

THỬ NGHIỆM ĐỒNG HOÁ SỐ LIỆU ĐỘ CAO SÓNG TẠI TRẠM PHAO VÀ VỆ TINH BẰNG PHƯƠNG PHÁP LỌC KALMAN TỔ HỢP

Nguyễn Trung Thành

Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam

Doãn Tiến Hà

Phòng thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia về Động lực học sóng biển

Dư Đức Tiến

Tổng cục Khí tượng Thủy văn

Tóm tắt: Bài báo sử dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp và mô hình tính toán sóng SWAN được tích hợp trong phần mềm OpenDA để đồng hoá số liệu sóng trong khu vực Biển Đông. Các số liệu tại 04 trạm phao được sử dụng để đồng hoá số liệu nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc đồng hoá số liệu đến các điểm trên miền tính bằng cách đồng hoá số liệu tuần tự tại từng trạm phao và tại cả 04 trạm phao kết hợp với số liệu vệ tinh. Các kết quả thử nghiệm cho thấy hiệu quả của đồng hoá số liệu trong việc nâng cao chất lượng tính toán sóng và giảm sai số trong dự báo sóng ở cả giai đoạn 24 giờ và 48 giờ ở khu vực Biển Đông.

Từ khoá: SWAN, EnKF, Biển Đông, Trạm phao, Vệ tinh.

Summary: This paper uses ensemble Kalman filter method (integrated in OpenDA software) to assimilate wave data in BienDong for SWAN model. Four buoy stations and satellite data were used to assimilate data to validate the impact of assimilation on wave forecast over BienDong sea. First results show the positive effects of data assimilation in improving wave forecast by reducing errors in wave prediction at both 24-hour and 48-hour periods in BienDong sea.

Keywords: SWAN, EnKF, East Sea, Buoy Station, Satellite data.

1. MỞ ĐẦU

Việc tính toán dự báo nhằm đánh giá tính hiệu quả và độ chính xác của trạng thái mặt biển trong tương lai. Để tìm được các biến trạng thái tối ưu thì quá trình đồng hoá số liệu sẽ cung cấp các thuật toán khác nhau để đánh giá tham số, đồng thời cũng đánh giá độ tin cậy của các quan trắc cũng như kết quả dự báo từ mô hình số. Thông thường các sơ đồ đồng hoá số liệu thường bao gồm ba thành phần cơ bản: mô hình số, các số liệu quan trắc trực tiếp hay gián tiếp và sơ đồ đồng hoá số liệu. Có rất nhiều loại sơ đồ đồng hoá số liệu khác nhau được phát triển và ứng dụng trên thế giới như đồng hoá biến phân 3 chiều (3DVar), đồng hoá biến phân 4

chiều (4DVar), nội suy tối ưu (IO)... Trong đó, phương pháp đồng hoá số liệu lọc Kalman tổ hợp (EnKF) được đánh giá là có một số ưu điểm nổi trội như là không cần phải phát triển các mô hình tiếp tuyến, điều này cho phép EnKF được áp dụng dễ dàng vào các mô hình mà không cần can thiệp vào phần lõi của mô hình. Hơn nữa, EnKF cho phép tạo ra trường nhiều ban đầu biến đổi theo thời gian [1, 3]. Vì vậy, bài báo tiến hành thử nghiệm đồng hoá số liệu độ cao sóng ở các trạm phao và số liệu vệ tinh bằng phương pháp EnKF kết hợp với mô hình SWAN được tích hợp trong bộ phần mềm OpenDA [13] để tính toán sóng cho khu vực Biển Đông.

Ngày nhận bài: 25/6/2019

Ngày thông qua phản biện: 15/7/2019

Ngày duyệt đăng: 05/8/2019

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ SỐ LIỆU TÍNH TOÁN

2.1. Phương pháp đồng hoá số liệu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp đồng hoá số liệu lọc Kalman tổ hợp (EnKF). Phương pháp này được Evensen [6] phát triển dựa trên phương pháp lọc Kalman mở rộng (EKF) vào năm 1994, sau đó nó tiếp tục được ông hoàn thiện vào các năm 1999 [7] và 2003 [8].

Quá trình tính toán bằng phương pháp EnKF được chia thành 2 bước như sau:

(1) *Bước dự báo*: giả thiết rằng tại bước thời gian k có q thành phần tổ hợp để đánh giá các trạng thái của mô hình x_k^f bằng việc sử dụng các sai số phân bố thông thường. Xét mô hình ngẫu nhiên rời rạc phi tuyến:

$$x_k^f = f(x_{k-1}, \Phi_{k-1}) + \omega_{k-1} \quad (1)$$

trong đó Φ_{k-1} là vector điều khiển và ω_{k-1} là sai số ngẫu nhiên trung bình tại thời điểm $k-1$. Các quan trắc tương ứng với trạng thái của mô hình có thể được mô tả như sau:

$$y_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

trong đó H liên quan đến trạng thái mô hình x với quan trắc là y và v là sai số quan trắc.

Nếu x và y có cùng số lượng thì H có thể trở thành ma trận nhận dạng.

Giả thiết tại bước thời gian k , có q thành phần trạng thái mô hình dự báo thì:

$$X_k^f = [x_k^{f1}, x_k^{f2}, \dots, x_k^{fq}] \quad (3)$$

(2) *Bước phân tích*: Sai số hiệp phương sai hay sai số dự kiến của các trạng thái mô hình dự báo tại các điểm phân tích và các điểm quan trắc có thể được xác định bởi các thành phần tổ hợp từ phương trình (2)

$$P_k^f H^T = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q (x_k^{fi} - x_k^t)(Hx_k^{fi} - Hx_k^t)^T \quad (4)$$

trong đó trạng thái đúng x_k^t chưa biết, sử dụng trung bình các thành phần tổ hợp để xấp xỉ trạng thái đúng như sau:

$$x_k^t \approx \bar{x}_k^f = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q x_k^{fi} \quad (5)$$

thì phương trình (4) có dạng:

$$P_k^f H^T = \frac{1}{q-1} \sum_{i=1}^q (x_k^{fi} - \bar{x}_k^f)(Hx_k^{fi} - H\bar{x}_k^f)^T \quad (6)$$

Cần lưu ý rằng để làm cho ước tính không chênh lệch thì yếu tố $1/(q-1)$ được sử dụng thay cho $1/q$.

