

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ảnh hưởng của số thành phần tổ hợp đến kết quả dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông

Võ Văn Hòa^{1*}, Dư Đức Tiến², Đặng Đình Quân², Mai Khánh Hưng²

¹ Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;
vovanhoa80@yahoo.com

² Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; duductien@gmail.com;
quandangding92@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vovanhoa80@yahoo.com; Tel.: +84-912509932

Ban Biên tập nhận bài: 10/5/2024; Ngày phản biện xong: 11/6/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và module tạo xoáy lý tưởng dựa trên thông số phân tích xoáy bão thật của các trung tâm quốc tế, gọi tắt là hệ thống TC-WRF-LETKF. Việc tạo ra các thành phần tổ hợp được triển khai thông qua việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm: 2 tùy chọn sơ đồ cho tham số hóa đối lưu; 2 tùy chọn cho sơ đồ bức xạ sóng ngắn; 2 tùy chọn sơ đồ tham số hóa lớp biên và 4 tùy chọn cho sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp. Dựa trên việc tổ hợp các lựa chọn này có thể tạo ra tối đa gồm 32 cấu hình vật lý khác nhau. Nghiên cứu sẽ thử nghiệm với một số cơn bão trên Biển Đông và thay đổi số thành phần vật lý để đánh giá sự ảnh hưởng đến sai số dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Kết quả thử nghiệm và đánh giá cho thấy số lượng dự báo thành phần hơn 20, sai số ở hạn dự báo 24-72 giờ được cải thiện hết sức rõ rệt. Đối với các hạn 84-96 giờ, mức độ tác động chưa rõ xuất phát từ việc các mẫu thử của các hạn này còn hạn chế do thời gian tồn tại của bão trên biển Đông thường dưới 3 ngày.

Từ khóa: Đồng hóa tổ hợp; Sinh nhiều vật lý; Trung bình tổ hợp.

1. Mở đầu

Bão là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm và gây tổn hại nhiều nhất về mặt kinh tế ở Việt Nam. Một cách trung bình, hằng năm có khoảng 3-4 cơn bão đổ bộ hoặc gây ảnh hưởng trực tiếp đến khu vực bờ biển Việt Nam [1]. Một trong những thách thức lớn nhất của dự báo bão ở biển Đông Việt Nam là độ bất định cao của quỹ đạo và cường độ [2-7]. Mặc dù hiện tại trong nghiệp vụ đã có sử dụng rất nhiều các sản phẩm dự báo bão từ các trung tâm khu vực trên thế giới, một điều có thể nhận thấy rõ ràng là kỹ năng dự báo bão vẫn rất hạn chế do các trung tâm dự báo trên thế giới sử dụng các mô hình dự báo khác nhau với kỹ năng dự báo rất khác nhau và thay đổi liên tục hàng năm [6]. Điều này dẫn đến việc sử dụng sản phẩm dự báo một các hiệu quả cũng vẫn còn nhiều thách thức [8-10].

Trong bối cảnh thay đổi khí hậu toàn cầu, các nghiên cứu gần đây đã cho thấy quỹ đạo và cường độ bão có sự dịch chuyển do các thay đổi trên quy mô lớn của các hoàn lưu khí quyển [1]. Việc có được thêm các thông tin dự báo quỹ đạo từ các sản phẩm mô hình có độ chính xác cao đang trở nên ngày càng cấp thiết. Do đặc tính tổ hợp, các dự báo với bộ lọc tổ hợp dường như là một sự lựa chọn hàng đầu cho kiểu bài toán dự báo có tính bất định cao như dự báo bão hay mưa lớn do dự báo tổ hợp không những cung cấp thông tin dự báo cho

từng bản tin mà còn ước lượng được tính bất định tại từng hạn dự báo [10]. Điều này cho phép các dự báo viên xác định được độ tin cậy của bản tin tại từng hạn dự báo nhất định.

Trong phạm vi nghiên cứu, sẽ áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW, bên cạnh đó hệ thống sẽ được đưa thêm vào module tạo xoáy lý tưởng dựa trên thông số phân tích xoáy bão thật [11–14] của các trung tâm khí tượng quốc tế, gọi tắt là hệ thống TC-WRF-LETKF [15–18]. Việc tạo ra các thành phần tổ hợp được triển khai thông qua việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW. Nghiên cứu sẽ thử nghiệm với một số cơn bão trên Biển Đông và thay đổi số thành phần vật lý để đánh giá sự ảnh hưởng đến sai số dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ.

2. Thiết lập hệ thống và phương pháp đánh giá

Trong nghiên cứu sử dụng hệ thống mô hình khu vực WRF với nhân động lực ARW phiên bản 3.9.1.1 do Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ (NCEP) phát triển (gọi tắt là WRF-ARW). Đây là hệ thống mô hình khu vực được áp dụng trong nghiên cứu và nghiệp vụ với các ứng dụng đa dạng từ mô phỏng lý tưởng xoáy, sóng núi đến áp dụng các bài toán dự báo thời tiết hoặc các điều kiện thời tiết nguy hiểm như mưa, bão/xoáy thuận nhiệt đới và được cộng đồng khoa học hỗ trợ và phát triển. Mô hình WRF-ARW cũng được thử nghiệm và áp dụng trong nghiệp vụ tại Việt Nam trong các lĩnh vực dự báo thời tiết và dự báo bão [14, 15, 18]. Một trong những đặc tính quan trọng của hệ thống WRF-ARW là cung cấp một số lượng tùy chọn các thuật toán sai phân, các sơ đồ vật lý và các phương pháp đồng hóa số liệu được phát triển bởi cộng đồng khoa học có uy tín, cho phép các nhà ứng dụng lựa chọn được các tùy biến phù hợp với khu vực địa phương và đối tượng cần nghiên cứu. Mô hình WRF-ARW được nghiên cứu và áp dụng phổ biến tại Việt Nam những năm vừa qua. Tuy nhiên, do mô hình WRF-ARW sử dụng trường đầu vào từ các mô hình toàn cầu nên xoáy bão trong trường ban đầu thường yếu và bị sai lệch so với thực tế. Dẫn đến kết quả dự báo quỹ đạo bão thường không chính xác. Để khắc phục vấn đề này, thông thường có 2 cách tiếp cận để khắc phục:

