

NGHIÊN CỨU KẾT HỢP THÔNG TIN ĐỊA ĐỘNG LỰC VÀ KỸ THUẬT PSINSAR TRONG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘNG ĐẤT TẠI KHU VỰC KON TUM

Đỗ Thị Hoài¹, Lê Minh Hằng²

¹Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

²Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Động đất là kết quả của sự chuyển động đột ngột dọc theo các đứt gãy bên trong Trái đất. Phương pháp xác định các dịch chuyển tại các đứt gãy dựa vào kết quả quan trắc nhiều năm tại các điểm địa động lực. Với sự phát triển của công nghệ viễn thám, kỹ thuật giao thoa radar InSAR (Interferometry Synthetic Aperture Radar) đã cung cấp phương pháp quan trắc dịch chuyển bề mặt trên diện rộng sử dụng tư liệu ảnh SAR đa thời gian. Vì vậy, trong bài báo nhóm tác giả đề xuất kết hợp thông tin địa động lực và kết quả dịch chuyển bề mặt được xác định bằng phương pháp giao thoa radar liên tục PSInSAR (Persistent Scatterer Interferometry) để đánh giá tác động của động đất xảy ra tại Kon Tum trong giai đoạn 2021 - 2022. Kết quả đo địa động lực cho thấy các điểm quan trắc dịch chuyển ngược chiều theo phuơng thẳng đứng, đặc biệt là những điểm tại khu vực Kon Tum. Còn tại các điểm tán xạ cố định PS cũng xuất hiện các dịch chuyển bề mặt tại thời điểm xảy ra động đất với vận tốc lún lớn hơn -50 mm/năm.

Từ khóa: PSInSAR; Sentinel-1A đa thời gian; Động đất; Địa động lực.

Abstract

*Combining geodynamic information and PSInSAR technology for the evaluation
the impact of earthquakes in Kon Tum*

Earthquakes are caused by abrupt movement along internal cracks. The method for determining displacements at fault zones is based on numerous years of observations at geodynamic sites. With the advancement of remote sensing technology, InSAR (Interferometry Synthetic Aperture Radar) technology provides a method for monitoring large-scale surface displacement using multi-temporal SAR image data. In this paper, the authors propose to integrate geodynamic information and results of surface displacement determined by the PSInSAR (Persistent Scatterer Interferometry) method to evaluate the impact of an earthquake in Kon Tum during the period 2021 - 2022. The results of geodynamic measurements indicate that a number of monitoring sites are moving in the opposite direction of the vertical, particularly in the Kon Tum region. During the earthquake, there were also surface displacements at PS (Persistent Scatterer) sites with a settlement velocity greater than -50 mm/year.

Keywords: PSInSAR; Multi-temporal Sentinel-1A; Earthquake; Geodynamic.

1. Đặt vấn đề

Địa động lực học là một lĩnh vực của địa vật lý liên quan đến động lực học của Trái đất. Theo các nghiên cứu về địa chất thì việc nghiên cứu và xác định đặc trưng của cấu trúc và địa động lực có tầm quan trọng đặc biệt để đánh giá mức độ ảnh hưởng của động đất [11]. Các đặc trưng của địa động lực có xác định hướng và biên độ dịch chuyển, đặc điểm thường ứng suất kiến tạo. Đây là một trong những tham số để xác định cơ chế dịch chuyển, năng lượng phát sinh và lan truyền chấn động của động đất trong môi trường. Trong khoảng thời gian từ tháng 4 năm 2021 đến tháng 7 năm 2022, tại huyện Kon Plông, tỉnh Kon Tum, Việt Nam xuất hiện hơn 100 trận động đất có cường độ nhỏ hơn 5,0 độ Richter. Các trận động đất cường độ thấp đến trung bình tại Kon Tum không gây thiệt hại về người và tài sản, nhưng cũng đã cho thấy nền đất của khu vực không ổn định. Theo các thông tin về địa động lực thì khu vực Kon Tum nằm trên đới đứt gãy sông Pô Kô và Sông Ba. Đồng thời, trong khu vực còn có các đới đứt gãy sâu thuận. Kết quả nghiên cứu địa động lực như vectơ dịch chuyển tại các điểm địa động lực được xác định trong nhiều năm, làm cơ sở để đánh giá các chuyển dịch của các khối.

Hiện nay, nhiều nghiên cứu đề xuất sử dụng tư liệu ảnh SAR (Synthetic Aperture RADAR - Radar cửa mở tổng hợp) và kỹ thuật giao thoa radar (InSAR - Interferometry Synthetic Aperture Radar) để xác định dịch chuyển của bề mặt đất, đặc biệt là giám sát các hiện tượng động đất trên diện rộng. Vào tháng 12 năm 2014, Cơ quan hàng không vũ trụ Châu Âu (ESA - European Space Agency) đã

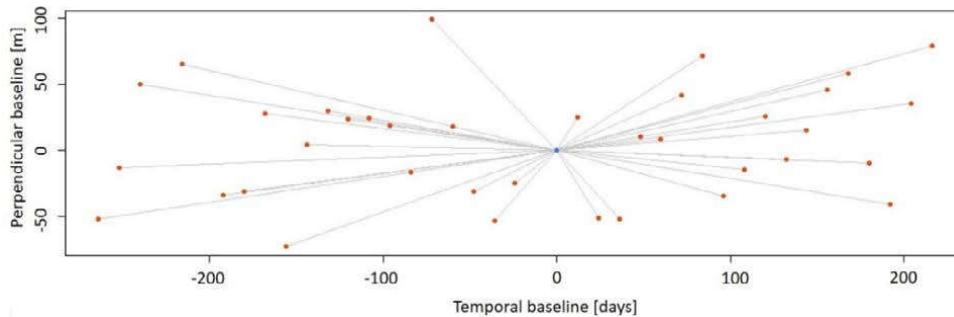
phóng thành công vệ tinh Sentinel-1A, mang bộ cảm biến siêu cao tần kênh C, với chu kỳ chụp 12 ngày, chế độ chụp phân cực đôi VV và VH. Cấu tạo của bộ cảm biến được kiểm soát trong một ống hẹp làm giảm kích thước đường dây trong xử lý giao thoa. Điều này cung cấp khả năng phát hiện nhanh chóng những ảnh hưởng của các trận động đất trên kết quả phân tích giao thoa InSAR.

