ISSN: 2615-9481

HỘI TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ - VIỄN THÁM VIỆT NAM
www.geocartagis.org, geocartagis@gmail.com

Tạp chí

TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ

Magazine

GEODESY – CARTOGRAPHY

Tập 11, số 05, năm 2025
Volume 11, Issue 05, 2025
Xuất bản hai tháng một kỳ - Published every two months

❖ **TỔNG BIÊN TẬP**
GS. TSKH. ĐẶNG HÙNG VÕ
❖ **PHÓ TỔNG BIÊN TẬP**
TS. VŨ VĂN CHẤT
❖ **TRƯỞNG BAN BIÊN TẬP**
TS. ĐẶNG THANH TÙNG
❖ **ỦY VIÊN BAN BIÊN TẬP**:
GS. TSKH. HOÀNG NGỌC HÀ
PGS. TS. NGUYỄN CHU HỒI
PGS. TS. TRẦN ĐÌNH KIÊN
PGS. TS. NGUYỄN TRƯỜNG XUÂN
GS. TS. VÕ CHÍ MỸ
PGS. TS. PHẠM VĂN CỰ
TS. LÊ MINH
TS. NGUYỄN ĐÌNH THÀNH
TS. TRẦN MAI HIẾN
PGS. TS. TRẦN XUÂN TRƯỜNG
TS. TRẦN TUẤN NGỌC
TS. VŨ XUÂN CƯỜNG
PGS. TS. NGUYỄN HIẾU TRUNG
PGS. TS. LÊ TRUNG CHƠN
PGS. TS. ĐÀO ĐÌNH CHÂM
PGS. TS.TRỊNH LÊ HÙNG
PGS. TS. NGUYỄN THANH CHƯƠNG
PGS. TS. TRẦN QUỐC VINH
PGS. TS. PHÍ TRƯỜNG THÀNH
PGS. TS. NGUYỄN VĂN SÁNG
PGS. TS. BÙI THỊ KIÊN TRINH
PGS. TS. NGUYỄN HÀ NAM
PGS. TS. NGUYỄN QUANG TUẤN
TS. KHƯƠNG VĂN LONG
TS. TRẦN HOÀNG VŨ
TS. PHẠM XUÂN HOÀN
TS. BÙI QUANG HƯNG
TS. ĐÀO HOÀNG TÙNG
TS. TRƯƠNG QUANG HIỂN
❖ **BAN THƯ KÝ**
TS. HOÀNG ANH THẾ
Ths. NGUYỄN VIẾT THUẬN
❖ **BAN TRỊ SỰ**
Ths. NGUYỄN THỊ BÍCH NGỌC
Ths. TRỊNH ANH CƠ
❖ TÒA SOẠN: **Số 2, Đặng Thùy Trâm, phường Nghĩa Đô, TP. Hà Nội**
❖ VĂN PHÒNG: **Số 45, Nguyễn Trãi, phường Khương Đình, TP. Hà Nội**
❖ GIẤY PHÉP XUẤT BẢN: **437/GP-BTTTT ngày 12/9/2017**
❖ MÃ SỐ ISSN: **2615-9481**
❖ Website: www.geocartagis.org
❖ Email: geocartagis@gmail.com
❖ Điện thoại: 0913345919
❖ CHẾ BẢN VÀ IN TẠI: **CÔNG TY TNHH THƯƠNG MẠI VÀ DỊCH VỤ IN PHƯƠNG NAM**

TẠP CHÍ TRẮC ĐỊA – BẢN ĐỒ

Tập 11, Số 05, Năm 2025

MỤC LỤC

PHẦN THỨ NHẤT: TRAO ĐỔI, THẢO LUẬN

1. Bản đồ thuế quan và vai trò của cơ sở dữ liệu không gian trong phát triển kinh tế nhanh và bền vững 03
Vũ Văn Chất, Mai Văn Sỹ

2. Bản đồ chiến sự Nga – Ucraina - kỳ 5, Cuộc chiến USV/UUV trên biển 12
Vũ Minh Châu

3. Vai trò trí tuệ Địa không gian trong chuyển đổi số quốc gia 15
Lê Trung Chơn

PHẦN THỨ HAI: NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG

4. Xây dựng bản đồ nguy cơ trượt lở đất tỉnh Quảng Bình bằng phương pháp phân tích đa tiêu chí (AHP) tích hợp GIS và ảnh viễn thám 22
Nguyễn Hồng Phúc, Tống Thị Hạnh, Nguyễn Thị Thu Nga

5. Ứng dụng WebGIS thành lập hệ thống thông tin hỗ trợ các công tác ngoại nghiệp trong lĩnh vực trắc địa 35
Đỗ Minh Quân, Nguyễn Kim Hoa, Trần Thống Nhất

6. Ứng dụng GIS trong công tác bồi thường giải phóng mặt bằng dự án sửa chữa, nâng cấp đường tỉnh lộ 7, đoạn qua xã An Nhơn Tây, Thành phố Hồ Chí Minh 43
Nguyễn Thị Thuận, Nguyễn Hoài Phong, Nguyễn Văn Tuấn

7. Nghiên cứu xây dựng giải pháp lọc các độ cao sóng không đạt yêu cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông 52
Nguyễn Văn Sáng

8. Nghiên cứu, xây dựng mô hình lan truyền dầu phục vụ đánh giá tai biến và rủi ro tràn dầu khu vực ven biển Khánh Hoà – Nha Trang 61
Nguyễn Xuân Tùng, Bùi Thị Bảo Anh, Phạm Thị Thu Hằng, Nguyễn Thị Nhân, Phạm Đức Hùng, Phan Kiều Ngân

