



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



# Phát hiện vùng ngập lụt tại Huế từ ảnh SAR đa thời gian bằng phép đo độ tương đồng thống kê

Lê Thu Trang<sup>1</sup>, Phạm Thị Thanh Hòa<sup>1</sup>, Phạm Hà Thái<sup>1</sup>, Trần Trung Anh<sup>1</sup>, Vũ Thị Thơm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup> Công ty Cổ phần Dịch vụ Hạ tầng và Công nghệ Đông Nam, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:  
 Nhận bài 08/8/2018  
 Chấp nhận 09/10/2018  
 Đăng online 31/10/2018

Từ khóa:  
 Phát hiện vùng ngập lụt  
 Ảnh SAR đa thời gian  
 Sentinel-1

### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp phát hiện thay đổi từ ảnh RADAR độ mở tổng hợp đa thời gian (SAR) dựa trên phép đo độ tương đồng thống kê để xác định vùng ngập lụt. Từ các sản phẩm ảnh Ground Range Detected (GRD) đa thời gian của vệ tinh SAR Sentinel-1 được ghi nhận vào các thời điểm trước, trong và sau đợt lũ do ảnh hưởng của bão Damrey tháng 11 năm 2017 tại thành phố Huế và một phần huyện Hương Trà (Thừa Thiên Huế), những thay đổi trên mặt đất do lũ lụt gây ra được phát hiện dựa trên khoảng cách Kullback-Leibler giữa hai phân bố Log-normal. Các kết quả phát hiện vùng ngập lụt đã được đánh giá khi so sánh với các mẫu kiểm chứng lấy từ ảnh quang học PlanetScope độ phân giải 3 m, và đạt độ chính xác tổng thể là 87,3%. Các thông tin thay đổi được chiết xuất từ ảnh SAR đa thời gian sau đó có thể được khai thác cho nhiều mục đích như thành lập bản đồ vùng ngập lụt, phân tích, thống kê vùng bị ảnh hưởng, v.v..

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

## 1. Mở đầu

Viễn thám từ lâu đã trở thành một công cụ hữu ích để nghiên cứu tài nguyên thiên nhiên và môi trường. Trong đó, rất nhiều nghiên cứu về giám sát và phát hiện thay đổi trên bề mặt sử dụng dữ liệu RADAR độ mở tổng hợp (SAR) đã được thực hiện trên thế giới. Từ các thay đổi bề mặt diễn ra nhanh chóng do thiên tai, do sự tàn phá của con người như: lũ lụt (Dellepiane and Angiati, 2012), sóng thần (Chen and Sato, 2013), phun trào núi lửa (Le et al., 2015), phá rừng, cháy rừng (Leblon

et al., 2002), v.v., đến các thay đổi với diễn biến chậm như xói mòn (Amitrano et al., 2015), các thay đổi theo mùa với sự phát triển, tăng trưởng của thực vật (Bouvet et al. 2009), hay sự mở rộng không gian đô thị/nông nghiệp (Gar-OnYeh and Qi, 2015), v.v. Các thay đổi, biến dạng do chuyển động bề mặt cũng được nghiên cứu rộng rãi như: trượt lở đất (Colesanti and Wasowski, 2006), động đất và đứt gãy, sụt lún (Brunner et al., 2010), v.v. SAR là một phương pháp ghi nhận hình ảnh chủ động, nó phát ra nguồn năng lượng bức xạ riêng trong dải sóng microwave. 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

\*Tác giả liên hệ

E-mail: lethutrang@humg.edu.vn

các cơn bão để thu nhận hình ảnh các đối tượng trên Trái Đất. So sánh với các hệ thống ghi nhận ảnh quang học thụ động ta thấy các hệ thống này phụ thuộc vào ánh sáng mặt trời hoặc các bức xạ nhiệt để ghi nhận hình ảnh. Hơn nữa, lượng mây che phủ có thể cản trở sự thu nhận ảnh, bởi ánh sáng mặt trời bị phản xạ bởi những đám mây và được ghi lại trên các bộ cảm quang học. Hai điều này gây hạn chế đáng kể trong việc quan sát Trái Đất với các bộ cảm thụ động. Chính vì vậy, các hệ thống thu nhận ảnh SAR có lợi thế đáng kể so với các kỹ thuật sử dụng ảnh quang học truyền thống, chúng rất thích hợp với các nhiệm vụ giám sát bề mặt Trái Đất.

Việt Nam nằm trong vùng cận xích đạo, với khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, có lượng mây che phủ trung bình hàng năm rất cao, đặc biệt là thời điểm có bão, vì vậy việc sử dụng các loại ảnh vệ tinh quang học luôn gặp khó khăn. Trung bình hàng năm nơi đây phải hứng chịu hàng chục cơn bão và áp thấp nhiệt đới, đặc biệt trong năm 2017, Việt Nam đã có 16 cơn bão và 4 áp thấp nhiệt đới (Báo Nhân dân điện tử, 2017), với rất nhiều cơn bão mạnh như Talas, Damrey, Kirogi, v.v. Đầu tháng 11/2017, Damrey - một trong những cơn bão mạnh nhất đổ bộ vào Việt Nam năm 2017, gây ảnh hưởng trên diện rộng từ Thừa Thiên Huế tới Bình Thuận và các tỉnh Tây Nguyên, với tốc độ gió lên tới 177 km/h. Đây là cơn bão gây hậu quả nghiêm trọng nhất kể từ năm 2001, đã làm 106 người chết, 16 người mất tích và 315 người bị thương, gây thiệt hại kinh tế lên tới 22.000 tỷ đồng (Báo Nhân dân điện tử, 2017). Việc xác định vùng ngập lụt là một việc hết sức cần thiết nhằm đánh giá thiệt hại và tác động của lũ lụt đến đời sống của con người cũng như đối với môi trường. Ngoài ra, phạm vi ngập lụt tại một vùng được xác định từ các đợt thiên tai trước đó cũng hữu ích trong việc dự báo ảnh hưởng của bão lụt trong tương lai, giúp ích cho quá trình phòng hộ trước những đợt ngập lụt lớn, tránh được những hậu quả nghiêm trọng. Một số nghiên cứu về ngập lụt ở Việt Nam từ ảnh SAR cũng được thực hiện (Phạm Quang Sơn, Bùi Đức Việt, 2001; Trần Văn Anh, 2011; Trần Kim Châu, 2017; Nguyen, 2016), nhưng các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng phương pháp so sánh sau phân loại với việc ứng dụng các phần mềm đã được trang bị sẵn một số thuật toán, hoặc phân tích hệ số tán xạ ngược của ảnh SAR ( $\gamma_0$  hoặc  $\beta_0$  hoặc  $\sigma_0$ ) để tìm ra mối liên hệ giữa hệ số này với

