

# 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

Phan Văn Tân<sup>1</sup>, Nguyễn Lê Dũng<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Nhận ngày      tháng      năm

**Tóm tắt.** Trong bài này, mô hình WRF kết hợp hệ thống đồng hóa số liệu ba chiều (3DVar), gọi là hệ thống WRF-VAR, đã được ứng dụng dự báo thử nghiệm cho một số trường hợp bão hoạt động trên biển Đông có quỹ đạo tương đối phức tạp và có cường độ khác nhau. Ngoài các tập số liệu toàn cầu và số liệu địa hình cần thiết cho việc chạy mô hình WRF, việc đồng hóa số liệu đã được thực hiện với nguồn số liệu quan trắc “giả” được tạo ra nhờ một module ban đầu hóa xoáy. Module này cho phép xây dựng một xoáy nhân tạo, mà ở đây là một xoáy lý thuyết đối xứng. Việc thử nghiệm được tiến hành theo hai phương án: 1) Có đồng hóa số liệu với nguồn số liệu “giả” bổ sung (WRF-VAR); và 2) Không đồng hóa số liệu (WRF) với thời hạn dự báo là 48h. Mười cơn bão hoạt động trên khu vực biển Đông trong khoảng thời gian 2006 – 2008 đã được chọn thử nghiệm. Bão được chia thành hai nhóm: nhóm I gồm các cơn bão mạnh (cấp TY) và nhóm II gồm các cơn bão yếu (cấp TD và TS). Kết quả nhận được cho thấy, việc sử dụng nguồn số liệu “giả” đã cải thiện đáng kể chất lượng dự báo quỹ đạo bão, nhất là đối với bão thuộc nhóm I. Tính trung bình cho tất cả các hạn dự báo đến 48h, sai số vị trí (PE) của WRF-VAR vào khoảng 120km, trong khi của WRF giá trị này vào khoảng 170km. Mặc dù số trường hợp thử nghiệm còn tương đối ít, song những kết quả nhận được đã mở ra một khả năng phát triển hệ thống WRF-VAR thành một phiên bản dự báo bão khi thêm vào nó một module tạo xoáy nhân tạo.

*Từ khóa:* Dự báo, Bão, WRF, 3DVAR.1. Mở đầu

Theo truyền thống, bài toán ban đầu hóa xoáy bao gồm hai bước: 1) Loại bỏ xoáy phân tích (thường yếu hơn thực tế và sai lệch về vị trí) ra khỏi trường ban đầu để nhận được trường môi trường; và 2) Xây dựng một xoáy nhân tạo dựa trên một số thông tin quan trắc bổ sung về bão như vị trí tâm, quỹ đạo, cường độ, ... (các chỉ thị bão), sau đó cài vào trường môi trường. Phương pháp này thường được gọi một cách đơn giản là phương pháp cài xoáy. Xoáy nhân tạo có thể chỉ là một xoáy đối xứng lý thuyết, cũng có thể kết hợp giữa xoáy đối xứng lý thuyết với thành phần xoáy đối xứng phân tích [5,6,7]. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, với sự phát triển của kỹ thuật tính toán, ngoài phương pháp cài xoáy trên đây, người ta còn thực hiện bài toán ban đầu hóa xoáy nhờ kỹ thuật đồng hóa số liệu. Với phương pháp này, bước loại bỏ xoáy phân tích trên đây không cần thực hiện, còn khái niệm cài xoáy được tiến hành bằng cách đưa vào tập số liệu “giả” nhờ kỹ thuật đồng hóa số liệu ba chiều (3DVar). Tập số liệu “giả” được tạo ra thông qua việc xây dựng một xoáy đối xứng lý thuyết hoặc kết

\* Phan Văn Tân. ĐT: 04-35583811  
E-mail: tanpv@vnu.edu.vn

hợp xoáy đối xứng lý thuyết với xoáy đối xứng phân tích. So với phương pháp cài xoáy, phương pháp đồng hóa số liệu phải trải qua các bước tính toán phức tạp hơn, đòi hỏi năng lực máy tính mạnh hơn.

Trên thế giới, bài toán ban đầu hóa xoáy bằng phương pháp đồng hóa số liệu cho các mô hình số đã được tiến hành nghiên cứu và thử nghiệm khá nhiều. Chẳng hạn, Zou X. và Q.Xiao (2000) đã thử nghiệm ban đầu hóa xoáy bão với tập số liệu “giả” từ một số sơ đồ xoáy lý thuyết khác nhau [11,12]; D. Baker và cộng sự (2005,2006) sử dụng hệ thống đồng hóa số liệu của mô hình MM5 (MM5-Var) để thử nghiệm ban đầu hóa xoáy với cơn bão Rusa (2002) [7,8]; Y.R.Guo và cộng sự (2006) đã nghiên cứu ảnh hưởng của tập thống kê sai số nền (BES) trong hệ thống đồng hóa số liệu của mô hình WRF (WRF-Var) đối với việc phân tích và dự báo bão [11].

Ở Việt Nam, bài toán ban đầu hóa xoáy cũng đã được nhiều tác giả đề cập đến [1,2,3,4,5,6]. Tuy nhiên trong những nghiên cứu này, các tác giả chủ yếu sử dụng phương pháp *cài xoáy* để kết hợp xoáy nhân tạo với trường môi trường. Bằng một cách tiếp cận khác, trong bài báo này chúng tôi sẽ trình bày một số kết quả bước đầu thử nghiệm ban đầu hóa xoáy bằng phương pháp đồng hóa số liệu ba chiều (3DVar) cho mô hình WRF để dự báo sự chuyển động của bão trên biển Đông. Mục 2 dưới đây sẽ giới thiệu về mô hình WRF, hệ thống WRF-Var và cấu hình các thí nghiệm số. Kết quả thử nghiệm được trình bày trong mục 3. Mục 4 là một số nhận xét và kết luận về hiệu quả của phương pháp cũng như đề cập đến những hướng nghiên cứu và phát triển tiếp theo.

