

ỨNG DỤNG LỌC KALMAN TRONG HẬU XỬ LÝ KẾT QUẢ DỰ BÁO QUỶ ĐẠO VÀ CƯỜNG ĐỘ BÃO CHO MỘT SỐ MÔ HÌNH DỰ BÁO SỐ TRỊ TOÀN CẦU

Trần Hồng Thái¹, Võ Văn Hòa¹

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng phương pháp lọc Kalman để hậu xử lý kết quả dự báo quỹ đạo và cường độ từ các mô hình số trị toàn cầu GSM của Nhật Bản, GFS của Mỹ và IFS của Trung tâm Dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu theo hai phương án khác nhau. Các kết quả đánh giá cho 24 cơn bão trong các mùa bão 2015-2019 đã cho thấy chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ bão đã được cải thiện đáng kể khi áp dụng lọc Kalman để hiệu chỉnh trong đó phương án hiệu chỉnh trực tiếp giá trị dự báo của mô hình đem lại nhiều hiệu quả nhất. Mức độ cải thiện tăng theo hạn dự báo.

Từ khóa: Lọc kalman, quỹ đạo bão, cường độ bão, mô hình số trị toàn cầu.

Ban Biên tập nhận bài: 11/12/2019 Ngày phản biện xong: 12/12/2019 Ngày đăng bài: 20/12/2019

1. Mở đầu

Trong nhiều năm trở lại đây, các sản phẩm dự báo từ các mô hình dự báo thời tiết số trị (NWP) ở quy mô toàn cầu và khu vực đã được triển khai ứng dụng trong nghiệp vụ dự báo tại nhiều cơ quan dự báo KTTV ở Việt Nam và là nguồn tham khảo không thể thiếu trong các qui trình dự báo các hiện tượng thời tiết nguy hiểm. Trong nghiệp vụ dự báo bão, bên cạnh việc cung cấp các sản phẩm dự báo trường, các mô hình NWP còn cung cấp các sản phẩm dự báo quỹ đạo và cường độ bão. Cho đến nay, đã có rất nhiều nghiên cứu ứng dụng các mô hình NWP toàn cầu hoặc khu vực trong dự báo quỹ đạo và cường độ bão ở Việt Nam như Kiều Thị Xín và cộng sự (2002) [11], Phan Văn Tân và Bùi Hoàng Hải (2004) [4], Phan Văn Tân và Nguyễn Lê Dũng (2009) [5], Trần Tân Tiến và cộng sự (2009 [9], 2010 [7], 2012 [8]), Hoàng Đức Cường và cộng sự (2011) [1], Võ Văn Hòa và cộng sự (2008 [2], 2012 [3]),... Các công trình nghiên cứu này đều chỉ ra được khả năng ứng dụng của các mô hình NWP, hệ thống dự báo tổ hợp trong dự báo quỹ đạo hoặc cường độ bão trên khu vực biển Đông Việt Nam. Ngoài ra, các kết quả đánh giá cũng

cho thấy hầu hết các mô hình và hệ thống dự báo tổ hợp đều tồn tại những sai số hệ thống nhất định trong dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Để cải tiến chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ bão của các mô hình NWP và hệ thống dự báo tổ hợp, rất nhiều hướng nghiên cứu đã được triển khai như ứng dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy để chính xác hóa vị trí tâm và cường độ bão trong trường ban đầu (Phan Văn Tân và Bùi Hoàng Hải (2004) [4], Phan Văn Tân và Nguyễn Lê Dũng (2009) [5],...), ứng dụng ban đầu hóa xoáy với đồng hóa số liệu địa phương (Trần Tân Tiến và cộng sự, 2009 [9]) để nâng cao chất lượng trường ban đầu cho các mô hình NWP, ứng dụng dự báo tổ hợp để nắm bắt được các nguồn bất định và tạo ra dự báo trung bình tổ hợp tốt nhất (Trần Tân Tiến và cộng sự (2010 [7], 2012 [8]), Võ Văn Hòa và cộng sự (2008 [2], 2012 [3])),...Tuy nhiên, hướng nghiên cứu ứng dụng các phương pháp thống kê để hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo và cường độ bão ở Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế.

Bài báo này sẽ tập trung trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng phương pháp lọc Kalman để: 1) hiệu chỉnh trực tiếp kết quả dự báo quỹ

¹Tổng cục Khí tượng Thủy văn
Email: vovanhoa80@yahoo.com

đạo và cường độ từ các mô hình số trị toàn cầu GSM của Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA), GFS của Cục quản trị khí quyển và đại dương Mỹ (NOAA) và IFS của Trung tâm dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF), và 2) hiệu chỉnh phương trình sai số dạng hồi quy tuyến tính đơn biến. Các phần tiếp theo sẽ trình bày khái quát về cơ sở lý thuyết của phương pháp lọc Kalman và cách thức áp dụng cho bài toán hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo và cường độ bão, tập số liệu thử nghiệm và phương pháp đánh giá. Một số kết quả nghiên cứu thử nghiệm dựa trên số liệu dự báo của 24 cơn bão trong các mùa bão từ 2015-2019 được đưa ra trong phần 3 của bài báo. Cuối cùng là một số kết luận và đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Phương pháp và tập số liệu nghiên cứu

