

Thử nghiệm lọc Kalman tổ hợp đa vật lý mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão HaiYan 2013

Phạm Thị Minh^{1,*}, Trần Văn Sơn¹, Trần Thị Mai Hương¹, Nguyễn Thị Hằng², Từ Thị Năm¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một số kết quả thử nghiệm phương pháp lọc Kalman tổ hợp đa vật lý đồng hóa số liệu gió vệ tinh trong mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão HaiYan năm 2013. Nghiên cứu tiến hành hai thí nghiệm: (1) dự báo tổ hợp với lọc Kalman tổ hợp đa vật lý đồng hóa số liệu gió vệ tinh (CIMSS); (2) dự báo tổ hợp đa vật lý (MPH). Kết quả phân tích hoàn lưu khí quyển trong mô phỏng bắt đầu lúc 12 giờ UTC (giờ quốc tế) ngày 07 tháng 11 năm 2013 cho thấy xu thế cũng như cường độ của hoàn lưu chung trong thử nghiệm CIMSS giống với sự phát triển thực tế hơn so với thử nghiệm MPH, nhờ đó kết quả dự báo quỹ đạo bão ở hạn dự báo 48 giờ trở đi của thử nghiệm CIMSS tốt hơn so với thử nghiệm MPH. Hơn nữa, kết quả thử nghiệm của 6 trường hợp mô phỏng cho sai số mô phỏng quỹ đạo bão trong thử nghiệm CIMSS giảm lần lượt 14,0% và 14,3% ở hạn dự báo 48 giờ và 72 giờ so với thử nghiệm MPH, và giảm lần lượt 14,0% và 23,9% so với kết quả dự báo toàn cầu GFS. Đối với cường độ bão (Pmin và Vmax), thử nghiệm CIMSS cũng cho kết quả sai số cải thiện đáng kể ở hạn dự báo 72 giờ so với thử nghiệm MPH. Từ những kết quả trên có thể khẳng định việc đồng hóa số liệu gió vệ tinh vào trường đầu vào của mô hình có ảnh hưởng tích cực đến kỹ năng dự báo cường độ và quỹ đạo cơn bão Haiyan 2013. Kết quả này, mở ra một hướng nghiên cứu ứng dụng lọc Kalman tổ hợp đa vật lý dự báo các cơn bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

Từ khóa: Lọc Kalman, mô hình WRF, bão, dự báo tổ hợp.

GIỚI THIỆU

Các nghiên cứu gần đây về lọc Kalman tổ hợp đa vật lý đã chứng minh khả năng đồng hóa nhiều loại quan trắc ở các qui mô khác nhau của sơ đồ đồng hóa Kalman tổ hợp¹⁻⁵. Nghiên cứu của tác giả Kiều và cộng sự 2012⁵ cho thấy số liệu vệ tinh đồng hóa bằng lọc Kalman ứng dụng trong mô hình WRF cải thiện đáng kể kết quả dự báo quỹ đạo cơn bão Megi 2010, và đưa ra nhận định về vai trò của các quan trắc ngoài rìa xa tâm bão có thể đóng góp đáng kể trong việc nâng cao kỹ năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Mặc dù số liệu gió vệ tinh là đầu vào cho hệ thống đồng hóa số liệu toàn cầu NCEP (GDAS: Global Data Assimilation System) để tạo ra phân tích cuối cùng tầng đối lưu, nhưng số liệu phân tích trên được đưa vào mô hình dự báo toàn cầu và tạo ra các sản phẩm dự báo toàn cầu có độ phân giải thô (0,5 độ) và thường dự báo thấp hơn so với quan trắc. Vì vậy khi sử dụng sản phẩm của mô hình dự báo toàn cầu làm đầu vào cho mô hình khu vực, quá trình nội suy trong mô hình khu vực đã làm mất đi các thông tin mô phỏng hoàn lưu qui mô lớn dẫn đến kết quả dự báo không chính xác, đặc biệt với dự báo bão.

Ngoài ra, bão là hiện tượng thời tiết có tính bất định cao, nên việc dự báo quỹ đạo và cường độ bão vẫn

còn là thách thức đối với các nhà khí tượng trên thế giới. Do vậy trong nghiên cứu này chúng tôi đồng hóa số liệu gió vệ tinh với lọc Kalman tổ hợp đa vật lý ứng dụng trong mô hình WRF để dự báo quỹ đạo và cường độ cơn bão Haiyan năm 2013 hạn 3 ngày.

TÓM TẮT HOẠT ĐỘNG CỦA CƠN BÃO HAIYAN

Bão Hải Yến (tên quốc tế Haiyan, số hiệu quốc tế 1330, số hiệu Việt Nam là bão số 13). Bão số 13 là cơn bão rất mạnh về cường độ có thể so sánh với bão Katrina đổ bộ vào nước Mỹ năm 2005, hình thành ở vĩ độ thấp (6.1N) (Hình 1), đổ bộ vào Philippines với cường độ trên cấp 17, sau đó đi vào Biển Đông vẫn giữ cường độ cấp 14, cấp 15, đổi hướng di chuyển lên phía bắc đổ bộ vào Hải Phòng – Quảng Ninh với cường độ gió cấp 11, cấp 12 và giật đến cấp. Bão gây ra gió giật mạnh cấp 6-7 ở vùng ven biển các tỉnh Bắc và Trung Trung Bộ, ở vùng đồng bằng và trung du bắc bộ có gió mạnh cấp 6-7, có nơi cấp 8, giật cấp 9-10, ở vùng duyên hải Bắc Bộ và khu Đông Bắc Bắc Bộ có gió mạnh cấp 8-11, giật cấp 12-13⁶.

Trị số khí áp thấp nhất trong thời gian hoạt động của bão Haiyan quan trắc được tại trạm khí tượng Bãi Cháy (Quảng Ninh) là 981.2 hPa (lúc 3 giờ 30 phút

¹Khoa Khí tượng Thủy văn và Biển đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM

²Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM

Liên hệ

Phạm Thị Minh, Khoa Khí tượng Thủy văn và Biển đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM

Email: minhpt201@gmail.com

Lịch sử

- Ngày nhận: 27-5-2019
- Ngày chấp nhận: 15-8-2019
- Ngày đăng: 31-12-2019

DOI: 10.32508/stdjsee.v3i2.517



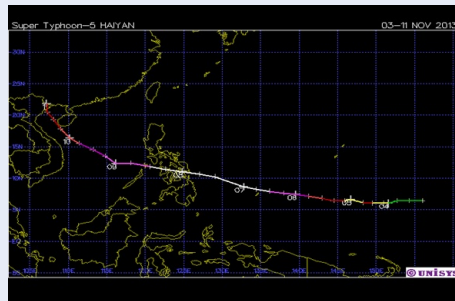
Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Thị Minh P, Văn Sơn T, Mai Hương T T, Thị Hằng N, T T N. Thử nghiệm lọc Kalman tổ hợp đa vật lý mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão HaiYan 2013. *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 3(2):85-95.

ngày 11/11/2013). Do ảnh hưởng của bão, ở các tỉnh phía đông bắc bộ, ven Biển Bắc và Trung Trung Bộ có mưa vừa, mưa to, riêng khu Đông Bắc Bộ có mưa to đến rất to. Tổng lượng mưa từ 13 giờ ngày 9 tháng 11 đến 19 giờ ngày 11 tháng 11, phổ biến 50-100mm, riêng tỉnh Quảng Ninh 100-150mm, một số nơi lớn hơn như Bãi Cháy 183mm... Khi bão Haiyan đổ bộ vào Quảng Ninh - Hải Phòng gây hậu quả rất lớn về người và tài sản. Đã có 18 người chết, 2 người mất tích, 93 người bị thương, 149 ngôi nhà bị đổ, sập, trôi, hư hại; 4.567 ngôi nhà bị ngập, 2.918 ngôi nhà bị tốc mái, 3.828 ha lúa bị ngập úng, đổ; 52.368 ha ngô, sắn, hoa màu bị ngập, 8.132 gia súc gia cầm bị chết cuốn trôi, 23 công trình thủy lợi bị hư hại. Ước tính tổng thiệt hại 669.530 triệu đồng⁶



Hình 1: Diễn biến đường đi bão Haiyan⁷.