9. Phát triển lý thuyết bình sai truy hồi trong phân tích chuyển dịch biến dạng mô hình động 74
Hoàng Ngọc Hà

10. Tích hợp dữ liệu Landsat và Sentinel để đánh giá rừng ngập mặn và trữ lượng khí sinh thái tại Cà Mau 80
Trần Thị Thúy, Vũ Văn Chất, Huỳnh Xuân Hiệp

THỂ LỆ VIẾT BÀI VÀ QUY ĐỊNH NỘP BÀI 93

Magazine of Geodesy – Cartography
Vol 11, Nº 05 (10/2025), ISSN: 2615-9481

Tạp chí Trắc địa - Bản đồ
Tập 11, Số 05 (10/2025), ISSN: 2615-9481

Nghiên cứu xây dựng giải pháp lọc các độ cao sóng không đạt yêu cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông

Nguyễn Văn Sáng

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam
Email tác giả liên hệ: nguyenvansang@humg.edu.vn

https://doi.org/10.5281/zenodo.17224127

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là xây dựng được giải pháp lọc các độ cao sóng không đạt yêu cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông. Các vệ tinh đo cao thường dùng 2 băng tần (ví dụ như Ku và C) trong thiết bị đo cao. Hai băng tần này đều có thể tính được độ cao sóng. So sánh 2 giá trị độ cao sóng này sẽ phát hiện được những giá trị bất thường, không tuân theo quy luật xác suất thống kê. Tại những điểm bất thường, độ cao sóng xác định từ băng tần Ku lại được so sánh với các điểm lân cận để quyết định việc loại bỏ hay sử dụng. Để tự động hóa việc lọc số liệu, chương trình máy tính đã được xây dựng. Thực nghiệm được thực hiện trên Biển Đông với 464.324 điểm đo ở 226 chu kỳ số liệu vệ tinh Jason-3, được đo từ ngày 12/02/2016 đến ngày 28/03/2022. Phân tích chi tiết với số liệu chu kỳ thứ 225 cho thấy: có 28 điểm có giá trị bất thường, trong đó, có 6 điểm phải loại bỏ. Với toàn bộ số liệu vệ tinh Jason-3, số điểm bị loại bỏ là 460 điểm, chỉ chiếm khoảng 0,1%. Tuy số điểm bị loại bỏ là ít nhưng việc loại bỏ các điểm này là cần thiết. Độ chính xác của độ cao sóng đánh giá bằng cách so sánh kết quả tính bằng băng tần Ku và C đối với vệ tinh Jason-3 đạt là ±0,254 m.

Từ khóa: *Độ cao sóng có nghĩa, Biển Đông, Đo cao vệ tinh, Giá trị bất thường.*

Ngày nhận bài: 14/09/2025 Ngày sửa lại: 21/9/2025 Ngày chấp nhận đăng: 22/9/2025 Ngày xuất bản: 04/10/2025

Development of a filtering solution for outliers in satellite altimetry-derived significant wave heights in the East Sea

Nguyen Van Sang

[1]*Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Viet Nam*
Corresponding Author Email: nguyenvansang@humg.edu.vn

Abstract:

The objective of this study is to develop a solution for filtering out significant wave height values that do not meet accuracy requirements from satellite altimetry data in the East Sea. Satellite altimeters typically operate with two frequency bands (e.g., Ku and C), both of which can be used to derive significant significant wave heights. By comparing significant wave heights obtained from these two bands, anomalous values that deviate from statistical probability distributions can be identified. At these anomalous points, the Ku-band–derived significant wave heights are further compared with neighboring values to determine whether they should be discarded or retained. To automate the filtering process, a computer program was developed. The experiment was conducted over the East Sea using 464,324 measurements from 226 cycles of Jason-3 satellite data collected between February 12, 2016, and March 28, 2022. A detailed analysis of cycle 225 revealed 28 anomalous points, of which 6 were removed. For the entire Jason-3 dataset, 460 measurements (approximately 0.1%) were discarded. Although the number of rejected points is small, their removal is necessary. The accuracy of the significant wave heights, evaluated by comparing Ku- and C-band results from Jason-3, was found to be ±0.254 m.

Keywords: *Significant wave height, East Sea, Satellite altimeter, Outlier value.*

Submission received: 14/09/2025 Revised: 21/9/2025 Accepted: 22/9/2025 Published: 04/10/2025

1. Giới thiệu

Độ cao sóng có nghĩa (Significant Wave Height – SWH) là một chỉ tiêu quan trọng trong hải dương học và khí tượng biển, có vai trò thiết yếu trong dự báo sóng, thiết kế công trình biển, đảm bảo an toàn hàng hải cũng như khai thác năng lượng tái tạo từ sóng. Trong những thập niên gần đây, dữ liệu đo cao vệ tinh (satellite altimetry) đã trở thành nguồn thông tin quan trọng để nghiên cứu đặc trưng sóng trên phạm vi toàn cầu,

nhờ khả năng quan trắc trên diện rộng và cung cấp chuỗi số liệu liên tục lâu dài, đặc biệt ở những vùng biển xa bờ nơi hệ thống quan trắc truyền thống còn hạn chế [1].

Tuy nhiên, số liệu đo cao vệ tinh thường chứa các giá trị bất thường do ảnh hưởng của điều kiện ven bờ, nhiễu khí quyển, địa hình phức tạp hoặc lỗi kỹ thuật trong xử lý. Những dữ liệu không đạt yêu cầu này nếu không được loại bỏ sẽ làm giảm độ tin cậy của bộ dữ liệu độ cao sóng, gây ra sai số trong phân tích, mô phỏng và đánh giá tiềm năng sóng biển [2]. Do đó, việc xây dựng giải pháp lọc dữ liệu SWH bất thường xác định từ số liệu đo cao vệ tinh có ý nghĩa rất quan trọng đối với việc nâng cao chất lượng cơ sở dữ liệu sóng, đặc biệt cho các nghiên cứu và ứng dụng tại Biển Đông – khu vực có điều kiện hải dương học và khí tượng phức tạp, thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão và gió mùa.

