

LỌC THÍCH ỨNG ẢNH SAR ĐA THỜI GIAN DỰA TRÊN VIỆC XÁC ĐỊNH CÁC VÙNG ỔN ĐỊNH VÀ THAY ĐỔI

LÊ THU TRANG, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu một phương pháp lọc thích ứng cho các chuỗi ảnh Radar khẩu độ tổng hợp (SAR) dựa trên việc phân tích sự thay đổi theo thời gian của các đối tượng trên ảnh. Trước tiên, tại mỗi vị trí pixel trên ảnh, hệ số biến thiên (CV) được kiểm tra chéo để tạo ra các ma trận phát hiện sự thay đổi (CDM), trong đó có chứa các thông tin (thay đổi hoặc không thay đổi) của các pixel theo thời gian. Sau đó các CDM này cung cấp cho bộ lọc các pixel thích hợp cho mỗi vị trí trên mỗi ảnh để tính toán các giá trị lọc. Phương pháp đề xuất được minh họa trên một chuỗi ảnh gồm 25 ảnh TerraSAR-X quỹ đạo đi lên, thu nhận từ 6/11/2009 đến 25/9/2011 trên vùng thử nghiệm Chamonix-Mont-Blanc, Pháp.

1. Đặt vấn đề

Trong thập kỉ gần đây, việc phóng các vệ tinh thế hệ mới cho phép thu nhận các chuỗi ảnh Radar khẩu độ tổng hợp (SAR) theo thời gian có chu kỳ lặp ngắn và độ phân giải cao, rất hữu ích trong việc quan sát và theo dõi sự biến đổi của trái đất. Một trong những vấn đề gây khó khăn cho việc đoán đọc ảnh SAR bằng mắt cũng như tự động đó là nhiễu đốm (speckle) - tồn tại trong các hệ thống thu nhận tín hiệu nhất quán. Có rất nhiều phương pháp lọc nhiễu đốm đã được đề xuất cho ảnh đơn SAR (các phương pháp chỉ sử dụng các thông tin không gian của ảnh) [1, 2]. Với các dữ liệu ảnh đa thời gian, cả thông tin không gian và thời gian đều có thể được khai thác để nâng cao kết quả cho việc lọc ảnh SAR cũng như cho các ứng dụng khác. Hầu hết các bộ lọc đa thời gian đều được mở rộng từ bộ lọc không gian [3, 4]. Các bộ lọc này đều giả thiết rằng tại cùng một vị trí không gian, các pixel trên các ảnh khác nhau của chuỗi ảnh không thay đổi theo thời gian và tất cả chúng đều có thể tham gia vào quá trình lọc ảnh. Trên thực tế thì giả thiết này không phù hợp vì các đối tượng trên mặt đất không ổn định trong toàn bộ chuỗi ảnh. Để giải quyết vấn đề này, bài báo đề xuất một phương pháp lọc ảnh thích ứng theo thời gian cho các chuỗi ảnh SAR trên cơ sở tích hợp với kỹ thuật phát hiện thay đổi. Phương pháp này dựa trên sự phát hiện các

vùng thay đổi và không thay đổi thông qua việc kiểm tra hệ số biến thiên (CV).