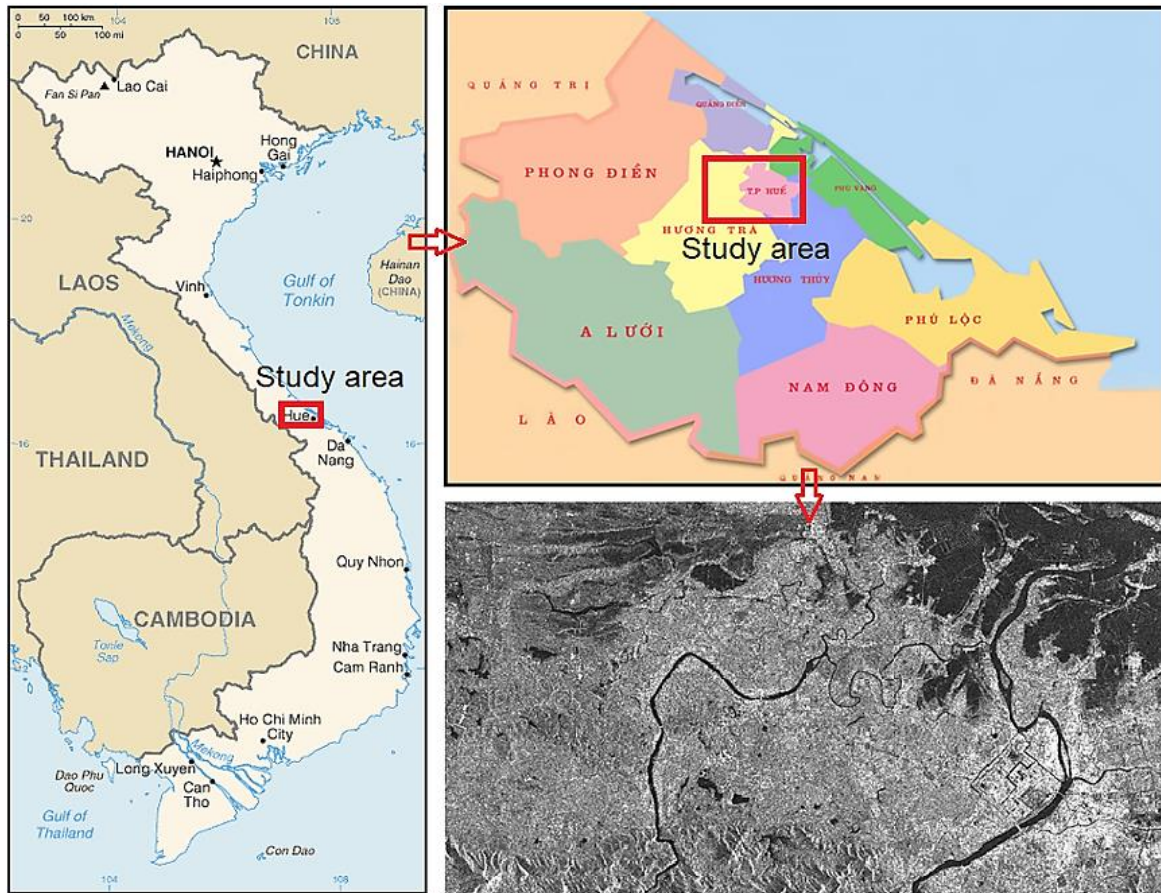
bề mặt khi có nước và không có nước. Tuy nhiên, các phương pháp so sánh sau phân loại có độ chính xác phụ thuộc vào phương pháp phân loại sử dụng và không linh hoạt khi đối tượng cần phân biệt chỉ là vùng ngập nước do lũ lụt chứ không phải toàn bộ các lớp phủ bề mặt. Phương pháp phân tích hệ số tán xạ ngược phải sử dụng rất nhiều dữ liệu bổ trợ như mực nước trung bình của khu vực, sự thay đổi mực nước theo thời gian và theo vùng của khu vực nghiên cứu, mô hình số độ cao hoặc mô hình số địa hình, bản đồ sử dụng đất, v.v. Ngoài ra, phương pháp này cũng mất thời gian để có những phân tích thủ công về mối liên hệ giữa hệ số tán xạ ngược của các lớp phủ mặt đất với sự thay đổi mực nước (Nguyen, 2016).

Trên thế giới, các thuật toán về phát hiện thay đổi nói chung và phát hiện vùng ngập lụt nói riêng từ ảnh SAR đang được nghiên cứu sâu, rộng và ngày càng hoàn thiện (Coppin et al., 2004). Như ta đã biết, không giống như đối với 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 giữa các hàm phân bố của ảnh tại các thời điểm khác nhau thường được sử dụng để phát hiện các thay đổi trên ảnh SAR. Trong bài báo này, vùng ngập lụt do cơn bão Damrey gây ra tại Huế vào tháng 11 năm 2017 sẽ được phát hiện từ các sản phẩm ảnh GRD đa thời gian của vệ tinh SAR Sentinel-1 bằng cách sử dụng khoảng cách Kullback-Leibler (Kullback and Leibler, 1951).

## 2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là thành phố Huế và một phần của huyện Hương Trà (Hình 1). Thành phố Huế (107°31'45" kinh Đông và 16°30'45" vĩ Bắc) nằm ở vị trí trung tâm của đất nước, trên trục Bắc - Nam của các tuyến đường bộ, đường sắt, đường hàng không và đường biển. Nằm gần dãy núi Trường Sơn, khu vực thành phố Huế là đồng bằng thuộc vùng hạ lưu sông Hương và sông Bồ,



Hình 1. Vị trí của khu vực nghiên cứu và ảnh GRD Sentinel-1 thu nhận ngày 14/10/2017.

có độ cao trung bình khoảng 3-4 m so với mực nước biển và thường bị ngập lụt khi đầu nguồn của sông Hương (trên Dãy Trường Sơn) xảy ra mưa vừa và lớn. Khu vực đồng bằng này tương đối bằng phẳng, tuy trong đó có xen kẽ một số đồi, núi thấp như núi Ngự Bình, Đồi Vọng Cảnh v.v.

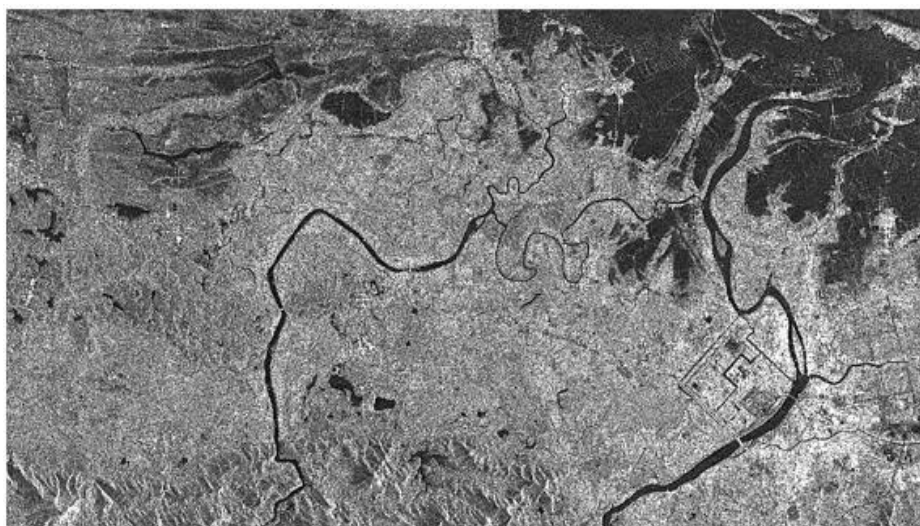
Thị xã Hương Trà có vị trí nằm ở phần trung tâm của tỉnh Thừa Thiên-Huế, giáp thành phố Huế về phía đông. Trên địa bàn thị xã có bờ biển dài 7 km, có 2 con sông lớn của Tỉnh chảy qua là sông Bồ dài 25 km, sông Hương dài 20 km, có phá Tam Giang rộng 700 ha. Theo địa hình, thị xã chia làm 3 vùng: Vùng miền núi và gò đồi, vùng đồng bằng và bán sơn địa, và vùng đầm phá và ven biển.

