

Phát hiện thay đổi trên bề mặt sử dụng ảnh radar độ mở tổng hợp (SAR) dựa trên phép đo độ tương đồng thống kê

○ LÊ THU TRANG, PHẠM HÀ THÁI, ĐOÀN THỊ NAM PHƯƠNG
TRẦN PHƯƠNG LY
Đại học Mở - Địa Chất

Tóm tắt

Bài báo trình bày một phương pháp phát hiện thay đổi trên bề mặt từ dữ liệu radar độ mở tổng hợp (Synthetic Aperture Radar – SAR) dựa trên sự thay đổi thống kê cục bộ của ảnh. Khoảng cách Kullback-Leibler giữa hai phân bố thống kê sẽ được sử dụng để phát hiện các thay đổi trên một cặp ảnh đa thời gian ALOS-PALSAR có độ phân giải 33.2m x 28.4m (theo tầm và phương vị) và độ phân cực HH. Cặp ảnh này bao phủ huyện Bát Xát, Lào Cai và một phần huyện Phong Thổ, Lai Châu, nơi có nhiều dạng thay đổi diễn ra trên bề mặt như thay đổi nhanh chóng (do lũ quét, lũ ống, sạt lở đất), hay thay đổi từ từ (do sự phát triển của thực vật, giúp khẳng định tính đúng đắn của phương pháp.

1. Đặt vấn đề

Từ khi phóng thành công các vệ tinh radar độ mở tổng hợp (Synthetic Aperture Radar – SAR) cuối thập kỷ 70 của thế kỷ trước, việc sử dụng ảnh SAR đã được nghiên cứu rộng khắp trong nhiều lĩnh vực, ví dụ trong vẽ bản đồ và phân tích các đặc trưng của rừng (Champion et al., 2014), của lớp phủ tuyết ẩm (Schellenberger et al., 2012); theo dõi các đối tượng tự nhiên và nhân tạo như lũ lụt (Refice et al., 2014), sạt lở đất (Colesanti and Wasowski, 2006), động đất (Brunner et al., 2010), phun trào núi lửa (Le et al., 2015), v.v. SAR là một phương pháp ghi nhận hình ảnh chủ động, hoạt động trong dải sóng microwave của quang phổ điện từ. Vì vậy các hệ thống SAR có thể hoạt động trong mọi thời điểm và mọi điều kiện thời tiết, có thể xuyên qua mây và các cơn bão để thu nhận hình ảnh các đối tượng trên Trái đất. Do đó các hệ thống thu nhận ảnh SAR có lợi thế đáng kể so với các kỹ thuật sử dụng ảnh quang học truyền thống, rất thích hợp với các nhiệm vụ giám sát bề mặt Trái đất. Tuy nhiên, không giống như dữ

liệu quang học, ảnh khác biệt (difference) giữa hai ảnh SAR hầu như không thể sử dụng để phát hiện thay đổi do ảnh hưởng của nhiễu đốm (speckle). Ảnh tỷ số (ratio) cho phép phát hiện thay đổi hiệu quả hơn ảnh khác biệt nhưng kết quả thu được có sai số báo động giả lớn và bị hiệu ứng mờ. Trên thực tế, một số mô hình phân bố được sử dụng để miêu tả phân bố thống kê của dữ liệu ảnh SAR, ví dụ như hàm Gamma, Gaussian tổng quát hóa, Weibull, Log-normal, v.v. Sau đó các phép đo độ tương đồng thường được sử dụng để phát hiện các thay đổi trên ảnh SAR. Bài báo này cung cấp một phương pháp để phát hiện thay đổi trên ảnh SAR dựa trên phép đo độ tương đồng thống kê, với phép đo được sử dụng là khoảng cách Kulback-Leibler (Kullback và Leibler, 1951), đây là một phép đo dựa trên lý thuyết thông tin.

2. Phương pháp luận

2.1. Khoảng cách Kulback-Leibler

Độ lệch Kullback-Leibler là một trị đo định lượng sự khác biệt giữa các hàm mật độ xác suất (Ingla

and Mercier, 2007). Đây là một phép đo không đối xứng về sự khác biệt giữa hai phân bố xác suất P_X và P_Y của biến ngẫu nhiên X và Y :

$$K(X||Y) = \int P_X(x) \log\left(\frac{P_X(x)}{P_Y(y)}\right) dx \quad (1)$$

Có thể thấy rằng $K(X||Y) \neq K(Y||X)$, vì thế dạng tối xứng của độ lệch Kullback-Leibler được xác định như sau:

$$d_{KL}(X, Y) = d_{KL}(Y, X) = \frac{1}{2}(K(X||Y) + K(Y||X)) \quad (2)$$

d_{KL} là khoảng cách Kullback-Leibler (KLD), được sử dụng để đo độ tương đồng giữa các phân bố của hai ảnh SAR tại hai thời điểm khác nhau nhằm phát hiện thay đổi trên vùng nghiên cứu. Sự thay đổi trên thực địa làm cho các thuộc tính thống kê của các ảnh đa thời gian cũng thay đổi. KLD có thể được sử dụng để xác định sự khác nhau về hình dáng của các hàm mật độ xác suất cục bộ của các ảnh.