## **2. Cơ sở lý thuyết**

### *2.1. Sơ lược về mô WRF*

WRF là mô hình khí quyển quy mô vừa được thiết kế linh động, có độ tùy biến cao với mục đích sử dụng trong cả nghiên cứu cũng như dự báo thời tiết nghiệp vụ. WRF là kết quả của sự hợp tác, phát triển của nhiều trường đại học, trung tâm nghiên cứu và dự báo khí tượng ở Hoa Kỳ cũng như trên thế giới.

Hệ phương trình cơ bản của WRF là hệ phương trình đầy đủ, phi thủy tĩnh, viết cho chất lỏng nén được, có khả năng mô phỏng được các quá trình khí quyển trên nhiều quy mô khác nhau. WRF sử dụng hệ tọa độ áp suất cho phương thẳng đứng và lưới ngang xen kẽ Arakawa-C với sơ đồ tích phân thời gian Runge – Kutta bậc ba. Mô hình có khả năng chạy dự báo hoặc mô phỏng với số liệu thực hoặc mô phỏng lý tưởng với điều kiện biên xung quanh là biên tuần hoàn, mở, đối xứng; biên cấu hình với điều kiện biên trên là lớp hấp thụ sóng dài của trái đất (suy giảm hoặc tán xạ Rayleigh) và điều kiện biên dưới là biên cứng hoặc bề mặt trượt tự do.

Về cơ bản các sơ đồ tham số hóa vật lý của WRF đều dựa trên các mô hình MM5, ETA, và một số mô hình khác. Các sơ đồ tham số hóa vật lý trong WRF được chia thành năm loại: Các quá trình vi vật lý, các sơ đồ tham số hóa mây và đối lưu, các quá trình bề mặt đất, lớp biên khí quyển và tham số hóa bức xạ.

## 2.2. Hệ thống đồng hóa số liệu WRF-VAR

WRF-Var là hệ thống đồng hóa số liệu tích hợp cùng mô hình WRF với mục đích cơ bản là đưa ra được một ước lượng tối ưu trạng thái khí quyển thực ở thời điểm phân tích thông qua bài toán cực tiểu hóa hàm chi phí (*cost function*) [7].

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(y - y_0)O^{-1}(y - y_0) \quad (1)$$

Việc làm cực tiểu hóa hàm chi phí (1) được thực hiện thông qua một thủ tục lặp, kết quả sẽ nhận được giá trị phân tích  $x$ , được coi là nghiệm của (1). Nghiệm  $x$  được xem là xấp xỉ tốt nhất trạng thái khí quyển thực khi cho trước hai nguồn số liệu:  $x_b$  là giá trị nền (hay trường phỏng đoán ban đầu) và  $y_0$  là giá trị quan trắc (Lorenz, 1986). Trong công thức (1),  $B$  và  $O$  theo thứ tự là các ma trận tương quan sai số nền và sai số quan trắc,  $y=H(x)$  là giá trị của  $x$  được biến đổi về vị trí các điểm trạm quan trắc thông qua toán tử quan trắc  $H$  để so sánh với  $y_0$ .

Phương pháp thực nghiệm để giải quyết bài toán cực tiểu hóa là đưa ra trước một điều kiện thông qua phép biến đổi với biến điều khiển  $v$  được xác định bằng  $\delta x = Uv$  trong đó  $\delta x = x - x_b$  và biến đổi  $U$  được lựa chọn sao cho thỏa mãn xấp xỉ  $B = UU^T$ . Khi đó có thể viết lại hàm chi phí (1) dưới dạng:

$$J(v) = \frac{1}{2}(v^T v) + \frac{1}{2}(d - H'Uv)^T O^{-1}(d - H'Uv) \quad (2)$$

trong đó  $d = y_0 - H(x_b)$  và  $H'$  là tuyến tính hóa của toán tử quan trắc phi tuyến

Sai số nền được tính gần đúng bằng trung bình thống kê của chênh lệch các kết quả dự báo (ví dụ, với chuỗi số liệu theo tháng của dự báo 24h - 12h) cùng thời điểm ban đầu [13]:

$$B = \overline{(x^b - x^t)(x^b - x^t)^T} = \overline{\varepsilon_b \varepsilon_b^T} \approx \overline{(x^{T+24} - x^{T+12})(x^{T+24} - x^{T+12})^T} \quad (3)$$

trong đó  $x^t$  là trạng thái khí quyển thực và  $\varepsilon_b$  là sai số nền. Dấu gạch ngang biểu thị việc lấy trung bình theo thời gian hoặc (và) không gian.