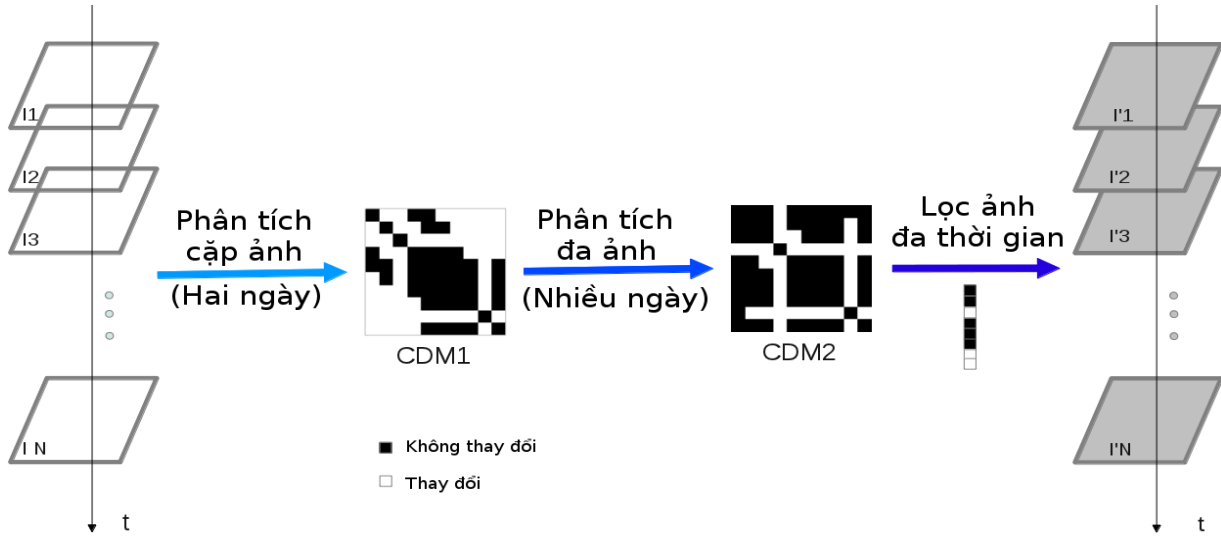
2. Quy trình lọc chuỗi ảnh SAR theo thời gian

Gọi $I = \{I_t\}_{1 \leq t \leq N}$ là một chuỗi ảnh theo thời gian bao gồm N ảnh SAR đã được đăng ký trong cùng một hệ thống tọa độ, trong đó I_t biểu diễn tấm ảnh thu nhận tại thời điểm t . Gọi $I_t(i, j)$ là pixel tại vị trí (i, j) trên ảnh I_t và $I_t^w(i, j)$ là cửa sổ phân tích chứa các pixel lân cận của $I_t(i, j)$. Gọi $\{I_t(i, j)\}_{1 \leq t \leq N}$ là cột pixel, đây là một vector bao gồm tất cả các giá trị pixel trên các ảnh của chuỗi ảnh tại cùng một vị trí không gian. Xét chuỗi ảnh I , phương pháp đề xuất bao gồm ba bước như sau: 1) Phân tích cặp ảnh (hai ngày); 2) Phân tích đa ảnh (nhiều ngày); 3) Lọc ảnh đa thời gian (xem hình 1).

2.1. Phân tích cặp ảnh (hai ngày)

Để xác định các pixel thay đổi và không thay đổi trong mỗi cột pixel, ma trận phát hiện thay đổi (CDM) được xây dựng. Ma trận này là kết quả của các phép kiểm tra chéo về hệ số biến thiên giữa các cặp ảnh.

Sự kiểm tra hệ số biến thiên giữa các ảnh nhằm xác định các pixel đồng nhất trong chuỗi ảnh theo thời gian. Thực vậy, hệ số biến thiên là tỷ số giữa độ lệch chuẩn với giá trị trung bình của ảnh bị nhiễu I_t , đó là, $CV = \sigma_{I_t} / \mu_{I_t}$.



Hình 1. Sơ đồ quy trình lọc chuỗi ảnh SAR theo thời gian

Tại vị trí (i, j) , xét hai pixel của hai ngày bất kỳ t, k trong cột pixel, ta có:

$$H_{t,k}^w(i, j) = CV\{I_t^w(i, j); I_k^w(i, j)\}_{1 \leq t, k \leq N}, \quad (1)$$

với $H_{t,k}^w(i, j)$ là độ biến thiên giữa pixel $I_t(i, j)$ và pixel $I_k(i, j)$. Ngưỡng λ sau đó được sử dụng để xác định xem liệu $H_{t,k}^w(i, j)$ chỉ biểu diễn nhiễu đốm hay chứa cả các thông tin về sự thay đổi giữa các pixel. Ta biết rằng độ lệch chuẩn của nhiễu đốm trong vùng hoàn toàn đồng nhất đối với ảnh SAR biên độ L -looks là $\sigma_s = 0.5227/\sqrt{L}$ [5]. Nếu mặt đất hoàn toàn đồng nhất thì $CV = \sigma_s$; ngược lại, nếu nó biến đổi thì $CV > \sigma_s$. Bài báo này sử dụng ngưỡng thích ứng sau:

$$\lambda(i, j) = \sigma_s + \delta(i, j), \quad (2)$$

trong đó, $\delta(i, j)$ là một giá trị nhỏ biểu thị khoảng dao động nhỏ của ngưỡng λ , được trích từ [5]. Ngưỡng thích ứng lúc này sẽ là:

$$\lambda(i, j) = \eta \left(\sigma_s + \sigma_s \sqrt{\frac{1 + 2\sigma_s^2}{2n(i, j)}} \right), \quad (3)$$

với $n(i, j)$ là số lượng mẫu tham gia trong phép kiểm tra độ biến thiên, η là tham số hệ thống xác định độ mượt, giá trị η thường gần bằng 1.0 [5].