Sau trận bão Damrey tháng 11 năm 2017, thị xã Hương Trà có khoảng 2.900 nhà bị ngập nước, độ sâu ngập từ 0,2-0,8 m. Tại thành phố Huế, hơn 80% tuyến đường bị ngập. Các tuyến đường khu vực Bắc sông Hương như đường Vạn Xuân, Chi Lăng, Bạch Đằng, Mai Thúc Loan... ngập bình quân 0,5-1,3 m; các tuyến đường khu vực Nam sông Hương như đường Hùng Vương, Trường Chinh,

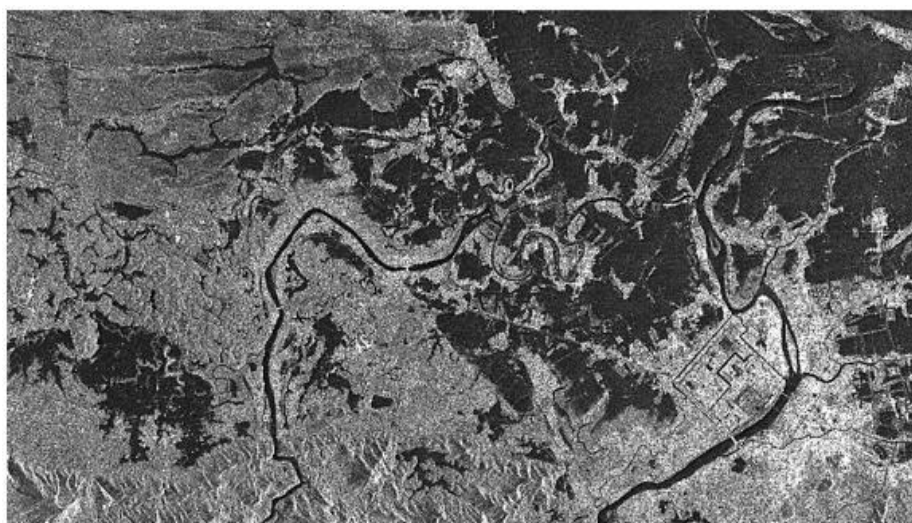
Trần Quang Khải, Bến Nghé, Đống Đa... ngập bình quân 0,6-1,2 m. Nhiều tuyến giao thông liên xã, huyện bị nước lũ chia cắt, trong đó đường đi hai huyện miền núi A Lưới và Nam Đông bị sạt lở nghiêm trọng, hơn 100m đê biển tại xã Vinh Hải (huyện Phú Lộc) bị vỡ. Về thủy sản và cây trồng, tại thị xã Hương Trà có hơn 20 ha rừng và hàng trăm cây cao su bị đổ; 12 hồ cá của người dân tại xã Hồng Tiến, Hương Bình bị nước lớn đổ về làm vỡ hồ; 12 lồng cá bị trôi do đứt dây neo; 120 ha rau màu các loại bị ngập úng (Báo mới điện tử, 2017).

## 2.2. Dữ liệu sử dụng

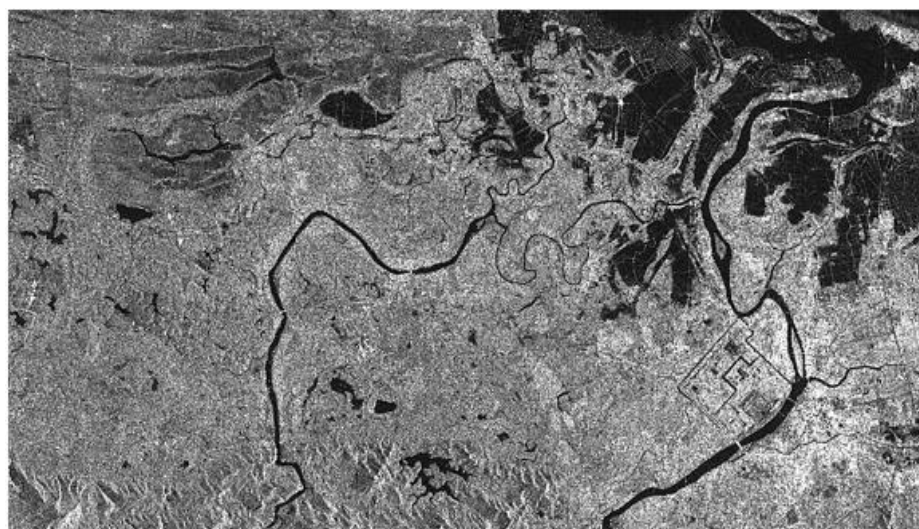
Dữ liệu sử dụng gồm 03 cảnh ảnh Sentinel-1 đa thời gian được thu nhận vào các ngày 14/10/2017 ( $t_1$  - thời điểm trước khi xảy ra ngập lụt), 07/11/2017 ( $t_2$  - thời điểm đang xảy ra ngập lụt) và 13/12/2017 ( $t_3$  - thời điểm sau khi xảy ra ngập lụt). Đây là các sản phẩm ảnh GRD (Ground Range Detected) với độ phân giải 5 m × 20 m (tầm × phương vị), phân cực VV, quỹ đạo đi xuống (Hình 2, 3,4).



Hình 2. Ảnh Sentinel-1 khu vực nghiên cứu ngày 14/10/2017 (thời điểm  $t_1$  - trước khi xảy ra ngập lụt).



Hình 3. Ảnh Sentinel-1 khu vực nghiên cứu ngày 07/11/2017 (thời điểm  $t_2$  - trong khi xảy ra ngập lụt).



Hình 4. Ảnh Sentinel-1 khu vực nghiên cứu ngày 13/12/2017 (thời điểm  $t_3$  - sau khi xảy ra ngập lụt).

Sản phẩm ảnh GRD là sản phẩm bậc 1 đã được xử lý như sau: Dữ liệu SAR thô được điều chỉnh (focused) trong mặt phẳng hình học tầm nghiêng để thu được các sản phẩm số phức đơn nhìn (Single-Look Complex - SLC). Sau đó, dữ liệu SLC được xử lý đa nhìn và được quy chiếu theo mặt phẳng thực địa bằng cách sử dụng mô hình ellipsoid Trái Đất và chiều cao địa hình. Kết quả của quá trình này là các sản phẩm thực địa được phát hiện bậc 1 GRD. Các thông tin chính của dữ liệu ảnh SAR sử dụng trong bài báo này được nêu trong Bảng 1.

Ngoài ra, để hỗ trợ cho việc khảo sát khu vực nghiên cứu, giải đoán ảnh SAR và kiểm tra kết quả, chúng tôi sử dụng thêm các dữ liệu bổ trợ sau: ảnh quang học PlanetScope độ phân giải 3m, thu nhận ngày 14/10/2017 (Hình 5), mô hình số độ cao (Hình 6) được thành lập từ ảnh ALOS-PALSAR, độ phân giải 12.5 m (©USGS) và số liệu mực nước lúc 9 giờ ngày 7/11/2017 (thời điểm ngập lụt) trên sông Hương tại Kim Long đạt 2,82 m, dưới báo động 3 là 0,68 m.

### 3. Phương pháp nghiên cứu

Như đã đề cập ở trên, để xác định vùng ngập lụt từ ảnh SAR đa thời gian, việc cốt lõi là phát hiện được sự thay đổi giữa các ảnh tại các thời điểm thu nhận ảnh trước và sau khi ngập lụt. Phương pháp hiệu quả để xác định sự thay đổi giữa các ảnh SAR đã được công bố trên nhiều tạp chí có uy tín về khoa học Trái Đất và viễn thám là phương pháp sử dụng độ lệch Kullback-Leibler (Kullback and

Leibler, 1951). Đây là một phép đo độ tương đồng thống kê từ lý thuyết thông tin. Trong bài báo này, chúng tôi khai thác phương pháp này để xác định vùng ngập lụt của khu vực thành phố Huế và một phần huyện Hương Trà.