2.1. Khái quát về phương pháp lọc Kalman

Phương pháp lọc Kalman (gọi tắt là KF, Persson (1991) [13]) là một bộ lọc đệ quy cho phép đánh giá trạng thái của một hệ động lực tuyến tính. Một cách khái quát, KF là một tập hợp các phương trình toán học mô tả một phương pháp đệ quy cho phép đánh giá trạng thái ẩn của một hệ động lực với sai số thấp nhất từ số liệu đo gián tiếp về hệ này. Giả thiết có một hệ động lực tuyến tính được đặc trưng bởi vector trạng thái x kích thước N , cung cấp thông tin cần thiết để có thể mô tả hệ. Theo KF, vector này biến đổi tuyến tính theo thời gian và thể hiện mặt động lực của hệ thống:

$$x_k = A \times x_{k-1} + B \times u_{k-1} + w_{k-1} \quad (1)$$

Trong đó x_k là vector trạng thái thời điểm hiện tại, x_{k-1} là vector trạng thái thời điểm trước đó, u_{k-1} là vector điều khiển hệ thống tại thời điểm trước đó, w_{k-1} là vector đặc trưng cho độ bất định của hệ thống do quy luật tuyến tính mô tả thông qua ma trận A chỉ là gần đúng. Ma trận A kích thước $N \times N$ có tên gọi ma trận chuyển dịch trạng thái mang thông tin về quy luật hoạt động của hệ thống. Ma trận B được đưa vào phương trình để đặc trưng cho các quá trình bên ngoài điều khiển hệ thống đang xét tác động thông qua vector điều khiển u_{k-1} . Các bài toán KF thông thường không

sử dụng B và u . Vấn đề đặt ra là ta biết quy luật hoạt động của hệ thống qua ma trận A , nhưng không thể xác định trực tiếp trạng thái x_k từ các phép đo thích hợp (trạng thái bị ẩn) mà chỉ có được các quan trắc gián tiếp z_k kích thước M có quan hệ tuyến tính với x_k :

$$z_k = H \times x_k + v_k \quad (2)$$

với vector v_k đặc trưng cho sai số hay nhiễu khi thực hiện đo, H là ma trận kích thước $M \times N$ mô tả quan hệ được giả định tuyến tính giữa biến đo được với biến trạng thái cần xác định. H được gọi là ma trận quan trắc.

Để bài toán xác định, ta cần giả định một số thông tin cho hai vector sai số w_k và v_k . Lọc Kalman xem đây là hai vector ngẫu nhiên, độc lập và tuân theo phân bố Gauss với trung bình bằng 0 và ma trận hiệp biến lần lượt là Q và R :

$$\begin{aligned} w_k &\sim N(0, Q) \\ v_k &\sim N(0, R) \end{aligned} \quad (3)$$

Ngoài ra, để đơn giản hóa các ma trận Q , R , A , H đã được bỏ qua chỉ số dưới nhưng thực tế có thể biến đổi theo thời gian. Để đánh giá tối ưu trạng thái x_k với z_k đo được, lọc Kalman sẽ cực tiểu hóa hiệp phương sai của sai số đánh giá.

Như vậy, ở bước thứ k , sử dụng phương trình (1) ta dễ dàng thu được đánh giá tiên nghiệm (đánh giá sơ bộ) của vector trạng thái x từ các thông số của bước trước đó. Sau đó, khi có quan trắc z_k , ta cần điều chỉnh lại đánh giá tiên nghiệm sao cho đánh giá hiệu chỉnh thu được phù hợp với quan trắc hiện có. Đánh giá này có tên gọi đánh giá hậu nghiệm và được ký hiệu bởi. Đánh giá tiên nghiệm và hậu nghiệm sẽ có sai số:

$$\begin{aligned} e_k^- &= x_k - \hat{x}_k^- \\ e_k &= x_k - \hat{x}_k \end{aligned} \quad (4)$$

Ma trận hiệp biến của các sai số trên có dạng:

$$\begin{aligned} P_k^- &= E(e_k^- e_k^{-T}) \\ P_k &= E(e_k e_k^T) \end{aligned} \quad (5)$$

với E là toán tử trung bình.

Kalman giả định \hat{x}_k là một hàm tuyến tính của \hat{x}_k^- và z_k và thu được công thức sau dưới dạng ma trận:

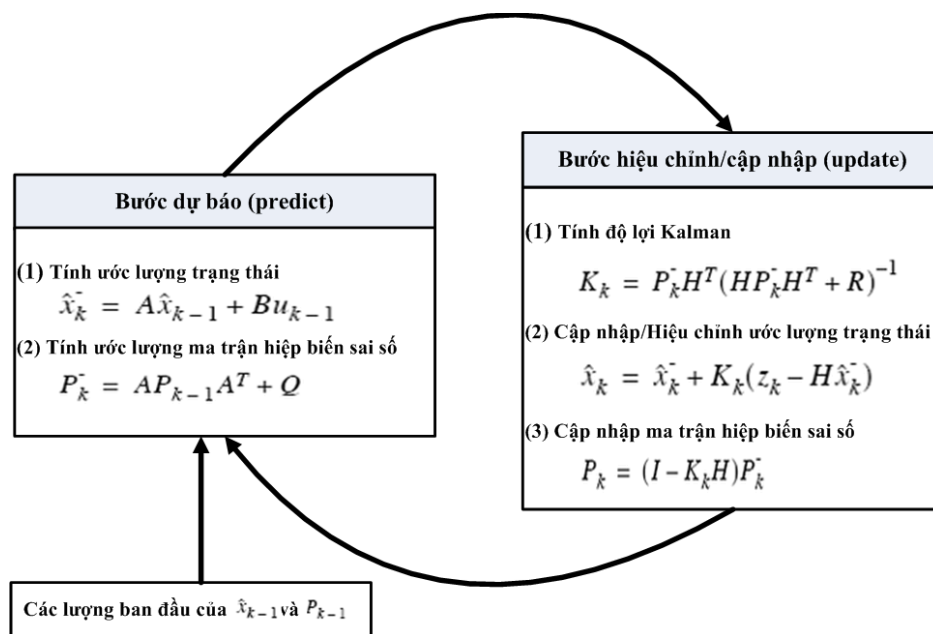
$$\hat{x}_k = (I - KH) \times \hat{x}_k^- + K \times z_k \quad (6)$$