$P_k^f H^T$ trong phương trình (6) có thể xác định trực tiếp từ các thành phần tổ hợp và $H P_k^f H^T$ là ma trận toàn miền cho tất cả các trạng thái mô hình để tính phương sai giữa các giá trị dự báo tại các điểm quan trắc. Cần lưu ý rằng với tất cả q thành phần tổ hợp thì thành phần Kalman K luôn có cùng giá trị với tất cả trạng thái của mô hình được phản chiếu thay vì một giá trị riêng của mỗi thành phần tổ hợp, điều này làm giảm đáng kể chi phí tính toán. Ngoài ra, ma trận sai số hiệp phương sai không cần phải được lưu cho chu kỳ phân tích tiếp theo, điều này cũng cải thiện hiệu quả mô hình bằng cách giải phóng không gian bộ nhớ để sử dụng cho các bước tiếp theo.

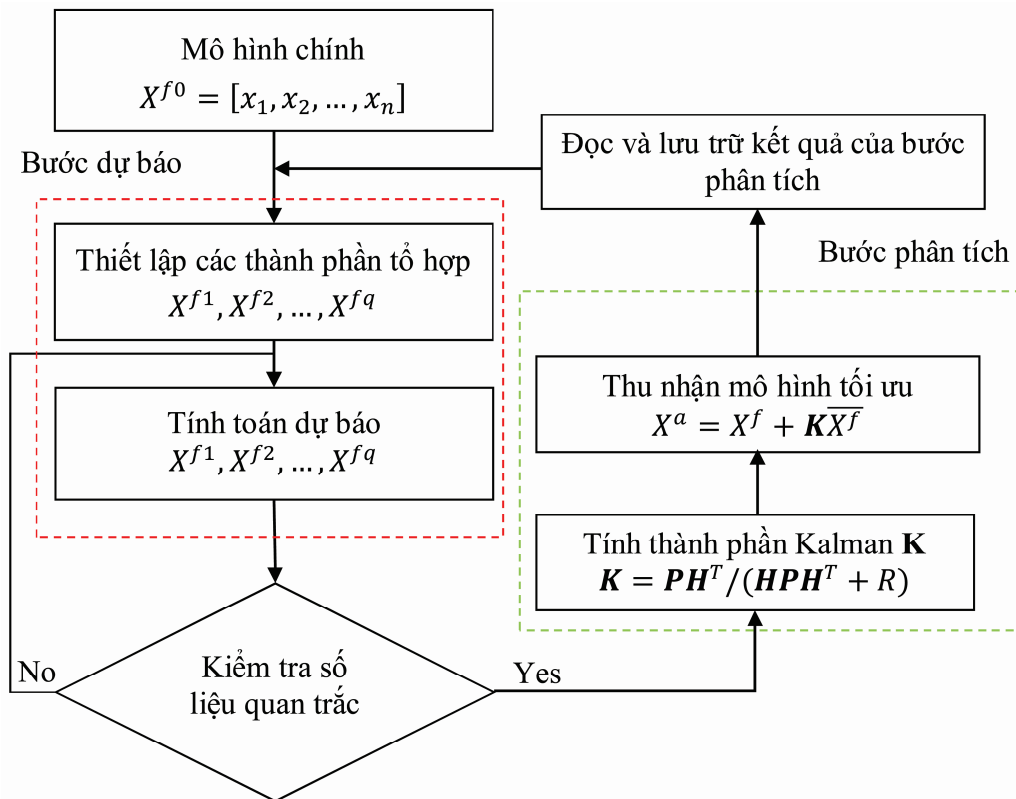
Hình 1 bên dưới sẽ mô tả các bước tính toán đồng hoá số liệu bằng phương pháp lọc Kalman tổ hợp (EnKF):

Sau khi thành phần Kalman K nhận được ở bước phân tích thì việc phân tích thực hiện cập nhật tất cả các trạng thái của mô hình thậm chí cho cả các khu vực không có quan trắc trực tiếp trong miền tính. Việc chuyển từ bước dự báo sang bước phân tích được thực hiện thông qua kiểm tra số liệu quan trắc. Nếu không có số liệu quan trắc thì quay trở lại tính toán dự báo ở bước tiếp theo, nếu có số liệu quan trắc thì chuyển sang bước phân tích.

EnKF sử dụng quan trắc bị nhiễu loạn để duy trì một phạm vi hợp lý của dải tổ hợp để tránh phân kỳ của quá trình lọc [4]. Phương pháp này

cũng là phương pháp được Verlaan và nnk [13] thuộc Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan tích hợp vào trong bộ phần mềm OpenDA nhằm liên

kết các phương pháp đồng hoá số liệu với các mô hình số trong đó có mô hình SWAN.



Hình 1: Sơ đồ khối các bước tính toán đồng hoá số liệu bằng EnKF

2.2. Mô hình sóng SWAN

SWAN là mô hình tính toán sóng thế hệ ba [12], tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng. SWAN (được

viết tắt từ Simulating WAVes Nearshore) cho phép tính toán các đặc trưng sóng ngoài khơi, vùng gần bờ, trong các hồ và vùng cửa sông từ các điều kiện của gió, ma sát đáy và dòng chảy.

Trong SWAN sự tiến triển của phổ sóng được mô tả bằng phương trình cân bằng tác động phổ của Booij và nnk [2] được viết trong hệ toạ độ Đề Các như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (7)$$

Thành phần đầu trong vế trái là thay đổi của phổ mật độ tác động theo thời gian. Thành phần thứ hai và thứ ba là sự lan truyền của phổ mật độ tác động trong không gian địa lý (với vận tốc truyền là C_x và C_y tương ứng trong hướng x và