Sử dụng các sơ đồ cài xoáy bão cho trường ban đầu dựa trên các thông tin quan trắc về bão tại thời điểm phân tích [13, 14].

Đồng hóa số liệu địa phương để tăng cường khả năng nắm bắt trong trường ban đầu của mô hình WRF [18, 19].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng kết hợp cả 2 cách tiếp cận, đó là tiến hành cài xoáy và sau đó sử dụng các trường khí quyển của xoáy nhân tạo để đưa vào đồng hóa số liệu LETKF [19]. Các dữ liệu này được chiết xuất ra dưới dạng các profile nhiệt, ẩm, áp như các dữ liệu thám không vô tuyến.

Như đã biết, dự báo bão bằng các mô hình khu vực rất nhạy với các quá trình vật lý được tham số hóa trong mô hình. Việc thay đổi một tùy chọn tham số hóa có liên quan đến các quá trình đối lưu, vi vật lý mây, lớp biên, bức xạ, ... có thể tạo ra các kết quả dự báo rất khác nhau. Nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này là do đặc tính hỗn loạn của khí quyển. Do đó, rất khó để có thể tìm ra được phương án tốt nhất. Chính vì vậy, dự báo tổ hợp là cần thiết để khắc phục hạn chế liên quan đến bản chất hỗn loạn của khí quyển.

Bài báo này hướng tới khảo sát số lượng thành phần tổ hợp tối ưu cho bài toán dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Để tiến hành khảo sát, chúng tôi kế thừa hệ thống TC_WRF-LETKF đã được phát triển trước đây [18, 19]. Bản chất của hệ thống TC_WRF-LETKF là tạo ra tổ hợp nhiều dự báo trong đó sử dụng cùng một phương pháp đồng hóa số liệu (dùng chung sơ đồ đồ cài xoáy nhân tạo và bộ dữ liệu quan trắc khác) và trường biên toàn cầu như sau. Như vậy, sự khác biệt giữa các dự báo sẽ chủ yếu tập trung ở các tùy chọn tham số hóa vật lý và tác động của đồng hóa LETKF lên từng dự báo trong quá trình đồng hóa dữ liệu (liên quan đến sai số dự báo của từng dự báo). Hệ thống TC_WRF-LETKF có các thành phần chính như sau:

- Mô hình dự báo thời tiết khu vực: WRF-ARW
- Hệ thống đồng hóa số liệu: LETKF có kết hợp với cài xoáy 3 chiều
- Phương pháp tạo dự báo thành phần: nhiễu động vật lý

Trong nghiên cứu này, để tạo ra dự báo tổ hợp (*ensemble*) chúng tôi dựa trên việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm:

- a) Sơ đồ tham số hóa đối lưu: sơ đồ Kain-Fritsch (KF) hoặc Betts-Miller-Janjic (BMJ);
- b) Sơ đồ bức xạ sóng ngắn Goddard hoặc Dudhia
- c) Sơ đồ tham số hóa lớp biên của Yonsei University (YSU) hoặc Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)
- d) Sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp gồm sơ đồ Lin, WSM3, WSM5 đến WSM6 (khép kín 6 bậc).

Bảng 1 dưới đây đưa ra 32 phương án kết hợp các tùy chọn sơ đồ tham số hóa vật lý nói trên. Lưu ý thêm ở đây đối với sơ đồ lớp biên MYJ thì sơ đồ rối bề mặt sẽ được đặt là sơ đồ Janjic Eta so với sơ đồ khép kín rồi dựa trên giả thiết của Monin-Obukhov.

Điều kiện biên sử dụng trong nghiên cứu là mô hình GFS với độ phân giải 0,25 độ, thiết lập độ phân giải trong TC_WRF-LETKF [18,19] là 9 km với miền tính bao phủ toàn bộ Việt Nam và biển Đông. Số mực đẳng áp thẳng đứng trong mô hình là 40 mực.

Bảng 1. Chi tiết các thông số vật lý cho từng thành phần tổ hợp trong TC-WRF-LETKF.