Khi đó, các thông tin về sự thay đổi được xác định như sau:

$$D_{t,k}^w(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } H_{t,k}^w(i, j) \leq \lambda \Leftrightarrow I_k^w(i, j) \in \Psi(I_t^w(i, j)) \\ 1, & \text{nếu } H_{t,k}^w(i, j) > \lambda \Leftrightarrow I_k^w(i, j) \notin \Psi(I_t^w(i, j)) \end{cases} \quad (4)$$

trong đó, $\Psi(I_t^w(i, j))$ là tập hợp chứa các pixel đồng nhất với pixel $I_t(i, j)$. Ma trận D được gọi là ma trận phát hiện thay đổi bước-1 (CDM1). Đây là một ma trận đối xứng có kích thước $N \times N$, chứa các giá trị 0 và 1, trong đó 0 biểu thị "không thay đổi" còn 1 biểu thị "thay đổi".

2.2. Phân tích đa ảnh (nhiều ngày)

Nhằm mục đích nâng cao kết quả của bước 1, việc kiểm tra hệ số biến thiên được tiếp tục thực hiện với các pixel của nhiều ngày trong chuỗi ảnh. Tất cả các pixel đồng nhất đã xác định trong CDM1 tương ứng với từng cặp pixel tham chiếu được sử dụng làm mẫu kiểm tra trong bước này. Độ biến thiên giữa $\Psi(I_t^w(i, j))$ và $\Psi(I_k^w(i, j))$ là:

$$\hat{H}_{t,k}^w(i, j) = CV\{\Psi(I_t^w(i, j)); \Psi(I_k^w(i, j))\}_{1 \leq t, k \leq N}, \quad (5)$$

và đem so sánh với ngưỡng λ , ta có CDM như sau:

$$\hat{D}_{t,k}^w(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{Nếu } \hat{H}_{t,k}^w(i, j) \leq \lambda \\ 1, & \text{Nếu } \hat{H}_{t,k}^w(i, j) > \lambda \end{cases}, \quad (6)$$

ma trận \hat{D} được gọi là ma trận phát hiện thay đổi bước-2 (CDM2).

2.3. Lọc ảnh đa thời gian

Sau bước 2, các ma trận CDM cung cấp những thông tin tin cậy về các pixel thay đổi và không thay đổi trong từng cột pixel. Bộ lọc dựa trên CDM được đề xuất sau đây sẽ tập hợp các pixel không thay đổi và lấy trị trung bình của chúng làm giá trị ảnh lọc.

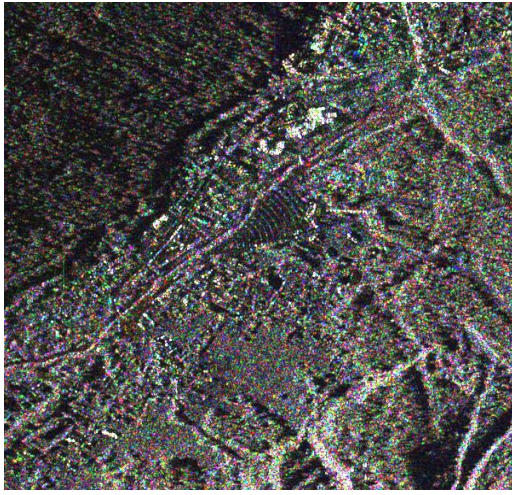
$$\hat{I}_t(i, j) = \frac{1}{N_{\Psi_t(i, j)}} \sum_{k=1}^{N_{\Psi_t(i, j)}} (1 - \hat{D}_{t,k}^w(i, j)) I_t(i, j), \quad (7)$$

với $N_{\Psi_t(i, j)}$ là số lượng các phần tử trong tập hợp $\Psi(I_t^w(i, j))$.