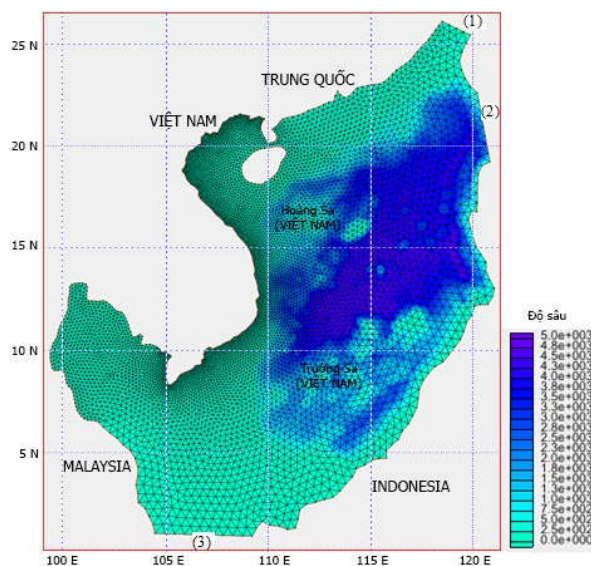
y). Thành phần thứ tư biểu thị sự thay đổi của tần số dưới ảnh hưởng của độ sâu và dòng chảy (với vận tốc truyền là C_σ). Thành phần thứ năm biểu thị sự tác động của độ sâu và dòng chảy đối với hiệu ứng khúc xạ. Vế phải của phương

trình biểu thị các nguồn năng lượng sóng bao gồm tất cả các số hạng phát sinh/tiêu tán và mô tả tất cả quá trình vật lý như tạo sóng, tiêu tán sóng và phân phối lại năng lượng sóng Komen và nnk [9]. Trong mô hình SWAN, lời giải của phương trình cân bằng tác động sóng được triển khai bằng một số sơ đồ khác nhau trong cả năm chiều (thời gian, không gian địa lý, không gian phổ).

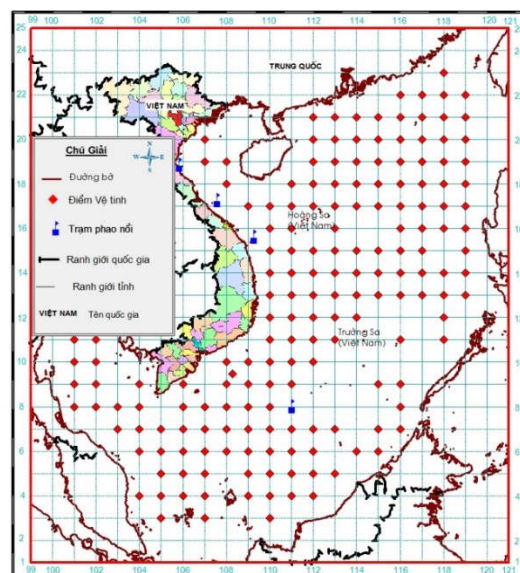
2.3. Thiết lập mô hình và số liệu thử nghiệm

Miền tính là toàn bộ khu vực Biển Đông trải dài từ 1,5 đến 25 độ vĩ bắc (từ 150.000 đến

2.800.000 hệ toạ độ VN2000 múi chiếu 105) và từ 99 đến 121 độ kinh đông (từ -150.000 đến 2.200.000 hệ toạ độ VN2000 múi chiếu 105). Lưới tính là lưới tính phi cấu trúc với bước lưới ở khu vực gần bờ là 10km và thưa dần ra ngoài khơi, tổng số ô lưới là 12.858 được tạo bởi phần mềm ADCIRC của SMS phiên bản 10.0 [5]. Có 3 biên lỏng là biên eo biển Đài Loan (1), eo biển Bashi (2) và eo biển Malacca (3). Số liệu độ sâu được thu thập từ nguồn số liệu ETOPO của NOAA [14] và các số liệu địa hình chi tiết tại khu vực gần bờ của các đợt điều tra khảo sát biển trong vùng nghiên cứu.



(a)



(b)

Hình 2: (a)-Địa hình và lưới tính khu vực Biển Đông, (b)-Các điểm đồng hoá số liệu

Trường gió được sử dụng trong nghiên cứu là trường gió tái phân tích toàn cầu CFSv2 của Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc Gia Mỹ (NCEP) với bước lưới là $0,2 \times 0,2$ độ và bước thời gian là 01 giờ từ năm 1979 đến nay [10]. Số liệu sóng tại các biên được đưa vào làm đầu vào là độ cao, chu kỳ và hướng sóng tại các biên là số liệu sóng tái phân tích toàn cầu của ECMWF với bước lưới $0,25 \times 0,25$ độ, bước thời gian 6 giờ từ năm 1979 đến nay [16].

Các số liệu phục vụ cho việc đồng hoá số liệu

được thu thập từ 2 nguồn chính:

Số liệu tại các trạm trạm phao, với các thông tin được mô tả như sau: (Bảng 1).

Các trạm phao được đặt trên phạm vi khá rộng trải dài từ bắc Biển Đông xuống nam Biển Đông, các trạm này cũng có độ sâu thay đổi khá mạnh ở cả khu vực gần bờ và xa bờ.

- Số liệu độ cao sóng từ các vệ tinh dưới dạng tuyến track thu thập từ Trung tâm Dịch vụ Trích xuất Số liệu Trực tuyến [15], trong thời gian tính toán chỉ có hai vệ tinh hoạt động đó là vệ

tình ERS-2 và Geosat – Follow (G2). Với sự phát triển của công nghệ vệ tinh hiện nay độ cao sóng có nghĩa (SWH) thu nhận được từ vệ tinh

đã ngày càng tiệm cận so với các số liệu quan trắc tại các trạm phao trên toàn cầu và có sai số nhỏ hơn 10% [11].

Bảng 1: Bảng thông tin về các trạm phao

Tên trạm	Toạ độ	Độ sâu	Thông tin mô tả
4001	17°18N, 107°35E	68m	Cách bờ biển tỉnh Quảng Trị khoảng 60km, cách đảo Cồn Cỏ khoảng 30km
4002	18°49N, 105°48E	15m	Cách bờ biển tỉnh Nghệ An khoảng 8km, cách đảo Hòn Ngư khoảng 3km
4003	15°39N, 109°17E	187m	Cách bờ khoảng 56km, cách đảo Lý Sơn khoảng 35km
4004	8°2N, 110°62E	1900m	Nằm trong khu vực DKI của Việt Nam

Để thực hiện việc đồng hoá số liệu bằng độ cao sóng từ vệ tinh cần phải tập hợp các số liệu rời rạc này về các bước thời gian đều nhau và ứng với các vị trí không gian cố định, trong nghiên cứu này sử dụng bước thời gian 01 giờ và 174 điểm theo không gian. Việc truy xuất độ cao sóng được thực hiện tuần tự: Lựa chọn các vệ tinh và tải các file số liệu dạng tuyến track của mỗi vệ tinh nằm trong khoảng thời gian tính toán; Truy xuất độ cao sóng dạng tuyến track vào 174 điểm (hình 2): về không gian sử dụng phương pháp nội suy trọng số tất cả các điểm lân cận mỗi điểm với bán kính 0,5 độ, về thời gian chọn tất cả các thời điểm xung quanh giờ tròn 30 phút. Các thời điểm không có số liệu sẽ được gán giá trị -999 để mô hình không đưa các giá trị này tham gia vào quá trình tính toán.