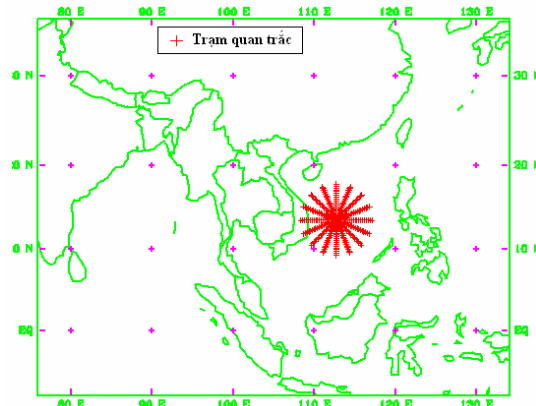
## 2.3. Thiết kế thí nghiệm

### a) Miền tính và cấu hình mô hình

Để tiến hành thử nghiệm, mô hình WRF được chạy với độ phân giải ngang 28x28 km (bước lưới khoảng 0.25 độ kinh vĩ), miền tính gồm 201x161 điểm lưới ngang và 28 mực thẳng đứng, bao phủ một vùng rộng từ 80E–130E và từ 5S–35N (Hình 1) gồm trọn vẹn khu vực Biển Đông và một phần phía Đông quần đảo Philipine thuộc khu vực Tây Thái Dương. Bước thời gian tích phân là 90s và hạn dự báo là 48h (2 ngày). Điều kiện biên được cập nhập từng 6 giờ một. Các sơ đồ tham số hóa được sử dụng trong mô hình gồm: Sơ đồ vi vật lý Kessler, sơ đồ phát xạ sóng dài RRTM, sơ đồ phát xạ sóng ngắn Dudhia, sơ đồ cho lớp sát đất Monin-Obukhov, sơ đồ khuếch tán nhiệt đối với các quá trình bề mặt, sơ đồ Mellor-Yamada-Janjic (Eta) TKE cho lớp biên, sơ đồ lớp biên hành tinh MRF, sơ đồ tham số hóa đối lưu Grell-Devenyi, với hiệu ứng mây và thông lượng nhiệt ẩm đi lên từ bề mặt với 5 lớp đất.

b) Các nguồn số liệu

Các nguồn số liệu được sử dụng gồm: 1) Điều kiện ban đầu và điều kiện biên phụ thuộc thời gian là số liệu phân tích và dự báo của mô hình toàn cầu GFS; 2) Các thông tin chỉ thị bão cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy được lấy từ website [agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon](http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon); 3) Các tập số liệu về độ cao địa hình, lớp phủ bề mặt,... với độ phân giải 30s kinh vĩ được cung cấp bởi Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ (ở CEP); 4) Sai số nền (BES) cho trường toàn cầu được cung cấp từ số liệu thống kê của ở CEP; và 5) Số liệu quan trắc “giả” được tạo ra nhờ một chương trình (modul) xây dựng xoáy nhân tạo dựa trên lý thuyết xoáy cân bằng ba chiều do Smith (2005) đề xuất [10].



Hình 1. Miền tính và vị trí các trạm quan trắc giả. Trong hình là trường hợp bão Durian giả.

Phương pháp xây dựng xoáy lý thuyết của Smith có ưu điểm là đơn giản nhưng vẫn có thể kiểm soát được cấu trúc của xoáy khá dễ dàng thông qua phân bố trường gió. Theo đó, khi cho trước một phân bố gió lý thuyết và phân bố của các yếu tố môi trường, có thể tính được phân bố theo bán kính và độ cao của khí áp, mật độ và nhiệt độ. Theo nghiên cứu hiện nay, bộ tham số thích hợp nhất cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy này đối với khu vực biển Đông như sau: Bán kính gió cực đại ( $R_m$ ) = 60km, bán kính gió 15m/s ( $R_{15}$ ) = 250km, hàm trọng số có dạng tuyến tính từng phần theo áp suất [6]:

$$W_z(p) = \begin{cases} 1 & \text{khi } p > 600hPa \\ \frac{p - p_2}{p_1 - p_2} & \text{khi } 100hPa \geq p \geq 600hPa \\ 0 & \text{khi } p < 100hPa \end{cases} \quad (4)$$

Trong bài này, xoáy nhân tạo chỉ có thành phần xoáy đối xứng lý thuyết, không bao gồm thành phần xoáy đối xứng phân tích. Tập số liệu quan trắc "giả" được tạo ra cho quá trình đồng hóa số liệu được trích từ các yếu tố cấu thành của xoáy nhân tạo. Mạng lưới trạm quan trắc "giả" phân bố theo phương bán kính, với tâm là vị trí tâm quan trắc của xoáy bão ở thời điểm phân tích (hình 1). Các yếu tố quan trắc “giả” được sử dụng bao gồm áp suất mực biển, gió (tốc độ và hướng), độ cao địa thế vị, nhiệt độ và độ ẩm trên số mực đẳng áp tùy thuộc vào độ mạnh của cơn bão. Đối với trường hợp các cơn bão mạnh (cấp Typhoon theo thang Saffir-Simpson), số liệu “giả” được lấy trên ba mực 1000mb, 850mb và 700mb của xoáy nhân tạo; đối với các trường hợp bão yếu hơn (Tropical Storm), số liệu “giả” chỉ được cho trên hai mực 1000mb và 850mb. Xoáy nhân tạo được hòa hợp vào trường môi trường như là các quan trắc bổ sung thông qua kỹ thuật đồng hóa số liệu ba chiều 3DVar.

c) Các trường hợp thử nghiệm

Để đánh giá khả năng dự báo đường đi của bão trong những tình huống phức tạp, bước đầu chúng tôi chọn mười cơn bão khá điển hình hoạt động trong các năm 2006-2008 (bảng 1). Thời điểm dự báo được chọn sao cho sau một khoảng thời gian nhỏ hơn 48h (hạn dự báo) tính từ thời điểm này bão có sự chuyển hướng hoặc thay đổi cường độ. Do vậy, đối với mười cơn bão được thử nghiệm chúng tôi chỉ thực hiện 10 lần dự báo (10 trường hợp). Ở ngoài ra, để xem xét ảnh hưởng của việc ban đầu hóa đối với các cơn bão có cường độ khác nhau, các thí nghiệm được chia thành hai nhóm cấp bão

(theo thang chia Saffir-Simpson): 1) ả hóm I, gồm các cơn bão mạnh có cấp TY (Typhoon); và 2) ả hóm II, gồm các trường hợp bão hoặc áp thấp nhiệt đới có cấp TS (Tropical Storm) và TD (Tropical Depression). Với cách phân chia đó, nhóm I có 6 trường hợp dự báo và nhóm II có 4 trường hợp (bảng 1).