Nhiều nghiên cứu quốc tế đã tập trung vào việc kiểm định và lọc dữ liệu SWH từ vệ tinh: Campos (2023) cho thấy khi sử dụng tiêu chí ghép dữ liệu đo cao vệ tinh với trạm phao trong khoảng 25–50 km và 30 phút thì độ chính xác của SWH đạt hệ số tương quan gần bằng 0,98, sai số RMSD chỉ khoảng ±0,21 m [3]. Mitsopoulos & Peña (2023) đề xuất phương pháp "hợp nhất không đồng bộ" (asynchronous compositing) nhằm tổng hợp dữ liệu đa vệ tinh với cửa sổ không gian 10 km và thời gian 30 phút, từ đó, tạo ra bản đồ SWH và gió ven bờ có độ tin cậy cao, đồng thời chỉ ra rằng sai số tăng dần khi càng gần bờ [4]. Ngoài ra, các sản phẩm SWH cấp độ 4 từ Copernicus Marine Service được xây dựng dựa trên dữ liệu đã được hiệu chỉnh và lọc trước khi đưa vào xây dựng lưới theo không gian – thời gian, góp phần loại bỏ các giá trị bất thường [5]. Đặc biệt, nghiên cứu gần đây của Yang et al. (2024) đã chứng minh hiệu quả của việc kết hợp dữ liệu từ nhiều vệ tinh đo cao để xây dựng bản đồ SWH có độ phân giải cao, đồng thời áp dụng thuật toán loại bỏ dữ liệu không đạt yêu cầu nhằm nâng cao chất lượng bộ dữ liệu SWH [6]. Bên cạnh đó, các vệ tinh như CFOSAT cũng được tiến hành hiệu chỉnh chéo (cross-calibration) với Jason-3 để giảm thiểu sai lệch trước khi đưa vào sử dụng [7].

Từ những phân tích trên thấy rằng: việc nghiên cứu xây dựng giải pháp lọc dữ liệu độ cao sóng có nghĩa không đạt yêu cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông là cần thiết và sẽ góp phần nâng cao chất lượng cơ sở dữ liệu độ cao sóng trên khu vực trước khi đưa vào sử dụng.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

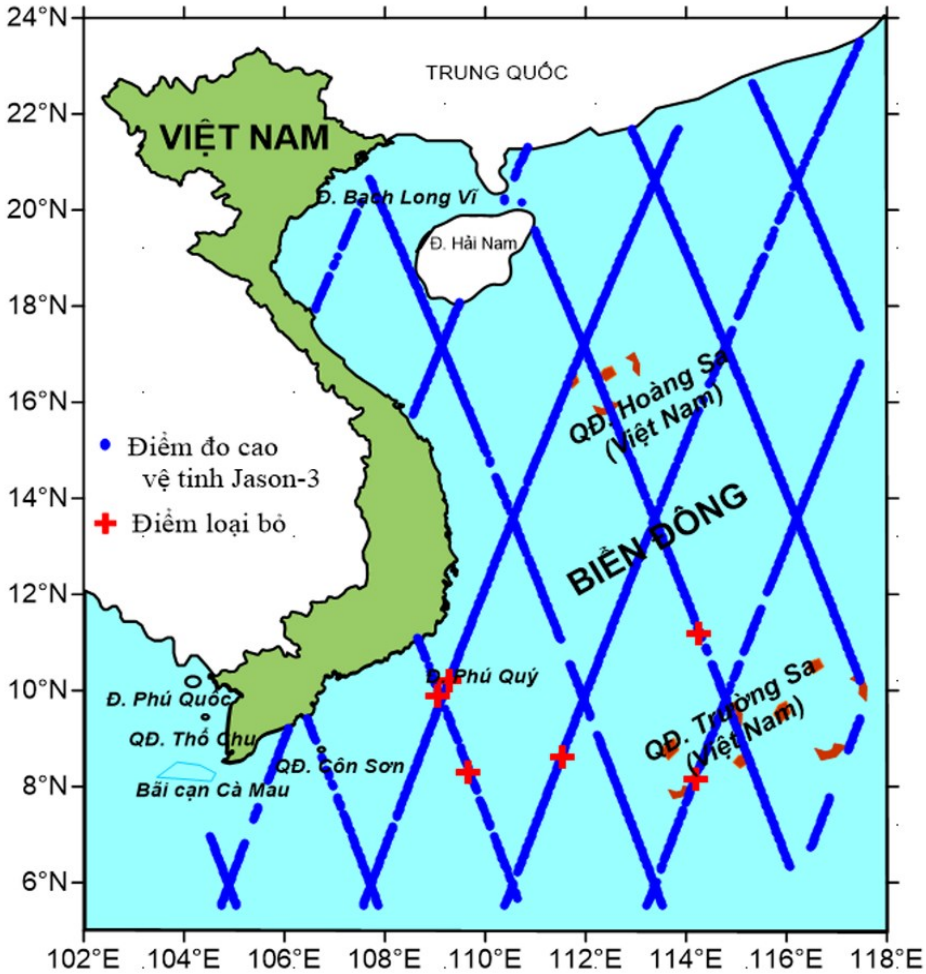
2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là Biển Đông, được giới hạn bởi vĩ độ [5,5ºN, 25ºN] và kinh độ [104,5°E, 117.5ºE] (xem Hình 1). Tại khu vực này, thủy triều, sóng và dòng chảy thay đổi đáng kể, ảnh hưởng đến độ chính xác của các phép hiệu chỉnh trong dữ liệu đo cao vệ tinh. Trên khu vực nghiên cứu có nhiều chế độ thủy triều khác nhau: Ở phía Bắc, chế độ thủy triều là nhật triều đều; Ở khu vực Trung Bộ là nhật triều không đều; Ở phía Nam, chế độ thủy triều khá phức tạp từ bán nhật triều đến nhật triều với biên độ thủy triều lớn [8].