Các số liệu trên được xử lý và chuyển đổi theo chuẩn đầu vào của SWAN cũng như của OpenDA để đưa vào tính toán.

2.4. Các chỉ số đánh giá sai số

Để đánh giá sai số của các kết quả tính toán nghiên cứu dựa trên các chỉ số sau:

- Sai số trung bình (ME - Mean Error)

$$ME = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (for(i) - obs(i)), \quad (8)$$

trong đó $obs(i)$ là giá trị quan trắc tại thời điểm i , $for(i)$ là giá trị dự báo tương ứng tại thời điểm i , và k là số lượng các giá trị quan trắc trong chuỗi quan trắc.

- Sai số bình phương trung bình quân phương (RMSE - Root mean square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (for(i) - obs(i))^2}, \quad (9)$$

3. NỘI DUNG VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Nội dung tính toán

Về thời gian tính toán được phân theo nhóm để đánh giá:

- Tổng thời gian tính (Toàn thời gian): từ 0 giờ ngày 16/4/2001 đến 23 giờ ngày 20/4/2001.

- Khoảng thời gian đồng hoá số liệu (EnKF): từ 0 giờ ngày 16/4/2001 đến 23 giờ ngày 18/4/2001. Trong giai đoạn này các số liệu từng giờ tại trạm phao được đưa vào để tính toán đồng hoá số liệu.

- Khoảng thời gian dự báo 24 giờ (Dự báo 24 giờ): từ 0 giờ ngày 19/4/2001 đến 23 giờ ngày 19/4/2001. Trong giai đoạn này chỉ sử dụng trường nền tại thời điểm 23 giờ ngày 18/4/2001 và trường gió tại từng thành phần tổ hợp để tính toán dự báo.

- Khoảng thời gian dự báo 48 giờ (Dự báo 48 giờ): từ 0 giờ ngày 20/4/2001 đến 23 giờ ngày 20/4/2001. Cũng giống như giai đoạn trước, giai đoạn này cũng sử dụng trường nền tại thời điểm 23 giờ ngày 18/4/2001 và trường gió tại từng thành phần tổ hợp để tính toán dự báo.

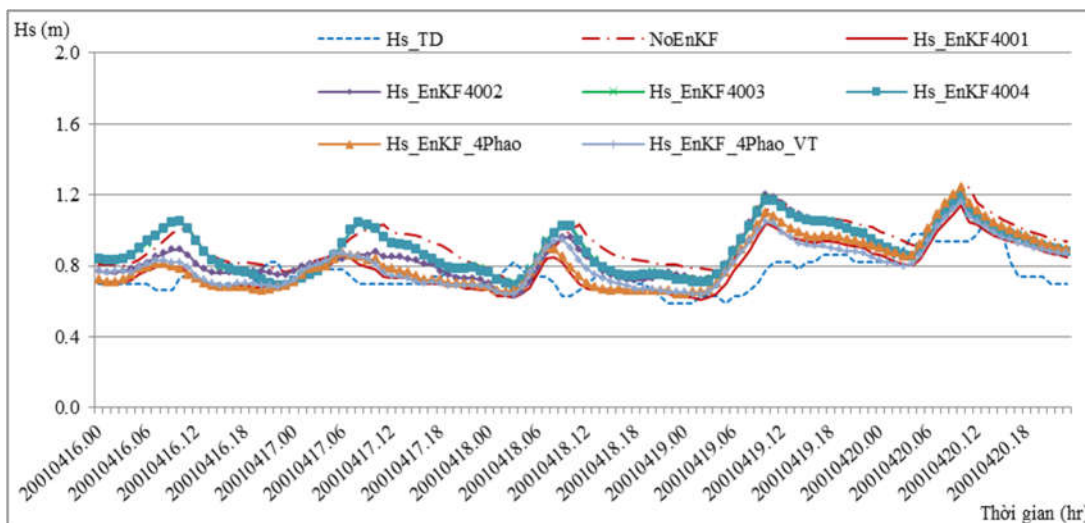
Về phương án tính toán: việc tính toán được thực hiện tuần tự bằng cách tính đồng hoá số

liệu tại từng trạm phao (4001, 4002, 4003, 4004) và đánh giá kết quả ở tại cả 4 trạm phao; 4 trạm phao kết hợp với số liệu vệ tinh.

3.2. Kết quả tính toán

3.2.1. Trạm phao 4001

Các kết quả tính toán các phương án tại trạm phao 4001 được thể hiện như sau:



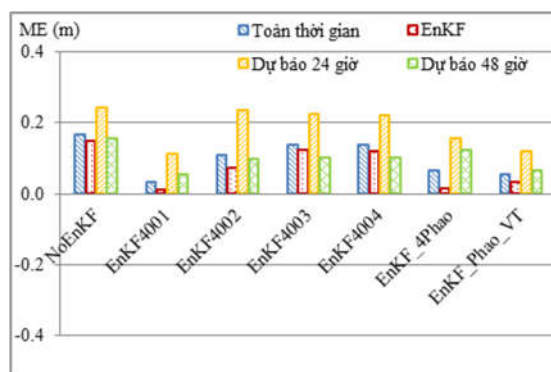
Hình 3: Biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp tại trạm 4001 giữa các phương án

Hình 3 biểu diễn biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp trong các phương án đồng hoá số liệu trong cả giai đoạn đồng hoá và giai đoạn dự báo. Các kết quả tính toán cho thấy, việc đồng hoá số liệu có ảnh hưởng khá lớn đến kết quả tính toán trong các phương án đồng hoá tại trạm 4001, tại cả 4 trạm phao cũng như việc kết hợp với số liệu vệ tinh. Trong giai đoạn đồng hoá thì biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp khá trùng với giá trị thực đo cả về pha và độ lớn, việc đồng hoá còn ảnh hưởng tiếp trong giai đoạn dự báo thêm 24 giờ nữa, tuy nhiên trong giai đoạn dự báo 48 giờ thì việc đồng hoá ảnh hưởng ít hơn và có xu thế trở về trạng thái như phương án không đồng hoá.