Đối với mỗi trường hợp dự báo mô hình được chạy theo hai phương án: 1) Có thực hiện đồng hóa số liệu với số liệu bổ sung là tập số liệu “giả” được trích từ xoáy nhân tạo, ký hiệu là WRF-VAR; và 2) Không thực hiện đồng hóa số liệu, ký hiệu là WRF.

Bảng 1. Các trường hợp thử nghiệm

ả hóm	STT	Thời điểm dự báo	Tên bão	Vĩ độ tâm	Kinh độ tâm	Cấp bão	Mức khí áp được trích số liệu “giả”
I	1	00z 14/05/06	Chanchu	13.7	117.5	TY - 4	1000mb, 850mb, 700mb
	2	00z 12/11/06	Chebi	14.9	117.5	TY - 4	
	3	00z 03/12/2006	Durian	13.8	113.9	TY - 4	
	4	00z 07/11/07	Peipah	18.2	117.0	TY - 1	
	5	12z 15/04/2008	ả eoguri	11.2	114.7	TY - 2	
	6	00z 02/10/2007	Lekima	16.8	111.6	TY - 1	
II	1	00z 27/06/06	Jelawat	16.7	115.2	TS	1000mb, 850mb
	2	00z 04/08/07	06W	13.7	112.0	TS	
	3	00z 29/09/08	Mekkhala	16.4	111.6	TS	
	4	00z 02/10/08	Higos	15.2	118.3	TS	

d) Phương pháp đánh giá sai số dự báo

Sai số dự báo được xác định thông qua một số đại lượng biểu thị sự sai lệch giữa vị trí tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc. Tâm bão dự báo là vị trí tại đó khí áp mực biển đạt cực tiểu, được xác định bằng phương pháp downhill sau từng khoảng 6h một tính từ thời điểm dự báo. Tâm bão quan trắc là vị trí tâm phân tích (best track).

Sai số vị trí (PE) của quỹ đạo dự báo được tính bằng khoảng cách địa lý giữa vị trí tâm bão dự báo và vị trí tâm bão quan trắc, và được xác định cho từng cơn bão. Sai số vị trí trung bình (MPE) là giá trị trung bình của các sai số PE tại từng hạn dự báo (6, 12, ..., 48h). Hơn nữa, để đánh giá khả năng dự báo sự đổi hướng và tốc độ chuyển động của bão, các sai số lệch hướng (CT) và sai số tốc độ (AT) cũng được xác định (hình 2).

Các sai số AT và CT sau đó được tính trung bình (ME) và trung bình tuyệt đối (MAE) trên mười trường hợp bão khảo sát theo công thức:

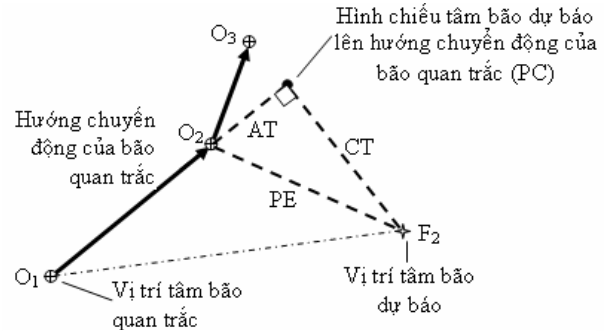
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{5}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i| \tag{6}$$

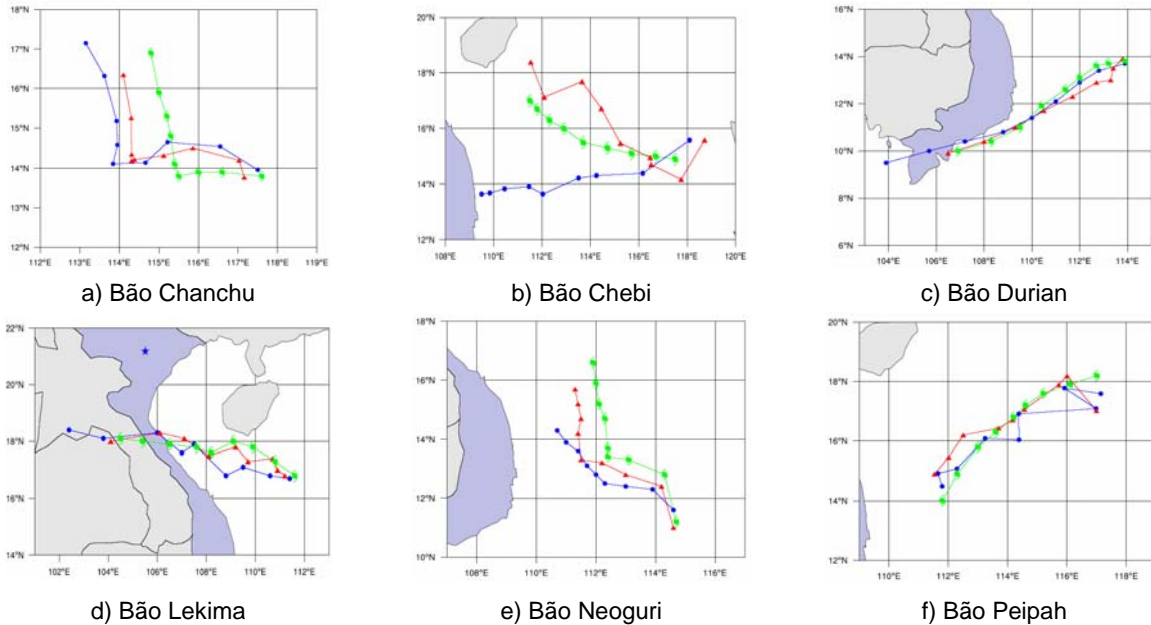
Trong đó  $x_i$  là các  $AT_i$  và  $CT_i$  cho từng trường hợp bão,  $n$  là số trường hợp dự báo ( $n=6$  đối với nhóm I và  $n=4$  đối với nhóm II).