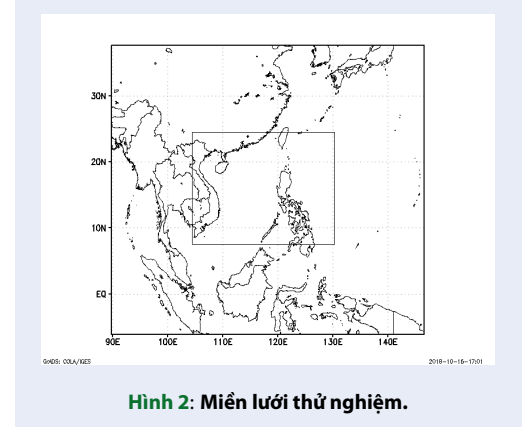
THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Mô hình

Sử dụng mô hình WRF phiên bản V3.3.1 với 31 mực (sigma) theo phương thẳng đứng có mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10hPa⁸. Mô hình WRF được lựa chọn với hai miền tính lồng ghép sử dụng phép chiếu Mercator. Miền lưới thiết kế cho thử nghiệm mô phỏng cơn bão Haiyan là lưới lồng gồm 2 miền tính với độ phân giải ngang tương ứng 36 km và 12 km, miền lưới 1 gồm 171x141 điểm lưới và miền lưới 2 gồm 232x160 điểm lưới với tâm miền tính cố định 17N & 118.2E (Hình 2) sử dụng trong mô hình WRF.

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành thử nghiệm dự báo cơn bão Haiyan 2013 với hạn 3 ngày với thời điểm bắt đầu dự báo từ 00Z07 đến 12 Z 08, thời điểm bắt đầu dự báo cách nhau 06 giờ (6 trường hợp) theo 2 thử nghiệm:

1. dự báo tổ hợp với lọc Kalman tổ hợp đa vật lý đồng hóa số liệu gió vệ tinh (CIMSS);
2. dự báo tổ hợp đa vật lý (MPH)



Hình 2: Miền lưới thử nghiệm.

Dự báo tổ hợp với điều kiện ban đầu được tạo ra từ Kalman tổ hợp đồng hóa số liệu vệ tinh (CIMSS), và dự báo tổ hợp (MPH) cho 21 thành phần tổ hợp sơ đồ vật lý khác nhau tương ứng với 21 lần dự báo. Vì hiện tại trong mô hình WRF V3.3.1 có các sơ đồ tham số hóa vi vật lý, tham số hóa bức xạ sóng dài và sóng ngắn, tham số hóa đối lưu; tương ứng với các lựa chọn như trong Bảng 1, do đó có thể kết hợp giữa các sơ đồ vật lý khác nhau đó để tạo ra thành phần tổ hợp tương ứng với 1 dự báo (Bảng 2).

Số liệu

Điều kiện đầu vào và điều kiện biên sử dụng số liệu dự báo GFS của NCEP/NCAR (NCEP-The National Center for Environmental Prediction/NCAR-The National Center for Atmospheric Research) có độ phân giải ngang là 0.5x0.5 độ kinh vĩ và định dạng grib2. Số liệu GFS được lấy từ trang web: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>⁹.

Số liệu quan trắc gió từ vệ tinh là một nguồn số liệu đặc biệt quan trọng đối với các mô hình dự báo chạy nghiệp vụ trên thế giới với độ phủ sóng toàn cầu và thời gian thu thập số liệu trong vòng từ 3 - 6 giờ phụ thuộc vào đặc tính của từng vệ tinh. Số liệu gió vệ tinh cho phép biết được tình trạng động lực của khí quyển góp phần bổ sung thông tin cho trường ban đầu của mô hình dự báo bằng đồng hóa số liệu. Hiện nay số liệu gió vệ tinh được tiền xử lý bởi tổ chức hợp tác nghiên cứu vệ tinh khí tượng trường đại học Wisconsin (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies - University of Wisconsin satellite atmospheric motion vector CIMSS-AMV) trong cùng khoảng thời gian đã chọn. Một số các nghiên cứu với số liệu CIMSS-AMV đã chỉ ra số liệu này có thể giúp cải thiện chất lượng dự báo của các hệ thống qui mô trung bình khác nhau^{5,10}. Ưu điểm của số liệu

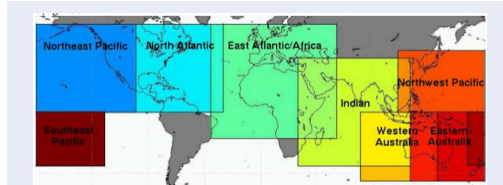
Bảng 1: Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
Vi vật lý	mp_physics	= 1, Kessler scheme = 2, Lin et al. scheme = 3, WSM 3-class simple ice scheme = 4, WSM 5-class scheme = 5, Ferrier (new Eta) microphysics = 6, WSM 6-class graupel scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	= 1, Dudhia scheme = 2, Goddard short wave
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	= 1, rrtm scheme
Đối lưu	cu_physics	= 1, Kain-Fritsch (new Eta) scheme = 2, Betts-Miller-Janjic scheme

Bảng 2: Thành phần tổ hợp tương ứng với các lựa chọn sơ đồ vật lý khác nhau

Tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
001	1	2	1	1
002	1	1	1	2
003	1	2	1	2
004	1	1	2	1
005	1	2	2	1
006	1	1	2	2
007	1	2	2	2
008	1	1	3	1
009	1	2	3	1
010	1	1	3	2
011	1	2	3	2
012	1	1	4	1
013	1	2	4	1
014	1	1	4	2
015	1	2	4	2
016	1	1	5	1
017	1	2	5	1
018	1	1	5	2
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1

CIMSS-AMV là sai số đã được kiểm định chất lượng cao và được xác định bằng thuật toán lọc đệ quy. Mỗi một số liệu được kiểm tra sao cho phù hợp hầu hết với số liệu xung quanh bằng kĩ thuật chỉ số chất lượng. Hầu hết số liệu CIMSS-AMV phân bố trong các vùng khác nhau và hiện tại được lưu trữ trong nhiều định dạng bao gồm ASCII và / hoặc BUFR. Trong nghiên cứu này số liệu gió vệ tinh được lấy ở khu vực Ấn Độ, Tây Bắc Thái Bình Dương (Hình 3) và được downloads từ trang website <http://tropic.ssec.wisc.edu>¹¹ trong định dạng ASCII.