Độ lệch Kullback-Leibler là một trị đo định lượng sự khác biệt giữa các hàm mật độ xác suất (Inglada 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  $K(X\|Y) \neq K(Y\|X)$  (Inglada and Mercier, 2007), vì thế dạng đối xứng của độ lệch Kullback-Leibler được xác định như sau:

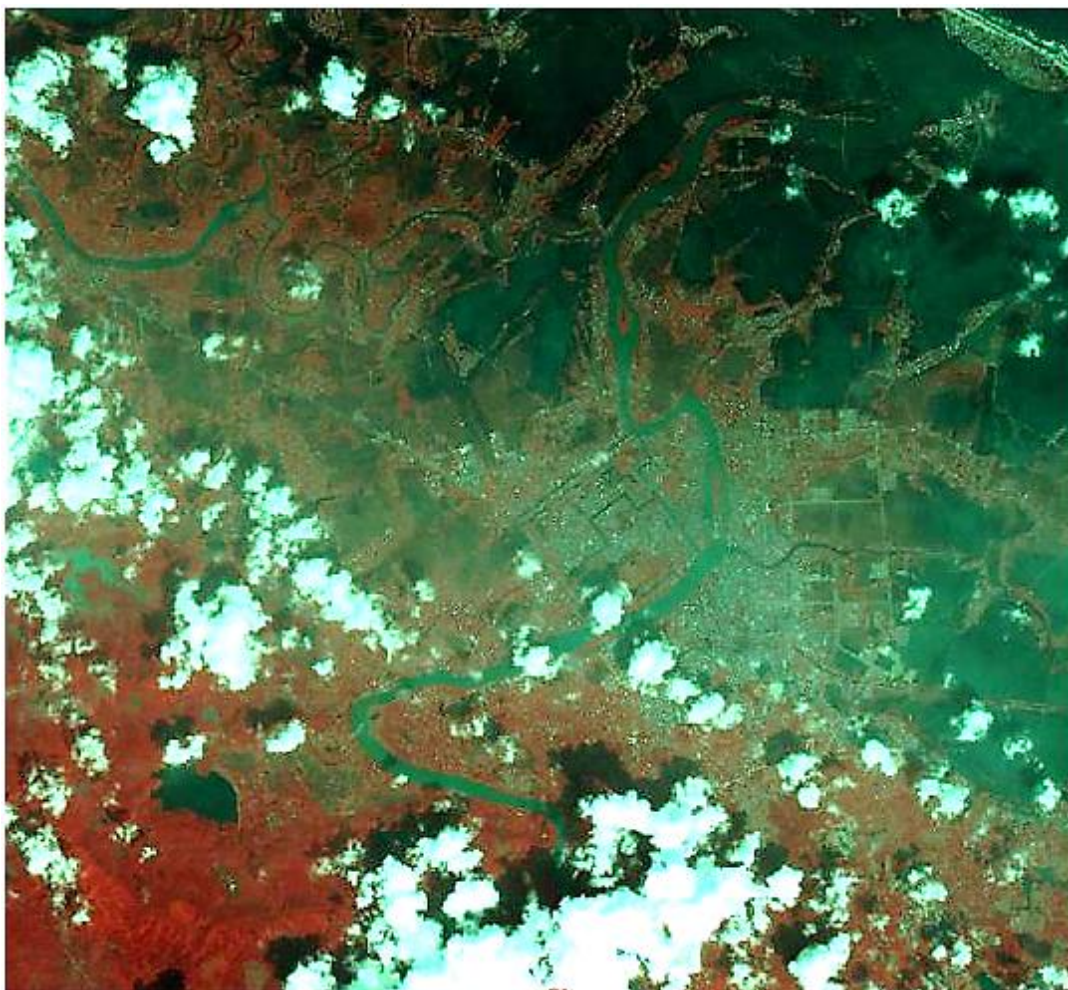
$$d_{KL}(X, Y) = d_{KL}(Y, X) = \frac{1}{2}(K(X\|Y) + K(Y\|X)) \quad (2)$$

$d_{KL}$  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 bề mặt. 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 sử dụng để xác định sự khác nhau về hình dáng của các hàm mật độ xác suất cục bộ của các ảnh.

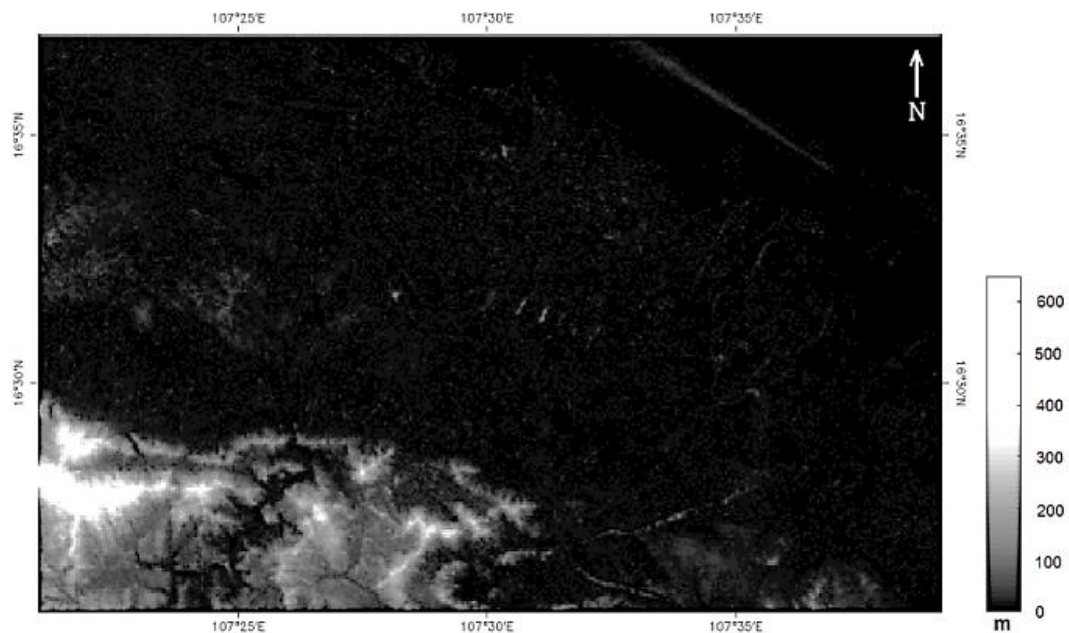
Trên thực tế, để mô tả các vùng không đồng nhất, các hàm phân bố thực nghiệm thường được sử dụng. Các nghiên cứu thực nghiệm coi nhiều đốm không được phát triển đầy đủ và các hàm phân bố được định nghĩa dựa vào kết quả thực nghiệm (Le, 2015).

Bảng 1. Các thông số chính của các ảnh Sentinel-1 sử dụng.

| Đặc điểm kỹ thuật      | Dữ liệu Sentinel-1  |
|------------------------|---|
| Nhà sản xuất           | Cơ quan hàng không Châu Âu (ESA)                          |
| Vệ tinh                | Sentinel-1A   |
| Ngày ra mắt            | 3/4/2004  |
| Quỹ đạo vệ tinh        | Đi xuống  |
| Góc tới                | 43.1°   |
| Chu kỳ lặp             | 12 ngày   |
| Tần số ảnh             | C-band tại 5.405 GHz                                      |
| Chế độ chụp            | IW  |
| Dạng dữ liệu           | GRD (Ground Range Detected)                               |
| Độ phân giải           | 5m × 20m (tầm × phương vị)                                |
| Phân cực               | VV  |
| Khu vực nghiên cứu     | Thành phố Huế và một phần huyện Hương Trà, Thừa Thiên Huế |
| Số lượng ảnh           | 3 ảnh   |
| Thời điểm ghi nhận ảnh | 2017/10/14, 2017/11/07, 2017/12/13                        |



Hình 5. Ảnh quang học PlanetScope độ phân giải 3m, thu nhận ngày 14/10/2017 của khu vực nghiên cứu (tổ hợp màu giả).



