

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT INSAR TRONG XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘ CAO SỐ (DEM)

Hồ Tổng Minh Định, Lê Văn Trung
Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự nghiên cứu phát triển và phổ biến các ứng dụng của Viễn thám cũng như Hệ thống thông tin địa lý (GIS - Geographical Information Systems), việc cung cấp và cập nhật dữ liệu cho các ứng dụng GIS là một nhu cầu khá cấp thiết hiện nay. Mô hình độ cao số DEM (Digital Elevation Model) thường được quản lý trong GIS dưới dạng cấu trúc dữ liệu raster, cho phép thể hiện đơn giản, phân tích hiệu quả và tương thích với dữ liệu viễn thám. Trong hình thức này, DEM được thể hiện như một mảng các giá trị cung cấp độ cao của bề mặt địa hình, độ chính xác của các giá trị thể hiện phụ thuộc vào nguồn dữ liệu được sử dụng và phương pháp để tạo DEM.

Theo các phương pháp truyền thống, DEM được xây dựng chủ yếu dựa trên đường đồng mức của các bản đồ đã được số hóa hoặc các kỹ thuật quan sát lập thể của ảnh hàng không hay từ dữ liệu khảo sát địa hình thu được trực tiếp từ việc khảo sát thực địa của khu vực tương đối nhỏ. Trong những năm gần đây, radar khẩu độ tổng hợp SAR (Synthetic Aperture Radar) đã được phát triển khá mạnh với ưu thế cho phép thu ảnh có độ phân giải cao và từ hai ảnh thu được bởi kỹ thuật SAR, có thể xây dựng được DEM dựa trên việc sử dụng thông tin pha của tín hiệu radar.

Nếu chúng ta có hai ảnh SAR được thu nhận từ 2 vị trí khác nhau của vệ tinh nhưng cùng phủ một vùng diện tích trên mặt đất, giá trị pha của tín hiệu rada cho bởi ảnh thứ nhất có thể đem đi trừ đi giá trị pha cho bởi ảnh thứ hai để có được độ lệch pha của 2 ảnh SAR. Ảnh mới tạo ra chứa độ lệch pha được gọi là ảnh giao thoa. Giá trị còn lại (độ lệch pha) cho bởi ảnh mới có thể kết hợp với thông tin về quỹ đạo để xác định độ cao của mỗi pixel trên ảnh. Kỹ thuật dựa trên độ lệch pha của tín hiệu radar để tính toán và xử lý ảnh được gọi là kỹ thuật InSAR (giao thoa SAR - SAR interferometry).

Ứng dụng kỹ thuật InSAR trong xây dựng DEM đã được đưa ra lần đầu tiên bởi Graham năm 1974 và kỹ thuật này được Zebker và Goldstein ứng dụng đầu tiên cho dữ liệu thu được từ bộ cảm SAR đặt trên máy bay vào năm 1986. Sau đó, kỹ thuật được tiếp tục phát triển bởi Li và Goldstein (1990), Rodriguez và Martin (1992), Zebker (1994)... Các ảnh hiện nay nhận được từ các vệ tinh ERS-1 và ERS-2, RADARSAT, JERS-1, ENVISAT... đều cho phép sử dụng kỹ thuật InSAR để xây dựng DEM.

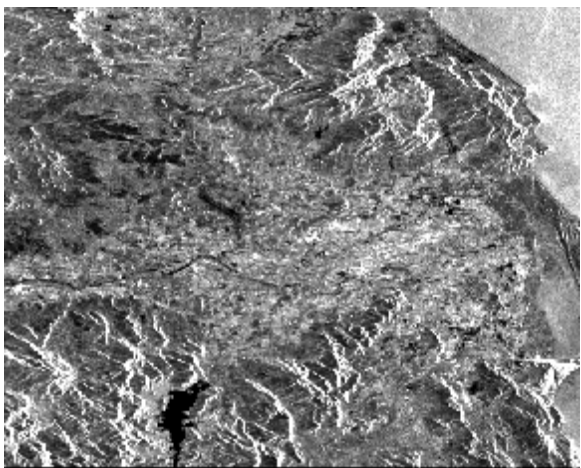
Trong bài báo này, chúng tôi muốn đề cập đến nội dung kỹ thuật InSAR và ứng dụng thực nghiệm tại một khu vực đặc trưng thuộc tỉnh Bình Định.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