### 3. Kết quả và nhận xét

Hình 3 dẫn ra quỹ đạo quan trắc (best-track) và dự báo của các cơn bão được thử nghiệm trong hai phương án đối với nhóm I. Có thể nhận thấy rằng, cả hai phương án WRF-VAR và WRF đều đã nắm bắt được sự đổi hướng di chuyển của bão ẩoguri và bão Chanchu. Mặc dù vậy, quỹ đạo dự báo của WRF-VAR (có thực hiện đồng hóa số liệu) dường như hợp lý hơn và bám sát quỹ đạo quan trắc hơn so với trường hợp WRF (không thực hiện đồng hóa). Trong 6 trường hợp bão, có lẽ kết quả dự báo quỹ đạo bão Chebi là kém nhất, cả với WRF-VAR và WRF, mặc dù WRF-VAR cho dự báo khá hơn.



Hình 2. Sơ đồ mô tả cách xác định sai số tốc độ (AT) và hướng (CT) của quỹ đạo dự báo. PE là sai số vị trí;  $O_1, O_2, O_3$  là các vị trí tâm bão quan trắc;  $F_2$  là vị trí tâm bão dự báo ứng với vị trí tâm quan trắc  $O_2$



Hình 3. Quỹ đạo bão các trường hợp nhóm I.

Ký hiệu: ● - Best track, ▲ - Y-VAR, ● - ẩ -VAR

Bảng 2 dẫn ra kết quả tính các đặc trưng trung bình MPE, ME, MAE của sai số vị trí, sai số tốc độ và sai số lệch hướng của hai phương án đối với nhóm I. Có thể nhận thấy rằng, so với WRF, sai số vị trí trung bình (MPE) của WRF-VAR đã được giảm đi một cách đáng kể. MPE của WRF-VAR khá ổn định theo hạn dự báo, dao động trong khoảng 60-96km, trung bình là 80.5km. Trong khi đó MPE của WRF biến động khá mạnh, từ 63-250km, và tăng dần theo hạn dự báo, trung bình là 160km. ẩ hình chung, so với WRF, trung bình của MPE trong phương án WRF-VAR giảm khoảng 80km, ít nhất giảm 3km (hạn 6h), nhiều nhất giảm 150km (hạn 48h).

Về tốc độ di chuyển, nếu ME của sai số AT trong trường hợp WRF luôn dương thì trong trường hợp WRF-VAR lại luôn âm ở tất cả các hạn dự báo. Ắc hư vậy việc bổ sung thông tin của xoáy nhân tạo thông qua tập số liệu “giả” đã làm cho bão di chuyển chậm lại, và còn chậm hơn so với quỹ đạo thực. Tuy nhiên, xét về trị số tuyệt đối (MAE), việc đồng hóa sử dụng số liệu “giả” đã làm giảm sai số tốc độ khoảng 45% (52.7km so với 92.8km).