STT	Kí hiệu dự báo thành phần	Sơ đồ tham số hóa đối lưu	Sơ đồ tham số hóa vi vật lý mây	Sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng ngắn	Sơ đồ tham số hóa lớn biên
1	BMJ-Lin-Duh-MYJ	BMJ	Lin	Duhia	MYJ
2	BMJ-Lin-Duh-YSU	BMJ	Lin	Duhia	YSU
3	BMJ-Lin-God-MYJ	BMJ	Lin	Goddard	MYJ
4	BMJ-Lin-God-YSU	BMJ	Lin	Goddard	YSU
5	BMJ-WSM3-Duh-MYJ	BMJ	WSM3	Duhia	MYJ
6	BMJ-WSM3-Duh-YSU	BMJ	WSM3	Duhia	YSU
7	BMJ-WSM3-God-MYJ	BMJ	WSM3	Goddard	MYJ
8	BMJ-WSM3-God-YSU	BMJ	WSM3	Goddard	YSU
9	BMJ-WSM5-Duh-MYJ	BMJ	WSM5	Duhia	MYJ
10	BMJ-WSM5-Duh-YSU	BMJ	WSM5	Duhia	YSU
11	BMJ-WSM5-God-MYJ	BMJ	WSM5	Duhia	MYJ
12	BMJ-WSM5-God-YSU	BMJ	WSM5	Goddard	YSU
13	BMJ-WSM6-Duh-MYJ	BMJ	WSM6	Duhia	MYJ
14	BMJ-WSM6-Duh-YSU	BMJ	WSM6	Duhia	YSU
15	BMJ-WSM6-God-MYJ	BMJ	WSM6	Goddard	MYJ
16	BMJ-WSM6-God-YSU	BMJ	WSM6	Goddard	YSU
17	KF-Lin-Duh-MYJ	KF	Lin	Duhia	MYJ
18	KF-Lin-Duh-YSU	KF	Lin	Duhia	YSU
19	KF-Lin-God-MYJ	KF	Lin	Goddard	MYJ
20	KF-Lin-God-YSU	KF	Lin	Goddard	YSU
21	KF-WSM3-Duh-MYJ	KF	WSM3	Duhia	MYJ
22	KF-WSM3-Duh-YSU	KF	WSM3	Duhia	YSU
23	KF-WSM3-God-MYJ	KF	WSM3	Goddard	MYJ
24	KF-WSM3-God-YSU	KF	WSM3	Goddard	YSU
25	KF-WSM5-Duh-MYJ	KF	WSM5	Duhia	MYJ
26	KF-WSM5-Duh-YSU	KF	WSM5	Duhia	YSU
27	KF-WSM5-God-MYJ	KF	WSM5	Goddard	MYJ
28	KF-WSM5-God-YSU	KF	WSM5	Goddard	YSU
29	KF-WSM6-Duh-MYJ	KF	WSM6	Duhia	MYJ
30	KF-WSM6-Duh-YSU	KF	WSM6	Duhia	YSU
31	KF-WSM6-God-MYJ	KF	WSM6	Goddard	MYJ
32	KF-WSM6-God-YSU	KF	WSM6	Goddard	YSU

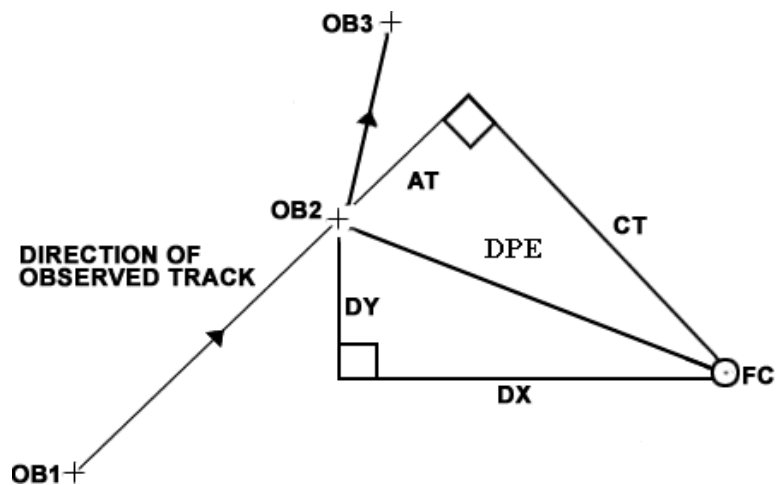
Trong nghiên cứu này, để xác định vị trí tâm bão dựa trên các trường dự báo của các trường dự báo ra từ từng thành phần tổ hợp, chúng tôi sử dụng 5 tham số chính gồm khí áp trung bình mực biển (cực tiểu), xoáy tương đối mực 850 và 700mb (dương cực đại), độ cao địa thế vị 700 và 850mb (dương cực tiểu) để xác định vị trí tâm bão từ các trường dự báo của mô hình WRF-ARW [13, 14]. Ngoài ra, còn có 2 tham số thứ cấp là tốc độ gió cực tiểu tại mực 850 và 700mb. Vị trí tâm bão sẽ là trung bình cộng của 5 vị trí được tìm thấy cho 5 tham số chính nói trên. Để xác định được tọa độ của 1 tâm (cực tiểu hoặc cực đại), đầu tiên hệ thống sẽ thực hiện phân tích Barnes 1 lần quét cho từng tham số tại các nút lưới nằm trong một mảng có tâm ban đầu gần với tâm bão quan trắc. Đối với biến F bất kỳ, phân tích Barnes tại nút lưới g sẽ có dạng như sau:

$$B_g = \frac{\sum_{n=1}^N w_n F(n)}{\sum_{n=1}^N w_n} \tag{1}$$

Trong đó w là hàm trọng số được xác định theo công thức $w = e^{-(d_n/r_e)^2}$ với d_n là khoảng cách từ điểm dữ liệu n tới điểm lưới g, và r_e là bán kính xoắn mũ e (e-folding). Giá trị r_e được chọn là 20 km. Tùy thuộc vào dạng biến F, tâm được xác định là điểm lưới tại đó biến F đạt cực tiểu hoặc cực đại. Sau khi tâm của một tham số được xác định tại bước đầu tiên, bốn phân tích Barnes liên tiếp sẽ được thực hiện, tại mỗi lần phân tích, độ phân giải của lưới xác định giảm một nửa so với lưới trước đó và tâm lưới mịn hơn được lấy từ tâm xác định được trên lưới thô hơn trước đó. Thuật toán xác định tâm này được áp dụng riêng rẽ cho 5 tham số chính nêu trên. Riêng đối với 2 tham số thứ cấp, đầu tiên số liệu sẽ được nội suy về một miền nhỏ hơn của vị trí tâm phỏng đoán ban đầu với độ phân giải cao hơn so với ban đầu. Sau đó, phân tích Barnes mới được thực hiện trên lưới tinh hơn này để tránh tính huống tìm ra các vùng lặng gió bên ngoài cơn bão (hiểu nhầm là vùng lặng gió trong tâm bão). Tâm tìm được dựa trên 2 tham số thứ cấp này được sử dụng để hiệu chỉnh lại tâm trung bình tìm được từ 5 tham số chính. Nếu tâm không được tìm thấy dựa trên 5 tham số chính, việc tìm tâm cho 2 tham số thứ cấp cũng bị loại bỏ.

Để đánh giá sai số dự báo quỹ đạo bão trực tiếp từ các mô hình và quỹ đạo bão chuẩn (best-track) của Nhật Bản, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phương pháp đánh giá quỹ đạo bão được sử dụng Cơ quan khí tượng Vương quốc Anh [20]. Cụ thể, sai số dự báo khoảng cách vị trí tâm bão trực tiếp - DPE sẽ được sử dụng và được tính theo công thức lượng giác dựa trên phương pháp vòng tròn lớn để tính đến hiệu ứng cong của trái đất (Hình 1). Sai số DPE có thể

được phân tách thành 2 thành phần: AT (sai số dọc theo phương chuyển động) và CT là sai số theo phương pháp tuyến (vuông góc với chuyển động). Các giá trị DX và DY là các sai số dọc theo vĩ hướng và kinh hướng. Đại lượng AT sẽ cho biết sai số về tốc độ di chuyển (nhận hay chậm so với thực tế) trong khi đại lượng CT cho biết sai số về hướng di chuyển (lệch trái hay lệch phải do với thực tế).

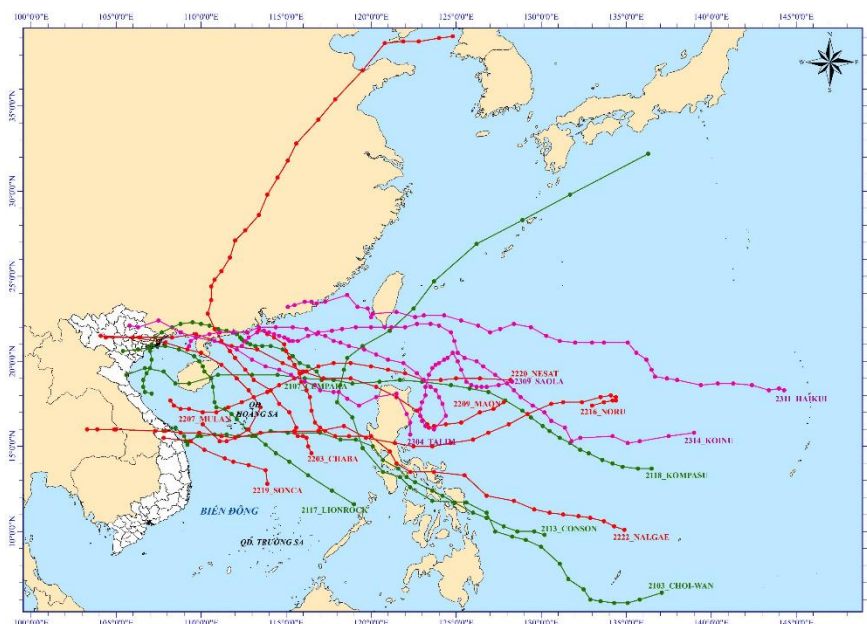


Hình 1. Sơ đồ minh họa các thành phần sai số dự báo quỹ đạo bão (ký hiệu OB là quan trắc và FC là dự báo). Điểm OB1 là tâm quan trắc tại thời điểm bắt đầu dự báo và dấu mũi tên chỉ hướng di chuyển thực tế của bão.

Để có cơ sở lựa chọn ra tổ hợp tối ưu dựa trên 32 dự báo thành phần dự báo như đưa ra trong bảng 1 ở trên, hệ thống TC_WRF-LETKF sẽ thực hiện dự báo cho từng thành phần cho 17 cơn bão trong các năm 2021-2023 như trong bảng 2 dưới đây. Quỹ đạo thực tế của 17 cơn bão được sử dụng trong nghiên cứu được đưa trong hình 2 dưới đây. Các thời điểm được lựa chọn cho từng cơn bão để thực hiện 32 dự báo là có tọa độ tâm bão tại thời điểm phân tích nằm trong khoảng từ 110-1200E và 5-250N. Ngoài ra, do nghiên cứu hướng tới hạn dự báo 5 ngày, nên thời điểm dự báo được lựa chọn cũng phải thỏa mãn tiêu chí bão còn tồn tại ít nhất 3 ngày tính từ thời điểm dự báo (trường hợp bão đã hạ cấp xuống ATNĐ trong 3 ngày tính từ thời điểm dự báo vẫn được lựa chọn để đưa vào tính toán). Hình 3 và 4 lần lượt đưa ra minh họa bản đồ dự báo xác suất đường đi của bão CHOI-WAN (2003), SONCA (2219) và NORU (2216) được tạo ra từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF-LETKF tại một thời điểm dự báo.