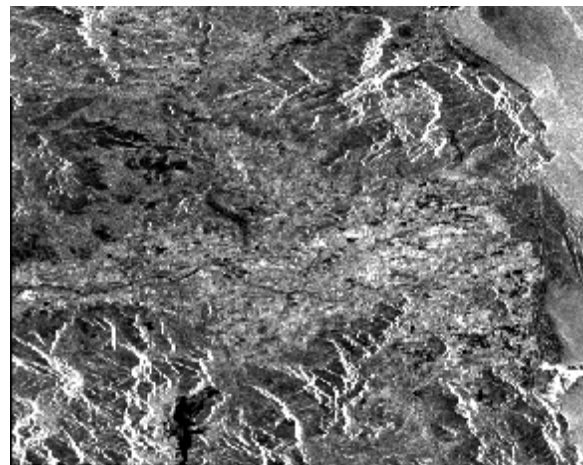
Lưu vực sông Côn - Hà Thanh thuộc tỉnh Bình Định, là tỉnh duyên hải Nam Trung Bộ Việt Nam, cách TP.HCM 644km và 1060km từ Hà Nội. Đây là khu vực thường xuyên bị ảnh hưởng trực tiếp của lũ lụt, do đó có nhiều mô hình lũ đã được nghiên cứu nhằm giám sát, giảm thiểu các thiên tai. Dữ liệu DEM là một trong những dữ liệu quan trọng cung cấp dữ liệu cần thiết cho các mô hình này.



Dữ liệu sử dụng là ảnh của ERS-1 (Earth Resources Satellite-1) và ERS-2 được cung cấp bởi Cơ quan không gian Châu Âu (ESA), hai vệ tinh này được phóng vào quỹ đạo tháng 07/1991 và 04/1995. Mỗi scene ảnh bao phủ một khu vực có bề rộng 100 km² với độ phân giải 30m. Hai vệ tinh này hỗ trợ cho nhau trong việc thu ảnh tại cùng một khu vực chỉ cách nhau 1 ngày. Đây là một ưu điểm nổi bật so với ảnh nhận từ các hệ thống vệ tinh khác do sự tương quan giữa hai ảnh thu được tại một khu vực rất lớn, tạo điều kiện tốt cho các ứng dụng trong giao thoa SAR. Hình 2 thể hiện hai ảnh ERS SAR SLC (Single Look Complex) của khu vực nghiên cứu.



a. SAR SLC (ERS-1: 12 – 04 -1996)



b. SAR SLC (ERS-2: 13 -04 -1996)

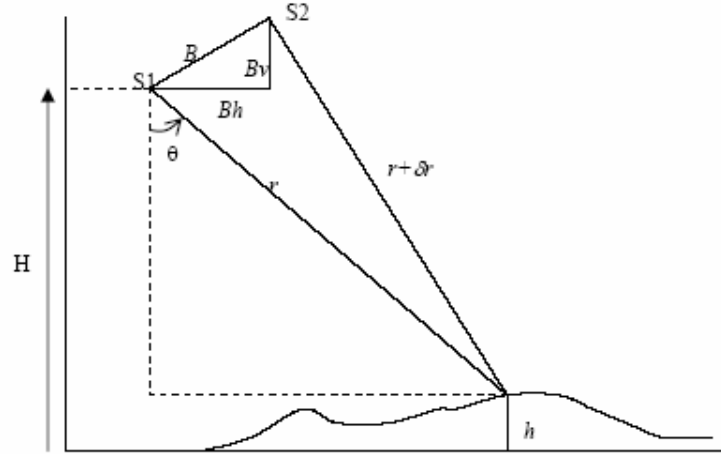
Hình 2. Hai ảnh ERS SAR SLC (B = 117m)

Để so sánh độ chính xác của DEM nhận được từ kỹ thuật INSAR, một bộ dữ liệu DEM được xây dựng từ bản đồ địa hình được sử dụng để so sánh. Đồng thời đánh giá độ chính xác của dữ liệu DEM của ảnh ASTER so với DEM tạo từ kỹ thuật InSAR.