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh phương pháp InSAR xác định sự dịch chuyển bề mặt và cung cấp thông tin chính xác hơn về tác động của động đất so với phương pháp đo truyền thống [1, 4, 5]. Tư liệu ảnh SAR được sử dụng trong giám sát động đất bằng kỹ thuật giao thoa InSAR gồm Radarsat [3], EnviSAT ASAR [9], ALOS PALSAR [8]. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng chứng minh rằng dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-1 phù hợp để theo dõi sự biến dạng của địa hình sau động đất trên toàn cầu [7]. Tác giả Zhao và cộng sự (2021) [12] đã sử dụng 45 ảnh Sentinel-1 để phát hiện và phân tích sự dịch chuyển mặt đất gây ra bởi các trận động đất cường độ nhỏ ở huyện Dung, tỉnh Quảng Tây, Trung Quốc bằng kỹ thuật giao thoa radar vi phân DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar). Các nghiên cứu cho thấy động đất có cường độ lớn hơn 5 Mw sẽ gây ra dịch chuyển vài cm và dễ dàng được phát hiện bởi kỹ thuật giao thoa DInSAR. Động đất có cường độ nhỏ hơn 5,0 Mw thường gây ra dịch chuyển bề mặt nhỏ và rất khó phát hiện bằng kỹ thuật InSAR. Ngoài ra, các yếu tố ảnh hưởng đến việc xác định dịch chuyển bề mặt do động đất bao gồm cường độ và độ sâu chấn tâm. Phương pháp giao thoa liên tục

Nghiên cứu

PSInSAR cũng là một trong các kỹ thuật giao thoa radar vi phân DInSAR sử dụng dữ liệu ảnh SAR đa thời gian.

Trên thực tế, việc theo dõi chuyển dịch địa hình bằng phương pháp giao thoa radar liên tục PSInSAR ở những vùng đồi núi có thực phủ dày đặc như Kon Tum sẽ có một số hạn chế. Do vậy, nhóm tác giả đề xuất thử nghiệm kết hợp phân tích thông tin từ kết quả giao thoa radar PSInSAR và thông tin địa động lực trong nhiều năm để xác định ảnh hưởng của động đất tại khu vực Kon Tum và khả năng sử dụng phương pháp giao thoa radar trong nghiên cứu động đất tại Việt Nam.



Hình 1: Chiều dài đường đáy vuông góc của ảnh giao thoa với ảnh chính chụp ngày 20/10/2021

Các bước tiền xử lý dữ liệu thử nghiệm Sentinel-1A bao gồm hiệu chỉnh theo vị trí của quỹ đạo vệ tinh, xác định tương quan giữa hai ảnh, xác định vân giao thoa. Bước tiền xử lý ảnh Sentinel-1A được thực hiện trên phần mềm SNAP Toolbox. Trong nghiên cứu, nhóm tác giả đã sử dụng mô hình số độ cao SRTM (DEM) có độ phân giải 90 m để loại bỏ ảnh hưởng địa hình. Các bước tính điểm tán xạ cố định PS được thực hiện bằng phần mềm StaMPS. Sử dụng phần mềm SNAP Toolbox xác định được ảnh chính là ảnh chụp ngày 20/10/2021 và các hình ảnh còn lại là ảnh phụ. Chiều dài đường đáy của cặp ảnh giao thoa được thể hiện trong Hình 1.

2. Dữ liệu thử nghiệm

2.1. Dữ liệu ảnh

Dữ liệu thử nghiệm trong bài báo là tư liệu ảnh Sentinel-1A đa thời gian tại khu vực Kon Tum, Việt Nam (Bảng 1).

Bảng 1. Đặc điểm của dữ liệu thử nghiệm Sentinel-1A

Sentinel-1A	
Ngày chụp	38 cảnh ảnh (18/3/2021 - 11/7/2022)
Chế độ chụp/Mức xử lý	Interferometric Wide (IW) - SLC
Đặc điểm phân cực	Phân cực VV
Bước sóng	Kênh C (5.46 Hz)
Độ dài bit	16 bit

2.2. Dữ liệu địa động lực

Dữ liệu địa động lực được lấy từ kết quả thực hiện dự án “Xây dựng mạng lưới trắc địa địa động lực trên khu vực các đứt gãy thuộc miền Trung, Tây Nguyên và Nam Bộ Việt Nam phục vụ công tác dự báo tai biến tự nhiên” do Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ thực hiện. Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả chọn 5 điểm địa động lực là điểm C120 (Xã Xốp, huyện Đăk Glei), điểm 121 Đăk Nhoong (xã Đăk Nhoong, huyện Đăk Glei), điểm 122 (xã Kon Đào, huyện Đăk Tô, Xã Bờ Y), điểm 123 (Xã Bờ Y huyện Ngọc Hồi), điểm 126 (Xã Chu’Hreng, thành phố Kon Tum). Các điểm địa động lực được chọn cách đứt gãy Poco từ 5 đến 50 km

và không được nằm trùng trên đới đứt gãy để đảm bảo tính chính xác trong quá trình đới hoạt động. Đồng thời, vị trí các điểm được chôn trên lớp đá gốc, thoáng đãng, cách xa các vật cản nhân tạo hoặc tự nhiên, đảm bảo thu được các tín hiệu từ vệ tinh với góc ngưỡng không nhỏ hơn 5° . Các điểm này được đo GNSS trong 5 năm, mỗi năm đo hai lần, mỗi lần đo liên tục trong 96 giờ (4 ngày đêm).