Bảng 2. Danh sách 17 cơn bão trong mùa bão 2021-2023 được sử dụng để dự báo quỹ đạo và cường độ bão hạn 96 giờ bằng hệ thống TC-WRF-LETKF.

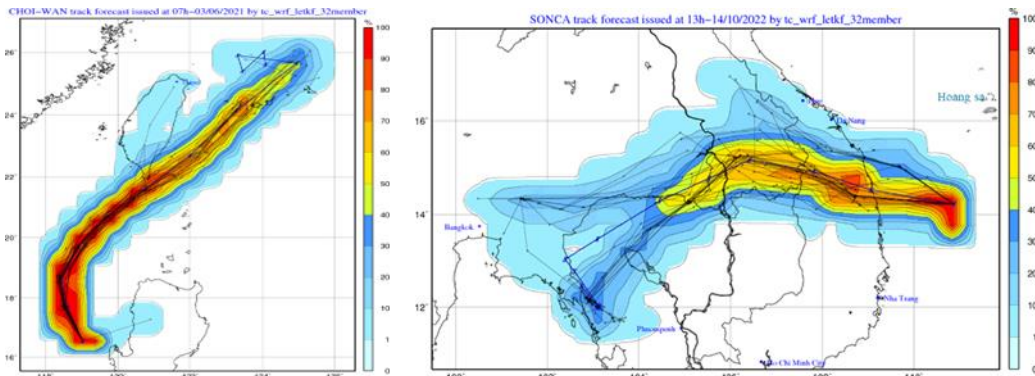
STT	Năm	Mã nhận dạng quốc tế	Tên bão quốc tế
1	2021	2103	CHOI-WAN
2	2021	2107	CEMPAKA
3	2021	2113	CONSON
4	2021	2117	LIONROCK
5	2021	2118	KOMPASU
6	2021	2122	RAI
7	2022	2203	CHABA
8	2022	2207	MULAN
9	2022	2209	MAON
10	2022	2216	NORU
11	2022	2219	SONCA
12	2022	2220	NESAT
13	2022	2222	NALGAE
14	2023	2304	TALIM
15	2023	2309	SAOLA
16	2023	2313	HAIKUI
17	2023	2314	KOINU



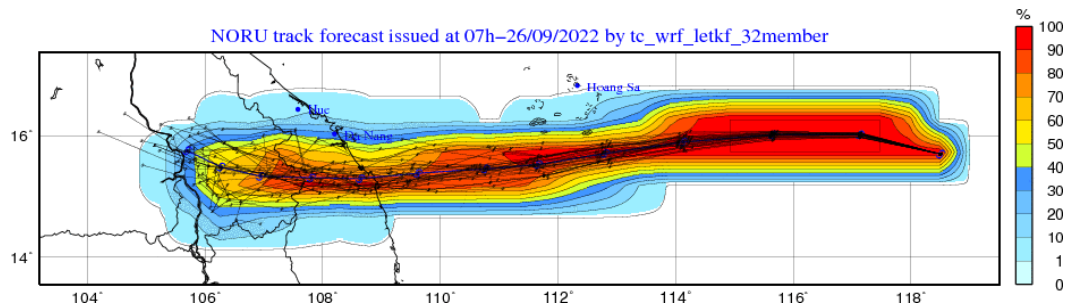
Hình 2. Quỹ đạo quan trắc của 17 cơn bão trong các năm 2021-2023 được sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 3. Thống kê dung lượng mẫu được sử dụng trong thử nghiệm dự báo và đánh giá cho từng hạn dự báo dựa trên 17 cơn bão từ 2021-2023.

Hạn dự báo	24h	48h	72h	84h	96h
Dung lượng mẫu	52	52	52	24	12



Hình 3. Minh họa thử nghiệm hệ thống TC_WRF_LETKF với 32 thành phần cho dự báo quỹ đạo các cơn bão CHOI-WAN năm 2021 và cơn bão SONCA năm 2022.



Hình 4. Minh họa thử nghiệm hệ thống TC_WRF_LETKF với 32 thành phần cho dự báo quỹ đạo các cơn bão NORU năm 2022.

3. Kết quả

Để đánh giá số thành phần dự báo tổ hợp ảnh hưởng đến kết quả dự báo quỹ đạo, chúng tôi sử dụng kết quả đánh giá sai số dự báo quỹ đạo của dự báo trung bình tổ hợp (TBTH - trung bình cộng với trọng số như nhau đối với tất cả các dự báo thành phần) để làm thước đo đánh giá. Như đã biết, về mặt kỹ thuật, chỉ cần 02 dự báo khác nhau xác định cùng một thời điểm có thể tạo ra dự báo TBTH. Do đó, từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF, sẽ có nhiều phương án tính toán dự báo TBTH gồm 2 cho đến 32 thành phần. Tuy nhiên, nhiều kết quả nghiên cứu đã cho thấy khi tổ hợp dưới 10 thành phần, thì chất lượng dự báo của dự báo TBTH không có nhiều thay đổi. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát cho các hệ tổ hợp từ 10 cho đến 32 thành phần dựa trên 32 dự báo của hệ thống TC_WRF_LETKF. Cụ thể, với mỗi hệ tổ hợp có N thành phần đưa ra ($10 \leq N \leq 32$), các phương án dự báo TBTH sẽ được tính toán cho toàn bộ các phương án có thể từ 32 dự báo của hệ thống TC_WRF_LETKF. Sau đó, tiến hành đánh giá sai số dự báo vị trí tâm bão (DPE) cho từng phương án TBTH trong hệ tổ hợp đang xem xét. Cuối cùng, tiến hành tính toán giá trị DPE trung bình cho toàn bộ hệ tổ hợp đang xem xét.