Dòng chảy bề mặt ở khu vực Biển Đông được thể hiện rõ theo mùa và hai xoáy nước quy mô lớn. Hệ thống dòng chảy mùa Đông chịu chi phối bởi trường gió thịnh hành trong khu vực và chịu ảnh hưởng một phần bởi hệ thống dòng chảy địa mạo do trường nhiệt độ và độ mặn của biển gây ra. Ngoài ra, đặc điểm nổi bật nhất của dòng hải lưu bề mặt trong giai đoạn này là sự xuất hiện của xoáy thuận lớn trên toàn bộ biển [9]Error! Reference source not found.. Đối với hệ thống dòng hải lưu bề mặt, được hình thành chủ yếu bởi trường gió Tây Nam, với đặc điểm phân hóa mạnh do tác động của dải hội tụ nhiệt đới có vị trí trung bình trên biển theo hướng từ Tây Bắc xuống Đông Nam. Ngoài

ra, với sự tăng cường của nước ấm theo vùng biển sâu ngoài khơi Đông Nam, các xoáy đối lưu cân bằng với các xoáy mùa Đông đã được hình thành [10].

Tính chất của độ cao sóng của khu vực này cũng cực kỳ đa dạng. Giá trị độ cao sóng ở phía Tây Vịnh Thái Lan thường là nhỏ, lớn nhất là 3 m. Khu vực có độ cao sóng cao nhất trên 12 m có thể được tìm thấy ở khu vực Đông Bắc Biển Đông do thường xuyên có bão và hoạt động gió Đông Bắc mạnh. Khu vực trung tâm Vịnh Bắc Bộ có độ cao sóng cao nhất khoảng 9÷10 m. Khu vực trung tâm Biển Đông có độ cao sóng cao nhất khoảng 11 m [11].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và số liệu nghiên cứu

2.2. Số liệu nghiên cứu

Jason-3 là vệ tinh đo cao thế hệ tiếp nối Jason-2, được phóng ngày 17 tháng 01 năm 2016 từ căn cứ Vandenberg (California, Hoa Kỳ) bởi SpaceX theo hợp tác giữa NASA, NOAA, CNES và EUMETSAT [12]. Vệ tinh hoạt động ở độ cao trung bình khoảng 1.336 km với chu kỳ lặp lại gần 10 ngày (9,9156 ngày), bao phủ gần như toàn bộ bề mặt đại dương [13]Error! Reference source not found.. Jason-3 được trang bị thiết bị đo cao radar Poseidon-3B hoạt động ở dải tần Ku-band (13,575 GHz) và C-band (5,3 GHz), giúp đo chính xác độ cao mặt biển, độ cao sóng có nghĩa và tốc độ gió bề mặt [14]Error! Reference source not found.. Trên Biển Đông, để phục vụ cho nghiên cứu này, chúng tôi thu thập được 464.324 điểm đo ở 226 chu kỳ (từ chu kỳ 000 đến chu kỳ 225) số liệu của vệ tinh Jason-3, được đo từ ngày 12/02/2016 đến ngày 28/03/2022. Số liệu được cung cấp bởi bởi Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA - European Space Agency). Mỗi điểm đo bao

gồm các thông tin như: thời gian đo, vết đo, chu kỳ, tọa độ điểm đo (trong WGS-84), độ cao sóng có nghĩa xác định từ băng tần Ku, và băng tần C. Vị trí của các điểm đo cao vệ tinh của chu kỳ 225 được trình bày trên Hình 1.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Tính hiệu độ cao sóng xác định theo băng tần Ku và C, phát hiện những giá trị bất thường

Trong vệ tinh đo cao (ví dụ: Jason-3), thiết bị đo cao radar hoạt động đồng thời ở hai dải tần: băng C (C-band) và băng Ku (Ku-band). Băng Ku hoạt động ở tần số khoảng 13,575 GHz, đây là băng tần chính được sử dụng để đo độ cao mặt biển, độ cao sóng, và vận tốc dòng chảy đại dương. Băng C hoạt động ở tần số khoảng 5,41 GHz. Dữ liệu từ băng C chủ yếu được sử dụng để hiệu chỉnh sai số do tầng điện ly và đối lưu gây ra trong tín hiệu Ku-band, từ đó cải thiện độ chính xác của phép đo [14].

Số liệu của cả 2 băng tần này đều cho phép xác định SWH. Dựa vào 2 loại độ cao sóng trên cùng 1 điểm đo có thể tính được hiệu độ cao sóng, đánh giá độ chính xác và phát hiện ra các giá trị bất thường của độ cao sóng:

Gọi SWH_i^{Ku} và SWH_i^{C} lần lượt là độ cao sóng xác định từ băng tần Ku và C tại cùng một điểm i. Khi đó, ta có trị đo thứ cấp là hiệu độ cao sóng xác định từ băng tần Ku và C tại điểm i như sau:

$$\Delta SWH_i = SWH_i^{Ku} - SWH_i^{C} \quad (1)$$

Như vậy, trên khu vực nghiên cứu, ta có dãy n trị đo là hiệu độ cao sóng $(\Delta SWH_1, \Delta SWH_2, \dots, \Delta SWH_n)$. Nếu không có sai số thì $SWH_i^{Ku} = SWH_i^{C}$ và $\Delta SWH_i = 0$. Nghĩa là, trị thực của các trị đo này bằng không và sai số thực chính bằng trị đo. Khi đó, sai số trung phương của trị đo được xác định bằng công thức Gauss [15-17]:

$$m_{\Delta SWH} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta SWH.\Delta SWH]}{n}} \quad (2)$$