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Kỹ thuật giao thoa radar vi phân DInSAR

Kỹ thuật giao thoa radar InSAR là kỹ thuật xác định giao thoa ké từ cặp ảnh giao thoa SAR để phát hiện và theo dõi các thay đổi bề mặt xảy ra giữa các lần đi qua của cảm biến radar trong cùng một khu vực. Trong trường hợp như vậy, giả sử có sự thay đổi bề mặt xảy ra trong hai thời điểm thu ảnh SAR và theo dõi quan hệ hình học được mô tả trong Hình 2, ta có công thức sau [10]:

$$\Delta\varphi = -\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_n}{rsin\theta} z + \frac{4\pi}{\lambda} d_{LOS} \quad (1)$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{displ} + \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{orb} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{scatt} + \Delta\varphi_{noise} \quad (2)$$

trong đó:

$\Delta\varphi_{displ} = \frac{4\pi}{\lambda} d_{LOS}$ cung cấp khả năng dịch chuyển tán xạ trên mặt đất giữa các lần quan sát;

$\Delta\varphi_{topo} = -\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_n}{rsin\theta} \Delta z$ chỉ ra sai số do ảnh hưởng địa hình (như sai số DEM);

$\Delta\varphi_{orb}$ là sai số do ảnh hưởng của các thông số quỹ đạo;

$\Delta\varphi_{atm}$ là sai số gây ra bởi sự khác biệt trong điều kiện truyền tín hiệu giữa hai thời điểm thu nhận ảnh (gây ra bởi sự thay đổi của khí quyển và hằng số điện môi tầng điện li);

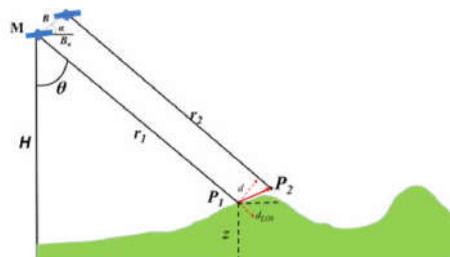
$\Delta\varphi_{scatt}$ là thành phần pha gây ra bởi những thay đổi trong tán xạ tín hiệu;

trong đó: biểu thị hình chiếu của biến dạng quan sát được theo hướng nhìn LOS (line of sight) của cảm biến; là đường đáy vuông góc; là góc tới của tín hiệu vệ tinh; là độ cao địa hình.

Để ước tính pha giao thoa ké liên quan đến sự dịch chuyển thì cần loại bỏ ảnh hưởng liên quan đến địa hình ra khỏi phương trình (1). Trong các kỹ thuật giao thoa radar thì kỹ thuật giao thoa radar vi phân DInSAR cho phép xác định dịch chuyển bề mặt địa hình bao gồm việc tổng hợp pha địa hình được mô phỏng bằng cách sử dụng mô hình số độ cao (DEM) của khu vực và phép trừ, từng pixel của các vân giao thoa tổng hợp, chỉ để lại phần tử dịch chuyển. Ngoài thành phần dịch chuyển, các giao thoa radar vi phân cũng chứa các thành phần pha không mong muốn do sự thiếu thông tin về dạng địa hình thực và các tham số quỹ đạo. Đặc biệt, sự biến đổi của pha giao thoa có thể được mô tả ở dạng tổng quát hơn như sau [10]:

$\Delta\varphi_{noise}$ là tất cả sai số bởi tiếng ồn của tín hiệu.

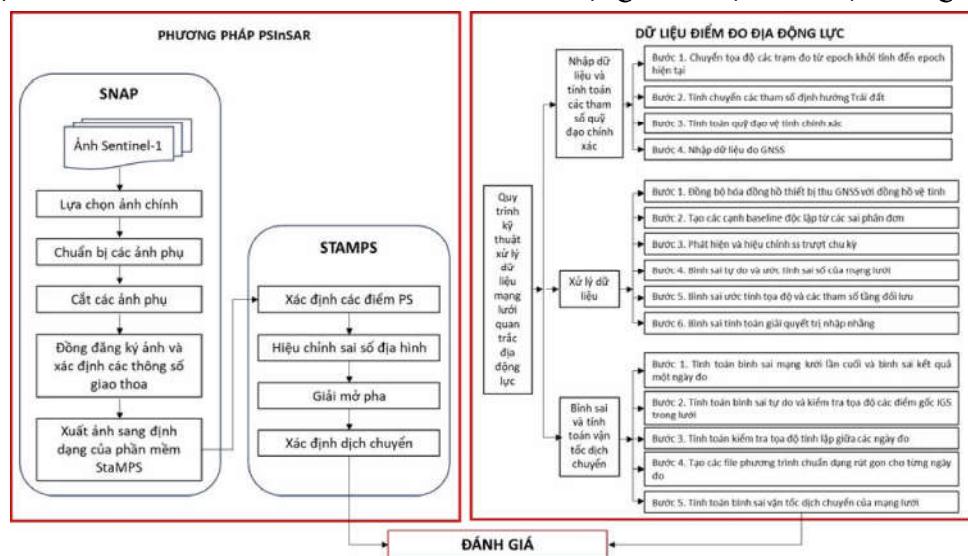
Ngoài ra, sự xuất hiện của lỗi giải mở pha, do ước tính sai 2π bởi số nguyên được thêm vào pha InSAR (đo được) để khôi phục pha hoàn chỉnh là một nguyên nhân khác dẫn đến sai số liên quan đến kết quả xác định dịch chuyển bề mặt.



