn dữ liệu Sentinel - 1A. Đây là vệ tinh đầu tiên thuộc dự án Copernicus, được phóng lên với mục đích theo dõi sự biến đổi khí hậu và giám sát môi trường ở trái đất. Và cũng là một trong hai dự án có quy mô lớn nhất từ trước đến nay, được thực hiện bởi Cơ quan hàng không Vũ trụ châu Âu (ESA) và Liên minh châu Âu (EU).

Bảng 1. Các thông số của ảnh.

Khu thực nghiệm	Dữ liệu	Ngày thu	Độ phân giải (m)		Quỹ đạo	Kích thước ảnh (pixel)	Đường đáy (m)
			Phương vị	Hướng tầm			
Quảng Ninh	SLC	14/05/2017	13.98	2.33	16577	518 x 605	124
	SLC	26/05/2017	13.98	2.33	16752	624 x 686	



Hình 5. Cặp ảnh SAR khu vực Quảng Ninh. (a) Ảnh chính; (b) Ảnh phụ.

Dựa trên ảnh SAR, hệ số tương quan được tính theo công thức (1). Hệ số tự tương quan được phân tích theo phương pháp wavelet db1 để phát hiện sự thay đổi biên độ ở các thành phần tần số thấp và tần số cao.

3.2.2 Thực nghiệm

Dựa vào ảnh SAR, hệ số tự tương quan đã được tính toán và được thể hiện trong hình 1. Từ đường cong nhận thấy rằng hệ số tự tương quan giảm nhanh khi khoảng cách tăng dần từ 0 pixel đến 120 pixel. Sau khoảng cách là 120, thì hệ số tự tương quan không cho thấy sự thay đổi lớn và dần dần

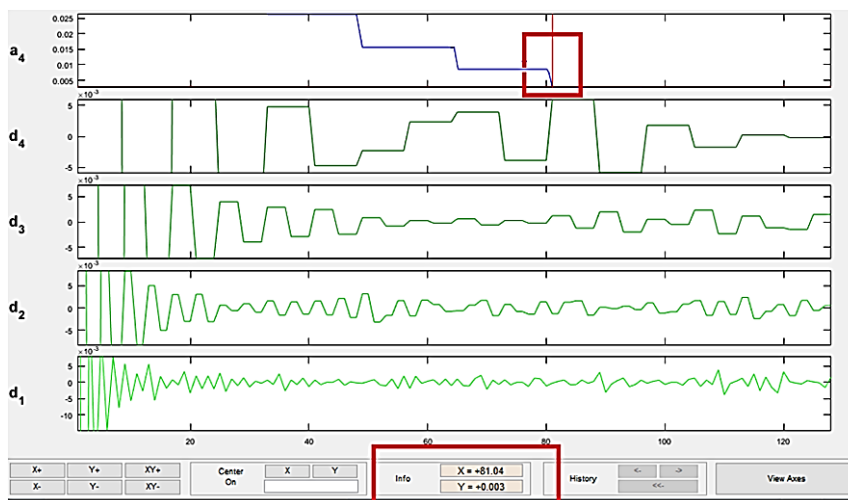
đi đến một con số ổn định.

Từ hệ số tự tương quan tín hiệu đã được phân tách thành hai thành phần bao gồm thành phần tần số thấp và các thành phần tần số cao như thể hiện trong hình 4b. Thành phần tần số thấp là a_4 còn các thành phần tần số cao là d_1, d_2, d_3 và d_4 . a_4 phản ánh xu hướng của tín hiệu còn d_4 phản ánh tính cục bộ của tín hiệu.

Xác định kích thước cửa sổ tối ưu

Để xác định kích thước cửa sổ tối ưu thì ảnh SAR được đưa vào phân tích với chương trình do tác giả viết để cụ thể như sau:

```
%% Chương trình xác định kích thước của số tối ưu:
% Chọn đường dẫn nơi chứa hàm tính hệ số tự tương quan (autocorr2):
addpath('D:\Thuc nghiem InSAR\Matlab codes');
% Hiện thị hệ số tự tương quan của ảnh chính
% plot(d,r_d);
disp('Su dung WAVELET TOOLBOX');
disp('Chọn wavelet 1 chiều (1D) để phân tích đường hệ số tự tương quan xác định của số tối ưu');
disp('Tai du lieu: Wavelet 1-D/ File/ Import from Workspace/ Import Signal/ tu_tquan');
disp('Chọn Wavelet: db 1; Chọn số tầng phân tích level: 4; Analyze');
disp('Tren thanh phân phân tích xấp xỉ (a) xác định được của số tối ưu ở bước nhảy cuối cùng');
disp('Kích chuột phải vào vị trí bước nhảy và xem kết quả');
%% Dòng dạng ký ảnh
[s_dadk,m_dadk] = chuyen_doi_da_thuc(m_anh,s_anh,3,jj_new,ii_new,S_cc,S_rr,lech_x, lech_y);
% Hiện thị cặp ảnh sau khi dòng dạng ký:
% Tính biên độ (amplitude) từ ảnh phức (complex)
bdo_m_anh = abs(m_dadk);
bdo_s_anh = abs(s_dadk);
% Tính dB
db_m_anh = 10.*log10(cdo_m_anh);
db_s_anh = 10.*log10(cdo_s_anh);
figure;
subplot(2,1,1),imagesc(db_m_anh); colormap gray; title('Ảnh SAR chính')
subplot(2,1,2),imagesc(db_s_anh); colormap gray; title('Ảnh SAR phụ đã được dòng dạng ký')
```



