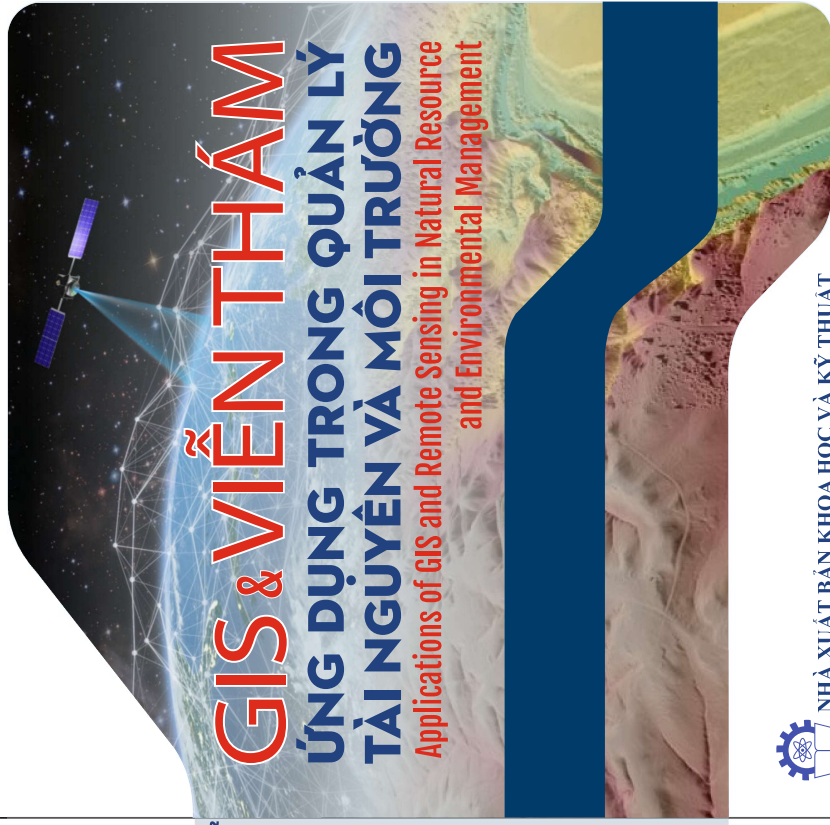




ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

KỶ YẾU HỘI THẢO ỨNG DỤNG GIS TOÀN QUỐC 2022
PROCEEDINGS OF THE NATIONAL CONFERENCE ON GIS APPLICATION
HO CHI MINH CITY, 11-12TH NOVEMBER 2022



GIS & VIỄN THĂM

ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

*Applications of GIS and Remote Sensing in Natural Resource
and Environmental Management*



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

GIS & VIỄN THĂM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG



GIS & VIỄN THĂM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
APPLICATIONS OF GIS AND REMOTE SENSING IN NATURAL RESOURCE
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

HO CHI MINH CITY, 11-12TH NOVEMBER 2022

222307500

ISBN 9786046724872



9 786046 724872

Sách không bán



ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TR- ỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

KỶ YẾU HỘI THẢO ỨNG DỤNG GIS TOÀN QUỐC 2022

Proceedings of the National Conference on GIS Application
Ho Chi Minh City, 11-12th November 2022

GIS VÀ VIỄN THÁM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TR- ỜNG

Applications of GIS and Remote Sensing in Natural Resource
and Environmental Management



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

ĐƠN VỊ TÀI TRỢ



Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Vietnam National University Ho Chi Minh City



AGRIDRONE

Công ty Cổ phần Thiết bị Bay AGRIDRONE Việt Nam



Trường Đại học Nông Lâm thành phố Hồ Chí Minh
Nong Lam University Ho Chi Minh City

GIÁM SÁT SỰ THAY ĐỔI MỨC NƯỚC SÔNG MEKONG (VIỆT NAM) SỬ DỤNG DỮ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỒNG BẰNG SÔNG MEKONG

MONITORING THE CHANGE OF THE MEKONG RIVER WATER LEVEL (VIETNAM) USING SATELLITE ALTIMETER FOR MEKONG DELTA SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Vũ Phương Lan^{1,*}, Hà Minh Cường², Đinh Thị Bảo Hoa¹, Nguyễn Phương Bắc²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; ²Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội,
Email: vuphuonglan@hus.edu.vn

Tóm Tắt: Sông Mekong là một trong những con sông lớn nhất trên thế giới, bắt nguồn từ cao nguyên Tây Tạng chảy qua Vân Nam Trung Quốc, qua các nước Lào, Myanmar, Thái Lan, Campuchia và đổ ra Biển Đông ở Việt Nam. Hiện nay, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, quá trình phát triển kinh tế và việc xây dựng các đập thủy điện dọc sông Mekong đã dẫn đến nguồn nước tại vùng hạ lưu ngày càng suy giảm, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất và cuộc sống của người dân nơi đây. Để giảm thiểu tác động của chúng, sự thay đổi mực nước theo thời gian cần được theo dõi thích hợp. Nghiên cứu này trình bày kết quả sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh (Envisat, Jason-1/2/3, SARAL và Sentinel-3A/3B) để theo dõi mực nước ở sông Mekong (Việt Nam) từ năm 2002 đến 2022. Kết quả so sánh chuỗi thời gian mực nước thu được tại các trạm ảo với dữ liệu đo tại các trạm thủy văn cho độ chính xác cao với tương quan đạt 0,88 và sai số trung phương trung bình gốc RMSE = 0.18m. Kết quả của nghiên cứu góp phần bổ sung dữ liệu cho những khu vực ít trạm đo thủy văn/thủy triều, đặc biệt hiệu quả trong việc giám sát nước khu vực ngoài biên giới Việt Nam.

Từ khóa: Đo cao vệ tinh, Biến đổi khí hậu, Độ cao mực nước, Sông Mekong, thuật toán retracking Ice-1

Abstract: The Mekong River is one of the world's great rivers. Comes from its source on the Tibetan Plateau in China to the Mekong Delta, the river flows through six countries: China, Myanmar, Thailand, Lao, Cambodia, and VietNam. Due to the climate change and the construction of hydropower dams along the Mekong River, the water resources in the downstream areas are increasingly depleted, seriously affecting the people's lives and productions. To minimize their impact, changes in water levels over time should be appropriately monitored. This study presents satellite altimeter data (Envisat, Jason-1/2/3, SARAL, and Sentinel-3A/3B) to monitor water levels in the Mekong River (Vietnam) from 2002 to 2022. The water level comparison results at virtual stations with data measured at hydrological stations show high accuracy with a correlation of 0.88 and an RMSE = 0.18m. The study results contribute to supplement data for areas with few hydrological/tide stations, especially effective in monitoring water outside the border of Vietnam.