Ma trận $I - KH$ xuất hiện bên cạnh \hat{x}_k với dạng trên có được sau một số biến đổi toán học. Để dẫn đến dạng trên ma trận này, ban đầu được giả định độc lập với K nhưng để thỏa mãn một số ràng buộc nó phải có dạng $I - KH$. K có tên gọi độ lợi (gain) và được xác định thông qua cực tiểu

hóa hiệp phương sai của sai số hậu nghiệm:

$$K = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (7)$$

Theo công thức trên, K biến đổi theo thời gian và cần được ký hiệu lại bởi K_k . Cuối cùng, để có thể thực hiện quá trình đệ quy của KF, ta cần thêm giá trị ban đầu của \hat{x}_0 và P_0 . Hình 1 đưa ra qui trình thực hiện lọc Kalman.



Hình 1. Sơ đồ mô tả bước dự báo và hiệu chỉnh của lọc Kalman

Như vậy, khi thực hiện lọc Kalman sẽ bao gồm hai bước sau:

1. Dự báo: bước này đòi hỏi phải biết giá trị tại bước trước đó của \hat{x}_{k-1} và P_{k-1} . Dựa trên hai giá trị này, \hat{x}_k^- và P_k^- sẽ được xác định.

2. Hiệu chỉnh: \hat{x}_{k-1} và P_{k-1} sẽ được hiệu chỉnh dựa trên quan trắc z_k . Cụ thể, K_k sẽ được tính theo (7), dựa vào đó xác định \hat{x}_k và P_k .

2.2. Ứng dụng lọc Kalman cho bài toán hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo và cường độ bão từ các mô hình dự báo số trị

Giả sử nếu gọi X_i là giá trị dự báo cụ thể từ mô hình thứ i nào đó thì có thể giả thiết giá trị sau khi hiệu chỉnh có quan hệ tuyến tính như phương trình (8) dưới đây:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_p X_N \quad (8)$$

Trong bài toán hiện tại, X có thể là các giá trị dự báo về kinh độ (lon), vĩ độ (lat) của tâm bão

hoặc là các biến đại diện cho cường độ bão như áp suất cực tiểu tại tâm (P_{\min}) hoặc vận tốc gió cực đại ở thành mắt bão (V_{\max}). Phương trình (8) cũng là một dạng dự báo tổ hợp có trọng số trong đó các giá trị X_i ($i=1, N$) chính là các dự báo thành phần. Trong trường hợp chỉ có một mô hình đơn lẻ, phương trình (8) sẽ thu gọn về dạng phương trình hồi quy tuyến tính đơn biến. Nếu giải thiết hệ số tự do $a_0 = 0$ và $a_1 = 1$ thì quay về bài toán hiệu chỉnh trực tiếp giá trị đầu ra của mô hình NWP.

Như đã trình bày trong phần cơ sở lý thuyết của KF, trong nghiên cứu này KF được sử dụng để cập nhật các hệ số hồi quy theo thời gian để qua đó nắm bắt được sai số dự báo theo ngày (*error of the day*) do bản chất hỗn loạn của khí quyển. Hệ động lực tuyến tính như đã trình bày trong mục 2.1 được mô tả thông qua các hệ số

hồi quy số ai của phương trình (8) và vector ai chính là vector trạng thái của hệ thống z_k trong công thức (1). Ma trận A trong công thức (1) được xác định đơn giản bằng ma trận đơn vị I. Trong khi ma trận điều khiển bên ngoài B không được xét đến ở đây. Vector quan trắc z_k trong công thức (2) sẽ là giá trị Y của phương trình (8). Bài toán đặt ra là cần xác định các hệ số ai trong khi sao cho giá trị Y gần với quan trắc nhất. Điều này có nghĩa các nhân tố dự báo sẽ đóng vai trò các phần tử của vector H (công thức 2). Vấn đề còn lại là xác định dạng của ma trận Q và R của hai sai số ngẫu nhiên w và v. Hai ma trận này thường được giả định có dạng đường chéo với các phần tử trên đường chéo có giá trị như nhau. Đây chính là cách tiếp cận ứng dụng KF dạng véc tơ cho các phương trình hồi quy tuyến tính đa biến riêng lẻ [13].

Để có thể áp dụng KF cho các phương trình dự báo đồng thời (hiệu chỉnh Lon và Lat của tâm bão, hoặc Pmin và Vmax cho dự báo cường độ), phương pháp KF cần phải được mở rộng dưới dạng ma trận. Cụ thể, véc tơ hệ số ai trở thành ma trận hệ số $a(n,m)$ trong đó m là số các yếu tố dự báo đồng thời (ở bài toán này $m = 2$). Các nhân tố dự báo trong phương trình dự báo đồng thời sẽ đóng vai trò các phần tử trong ma trận H. Giá trị quan trắc z_k sẽ trở thành vector kích thước m, các ma trận $Q(n,n)$, $P(n,n)$ với n là số nhân tố dự báo và R vẫn giữ nguyên vai trò của mình như trong phương trình dự báo cho một yếu tố. Khác với KF dạng véc tơ, ma trận phương sai R của phương trình quan trắc (2) trong KF đã ma trận hóa để áp dụng cho phương trình hồi quy đồng thời được tính là trung bình cộng của bình phương sai số quân phương của các cặp biến tương ứng (Lon và Lat, Pmin và Vmax). Ma trận phương sai hiệp biến Q của phương trình dự báo (1) được đặt bằng 0.007 cho các hệ số hồi quy của nhân tố dự báo và 0.01 cho hệ số tự do của phương trình hồi quy, ma trận số gia P được giả thiết bằng 0.001 [13]. Dung lượng mẫu của tập

số liệu phụ thuộc để KF thực hiện được chọn là 5.