Hình 2: Mô tả phương pháp InSAR ước tính sự dịch chuyển của bề mặt Trái đất

3.2. Phương pháp giao thoa liên tục (Persistent Scatterer Interferometry- PSInSAR)

Mục đích của mọi phương pháp DInSAR là trích xuất từ . Điều này đòi hỏi phải tách khỏi các thành phần pha khác của phương trình (2). Một điều kiện cần thiết để đạt được sự phân tách này là phân tích các pixel được đặc trưng bởi nhỏ, thường được kết hợp với hai loại phản xạ gồm những nơi mà phản hồi tín hiệu radar bị chi phối bởi một đối tượng phản xạ mạnh và không đổi theo thời gian (các điểm PS) và những nơi mà phản hồi radar không đổi theo thời gian, nhưng được gây ra bởi nhiều vật thể tán xạ nhỏ (Distributed Scatterers, DS) [2]. PSInSAR là một loại kỹ thuật giao thoa radar DInSAR sử dụng nhiều ảnh SAR được ghi lại trên cùng một khu vực và sử dụng quy trình phân tích, xử lý dữ liệu thích hợp để phân biệt với các thành phần pha khác trong phương trình (2). Kết quả chính của một nghiên cứu PSInSAR là chuỗi thời gian biến dạng và vận tốc biến dạng được tính trên các điểm PS hoặc DS.



Hình 3: Quy trình kết hợp thông tin địa động lực và kỹ thuật giao thoa radar PSInSAR trong giám sát ảnh hưởng động đất

3.3. Phương pháp địa động lực

Sau khi có kết quả đo GNSS, tiến hành tính toán xử lý số liệu đo mạng lưới GNSS địa động lực trên nguyên tắc như sau:

- Khi thu tín hiệu vệ tinh GNSS đồng thời trên N điểm sẽ tính được (N - 1) vector đường đáy (baseline) độc lập, kết hợp với dữ liệu GNSS điểm IGS được cung cấp từ tổ chức IGS (The International GNSS Service) quốc tế, ta xây dựng hệ phương trình chuẩn chứa các tham số tọa độ của các điểm trong mạng lưới với các điểm IGS theo từng ca đo (ngày đo).

- Giải hệ phương trình chuẩn khi đưa các giá trị tọa độ, vận tốc chuyển dịch chính xác của các điểm IGS trong khung tham chiếu quốc tế ITRF để xác định tọa độ và vận tốc chuyển dịch của các điểm trong mạng lưới.

Quá trình xử lý tính toán mạng lưới được thực hiện qua các bước chính thể hiện trong Hình 3.

3.4. Đề xuất quy trình

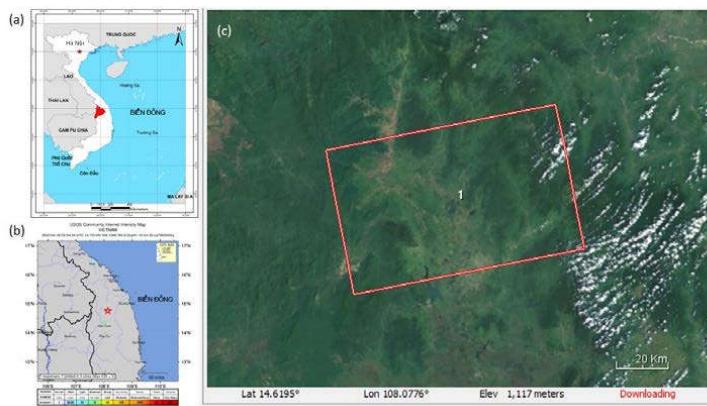
Quy trình kết hợp dữ liệu thông tin địa động lực học và kỹ thuật giao thoa radar InSAR trong giám sát ảnh hưởng của động đất được thể hiện trong Hình 3.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là huyện Kon Plông, thuộc tỉnh Kon Tum, Việt Nam. Ranh giới và vị trí của tỉnh Kon Tum được thể hiện trên Hình 4a. Kon Tum là một tỉnh ở phía Bắc Tây Nguyên, Việt Nam. Tọa độ vị trí nằm trong khoảng từ $13^{\circ}55'10''$ đến $15^{\circ}27'15''$ vĩ độ Bắc và từ $107^{\circ}20'15''$ đến $108^{\circ}32'30''$ kinh độ Đông. Phần lớn diện tích nằm ở phía Tây của dãy Trường Sơn. Đặc điểm địa hình phức tạp, bao gồm gò,