2.2. Khoảng cách Kullback-Leibler giữa hai hàm mật độ xác suất Log-normal

Trên thực tế, để mô tả các vùng không đồng nhất, các hàm phân bố thực nghiệm thường được sử dụng. Các nghiên cứu thực nghiệm coi nhiều điểm không được phát triển đầy đủ và các hàm phân bố được định nghĩa dựa vào kết quả thực nghiệm. Trong bài báo này, phân bố Log-normal được sử dụng trong phần tính toán thực nghiệm.

Khoảng cách KLD giữa hai hàm phân bố Log-normal được trình bày trong Atto et al., 2013 như sau:

$$KL_{\log}(\alpha_x, \beta_x; \alpha_y, \beta_y) = \frac{1}{2}(\alpha_x - \alpha_y)^2 \left(\frac{1}{\beta_x^2} + \frac{1}{\beta_y^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\beta_x^2}{\beta_y^2} + \frac{\beta_y^2}{\beta_x^2} \right) - 1 \quad (3)$$

Trong đó α và β lần lượt là các tham số log-tỷ lệ và hình dáng của hàm phân bố.

3. Thực nghiệm

3.1. Vùng nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

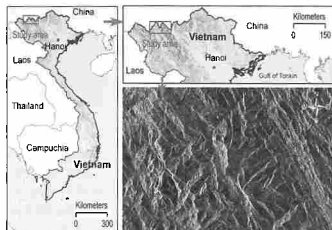
Để chứng minh tính đúng đắn của phương pháp, một cặp ảnh ALOS PALSAR thu nhận ngày 18/08/2010 và 03/10/2010 được sử dụng để xác định thay đổi trên vùng giai đoạn này tại vùng thực nghiệm là huyện Bát Xát, Lào Cai và một phần huyện Phong Thổ, Lai Châu (hình 1). Vùng thực nghiệm này là vùng núi phía tây bắc Việt Nam, khu vực có địa hình phức tạp với các dãy núi cao, các hung lũng hẹp và nhiều sông suối. Vùng này có khí hậu nhiệt đới gió mùa với mùa hè nóng, ẩm, nhiều mưa (từ tháng tư đến tháng chín) và mùa đông khô,

lạnh (từ tháng mười đến tháng ba). Bề mặt tại khu vực này thường xuyên thay đổi do:

- Phần lớn lớp phủ tại đây là các ruộng bậc thang và rừng, vì thế bề mặt thường thay đổi theo mùa do sự sinh trưởng, phát triển của thực vật;

- Do ảnh hưởng của mưa lớn gây ra bởi các cơn bão mà lũ quét, lũ ống và sạt lở đất thường xuyên xảy ra tại đây, làm thay đổi nhanh chóng trên bề mặt và gây ra nhiều thiệt hại cho con người và cơ sở vật chất, mùa màng tại đây.

Hình 1: Khu vực thực nghiệm và ảnh biên độ ALOS PALSAR (thu nhận ngày 18/11/2010)



Các thông tin chính của cặp ảnh sử dụng trong nghiên cứu này được nêu trong bảng 1.

Bảng 1: Các thông số chính của cặp ảnh ALOS PALSAR sử dụng

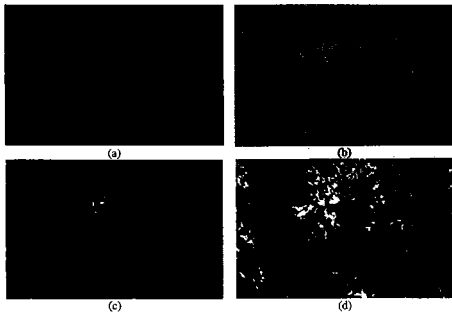
Thông số	Dữ liệu ALOS PALSAR
Nhà sản xuất	JAXA
Quỹ đạo vệ tinh	Đi lên
Chu kỳ lặp	48 ngày
Tần số ảnh	Kính L (1,27 GHz)
Chế độ chùm tia	Phân cực đôi độ phân giải cao (High resolution Double Polarization)
Sản phẩm dữ liệu	Số phức đơn nhĩ (Single look complex (Level 1.1))
Độ phân giải không gian	33.2 m x 28.4 m (đảm x phương v)
Phân cực	HH
Vùng thực nghiệm	Bát Xát, Lào Cai & Phong Thổ, Lai Châu, Việt Nam
Ngày thu nhận ảnh	18/08/2010 và 03/10/2010

3.2. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

KLD giữa hai phân bố Log-normal được sử dụng để phát hiện thay đổi trên ảnh ALOS PALSAR. Để so sánh kết quả thực nghiệm, chúng tôi cũng tiến hành phát hiện thay đổi của cặp ảnh này dựa trên ảnh khác biệt và ảnh tỷ số.