Keywords: *Altimetry, Climate change, water level, Mekong River, Ice-1 retracking algorithm*

1. GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu đã và đang tác động tiêu cực đến tất cả các quốc gia trên thế giới. Theo đánh giá của ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC), các quốc gia thuộc hạ lưu sông Mekong, trong đó có Việt Nam, là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu (BĐKH) (Mekong, 2008). BĐKH và việc xây dựng các đập thủy điện ở thượng nguồn đã làm cho các dòng chảy chính của sông Mekong giảm xuống mức thấp nhất trong hơn 60 năm qua khi khu vực này bước vào năm hạn hán thứ tư, đe dọa sinh kế của khoảng 22 triệu dân (Ủy hội sông Mekong). Dự báo xâm nhập mặn trong mùa khô năm 2022-2023 sẽ ở mức cao hơn trung bình nhiều năm, ảnh hưởng đến việc vận hành lấy nước của các công trình thủy lợi phục vụ sản xuất nông nghiệp và dân sinh (Cơ quan Khí tượng Thủy văn Quốc gia, 2022). Trong những năm gần đây, đồng bằng sông Mekong đã xảy ra rất nhiều đợt thiên tai nghiêm trọng. Đặc biệt trong năm 2016, đợt hạn hán nghiêm trọng nhất đã xảy ra gây thiệt hại lớn cho nông nghiệp và đời sống của người dân. Ngoài ra, xâm nhập mặn đã kéo dài tới 90 km vào đất liền ở một số khu vực ven biển (FAO, ngày 23 tháng 8 năm 2016). Môi trường, hệ sinh thái và cuộc sống của người dân đã và đang bị ảnh hưởng nghiêm trọng. Để chủ động thực hiện các giải pháp phòng, chống hạn mặn, đảm bảo nguồn nước phục vụ sản xuất và sinh hoạt, việc cấp bách cần đặt ra là phải theo dõi biến động mực nước một cách liên tục, tức thời và dự báo tình hình xâm nhập mặn, đặc biệt ở khu vực cửa sông phục vụ điều tiết nông nghiệp và đưa ra các chiến lược thích ứng và giảm thiểu thiệt hại. Ngoài ra, việc xác định xu hướng biến động mực nước của các nhánh sông chính, phụ lưu và các vùng ngập lũ liên quan là thông tin quan trọng trong việc xây dựng cơ sở chính xác cho các dự báo trong tương lai.

Hiện nay có rất nhiều phương pháp đo mực nước nhưng hầu hết vẫn sử dụng các trạm đo thủy văn/thủy triều, với một hệ thống gồm một ống kim loại dài để làm giảm ảnh hưởng của sóng và một đồng hồ đo sự thay đổi của mực nước được đặt trong các trạm cố định. Mặc dù các trạm này cho số liệu đo liên tục nhưng hạn chế về mặt không gian và không bố trí được tại những nơi có nền địa chất yếu cũng như ở các khu vực ngoài biên giới.

Công nghệ đo cao vệ tinh ra đời và phát triển mạnh từ những năm 1990 mở ra kỷ nguyên đo độ cao chính xác. Công nghệ này đánh dấu một bước ngoặt trong các nghiên cứu về mực nước đại dương và các lưu vực sông lớn (S. Biancamaria et al, 2017; F. Frappart et al, 2017; F. Frappart et al, 2015a; Phuong Lan Vu et al, 2018). Bằng cách cung cấp các phép đo nhanh chóng, liên tục và lặp lại của độ cao bề mặt nước biển, những dữ liệu này đã thực sự cách mạng hóa ngành hải dương học hiện đại. Hiệu quả của dữ liệu đo cao vệ tinh đã được chứng minh trong giám sát mực nước đại dương, nhưng đối với vùng nước lục địa và ven biển, dữ liệu đo cao vệ tinh gặp nhiều hạn chế khi việc hiệu chỉnh ảnh hưởng của địa vật lý trở nên không chính xác. Hiện nay, nhiều thế hệ vệ tinh đo cao mới ra đời đã cải thiện độ phân giải không gian và thời gian của dữ liệu đo cao vệ tinh (Saleh Abdalla et al, 2021). Những tiến bộ đã được thực hiện với việc phát triển và ra mắt thiết bị AltiKa sử dụng băng tần Ka trên vệ tinh SARAL. Việc sử dụng tần số cao hơn này làm giảm nhiễu và có dấu chân radar trên mặt đất nhỏ hơn so với tần số thu được bằng các thiết bị băng tần Ku cổ điển (Verron, 2015). Sự ra mắt của máy đo độ cao sử dụng kỹ thuật Radar khẩu độ tổng hợp (SAR) (Wingham,

2006), SIRAL trên tàu Cryosat-2 và SRAL trên tàu Sentinel-3, cho các kết quả đáng tin cậy hơn ở các khu vực ven biển. Song song với đó là việc cải thiện các thuật toán hiệu chỉnh dạng sóng đối với các khu vực ven biển cũng góp phần nâng cao độ tin cậy của kết quả thu được từ dữ liệu đo cao vệ tinh. Nhờ những cải tiến khác nhau này và việc sử dụng dữ liệu tần số cao (10, 18, 20 hoặc 40 Hz tùy thuộc vào mỗi nhiệm vụ đo độ cao) thay vì dữ liệu 1 Hz (~ 7 km lấy mẫu dọc theo đường ray) như trên các vùng nước đại dương mở có chiều rộng dưới một trăm mét giờ đây có thể được theo dõi với độ chính xác cao (Baup, et al., 2014; Frappart, 2015).

Cho đến nay, chưa có nghiên cứu nào cung cấp một đánh giá có hệ thống về hiệu suất trên sông Mekong cho các nhiệm vụ đo độ cao khác nhau. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá chất lượng của phép đo mực nước trên vùng nước lục địa trên dựa trên dữ liệu đo cao vệ tinh cho tất cả các sứ mệnh (Jason-1/2/3, Envisat/SARAL, Sentinel 3A và Sentinel 3B) hoạt động ở chế độ phân giải thấp (LRM) để theo dõi mực nước khu vực sông Mekong, đoạn chảy qua Việt Nam từ năm 2002 đến năm 2022. Các đánh giá dựa trên số lần quan sát, độ lệch Bias, sai số trung phương (RMSE) và hệ số tương quan giữa trị đo mực nước từ dữ liệu đo cao vệ tinh và dữ liệu đo tại các trạm thủy văn/thủy triều có trong khu vực. Các phép so sánh được thực hiện tại các trạm ảo. Trong đó, trạm ảo (VS) được định nghĩa là vùng giao nhau giữa đường đi của vệ tinh trên mặt đất và vùng nước (biển, hồ, sông, vùng ngập lụt hoặc đất ngập nước). Tại mỗi trạm ảo, các biến thể theo thời gian của mực nước sông từ phép đo độ cao của radar được xây dựng (Crétau, 2017). Tính nhất quán của kết quả giữa các nhiệm vụ cũng được đánh giá thông qua tương quan chéo giữa các trạm ảo dọc sông.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Ước tính độ cao mực nước từ dữ liệu đo cao vệ tinh

Nguyên lý của đo cao vệ tinh được mô tả như trong hình 1. Chiều cao mực nước dựa trên dữ liệu đo cao vệ tinh được tính bởi công thức (F. Frappart et al, 2017):

$$SSH_{\text{altimeter}} = H - (R + \sum \Delta R_{\text{propagation}} + \sum \Delta R_{\text{geof}})$$

trong đó:

$SSH_{\text{altimeter}}$: độ cao mực nước tính từ dữ liệu đo cao vệ tinh

H: độ cao của quỹ đạo vệ tinh trên ellipsoid được ước tính bằng kỹ thuật xác định quỹ đạo chính xác (POD);

R: Khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt phản xạ có tính đến hiệu chỉnh của thiết bị;

$\Delta R_{\text{propagation}}$: Các hiệu chỉnh sai số do lan truyền tín hiệu

ΔR_{geof} : Các hiệu chỉnh sai số về địa vật lý áp dụng trong khu vực nghiên cứu.