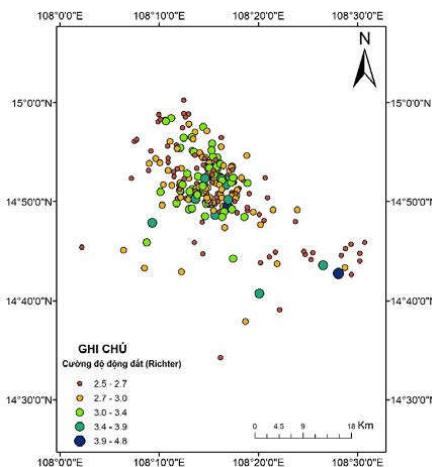
đồi, núi, cao nguyên và vùng trũng xen kẽ. Độ cao trung bình từ 500 m đến 700 m. Các dãy núi phân bố theo hướng Bắc Tây Bắc, chạy về phía Đông tỉnh Kon Tum. Khí hậu Kon Tum có hai mùa rõ rệt: Mùa mưa (từ tháng 4 đến tháng 11) và mùa khô (từ tháng 12 đến tháng 3 năm sau). Kon Plông là một huyện miền núi nằm ở phía Đông Bắc của tỉnh Kon Tum. Tọa độ của vị trí $14^{\circ}42'N$ và $108^{\circ}15'E$. Địa hình chủ yếu là đồi núi, với cao nguyên Kon Plông chiếm diện tích chính của huyện.



Hình 4: Khu vực nghiên cứu (a) Vị trí tỉnh Kon Tum; (b) Động đất ở Kon Tum được USGS; (c) Vị trí của ảnh Sentinel-1A trong khu vực nghiên cứu

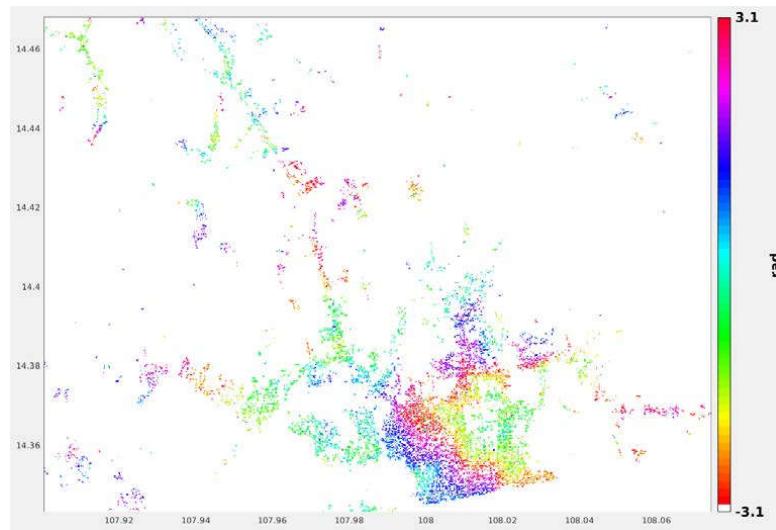
4.2. Kết quả xác định dịch chuyển bề mặt bằng kỹ thuật giao thoa radar PSInSAR

Hình 5 thể hiện vị trí tâm chấn của các trận động đất ở Kon Tum và cường độ theo độ Richter trong khoảng thời gian từ tháng 3/2021 đến tháng 7/2022.



Hình 5: Vị trí tâm chấn của các động đất tại tỉnh Kon Tum, Việt Nam (3/2021 - 7/2022)

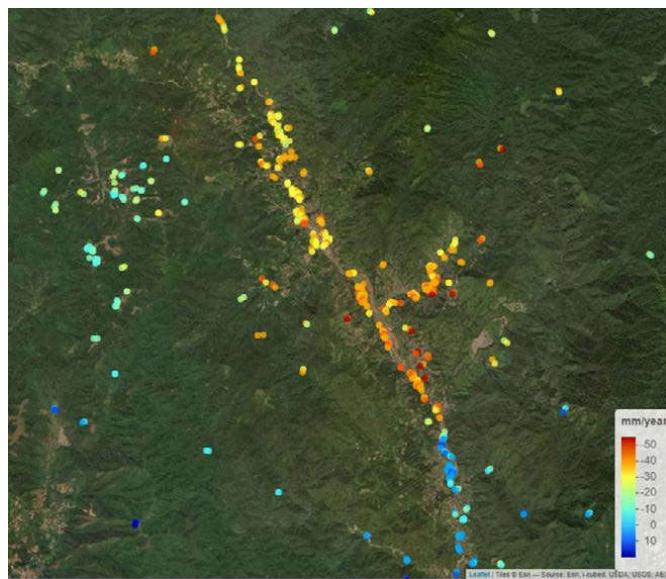
Nghiên cứu



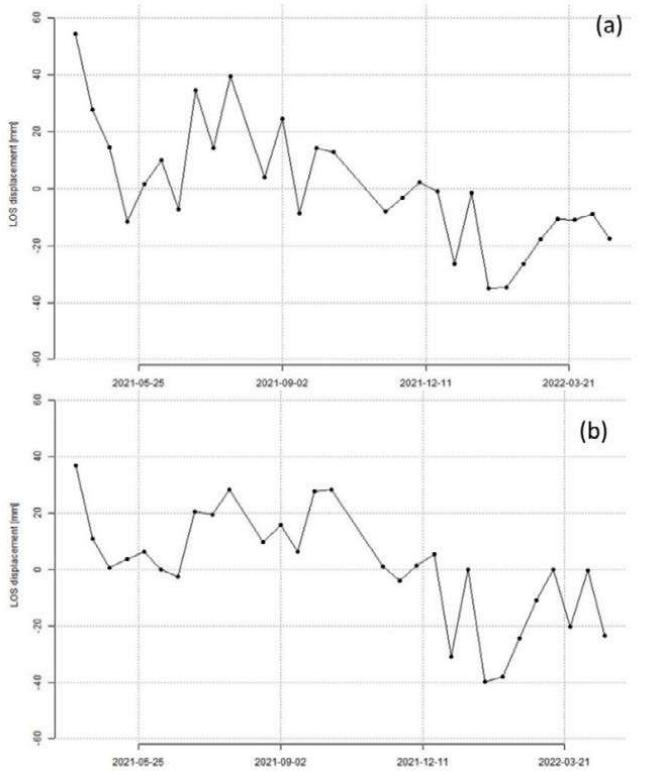
Hình 6: Giao thoa pha tại thành phố Kon Tum vào ngày 18/4/2022