Theo nguyên tắc đồng ảnh hưởng, từ công thức (1) ta có:

$$m_{\Delta SWH}^2 = m_{Ku}^2 + m_C^2 = 2m_{SWH}^2 \quad (3)$$

Kết hợp với (2) ta có:

$$m_{SWH} = \frac{m_{\Delta SWH}}{\sqrt{2}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta SWH.\Delta SWH]}{2n}} \quad (4)$$

Theo lý thuyết sắc xuất thống kê thì sai số ngẫu nhiên xuất hiện trong khoảng (-σ, +σ) chiếm khoảng 68,3%, trong khoảng (-2σ, +2σ) chiếm khoảng 95,5%, và trong khoảng (-3σ, +3σ) chiếm khoảng 99,7%. Trong đó σ là sai số trung phương [18]. Áp dụng lý thuyết này đối với bộ số liệu hiệu độ cao sóng biển ΔSWH_i chúng ta sẽ có khoảng 99,7% số liệu hiệu độ cao sóng biển có giá trị trong khoảng ($-3*m_{\Delta SWH}$, $+3*m_{\Delta SWH}$). Nghĩa là, những giá trị hiệu độ cao sóng biển nào nằm trong khoảng ($-3*m_{\Delta SWH}$, $+3*m_{\Delta SWH}$) sẽ phù hợp với quy luật của xác suất thống kê, còn những giá trị nào nằm ngoài khoảng ($-3*m_{\Delta SWH}$, $+3*m_{\Delta SWH}$) sẽ không phù hợp, hay nói cách khác là những giá trị có dấu hiệu bất thường.

3.2. So sánh độ cao sóng tại những điểm có giá trị bất thường với các điểm lân cận

Nguyên nhân gây ra những giá trị bất thường của hiệu độ cao sóng biển ΔSWH_i có thể là do độ cao sóng biển xác định bằng băng tần Ku sai, hoặc do băng tần C sai, hoặc do cả hai sai. Vì giá trị đo độ cao sóng biển chính thức lấy theo băng tần Ku. Nên nếu do độ cao sóng biển đo bằng băng tần Ku sai thì giá trị độ cao sóng biển của điểm đó cần

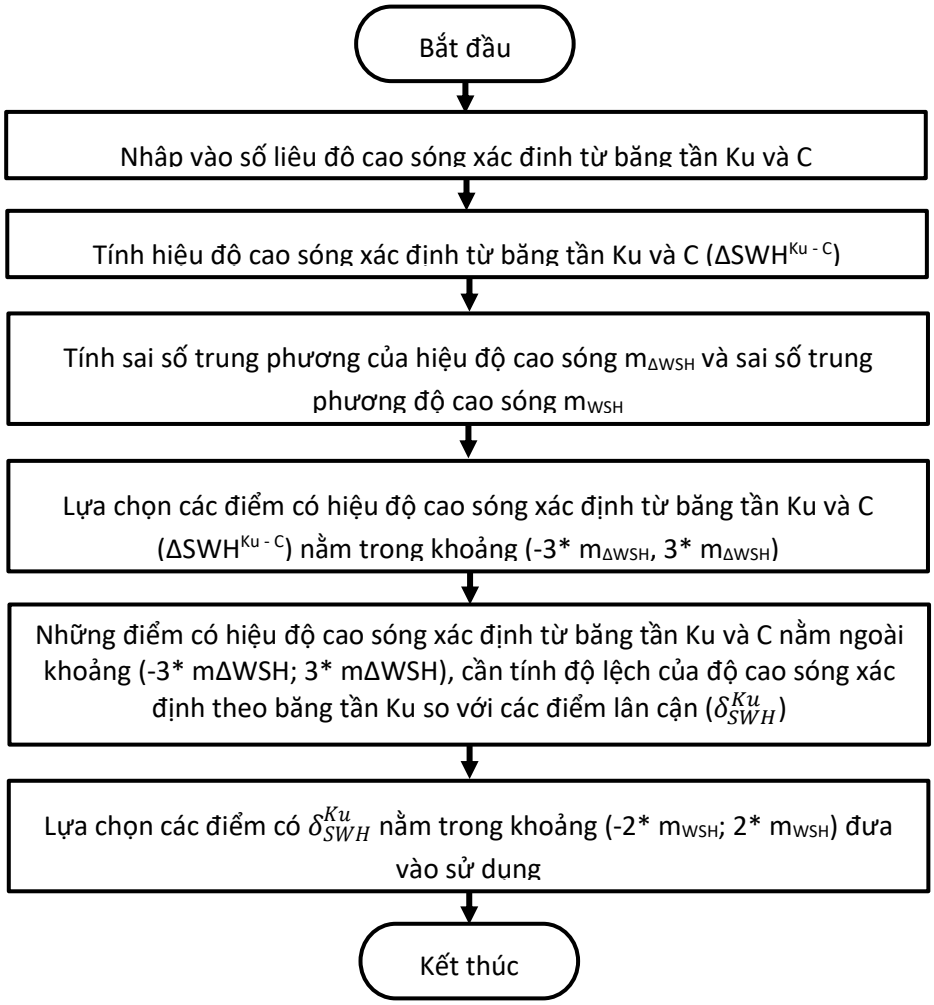
phải loại bỏ khỏi tập số liệu. Còn nếu do độ cao sóng biển đo bằng băng tần C sai mà độ cao sóng biển đo bằng băng tần Ku không sai thì trị đó độ cao sóng đó vẫn được sử dụng. Để kiểm tra, tại các điểm *i* có giá trị hiệu độ cao sóng bất thường, giá trị độ cao sóng xác định theo băng tần Ku được so sánh với các điểm lân cận (*i*-1 và *i*+1) trên vết đo, để tính ra độ lệch theo công thức:

$$\delta_{SWH} = SWH_i - (SWH_{i-1} + SWH_{i+1})/2 \quad (5)$$

Nếu giá trị tuyệt đối của độ lệch $|\delta_{SWH}|$ nhỏ hơn 3 lần sai số trung phương của độ cao sóng (3*m_{SWH}) thì độ cao sóng của điểm đó được giữ lại, ngược lại sẽ bị loại bỏ. Có thể nâng cao độ tin cậy bằng cách chọn sai số giới hạn này bằng 2*m_{SWH}.

3.3. Sơ đồ thuật toán phát hiện và loại bỏ những giá trị bất thường trong tệp số liệu độ cao sóng xác định từ đo cao vệ tinh

Từ những phân tích lý thuyết ở trên, chúng tôi xây dựng sơ đồ thuật toán phát hiện và loại bỏ các điểm có độ cao sóng xác định từ đo cao vệ tinh không đáng tin cậy như Hình 2.

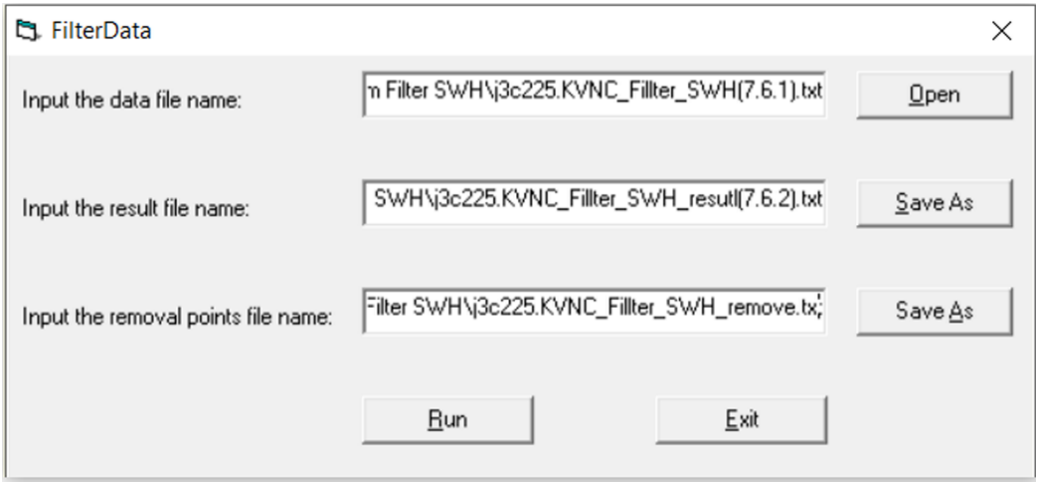


Hình 2. Sơ đồ thuật toán phát hiện và loại bỏ những giá trị bất thường trong tệp số liệu độ cao sóng xác định từ đo cao vệ tinh

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kết quả xây dựng chương trình máy tính phát hiện và loại bỏ các giá trị bất thường trong dữ liệu độ cao sóng biển được xác định từ số liệu đo cao vệ tinh

Để tự động hóa quá trình tính toán, chúng tôi đã xây dựng chương trình máy tính phát hiện và loại bỏ các giá trị bất thường trong dữ liệu độ cao sóng biển được xác định từ số liệu đo cao vệ tinh. Chương trình được xây dựng bằng ngôn ngữ Visual Basic kết hợp với Fortran 95, có tên là ***FilterData***. Giao diện của chương trình như Hình 3.



Hình 3. Giao diện của chương trình FilterData

Để sử dụng chương trình này, ta thực hiện như sau:

- Nhập file số liệu vào mục Input the data file name;

- Nhập tên file kết quả lọc vào mục Input the result file name;

- Nhập tên file chứa các điểm bị loại bỏ vào mục Input the removal points file name;

- Chọn nút Run để chạy chương trình.

4.2. Kết quả phân tích, phát hiện các giá trị độ cao sóng bất thường ở chu kỳ 225 vệ tinh Jason-3

Trong mục này, kết quả phân tích, phát hiện các giá trị độ cao sóng bất thường ở chu kỳ 225 vệ tinh Jason-3 sẽ được trình bày. Theo lý thuyết trình bày ở trên, các thống kê về hiệu độ cao sóng xác định từ băng tần Ku và C được trình bày trên Bảng 1. Kết quả phát hiện ra 28 điểm có hiệu độ cao sóng vượt quá 3 lần sai số trung phương. Khi so sánh với độ cao sóng của các điểm lân cận, kết quả cho thấy chỉ có 6 điểm cần phải loại bỏ. Các điểm loại bỏ này được thể hiện là các điểm màu đỏ trên Hình 1. Các điểm này nằm ở khu vực QĐ. Trường Sa và Đ. Phú Quý.

Bảng 1. Thống kê vắn tắt kết quả so sánh độ cao sóng

Loại thống kê	Số điểm	Max. (m)	Min. (m)	Mean (m)	$m_{\Delta SWH}$ (m)	m_{SWH} (m)
Trước khi loại bỏ	2073	1,479	-7,009	-0,212	0,719	0,510
Sau khi khi loại bỏ	2067	1,479	-7,009	-0,203	0,517	0,367

Sau khi loại bỏ 6 điểm, các thống kê được tính toán lại và trình bày trên dòng 3 của Bảng 1. Như vậy, độ chính xác của độ cao sóng đánh giá bằng cách so sánh kết quả tính từ băng tần Ku và C đạt ±0,367 m.