Các hiệu chỉnh sai số do lan truyền tín hiệu được tích theo công thức:

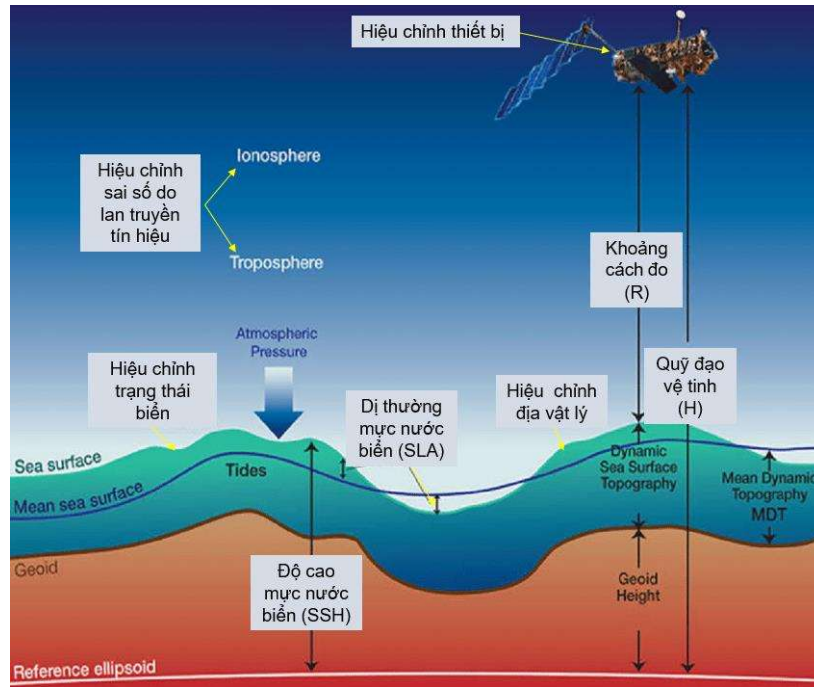
$$\sum \Delta R_{\text{propagation}} = \Delta R_{\text{ion}} + \Delta R_{\text{dry}} + \Delta R_{\text{wet}} + \Delta R_{\text{SBB}}$$

Trong đó ΔR_{ion} là độ trễ của tín hiệu do ảnh hưởng của tầng điện ly. ΔR_{dry} và ΔR_{wet} là độ trễ của tín hiệu do ảnh hưởng của tầng đối lưu khô và đối lưu ẩm. ΔR_{SBB} là hiệu chỉnh các tác động của độ nhám bề mặt biển trong phạm vi đầu chân của radar.

Các hiệu chỉnh địa vật lý được đại diện bởi:

$$\sum \Delta R_{\text{geof}} = \Delta R_{\text{load}} + \Delta R_{\text{solid Earth}} + \Delta R_{\text{pole}} + \Delta R_{\text{atm}}$$

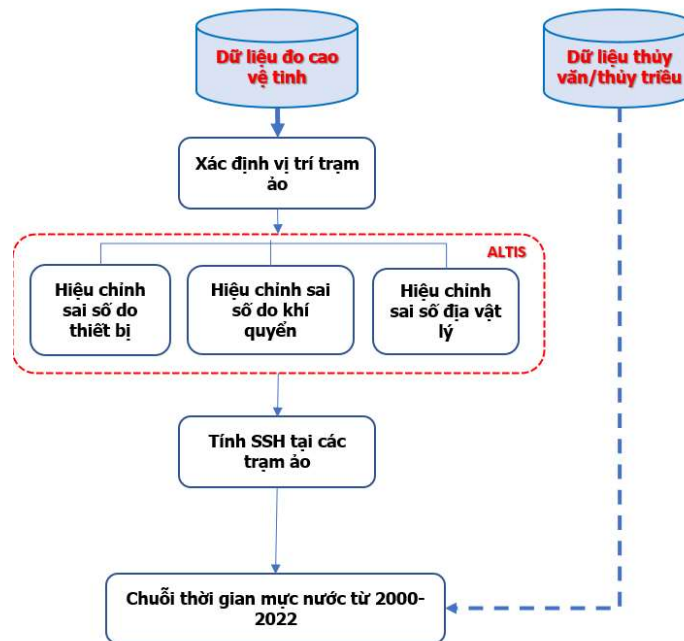
Trong đó ΔR_{load} , $\Delta R_{solid\ Earth}$, ΔR_{pole} , ΔR_{atm} là các hiệu chỉnh tương ứng đối với lớp vỏ chuyển động thẳng đứng do ảnh hưởng của lực hấp dẫn giữa Trái đất và mặt trăng và sự biến động nhanh chóng của khí quyển.



Hình 1. Nguyên lý đo cao vệ tinh

Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm ALTIS (Frappart, 2021) thông qua 3 bước chính (hình 2):

- Xác định các vệ tinh đi qua khu vực nghiên cứu (sử dụng Google Earth);



Hình 2. Sơ đồ quy trình tính chuỗi thời gian mực nước sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh

- Xác định các trạm ảo và lựa chọn dữ liệu hợp lệ, hiệu chỉnh sai số, tính toán chuỗi thời gian SSH bằng cách sử dụng tất cả các điểm hợp lệ đã chọn;
- SSH trung bình được tính cho mỗi chu kỳ sử dụng giá trị trung bình của các độ cao đã chọn, cùng với độ lệch tương ứng của chúng.

2.2. Hiệu chỉnh dạng sóng đo cao vệ tinh trong vùng nước nội địa sử dụng thuật toán Ice-1

Dữ liệu đo cao vệ tinh đã được chứng minh hiệu quả trong việc theo dõi mực nước tại vùng đại dương mở và vùng ven biển. Tuy nhiên, tín hiệu radar altimetry gặp nhiều hạn chế trong việc theo dõi nước trong lục địa do sự phức tạp của các dạng sóng trả về. Dạng sóng đo độ cao (hay tiếng vọng radar) đại diện cho biểu đồ năng lượng bị phân tán bởi bề mặt đất quay trở lại vệ tinh. Việc phân tích tín hiệu này cho thấy sự xuất hiện của một số phản xạ của nước, thảm thực vật và bề mặt địa hình gồ ghề có trong dấu chân của vệ tinh. Các ước tính khoảng cách chính xác từ vệ tinh đến bề mặt phản xạ thu được bằng cách sử dụng các quy trình điều chỉnh dạng sóng được gọi là lấy lại dạng sóng đo độ cao (retracking). Việc dò lại dạng sóng của máy đo độ cao cho vùng nước trên lục địa để có được các ước tính khoảng cách tốt hơn so với các dạng sóng thu được ban đầu bằng cách sử dụng các thuật toán retracker trên bo mạch. Các dạng sóng có được nhờ một hệ thống theo dõi (retracking) được đặt trên vệ tinh (Chelton, et al., 2001). Mục đích của bộ theo dõi trên bo mạch là giữ vị trí giữa các điểm cạnh hàng đầu để đảm bảo rằng tiếng vọng vẫn còn trong cửa sổ tiếp nhận. Hệ thống dự đoán của phép đo giúp giảm thiểu sai số. Hệ thống theo dõi dựa trên việc phân tích các thông số của các điểm đo trước đó có hiệu quả trong môi trường đồng nhất như đại dương (Brown, 1977). Nhưng các dạng sóng dội lại trên các bề mặt khác nhau như bề mặt lục địa gồm rất nhiều tín hiệu khó xử lý, máy đo độ cao không thể thích ứng trong thời gian thực với các thông số tiếp nhận này. Do đó, cần một vài giây để máy đo độ cao tìm thấy bề mặt nơi các phép đo có thể tiếp tục (Chelton, et al., 2001). Các giải pháp xử lý lại dạng sóng khác nhau đã được phát triển theo hàm về độ nhám của bề mặt được xem xét. Các phương pháp chính được sử dụng cho nghiên cứu vùng nước lục địa đó là: phương pháp ngưỡng, phương pháp phân tích và phương pháp nhận dạng mẫu (Frappart, 2006a).