Với cách tiếp cận ứng dụng KF để hiệu chỉnh kết quả dự báo quỹ đạo và cường độ bão nói trên, trong nghiên cứu này đề xuất 2 phương án thử nghiệm:

- Phương án 1 (PA1): áp dụng KF để hiệu chỉnh đồng thời kết quả dự báo tọa độ tâm bão (Lon và Lat) và cường độ bão (Pmin và Vmax) cho từng mô hình NWP toàn cầu được lựa chọn (hiệu chỉnh trực tiếp giá trị dự báo);

- Phương án 2 (PA2): áp dụng KF để hiệu chỉnh đồng thời cho các phương trình dự báo tổ hợp tâm bão (Lon và Lat) và cường độ bão (Pmin và Vmax) từ các mô hình NWP toàn cầu được lựa chọn (phương trình sai số dạng hồi quy tuyến tính đơn biến).

2.3. Mô tả tập số liệu nghiên cứu

Để đánh giá được tính hiệu quả của phương pháp KF trong việc hiệu chỉnh kết quả dự báo quỹ đạo và cường độ, chúng tôi tiến hành thu thập các nguồn số liệu như sau:

- Số liệu quan trắc (*besttrack*) của 24 cơn bão trong giai đoạn 2015-2019 như trong bảng 1 từ nguồn cung cấp của Trung tâm bão khu vực RSMC-Tokyo của WMO (<https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html>);

- Số liệu dự báo trên lưới tại các phiên dự báo 00Z, 06Z, 12Z và 18Z các thời đoạn dự báo 24h, 48h và 72h của các mô hình GSM của JMA (độ phân giải 0.5×0.5 độ), GFS của NOAA (0.5×0.5 độ) và IFS của ECMWF (0.125×0.125 độ). Các trường khí quyển được lấy gồm:

- + Khí áp trung bình mực biển (pmsl)
- + Xoáy tương đối mực 850 và 700mb
- + Độ cao địa thế vị 700 và 850mb
- + Tốc độ gió tại mực 850 và 700mb

Các trường khí quyển dự báo từ 3 mô hình nói trên được thu thập để xác định tọa độ và cường độ bão được mô phỏng trong mô hình.

Bảng 1. Danh sách các cơn bão trong giai đoạn 2015-2019 được thử nghiệm

TT	Năm	Tên bão quốc tế	Mã quốc tế	Thời gian hoạt động
1	2015	KUJIRA	1508	18Z 19/08/2015 - 00Z 25/08/2015
2		MUJIGAE	1522	18Z 30/09/2015 - 00Z 05/10/2015
3		MARINAE	1603	12Z 25/07/2016 - 12Z 28/07/2016
4		DIAMU	1608	06Z 15/08/2016 - 18Z 19/08/2016
5	2016	SARIKA	1621	00Z 13/10/2016 - 18Z 19/10/2016
6		TOKAGE	1625	00Z 24/11/2016 - 00Z 28/11/2016
7		NOCK-TEN	1626	12Z 20/12/2016 - 12Z 28/12/2016
8		MERBOK	1702	00Z 10/06/2017 - 06Z 13/06/2017
9		TALAS	1704	00Z 14/07/2017 - 18Z 17/07/2017
10		SONCA	1708	00Z 21/07/2017 - 12Z 29/07/2017
11		HATO	1713	12Z 19/08/2017 - 00Z 25/08/2017
12		PAKHAR	1714	00Z 24/08/2017 - 00Z 28/08/2017
13	2017	DOKSURI	1719	00Z 10/09/2017 - 00Z 16/09/2017
14		KHANUN	1720	00Z 11/10/2017 - 06Z 16/10/2017
15		DAMREY	1723	00Z 31/10/2017 - 18Z 04/11/2017
16		HAIKUI	1724	12Z 07/11/2017 - 00Z 13/11/2017
17		KAI-TAK	1726	18Z 13/12/2017 - 18Z 23/12/2017
18		TEMBIN	1727	00Z 20/12/2017 - 06Z 26/12/2017
19		EWINAR	1804	18Z 02/06/2018 - 06Z 11/06/2018
20		SON-TINH	1809	00Z 16/07/2018 - 18Z 24/07/2018
21	2018	MANGKHUT	1822	12Z 06/09/2018 - 18Z 17/09/2018
22		USAGI	1829	00Z 13/11/2018 - 18Z 26/11/2018
23	2019	WIPHA	1907	00Z 30/07/2019 - 06Z 04/08/2019
24		PODUL	1912	06Z 24/08/2019 - 00Z 31/08/2019

2.4. Phương pháp dò tìm xoáy bão và ước lượng cường độ bão từ các sản phẩm dự báo của các mô hình dự báo số trị toàn cầu

Để xác định vị trí tâm bão dựa trên các trường dự báo của các mô hình NWP toàn cầu, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng sơ đồ xác định tâm bão được đề xuất bởi Marchok (2002) [12]. Cụ thể, thay vì xác định tâm bão dựa trên một tham số như khí áp trung bình mực biển, Marchok (2002) [12] đề xuất 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. 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:

$$B_g = \frac{\sum_{n=1}^N w_n F(n)}{\sum_{n=1}^N w_n} \quad (9)$$

Trong đó w là hàm trọng số được xác định theo công thức $w = e^{-(d_n/r_c)^2}$ với d_n là khoảng cách từ điểm dữ liệu n tới điểm lưới g, và r_c là bán kính xoắn mũ e (e-folding). Giá trị r_c được chọn là 50km cho các mô hình có độ phân giải dưới 0.5° và 25km cho mô hình có độ phân giải 0.125° . 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