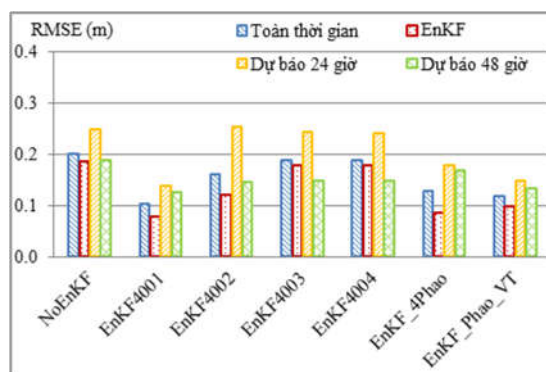
Việc đồng hoá ở các trạm phao khác (4002, 4003, 4004) cũng có ảnh hưởng đến kết quả

ở trạm phao 4001, nhưng mức độ ảnh hưởng cũng khác nhau tùy theo khoảng cách giữa các trạm tới trạm 4001. Để đánh giá chi tiết hơn ảnh hưởng của việc đồng hoá số liệu, nghiên cứu tiến hành đánh giá các chỉ số sai số tại trạm phao 4001, cụ thể như sau: (Hình 4).

Các kết quả tại hình 4 cho thấy giá trị ME đều dương tức là các kết quả tính toán cao hơn giá trị thực đo. Khi chỉ đồng hoá tại trạm 4001, các giá trị ME và RMSE đều khá nhỏ ($ME=0,03$, $RMSE=0,1$ trên toàn thời gian), các kết quả cũng cho thấy khi đồng hoá số liệu ở các trạm phao khác cũng tác động tích cực đến kết quả tại trạm 4001 cả trong giai đoạn đồng hoá số liệu và giai đoạn dự báo.



(a)

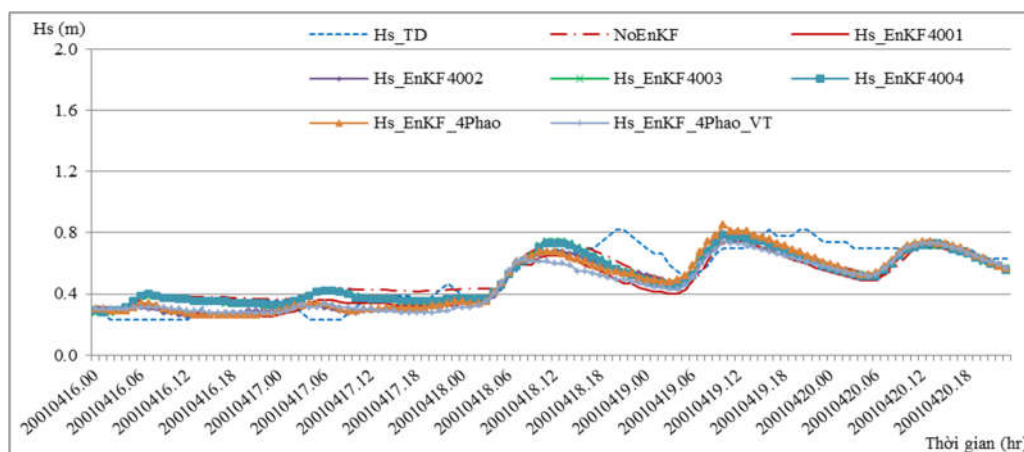


(b)

Hình 4: Chỉ số ME và RMSE tại trạm phao 4001 giữa các phương án

3.2.2. Trạm phao 4002

Các kết quả tính toán tại trạm phao 4002 được thể hiện như sau:

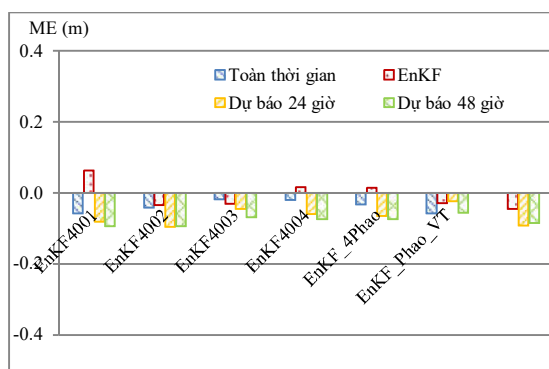


Hình 5: Biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp tại trạm 4002 giữa các phương án

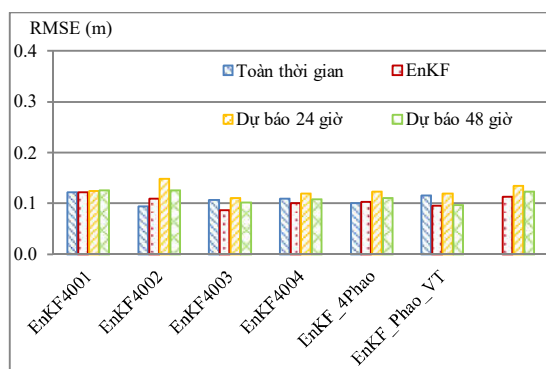
Các kết quả ở hình 5 cho thấy, khác với tại trạm phao 4001, ở trạm phao 4002 kết quả tính toán được chia thành 2 giai đoạn. Trong khoảng 2 ngày đầu kết quả tính toán có xu hướng thiên cao so với thực đo, trong giai đoạn 3 ngày sau kết lại có

xu hướng thiên thấp.