3. KỸ THUẬT INSAR

Để bắt đầu xử lý theo kỹ thuật InSAR, chúng ta cần chọn hai ảnh SAR thích hợp. Cơ sở để lựa chọn các ảnh chủ yếu dựa trên chiều dài đường đáy – khoảng cách giữa hai anten khi thu ảnh và khoảng thời gian thu nhận giữa hai ảnh. Chiều dài đường đáy được chọn phụ thuộc vào từng ứng dụng và độ phân giải của dữ liệu. Ví dụ, với ảnh ERS-1 & 2, đường đáy 150m – 300m được dùng cho các ứng dụng địa hình, 30m - 50m cho các ứng dụng phát hiện biến đổi bề mặt, và khoảng 5m cho các nghiên cứu chuyển động bề mặt như biến dạng lớp vỏ trái đất, chuyển động địa chất, chuyển động băng trôi,... Mặt khác, khoảng thời gian thu nhận giữa hai ảnh phải không quá lớn nhằm tránh sự bất tương quan về mặt thời gian.

Sau khi chọn xong ảnh, chúng ta chồng hai ảnh lên nhau và tính độ lệch pha.



Hình 3. Cấu hình hình học InSAR

Độ lệch pha f giữa hai ảnh cùng bao phủ một yếu tố bề mặt được Li và Goldstein [1990] tính như sau:

$$f = \frac{4p(dr)}{l} = \frac{4p(B_h \sin q - B_v \cos q)}{l} \quad (1)$$

Trong đó: λ là bước sóng của bộ cảm SAR, δr là độ lệch khoảng cách

B_h, B_v là hai thành phần theo phương đứng và phương ngang của đường đáy

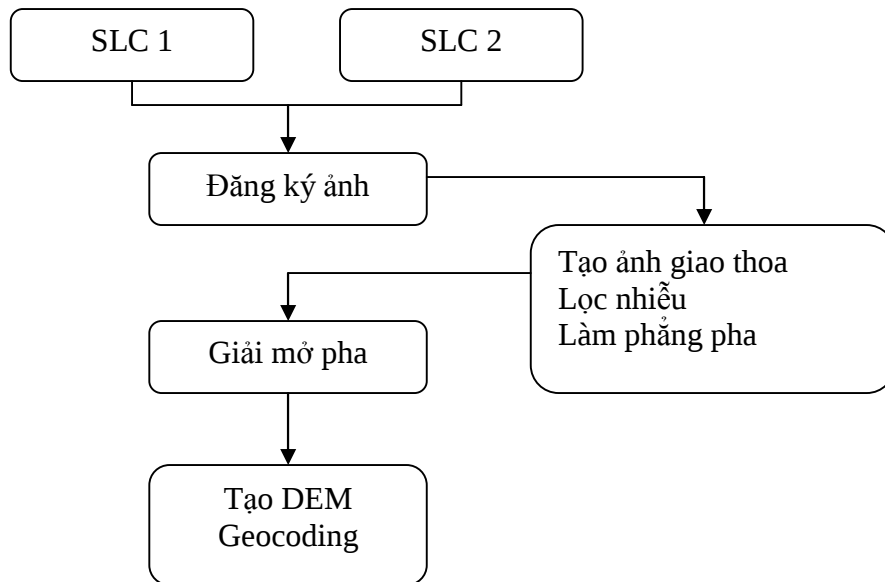
θ là góc nhìn

Dựa trên δr độ lệch khoảng cách; θ góc nhìn thay đổi dọc theo ảnh và độ lệch pha giữa hai vị trí bộ cảm khi thu, cao độ của một điểm (pixel) tính theo phương trình sau:

$$\Delta h = \frac{l r \sin q}{4p B} \Delta f \quad (2)$$

Trong đó: r là khoảng cách từ anten S_1 đến điểm tính, B là đường đáy

Dựa vào phương trình quan hệ này, cao độ được tính cho mọi pixel của ảnh để tạo DEM.