Hình 3: Khu vực có số liệu gió quan trắc từ vệ tinh bao phủ. (nguồn <http://tropic.ssec.wisc.edu>¹¹)

Lý thuyết lọc Kaiman tổ hợp

Một cách tổng quát, *đồng hóa số liệu* là quá trình tạo trường ban đầu tốt nhất có thể cho một mô hình dự báo, dựa trên các mối quan hệ động lực và xác suất thống kê. Do đặc thù của mô hình dự báo thời tiết bằng mô hình số có tính phụ thuộc mạnh vào trường ban đầu, các bản tin dự báo thời tiết đôi khi cho kết quả hoàn toàn sai lệch do điều kiện ban đầu không chính xác¹²⁻¹⁶.

Quá trình đồng hóa về cơ bản bao gồm hai bước chính là

- (1) phân tích khách quan và
- (2) ban đầu hóa¹⁷

Theo bước phân tích khách quan, trường quan trắc sẽ được ngoại suy điểm lưới của mô hình số một cách tối ưu. Bước ban đầu hóa, trường ngoại suy này sẽ được cân bằng hóa sao cho các biến quan trắc phụ thuộc lẫn nhau sẽ được ràng buộc bởi một mối quan hệ động lực cho trước. điều này là cần thiết để tránh đưa vào các giá trị quan trắc tùy ý. Bài toán đồng hóa xuất hiện từ những năm 1950^{18,19}, nhưng đến 20 năm trở lại đây bài toán đồng hóa mới thực sự phát triển. Theo quan điểm hiện đại, các sơ đồ đồng hóa số liệu hiện nay có thể được chia làm hai loại : Đồng hóa biến phân và đồng hóa dây²⁰. Trong đó đồng hóa dây có những ưu điểm nhất định trong lập trình và ứng dụng tiện lợi trong các mô hình. Tiêu biểu cho phương pháp đồng hóa dây là các bài toán đồng hóa lọc Kalman²¹⁻²⁸, điển hình là lọc Kalman tổ hợp đang được ứng dụng rộng rãi^{5,10}.

Ý tưởng chính của thuật toán lọc Kalman tổ hợp là sử dụng ma trận tổ hợp nền như một toán tử chuyển đổi từ không gian mô hình dựa vào các điểm lưới trong khu vực địa phương đã chọn sang không gian tổ hợp dựa trên các thành phần tổ hợp, và thực hiện phân tích trong không gian tổ hợp này ở mỗi điểm lưới. Đối với thuật toán LETKF, giả thiết rằng có một tổ hợp nền $\{x^{b(i)} : i=1,2 \dots,k\}$, trong đó k là số thành phần tổ hợp. Theo Hunt và cộng sự (2007)²⁷, một ma trận trung bình tổ hợp \bar{x}^b và một ma trận nhiễu tổ hợp X^b được xác định:

$$\bar{x}^b = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x^{b(i)}$$

$$X^b = x^{b(i)} - \bar{x}^b \tag{1}$$

Ký hiệu $x = \bar{x}^b + X^b w$ trong đó w là một véc tơ địa phương trong không gian tổ hợp, hàm giá địa phương được cực tiểu hóa trong không gian tổ hợp có dạng :

$$\hat{J}(w) = (k-1)w^T \left\{ I - (X^b)^T [X^b (X^b)^T]^{-1} X^b \right\} w + J [\bar{x}^b + X^b w], \tag{2}$$

Trong đó $J [\bar{x}^b + X^b w]$ là hàm giá trong không gian mô hình. Nếu hàm giá xác định trong không gian đầy đủ của $X^b (N = \{v | X^b v = 0\})$, thì dễ dàng thấy hàm giá $\hat{J}(w)$ được phân ra thành 2 phần : Một phần bao gồm thành phần của w trong N (số hạng đầu tiên trong phương trình 2), và thành phần thứ 2 phụ thuộc vào thành phần của w trực giao với N. Điều kiện trạng thái phân tích trung bình \bar{w}^a trực giao với N để hàm giá $\hat{J}(w)$ được cực tiểu hóa, ma trận trạng thái phân tích trung bình và ma trận tương quan sai số tương ứng của nó trong không gian tổ hợp có thể được biểu diễn như sau :

$$\bar{w}^a = \hat{P}^a (Y^b)^T R^{-1} [y^0 - H(\bar{x}^b)] \tag{3}$$

$$\hat{P}^a = [(k-1)I + (Y^b)^T R^{-1} Y^b]^{-1} \tag{4}$$

Trong đó $Y^b \equiv H(x^{b(i)} - \bar{x}^b)$ là ma trận tổ hợp của giá trị nhiễu nền ở các vị trí quan trắc và R là ma trận tương quan sai số quan trắc. Chú ý rằng ma trận tương quan sai số phân tích P^a trong không gian mô hình và \hat{P}^a trong không gian tổ hợp có một mối quan hệ đơn giản $P^a = X^b \hat{P}^a (X^b)^T$, ma trận nhiễu tổ hợp phân tích X^a có thể được biểu diễn như sau:

$$X^a = X^b [(k-1)\hat{P}^a]^{1/2} \tag{5}$$

Tổ hợp phân tích x^a cuối cùng được thực hiện như sau :

$$x^{a(i)} = \bar{x}^b + X^b \left\{ \bar{w}^a + [(k-1)\hat{P}^a]^{1/2} \right\} \tag{6}$$

Chi tiết hơn về thuật toán LETKF có thể tìm trong Hunt và cộng sự (2007). Trong đó, \bar{x}^b ma trận trung bình tổ hợp; \mathbf{X}^b ma trận nhiễu tổ hợp; $\hat{\mathbf{P}}^a$ ma trận tương quan sai số phân tích và $\bar{\mathbf{w}}^a$ là ma trận trọng số trong không gian tổ hợp.

PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ

Phương pháp trung bình tuyệt đối

Theo Wilks (1997)²⁹, sai số MAE được sử dụng để đánh giá các dự báo của biến khí quyển liên tục. Do vậy, MAE được áp dụng như một chỉ số để đánh giá sai số cường độ bão (áp suất mực biển cực tiểu tại tâm - PMIN và tốc độ gió cực đại gần tâm VMAX). Với MAE- sai số trung bình tuyệt đối được tính bằng công thức:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (7)$$

Trong đó : MAE là sai số trung bình tuyệt đối, F_i là giá trị dự báo, O_i là giá trị quan trắc, N là độ dài chuỗi số liệu.