Cũng giống như ở trên, nghiên cứu cũng tiến hành đánh giá các chỉ số sai số tại trạm phao 4002, cụ thể như sau:



(a)



(b)

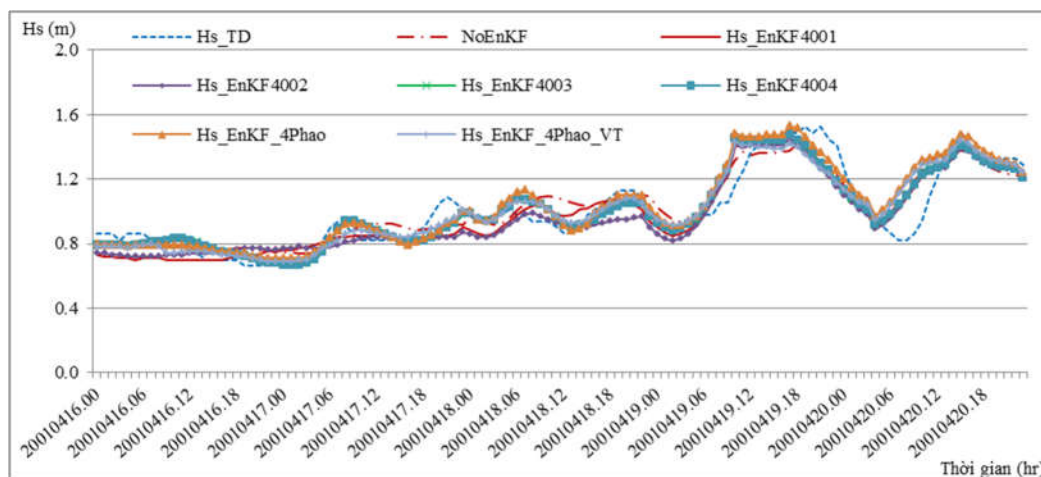
Hình 6: Chỉ số ME và RMSE tại trạm phao 4002 giữa các phương án

Như đã nhận xét ở trên, đối với phương án NoEnKF trong 2 ngày đầu kết quả tính toán có xu hướng thiên cao ME có giá trị dương, trong giai đoạn tiếp theo ME có giá trị âm tức kết quả tính toán có xu hướng thiên thấp. Đối với phương án đồng hoá số liệu, các kết quả tính toán đều có xu hướng thiên thấp trong tất cả các giai đoạn. Trạm phao 4002 nằm tương đối gần

bờ nên độ cao sóng ở đây nhỏ, độ cao sóng cao nhất trong giai đoạn tính toán chỉ khoảng 0,8m nên các chỉ số đánh giá sai số đều nhỏ.

3.2.3. Trạm phao 4003

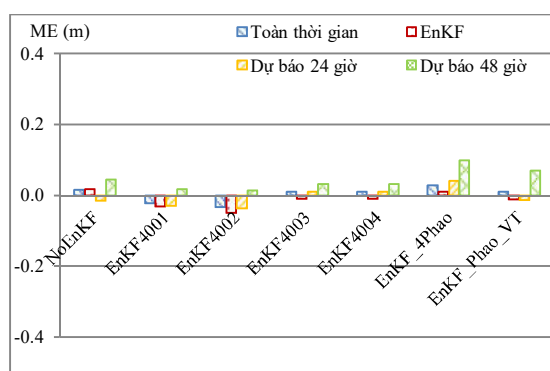
Các kết quả tính toán tại trạm phao 4003 được thể hiện như sau:



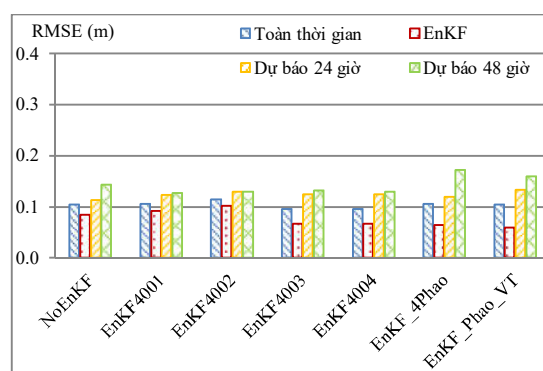
Hình 7: Biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp tại trạm 4003 giữa các phương án

Không giống như với 2 trạm phao ở trên, kết quả tính toán ở trạm này (hình 7) bám khá tốt đường biến trình đo đạc, đặc biệt là khi đồng hoá số liệu tại chính trạm 4003.

Tương tự như trên, nghiên cứu cũng tiến hành đánh giá các chỉ số sai số tại trạm phao 4003, cụ thể như sau:



(a)



(b)

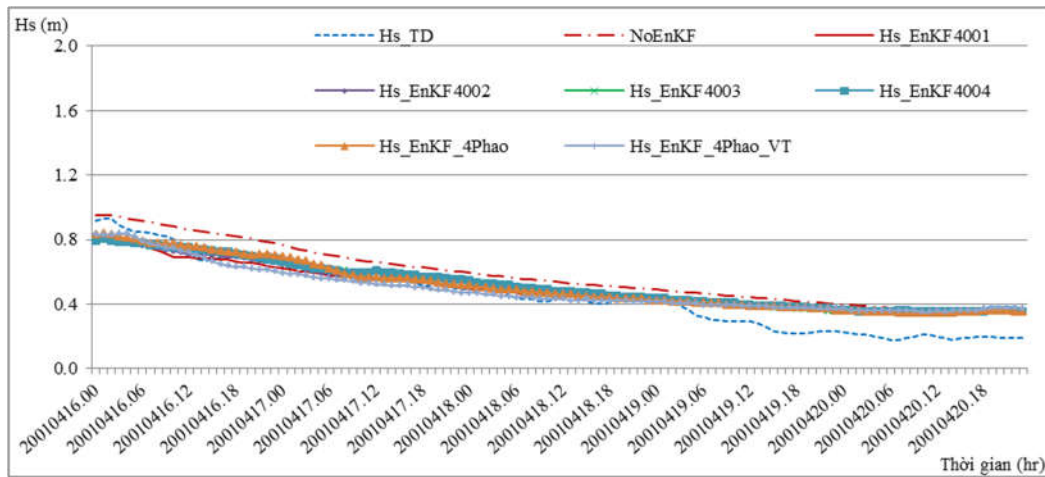
Hình 8: Chỉ số ME và RMSE tại trạm phao 4003 giữa các phương án

Trong toàn bộ khoảng thời gian tính, ngay trong phương án NoEnKF các kết quả ở hình 8 cho thấy giá trị ME và RMSE đã khá nhỏ ($ME = 0,02m$, $RMSE = 0,11m$). Chính vì vậy,

việc đồng hoá số liệu cũng làm giảm các chỉ số sai số nhưng mức độ thay đổi là không đáng kể giữa các phương án.