Hình 4. Quy trình xử lý kỹ thuật InSAR

Trình tự kỹ thuật InSAR gồm các bước cơ bản sau đây:

Bước 1: Đăng ký ảnh

Thực hiện chồng lên nhau vùng phủ chung của hai ảnh thu nhận từ hai anten của bộ cảm SAR. Dữ liệu ảnh cần cho bước xử lý này là ảnh SAR SLC, SLC là dữ liệu ảnh phức bao gồm hai band: band chứa thông tin biên độ và band chứa thông tin pha.

Đăng ký ảnh được thực hiện theo hai bước: đăng ký sơ bộ với độ chính xác 1 pixel và đăng ký chính xác với độ chính xác khoảng 1/8 pixel.

Bước 2: Tạo ảnh giao thoa

Hai ảnh SAR kết hợp tạo ảnh SAR giao thoa để cung cấp thông tin về chiều thứ ba (độ cao) của vật thể và đo sự dịch chuyển của vật thể giữa hai ảnh thu nhận.

Sau khi đăng ký, ảnh giao thoa phức được tạo bằng phép nhân liên hợp mỗi pixel phức của ảnh thứ nhất với cùng pixel phức tương ứng của ảnh thứ hai. Cường độ của ảnh giao thoa đo lường mức độ tương quan chéo của các ảnh.

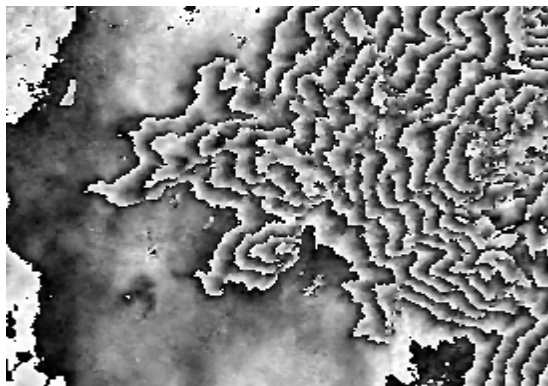
Thực hiện lọc nhiễu và làm phẳng pha cho ảnh giao thoa nhằm giúp cho việc giải bài toán mở pha dễ dàng hơn. Thực hiện giảm nhiễu bằng cách dùng một phép lọc cho toàn ảnh, phép lọc này tương tự như phép lọc trung bình, ngoại trừ chúng được dùng cho hàm phức thay vì chỉ là trên biên độ.

Ở các vùng có độ cao thay đổi đột ngột (khu vực núi) tần số bị đóng pha càng cao. Thông thường, tần số đóng càng cao thì càng khó thực hiện mở pha. Do đó cần phải có một bước thực hiện làm giảm tần số đóng này – làm phẳng pha (phase flattening). Làm phẳng pha loại trừ tần số pha bị đóng gây ra do bản chất thu nhận ảnh của SAR.

Bước 3: Giải mở pha

Ưu điểm của giao thoa SAR trong các nghiên cứu ứng dụng là kết quả chính xác của các phương pháp giải bài toán mở pha. Khi giao thoa làm mất đi một số nguyên lần chu kỳ trong giá trị pha đo được, nên việc khôi phục chính xác số chu kỳ bị mất là then chốt cho các nghiên cứu về biến dạng, thành lập mô hình độ cao số, thành lập bản đồ địa hình,...

Nhiều thuật toán đã được đưa ra để giải quyết vấn đề khôi phục lại giá trị pha, phương pháp phổ biến để giải bài toán mở pha bao gồm: cực tiểu nhỏ nhất, theo bài toán mạng, theo đường đi (Path-following) và năm 1998 Costantini đã biến đổi bài toán mở pha thành bài toán mạng cực tiểu hóa toàn cục. Trong mô hình mạng của Costantini, mỗi vòng xoay theo kim đồng hồ tính tổng giá trị pha gradien của 2x2 pixel xung quanh được mô tả là một node. Node tương ứng với phần dư dương hoặc âm thì được đánh dấu tương ứng + hoặc -. Hai node kề nối nhau tạo thành một arc. Bài toán tối ưu hóa bằng cách dùng phương pháp cực tiểu chi phí dòng mạng (MCF – Minimum Cost Flow) để xác định các ràng buộc cho phép đạt lời giải pha chính xác (phần mềm InSAR ToolKit sử dụng duy nhất một thuật toán này).