Bảng 4 dưới đây đưa ra kết quả tính toán DPE trung bình cho các hệ tổ hợp sử dụng 10 cho đến 32 thành phần dự báo từ hệ thống TC_WRF_LETKF cho 17 cơn bão được nghiên cứu trong giai đoạn 2021-2023. Các sai số DPE được tính toán riêng biệt cho từng hạn dự báo. Từ bảng 3 có thể thấy nếu xem xét riêng cho từng hệ tổ hợp, chất lượng dự báo giảm dần theo hạn dự báo. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực tế khi hạn dự báo càng xa thì chất lượng dự báo càng giảm. Nếu so sánh giữa các hệ tổ hợp khác nhau (sử dụng số lượng

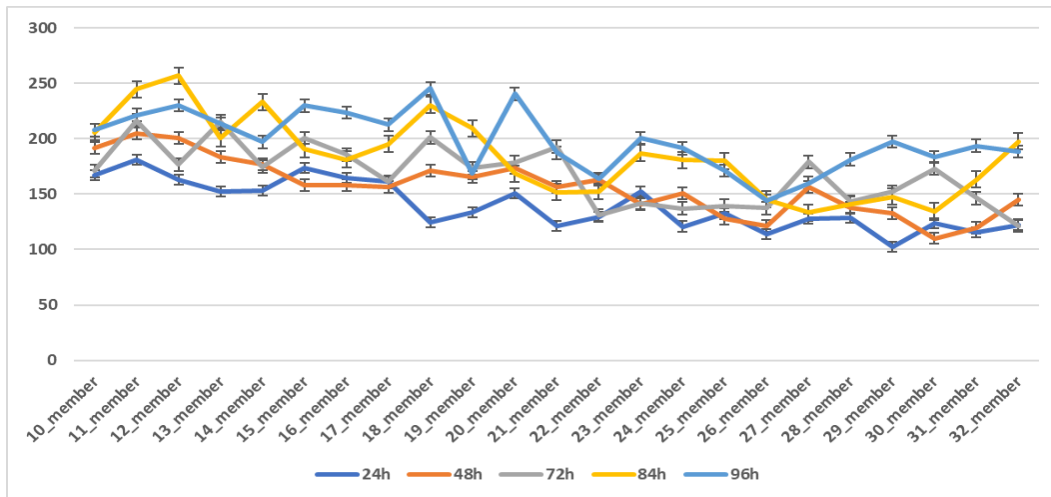
thành phần khác nhau), tại mỗi hạn dự báo, DPE có nhiều khác biệt giữa các hệ tổ hợp. Tuy nhiên, có thể thấy sai số lớn nhất (được bôi đỏ) tập trung chủ yếu ở trong các hệ tổ hợp sử dụng dưới 20 thành phần trong đó hệ tổ hợp sử dụng 11 và 12 dự báo thành phần có nhiều giá trị DPE lớn nhất khi xem xét cho từng hạn dự báo. Ngược lại, các DPE nhỏ nhất (được bôi xanh) được tìm thấy ở các hệ tổ hợp sử dụng từ 25 thành phần dự báo trở lên. Ngoài ra, nếu tại mỗi hạn dự báo, nếu so sánh DPE của các hệ tổ hợp, có thể nhận thấy sự khác biệt về giá trị DPE của các hệ tổ hợp tại các hạn dự báo 24h và 48h là không quá lớn. Điều này chứng tỏ các dự báo thành phần trong các hạn dự báo này có sự đồng nhất cao (các quỹ đạo dự báo tương đối gần nhau). Tuy nhiên, từ các hạn dự báo 72h đến 96h, có sự khác biệt lớn trong giá trị DPE nếu so sánh các hệ tổ hợp với nhau (đặc biệt là tại hạn dự báo 120h). Hay nói cách khác, từ hạn dự báo 72h trở đi, các quỹ đạo dự báo có xu hướng lệch nhau nhiều hơn (không gian dự báo mở rộng ra hơn nhiều so với các hạn dự báo 24h và 48h) và xuất hiện nhiều dự báo có sai số lớn. Chính những dự báo có sai số lớn này làm cho chất lượng của dự báo TBTH bị kém đi. Kết quả này hoàn toàn phù hợp do ở các hạn dự báo càng xa, tính bất định trong dự báo quỹ đạo bão sẽ tăng lên nhiều hơn, dẫn đến có thể tạo ra những dự báo có sai số lớn.

Bảng 4. Sai số dự báo quỹ đạo trung bình (DPE) của 17 cơn bão tại các hạn dự báo khác nhau khi thay đổi số thành phần dự báo tổ hợp trong hệ thống TC_WRF_LETKF (các sai số nhỏ nhất và lớn nhất trong từng hạn dự báo được bôi đậm và tô màu).