Phương pháp ngưỡng sử dụng thuật toán Ice-1 được phát triển để nghiên cứu các chỏm băng ở cực và các bề mặt lục địa. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc ngưỡng, yêu cầu ước tính biên độ của dạng sóng. Kỹ thuật này được gọi là OCOG (Offset Center Of Gravity) phương pháp do Wingham phát triển năm 1986 (Wingham, 2006) sử dụng phương pháp số (hình 4) và là được mô tả như sau:

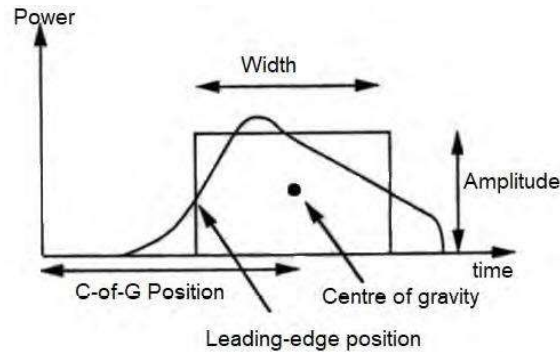
$$COG = \frac{\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} ny^2(n)}{\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} y^2(n)} \quad (1)$$

$$A = \sqrt{\frac{\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} y^4(n)}{\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} y^2(n)}} \quad (2)$$

$$W = \frac{(\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} y^2(n))^2}{\sum_{n=N+aln}^{n=N-aln} y^4(n)} \quad (3)$$

$$Lep = COG - 0.5.W \quad (4)$$

Trong đó : N là tổng số công ; aln là số lượng công ước tính ở đầu và cuối của dạng sóng; $y(n)$ là giá trị của công thứ n ; A là biên độ; W là chiều rộng; COG là trọng tâm của dạng sóng; Lep là vị trí điểm giữa của cạnh hàng đầu (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ của thuật toán OCOG

Độ phân tán (trong định mức L1) của Ice-1 thấp hơn so với các bộ phản xạ khác, thường thấp hơn 0,2 và 0,1m đối với giai đoạn thấp và cao. Điểm quan trọng trong kỹ thuật này nằm ở việc ước tính biên độ dạng sóng. Ảnh hưởng của tiếng ồn được giảm bớt khi số lượng mẫu tăng lên. Thuật toán retracking Ice-1 đã được chứng minh là hiệu quả hơn các thuật toán retracking khác trong nghiên cứu nước trên lục địa (Frappart, 2006a). Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng thuật toán Retracking Ice-1 để lấy lại dạng sóng cho dữ liệu đo cao trong khu vực nghiên cứu.

2.3. Đánh giá độ chính xác của kết quả đo mực nước dựa trên dữ liệu đo cao vệ tinh

Mực nước sông Mekong thu được từ dữ liệu đo cao vệ tinh được xác nhận bằng cách so sánh với số liệu đo tại các trạm thủy văn/thủy triều có trong khu vực nghiên cứu. Khoảng cách giữa trạm ảo và trạm đo tại chỗ gần nhất thấp hơn 35 km.

Kỹ thuật hiệu chuẩn tuyệt đối bao gồm việc xác định độ lệch của độ cao mực nước tính từ dữ liệu đo cao vệ tinh ($SSH_{altimeter}$) và dữ liệu đo thực địa ($SSH_{in-situ}$). Tất cả các dữ liệu đã được chuyển đổi về cùng hệ tọa độ. Độ lệch Bias được tính như sau:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SSH_{altimeter}(t_i) - (SSH_{in-situ}(t_i)))$$

Sai số trung phương RMSE giữa hai trị đo được xác định theo công thức cổ điển :

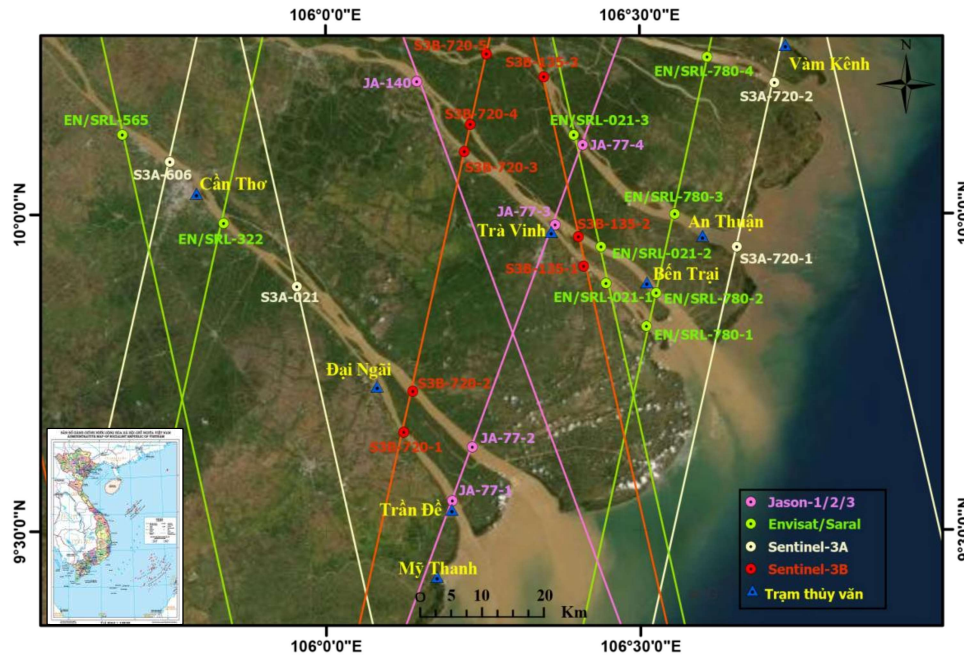
$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SSH_{altimeter}(t_i) - (SSH_{in-situ}(t_i)))^2 \right)^{1/2}$$

Hệ số tương quan Pearson (R) được ước tính giữa các phép đo tại chỗ và vệ tinh

3. KHU VỰC THỰC NGHIỆM VÀ DỮ LIỆU SỬ DỤNG

3.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là sông Mekong, chảy qua Việt Nam (hình 4). Thủy triều ven biển của khu vực nghiên cứu là bán thủy triều không đều, với biên độ thủy triều ở cửa sông Hậu vào khoảng 3m (triều cao) và 1.8m (triều thấp). Biên độ thủy triều giảm dần tính từ thượng nguồn. Theo dữ liệu giám sát tại các trạm Vũng Tàu, đỉnh triều trung bình cao nhất là 4,43m (trong các tháng 10, 11) và thấp nhất là 0,58m (vào các tháng 5, 8).