a. Ảnh giao thoa với pha bị đóng $(-p, p]$



b. Ảnh sau khi giải mở pha

Hình 5. Lời giải bài toán mở pha

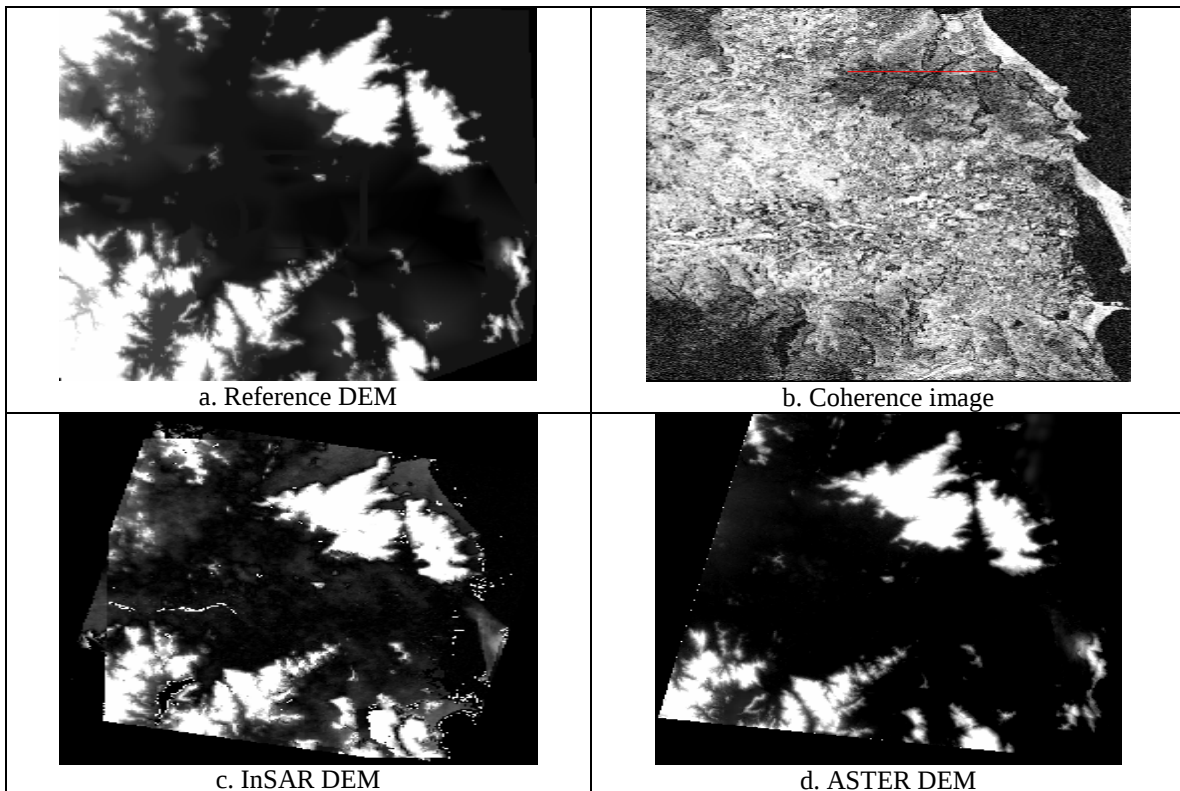
Việc chọn ra thuật toán thích hợp cho khu vực nghiên cứu đã được thực hiện [1], thuật toán theo đường đi là thuật toán tối ưu. Một chương trình được thiết kế và hiện thực thuật toán này phục vụ cho nghiên cứu.

Bước 4: Tạo DEM và Geocoding

Sau khi giải mở pha, chúng ta chuyển đổi giá trị pha thành giá trị độ cao để thành lập DEM. Cuối cùng, DEM tạo ra được chuyển từ hệ tọa độ của SAR thành hệ tọa độ WGS84, múi chiều 49 để so sánh với dữ liệu DEM của ảnh ASTER.