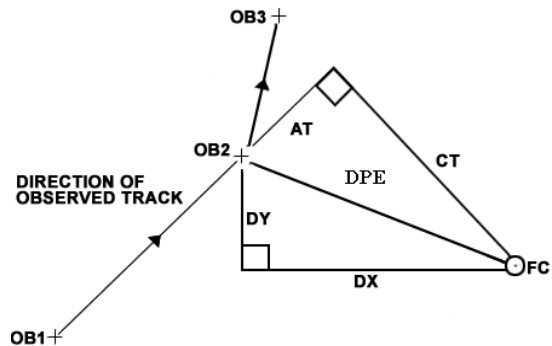
định tại bước đầu tiên, bốn phân tích Barnes liên tiếp sẽ được thực hiện, tại mỗi lần phân tích, độ phân giải của lưới xác định giảm một nửa so với lưới trước đó và tâm lưới mịn hơn được lấy từ tâm xác định được trên lưới thô hơn trước đó. Thuật toán xác định tâm này được áp dụng riêng rẽ cho 5 tham 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 hướng 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.

Sau khi đã xác định được vị trí tâm bão, việc xác định giá trị khí áp cực tiểu tại tâm chỉ đơn giản là nội suy trường pmsl về điểm tâm bão bằng phương pháp nội suy Barnes. Việc tính toán Vmax được dựa trên tốc độ gió tiếp tuyến tại các điểm nút lưới nằm trong bán kính từ 30km đến 70km tính từ tâm bão. Các giá trị gió tiếp tuyến được tính bằng cách nội suy trường gió kinh, vĩ hướng về các điểm bằng phương pháp spline song hữu tỉ. Từ đó, giá trị gió tiếp tuyến lớn nhất được tìm thấy chính là giá trị của Vmax.

2.5. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá sai số dự báo quỹ đạo bão trực tiếp từ các mô hình và từ các phương án thử nghiệm ứng dụng KF để hiệu chỉnh, 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 (<http://www.metoffice.gov.uk/weather/tropicalcyclone/method>). 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 cầu dựa trên phương pháp vòng tròn lớn để tính đến hiệu ứng cong

của trái đất (xem hình 2). Bên cạnh đại lượng DPE, các chỉ số AT và CT cũng sẽ được tính toán. Chỉ số AT sẽ cho biết khuynh hướng sai số về tốc độ chuyển động trong khi CT cho biết sai số về hướng di chuyển (chi tiết có thể tham khảo trong Võ Văn Hòa và cộng sự (2012) [3]). Việc đánh giá cường độ được thực hiện dựa trên sai số trung bình (ME).



Hình 2. 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

3. Một số kết quả nghiên cứu ban đầu

Bảng 2 đưa ra kết quả tính toán các chỉ số DPE, AT và CT trung bình cho toàn bộ các cơn bão được thử nghiệm trong giai đoạn 2015-2019 đối với dự báo quỹ đạo bão được dự báo trực tiếp từ các mô hình GSM của JMA, GFS của NOAA và IFS của ECMWF tương ứng cho các hạn dự báo 1, 2 và 3 ngày tiếp theo. Từ bảng 2 có thể thấy các dự báo quỹ đạo bão từ 3 mô hình có cùng chung bản chất sai số là dự báo bão di chuyển chậm hơn so với thực tế (AT âm) khoảng 14.4km/24h và nằm về phía trái so với hướng di chuyển thực tế (CT âm) với độ lệch trung bình khoảng 28.8km. Nếu xem xét về sai số vị trí tâm bão qua chỉ số DPE, có thể thấy sai số dự báo tâm bão của 3 mô hình được nghiên cứu là nằm trong phạm vi sai số nói chung của các mô hình NWP và phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây như Dư Đức Tiến và cộng sự (2016) [6], Công Thanh (2014) [10]. Nếu so sánh giữa 3 mô hình với nhau, nhận thấy mô hình IFS của ECMWF cho chất lượng dự báo quỹ đạo bão tốt

nhất, kế tiếp là mô hình GSM của JMA và kém nhất là mô hình GFS của NOAA. Từ bảng 2 cũng có thể thấy sai số về hướng di chuyển từ dự

báo trực tiếp của các mô hình GSM, GFS và IFS có biên độ lớn hơn sai số về tốc độ di chuyển (giá trị tuyệt đối của CT lớn hơn AT).