Hình 4. Vị trí các trạm thủy văn và trạm ảo trên khu vực nghiên cứu

3.2. Dữ liệu sử dụng

3.2.1. Dữ liệu đo cao vệ tinh

Dữ liệu vệ tinh được tải từ trang web <http://ctoh.legos.obs-mip.fr/>. Dữ liệu bao gồm Sentinel 3A (03/2016-11/2021), Sentinel 3B (11/2018-03/2022), SARAL (03/2013 – 07/2016), Envisat (05/2002 đến 10/2010), Jason-1 (01/2002-01/2009), Jason-2 (07/2008-10/2016), và Jason-3 (02/2016-02/2022) đi qua khu vực nghiên cứu (Bảng 1). Vị trí của 26 trạm ảo (VS) trên khu vực nghiên cứu (hình 3) tương ứng với vệ tinh Jason-1/2/3 (tím), Envisat/SARAL (xanh), Sentinel-3B (đỏ) và Sentinel-3A (trắng).

Bảng 1 : Một số đặc tính kỹ thuật của các vệ tinh đo cao sử dụng trong nghiên cứu

Vệ tinh	Tần số (GHz)	Track của vệ tinh đi qua khu vực nghiên cứu	Chu kỳ lặp	Kích thước dấu chân (radar footprint)
Jason 1/2/3	Ku (13.575 GHz) C (5.3 GHz)	077, 140	10 ngày	~ 20 km
Envisat	Ku (13.575 GHz) S (3.2 GHz)	021, 322, 565, 780	35 ngày	~ 18 km
Sentinel-3A	Ku (13.575 GHz) C (5.41 GHz)	153, 720	27 ngày	~ 18 km
Sentinel-3B	Ku (13.575 GHz) C (5.41 GHz)	021, 606, 720	27 ngày	~ 18 km
Saral	Ka (35.75 GHz)	021, 322, 565, 780	35 ngày	~ 8 km

3.2.2. Dữ liệu đo tại các trạm thủy văn

Để xác nhận kết quả đo mực nước từ dữ liệu đo cao vệ tinh, dữ liệu thực địa thu được tại 8 trạm thủy văn (Bảng 2) đã được sử dụng. Số liệu đo tại các trạm được đo theo phương

pháp truyền thống với tần suất 1 trị đo/1h. Thiết bị đo tại các trạm thủy văn/thủy triều được đặt trong 1 ống bảo vệ để loại bỏ ảnh hưởng của sóng đến kết quả đo.

Bảng 2. Danh sách các trạm thủy văn trong khu vực nghiên cứu

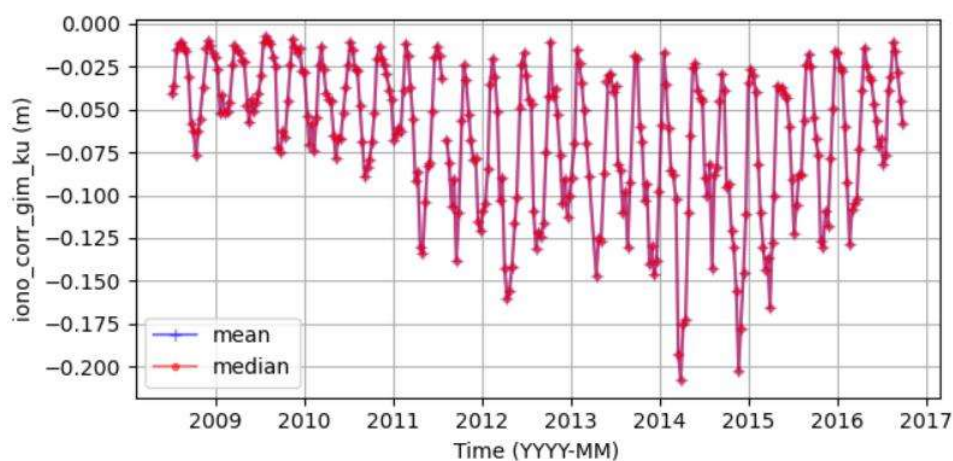
Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Thời gian
An Thuận	106°36'	9°57'	2016-2017
Cần Thơ	105°47'	10°02'	2000-2020
Bến Trại	106°30'	9°52'	2016-2017
Đại Ngãi	106°4'	9°44'	2000-2018
Trần Đề	106°10'	9°30'	2010-2020
Mỹ Thanh	106°10'	9°25'	2001-2017
Trà Vinh	106°21'	9°58'	2000-2020
Vàm Kênh	106°43'	10°16'	2016-2017

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Hiệu chỉnh ảnh hưởng địa vật lý đến kết quả đo cao vệ tinh

Ngoài ảnh hưởng của vùng đất liền có trong dấu chân radar của phép đo độ cao, nguồn lỗi trong quá trình truy xuất độ cao mực nước từ phép đo cao radar do hai thành phần chính gây ra đó là ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng đối lưu.

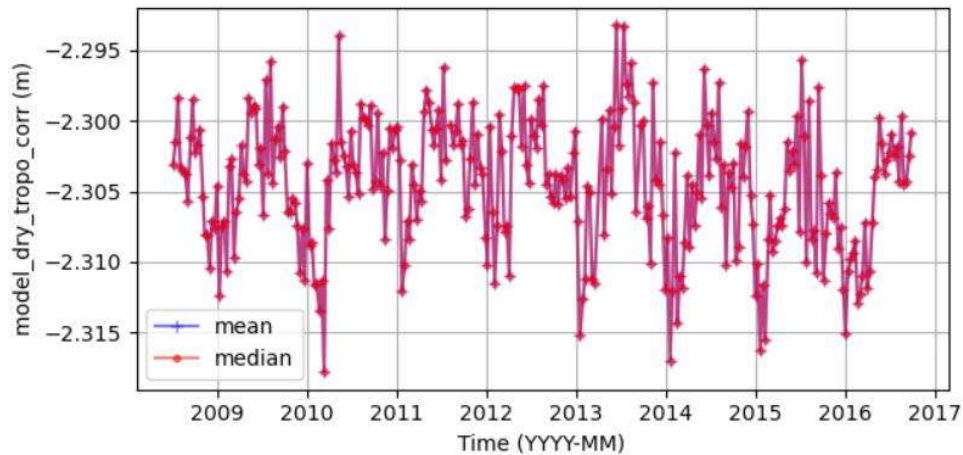
• Đối với tất cả các vệ tinh, hiệu chỉnh tầng điện ly (IC), do hàm lượng điện tử trong tầng điện ly, thu được bằng máy đo độ cao hai tần số, ở các băng tần Ku và C đối với vệ tinh Jason-1/2/3 ; băng tần Ku và S cho vệ tinh Envisat, hoặc sử dụng mô hình GIM (Global Ionospheric Map), hoặc mô hình NIC09 (NOAA Ionospheric Climatology 2009) cho các máy đo độ cao tần số đơn như SARAL, Sentinel-3A/3B. Hình 5 thể hiện giá trị hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng điện ly tại trạm ảo JA2-140 sử dụng mô hình GIM. Giá trị hiệu chỉnh dao động trong khoảng từ -0.01m đến -0.22m tùy thuộc vào điều kiện thời tiết tại vị trí trạm ảo JA2-140.