Hình 6. Mô hình số độ cao khu vực nghiên cứu (©USGS).

Áp dụng phân tích về các mô hình thống kê phù hợp với dữ liệu ảnh SAR trong nghiên cứu (Le, 2015), chúng tôi đã sử dụng KLD giữa hai phân bố Log-normal để đo sự khác biệt giữa các ảnh SAR đa thời gian. KLD giữa hai hàm phân bố Log-normal được nêu trong (Atto et al., 2013) như sau:

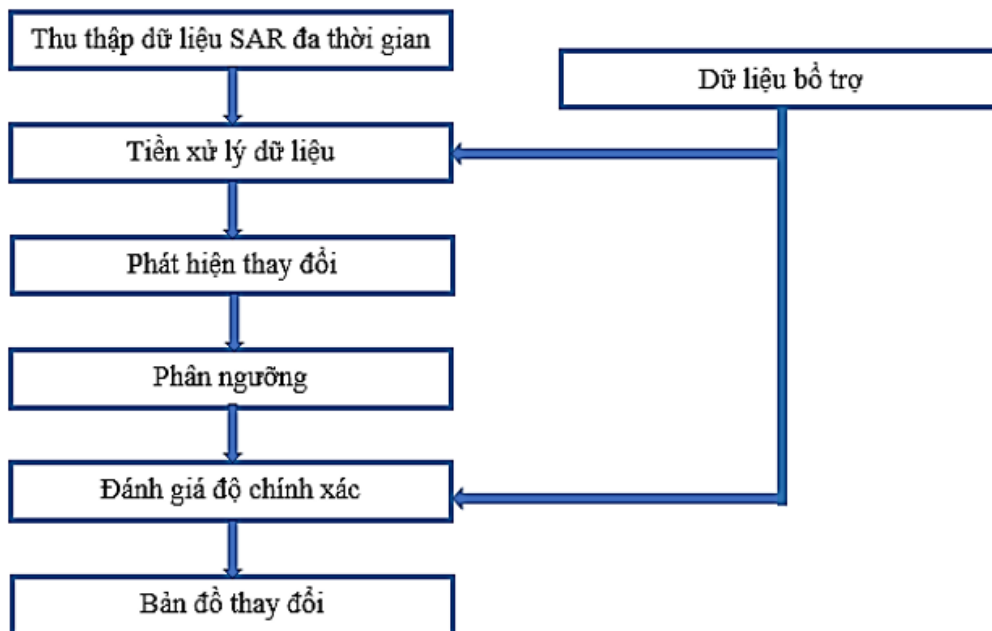
$$KL_{Logn}(\alpha_X, \beta_X; \alpha_Y, \beta_Y) = \frac{1}{2}(\alpha_X - \alpha_Y)^2 \left( \frac{1}{\beta_X^2} + \frac{1}{\beta_Y^2} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{\beta_X^2}{\beta_Y^2} + \frac{\beta_Y^2}{\beta_X^2} \right) - 1 \quad (3)$$

Trong đó  $\alpha$  và  $\beta$  lần lượt là tham số tỷ lệ log và tham số hình dạng của hàm phân bố.

Trên cơ sở đó, vùng ngập lụt trên bề mặt được phát hiện từ ảnh SAR theo quy trình phát hiện thay đổi được nêu trong Hình 7.

### 3.1. Thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Sau khi được lựa chọn và thu thập, các dữ liệu sẽ được tiền xử lý. Các sản phẩm ảnh GRD Sentinel-1 đã được hiệu chỉnh bức xạ, chuyển đổi về dạng ảnh cường độ, được xử lý đa nhìn để làm giảm nhiễu đốm và được quy chiếu về mặt phẳng thực địa dựa trên mô hình ellipsoid Trái Đất WGS84, vì vậy các ảnh SAR đa thời gian này chỉ cần được đồng đăng kí. Công việc này được thực hiện bởi mô đun ENVI SARscape. Các dữ liệu bổ trợ thu thập được cũng được chuẩn hóa, đưa về cùng hệ tọa độ thống nhất với nhau. Các bước tính toán tiếp theo được thực hiện bằng MATLAB



Hình 7. Quy trình phát hiện thay đổi từ ảnh SAR đa thời gian.

(v.9.0.0.341360 - R2016a).

### 3.2. Phát hiện thay đổi

Các ảnh sau khi đã tiền xử lý sẽ được dùng để phát hiện thay đổi giữa các thời điểm thu nhận ảnh. Khoảng cách KL giữa hai phân bố Log-normal (Log-normal KLD) được sử dụng để tính độ tương đồng tại các vị trí tương ứng trên các cặp ảnh ( $t_1$  và  $t_2$ ;  $t_2$  và  $t_3$ ;  $t_1$  và  $t_3$ ) theo công thức (3).

Để chứng minh hiệu quả của phương pháp Log-normal KLD trong phát hiện thay đổi trên ảnh SAR, các phương pháp tính toán độ khác biệt, tính tỷ số và tỷ số trung bình cục bộ cũng được sử dụng để phát hiện thay đổi và so sánh kết quả.

### 3.3. Phân ngưỡng

Với mục đích tự động đưa ra quyết định phân lớp (thay đổi hoặc không thay đổi), một số thuật toán phân ngưỡng đã được nghiên cứu, ví dụ như: phương pháp Otsu, thuật toán dựa trên entropy, ngưỡng Kittle-illingworth, phát hiện CFAR, v.v. Các thuật toán kinh điển này sau đó được phát triển để phù hợp với thuộc tính thống kê của dữ liệu SAR. Trong bài báo này, phương pháp phân ngưỡng sai số nhỏ nhất Kittler-illingworth (Kittler and Illingworth, 1986) được áp dụng để lựa chọn giá trị ngưỡng sử dụng để tách biệt các phần tử thay đổi (bị ngập lụt) và không thay đổi (không bị ngập lụt).

### 3.4. Đánh giá độ chính xác và lập bản đồ phát hiện thay đổi

Bằng cách so sánh ảnh phát hiện thay đổi với các mẫu thực địa, ma trận sai số được thành lập để đánh giá độ chính xác của kết quả phát hiện thay đổi thu được. Các sai số giới hạn (sai số bỏ sót, sai số phát hiện nhầm và sai số tổng thể) được tính từ ma trận này. Nếu các sai số nằm trong giới hạn cho phép thì ta thành lập bản đồ phát hiện thay đổi (bản đồ ngập lụt) từ kết quả thu được.

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Phát hiện thay đổi bằng phương pháp Log-normal KLD

Hình 8 thể hiện mức độ tương đồng đo được theo phương pháp Log-normal KLD giữa các cặp ảnh. Trong hình 8a và 8b ta thấy các vùng thay đổi (vùng ngập lụt) thể hiện rất rõ (khu vực sáng màu) khi ta tính khoảng cách KL giữa ngày xảy ra ngập lụt với ngày trước và sau thời điểm ngập lụt. Khi so sánh giữa hai ngày trước và sau ngập lụt, ta thấy tại những vùng trước đó phát hiện bị ngập thì trên hình 8c đã không còn.