4.3. Kết quả lọc độ cao sóng của 256 chu kỳ số liệu Jason-3

Thực hiện lọc SWH với 256 chu kỳ số liệu vệ tinh Jason-3, kết quả được trình bày trên Bảng 2. Do số liệu nhiều nên trên Bảng 2 chỉ trích trình bày một số chu kỳ.

Bảng 2. Kết quả lọc độ cao sóng của 256 chu kỳ số liệu Jason-3

STT	Chu kỳ	Số điểm	Số điểm loại bỏ	Độ lệch trung bình (m)	m_SWH (m)	STD (m)
1	c000	1058	0	-0,057	0,259	0,253
2	c001	2057	1	-0,034	0,241	0,239
3	c002	2237	2	-0,042	0,238	0,234
4	c003	1478	2	-0,079	0,275	0,263
5	c004	2180	3	-0,098	0,290	0,273
6	c005	2251	3	-0,124	0,282	0,253
7	c006	2169	5	-0,123	0,303	0,277
8	c007	2197	4	-0,152	0,301	0,260
…	…	…	…	…	…	…
111	c110	2292	1	-0,076	0,252	0,240
112	c111	2309	2	-0,064	0,246	0,238
113	c112	484	0	-0,031	0,245	0,243
114	c113	1449	1	-0,142	0,311	0,277
115	c114	2227	2	-0,070	0,252	0,242
116	c115	2160	4	-0,073	0,281	0,271
117	c116	833	0	-0,101	0,294	0,276
118	c117	2193	1	-0,141	0,307	0,273
…	…	…	…	…	…	
221	c220	2179	3	-0,023	0,239	0,238
222	c221	2264	2	-0,034	0,224	0,221
223	c222	1965	1	-0,016	0,258	0,258
224	c223	2269	1	-0,057	0,240	0,233
225	c224	2160	3	-0,064	0,253	0,245
226	c225	2073	6	-0,203	0,367	0,306
Tổng cộng		***464324***	***460***			
Lớn nhất		***2309***	***7***	***0,019***	***0,406***	***0,316***
Nhỏ nhất		***310***	***0***	***-0,261***	***0,210***	***0,206***
Trung bình		***2054,5***	***2,0***	***-0,072***	***0,268***	***0,254***

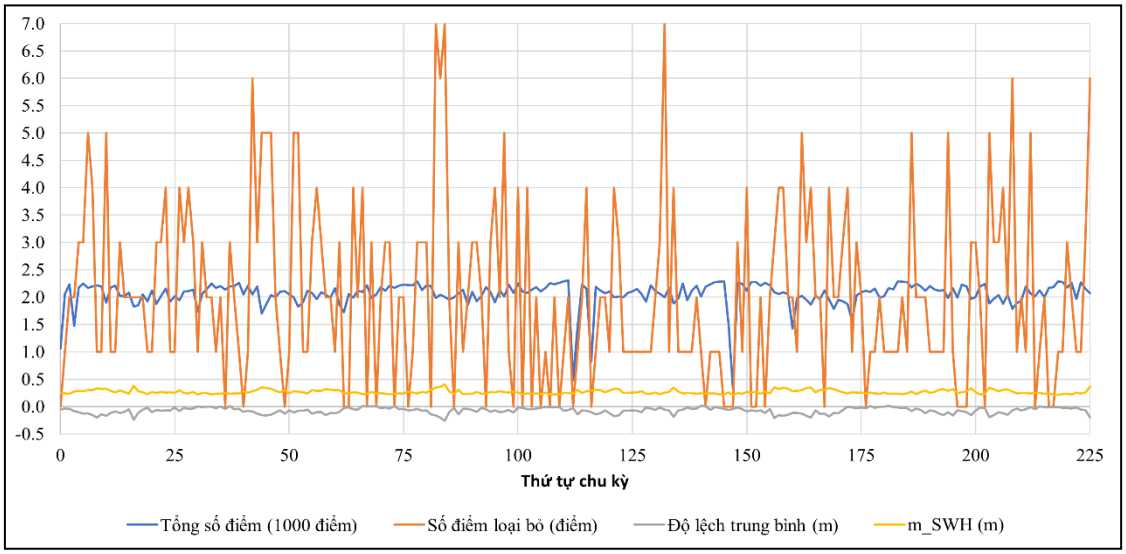
Từ bảng 2 cho thấy, trong 226 chu kỳ có tổng cộng 464.324 điểm đo; chu kỳ có số điểm đo lớn nhất là 2309 điểm; nhỏ nhất là 310 điểm; trung bình 2054,5 điểm. Có 460 điểm bị loại bỏ; chu kỳ có điểm loại bỏ nhiều nhất là 7 điểm; ít nhất là 0 điểm; trung bình là 2,0 điểm. Như vậy, số điểm bị loại bỏ không nhiều chỉ chiếm khoảng 0,1%, tuy nhiên, nếu không loại bỏ các điểm này sẽ ảnh hưởng đến kết quả tính toán trong các ứng dụng sau này.

Độ chính xác của độ cao sóng, đánh giá bằng cách so sánh kết quả tính từ băng tần Ku và C, đạt từ ±0,210 m đến ±0,406 m; trung bình đạt ±0,268 m.

Để có thể nhìn trực quan hơn, chúng tôi vẽ đồ thị kết quả đánh giá, lọc số liệu SWH trên Hình 4 (lưu ý: Tổng số điểm trong chu kỳ có đơn vị là 1000 điểm).