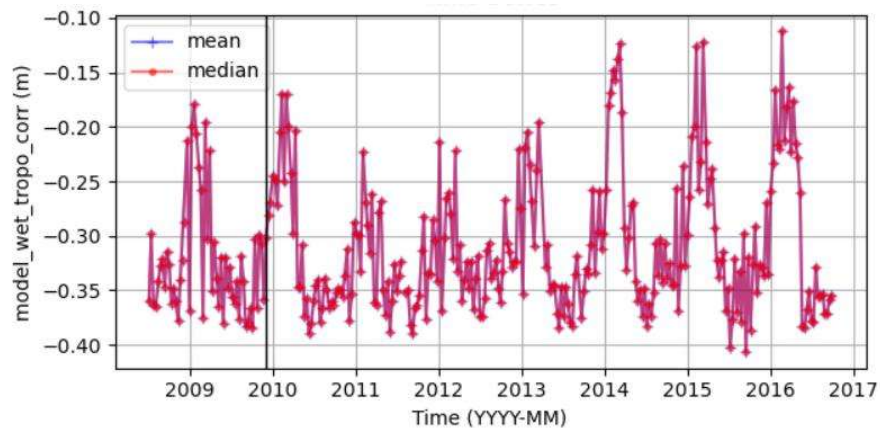
Hình 5. Giá trị hiệu chỉnh tầng điện ly sử dụng mô hình GIM tại trạm ảo JA2-140.

• Hiệu chỉnh tầng đối lưu do ảnh hưởng của hơi nước trong khí quyển, có được từ các phép đo bức xạ có trên các vệ tinh đo cao hoặc từ các kết quả đầu ra của mô hình khí tượng

ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasting) cung cấp. Các hiệu chỉnh dựa trên phép đo hai tần số và đo bức xạ được sử dụng rộng rãi trên đại dương và ở các khu vực ven biển. Tuy nhiên, đối với vùng nước lục địa, các kết quả tính từ mô hình được sử dụng nhiều hơn vì lúc này bức xạ bị nhiễu do môi trường truyền sóng trong đất liền không đồng nhất. Ví dụ về giá trị hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng đối lưu khô và đối lưu ẩm tại trạm ảo JA2-140 được thể hiện trong hình 6 và 7. Kết quả cho thấy giá trị hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng đối lưu khô có thể lên tới 2.3m và giá trị hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng đối lưu ẩm dao động từ 0.1m đến 0.4m.



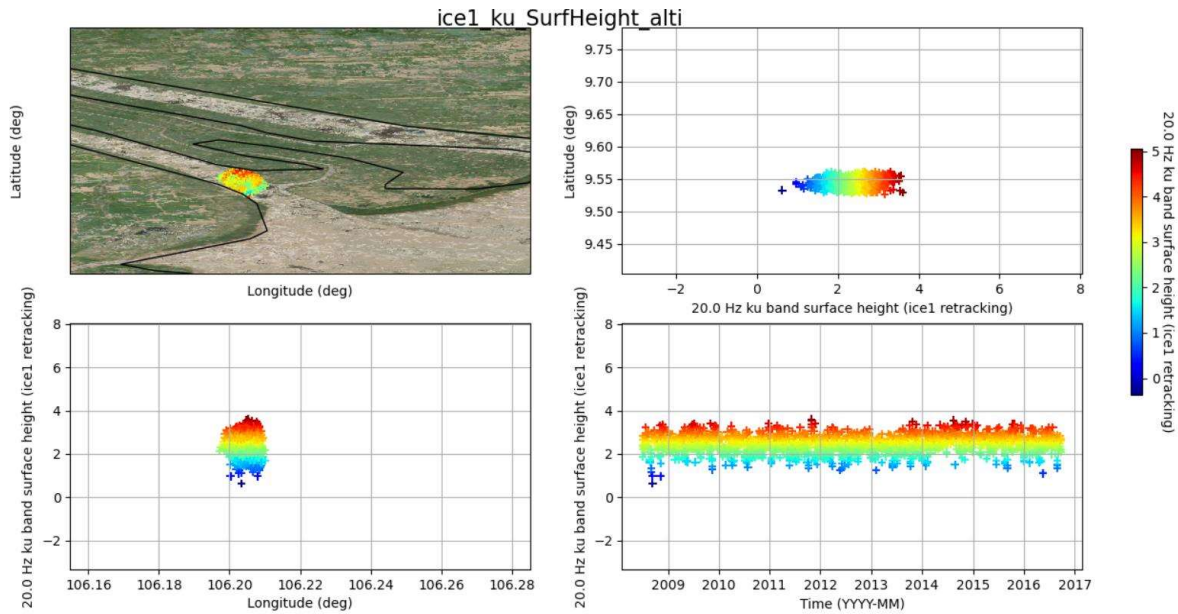
Hình 6. Giá trị hiệu chỉnh tầng đối lưu khô sử dụng mô hình ECMWF cho trạm ảo JA2-140



Hình 7. Giá trị hiệu chỉnh tầng đối lưu ẩm sử dụng mô hình ECMWF cho trạm ảo JA2-140

4.2. Chuỗi thời gian mực nước từ dữ liệu đo cao vệ tinh

Để xác nhận độ cao mực nước ước tính từ dữ liệu đo cao vệ tinh, trị đo thực địa ghi được tại 8 trạm thủy văn trên khu vực nghiên cứu đã được sử dụng. Hình 8 mô phỏng kết quả đo cao mực nước tại 1 trạm ảo JA-77-1 của vệ tinh Jason-2. Trong đó, những điểm đo không nằm trên vùng nước và những điểm dị thường sẽ được loại bỏ trong quá trình tính toán. Với số lượng quan sát chung giữa một trạm ảo và trị đo tại trạm thủy văn ít hơn 10 sẽ không được xem xét. Kết quả so sánh giữa giá trị mực nước ước tính và trị đo tại chỗ với hệ số tương quan có thể đạt 0,88 đối với Jason-2; 0,82 đối với Jason-3, Saral và Sentinel-3; 0,77 đối với Envisat (Bảng 3).



Hình 8. Mực nước tính từ dữ liệu đo cao của vệ tinh Jason-2 tại vị trí trạm ảo JA-77-1

Tại một số trạm, do số lượng quan sát chung thấp nên không đại diện về mặt thống kê. Sai số trung phương RMSE dao động từ -0.18m đến 0.78m phụ thuộc vào mỗi vệ tinh và độ rộng của trạm ảo. Đối với vệ tinh Envisat, do kích thước đầu chân lớn (khoảng 18km) nên ảnh hưởng của đất liền đến kết quả đo lớn dẫn đến sai số trung phương cao và hệ số tương quan thu được khá thấp. Kết hợp chuỗi thời gian dựa trên độ cao mực nước từ các sứ mệnh trong cùng một quỹ đạo danh nghĩa (Envisat và Saral; Jason - 1, Jason - 2 và Jason - 3) hoặc tại các nhiệm vụ đan xen (Envisat/Saral với Sentinel - 3A/3B), đã thu được chuỗi thời gian đa nhiệm của mực nước. Trong trường hợp thứ hai, chênh lệch thời gian lớn nhất giữa lần thu nhận Saral và Sentinel-3A bằng một nửa độ dài của chu kỳ lặp lại ngắn nhất của hai vệ tinh (tức là 13 ngày tính đến 27 ngày của chu kỳ lặp của Sentinel-3A). Để giảm thiểu sự khác biệt trong việc lấy mẫu theo thời gian, các giai đoạn nước thấp được chọn, thay vì các giai đoạn nước cao hoặc chu kỳ thủy văn hoàn chỉnh, giả định rằng mực nước ổn định hơn trong các giai đoạn nước thấp.