Phương pháp khoảng cách tâm bão

Sai số quỹ đạo tính theo công thức (8):

$$PE = R_e * \arccos \left[\sin(\alpha_1) * \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) * \cos(\beta_1 - \beta_2) \right] \quad (8)$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất (6378.16 km); α_1, α_2 là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian); β_1, β_2 là kinh độ của tâm bão thực tế và tâm bão dự báo (đv radian). Sai số trung bình khoảng cách được tính như sau:

$$MPE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Trong đó, PE là sai số khoảng cách của từng trường hợp dự báo ; n là số trường hợp thử nghiệm ; j là hạn dự báo

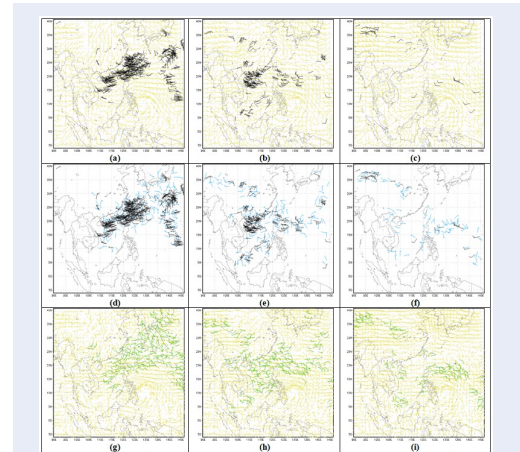
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tác động của gió quan trắc từ vệ tinh đến kết quả mô phỏng

Do quỹ đạo bão Haiyan sau 12 giờ ngày 7/11 có sự thay đổi về hướng, nên việc dự báo quỹ đạo sẽ gặp khó khăn. Vì vậy trong nghiên cứu này tác giả tiến hành chạy các thử nghiệm dự báo hạn 3 ngày với thời điểm bắt đầu dự báo từ 00 giờ UTC ngày 7/11 đến 12 giờ UTC ngày 18/11 cách nhau 6 giờ (có 6 thử nghiệm tương ứng với 42 dự báo cho một thử nghiệm).

Trong phần này, để biết được tác động của gió quan trắc từ vệ tinh đến kết quả mô phỏng, tác giả phân tích kết quả của một mô phỏng cụ thể được dự báo lúc 12

giờ UTC ngày 07 đến 12 giờ UTC ngày 10 tháng 11 năm 2013. Trong đó, nghiên cứu chỉ ra sự khác biệt trong mô phỏng hoàn lưu qui mô lớn lúc 12 giờ UTC ngày 08/11/2013, là thời điểm quỹ đạo cơn bão Haiyan chuyển từ hướng tây sang tây tây bắc. Tại thời điểm bắt đầu dự báo, số liệu gió vệ tinh được đưa vào trường ban đầu của mô hình trong thử nghiệm CIMSS với trường gió phân tích và gió quan trắc trong một số mực được minh họa trong **Hình 8**.

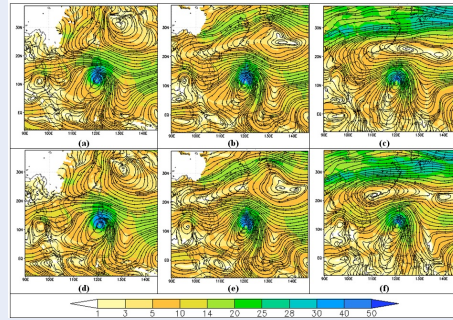


Hình 4: Trường gió ban đầu chưa đồng hóa (trường nền – màu vàng (a,b,c,g,h,i)), gió vệ tinh quan trắc (màu đen – a,b,c,d,e,f) và trường gió phân tích do LETKF đồng hóa số liệu gió vệ tinh (g,h,i) (màu xanh lá cây) tại 12 giờ UTC ngày 07/11/2013 ở các mực 850 hPa (a,d,g), 700 hPa (b,e,h) và 500 hPa (c,f,i).

Từ **Hình 4** cho thấy, lọc Kalman tổ hợp nắm bắt khá tốt gió được quan trắc từ vệ tinh ở các mực 850 hPa, 700 hPa và 500 hPa. Cụ thể, ở các vị trí có gió do vệ tinh quan trắc, sau khi qua lọc Kalman tổ hợp sẽ sinh ra một trường gia số gió (gió phân tích trừ đi gió nền) (vector màu xanh dương-**Hình 4**d,e,f), tương ứng với các vector này là các vector gió màu xanh lá cây ở hình 4 g,h,i là vector gió phân tích (trường nền cộng với gia số) kết quả này phù hợp với nghiên cứu của tác giả Kiều và các cộng sự 2012⁵.

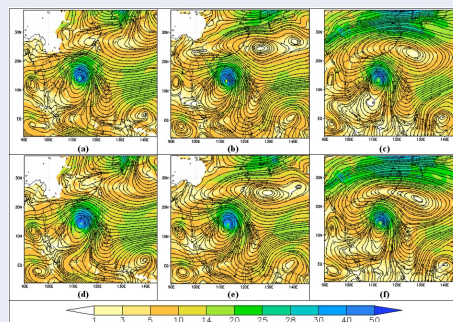
Với trường đầu vào khác nhau trong hai thử nghiệm CIMSS (tam giác) và MPH (dấu nhân), sau 24 giờ, nghĩa là lúc 12 giờ UTC ngày 08/11/2013, hoàn lưu mô phỏng có sự khác biệt giữa hai thử nghiệm. Điểm hình ở mực 850 hPa, áp cao cận nhiệt tây Thái Bình Dương (WPSH) trong thử nghiệm CIMSS (**Hình 5**d) được mô phỏng dịch lên phía bắc nhiều hơn so với vị trí áp cao cận nhiệt tây Thái Bình Dương trong thử nghiệm MPH (**Hình 5**a). Hình thể này, tạo điều kiện cho cơn bão Haiyan đổi hướng di chuyển từ tây sang tây tây bắc. Ở hai mực 700 hPa và 500 hPa, hình thể

xảy ra tương tự, với vị trí hoạt động của WSPH trong thử nghiệm CIMSS (Hình 5e, f) là di chuyển nhiều lên phía bắc và dịch sang phía đông nhiều hơn so với WSPH trong thử nghiệm MPH (Hình 5b,c). Hình thế này cũng tạo điều kiện thuận lợi cho cơn bão Haiyan di chuyển theo hướng tây bắc.



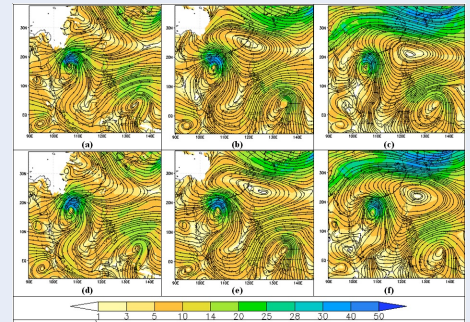
Hình 5: Bản đồ đường dòng mực 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa trong thử nghiệm MPH (a,b,c), CIMSS (d,e,f) mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 08. Và độ lớn tốc độ gió ở mực tương ứng.

Sau 48 giờ, nghĩa là lúc 12 giờ UTC ngày 09/11/2013, kết quả mô phỏng vẫn không khác biệt so với hình thế synop đã được dự báo vào lúc 12 giờ UTC ngày 8/11, cụ thể lõi áp cao cận nhiệt đới vẫn tiếp tục di chuyển về phía tây và tâm áp cao ở phía đông, trên mực 850hPa thử nghiệm CIMSS (Hình 6) mô phỏng WSPH rút về phía đông nhanh hơn so với WSPH được mô phỏng trong thử nghiệm MPH (Hình 6a). Do đó, tạo thuận lợi cho cơn bão Haiyan di chuyển theo hướng bắc tây bắc trong thử nghiệm CIMSS tương tự quỹ đạo thực của cơn bão Haiyan. Hình thế tương tự xảy ra ở mực 700 hPa và 500 hPa.



Hình 6: Bản đồ đường dòng mực 850hPa, 700hPa, 500hPa trong thử nghiệm MPH (a,b,c), CIMSS (e,f,g) mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 09. Và độ lớn tốc độ gió ở mực tương ứng.