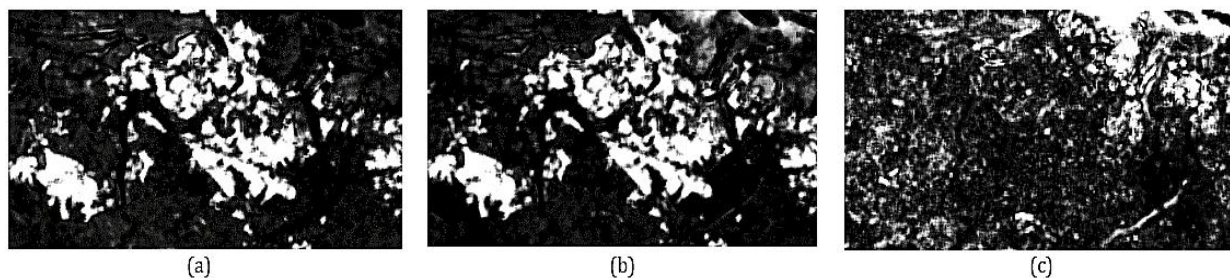
Quan sát góc trên bên phải của Hình 8c có thể thấy một số thay đổi được phát hiện. Thực chất, khu vực này là vùng nước (biển và các đầm), các thay đổi phát hiện được là do có sự khác nhau về bức xạ bởi các tia radar rất nhạy cảm với hàm lượng nước, độ nhám hay sự gồ ghề của bề mặt (Le - Toan, 2007). Vì thế sự thay đổi được phát hiện ở đây chỉ do sự khác nhau về bề mặt nước, tính chất của nước tại các thời điểm thu nhận ảnh. Khi không nghiên cứu về các đối tượng này thì chúng nên được tạo mặt nạ (không thay đổi) trên các ảnh

trước khi tính toán.

### 4.2. So sánh kết quả phát hiện thay đổi bằng phương pháp Log-normal KLD với các phương pháp khác biệt, tỷ số và tỷ số trung bình cục bộ

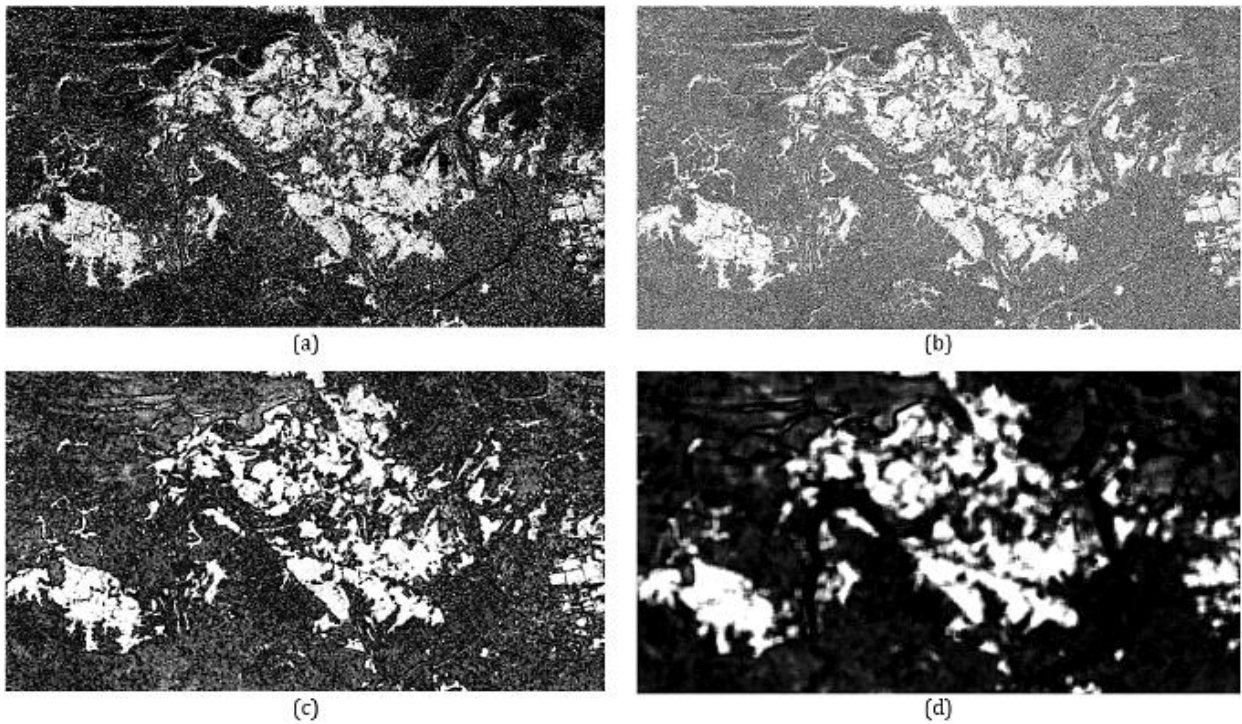
Hình 9 cho thấy khả năng phát hiện thay đổi từ ảnh SAR theo các phương pháp khác nhau. Do ảnh hưởng của nhiễu đốm, phương pháp khác biệt (Hình 9a) cho ảnh kết quả rất nhiễu, và trên thực tế, phương pháp này không được sử dụng trong phát hiện thay đổi từ ảnh SAR. Phương pháp tỷ số (Hình 9b) có thể hạn chế phần nào ảnh hưởng của nhiễu đốm (có tính chất nhân) vì thế kết quả bớt nhiễu hơn nhưng lại bị hiệu ứng mờ. Với phương pháp tỷ số trung bình cục bộ (Hình 9c), ảnh kết quả được giảm nhiễu khá nhiều (do lấy trung bình) nhưng có tỷ lệ báo động giả (false alarm rate) cao do khó phân biệt tự động vùng thay đổi và không thay đổi. Trên Hình 9d, ta thấy phương pháp khoảng cách KL giữa 2 hàm phân bố Log-normal đã phân tách một cách rõ ràng vùng thay đổi và không thay đổi, dễ dàng cho việc lập bản đồ phát hiện thay đổi khi áp dụng một phương pháp phân ngưỡng tự động.

Từ ảnh mức độ tương đồng theo các phương pháp khác nhau, áp dụng phương pháp phân ngưỡng KI để tách biệt các vùng thay đổi và không thay đổi, ta thu được ảnh phát hiện thay đổi dạng nhị phân như Hình 10. Kết quả của phương pháp Log-normal KLD (Hình 10d) cho thấy rằng ảnh phát hiện thay đổi tách biệt rõ ràng các vùng bị ảnh hưởng bởi lũ và vùng không bị ảnh hưởng. Các phương pháp khác (hình 10a, 10b, 10c) cho kết quả nhiễu, khó đánh giá được phạm vi ảnh hưởng của vùng bị ngập lụt.