Ngày 18 tháng 4 năm 2022 được xác định có một trận động đất có cường độ trung bình 4,0 - 4,8 độ Richter tại huyện Kon Plông, tỉnh Kon Tum (Hình 4b). Hình 6 thể hiện kết quả giao thoa pha giữa ảnh chính và ảnh chụp ngày 18/4/2022 tại khu vực nghiên cứu. Trên Hình 6 cho thấy xuất hiện các pha giao thoa khác nhau tại thành phố Kon Tum tại thời điểm xuất hiện hiện tượng động đất. Dựa vào các dải giao thoa thì trận động đất 4,8 độ Richter đã ảnh hưởng đến khu vực cách tâm chấn hơn 30 km về phía Tây Nam.

Sử dụng phương pháp giao thoa radar liên tục PSInSAR đã xác định vận tốc dịch chuyển trung bình tại các điểm PS thuộc của khu vực nghiên cứu. Khu vực nghiên cứu có tốc độ dịch chuyển trung bình là từ -21,3 mm/năm đến +20,3 mm/năm theo hướng nhìn (LOS) của vệ tinh Sentinel-1A. Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng phần mềm StaMPS-Visualizer [6] để phân tích chuyển vị bề mặt tại các điểm PS trong thời gian thu nhận ảnh (Hình 7 và Hình 8).



Hình 7: Vị trí các điểm PS tại huyện Kon Plông trên ảnh vệ tinh của Google Earth

**Hình 8: Chuyển dịch mặt đất tại các điểm PS ở các thời điểm chụp ảnh****4.3. Kết quả chuyển dịch các điểm động lực**

Vận tốc chuyển dịch của các điểm được tính theo chuỗi số liệu đo của các năm bằng cách sử dụng các file phương trình chuẩn dạng rút gọn của các năm đo vào Modul ADDNEQ2 và thực hiện bình sai để nhận được véc tơ vận tốc chuyển dịch trong khung quy chiếu quốc tế ITRF của chuỗi số liệu đo và kết quả được thể hiện tại Bảng 2.

Bảng 2. Vận tốc chuyển dịch các điểm địa động lực qua các năm

TT	Số hiệu điểm	Vận tốc chuyển dịch mặt bằng				Vận tốc chuyển dịch độ cao	
		V_N (m)	m_{VN} (m)	V_E (m)	m_{VE} (m)	V_U (m)	m_{VU} (m)
Năm 2015 - 2016							
1	C117	-0,0093	0,0006	0,0365	0,0007	0,0145	0,0025
2	C120	-0,0115	0,0005	0,0181	0,0005	-0,0400	0,0016
3	C121	-0,0152	0,0005	0,0242	0,0005	-0,0587	0,0015
4	C122	-0,0163	0,0005	0,0288	0,0005	-0,0020	0,0015
5	C123	-0,0135	0,0005	0,0196	0,0005	-0,0118	0,0015
6	C126	-0,0160	0,0004	0,0353	0,0004	-0,0144	0,0012
Năm 2015 - 2017							
1	C117	-0,0112	0,0006	0,0310	0,0007	-0,0012	0,0026
2	C120	-0,0115	0,0005	0,0181	0,0005	-0,0400	0,0016
3	C121	-0,0152	0,0005	0,0242	0,0005	-0,0587	0,0015
4	C122	-0,0163	0,0005	0,0288	0,0005	-0,0020	0,0015
5	C123	-0,0135	0,0005	0,0196	0,0005	-0,0118	0,0015
6	C126	-0,0160	0,0004	0,0353	0,0004	-0,0144	0,0012

Nghiên cứu

TT	Số hiệu điểm	Vận tốc chuyển dịch mặt bằng				Vận tốc chuyển dịch độ cao	
		V_N (m)	m_{VN} (m)	V_E (m)	m_{VE} (m)	V_U (m)	m_{VU} (m)
Năm 2015 - 2018							
1	C117	-0,0104	0,0004	0,0319	0,0005	-0,0031	0,0015
2	C120	-0,0096	0,0003	0,0305	0,0003	-0,0034	0,0007
3	C121	-0,0101	0,0003	0,0311	0,0003	-0,0156	0,0006
4	C122	-0,0132	0,0003	0,0305	0,0003	-0,0092	0,0006
5	C123	-0,0085	0,0003	0,0328	0,0003	-0,0125	0,0006
6	C126	-0,0108	0,0003	0,0288	0,0003	-0,0096	0,0005
Năm 2015 - 2019							
1	C117	-0,0094	0,0003	0,0299	0,0004	0,0058	0,0010
2	C120	-0,0093	0,0003	0,0301	0,0003	-0,0003	0,0005
3	C121	-0,0095	0,0003	0,0310	0,0003	-0,0080	0,0005
4	C122	-0,0130	0,0003	0,0302	0,0003	-0,0087	0,0005
5	C123	-0,0087	0,0003	0,0319	0,0003	-0,0082	0,0005
6	C126	-0,0091	0,0002	0,0312	0,0003	-0,0065	0,0004

trong đó: $V_{N,E}$ là vận tốc chuyển dịch hướng Bắc (North), Đông (East); V_U là vận tốc chuyển dịch theo hướng đứng (Up, down); m là sai số trung phuong vị trí điểm.