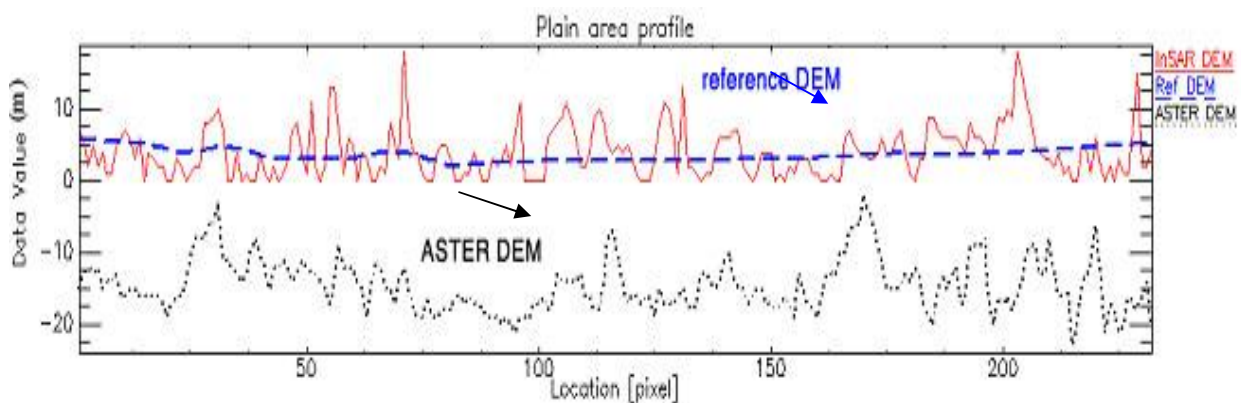
4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Hai ảnh ERS-1&2 được cung cấp có định dạng ceos cấp độ 0, sử dụng bộ xử lý PulSAR để tạo hai ảnh SLC. Theo qui trình của kỹ thuật InSAR và phần mềm InSAR ToolKit để tạo ảnh DEM. Sử dụng chương trình PUT của [1] để giải bài toán mở pha. Hình 6.a thể hiện DEM xây dựng từ bản đồ địa hình, hình 6.c thể hiện kết quả DEM đạt được bằng kỹ thuật InSAR, DEM của ảnh ASTER thể hiện bởi hình 6.d.



Hình 6. Kết quả DEM

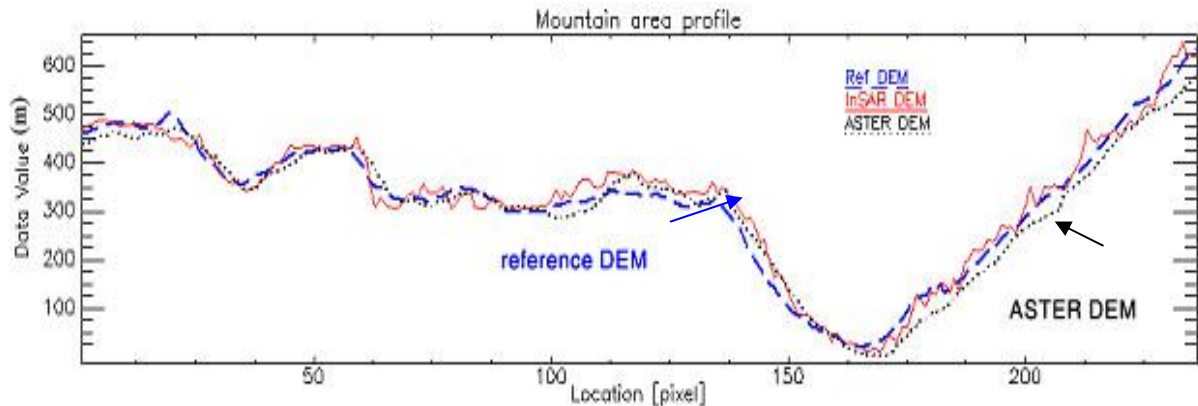
Để đánh giá độ chính xác đạt được, một số vị trí cao độ tại khu vực đồng bằng và đồi núi đã được kiểm tra bằng cách so sánh với DEM của bản đồ địa hình.