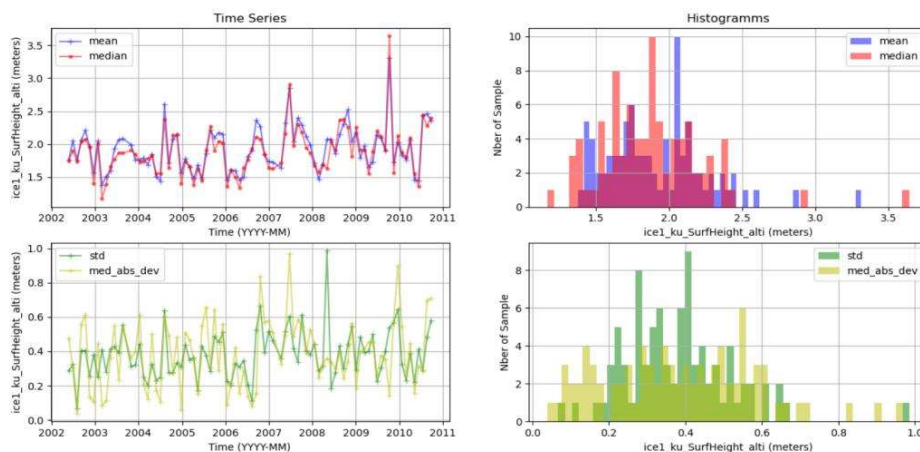
Bảng 3. Kết quả so sánh giữa chuỗi thời gian mực nước tại các trạm ảo và dữ liệu đo tại chỗ với các thông số về sai số trung phương, hệ số tương quan, độ lệch Bias, số quan sát chung, độ rộng của trạm ảo và khoảng cách giữa trạm ảo và trạm đo.

Trạm ảo	Độ rộng trạm ảo (km)	Trạm thủy văn	Khoảng cách hai trạm (km)	Số quan sát chung	Độ lệch bias	RMSE	R
EN_322	1,82	Cần Thơ	6,1	86	0,73	0,58	0,57
EN_780_1	2,68	Trà Vinh	23,36	82	0,87	0,78	0,77
S3A_0606	1,37	Cần Thơ	7,62	55	0,63	0,46	0,7
S3B_0720_3	1,49	Trà Vinh	20,77	27	0,69	0,42	0,61
S3A_021	3,57	Đại Ngãi	22,65	17	0,53	0,23	0,82
S3A_021	3,57	Cần Thơ	23,25	52	0,41,	-0,18	0,77

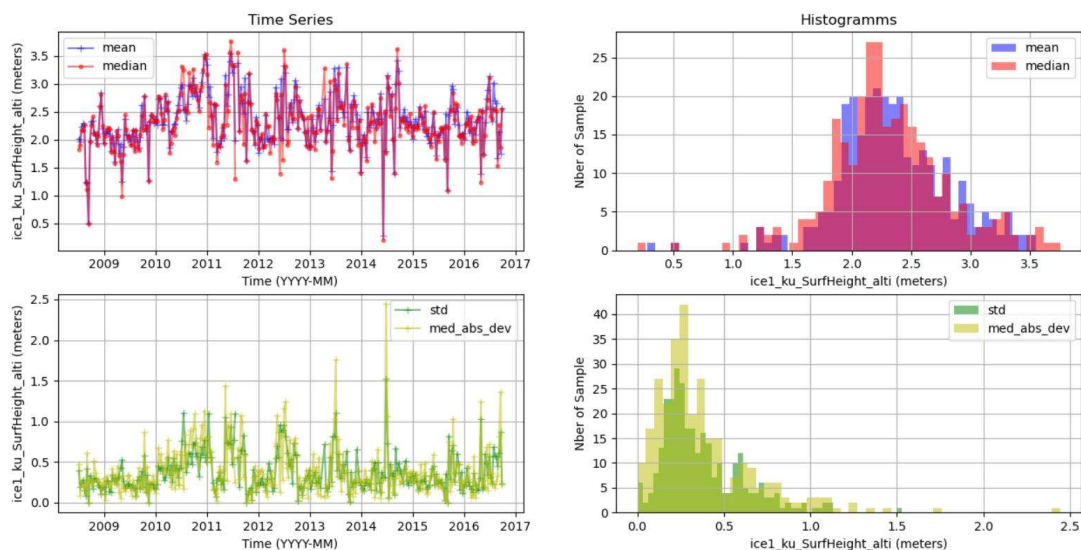
S3B_135_2	2,05	Trà Vinh	5,12	28	0,63	0,2	0,69
SRL_021_1	3,02	Trà Vinh	12,58	12	0,64	0,33	0,79
SRL_780_1	2,68	Trà Vinh	23,43	11	0,65	0,2	0,82
JA3_140	2,52	Trà Vinh	33,7	128	0,86	0,23	0,77
JA3_77_3	2,45	Trà Vinh	0,31	20	1,07	0,2	0,71
JA3_77_1	2,42	Đại Ngãi	23,5	12	1,12	0,23	0,64
JA3_77_1	2,42	Trần Đề	0,81	13	1,04	0,19	0,82
JA2_140	2,52	Trà Vinh	33,7	65	1,12	0,21	0,64
JA2_77_3	2,45	Trà Vinh	0,31	64	1,02	0,23	0,88
JA2_77_1	2,35	Trần Đề	0,81	75	1,3	0,26	0,72
JA2_77_1	2,35	Đại Ngãi	23,5	56	1,15	0,25	0,76
SRL_565	1,05	Cần Thơ	18,04	22	0,86	0,34	0,67

Kết quả trên bảng 3 cho thấy, tại các trạm ảo có chiều rộng của sông lớn, kết quả thu được cho độ tương quan cao. Trạm ảo JA2_77_3 có chiều rộng 2.45 km cho độ tương quan đạt 0.88 so với dữ liệu tại trạm thủy văn Trà Vinh. Điều này có thể giải thích do kích thước dấu chân của vệ tinh trên mặt đất phụ thuộc vào mỗi vệ tinh. Do đó, các trị đo cao vệ tinh sẽ bị ảnh hưởng bởi bề mặt đất. Vì vậy trạm ảo có độ rộng càng lớn thì ảnh hưởng bởi bề mặt đất xung quanh càng ít, độ chính xác càng cao. Hình 9, 10, 11 thể hiện chuỗi thời gian mực nước từ năm 2002 đến năm 2010 của vệ tinh Envisat (track 322), từ năm 2008 đến năm 2016 của vệ tinh Jason-2 (track 77), từ năm 2016 đến năm 2022 của vệ tinh Sentinel-3A (track 606) tương ứng. Biên độ hàng năm của mực nước thấp hơn được quan sát thấy trong khoảng thời gian quan sát Sentinel-3A so với các nhiệm vụ khác.