3. Kết quả thực nghiệm

3.1. Dữ liệu vùng nghiên cứu

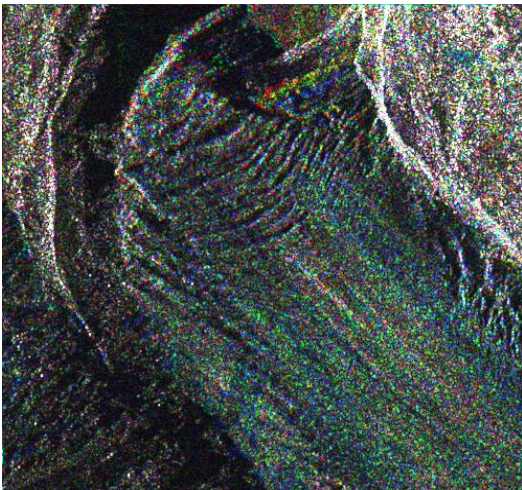
Phương pháp đề xuất được minh họa trên một chuỗi ảnh gồm 25 ảnh TerraSAR-X quỹ đạo đi lên, độ phân giải 2m, thu nhận từ 6/11/2009 đến 25/9/2011 trên vùng thử nghiệm Chamonix-Mont-Blanc, Pháp. Hai khu vực đặc trưng được nghiên cứu đó là: khu vực bãi đậu xe Grands Montets và khu vực băng dịch chuyển Argentière, bao gồm nhiều dạng thay đổi khác nhau như việc xuất hiện và rời đi của các xe trong bãi đậu xe, sự biến đổi của bề mặt băng, v.v. (xem hình 2).



(a)



(b)



(c)



(d)

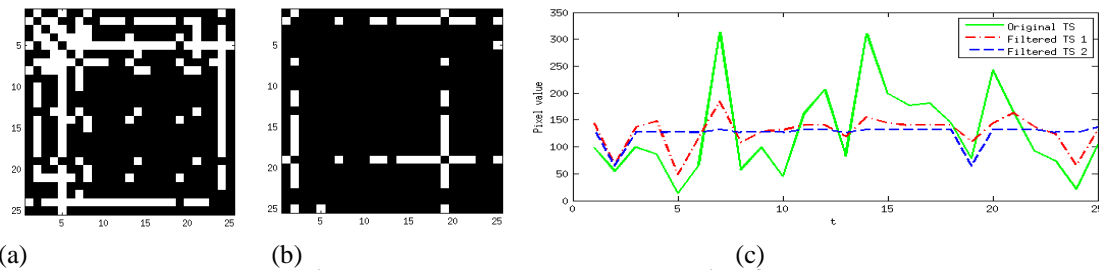
Hình 2. Khu vực thực nghiệm. (a), (b): Bãi đậu xe Grands Montets. (c), (d): Vùng băng Argentière. (a), (c): Ảnh kết hợp màu (Đỏ: 07/06/2011; Lục: 18/06/2011; Lam: 29/06/2011). (b), (d): Ảnh quang học.

3.2. Kết quả lọc thích ứng theo thời gian

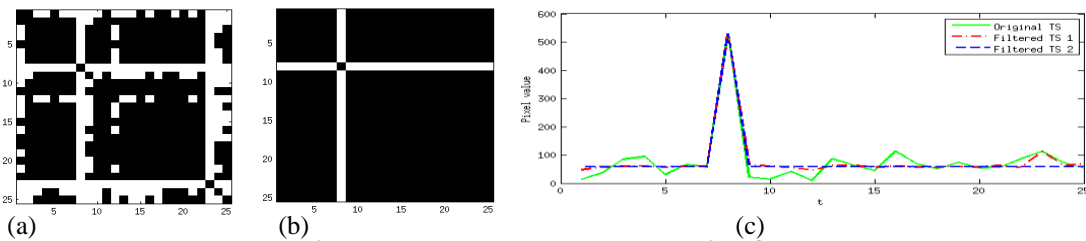
Bài báo này áp dụng cửa sổ phân tích tối thiểu (bao gồm pixel trung tâm và bốn pixel lân cận nó) khi sử dụng các thông tin không gian. Với những vùng đồng nhất, ví dụ như bãi cỏ, hình 3 (a) và (b) cho thấy rằng bộ lọc đề xuất có thể phát hiện các pixel không thay đổi trong từng cột pixel một cách hiệu quả. CDM2 phát hiện nhiều pixel không thay đổi và chính xác hơn CDM1. Biểu đồ các giá trị pixel của chuỗi ảnh lọc khi sử dụng CDM1 và CDM2 trong hình 3 (c) khá tương quan với biểu đồ của chuỗi ảnh gốc, nhưng phạm vi dao động của các giá trị pixel biên độ trong chuỗi ảnh lọc được giảm xuống nhiều và qua đó cho thấy nhiễu đốm

cũng giảm đi đáng kể.