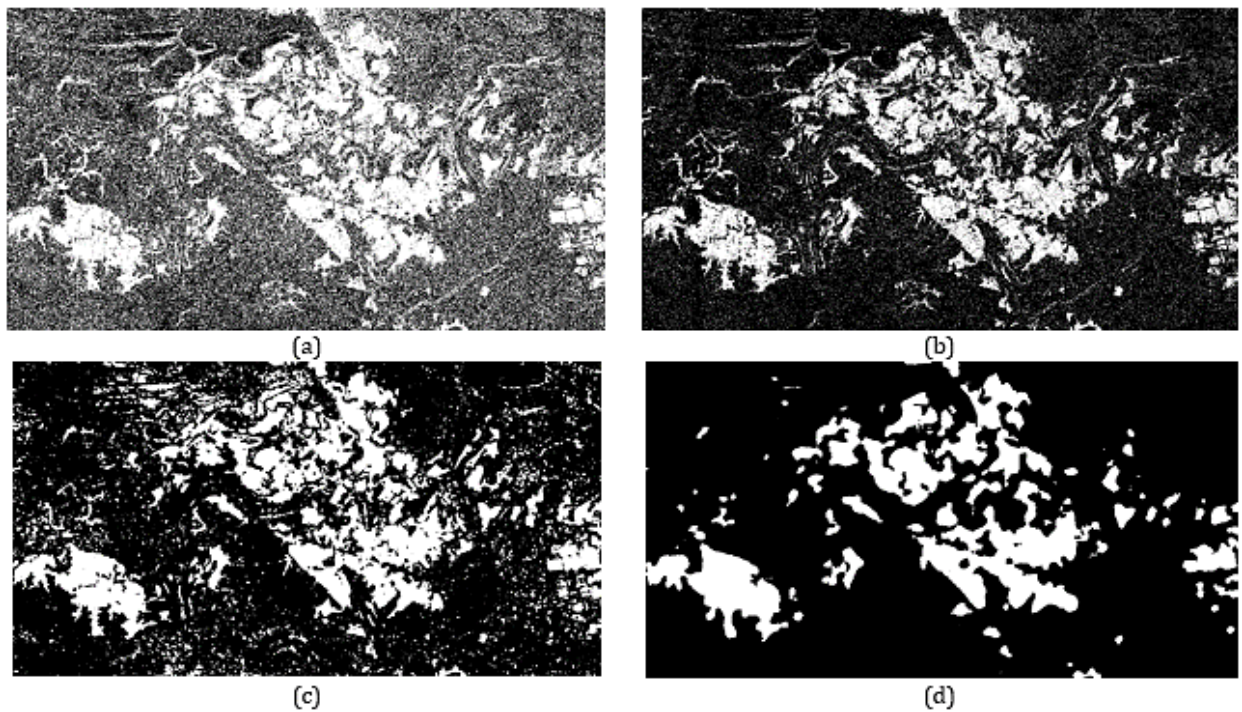


Hình 8. Ảnh mức độ tương đồng của các cặp ảnh tại khu vực nghiên cứu theo phương pháp Log-normal KLD: (a) giữa hai ảnh thu nhận tại thời điểm trước và trong khi ngập lụt ( $t_1$  và  $t_2$ ); (b) giữa hai ảnh thu nhận tại thời điểm trong và sau khi ngập lụt ( $t_2$  và  $t_3$ ); (c) giữa hai ảnh thu nhận tại thời điểm trước và sau khi ngập lụt ( $t_1$  và  $t_3$ ).





Hình 9. Ảnh mức độ tương đồng giữa hai ảnh SAR thu nhận tại thời điểm trước và trong khi ngập lụt ( $t_1$  và  $t_2$ ) tại khu vực nghiên cứu theo các phương pháp khác nhau: (a) phương pháp khác biệt (difference); (b) phương pháp tỷ số (ratio); (c) phương pháp tỷ số trung bình cục bộ (local mean ratio) và (d) phương pháp Log-normal KLD.



Hình 10. Kết quả phát hiện thay đổi dạng nhị phân giữa hai ảnh thu nhận tại thời điểm trước và trong khi ngập lụt ( $t_1$  và  $t_2$ ) tại khu vực nghiên cứu theo các phương pháp khác nhau: (a) phương pháp khác biệt (difference); (b) phương pháp tỷ số (ratio); (c) phương pháp tỷ số trung bình cục bộ (local mean ratio) và (d) phương pháp Log-normal KLD, với phương pháp phân ngưỡng tự động KI.

### 4.3. Đánh giá độ chính xác kết quả phát hiện thay đổi và lập bản đồ vùng ngập lụt

Để đánh giá định lượng các kết quả phát hiện thay đổi, chúng tôi sử dụng các mẫu kiểm chứng của khu vực nghiên cứu, thu được từ kết quả phân tích ảnh quang học độ phân giải cao, mô hình số độ cao.

Bảng 2 thể hiện ma trận sai số của kết quả phát hiện thay đổi khi so sánh ảnh phát hiện thay đổi theo phương pháp Log-normal KLD với 9211 mẫu kiểm chứng của cả hai lớp thay đổi và không thay đổi.

Bảng 2. Ma trận sai số.

| Lớp                             |                | Mẫu kiểm chứng (pixels) |                | Tổng số |
|---------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|---------|
|                                 |                | Thay đổi                | Không thay đổi |         |
| Ảnh phát hiện thay đổi (pixels) | Thay đổi       | 4052                    | 227            | 4279    |
|                                 | Không thay đổi | 951                     | 3981           | 4932    |
| Tổng số                         |                | 5003                    | 4208           | 9211    |

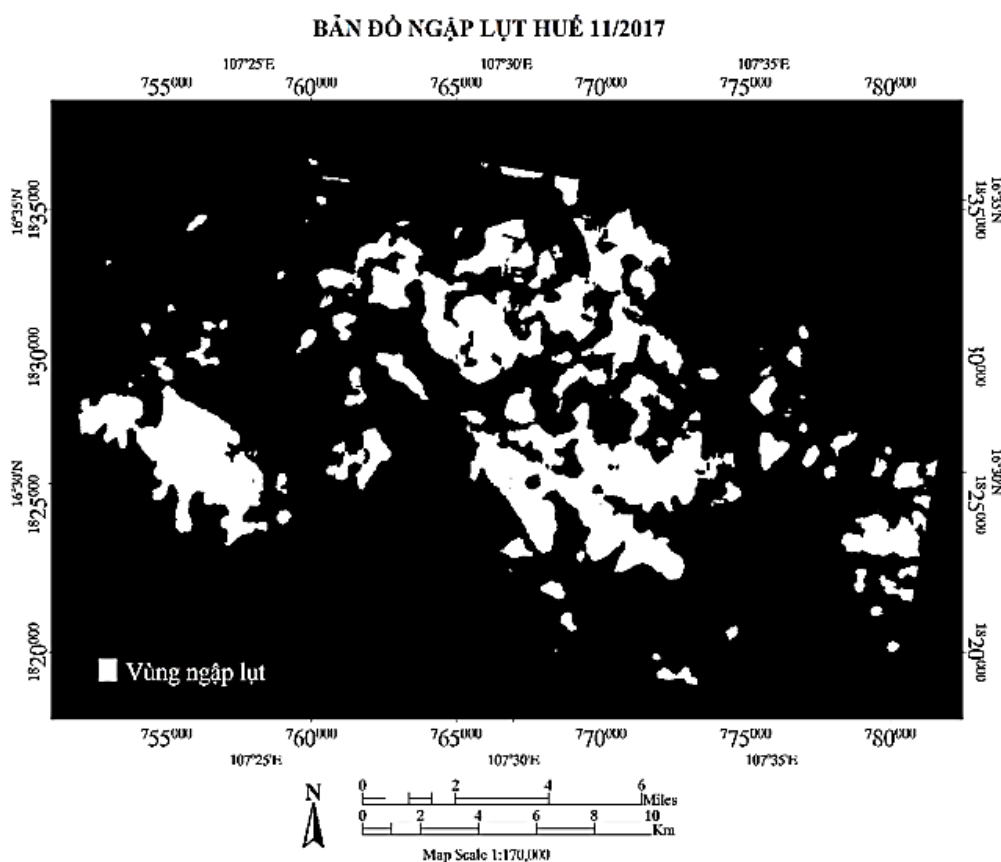
Phương pháp này đã phát hiện đúng 4052 pixel đã thay đổi, phát hiện nhầm 227 pixel thay đổi giả (không thay đổi nhưng lại phân vào lớp thay đổi), trong khi bỏ qua 951 pixel thay đổi (nhưng lại phân vào lớp không thay đổi). Theo đó, sai số nhầm lẫn là 5,3%, sai số bỏ sót là 19,0% và sai số tổng thể là 12,7%. Vậy độ chính xác tổng thể phát hiện thay đổi đạt được là 87,3%.

Hơn nữa, so sánh ảnh phát hiện thay đổi với mô hình số độ cao của khu vực nghiên cứu cho thấy những vùng bị ngập lụt đều nằm trong những vùng trũng so với địa hình chung của khu vực.