Số dự báo thành phần	24h	48h	72h	84h	96h
10	167,0	191,3	171,1	205,7	207,7
11	181,1	204,8	216,4	244,5	221,3
12	163,0	201,0	176,8	256,9	230,0
13	152,4	183,8	215,6	200,4	213,7
14	153,4	176,8	174,6	233,2	197,1
15	173,6	158,0	200,6	190,8	229,8
16	164,8	158,0	185,6	181,4	223,7
17	161,7	156,5	161,3	195,0	212,6
18	124,6	170,9	201,3	230,2	245,4
19	133,5	165,1	173,3	209,3	168,9
20	150,9	173,6	178,7	168,5	240,5
21	121,2	156,1	192,7	151,6	187,3
22	129,5	162,6	131,1	152,6	163,8
23	152,2	140,6	142,0	186,8	200,7
24	120,8	150,8	137,2	180,7	191,3
25	132,3	127,4	139,6	179,8	171,2
26	113,8	121,2	137,5	145,1	144,0
27	127,6	156,2	179,0	133,5	160,1
28	128,6	137,9	143,3	140,6	181,1
29	102,3	132,5	152,4	147,8	197,5
30	123,9	110,2	173,0	134,4	183,3
31	115,7	119,7	146,3	163,4	193,4
32	121,9	145,1	121,4	197,8	188,3

Để có cái nhìn rõ hơn về sự biến động của DPE khi thay đổi số lượng dự báo thành phần trong tính toán dự báo TBTH, hình 5 dưới đây đưa ra các biểu trình biểu đồ hộp và râu (box and whisker) dựa trên các kết quả đánh giá riêng lẻ cho từng hệ tổ hợp được tạo ra từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF. Cụ thể, với mỗi hệ tổ hợp, sẽ có một bộ kết quả tính toán DPE dựa trên các kết quả tính toán DPE cho từng phương án TBTH khi lựa chọn từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF. Từ bộ số liệu DPE này, sẽ tính toán được các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung vị, phân vị 25 và phân vị 75 để tạo biểu đồ hộp và râu như được thấy trên hình 5. Trên hình 5, giá trị trục tung là giá trị sai số DPE

còn trực hoành là các hệ tổ hợp sử dụng từ 10 đến 32 thành phần. Từ hình 5 có thể thấy sai số DPE giảm rất rõ ở các hạn đến 72h từ 20 thành phần trở lên. Ở các hạn 84h trở đi, sai số giảm ổn định ở mức 22-28 thành phần. Như vậy có thể thấy nếu tăng được số thành phần dự báo sẽ tỉ lệ với giảm được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp ở hạn trước 3 ngày. Sau hạn 72 giờ, có thể liên quan đến các mẫu dự báo không đủ đối với hạn này (các cơn bão trong biển Đông thường tồn tại dưới 3 ngày) nên kết quả thử nghiệm chưa phản ánh rõ đối với hạn 84-96 giờ. Các kết quả này tương đối phù hợp với các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra trong [21, 22].



Hình 5. Sai số trung bình (DPE) của 17 cơn bão tại các hạn dự báo từ 24h-96h khi thay đổi số thành phần dự báo tổ hợp trong hệ thống TC_WRF_LETKF.

4. Kết luận

Nghiên cứu này hướng tới khảo sát số lượng thành phần tổ hợp tối ưu cho bài toán dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Để tiến hành khảo sát, chúng tôi sử dụng hệ thống TC_WRF-LETKF để tạo ra tổ hợp gồm 32 dự báo trong đó sử dụng cùng một phương pháp đồng hóa số liệu (dùng chung sơ đồ đồ cài xoáy nhân tạo và bộ dữ liệu quan trắc khác) và trường biên toàn cầu như sau. Sự khác biệt giữa các dự báo sẽ chủ yếu tập trung ở các tùy chọn tham số hóa vật lý và tác động của đồng hóa LETKF lên từng dự báo trong quá trình đồng hóa dữ liệu.

Các thử nghiệm dự báo tới hạn 96 giờ được thực hiện dựa trên 17 cơn bão trên Biển Đông trong các năm 2021-2023. Các kết quả đánh giá bước đầu cho thấy khi tăng số thành phần hơn 20, sai số ở hạn dự báo 24, 48 và 72h được cải thiện hết sức rõ rệt. Đối với các hạn 84-96h, mức độ tác động chưa rõ xuất phát từ việc các mẫu thử của các hạn này còn hạn chế do thời gian tồn tại của bão trên biển Đông thường dưới 3 ngày. Nguyên nhân dẫn đến các kết quả này là khi số lượng thành phần tăng lên, độ tán của dự báo tổ hợp được mở rộng và tăng cường khả năng nắm bắt được nghiệm thực, dẫn đến chất lượng dự báo của dự báo trung bình tổ hợp được cải thiện (giảm sai số). Khi số lượng dự báo dưới 20, các dự báo thường chụm lại (gần nhau), dẫn đến độ tán dự báo tổ hợp nhỏ và giảm khả năng nắm bắt được nghiệm thực. Các kết quả đánh giá cũng cho thấy việc sử dụng phương pháp nhiễu động vật lý đôi khi không tạo ra được sự khác biệt quá nhiều trong các dự báo, đặc biệt là tại thời điểm các cơn bão mạnh và có hướng di chuyển không phức tạp, điều này dẫn đến thường tạo ra các dự báo xác suất quá tin cậy, đặc biệt là trong các hạn dự báo 24-48h.