Bảng 3. Kết quả phuong và độ lớn của vận tốc chuyển dịch tại điểm địa động lực

STT	Số hiệu điểm	Góc xoay (Ω)	D_H (mm)	D_U (mm)
Năm 2015 - 2016				
1	C117	-14,29	37,67	14,50
2	C120	-32,43	21,44	-40,00
3	C121	-32,13	28,58	-58,70
4	C122	-29,36	33,04	-2,00
5	C123	-34,56	23,80	-11,80
6	C126	-24,38	38,76	-14,40
Năm 2015 - 2017				
1	C117	-19,54	32,89	-1,10
2	C120	-20,88	31,15	-9,10
3	C121	-21,90	33,52	-27,60
4	C122	-23,77	33,98	4,20
5	C123	-16,89	35,11	-17,30
6	C126	-17,91	34,79	-13,30
Năm 2015 - 2018				
1	C117	-16,90	33,03	-3,60
2	C120	-17,47	31,98	-3,40
3	C121	-17,99	32,70	-15,60
4	C122	-20,13	33,12	-8,90
5	C123	-14,53	33,88	-12,50
6	C126	-9,60	-20,56	30,76
Năm 2015 - 2019				
1	C117	-17,45	31,34	5,80
2	C120	-17,17	31,50	-0,30
3	C121	-17,04	32,42	-8,00
4	C122	-18,32	32,76	-8,30

STT	Số hiệu điểm	Góc xoay (Ω)	D_H (mm)	D_U (mm)
5	C123	-15,26	33,07	-8,20
6	C126	-16,26	32,50	-6,50

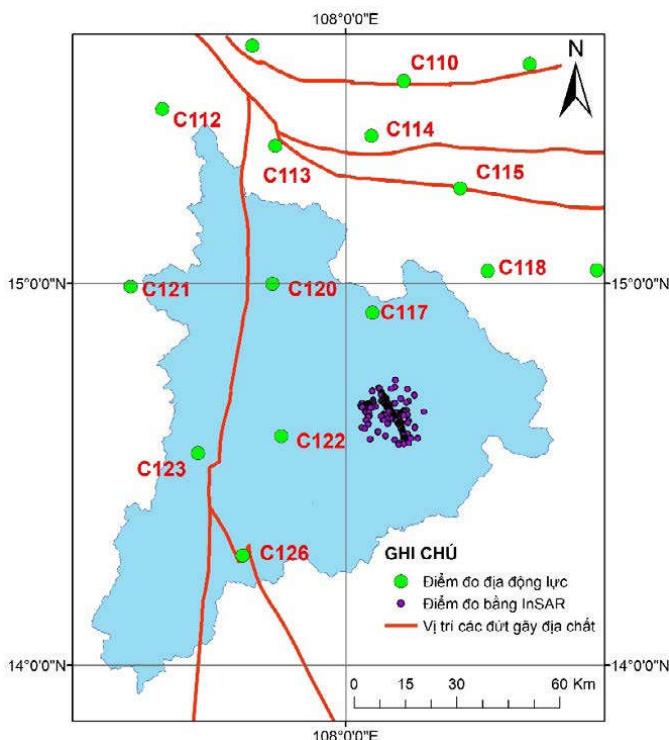
trong đó: D_H là chiều dài véc tơ vận tốc chuyển dịch ngang (H- horizontal)

D_U là chiều dài véc tơ vận tốc chuyển dịch đứng

4.4. Đánh giá ảnh hưởng của động đất

Trong Hình 7 cho thấy các điểm PS xác định gần tâm chấn có vận tốc dịch chuyển bề mặt lớn hơn -50 mm/năm, lớn hơn so với các điểm PS khác. Các điểm có hiện tượng sụt lún lớn nằm gần khu vực núi cao. Hình 8 thể hiện dịch chuyển bề mặt tại các điểm PS thuộc huyện Kon Plông tại các thời điểm thu nhận ảnh. Phân tích trên biểu đồ tại Hình 8 cho thấy trong khoảng thời gian từ tháng 01/2022 đến tháng 7/2022 có dịch chuyển bề mặt lớn, đặc biệt tại thời điểm xảy ra động đất cường độ trung bình 4,8 độ Richter. Kết quả đo địa động lực cũng cho thấy khu vực Kon Tum có dịch chuyển thẳng

từ -58,7 mm/năm đến +14,50 mm/năm. Theo kết quả đo địa động lực học Bảng 2 và Bảng 3 cho thấy sự dịch chuyển không đều theo hướng thẳng đứng của khu vực Kon Tum, đặc biệt là tại điểm C122 và C117 trong giai đoạn 2015 - 2019. Trong giai đoạn này, điểm C117 có xu hướng nâng lên +5,80 mm, các điểm còn lại có xu hướng hạ xuống. Mức độ lún xuống của điểm C120 là thấp nhất và điểm C122 là cao nhất tương ứng là -8,30 mm. Kết quả xác định dịch chuyển bề mặt bằng kỹ thuật giao thoa radar PSInSAR cũng cho thấy có dịch chuyển lớn tại vị trí gần điểm C122 và C117 (Hình 8). Ngoài ra, vị trí thường xuyên xảy ra động đất cũng nằm trong khu vực này (Hình 5).