Sau 72 giờ, kết quả mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 10/11 (Hình 7), ở mực 850hPa thử nghiệm MPH (Hình 7a) mô phỏng rãnh gió tây ở phía bắc phát triển sâu xuống phía nam hơn so với rãnh gió tây trong thử nghiệm CIMSS, do đó trong thử nghiệm MPH, hình thế này đã khống chế cơn bão Haiyan di chuyển theo hướng tây bắc khác với hướng di chuyển bắc tây bắc của quỹ đạo thực. Trong khi đó, ở mực 700 hPa và 500 hPa, thử nghiệm CIMSS, bão Haiyan đang di chuyển theo hướng bắc tây bắc và chịu ảnh hưởng của rìa phía tây của áp cao cận nhiệt tây Thái Bình Dương yếu hơn và có tâm lệch về phía bắc nhiều hơn so với vị trí áp cao cận nhiệt Tây Thái Bình Dương trong thử nghiệm MPH. Hình thế này giải thích cho quỹ đạo dịch chuyển của cơn bão Haiyan trong thử nghiệm CIMSS sát với quỹ đạo thực của cơn bão Haiyan (hướng di chuyển bắc tây bắc).



Hình 7: Bản đồ đường dòng mực 850hPa, 700hPa, 500hPa trong thử nghiệm MPH (a,b,c), CIMSS (e,f,g) mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 10. Và độ lớn tốc độ gió ở mực tương ứng.

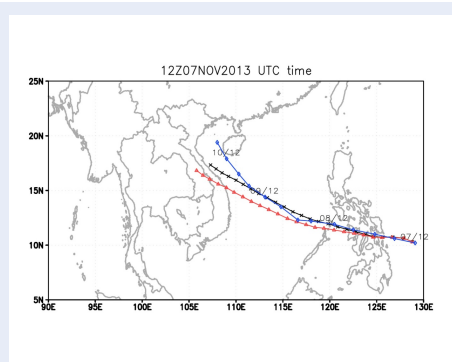
Mặc dù hoàn lưu mô phỏng trong thử nghiệm CIMSS hoàn toàn không giống so với hoàn lưu thực tế. Nhưng về xu hướng phát triển hoàn lưu (sự mở rộng hoặc di chuyển của các hệ thống quy mô lớn) trong thử nghiệm CIMSS dường như gần với xu hướng phát triển hoàn lưu thực tế hơn so với mô phỏng hoàn lưu trong thử nghiệm MPH. Kết quả này cho thấy số liệu gió quan trắc từ vệ tinh có ảnh hưởng tích cực trong việc mô phỏng hoàn lưu quy mô lớn trong mô hình số. Trong phần tiếp theo, nghiên cứu trình bày một số kết quả mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Haiyan.

Quỹ đạo và cường độ bão Haiyan

Quỹ đạo

Hình 8 là quỹ đạo cơn bão Haiyan quan trắc (màu xanh dương) và quỹ đạo dự báo trung bình (MPH-màu đỏ, CIMSS-màu đen) bắt đầu mô phỏng từ 12

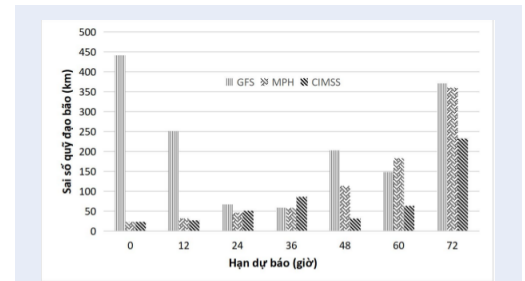
giờ ngày 07 tháng 11 năm 2013 và kết thúc lúc 12 giờ ngày 10 tháng 11. Trong 24 giờ đầu tiên, quỹ đạo mô phỏng và quỹ đạo thực của cơn bão Haiyan đều di chuyển theo hướng tây trong cả hai thử nghiệm. Nhưng bắt đầu từ 12 giờ UTC ngày 08 đến 12 giờ UTC ngày 09/11/2013, quỹ đạo bão thực tế và quỹ đạo bão mô phỏng trong thử nghiệm CIMSS cùng di chuyển theo hướng tây bắc, trong khi thử nghiệm MPH lại mô phỏng quỹ đạo bão Haiyan di chuyển theo hướng tây tây bắc (Hình 8a,b). Sự khác biệt trong mô phỏng quỹ đạo bão Haiyan trong hai thử nghiệm trên là do, sự tiến triển của hoàn lưu quy mô lớn (áp cao cận nhiệt tây Thái Bình Dương) như đã phân tích ở phương pháp đánh giá.



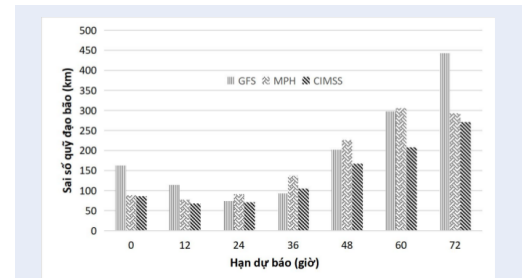
Hình 8: Quỹ đạo bão trung bình tổ hợp thử nghiệm CIMSS (dấu chéo), thử nghiệm MPH (tam giác), quan trắc (hình thoi). Bắt đầu dự báo lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013.

Từ 12 giờ UTC ngày 09/11 đến 12 giờ UTC ngày 10/11, quỹ đạo cơn bão Haiyan được mô phỏng trong thử nghiệm CIMSS vẫn gắn sát với quỹ đạo thực của cơn bão Haiyan hơn so với quỹ đạo bão được mô phỏng trong thử nghiệm MPH. Kết quả này cũng có thể được giải thích do sự ảnh hưởng của số liệu gió quan trắc từ vệ tinh đã tác động đến mô phỏng hoàn lưu trong thử nghiệm CIMSS nên có sự tiến triển tương tự như hình thể synop thực tế. Tác động này hiệu quả trong quá trình dự báo quỹ đạo cơn bão Haiyan, và được thể hiện rõ thông qua sai số dự báo quỹ đạo, đặc biệt vào hạn dự báo 48 giờ và 72 giờ, sai số dự báo quỹ đạo bão trong thử nghiệm CIMSS lần lượt là 50 km và 240 km, trong khi đó ở thử nghiệm MPH là 110 km và 360 km, còn số liệu GFS là 200 km và 380 km (Hình 9). Mặt khác, kết quả thống kê tính trung bình sai số dự báo quỹ đạo bão Haiyan trong 6 trường hợp mô phỏng (từ 00 giờ UTC ngày 07/11/2013 đến 12 giờ UTC ngày 08/11/2013) cũng cho thấy sai số dự báo quỹ đạo trong thử nghiệm CIMSS giảm đáng kể so với sai số dự báo quỹ đạo bão

Haiyan trong thử nghiệm MPH và số liệu dự báo toàn cầu GFS. Cụ thể, ở hạn 48 giờ và 72 giờ sai số dự báo quỹ đạo bão trong thử nghiệm CIMSS lần lượt là 150 km và 270 km, còn thử nghiệm MPH là 200 km và 360 km, còn số liệu dự báo toàn cầu GFS lần lượt là 200m và 440 km (Hình 10), nghĩa là sai số dự báo quỹ đạo trong thử nghiệm CIMSS ở hạn 48 giờ là 72 giờ giảm lần lượt 14,0% và 14,3% so với thử nghiệm MPH, và giảm lần lượt 14,0% và 23,9% so với kết quả dự báo toàn cầu GFS.