Hình 4 cho thấy: Độ lệch trung bình có xu hướng âm, nghĩa là, độ cao sóng xác định từ băng tần Ku nhỏ hơn so với băng tần C; Sai số trung phương tăng khi giá trị tuyệt đối của độ lệch trung bình tăng. Nên đánh giá theo độ lệch chuẩn thay cho sai số trung phương.

Độ lệch chuẩn được tính toán và trình bày trên cột cuối của Bảng 2. Theo kết quả này, độ chính xác của SWH đạt từ ±0,206 m đến ±0,316 m; trung bình là ±0,254 m.



Hình 4. Đồ thị kết quả đánh giá, lọc số liệu SWH của vệ tinh Jason-3 trên Biển Đông

5. Kết luận

Bài báo đề xuất phương pháp và xây dựng chương trình máy tính lọc các độ cao sóng không đạt yêu cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông. Đầu tiên, độ cao sóng xác định bằng băng tần Ku và C được so sánh với nhau để tìm ra những điểm bất thường. Sau đó, độ cao sóng xác định bằng băng tần Ku tại các điểm bất thường lại được so sánh với các điểm lân cận để quyết định sử dụng hay loại bỏ. Phương pháp này có thể áp dụng cho số liệu của các loại vệ tinh sử dụng 2 băng tần.

Kết quả tính toán đối với số liêu chu kỳ 225 của vệ tinh Jason-3 trên Biển Đông cho thấy có 28 điểm có giá trị bất thường, trong đó, có 6 điểm phải loại bỏ. Các điểm này nằm trên QĐ. Trường Sa và Đ. Phú Quý. Khi tính toán đối với số liệu 226 chu kỳ vệ tinh Jason-3, số điểm bị loại bỏ là 460 điểm, chỉ chiếm khoảng 0,1%. Tuy số điểm bị loại bỏ là ít nhưng việc loại bỏ các điểm này là cần thiết.

Độ chính xác của độ cao sóng đánh giá bằng cách so sánh kết quả tính bằng băng tần Ku và C đối với vệ tinh Jason-3 theo các chu kỳ đạt từ ±0,206 m đến ±0,316 m; trung bình là ±0,254 m.

Lời cảm ơn:

Tác giả xin chân thành cảm ơn Đề tài cấp bộ mã số: TNMT.ĐL.2025.06.01 đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Cam kết của các tác giả

Các tác giả có tên trong bài báo cam kết đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

[1] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), "The use of radar altimeter products at ECMWF", *ECMWF Newsletter, 149*, 2016.
[2] Ardhuin F., Chapron B., Collard F., et al., "Satellite wave observations: Applications and perspectives", *Frontiers in Marine Science*, *Vol. 11, Article 1458892*. DOI: 10.3389/fmars.2024.1458892, 2024.
[3] Ricardo M. Campos, "Analysis of Spatial and Temporal Criteria for Altimeter Collocation of Significant Wave Height and Wind Speed Data in Deep Waters", *NOAA Technical Report NESDIS 164, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Silver Spring, Maryland*, 2023.
[4] Mitsopoulos, Panagiotis & Peña, Malaquias, "Characterizing Coastal Wind Speed and Significant Wave Height Using Satellite Altimetry and Buoy Data", *Remote Sensing*, *Vol. 15, No. 4*, 2023.
[5] Copernicus Marine Service, *"Global Ocean L4 Significant Wave Height From Reprocessed Satellite Measurements (Product ID: WAVE_GLO_PHY_SWH_L4_MY_014_007)", Copernicus Marine Environment Monitoring Service – EU*, DOI: 10.48670/moi-00177, 2024.
[6] Yang, H., Liang, B., Gao, H., & Shao, Z., "High-resolution mapping of significant wave heights in the Northeast Pacific and Northwest Atlantic using improved multi-source satellite altimetry fusion method", *Frontiers in Marine Science*, *Vol. 11, Article 1458892*. DOI: 10.3389/fmars.2024.1458892, 2024.
[7] AVISO+, "CFOSAT Level-2P Nadir Significant Wave Height Handbook", *CNES/CLS*, 2020.
[8] Hà Minh Hòa, "Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt "0" độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu", *Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ của dự án KC.09.19/11-15*, 2015.
[9] Rong, Z.M., "Analysis on the surface current features in the East Sea in winter", *Marrine Forecasts B11, 5*, 1994.
[10] Xu, X.Z., Qiu, Z., Chen, H.C., "The genaral descriptions of the horizontal circulation in the South China Sea", *In Proceedings of the 1980 Symposium on Hydrometeology of the Chinese Society of Oceanology and Limnology, pp. 137-145. Science Press*, 1980.
[11] Le, D.T., "The Marine management", *Ha noi national university of Viet nam,* 2005.
[12] NASA, "Jason-3: Continuing the legacy of ocean surface topography missions", *NASA Facts*, 2016.
[13] EUMETSAT, "Jason-3 product handbook", *EUMETSAT*, 2019.
[14] CNES, "Jason-3 Mission and System", *CNES Technical Report*, 2016.
[15] Gauss, C. F., "Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae", *Reprinted in Carl Friedrich Gauss Werke, Vol. 4, pp. 1–60*, 1823.
[16] Hoàng Ngọc Hà và Trương Quang Hiếu, "Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa", *Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội*, 2003.
[17] Đặng Nam Chinh, Nguyễn Xuân Bắc, Bùi Thị Hồng Thắm, Trần Thị Thu Trang, Ninh Thị Kim Anh, "Giáo trình lý thuyết sai số", *Trường Đại học Tài nguyên và môi trường, Hà Nội*, 2015.
[18] Phan Văn Hiến, Đinh Xuân Vinh, Phạm Quốc Khánh, Tạ Thanh Loan, "Lý thuyết sai số và bình sai trắc địa", *Nhà xuất bản xây dựng. Hà Nội*, 2017.

Article © 2024 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0