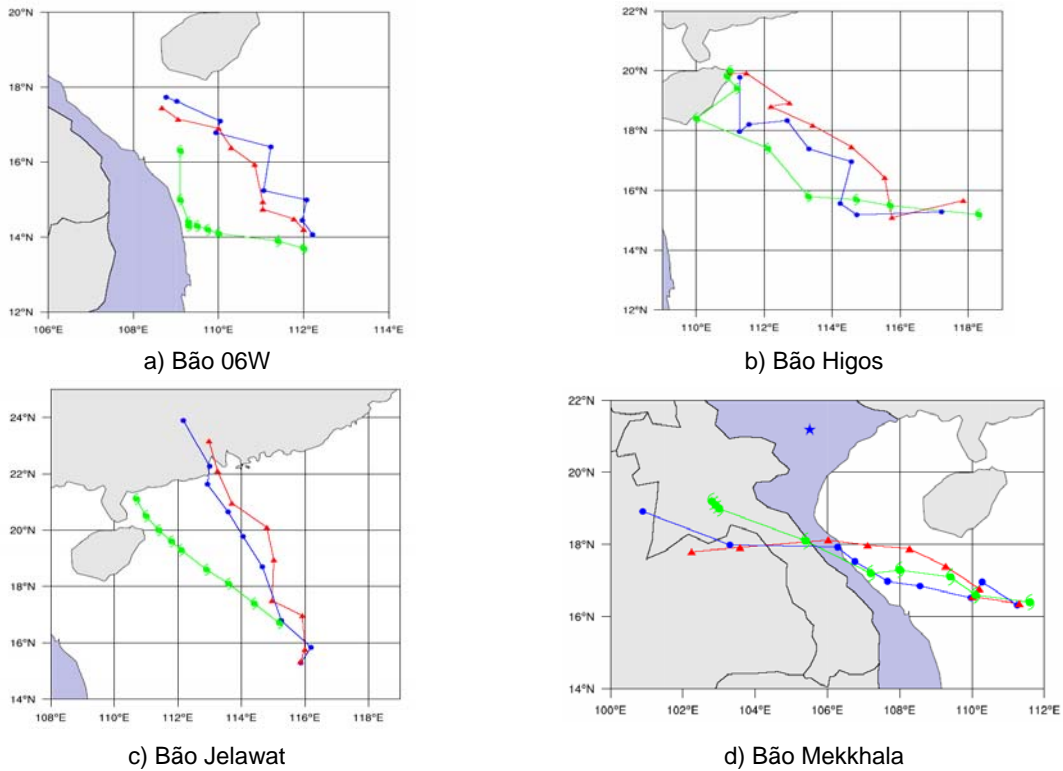
Về hướng chuyển động, trong trường hợp không đồng hóa số liệu (WRF), quỹ đạo dự báo luôn bị lệch trái ở tất cả các hạn dự báo (ME của CT luôn âm) và dao động không lớn, trung bình là 44.4km, lớn nhất khoảng 67km (hạn 48h), nhỏ nhất khoảng 27km (hạn 6h). Giá trị MAE của CT biến thiên trong khoảng từ 50-137km. Khi sử dụng sơ đồ đồng hóa (WRF-VAR) sai số ME của CT đã giảm đi một cách đáng kể về trị số tuyệt đối, trung bình chỉ còn khoảng 9.6km, lớn nhất khoảng 39km (hạn 24h) và nhỏ nhất 0km (hạn 48h). Trị số MAE của CT cũng đã giảm nhiều so với trường hợp WRF. Tuy nhiên, trong trường hợp này, quỹ đạo vẫn lệch trái trong các hạn dự báo 6-30h sau đó chuyển sang lệch phải ở các hạn dự báo 36-48h.

Quỹ đạo quan trắc (best-track) và dự báo của các cơn bão trong nhóm II được biểu diễn trên hình 4. Rõ ràng khó có thể nói trường hợp nào cho kết quả dự báo tốt hơn. Cả hai phương án nói chung đều cho quỹ đạo dự báo sai lệch đáng kể so với quỹ đạo quan trắc. Trong 4 trường hợp được xét dường như chỉ có quỹ đạo dự báo của cơn bão Mekkhala là phù hợp nhất so với quỹ đạo thực.

Bảng 2. Sai số quỹ đạo dự báo của nhóm I (km)

Hạn dự báo (h)	WRF-VAR					WRF				
	MPE	Sai số AT		Sai số CT		MPE	Sai số AT		Sai số CT	
		ME	MAE	ME	MAE		ME	MAE	ME	MAE
06	59.2	-41.8	42.0	-12.2	37.8	62.6	10.6	35.8	-26.9	50.0
12	81.2	-51.3	56.3	-14.6	42.7	132.2	10.0	95.9	-63.6	91.9
18	82.7	-50.1	63.7	-15.8	38.1	118.0	44.5	79.2	-61.2	79.7
24	82.2	-44.4	63.5	-39.3	49.4	153.0	73.2	89.1	-77.7	96.7
30	79.4	-44.7	45.9	-15.3	69.3	158.2	20.2	67.7	-90.6	94.4
36	95.6	-30.6	40.9	18.1	84.9	184.2	39.4	100.3	-73.8	129.5
42	72.2	-28.1	42.1	2.0	56.7	221.0	55.0	116.7	-86.3	133.9
48	91.6	-3.7	67.0	0.1	61.8	251.3	47.1	157.8	-111.6	137.0
T. bình	80.5	-36.8	52.7	-9.6	55.1	160.1	37.5	92.8	-73.9	101.6

Các đặc trưng sai số dự báo của các cơn bão nhóm II được dẫn ra trong bảng 3. Việc so sánh các giá trị MPE, ME và MAE của AT và CT giữa hai phương án WRF-VAR và WRF cho thấy đối với nhóm này việc bổ sung thông tin xoáy từ tập số liệu “giả” hầu như không cải thiện chất lượng dự báo quỹ đạo của mô hình. Sai số vị trí, sai số tốc độ và sai số lệch hướng của hai phương án tương đương nhau. Điều đó cũng đã được chứng minh trong quá trình thí nghiệm của chúng tôi khi sử dụng số liệu “giả” trên tập các mục đẳng áp khác nhau (không trình bày ở đây), trong đó có cả trường hợp đưa vào các mục như đối với nhóm I. Ắc hư vậy có thể nói, đối với những cơn bão yếu (cấp TD và TS) sự cải thiện trường ban đầu hầu như không làm tăng độ chính xác của quỹ đạo dự báo.



Hình 4. Quỹ đạo bão các trường hợp nhóm II.