Sau khi ảnh phát hiện thay đổi đã đạt yêu cầu, bản đồ chuyên đề có thể được thành lập dựa trên kết quả đã đạt được. Hình 11 thể hiện bản đồ ngập lụt tại khu vực thành phố Huế và một phần huyện Hương Trà trong đợt bão Damrey tháng 11 năm 2017.

### 5. Kết luận

Bài báo này đã trình bày phương pháp phát hiện, chiết xuất những thông tin thay đổi nói chung và thông tin ngập lụt nói riêng từ ảnh radar



Hình 11. Bản đồ ngập lụt Huế 11/2017.

độ mở tổng hợp đa thời gian. Phương pháp xác định độ tương đồng thống kê dựa trên khoảng cách Kullback-Leibler giữa hai phân bố Log-normal (Log-normal KLD) được sử dụng trong bài báo cho thấy đây là phương pháp phù hợp với dạng dữ liệu phức tạp SAR để phát hiện chính xác, hiệu quả các thay đổi trên bề mặt Trái Đất. Các kết quả thực nghiệm đã chứng minh khả năng của phương pháp này khi mà một số phương pháp thông dụng (phương pháp khác biệt, phương pháp tỷ số, v.v.) không thể áp dụng cho dữ liệu SAR để phát hiện thay đổi do ảnh hưởng vốn có của nhiễu đốm.

Với bộ dữ liệu Sentinel-1 gồm 3 sản phẩm ảnh GRD ghi nhận thông tin của thành phố Huế và một phần của huyện Hương Trà tại thời điểm xảy ra trận bão Damrey đầu tháng 11 năm 2017, vùng ngập lụt tại khu vực này đã được xác định. Kết quả thực nghiệm chứng tỏ sự phù hợp và hiệu quả của phương pháp Log-normal KLD khi đã xác định được vùng bị ảnh hưởng bởi đợt bão lũ này với độ chính xác cao (hơn 87%).

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy có thể áp dụng phương pháp xác định độ tương đồng thống kê Log-normal KLD giữa các ảnh SAR đa thời gian cho các cơ quan, trung tâm, đơn vị nghiên cứu thực hiện về giám sát, quản lý tài nguyên môi trường để phát hiện kịp thời và chính xác vùng bị ngập lụt cũng như những thay đổi của bề mặt Trái Đất do nhiều nguyên nhân khác nhau gây ra.

### Tài liệu tham khảo

- Amitrano, D., Ciervo, F., Di Bianco, P., Di Martino, G., Iodice, A., Mitidieri, F., Riccio, D., Ruello, G., Papa, M., and Koussoube, Y., 2015. Monitoring Soil Erosion and Reservoir Sedimentation in Semi-arid Region Through Remote Sensed SAR Data: A Case Study in Yatenga Region, Burkina Faso. *Engineering Geology for Society and Territory, Springer link* 3, 539-542.
- Atto, A. M., Trouve, E., Berthoumieu, Y., and Mercier, G., 2013. Multidate divergence matrices for the analysis of SAR image time series. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 51(4), 1922-1938.
- Báo mới điện tử, 2017. <https://Báo mới điện tử, 2017.com/thua-thien-hue-thiet-hai-nang-ne-sau-bao-so-12/c/23842962.epi>
- Báo Nhân dân điện tử, 2017. <http://www.nhandan.com.vn/megastory/2017/12/28/>.
- Bouvet, A., Le Toan Thuy, and Nguyen Lam Dao, 2009. Monitoring of the Rice Cropping System in the Mekong Delta Using ENVISAT/ASAR Dual Polarization Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47 (2), 517-526.
- Brunner, D., Lemoine, G., and Bruzzone, L., 2010. Earthquake Damage Assessment of Buildings Using VHR Optical and SAR Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(5), 2403-2420.
- Chen, S., and Sato, M., 2013. Tsunami damage investigation of built-up areas using multitemporal spaceborne full polarimetric SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51, 1985-1997.
- Colesanti, C., and Wasowski, J., 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology* 88, 173-199.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., and Lambin, E., 2004. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing* 25(9), 1565-1596.
- Dellepiane, S. G., and Angiati, E., 2012. A new method for cross-normalization and multitemporal visualization of SAR images for the detection of flooded areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50(7), 2765-2779.
- Gar-On Yeh, A., and Qi, Z., 2015. Space-time integration in geography and giscience. Chapter 19: Short-interval monitoring of land use and land cover change using a time series of RADARSAT-2 polarimetric SAR images. *Springer Link*.
- 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 Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45(5), 1432-1445.

- Kittler, J., and Illingworth, J., 1986. Minimum error thresholding. *Pattern Recognition* 19 (1), 41-47.
- Kullback, S., and Leibler, R. A., 1951. On Information and Sufficiency. *Ann. Math. Statist.*, 22(1), 79-86.
- Le Thu Trang, 2015. Change Information Extraction from Synthetic Aperture Radar Image Time Series. *PhD Dissertation*, Grenoble Alpes University.
- Le Thu Trang, Atto, A. M., Trouvé, E., Solikhin, A., and Pinel, V., 2015. Changedetection matrix for multitemporal filtering and change analysis of SAR and PolSAR image time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 107, 64-76.
- Le Toan Thuy, 2007. Lecture: Advanced Training Course on Land Remote Sensing.
- Leblon, B., Kasischke, E., Alexander, M., Doyle, M., and Abbott, M., 2002. Fire Danger Monitoring Using ERS-1 SAR Images in the Case of Northern Boreal Forests. *Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers 27, 231-255.
- Nguyen Van Trung, 2016. Inundation extent and flood frequency mapping of Cuu long rivers delta using multi-temporal ERS-2 data. *International Conference on GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences (GIS-IDEAS 2016)*. Hanoi, Vietnam.
- Phạm Quang Sơn, Bùi Đức Việt, 2001. Sử dụng ảnh vệ tinh Radarsat (SAR) và GIS trong nghiên cứu ngập lụt đồng bằng Huế-Quảng Trị. *Tap chí Các Khoa học về Trái Đất* 4 (23), 423-430.
- Trần Kim Châu, 2017. *Mapping extent of flooded area using Sentinel 1 satellite image*. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* 58(9/2017), 78-82.
- Trần Văn Anh, 2011. Nghiên cứu xử lý ảnh radar SAR cho xác định nhanh vùng ngập lụt bằng các phần mềm miễn phí mã nguồn mở. *Đề tài KHCN cấp cơ sở, Mã số T11-22*, Đại học Mỏ - Địa Chất.

## ABSTRACT

### Inundation detection in Hue from multitemporal SAR images by using statistical similarity measure

Trang Thu Le <sup>1</sup>, Hoa Thanh Thi Pham <sup>1</sup>, Thom Thi Vu <sup>2</sup>, Thai Ha Pham <sup>1</sup>, Anh Trung Tran <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>2</sup> Dong Nam Technology and Infrastructure Services Joint Stock Company, Vietnam

This paper presents a method for change detection using multitemporal synthetic aperture radar images based on statistical similarity measure in order to determine inundation regions. From Ground Range Detected (GRD) products of SAR Sentinel-1 satellite acquired before, during and after the the flood caused by typhoon Damrey in Hue city and a part of Huong Tra district, Thua Thien Hue province, changes on the ground were detected using Kullback-Leibler distance between two Log-normal distributions. Inundation detection results were evaluated by validation samples derived from optical 3 m resolution PlanetScope image, and the obtained accuracy is 87,3%. Change information extracted from multitemporal SAR images then could be exploited for different tasks, such as: inundation region mapping, statistical analysis of affected areas, etc.