3.2.4. Trạm phao 4004

Các kết quả tính toán tại trạm phao 4004 được thể hiện như sau:



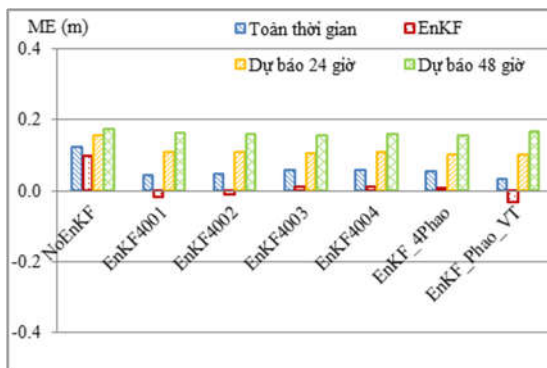
Hình 9: Biến trình độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp tại trạm 4004 giữa các phương án

Đường biến trình độ cao sóng ở hình 9 cho thấy, trong giai đoạn tính toán độ cao sóng có xu hướng giảm dần theo thời gian. Nguyên nhân của quá trình thay đổi này là do ở giai đoạn đầu (3 ngày đầu) trường gió và kéo theo là trường sóng ở Biển Đông có hướng chủ đạo là đông bắc tây nam khá mạnh; trong 2 ngày tiếp theo trường gió thay đổi dần, ở phía bắc Biển Đông vẫn có hướng đông bắc nhưng ở khu vực nam Biển Đông gió chuyển dịch sang hướng tây nam yếu.

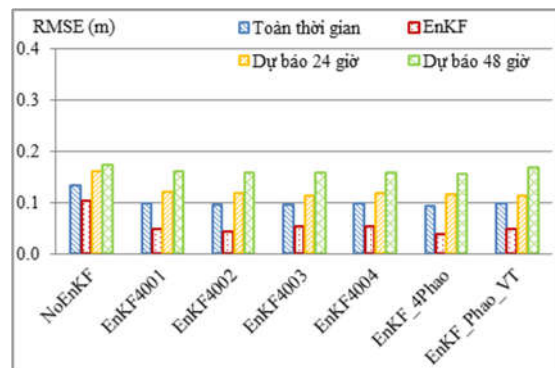
Trong phương án NoEnKF, có sự khác biệt khá rõ giữa giai đoạn đồng hoá số liệu và giai đoạn

dự báo, trong giai đoạn đồng hoá thì đường biến trình tính toán khá sát với thực đo nhưng trong giai đoạn dự báo các kết quả tính toán có xu hướng thiên cao so với thực đo nguyên nhân là do độ tán gió có xu hướng gia tăng trường gió ở khu vực tính toán so với các khu vực khác trong miền tính, tuy nhiên mức gia tăng này là nhỏ.

Để đánh giá chi tiết hơn ảnh hưởng của việc đồng hoá số liệu, nghiên cứu tiến hành đánh giá các chỉ số sai số tại trạm phao 4004, cụ thể như sau:



(a)



(b)

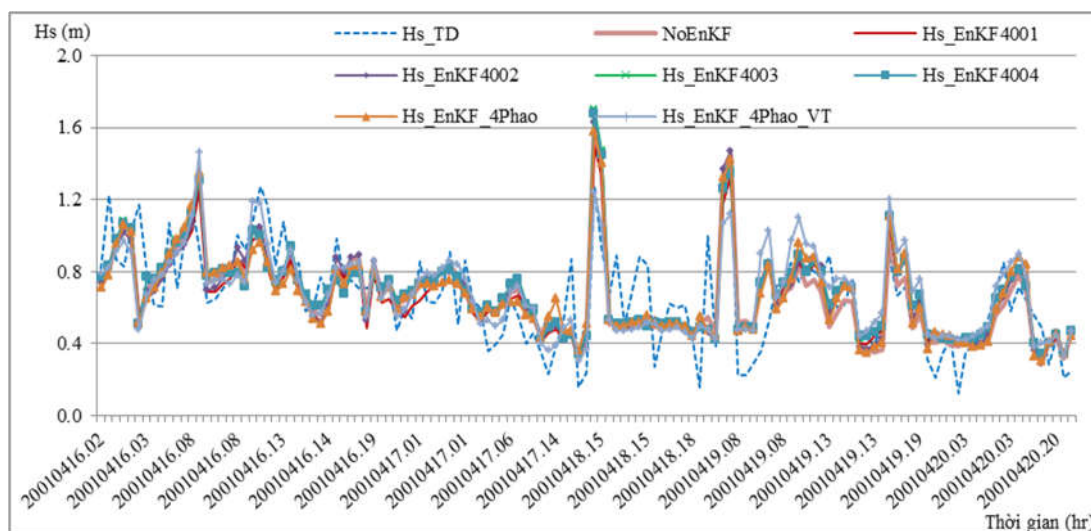
Hình 10: Chỉ số ME và RMSE tại trạm phao 4004 giữa các phương án

Hình 10 biểu diễn các chỉ số sai số (ME, RMSE) giữa các phương án. Các kết quả tính toán cho thấy, các chỉ số sai số đều được cải thiện theo hướng tích cực và giảm đi đáng kể sau khi thực hiện đồng hoá số liệu.

3.2.5. Kết quả tính toán với số liệu vệ tinh

Không giống như với các trạm phao, các số liệu vệ tinh được trích ra theo các điểm trải rộng trên

khắp Biển Đông và được nội suy dựa trên đường đi của các vệ tinh. Trong giai đoạn tính toán chỉ có 2 vệ tinh cung cấp độ cao sóng có nghĩa hoạt động đó là vệ tinh ERS-2 và vệ tinh Geosat - Follow (G2), nghiên cứu tính được 128 điểm để phục vụ đồng hoá số liệu từ vệ tinh. Các kết quả tính toán đối với số liệu vệ tinh được thể hiện như sau:

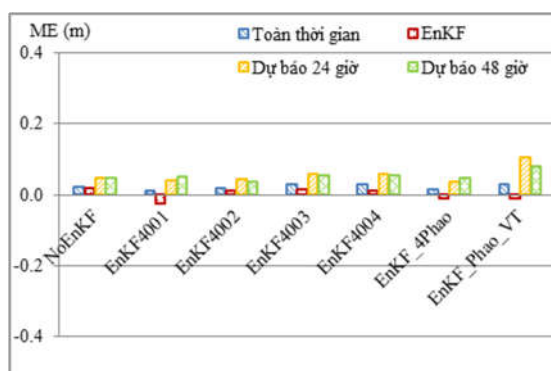


Hình 11: Độ cao sóng có nghĩa trung bình tổ hợp tại các điểm vệ tinh giữa các phương án