Hình 7a. So sánh cao độ DEM ASTER, DEM INSAR

Hình 7.a cho thấy tại khu vực đồng bằng cao độ thay đổi thấp, dữ liệu DEM từ ảnh ASTER lệch trung bình so với DEM bản đồ là 16.1m, nhưng với DEM từ kỹ thuật

InSAR chỉ 2.8m. Mối tương quan giữa InSAR DEM và DEM bản đồ rất lớn. Giữa DEM bản đồ và DEM ASTER có một khoảng lệch khá lớn, làm chất lượng của DEM ASTER kém rất nhiều so với DEM InSAR. Sai số trung phương RMS (Root Mean Square Error) của DEM InSAR tại mặt cắt này là 5.6m. Tiến hành so sánh tại một số vị trí mặt cắt khác, sai số trung phương RMS của DEM InSAR đạt 1.9m – 6.5m.



Hình 7b. So sánh cao độ giữa DEM ASTER, DEM INSAR

Tại khu vực đồi núi trên hình 7.b, cao độ thay đổi lớn, cao độ cao nhất khoảng 650m. Trên dữ liệu DEM InSAR tạo được, độ lệch trung bình so với DEM bản đồ khoảng 16.6m (RMS = 12.1m). Trên dữ liệu DEM ASTER, độ lệch trung bình so với DEM bản đồ khoảng 18.1m. Hai kết quả tương đối như nhau, nhưng giá trị cao độ của InSAR DEM luôn cao hơn so với DEM ASTER. Tại một số vị trí mặt cắt khác, sai số trung phương RMS của DEM InSAR đạt 10.1m – 19.4m.

5. KẾT LUẬN

Kỹ thuật INSAR đã mở ra khả năng quan trọng cho việc xây dựng DEM. Kết quả ban đầu đạt được cho thấy độ chính xác của DEM tạo từ ảnh SAR có thể đạt từ 2m-7m ở khu vực đồng bằng và 10m-20m ở khu vực đồi núi. Tuy nhiên, sự thành công của kỹ thuật phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như bộ cảm SAR thu nhận, đường đáy, sự tương quan, lời giải bài toán mở pha... Đặc biệt, bài toán mở pha cần được giải một cách chính xác và yêu cầu đặt ra đòi hỏi phần mềm xử lý cần có nhiều giải pháp lựa chọn cho bài toán này. Bài báo đã chỉ ra kết quả thực nghiệm tại khu vực sông Kôn-Hà Thanh, tỉnh Bình Định, những kết quả đạt được hy vọng góp phần đáng kể trong bước đầu ứng dụng kỹ thuật mới và những vấn đề cần lưu ý khi sử dụng phần mềm xử lý cho việc giải bài toán mở pha sẽ tiếp tục được giải quyết để nâng cao độ chính xác thành lập DEM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Hồ Tổng Minh Định, *Ứng dụng kỹ thuật InSAR trong xây dựng mô hình độ cao số (DEM)*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại Học Bách Khoa Tp. HCM, (2005).
- [2].Buckley, S., and Paul Rossen and Patricia Persaud, *ROI_PAC Documentation – Repeat Orbit Interferometry Package*, Caltech Jet Propulsion Laboratory, (2000).
- [3].Carande, R. E., *Overview and Future of Synthetic Aperture Radar Technology*, Vexcel Corporation, (2000).

- [4].Costantini, M., *A Novel PhaseUnwrapping Method Based on Network Programming*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (1998).
- [5].Curlander, J. C., and R. N. McDonough, *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*, Wiley, New York, (1991).
- [6].Kampes, B., *DORIS User's manual & Technical documentation*, Delft University of Technology, (1999).
- [7].Masumoto, S., and T. V. Anh and V. Raghavan, *DEM generation form SAR Image-An Experiment in Kagoshima Region, South Japan*, Department of Geosciences, Osaka City University, (2004).
- [8].Smith, A., *Pulsar/InSAR ToolKit User's Guide*, Phoenix Systems, UK, (1999).
- [9].Zebker, H. A., and Y. Lu, *Phase Unwrapping Algorithms for Radar Interferometry: Residue-Cut, Least-Squares, and Synthesis Algorithms*, Journal of the Optical Society of America A, (1998).