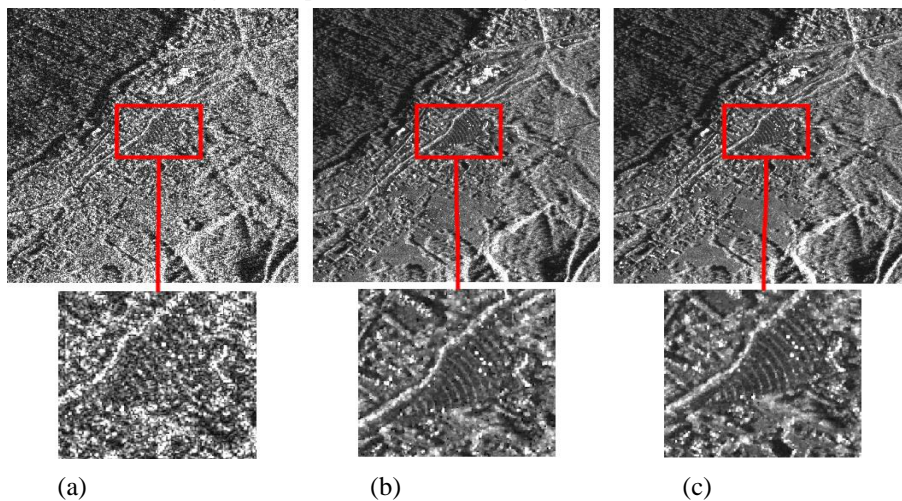
Trong trường hợp đối tượng xuất hiện tách biệt, ví dụ như một chiếc ô tô trong bãi đậu xe, khi đó chỉ có một ngày (trên một tấm ảnh duy nhất) đối tượng đó xuất hiện tại một vị trí nhất định. Pixel tại vị trí đối tượng xuất hiện trong ngày đó hoàn toàn khác biệt so với các pixel còn lại trong cột pixel. Sau quá trình lọc, giá trị pixel của đối tượng đó sẽ được bảo tồn, xem minh họa trên hình 4. Trong hình 5, việc giảm nhiễu đốm ở ảnh lọc giúp chúng ta nhìn thấy rõ ràng các chi tiết trong bãi đậu xe với những ô tô nhỏ, mà trước đó chúng ta không thể nhận biết được trên ảnh gốc.



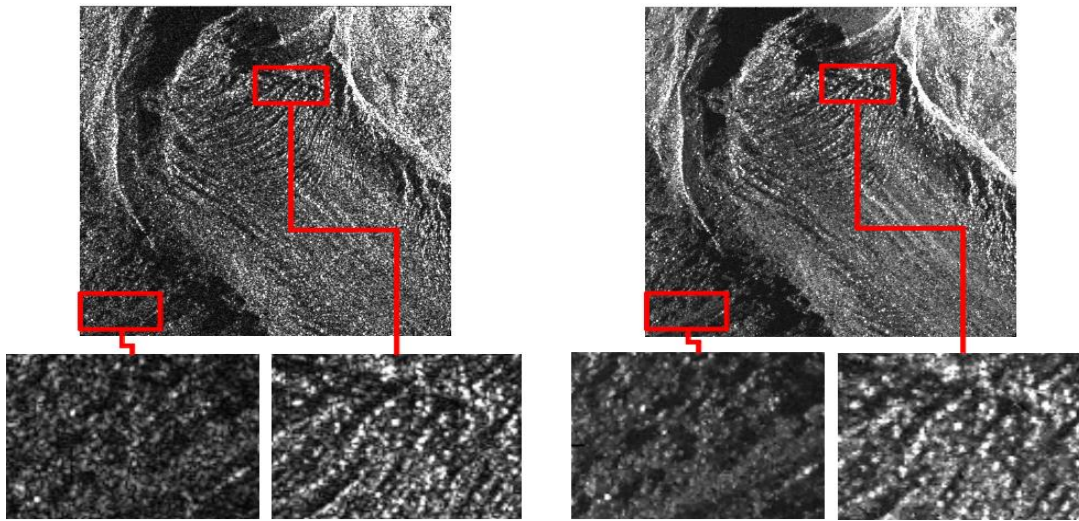
Hình 3. Ma trận phát hiện thay đổi (a) CDM1, (b) CDM2 và (c) biểu đồ giá trị pixel trong chuỗi ảnh theo thời gian tại pixel trong vùng đồng nhất