Hình 6. Xác định kích thước cửa sổ tối ưu dựa trên phân tích tự tương quan bằng wavelet.

Hình 6 cho thấy các hệ số xấp xỉ trên a_4 giảm dần cho tới khi đạt giá trị ổn định. Mặc dù có nhiều điểm ở đó có sự thay đổi đột biến về cường độ, tuy nhiên các bước nhảy tại vị trí 5, 9, 17, 33, 37 được chọn để đánh giá bởi tại các điểm này sự thay đổi là lớn. Sau điểm 33, giá trị cường độ của thành phần tần số thấp thay đổi rất ít và gần như không đổi. Tương ứng với mỗi bước nhảy này là giá trị biên độ thay đổi từ 0.040, 0.022, 0.010, 0.009. Khi khoảng cách là 0 thì toàn bộ biên độ tương ứng là 0.802. Tỷ lệ biên độ được định nghĩa là tỷ lệ giữa biên độ trong mỗi điểm nhảy với toàn bộ biên độ. Trong mỗi bước nhảy tỷ lệ biên độ được thể hiện ở bảng 1. Từ thay đổi giá trị của biên độ, nhận thấy rằng biên độ của tín hiệu ngày càng nhỏ đi khi khoảng cách tăng, khi khoảng cách là 5 biên độ dao động từ 0.040 đến 0.399, thì sự thay đổi dao động biên độ là 0.359, tỷ lệ biên độ dao động tại thời điểm đó là 4.987% còn thay đổi biên độ là 44.763% và được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Dữ liệu biên độ của thành phần tần số thấp.

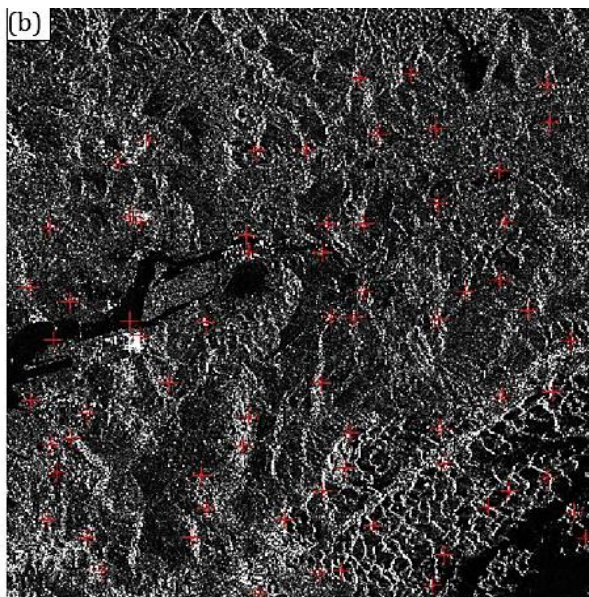
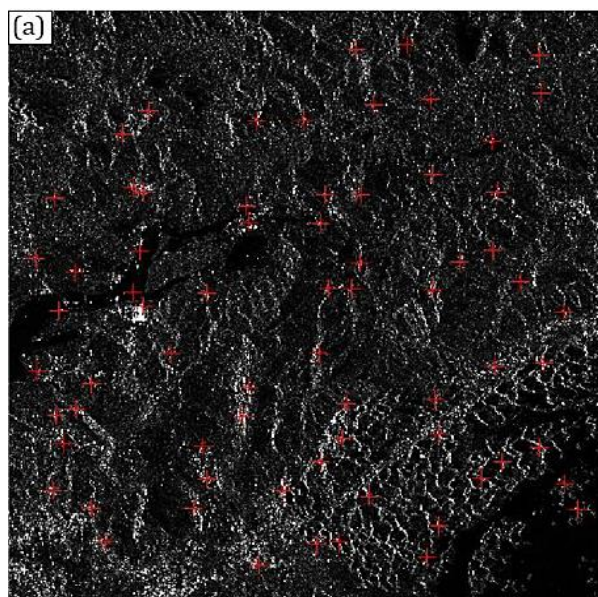
Khoảng cách giữa các bước nhảy	Tỷ lệ biên độ (%)	Tỷ lệ biên độ dao động (%)
49	58.462	41.538
65	28.846	29.615
81	19.231	9.615