Hình 9: Sai số quỹ đạo bão trung bình của các thử nghiệm. Dự báo lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013.



Hình 10: Thống kê sai số trung bình quỹ đạo mô phỏng trong 6 trường hợp.

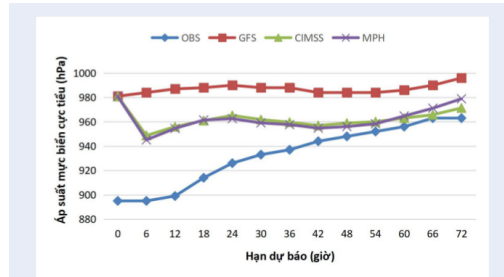
Cường độ bão Haiyan

Cường độ bão được thể hiện qua giá trị áp suất mực biển cực tiểu tại tâm bão (Pmin) và tốc độ gió bề mặt cực đại gần tâm (Vmax). Các giá trị Pmin và Vmax được tính trung bình cho 21 thành phần dự báo – màu đen (Hình 12 b,c,e,f).

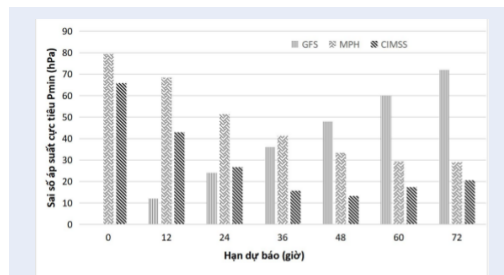
a) Mô phỏng áp suất mực biển cực tiểu tại tâm

Từ Hình 11 cho thấy biến trình khí áp cực tiểu tại tâm quan trắc (màu xanh dương) và mô phỏng (màu đỏ và xanh lá cây), từ thời điểm 18 giờ UTC ngày 7/11 áp suất mực biển cực tiểu tại tâm quan trắc (đường màu xanh dương) không thay đổi với trị số thấp nhất 895hPa, sau đó khí áp bắt đầu tăng liên tục đến 06 giờ

UTC ngày 10 với trị số là 963hPa và trị số không đổi đến 12 giờ UTC ngày 10. Trong khi đó, Pmin ở hai thử nghiệm CIMSS (xanh lá cây) và MPH (màu đỏ) không thay đổi nhiều từ 12 giờ UTC ngày 07 đến 00 giờ ngày 08, sau đó tăng liên tục đến 12 giờ UTC ngày 10 (Hình 11).



Hình 11: Biến trình Pmin trung bình trong các thử nghiệm. Với thời điểm bắt đầu dự báo lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013.



Hình 12: Thống kê sai số trung bình Pmin mô phỏng trong 6 trường hợp.

Từ Hình 11 cho thấy, biến trình Pmin từ dự báo toàn cầu đều cao hơn so với quan trắc và hai thử nghiệm trên. Còn biến trình Pmin trong hai thử nghiệm CIMSS và MPH khá tương đồng với biến trình Pmin quan trắc từ hạn dự báo 42 giờ đến 72 giờ. Kết quả này được thể hiện rõ thông qua sai số dự báo tuyệt đối Pmin (Bảng 3). Cụ thể sai số Pmin trong 2 thử nghiệm CIMSS và MPH đều nhỏ hơn sai số Pmin của số liệu dự báo toàn cầu GFS ở tất cả các hạn dự báo. Trong 12 giờ đầu tiên, sai số dự báo Pmin khá lớn cả ở số liệu GFS và 2 thử nghiệm. Sai số lớn này là do số liệu GFS có độ phân giải thô nên Pmin được mô phỏng trong số liệu GFS yếu. Do đó, phải mất một khoảng thời gian để xoáy mô hình thích ứng với dòng môi trường trước khi xoáy đó phát triển phù hợp với cơ chế động lực⁵. Thông thường để khắc phục nhược điểm này, bài toán cài xoáy giả (ban đầu hóa xoáy) cho thời điểm ban đầu dự báo bão được áp dụng. Kết

quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về lọc Kalman tổ hợp ứng dụng dự báo bão^{5,30}, nghĩa là lọc Kalman tổ hợp đồng hóa số liệu gió vệ tinh chỉ cải thiện trường hoàn lưu quy mô lớn, nhờ đó kết quả dự báo quỹ đạo cũng như cường độ bão được cải thiện đáng kể sau hạn dự báo 24 giờ, còn sai số ban đầu của dự báo cường độ không cải thiện, ngoại trừ xoáy giả được cài vào trường ban đầu. Sau 24 giờ đầu tiên, sai số Pmin trong 2 thử nghiệm CIMSS và MPH bắt đầu giảm đáng kể, đặc biệt là sau 42 giờ đến 72 giờ sai số Pmin giảm xuống dưới 10,0 hPa, đáng chú ý hơn cả là ở hạn 72 giờ, sai số Pmin trong thử nghiệm CIMSS chỉ là 8,4 hPa, còn sai số Pmin trong thử nghiệm MPH là 15,9 hPa. Tuy nhiên, đánh giá thống kê sai số Pmin trong 6 trường hợp mô phỏng (Hình 12) lại cho thấy thử nghiệm CIMSS dự báo Pmin hiệu quả ở hầu hết các hạn dự báo so với thử nghiệm MPH và dự báo toàn cầu GFS. Kết quả này, phần nào cho thấy hiệu quả của phương pháp lọc Kalman tổ hợp đồng hóa số liệu gió quan trắc từ vệ tinh trong dự báo Pmin của cơn bão Haiyan, hơn nữa việc dự báo chính xác quỹ đạo bão cũng phần nào cải thiện kết quả dự báo Pmin³¹. Phần tiếp theo, nghiên cứu xem xét tính hiệu quả của lọc Kalman tổ hợp đồng hóa số liệu gió quan trắc từ vệ tinh trong mô phỏng tốc độ gió cực đại gần tâm bão (Vmax).