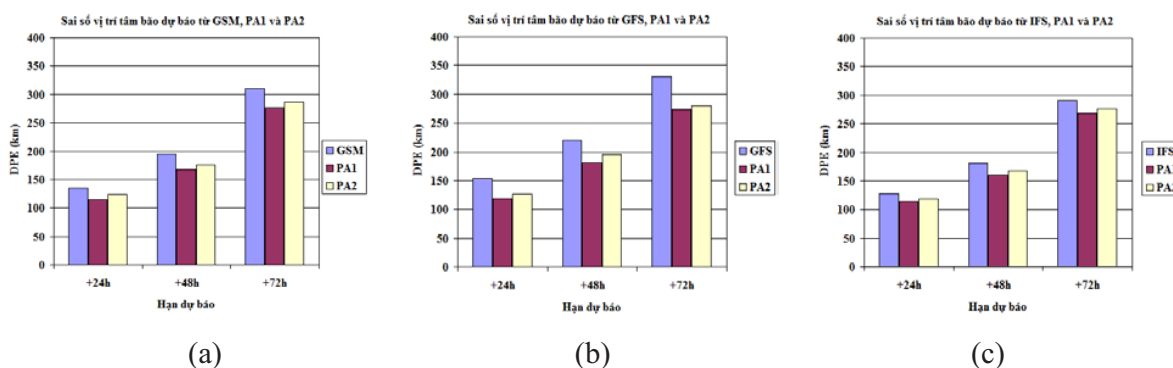
Bảng 2. Kết quả tính toán chỉ số DPE, AT và CT trung bình cho dự báo quỹ đạo bão trực tiếp từ mô hình GSM, GFS và IFS tương ứng cho các hạn dự báo 24h, 48h và 72h

Hạn dự báo	Chỉ số DPE (km)			Chỉ số AT (km)			Chỉ số CT (km)		
	GSM	GFS	IFS	GSM	GFS	IFS	GSM	GFS	IFS
+24h	135.5	154.1	128.2	-8.6	-10.2	-7.8	-12.5	-20.3	-10.2
+48h	195.2	220.2	180.5	-12.4	-18.9	-11.4	-24.6	-32.6	-22.3
+72h	310.4	330.6	290.4	-18.6	-24.2	-17.2	-42.5	-58.4	-36.1

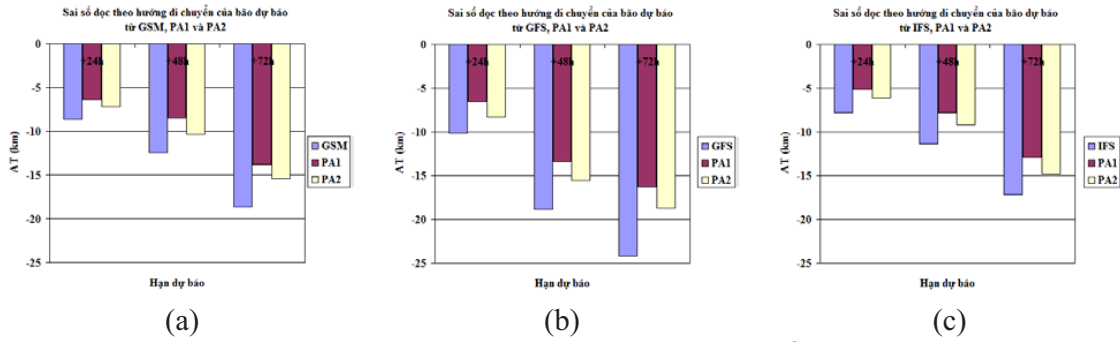
Hình 3 đưa ra kết quả tính toán chỉ số DPE cho dự báo quỹ đạo trực tiếp từ 3 mô hình GSM (hình 3a), GFS (hình 3b) và IFS (hình 3c) và cho dự báo quỹ đạo đã được hiệu chỉnh theo 2 phương án thử nghiệm áp dụng KF là PA1 và PA2. Kết quả tính toán cho thấy cả 2 phương án thử nghiệm đều cho thấy chất lượng dự báo quỹ đạo tâm bão đã được cải thiện ở tất cả các hạn dự báo và cho cả 3 mô hình được thử nghiệm. Về mặt trung bình, sai số dự báo vị trí tâm bão đã giảm đáng kể (từ 10-25%) sau khi áp dụng KF để hiệu chỉnh. Trong 3 mô hình được áp dụng, mức độ giảm sai số DPE sau khi áp dụng KF nhiều nhất được tìm thấy khi áp dụng cho mô hình GFS, kế tiếp là mô hình GSM, và cuối cùng là mô hình IFS. Nguyên nhân là do sai số hệ thống trong dự báo quỹ đạo bão trực tiếp từ mô hình GFS có biên độ lớn hơn so với 2 mô hình còn lại, nên việc áp dụng KF sẽ đem lại nhiều hiệu quả hơn.

Tương tự hình 3, các kết quả đánh giá và so sánh các chỉ số AT và CT cho dự báo quỹ đạo trực tiếp từ 3 mô hình GSM, GFS và IFS và dự