Hình 2 cho thấy ảnh khác biệt (hình 2a) không thể dùng để phát hiện thay đổi tại khu thực nghiệm với dữ liệu sử dụng, còn ảnh tỷ số (hình 2b) cho kết quả bị nhiễu, không phân biệt được vùng thay đổi và không thay đổi. Khi sử dụng ảnh tỷ số trung bình cục bộ (hình 2c), có thể thấy kết quả phân

Hình 2: Kết quả phát hiện thay đổi tại vùng thực nghiệm. (a) Ảnh khác biệt; (b) Ảnh tỷ số; (c) Ảnh tỷ số trung bình cục bộ; (d) Ảnh KLD Log-normal



biệt vùng thay đổi và không thay đổi rõ ràng hơn, tuy nhiên kết quả này rất mờ, gây ra sai số báo động giả lớn. Khi sử dụng khoảng cách Kullback-Leibler với hàm phân bố Log-normal, kết quả phát hiện thay đổi trên ảnh SAR rất tốt, vùng thay đổi và không thay đổi được xác định rõ ràng, các cạnh, rìa phân vùng rất sắc nét.

Kết quả phát hiện thay đổi dựa trên KLD cho thấy thay đổi giữa hai thời điểm thu nhận ảnh xuất hiện tại nhiều vùng khác nhau trên ảnh (vùng sáng màu). Lớp phủ bề mặt tại các vùng này thay đổi do nhiều nguyên nhân khác nhau, ví dụ do sạt lở đất (hay lũ quét), do sự phát triển của thực vật tại khu vực ruộng bậc thang và rừng.

3. Kết luận

Trong bài báo này, khoảng cách Kullback-Leibler giữa các hàm phân bố Log-normal đã được khai thác để phát hiện thay đổi trên cặp ảnh SAR ALOS PAL-SAR vùng Bát Xát, Lào Cai và Phong Thổ, Lai Châu. Sự khác

nhau do các thay đổi của luật phân bố của các tập hợp pixel lân cận trên hai ảnh SAR đã phản ánh những thay đổi trên bề mặt trái đất tại hai thời điểm thu nhận ảnh. Sự thay đổi này có thể được ước tính bởi khoảng cách Kullback-Leibler.

Khoảng cách Kullback-Leibler có thể phát hiện nhanh và chính xác các thay đổi bề mặt do nhiều nguyên nhân khác nhau gây ra. Kết quả thực nghiệm đã chứng minh được tính đúng đắn của phương pháp đưa ra.

Tài liệu tham khảo

Champion, I., Germain, C., Da Costa, J. P., Alborini, A. and Dubois-Fernandez, P., 2014. Retrieval of Forest Stand Age from SAR Image Texture for Varying Distance and Orientation Values of the Gray Level CoOccurrence Matrix. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 11, no. 1, pages 5–9.

Schellenberger, T., Ventura, B., Zebisch, M. and Notarnicola, C., 2012. Wet snow cover mapping algorithm based on multitemporal COSMOSkyMed X-band SAR images. IEEE J. Sel. Topics Appl.

Earth Observations Remote Sens., vol. 5, no. 3, pages 1045–1053.

Refice, A., Capolongo, D., Pasquariello, G., D'Addabbo, A., Bovenga, F., Nutricato, R., Lovergine, F. P. and Pietranera, L., 2014. SAR and InSAR for Flood Monitoring: Examples with COSMO-SkyMed Data. IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observations Remote Sens., vol. 7, no. 7, pages 2711–2722.

Colesanti, C. and Wasowski, J., 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. Engineer. Geology, vol. 88, pages 173–199.

Brunner, D., Lemoine, G. and Bruzzone, L., 2010. Earthquake Damage Assessment of Buildings Using VHR Optical and SAR Imagery. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 48, no. 5, pages 2403–2420.

Le, T. T., Atto, A. M., Trouve, E., Solikhin, A., and Pinel, V., 2015. Change detection matrix for multitemporal filtering and change analysis of SAR and PolSAR image time series. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 107, pages 64–76.

Kullback, S. and Leibler, R. A., 1951. On Information and Sufficiency. Ann. Math. Statist., vol. 22, no. 1, pages 79–86.

Inglada, J. and Mercier, G., 2007. A new statistical similarity measure for change detection in multitemporal SAR images and its extension to multiscale change analysis. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 45, no. 5, pages 1432–1445.

Atto, A. M.; Trouve, E.; Berthoumieu, Y. and Mercier, G., 2013. Multidate divergence matrices for the analysis of SAR image time series IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 51, no. 4, 1922–1938. ■