Hình 9: Vị trí các điểm PS và các điểm đo địa động lực

5. Kết luận

Như vậy, thông tin địa động lực cung cấp giá trị vectơ vận tốc dịch chuyển về mặt bằng và độ cao tại các điểm đo động lực. Đây là dữ liệu quan trọng trong giám sát sự dịch chuyển các khối thuộc các đới đứt gãy, phục vụ cho công tác dự báo tai biến thiên nhiên. Kết quả đo địa động lực trong giai đoạn 2015 - 2019 đã cho thấy có sự dịch chuyển thẳng đứng không đều tại các điểm đo địa động lực trên đới đứt gãy, đặc biệt là khu vực Kon Plong thường xuyên xảy ra động đất, có điểm trồi lên và có điểm lún xuống.

Qua việc kết hợp thông tin địa động lực và kỹ thuật giao thoa radar liên tục PSInSAR cũng đã cho thấy có những dịch chuyển lớn tại thời điểm xảy ra động đất và gần với những điểm đo địa động lực có dịch chuyển không đều. Các dịch chuyển bề mặt này được xác định tại điểm tán xạ cố định PS và được tính trung bình trong phạm vi thời gian khảo sát thử nghiệm. Kết quả phân tích tại các điểm PS cũng cho thấy có sự dao động của bề mặt đất, chủ yếu là việc lún xuống trong giai đoạn 2021 - 2022, đặc biệt đối với các điểm nằm gần tâm chấn. Tuy nhiên, số lượng các điểm PS tại các khu vực vùng núi có nhiều thực phủ gần như không có do không có sự tương quan của chuỗi ảnh. Do đó, để đánh giá khả năng của kỹ thuật giao thoa radar InSAR nói chung và phương pháp giao thoa radar liên tục PSInSAR nói riêng trong việc phát hiện ảnh hưởng của động đất ở các vùng miền núi của Việt Nam đòi hỏi nhiều nghiên cứu về các loại dữ liệu khác nhau, tại các thời điểm khác nhau và kết hợp với các dữ liệu đo địa động lực trong cùng một khoảng thời gian. Kết quả nghiên cứu của bài báo giúp

nâng cao khả năng ứng dụng công nghệ InSAR để giám sát chuyên dịch bề mặt, đặc biệt là xác định ảnh hưởng của động đất tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bignami, C., Antonioli, A., Atzori, S., Kiratzi, A., Polcari, M. (2020). *Mapping InSAR deformation of low and moderate earthquakes*. Procedia Computer Science, 180, p. 214 - 219.
- [2]. Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., Crippa, B. (2015). *Persistent scatterer interferometry: A review*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, p. 78 - 89.
- [3]. Elske, Z. D., Pedersen, R., Hooper, A., Freysteinn, S. (2012). *Subsidence of Askja caldera 2000 - 2009: Modelling of deformation processes at an extensional plate boundary, constrained by time series InSAR analysis*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 213 - 214, p. 72 - 82.
- [4]. Furuya, M. and Satyabala, S. P. (2008). *Slow earthquake in Afghanistan detected by InSAR*. Geophysical Research Letters, 35, p. 1 - 4.
- [5]. Ghayournajarkar, N. and Fukushima, Y. (2020). *Determination of the dipping direction of a blind reverse fault from InSAR: Case study on the 2017 Sefid Sang earthquake, northeastern Iran*. Earth, Planets and Space, 72:64, p. 1 - 15.
- [6]. Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M. (2012). *Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation*. Tectonophysics, 514 - 517, p. 1 - 13.
- [7]. Li, Y., Jiang, W., Zhang, J., Li, B., Yan, R., Wang, X. (2021a). *Sentinel-1 SAR-based coseismic deformation monitoring service for rapid geodetic imaging of global earthquakes*. Natural Hazards Research, 1, p. 11 - 19.
- [8]. Li, Y., Li, Y., Hu, X., Liu, H. (2021b). *Fault geometry and mechanism of the Mw 5.7 Nakchu earthquake in Tibet inferred from*

- InSAR observations and stress measurements.* Remote Sensing, 13, 5142, p. 1 - 15.
- [9]. Liu, J., Hu, J., Li, Z., Ma, Z., Shi, J., Xu, W., Sun, Q. (2022). *Three-dimensional surface displacements of the 8th January 2022 Mw6.7 Menyuan Earthquake, China from Sentinel-1 and ALOS-2 SAR observations.* Remote Sensing, 14, 1404, p. 1 - 14.
- [10]. Moro, M., Saroli, M., Stramondo, S., Bignami, C., Albano, M., Falcucci, E., Gori, S., Doglioni, C., Polcari, M., Tallini, M., Macerola, L., Novali, F., Costantini, M., Malvarosa, F., Wegmüller, U. (2017). *New insights into earthquake precursors from InSAR.* Scientific reports, 7, 12035, p. 1 - 11.
- [11]. Pepe, A. and Calo, F. (2017). *A review of Interferometric Synthetic Aperture RADAR (InSAR) Multi-Track Approaches for the Retrieval of Earth's Surface Displacements.* Applied Sciences, 7, 1264, p. 1 - 39.
- [12]. Bùi Công Quế, Nguyễn Hồng Phuong, Trần Thị Mỹ Thành, Trần Tuấn Dũng (2014). *Nghiên cứu cấu trúc sâu, địa động lực và đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên vùng biển Việt Nam và kè cạn.* Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, tập 14, số 2, tr. 97 - 109.
- [13]. Zhao, L., Liang, R., Shi, X., Dai, K., Cheng, J., Cao, J. (2021). *Detecting and analyzing the displacement of a small-magnitude earthquake cluster in Rong County, China by the GACOS Based InSAR Technology.* Remote Sensing, 13, 4137, p. 1 - 10.

BBT nhận bài: 18/7/2023; Phản biện xong:
24/7/2023; Chấp nhận đăng: 26/9/2023