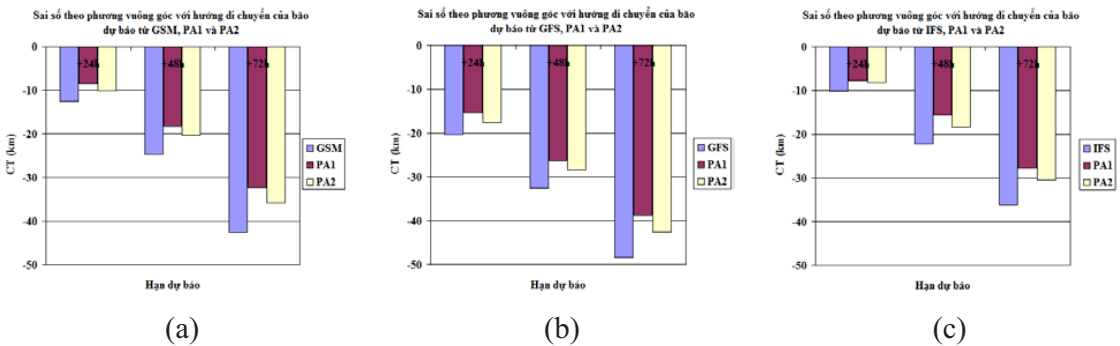
báo quỹ đạo đã được hiệu chỉnh theo 2 phương án thử nghiệm áp dụng KF được đưa ra trong các hình 4 và 5. Từ các hình này có thể thấy cả 2 phương án thử nghiệm áp dụng KF đều đem lại hiệu quả trong việc giảm sai số AT và CT. Mức độ giảm sai số AT đối với phương án 2 (PA2) là khoảng từ 20-25% so với dự báo trực tiếp từ các mô hình. Tuy nhiên, đối với phương án hiệu chỉnh trực tiếp dự báo của mô hình (PA1), thì mức độ giảm sai số AT lên đến từ 30-35%. Đối với CT, mức độ giảm vào khoảng 23-28% khi áp dụng PA2 và 33-38% cho PA1. Như vậy, có thể thấy việc áp dụng KF cho thấy sự cải thiện trong dự báo về hướng di chuyển lớn hơn so với dự báo tốc độ di chuyển. Nói chung, các kết quả đánh giá trong các hình 3 - hình 5 cho thấy PA1 (áp dụng KF để hiệu chỉnh trực tiếp dự báo quỹ đạo từ mô hình) đem lại nhiều sự cải thiện hơn so với PA2. Các kết quả đánh giá AT và CT cũng cho thấy KF chỉ làm giảm biên độ sai số, chưa thực sự hoàn toàn khử được sai số hệ thống trong dự báo quỹ đạo bão.



Hình 3. Kết quả tính toán chỉ số DPE trung bình cho dự báo trực tiếp từ các mô hình GSM (a), GFS (b) và IFS (c) và từ 2 phương án ứng dụng KF tương ứng cho các hạn dự báo 24h, 48h và 72h



Hình 4. Tương tự hình 3 nhưng cho chỉ số AT



Hình 5. Tương tự hình 3 nhưng cho chỉ số CT

Đối với dự báo cường độ bão, các kết quả tính toán chỉ số sai số trung bình ME cho các đại lượng Pmin (mb) và Vmax (m/s) dựa trên chuỗi số liệu thử nghiệm của 24 cơn bão từ 2015-2019 được đưa ra trong các bảng 3 và 4. Từ các bảng này có thể thấy dự báo Pmin trực tiếp từ ba mô hình GSM, GFS và IFS có xu hướng thiên cao (ME dương) tại tất cả các hạn dự báo. Hay nói cách khác là mô hình cho dự báo bão có cường độ yếu hơn so với thực tế. Kết quả này cũng phù hợp khi xem xét chỉ số ME của dự báo Vmax (ME âm - gió mạnh trong bão được dự báo nhỏ hơn so với thực tế).

Từ bảng 3 có thể thấy sau khi áp dụng KF theo hai phương pháp, giá trị tuyệt đối của ME đã giảm so với dự báo trực tiếp từ mô hình (chất lượng dự báo cường độ đã được cải thiện). Mức

độ cải thiện chất lượng của hai phương án thử nghiệm áp dụng KF thay đổi theo từng mô hình và hạn dự báo. Hạn dự báo càng cao mức độ cải thiện càng lớn. Sự cải thiện nhiều nhất được tìm thấy khi áp dụng cho mô hình GFS. Trong hai phương án thử nghiệm, PA1 đem lại hiệu quả cao hơn so với PA2. Các kết quả tương tự cũng được tìm thấy khi xem xét cho yếu tố V_{max} . Các kết quả đánh giá trên các bảng 3 và 4 cũng cho thấy mặc dù đã hiệu chỉnh bằng KF, nhưng khuynh hướng sai số của các dự báo đã hiệu chỉnh vẫn còn tồn tại và giống như khuynh hướng dự báo trực tiếp từ mô hình NWP. Do đó, có thể thấy việc áp dụng KF không thật sự có thể khử được hết sai số dự báo hệ thống trong dự báo cường độ bão (tương tự như kết quả đã tìm thấy trong đánh giá dự báo quỹ đạo bão).

Bảng 3. Kết quả tính toán chỉ số ME cho dự báo Pmin (mb) trực tiếp từ các mô hình và từ 2 phương án ứng dụng KF tương ứng cho các hạn dự báo 24h, 48h và 72h

Hạn dự báo	Mô hình GSM			Mô hình GFS			Mô hình IFS		
	GSM	PA1	PA2	GFS	PA1	PA2	IFS	PA1	PA2
+24h	11.1	7.6	9.8	13.4	9.8	11.2	9.8	7.2	8.1
+48h	16.2	10.5	12.6	18.7	12.4	16.3	15.4	10.5	12.6
+72h	19.4	11.8	14.8	21.5	15.2	17.6	17.8	12.4	14.8

Bảng 4. Kết quả tính toán chỉ số ME cho dự báo V_{\max} (m/s) trực tiếp từ các mô hình và từ 2 phương án ứng dụng KF tương ứng cho các hạn dự báo 24h, 48h và 72h

Hạn dự báo	Mô hình GSM			Mô hình GFS			Mô hình IFS		
	GSM	PA1	PA2	GFS	PA1	PA2	IFS	PA1	PA2
+24h	-5.6	-4.1	-4.8	-6.2	-4.0	-4.8	-5.2	-3.8	-4.4
+48h	-7.2	-4.8	-5.2	-8.4	-5.4	-6.2	-7.3	-4.7	-5.3
+72h	-9.2	-6.8	-7.6	-11.4	-7.6	-8.5	-8.9	-6.0	-6.8