Ký hiệu: ● - Best track, ▲ - Y-VAR, ● - ̂ -VAR

Bảng 3. Sai số của quỹ đạo dự báo của nhóm II (km)

Hạn dự báo (h)	WRF-VAR					WRF				
	MPE	Sai số AT		Sai số CT		MPE	Sai số AT		Sai số CT	
		ME	MAE	ME	MAE		ME	MAE	ME	MAE
06	117.2	-93.2	93.2	5.3	36.1	124.9	-52.3	102.6	18.9	41.8
12	156.0	-131.9	131.9	70.7	70.7	153.4	-118.7	141.9	26.1	45.9
18	193.6	-148.9	148.9	97.0	97.0	158.0	-104.3	104.3	94.8	115.2
24	210.4	-112.3	112.3	157.0	157.0	173.1	-79.2	79.2	134.4	149.7
30	222.0	-126.4	126.4	172.6	172.6	209.3	-99.9	99.9	154.6	154.6
36	263.3	-179.1	179.1	129.8	129.8	263.7	-203.2	203.2	99.3	99.3
42	185.5	14.0	100.1	95.0	113.9	229.0	-15.7	155.7	56.2	126.3
48	160.4	-16.5	80.4	28.8	126.6	187.3	16.7	125.8	25.6	126.4
Trung bình	188.5	-99.3	121.5	94.5	113.0	187.3	-82.1	126.6	76.2	107.4

Trong bảng 4 dẫn ra kết quả tính các đặc trưng sai số trung bình của tất cả các trường hợp thử nghiệm của nhóm I và nhóm II. ̂ nhìn chung, sai số vị trí trung bình qua từng hạn dự báo trong trường hợp sử dụng WRF-VAR cho thấy, kết quả dự báo đã được cải thiện một cách đáng kể (hình 5), hạn dự báo càng dài mức độ cải thiện càng lớn. Sai số vị trí trung bình của WRF-VAR lớn nhất khoảng 160km, trung bình khoảng trên 120km, trong khi đối với WRF sai số này biến động khá mạnh và tăng



dần theo hạn dự báo, từ khoảng 90km-230km, trung bình lên tới hơn 170km. Sai số tốc độ và sai số lệch hướng của WRF-VAR cũng nhỏ hơn và ổn định hơn so với WRF.

#### 4. Kết luận

Từ kết quả thử nghiệm chạy dự báo mô hình WRF theo hai phương án có đồng hóa số liệu với nguồn số liệu “giả” (WRF-VAR) và không đồng hóa số liệu (WRF) cho mười trường hợp dự báo ứng với mười cơn bão được lựa chọn, bước đầu có thể rút ra một số nhận định sau:

1) Việc tạo ra tập số liệu “giả” dựa trên một xoáy lý thuyết đối xứng kết hợp với kỹ thuật đồng hóa số liệu ba chiều (3DVar) đã cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão, nhất là với trường hợp các cơn bão mạnh. Điều đó nói lên rằng việc sử dụng nguồn số liệu “giả” bổ sung đã góp phần mô tả chính xác cấu trúc của bão, đặc biệt là các cơn bão mạnh khi mà trường ban đầu từ mô hình toàn cầu với độ phân giải tương đối thô đã không thể hiện được đầy đủ.

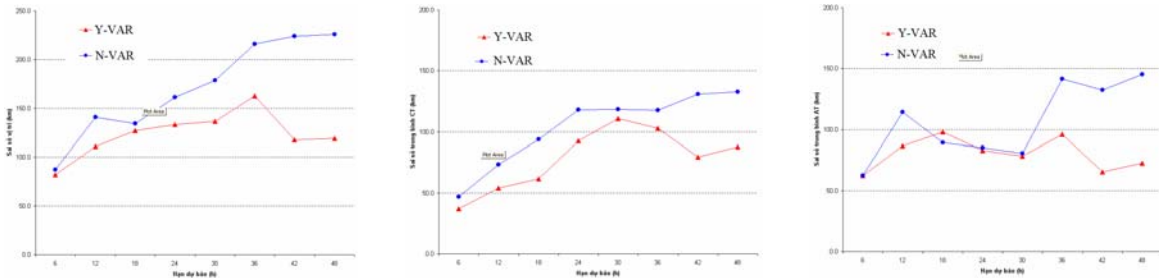
2) Đối với trường hợp các cơn bão yếu, việc đồng hóa số liệu sử dụng thông tin từ xoáy nhân tạo vẫn chưa cải thiện được chất lượng dự báo. Điều này có thể liên quan đến nhiều vấn đề phức tạp, cần được nghiên cứu kỹ hơn, trong đó không loại trừ việc ban đầu hóa xoáy có thể làm sai lệch cường độ bão so với thực tế. Mặt khác, tập sai số nền (BES) được sử dụng trong nghiên cứu này là số liệu của ả CEP, thích hợp hơn cho khu vực Tây Đại Tây Dương và vịnh Mécicô, nhưng chưa hẳn đã phù hợp với bão hoạt động trên biển Đông. Vì vậy, việc tạo ra tập sai số nền riêng phù hợp cho khu vực biển Đông có thể cũng là một bài toán cần được quan tâm nghiên cứu.

3) Chỉ cần thêm một module tạo xoáy nhân tạo đã có thể đưa hệ thống WRF-VAR thành một phiên bản dự báo bão mà không cần phải thực hiện quá trình cài xoáy phức tạp. Hơn nữa, ngoài nguồn số liệu “giả”, hệ thống WRF-VAR có thể sử dụng thêm các nguồn số liệu phi truyền thống để cải thiện tốt hơn trường ban đầu, mà điều đó hầu như khó thực hiện được đối với phương pháp cài xoáy.

4) Số trường hợp thử nghiệm còn tương đối ít nên chưa bao quát hết được tất cả các trường hợp bão hoạt động trên Biển Đông, vì vậy các kết luận trên mới chỉ dừng ở những nhận xét ban đầu. Để có thể rút ra được những kết luận đầy đủ hơn, cần thiết phải thử nghiệm trên một tập mẫu đủ dài.