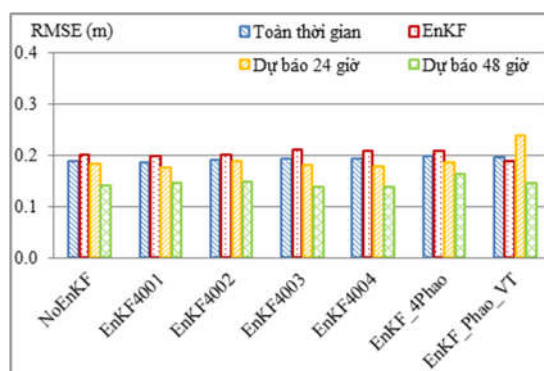
Kết quả trong hình 11 cho thấy không có sự khác biệt nhiều giữa các phương án do các điểm vệ tinh nằm tương đối rải rác và cũng là các điểm nội suy lại để quy về các thời gian tròn cũng như quy về các điểm cố định nên tại nhiều vị trí kết quả tính toán cũng chưa bắt tốt

kết quả từ vệ tinh.

Để đánh giá chi tiết hơn ảnh hưởng của việc đồng hoá số liệu, nghiên cứu tiến hành đánh giá các chỉ số sai số đối với các điểm vệ tinh, cụ thể như sau:



(a)



(b)

Hình 12: Chỉ số ME và RMSE tại các điểm vệ tinh giữa các phương án

Các kết quả ở hình 12 cho thấy các chỉ số sai số ME và RMSE đều nhỏ và ít có sự chênh lệch giữa các phương án. Do các điểm đồng hoá từ số liệu vệ tinh nằm khá rải rác, các điểm này phân bố tương đối thưa theo cả không gian và thời gian nên tác động của việc đồng hoá số liệu đối với các số liệu vệ tinh ít thay đổi giữa đồng hoá số liệu và không đồng hoá số liệu và giữa các phương án đồng hoá số liệu.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã áp dụng thử nghiệm phương pháp lọc Kalman tổ hợp kết hợp với mô hình SWAN được tích hợp trong bộ phần mềm OpenDA và thấy rằng đây là công cụ khá hiệu quả và hữu ích làm tăng độ chính xác của kết quả tính toán và dự báo.

Việc đồng hoá số liệu được thực hiện tuần tự với từng trạm phao (4001, 4002, 4003 và 4004) cho thấy quá trình đồng hoá số liệu không chỉ ảnh hưởng trực tiếp tới trạm phao được sử dụng để đồng hoá số liệu mà còn ảnh hưởng đến cả miền tính và đều làm giảm sai số của các trạm phao còn lại không tham gia đồng hoá số liệu.

Khi đồng hoá số liệu đồng thời tại cả bốn trạm phao và cả số liệu vệ tinh các kết quả cũng cho

thấy sai số tính toán tại từng trạm phao trong phương án này cao hơn so với các phương án đồng hoá số liệu tại một trạm phao đó nhưng lại tốt hơn so với các phương án đồng hoá số liệu ở các trạm phao khác.

Các kết quả tính toán cũng cho thấy việc đồng hoá số liệu không chỉ làm tăng độ chính xác của tính toán trong giai đoạn đồng hoá số liệu mà còn làm giảm sai số tính toán trong giai đoạn dự báo 24 giờ và tiếp tục tác động tích cực đến kết quả dự báo trong 48 giờ.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu sinh và tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Đề tài Khoa học công nghệ cấp Quốc gia “Nghiên cứu, đề xuất giải pháp công nghệ phù hợp, hiệu quả để tiêu giảm sóng nhằm nâng cao độ an toàn cho đề biển Nam Định”, mã số ĐTĐLCN.40/18 và Đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu áp dụng kỹ thuật đồng hoá số liệu nhằm xây dựng bộ dữ liệu phục vụ lập các bản đồ trường sóng và dòng chảy tầng mặt vùng biển ven bờ, áp dụng thử nghiệm cho vùng biển tỉnh Quảng Bình (TNMT.2018.06.03)”, đã tài trợ, cung cấp các dữ liệu cần thiết phục vụ nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kiều Quốc Chánh (2011), "Tổng quan hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp và ứng dụng cho mô hình dự báo thời tiết WRF", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* 27 Số 1S (2011), tr. 17-28.
- [2] N Booij, R C Ris và L H Holthuijsen (1999), "A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation", *Journal of Geophysical Research*. 104 (C4), tr. 7649–7666.
- [3] F. Bouttier và P. Courtier (2002), "Data assimilation concepts and methods", *Meteorological Training Course Lecture Series, ECMWF*.
- [4] Gerrit Burgers, Peter Jan van Leeuwen và Geir Evensen (1998), "Analysis Scheme in the Ensemble Kalman Filter", *Monthly weather review*. 126(6), tr. 1719-1724.
- [5] Environmental Modeling Research Laboratory (2009), "ADCIRC Analysis", *Surface Water Modeling System*.
- [6] Geir Evensen (1994), "Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic

model using Monte Carlo methods to ear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods", *Journal of Geophysical Research*. 99, tr. 143-162.

- [7] Geir Evensen (1999), "An Ensemble Kalman Smoother for Nonlinear Dynamics", *American Meteorological Society*. 128, tr. 1852-1867.
- [8] Geir Evensen (2003), "The Ensemble Kalman Filter: theoretical formulation and practical implementation", *Ocean Dynamics*. 53, tr. 343-367.
- [9] G. Komen và các cộng sự. (1994), "Dynamics and Modeling of Ocean Waves", *Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.*
- [10] Suranjana Saha và các cộng sự. (2014), "The NCEP Climate Forecast System Version 2", *Journal of Climate*. 27, tr. 2185-2208.
- [11] Claus Solvsteen và Carsten Hansen (2006), "Comparison of Altimetry Wave and Wind Data with Model and Buoy Data", *Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry*.
- [12] The SWAN team (2016), "Swan user manual", *Delft University of Technology*.
- [13] Martin Verlaan (2016), "Data assimilation methods available in OpenDA", *Open DA User Documentation*, Deltares in Delft, the Netherlands, tr. 116.
- [14] <http://ngdc.noaa.gov>.
- [15] <http://odes.altimetry.cnes.fr>.
- [16] <http://www.ecmwf.int/en/research/modelling-and-prediction/marine>.