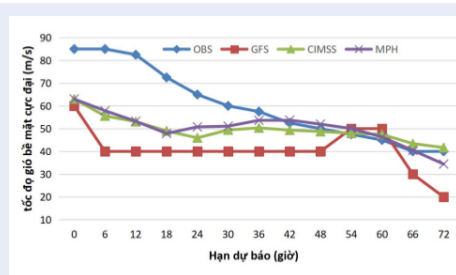
b) Mô phỏng tốc độ gió cực đại gần tâm

Trên Hình 13 cho thấy, từ thời điểm 12 giờ đến 18 giờ ngày 07 tốc độ gió cực đại gần tâm quan trắc (đường hình thoi) không đổi và đạt cực đại (Vmax) với giá trị là 87,5 m/s. Sau đó Vmax giảm liên tục từ 87,5 m/s (18 UTC 07/11) xuống còn 41,2 m/s lúc 06 giờ UTC ngày 10/11 và giữ giá trị không đổi đến 12 giờ UTC ngày 10/11. Trong hai thử nghiệm CIMSS và MPH (Hình 13), Vmax trung bình tổ hợp, trong 24 giờ đầu tiên, Vmax trong cả 2 thử nghiệm có biến trình tương tự nhau và có giá trị nhỏ hơn so với quan trắc. Kết quả Vmax trong hai thử nghiệm ở 24 giờ dự báo đầu tiên, là do điều kiện biên và điều kiện ban đầu được lấy từ mô hình toàn cầu GFS, trong khi đó số liệu GFS thường dự báo thấp hơn so với quan trắc. Sau 24 giờ, Vmax trong thử nghiệm CIMSS và thử nghiệm MPH đều tiến gần biến trình Vmax quan trắc. Tuy nhiên sai số tuyệt đối của Vmax có sự khác biệt đáng kể giữa hai thử nghiệm và khác biệt lớn đối với Vmax trong số liệu dự báo toàn cầu GFS (Hình 13) trừ khoảng thời gian từ 54 giờ đến 60 giờ. Kết quả này có thể thấy thông qua bảng sai số tuyệt đối Vmax (Bảng 4) dự báo 3 ngày với thời điểm dự báo là lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013. Trong đó, thử nghiệm CIMSS cho kết quả sai số được cải thiện đáng kể so với số liệu dự báo toàn cầu GFS và thử nghiệm MPH từ hạn dự báo 48 giờ đến

Bảng 3: Sai số tuyệt đối Pmin của cơn bão Haiyan mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013 (đơn vị: hPa)

Hạn dự báo (giờ)	00	12	24	36	48	60	72
CIMSS	85,8	56,9	39,2	22,6	10,9	7,0	8,4
GFS	86,0	88,0	64,0	51,0	36,0	30,0	33,0
MPH	85,8	55,5	36,6	20,6	8,0	8,7	15,9

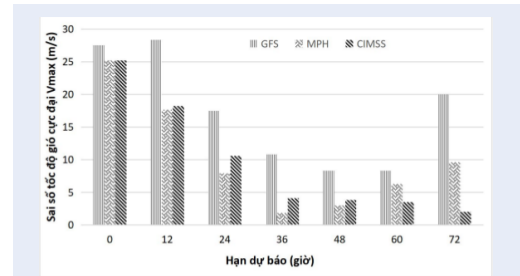
hạn dự báo 72 giờ. Cụ thể ở hạn dự báo lúc 0 0 giờ UTC thử nghiệm CIMSS và MPH cho sai số bằng nhau và bằng 24,5m/s, tiếp đó ở hạn mô phỏng 12 giờ sai số của thử nghiệm MPH nhỏ hơn sai số trong thử nghiệm CIMSS và số liệu GFS, từ hạn mô phỏng 36 giờ đến 60 giờ sai số của thử nghiệm MPH vẫn nhỏ hơn thử nghiệm CIMSS, đặc biệt ở hạn dự báo 60 giờ sai số bằng 0, nhưng ở hạn 72 giờ thử nghiệm CIMSS lại cho sai số nhỏ là 0,5m/s, trong khi đó MPH và GFS cho sai số lớn hơn lần lượt 6,8 m/s, 21,2 m/s. Kết quả tính sai số tuyệt đối trung bình Vmax trong 6 trường hợp mô phỏng cũng cho thấy thử nghiệm CIMSS dự báo hiệu quả Vmax ở hạn 60 giờ và 72 giờ (Hình 14). Như vậy, có thể thấy việc đồng hóa thêm số liệu gió được quan trắc từ vệ tinh bằng lọc Kalman tổ hợp cải thiện đáng kể chất lượng dự báo Vmax (cường độ bão) ở hạn dự báo 60 giờ và 72 giờ.



Hình 13: Biến trình Vmax trung bình của bão Haiyan trong các trường hợp thử nghiệm và quan trắc. Dự báo lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013.

KẾT LUẬN

Từ những kết quả thử nghiệm và đánh giá về quỹ đạo và cường độ của cơn bão Haiyan với thời gian mô phỏng bắt đầu từ 12 giờ ngày 7/11/2013, kết thúc lúc 12 giờ ngày 10/11/2013 bằng phương pháp lọc Kalman tổ hợp đồng hóa số liệu gió vệ tinh trong mô hình WRF, có thể nhận thấy rằng thử nghiệm cho kết quả mô phỏng quỹ đạo và cường độ khá tốt khi bổ sung số liệu gió vệ tinh. Về quỹ đạo cụ thể dựa vào kết quả của 6 trường hợp mô phỏng cho kết quả sai số mô phỏng quỹ đạo bão giảm đáng kể trong thử nghiệm



Hình 14: Thống kê sai số tuyệt đối trung bình Vmax mô phỏng trong 6 trường hợp.

CIMSS so với kết quả GFS và thử nghiệm MPH (Hình 9), sai số lớn nhất của CIMSS là 280,4km nhỏ hơn so với MPH và GFS lần lượt là 360,3km, 442,6km. Về cường độ, qua thống kê kết quả của 6 trường hợp mô phỏng cho thấy, dự báo P min trong thử nghiệm CIMSS hiệu quả hơn trong thử nghiệm MPH, với sai số dự báo P min của thử nghiệm CIMSS nhỏ hơn đáng kể so với sai số P min trong thử nghiệm MPH ở các hạn dự báo từ sau 48 giờ, trong khi GFS cho sai số cường độ cao hơn các thử nghiệm trên (Hình 2). Như vậy, số liệu quan trắc được bổ sung trong đầu vào của mô hình có tác động tích cực đến dự báo PMIN, song song với đó đối với VMAX, từ hạn dự báo sau 48 giờ thử nghiệm CIMSS dự báo VMAX hiệu quả hơn thử nghiệm MPH và GFS (Hình 14). Như vậy, số liệu gió quan trắc từ vệ tinh tác động tích cực đến kết quả dự báo quỹ đạo và cường độ cơn bão Haiyan. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây trong bài toán dự báo quỹ đạo và cường độ bão^{5,30,31}. Đồng thời kết quả nghiên cứu cũng mở ra một hướng nghiên cứu mới, trong việc đồng hóa đồng thời nhiều số liệu quan trắc địa phương vào trường đầu vào của mô hình để cải thiện chất lượng dự báo trong các bài toán khí tượng.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

- ARW: Nghiên cứu cải tiến WRF
- AMV: vecto chuyển động khí quyển
- CIMSS: Trường hợp thử nghiệm tổ hợp đa vật lý đồng hóa số liệu vệ tinh

Bảng 4: Sai số tuyệt đối Vmax của cơn bão Haiyan mô phỏng lúc 12 giờ UTC ngày 07/11/2013 (đơn vị: m/s)

Hạn dự báo (giờ)	00	12	24	36	48	60	72
CIMSS	24,5	31,8	20,9	8,9	2,7	1,2	0,5
GFS	27,5	44,9	26,9	19,2	11,4	3,7	21,2
MPH	24,5	31,7	16,1	5,5	0,6	0,0	6,8