Các kết quả thử nghiệm và đánh giá cũng cho thấy cần thiết phải có các nghiên cứu để lựa chọn ra các dự báo thành phần tốt nhất (theo nghĩa thống kê) cũng lựa chọn ra các tổ hợp con tốt nhất từ 32 dự báo thành phần để ứng dụng trong dự báo nghiệp vụ do việc triển khai hệ thống TC_WRF-LETKF với 32 dự báo thành phần là chưa khả thi trong điều kiện nghiệp vụ hiện nay.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.V.H., D.Đ.T.; Tổng quan tài liệu: V.V.H., D.Đ.T.; Tính toán, xử lý số liệu và phân tích kết quả: Đ.Đ.Q., M.K.H.; Viết bản thảo bài báo: D.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: V.V.H.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin gửi lời cảm ơn tới đề tài NCKH cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo đổi hướng di chuyển và thay đổi cường độ bão, áp thấp nhiệt đới khi đi vào vùng bờ biển Việt Nam”, mã số TNMT.2022.06.01 đã hỗ trợ để nhóm thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này cũng là kết quả thực hiện của một nội dung trong đề tài nói trên.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ bất kỳ nghiên cứu nào trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Hằng, V.T.; Hương, N.T.T.; Tân, P.V. Đặc điểm hoạt động của bão ở vùng biển gần bờ Việt Nam giai đoạn 1945-2007. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 344–353.
2. Thanh, C. Dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam hạn 5 ngày bằng phương pháp tổ hợp, sử dụng kỹ thuật nuôi nhiễu. Luận án Tiến sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2014.
3. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q.; Hằng, N.T. Khảo sát sai số dự báo và kỹ năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão của các trung tâm dự báo và các mô hình động lực trên khu vực Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 661, 17–23.
4. Xin, K.T.; Thành, L.T.; Tân, P.V. Áp dụng mô hình số khu vực phân giải cao vào dự báo hoạt động của bão ở Việt Nam và biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2002**, 499, 12–21.
5. Thành, L.C. Ứng dụng các loại mô hình số dự báo bão ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 5(521), 10–22.
6. Mai, N.C. Thử nghiệm dự báo tổ hợp quỹ đạo bão bằng phương pháp thống kê từ dự báo của các trung tâm quốc tế. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 3(519), 23–28.
7. Tiến, T.T.; Khiêm, M.V.; Hiệp, N.V. Ứng dụng mô hình ETA không thủy tĩnh để dự báo định lượng mưa và quỹ đạo bão ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 521, 1–9.
8. Tiến, T.T.; Thanh, C.; Phụng, N.T. Dự báo cường độ bão bằng mô hình WRF hạn 5 ngày trên khu vực biển Đông. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2012**, 28(3S), 155–160.
9. Hòa, V.V. Đánh giá kỹ năng dự báo quỹ đạo bão của mô hình WRF. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2008**, 567, 37–46.
10. Chou, J.F. Predictability of the Atmosphere. *Adv. Atmos. Sci.* **1989**, 6, 335–346.
11. Tien, D.D.; Thanh, N.D.; Chanh, K. Initializing the WRF model with tropical cyclone vital records based on the ensemble Kalman Filter algorithm for real-time forecasts. *Pure Appl. Geophys.* **2017**, 174(7), 2803–2825. Doi:10.1007/s00024-017-1568-0.
12. Hoan, N.T.; Thắng, N.V.; Hiệp, N.V.; Cường, H.Đ. Đánh giá vai trò ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF đối với dự báo bão trên biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 644, 9–12.
13. Tân, P.V.; Hải, B.H. Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình MM5 và ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 10(526), 14–25.
14. Tân, P.V.; Dũng, N.L. Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 583, 1–9.

15. Minh, P.T. Đánh giá khả năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên Biển Đông hạn 5 ngày bằng mô hình WRF với sơ đồ đồng hóa LETKF. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2013.
16. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. Ứng dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp vào dự báo cường độ bão 5 ngày, *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2013**, 29(2S), 201–206.
17. Chánh, K.Q. Ước lượng sai số mô hình trong bộ lọc Kalman bằng phương pháp lực nhiễu động. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 310–316.
18. Chánh, K.Q. NXây dựng hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương cho mô hình dự báo thời tiết WRF. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 17–28.
19. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q. Sử dụng đồng thời quan trắc quy mô lớn và quy mô bão trong việc tăng cường thông tin ban đầu cho bài toán dự báo xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình số trị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, 32(3S), 224–235.
20. Trục tuyến: <http://www.metoffice.gov.uk/weather/tropicalcyclone/method>.
21. Hòa, V.V. Dự báo quỹ đạo xoáy thuận nhiệt đới dựa trên dự báo tổ hợp hàng nghìn thành phần. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2006**, 547, 7–18.
22. Hòa, V.V. Khảo sát độ nhạy kết quả dự báo quỹ đạo bão tới các sơ đồ tham số hóa đối lưu trong mô hình WRF. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2008**, 571, 12–19.

Research on the influence of the number of ensemble members on the results of forecasting tropical cyclone tracks in the East Sea

Vo Van Hoa^{1*}, Du Duc Tien², Dang Dinh Quan², Mai Khanh Hung²

¹ Northern Delta Regional Hydro-Meteorological Center; vovanhoa80@yahoo.com

² National Hydro-Meteorological Forecasting Center; duductien@gmail.com;
quandangdinh92@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

Abstract: Research on applying the ensemble assimilation system based on the Local Ensemble Transformation Kalman Filter (LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter) developed for the WRF-ARW regional model and the ideal vortex generation module based on analytical parameters Real storm vortices of international centers, referred to as TC-WRF-LETKF system. The generation of ensemble members is implemented through changing the physics options in the WRF-ARW model to include: (a) the two cumulus parameterization schemes, two shortwave radiation schemes, two boundary layer parameterization schemes and four cloud microphysics schemes. Based on the combination of these options, a maximum of 32 different physical configurations can be created. The study will experiment with a number of storms in the East Sea and change the number of physical components to evaluate the influence on tropical cyclone track forecast errors up to 96 hrs. The evaluation results show that the number of forecasts is more than 20, and the error in the range of 24hrs to 72hrs leadtime is significantly improved. For 84hrs and 96 hrs forecast, the level of impact is unclear due to the number of samples are limited because the duration of storms in the East Sea is usually less than 3 days.

Keywords: Ensemble data assimilation; Physical-based perturbation; Ensemble mean.