Hình 4. Ma trận phát hiện thay đổi (a) CDM1, (b) CDM2 và (c) biểu đồ giá trị pixel trong chuỗi ảnh theo thời gian tại pixel của đối tượng xuất hiện tách biệt



Hình 5. Kết quả lọc ảnh tại vùng thực nghiệm bãi đậu xe.
(a) ảnh gốc (27/08/2009), (b) ảnh lọc sử dụng CDM1, (c) ảnh lọc sử dụng CDM2



(a) - (Vùng núi đá) (Vùng băng)

(b) - (Vùng núi đá) (Vùng băng)

Hình 6. Kết quả lọc ảnh tại vùng thực nghiệm băng Argentièrè (03/09/2011). (a) ảnh gốc, (b) ảnh lọc

Hình 6 chỉ ra một đặc tính thú vị khác của bộ lọc này, đó là nó loại bỏ nhiễu đốm tại những vùng không thay đổi nhưng hầu như không lọc tại những vùng dịch chuyển nhằm bảo tồn những thông tin thay đổi của chuỗi ảnh. Trên vùng núi đá ít thay đổi, nhiễu đốm giảm đi rõ rệt, trong khi đó tại vùng băng dịch chuyển, ảnh gốc và ảnh lọc trông tương tự nhau. Tại vùng này, các giá trị pixel của băng trong chuỗi ảnh theo thời gian thay đổi từ ngày này qua ngày khác và từng điểm trên bề mặt băng dịch

chuyển nhiều hơn một pixel giữa các ngày thu nhận ảnh khác nhau (cách nhau 11 ngày). Do vậy, bộ lọc phát hiện rất ít những pixel không thay đổi để sử dụng trong quá trình lọc ảnh.

3.3. Đánh giá hoạt động của bộ lọc

Sự hoạt động của một bộ lọc đa thời gian được đánh giá thông qua việc làm giảm nhiễu, việc bảo tồn các thông tin không gian (cấu trúc, cạnh (biên), kích thước, v.v...) và các thông tin thời gian (sự thay đổi của các đối tượng) của ảnh gốc.

Bảng 1. Chỉ số chất lượng ảnh

No	ENL			BRISQUE	
	Ảnh gốc	Ảnh QF	Ảnh CDMF	Ảnh QF	Ảnh CDMF
1	0.93	2.71	12.43	34.32	29.76
2	0.89	2.80	12.28	33.51	29.63
3	0.87	2.78	13.55	36.12	28.58
4	0.88	2.64	13.64	34.21	28.98
.....
11	0.94	3.00	10.79	35.27	28.77
12	0.87	2.56	13.84	33.31	27.15
13	0.92	2.78	13.42	34.23	26.75
14	0.93	2.71	12.38	35.28	27.95
.....
22	0.91	2.86	13.53	35.16	27.41
23	0.94	2.87	13.40	34.37	27.79
24	1.02	3.27	12.93	35.59	28.30
25	0.88	2.68	13.28	33.65	27.09
Trung bình	0.92	2.28	12.76	34.49	28.37