Bảng 4. Sai số của quỹ đạo dự báo của tất cả các trường hợp thử nghiệm

Hạn dự báo (h)	WRF-VAR					WRF				
	MPE	Sai số AT		Sai số CT		MPE	Sai số AT		Sai số CT	
		ME	MAE	ME	MAE		ME	MAE	ME	MAE
06	82.4	-62.3	62.5	-5.2	37.1	87.5	-14.5	62.5	-8.6	46.7
12	111.1	-83.5	86.5	19.6	53.9	140.7	-41.4	114.3	-27.7	73.5
18	127.1	-89.6	97.8	29.3	61.7	134.0	-15.0	89.3	1.2	93.9
24	133.4	-71.6	83.0	39.2	92.4	161.1	12.3	85.1	7.1	117.9
30	136.5	-77.4	78.1	59.8	110.6	178.7	-27.9	80.6	7.4	118.5
36	162.7	-90.0	96.2	62.8	102.9	216.0	-57.6	141.5	-4.5	117.4
42	117.5	-11.3	65.3	39.2	79.5	224.2	26.7	132.3	-29.3	130.8
48	119.1	-8.8	72.4	11.6	87.8	225.7	34.9	145.0	-56.7	132.8
Trung bình	123.7	-61.8	80.2	32.0	78.2	171.0	-10.3	106.3	-13.9	103.9



Hình 5. Sai số vị trí trung bình MPE (trái), sai số trung bình tuyệt đối MAE của CT (giữa) và AT (phải) của tất cả các trường hợp thử nghiệm

### Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Thị Minh Phương (2003), “Lựa chọn một tham số cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình chính áp dự báo đường đi của bão trên biển Đông”, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 12(516) Tr. 13-32.
- [2] Nguyễn Thị Minh Phương (2007), “Kết quả dự báo nghiệp vụ quỹ đạo các cơn bão hoạt động trên biển đông năm 2005 bằng mô hình chính áp với sơ đồ ban đầu hoá xoáy cải tiến”. Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 10 - Viện KH KTTV & MT.
- [3] Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2003), “Về một phương pháp ban đầu hóa xoáy ba chiều”, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 11(515), Tr. 1-12.
- [4] Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2004), “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, 10(526), Tr. 14-25.
- [5] Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân (2007), *Về một sơ đồ ban đầu hóa xoáy mới áp dụng cho mô hình khu vực phân giải cao HRM*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 3(555), tr. 42–50.
- [6] Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2008), “Thử nghiệm áp dụng phiên bản HRM\_TC vào dự báo chuyển động bão ở Việt ả am”, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 2(566), Tr.1-10.
- [7] Dale M.Barker, W. Huang, Y.-R. Guo, and Q. Xiao(2004): A three-dimensional variational (3DVAR) data assimilation system for use with MM5: Implementation and initial results. Mon. Wea. Rev., 132, 897–914.
- [8] Gu Jianfeng, Qingnong Xiao, Ying-Hwa Kuo, Dale M.Barker , Xue Jishan, and Ma Xiaoxing (2005): Assimilation and Simulation of Typhoon Rusa (2002) Using the WRF System. Advances in Atmospheric Sciences, vol. 22, no. 3, p. 415-427.
- [9] Parish, D. F., and J. Derber (1992): The ational Meteorological Center’s spectral statistical-interpolation analysis system. Mon. Wea. Rev., 120, 1747–1763.
- [10] Smith R. K. (2005): “Accurate determination of a balanced axisymmetric vortex in a compressible atmosphere”, Tellus, (58A), pp. 98-103.
- [11] Qingnong Xiao, Ying-Hwa Kuo, Ying Zhang, D. M. Barker and D.-J. Won, 2006: “Experiments of a Typhoon Bogussing Scheme in the MM5 3D-Var Cycling System”
- [12] Xiao, Q. X. Zou and B. Wang, 2000: Initialization and simulation of a landfalling hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. Mon. Wea. Rev., 128, 2252-2269.

- [13] Y.-R. Guo, H.-C.Lin, X. X. Ma, X.-Y. Huang, C.T. Terng, and Y.-H. Kuo, “Impact of WRF-Var (3DVar) Background Error Statistics on Typhoon analysis and Forecast”
- [14] Zou, X., and Q. Xiao, 2000: Studies on the Initialization and Simulation of a Mature Hurricane Using a Variational Bogus Data Assimilation Scheme. *J Atmos. Sci.*, 57, 836-860.

## The combination of WRF-VAR and a vortex initialization scheme for typhoon track prediction over South China Sea

Phan Van Tan<sup>1</sup>, Lê Xuân Trường<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *Hanoi University of Science, VNU*

**Abstract.** In this study, the WRF model with 3DVAR data assimilation scheme (WRF-VAR) were used for predicting typhoon tracks over South China Sea. The GFS global data used as initial and time dependent boundary conditions for the 48h forecast. The initial condition field is corrected by using 3DVAR technique with “bogus” data obtained from vortex bogus scheme. Two experiments was carried out with 10 typhoons over South China Sea during the period of 2006-2008: 1) WRF-VAR runs with bogus data; and 2) WRF runs without 3DVAR (Control run). Typhoons was divided into 2 groups: 1) Intense typhoons (TY – Group I); and 2) Moderate and weak typhoons (TD and TS – Group II).

The results showed that, the forecasting typhoon tracks are improved significantly in WRF-VAR with bogus data obtained from a vortex initialization scheme, especially in the case of intense typhoon tracks (group I). In averaged, position error (PE) of WRF-VAR are about 120km, while the PE of WRF (Control run) is about 170km. The experiments demonstrated that, the WRF-VAR can be developed to a new operational version for the typhoon track forecasting by combining with a bogus vortex initialization scheme to correct the initial condition field.

*Keywords:* Typhoon, Prediction, WRF, 3DVAR.