MPH: Trường hợp thử nghiệm tổ hợp đa vật lý không đồng hóa số liệu

WRF: Mô hình dự báo và nghiên cứu thời tiết

LETKF: Bộ lọc Kalman tổ hợp địa phương hóa biến đổi

GFS: Hệ thống dự báo toàn cầu

MAE: Sai số trung bình tuyệt đối

PMIN: Áp suất mực biển cực tiểu tại tâm bão

VMAX: Tốc độ gió cực đại gần tâm bão

PE: Sai số quỹ đạo bão

UTC: Giờ quốc tế

OBS: Quan trắc

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam đoan rằng không có xung đột lợi ích trong công bố bài báo “Thử nghiệm lọc Kalman tổ hợp đa vật lý mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão HaiYan 2013”.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Tác giả Phạm Thị Minh, Trần Văn Sơn, Trần Thị Mai Hương, Nguyễn Thị Hằng và Từ Thị Năm cùng thực hiện các bước và các thử nghiệm kết quả của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hunt BR, Kostelich EJ, Szunyogh I. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman Filter. *Physica D*. 2007;230:112–126.
- Hong L, Kalnay E, Miyoshi T, Danforth CM. Accounting for model errors in ensemble data assimilation. *Mon Weather Rev*. 2009;137:3407–3419.
- Miyoshi T, S Y. The Gaussian Approach to Adaptive Covariance Inflation and Its Implementation with the Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Mon Weather Rev*. 2007;139:1519–1535.
- Miyoshi T, Kunii M. The Local Ensemble Transform Kalman Filter with the Weather Research and Forecasting Model: Experiments with Real Observation. *Pure Appl Geo-phy*. 2012;169:321–333.
- Kieu CQ, Truong NM, Mai HT, ND, T. Sensitivity of the Track and Intensity Forecasts of Typhoon Megi (2010) to Satellite-Derived Atmosphere Motion Vectors with the Ensemble Kalman filter. *J Atmos Oceanic Technol*. 2012;29:1794–1810.
- Trung tm d bo kh tng thy vn quc gia trung tm d bo kh tng thy vn trung ng-c im kh tng thy vn 2013. Hà Nội. 2014;.
- Available from: <http://weather.unisys.com/hurricanes>.
- Available from: http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.9/contents.html.
- Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>.
- Miyoshi T, Kunii M. The Local Ensemble Transform Kalman Filter with the Weather Research and Forecasting Model: Experiments with Real Observation. *Pure Appl Geo-phy*. 2012;169:321–333.
- Available from: <http://tropic.ssec.wisc.edu>.
- Richardson LF. *Weather prediction by numerical process*; Cambridge University Press, Cambridge. Reprinted by Dover. 1922; (1965, New York).
- Haltiner GJ, Williams RT. *Numerical prediction and dynamic meteorology*. New York: John Wiley and Sons; 1982.
- Krishnamurti TN, Bounoa L. *An introduction to numerical weather prediction techniques*. Boca Raton, FA: CRC Press; 1996.
- Kalnay E. *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. 2003;p. 181.
- Phillips N. On the problem of the initial data for the primitive equations. *Tellus*. 1960;12:121–126.
- Daley R. *Atmospheric data analysis*. Cambridge: Cambridge University Press; 1991.
- Charney JG. The use of the primitive equations of motion in numerical prediction. *Tellus*. 1955;7:22.
- Phillips NA. *Numerical weather prediction*. *Adv Computers*. 1960;(1):43–91. Kalnay 2004.
- Courtier P, Talagrand O. Variational assimilation of meteorological observations with the adjoint vorticity equations, Part II, Numerical results. *Quart J Roy Meteor Soc*. 1987;113:1329.
- Snyder C, Zhang F. Assimilation of simulated Doppler radar observations with an Ensemble Kalman filter. *Mon Wea Rev*. 2003;131:1663.
- Tippett MK, Anderson JL, Bishop CH, Hamill TM, Whitaker JS. Ensemble square root filters. *Mon Wea Rev*. 2003;131:1485.
- Whitaker JS, Hamill TM. Ensemble data assimilation without perturbed observations. *Mon Wea Rev*. 2002;130. 1913.
- Hamill TJ, Whitaker, Snyder C. Distance-dependent filtering of background error covariance estimates in an ensemble kalman filter. *Monthly Weather Review*. 2001;129:2776–2790.
- Houtekamer PL, Mitchell HL. Ensemble Kalman filtering. *Quart J Roy Meteor Soc*. 2005;131C:3269–3289.
- Houtekamer PL, Mitchell HL, Pellerin G, Buehner M, Charron M, Spacek L, et al. Atmospheric data assimilation with an ensemble Kalman filter: Results with real observations. *Mon Wea Rev*. 2005;133:604.
- Hunt BR, Kostelich E, Szunyogh I. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*. 2007;230:112–126.
- Kieu CQ. Estimation of Model Error in the Kalman Filter by Perturbed Forcing. *Natural Sciences and Technology*. 2010;26(3S):310–316. VNU Journal of Science.
- Daniel SW. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Ithaca New York. 1997;59:255.
- Tiến TT, Mai HT, Thanh C. An Application of the Ensemble Kalman Filter on 5 days Forecasting Track and Intensity Tropical Cyclone. *Natural Sciences and Technology*. 2013;29(2S):201–206. VNU Journal of Science.
- Du Duc Tien, Thanh Ngo – Duc, Hoang Thi Mai & Chanh Kieu. A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorol Atmos Phys*. 2013;121. 3-4: 12 p.

Testing of the Multi-Physics Ensemble Kalman filter to Simulate the Track and Intensity of the Typhoon HaiYan (2013)

Pham Thi Minh^{1,*}, Tran Van Son¹, Tran Thi Mai Hương¹, Nguyen Thi Hang², Tu Thi Năm¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

This paper presents some experimental results of the multi-physics ensemble Kalman filter method which assimilating the satellite wind data in WRF model to simulate the track and intensity of the typhoon HaiYan (2013). The study conducted two experiments.: (1) Ensemble forecast with multi-physics ensemble Kalman filter assimilates the satellite wind data (CIMSS); (2) multi-physics Ensemble forecast (MPH). The results of atmospheric circulation analysis in the simulation started at 12 UTC (international time) until November 7, 2013, showing that the trend and intensity of the general circulation in the CIMSS test are similar to the real development. So the results of the storm trajectory forecast of CIMSS test at the 48-hour forecast limit onwards are better than the MPH test. Moreover, experimental results based on the results of the 6 simulations for simulation error, the track error in the CIMSS test decreased 14% and 14.3% respectively in the 48-hour forecast period and 72 hours compared with the MPH test, and decreased 14% and 23.9% respectively compared to the global GFS forecast. For storm intensity (Pmin and Vmax), the CIMSS test also resulted in significantly improved errors in the 72-hour forecast period compared to MPH testing. These results confirmed that the assimilation of the satellite wind data into the input field of the model has a positive effect on Haiyan storm intensity and trajectory prediction skills. We may use this research to applying the multi-physics ensemble Kalman filter for forecasting storms affecting Vietnam.

Key words: The Kalman filter, WRF model, typhoon, ensemble forecasting

¹Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment

²Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment

Correspondence

Pham Thi Minh, Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment

Email: minhpt201@gmail.com

History

- Received: 27-5-2019
- Accepted: 15-8-2019
- Published: 31-12-2019

DOI : 10.32508/stdjsee.v3i2.517



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Thi Minh P, Van Son T, Thi Mai Hương T, Thi Hang N, Thi Năm T. **Testing of the Multi-Physics Ensemble Kalman filter to Simulate the Track and Intensity of the Typhoon HaiYan (2013)** . *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 3(2):85-95.