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng phương pháp lọc Kalman để hiệu chỉnh các kết quả dự báo quỹ đạo và cường độ từ các mô hình số trị toàn cầu GSM của Nhật Bản, GFS của Mỹ và IFS của Trung tâm Dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu. Đối với dự báo quỹ đạo bão, việc hiệu chỉnh được thực hiện đồng thời cho hai yếu tố kinh độ và vĩ độ của tâm bão. Tương tự đối với cường độ, các yếu tố P_{\min} và V_{\max} được hiệu chỉnh đồng thời. Các kết quả đáng giá dựa trên các chỉ số DPE, AT, CT cho dự báo quỹ đạo bão, ME cho dự báo cường độ từ bộ số liệu của 24 cơn bão trong các mùa bão 2015-2019 đã cho thấy cả hai phương án thử nghiệm ứng dụng KF đều làm giảm sai số trong dự báo quỹ đạo và cường độ. Mức độ cải thiện tăng theo hạn dự báo (hạn dự báo càng dài thì mức độ giảm sai số càng nhiều). Trong hai phương án KF được thử

nghiệm, việc áp dụng KF để hiệu chỉnh trực tiếp giá trị dự báo từ mô hình cho thấy sự cải thiện nhiều hơn phương án hiệu chỉnh phương trình sai số (sai số quan hệ với giá trị dự báo trực tiếp của mô hình dưới dạng phương trình hồi quy tuyến tính đơn biến). Mức độ cải thiện dự báo quỹ đạo cũng lớn hơn so với dự báo cường độ. Trong ba mô hình dự báo toàn cầu được thử nghiệm, việc áp dụng KF cho dự báo quỹ đạo và cường độ bão từ mô hình GFS đem lại nhiều sự cải thiện trong chất lượng dự báo hơn các mô hình GSM và IFS. Để tiếp tục nâng cao hơn nữa khả năng của KF, cần tiếp tục thử nghiệm KF để hiệu chỉnh cho các phương trình dự báo tổ hợp đa mô hình. Đồng thời, cần nghiên cứu xây dựng các ma trận phương sai hiệp biến Q của phương trình dự báo và ma trận số gia P phù hợp cho bài toán dự báo quỹ đạo và cường độ bão ở khu vực biển Đông.

Tài liệu tham khảo

1. Hoàng Đức Cường (2011), *Nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF phục vụ dự báo thời tiết và bão ở Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ.
2. Võ Văn Hòa và cộng sự (2008), *Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp cho một số trường dự báo bão*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ.
3. Võ Văn Hòa và cộng sự (2012), *Nghiên cứu phát triển hệ thống dự báo tổ hợp thời tiết hạn ngắn cho khu vực Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ.
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 KTTV, 526, 14-25.
5. Phan Văn Tân, Nguyễn Lê Dũng, (2009), *Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy dự báo quỹ đạo bão trên biển Đông*. Tạp chí KTTV, 583, 1-9.
6. Dư Đức Tiến, Ngô Đức Thành, Kiều Quốc Chánh, Nguyễn Thu Hằng (2016), *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 KTTV, 661, 17-23.
7. Trần Tân Tiến và cộng tác viên (2010), *Xây dựng công nghệ dự báo liên hoàn bão, nước dâng và sóng ở Việt Nam bằng mô hình số với thời gian dự báo trước 3 ngày*. Báo cáo tổng kết Đề tài

NCKH cấp Nhà nước thuộc Chương trình “Khoa học và công nghệ phục vụ phòng tránh thiên tai, bảo vệ môi trường và sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên”. MS: KC.08.05/06-10.

8. Trần Tân Tiến, Công Thanh, Nguyễn Thị Phụng (2012), *Dự báo cường độ bão bằng mô hình WRF hạn 5 ngày trên khu vực biển Đông*. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, T28 (3S), 155-160.

9. Trần Tân Tiến, Công Thanh, Nguyễn Minh Trường, Trần Duy Hiền (2009), *Đánh giá bước đầu khả năng dự báo quỹ đạo bão bằng mô hình MM5 kết hợp với cài xoáy nhân tạo và cập nhật số liệu địa phương khu vực Việt Nam*. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, T25 (1S), 109-114.

10. Công Thanh (2014), *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 khí tượng và khí hậu học, 160.

11. Kiều Thị Xin, Lê Công Thành, Phan Văn Tân (2002), *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 KTTV, 499, 12-21.

12. Marchok, T.P., (2002), *How the NCEP tropical cyclone tracker works*. Preprints, 25th conference on hurricanes and tropical meteorology, San Diego, CA, 21-22.

13. Person, A., (1991), *Kalman filtering - A new approach to adaptive statistical interpretation of numerical meteorological forecasts. Lectures and papers presented at the WMO training on the interpretation of NWP products in terms of local weather phenomena and their verification*, WMO, Wageningen, the Netherlands, XX-27-XX-32.

APPLICATION OF KALMAN FILTER TO POST-PROCESS TROPICAL CYCLONE TRACK AND INTENSITY FORECAST FROM GLOBAL NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODELS

Thai Hong Tran¹, Hoa Van Vo¹

¹Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration

Abstract: *The paper present the results of application of Kalman filter in order to post-process the tropical cyclone track and intensity forecast from global NWP model GSM of Japan Meteorological Agency (JMA), GFS of National Ocean and Atmospheric Administration of U.S (NOAA) and IFS of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) according to two proposed methods. The verification based on 24 tropical cyclones during typhon season from 2015-2019 shown out the forecast skill had been significantly improved after correcting by Kalman filter. The greatest improvement was found when applying Kalman filter to directly correct the model output instead of correcting for single linear equation of error. The degree of TC track and intensity forecast skill improvement by applying Kalman filter increased according to leadtime.*

Keywords: *Kalman filter, TC track and intensity, global NWP model.*