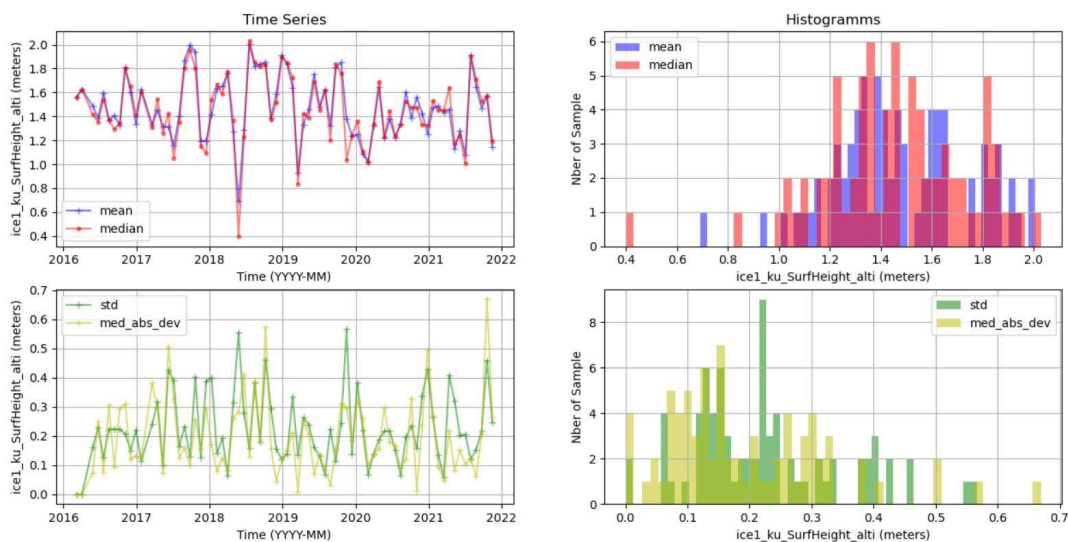
Mặc dù độ chính xác không cao khi nghiên cứu vùng nước lục địa do ảnh hưởng của đất liền lên trị đo nhưng các thể hệ vệ tinh đo cao mới đang dần cải thiện đáng kể về độ chính xác. Kết quả ở bảng 3 cho thấy sai số RMSE đạt 0.18m khi sử dụng dữ liệu Sentinel-3A, 0.19m với dữ liệu Sentinel-3B, 0.2m với dữ liệu Saral và Jason-3 tương ứng. Kết quả của nghiên cứu góp phần giám sát mực nước dài hạn tại những khu vực không có trạm đo thực địa.



Hình 9. Chuỗi thời gian mực nước tại trạm ảo EN_322



Hình 10. Chuỗi thời gian mực nước tại trạm ảo JA2-77-2



Hình 11. Chuỗi thời gian mực nước tại trạm ảo SA3-606

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này cung cấp đánh giá chi tiết về hiệu suất của trị đo mực nước tại khu vực đồng bằng sông Mekong dựa trên dữ liệu đo cao vệ tinh Envisat, Jason-1/2/3, SARAL đến Sentinel-3A/3B trong khoảng thời gian từ năm 2002 đến năm 2022. Thuật toán Ice-1 được sử dụng để lấy lại dạng sóng của tín hiệu radar trong vùng nước nội địa. Kết quả so sánh giữa mực nước tại chỗ và mực nước dựa trên dữ liệu đo cao có sai số RMSE từ 0.18 đến 0.78m và hệ số tương quan từ 0.57 đến 0.88. RMSE tốt nhất nhỏ hơn 0,2 m đối với mực nước thu được từ máy đo độ cao Sentinel-3A, Saral và Jason-3 nhờ các vệ tinh thế hệ mới này có kích thước đầu chân nhỏ nên giảm đáng kể ảnh hưởng của đất liền lên trị đo. Ngoài ra, việc sử dụng band Ka của vệ tinh Saral được đặc trưng bởi đầu chân nhỏ hơn cho phép thu được các ước tính khoảng cách hợp lệ hơn so với band Ku. Kết quả của nghiên cứu chỉ

ra rằng các hiệu chỉnh dựa trên mô hình GIM và mô hình ECMWF cung cấp các ước tính độ cao mực nước trong vùng nội địa chính xác hơn so với các hiệu chỉnh tầng điện ly dựa trên hai tần số và máy đo bức xạ thông thường. Bên cạnh đó, việc sử dụng các dữ liệu đo cao vệ tinh thế hệ mới (Jason-3, Sentinel 3A/3B), có thể hoạt động ở chế độ vòng lặp mở và có độ phân giải không gian cao làm tăng số lượng các phép đo độc lập đối với các vùng nước nội địa. Mạng lưới đo độ cao từ các trạm ảo cho phép (i) giám sát liên tục các giai đoạn nước trong một khu vực rộng lớn, (ii) phân tích các tác động có thể có của biến đổi khí hậu và tác động của con người đối với chu trình thủy văn của vùng đồng bằng sông Mekong. Kết quả của nghiên cứu góp phần bổ sung dữ liệu cho khu vực đồng bằng Sông Mekong, nơi nguồn nước đang ngày càng trở nên khan hiếm và khó quản lý.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED), với đề tài mã số 105.08-2020.17.

Tài liệu tham khảo

1. Baup F., Frappart F. and Maubant J. 2014. Use of satellite altimetry and imagery for monitoring the volume of small lakes. International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
2. Brown G. 1997. The average impulse response of a rough surface and its applications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation.
3. Chelton D.B. et al. 2001. Satellite Altimetry. In Satellite Altimetry and Earth Sciences. - San Diego, CA, USA.
4. Crétaux J.-F. et al. 2017. Hydrological applications of satellite altimetry: rivers, lakes, man-made reservoirs, inundated areas. In Satellite Altimetry Over Oceans and Land Surfaces. : Earth Observation of Global Changes.
5. F. Frappart et al. 2015a. Preliminary assessment of SARAL/AltiKa observations over the GangesBrahmaputra and Irrawaddy Rivers. Marine Geodesy. Vol. 38. pp. 568-580.
6. F. Frappart et al. 2017. Principles and Applications in Earth Sciences. Satellite Altimetry. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering.
7. Frappart F. et al. 2015. Surface freshwater storage variations in the orinoco floodplains using multi-satellite observations. Remote Sens.
8. Frappart F., Calmant, S., Cauhopé, M., Seyler, F., and Cazenave, A. 2006a. Preliminary results of envisat ra-2-derived water levels validation over the amazon basin [Journal] // Remote Sensing of Environment.
9. Frappart Frédéric et al. 2021. Evaluation of the Performances of Radar and Lidar Altimetry Missions for Water Level Retrievals in Mountainous Environment: The Case of the Swiss Lakes. Remote Sensing.
10. Mekong OpenDevelopment. 2008. Mekong River Basin Water Resources Assessment: Impacts of Climate Change [Online]. <https://opendevlopmentmekong.net/>

11. Phuong Lan Vu et al. 2018. Multi-Satellite Altimeter Validation along the French Atlantic Coast in the Southern Bay of Biscay from ERS-2 to SARAL. Remote sensing.

12. S. Biancamaria et al. 2017. Satellite radar altimetry water elevations performance over a hundred meter wide river: evaluation over the Garonne River. Advances in Space Research.

13. Saleh Abdalla et al. 2021. Altimetry for the future: Building on 25 years of progress. Advances in Space Research. Vol. 68.

14. Verron J. et al. 2015. The SARAL/AltiKa altimetry satellite mission. Mar. Geodesy . Vol. 38. pp. 2–21.

15. Wingham D. et al. 2006. Cryosat: A mission to determine the fluctuations in earth's land and marine ice fields. Advances in Space Research.

16. Wingham D.J. et al. 2006. A mission to determine the fluctuations in Earth's land and marine ice fields. Adv. Space Res. Vol. 37. pp. 841-871.