Từ dữ liệu về giá trị của biên độ được thể hiện trong Bảng 1 có thể nhận thấy rằng khi khoảng cách lớn hơn 81 thì tỷ lệ biên độ cũng như tỷ lệ

biên độ dao động hầu như không thay đổi. Điều này phản ánh các đặc tính cơ bản của tín hiệu ban đầu và chức năng tự tương quan. Nó cho thấy quan hệ tự tương quan hầu như không thay đổi ở điểm nhảy 81. Từ Hình 6 cũng nhận thấy rằng biên độ của thành phần tần số cao thay đổi rất lớn ở khoảng cách gần, nhưng khi khoảng cách là 81 pixel tương ứng bước nhảy 81 thì biên độ dần ổn định và hầu như không thay đổi. Điều này thể hiện sự biến thiên cục bộ của tín hiệu. Do đó, kích thước 81×81 là kích thước cửa sổ tối ưu cho khớp điểm ảnh đặc trưng. Hình 7, thể hiện các điểm ảnh đặc trưng được chọn và khớp điểm với kích thước cửa sổ là 81×81 và hai ảnh được đồng đăng ký.

4. Kết luận

Các kết quả mô phỏng cho thấy wavelet rất hiệu quả trong việc phân tích để tìm ra sự thay đổi đột biến của tín hiệu, giúp xác định được kích thước cửa sổ tối ưu dựa trên phân tích giá trị tự tương quan, giá trị tự tương quan trở nên nhỏ hơn khi khoảng cách càng lớn. Sau khi phân tích wavelet thì giá trị tự tương quan đã được phân tích thành hai thành phần là thành phần tần số cao bao gồm d_1, d_2, d_3, d_4 và thành phần tần số thấp là a_4 . Thành phần tần số thấp thể hiện sự khác nhau của giá trị tự tương quan, thành phần tần số cao thể hiện giá trị địa phương của tín hiệu Biên độ của a_4 thay đổi tại một số điểm trong trục khoảng cách, sau điểm 81, biên độ có những



Hình 7. Các điểm ảnh đặc trưng đã được khớp. (a) Ảnh chính; (b) Ảnh phụ.

thay đổi rất ít. Vì vậy, $81 * 81$ là kích thước cửa sổ tối ưu cho khớp điểm đặc trưng.

Tài liệu tham khảo

Akhila Devi, B. V., Suja Priyadharsini, S., 2013. Diagnosis of Neuromuscular Disorders Using Softcomputing Techniques. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*. 105 - 110.

Daubechies, I., 1988. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. *Comm. Pure Appl. Math.* 41, 909 - 996.

Liao, M. S., 2000. Study on automatic generation of interferogram from InSAR data, Ph.D dissertation: *Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, Chinese 112p.

Robi Polikar, 2001. *The wavelet tutoria*. Rowan

University College of Engineering Web Servers.

Raez, M. B. I., Hussain, M. S., and Mohd - Yasin, F., 2006. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications. *Biological procedures online*, vol. 8(1). 11 - 35.

Zebker, H. A., Werner, C., Rosen, P. A., and Hensley, S., 1994b. Accuracy of topographic maps derived from ERS - 1 interferometric radar. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 32(4). 823 - 836.

Zou, W., Li, Z., and Ding, X., 2007. Determination of optimum window size for SAR image co - registrantion with decomposition of auto - correlation, *Photogrammetric Record* 22(119). 238 - 256.

ABSTRACT

Wavelet transform in signal processing of sar images to identify the optimal window size for co - registering procedure

Ha Thanh Tran

Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

Synthetic - aperture radar (SAR) is used to generate maps of surface deformation or digital elevation model. However, those signals are not stable, so the resulting SAR image is often affected by speckle noise, this problem makes it difficult to automatically find and match pixels. Therefore, there is a need of applying an algorithm in processing SAR signals for easily identifying matching points. The wavelet transformation is an efficient function that can be applied in this circumstance. Applying this transformation in the correlation function, can determine low frequency waves, and components of variability that hid in the signals. Then, it is much easier to identify optimal window sizes for matching points for SAR coregistration procedure. This transformation method was proposed in this paper and applied for a pair of SAR images of Quang Ning, acquired on May 14 and May 26, 2017.