Việc bảo tồn các thông tin thay đổi theo thời gian trong chuỗi ảnh sau khi lọc đã được chứng minh qua các kết quả thực nghiệm nêu trên. Để đánh giá khả năng giảm nhiễu và bảo tồn các thông tin không gian, bộ lọc đề xuất được so sánh với một bộ lọc đa thời gian khác do Quegan et al đề xuất [3] thông qua chỉ số ENL (số lượng look tương đương) và chỉ số BRISQUE (thảm định chất lượng không gian của ảnh không cần tham chiếu) [6]. Chỉ số BRISQUE có giá trị từ 0 đến 100 và 0 thể hiện chất lượng tốt nhất. Bảng 1 biểu diễn các chỉ số ENL và BRISQUE của chuỗi ảnh theo thời gian được lọc bởi bộ lọc của Quegan (QF) và bởi bộ lọc đề xuất dựa trên CDM (CDMF). Các chỉ số ENL của chuỗi ảnh CDMF tăng đáng kể so với chỉ số của chuỗi ảnh gốc và cao hơn của chuỗi ảnh QF. Các chỉ số BRISQUE của chuỗi ảnh CDMF đạt mức độ tốt và tốt hơn so với kết quả của chuỗi QF.

4. Kết luận

Trong bài báo này, một phương pháp mới về lọc thích ứng theo thời gian cho chuỗi ảnh SAR được đề xuất dựa vào việc xác định các pixel thay đổi và không thay đổi trong chuỗi ảnh theo thời gian. Kết quả thực nghiệm đã cho thấy rằng phương pháp đề xuất làm giảm nhiễu một cách đáng kể, đồng thời cũng bảo tồn được các đặc điểm chi tiết (như biên, các yếu tố thay đổi) của chuỗi ảnh gốc. Bộ lọc có rất ít tác động lên các vùng dịch chuyển. Ưu điểm này cho phép lọc các ảnh trên các khu vực bao gồm cả vùng ổn định và vùng dịch chuyển mà không bị mất đi các đặc tính của vùng dịch chuyển (điều này rất quan trọng trong việc theo dõi sự biến đổi của chúng) và đồng thời làm giảm

nhiều nhiễu tại những vùng khác trên ảnh.

Kết quả của nghiên cứu này mở ra nhiều ứng dụng khác trong việc phân tích sự thay đổi đa thời gian dựa trên các CDM. Theo đó, thông tin từ các CDM có thể giúp thành lập bản đồ biến động đa thời gian, cũng như phân loại ảnh theo không gian và thời gian.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. G. Vasile, E. Trouve, J. -S. Lee, and V. Buzuloiu, 2006. Intensity-driven adaptive-neighborhood technique for polarimetric and interferometric SAR parameters estimation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 44, no. 6, pp. 1609-1621.
- [2]. C. -A. Deledalle, L. Denis, and F. Tupin, 2009. Iterative weighted maximum likelihood denoising with probabilistic patch-based weights. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 18, no. 12, pp. 2661-2672.
- [3]. S. Quegan, T. L. Toan, J. J. Y. Jiong, F. Ribbes, and N. Floury, 2000. Multitemporal ERS SAR analysis applied to forest mapping. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 38, no. 2, pp. 741-753.
- [4]. M. Ciuc, P. Bolon, E. Trouve, V. Buzuloiu, and J.-P. Rudant, 2001. Adaptive neighborhood clutter removal in multitemporal SAR images. *Appl. Opt.*, vol. 40, no. 32, pp. 5954-5966.
- [5]. J. -M. Park, W. J. Song, and W. A. Pearlman, 1999. Filtering of SAR images based on adaptive windowing", *IEE Proc Vis. Image Sign. Process*, vol. 146, no. 4, pp. 191-197.
- [6]. A. Mittal, A. K. Moorthy, and A. C. Bovik, 2012. No-reference image quality assessment in the spatial domain. *IEEE Trans. Image Process*, vol.21, no.12, pp. 4695-4708.

SUMMARY

Adaptive Multitemporal SAR Image Filtering Based on the Detection of Changed and Unchanged Areas

Le Thu Trang, Hanoi University of Mining and Geology

This paper presents an adaptive filtering approach of Synthetic Aperture Radar (SAR) image times series based on the analysis of the temporal evolution. First of all, change detection matrices (CDM) containing information on changed and unchanged pixels are constructed for each spatial position over the time series by implementing coefficient of variation (CV) cross tests. Afterwards, the CDM provides for each pixel in each image, an adaptive spatio-temporal neighborhood which is used to derive the filtered value. The proposed approach is illustrated on a time series of 25 ascending TerraSAR-X images acquired from November 06, 2009 to September 25, 2011 over Chamonix-Mont-Blanc test-site which includes different kinds of change: parking occupation, glacier surface evolution, etc.