

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT CÁCH TIẾP CẬN XÂY DỰNG HỆ THỐNG DỰ BÁO TỔ HỢP HẠN VỪA CHO KHU VỰC VIỆT NAM

ThS. **Dư Đức Tiến**, ThS. **Võ Văn Hòa**, CN. **Mai Văn Định**
CN. **Nguyễn Mạnh Linh**, CN. **Trần Anh Đức**, CN. **Mai Khánh Hưng**, CN. **Nguyễn Thanh Tùng**
Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương

Bài báo trình bày phương pháp luận trong việc xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp hạn vừa cho khu vực Việt Nam. Hệ thống dự báo tổ hợp hạn vừa sẽ gồm hai hệ thống tương ứng với hai hạn dự báo là 3-5 ngày và 5-10 ngày. Hệ thống hướng tới hạn dự báo 3-5 ngày được xây dựng dựa trên mô hình khu vực giới hạn HRM và điều kiện biên điều khiển từ 21 thành phần dự báo của hệ thống tổ hợp toàn cầu GEFS của NCEP (Mỹ), gọi tắt là hệ thống LEPS. Hệ thống hướng tới hạn dự báo 5-10 ngày dựa trên việc tổ hợp các sản phẩm từ hệ thống tổ hợp toàn cầu GEFS (21 thành phần) và hệ thống tổ hợp toàn cầu Var_EPS (21 thành phần) của ECMWF (Châu Âu), gọi tắt là hệ thống NAEFS. Hệ thống đã được xây dựng và đưa vào khai thác trong nghiệp vụ dự báo hạn vừa tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương thông qua hệ thống thu thập và xử lý số liệu KTTV (MHDARS).

1. Đặt vấn đề

Dự báo số trị là việc sử dụng các mô hình sai phân hữu hạn hoặc phổ để giải gần đúng hệ phương trình thống trị trong khí quyển. Thời kỳ phát triển đầu tiên của dự báo số trị là phương án dự báo tất định trong đó thuật ngữ dự báo tất định dựa trên học thuyết tất định (determinism) của Laplace khi ông cho rằng nếu biết được chính xác trạng thái ban đầu của một hệ thống ta hoàn toàn có thể xác định trạng thái tương lai với một máy tính đủ mạnh [1, 2, 8, 9]. Điều này có nghĩa rằng không thể có tự do trong tương lai, tương lai hoàn toàn được xác định bởi hiện tại cũng như quá khứ. Tuy nhiên, thế kỷ 20 đã cho thấy giả thiết này của Laplace là không đúng với cơ học lượng tử cùng nguyên lý bất định nổi tiếng của nó và lý thuyết hỗn loạn mà nghiên cứu ban đầu dựa trên các mô hình khí quyển của Lorenz (1963, 1965). Phát hiện này đã dẫn đến khái niệm về khả năng dự báo, đó là một hệ thống bất ổn định chỉ có khả năng dự báo hữu hạn. Như vậy, khí quyển giống như các hệ thống động lực bất ổn định khác, khả năng dự báo là hữu hạn cho dù điều kiện ban đầu cũng như mô hình số chính xác tuyệt đối.

Dựa trên những nghiên cứu về tính bất định

trong các dự báo tất định mà sau các hệ thống dự báo tổ hợp ra đời và về cơ bản xây dựng dựa trên tính không chính xác của trường điều kiện biên ban đầu (các trường phái sinh nhiều trường ban đầu) và tính không hoàn chỉnh của mô hình (các trường phái đa mô hình hoặc mô hình với các sơ đồ sai phân hoặc tham số hóa khác nhau). Hiện nay, tại một số trung tâm dự báo khí tượng lớn trên thế giới, các hệ thống dự báo tổ hợp (EPS) nghiệp vụ đã được đưa vào hoạt động từ đầu những năm 90 phục vụ công tác dự báo hạn vừa hạn dài và được chạy trên các hệ thống siêu máy tính. Các EPS này được phát triển dựa trên các mô hình toàn cầu với mục đích chính là nâng cao chất lượng dự báo và tăng cường khả năng dự báo dài hạn. EPS nghiệp vụ đầu tiên tại Trung tâm quốc gia dự báo môi trường của Mỹ (NCEP-) được sử dụng từ năm 1992 dựa trên phương pháp BGM. Hiện tại, EPS cho dự báo hạn vừa của NCEP (GEFS) bao gồm 21 thành phần dựa theo phương pháp mới ET độ phân giải T190L28 (khoảng 0.70, 28 mực), hạn dự báo 15 ngày [14].

Tại Trung tâm dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF), EPS cũng được đưa vào nghiệp vụ từ năm 1992 bằng việc sử dụng phương pháp SV (Singular Vector) để tạo nhiễu động ban đầu [11, 13]. EPS này

Người đọc phản biện: TS. **Hoàng Đức Cường**

hiện nay có 51 dự báo thành phần, thực hiện dự báo hàng ngày và cung cấp kết quả cho các nước trong Cộng đồng Châu Âu là thành viên của ECMWF. Độc lập với NCEP và ECMWF nhưng muộn hơn vài năm, Trung tâm Khí tượng Canada (CMC) cũng bắt đầu đưa vào chạy nghiệp vụ EPS theo phương pháp EnKF [7]. EPS của CMC cho thấy một sự kết hợp chặt chẽ giữa EF và đồng hóa số liệu. Hiện tại, EPS của CMC (CEFS) bao gồm 21 thành phần tương tự như EPS của NCEP với độ phân giải 0.90, 28 mực và hạn dự báo 16 ngày.

Tiếp sau các trung tâm trên, các trung tâm khí tượng khác như MeteoFrance, BoM, JMA, KMA, CMA cũng bắt đầu phát triển và sử dụng EPS cho các mô hình toàn cầu trong dự báo hạn vừa và hạn dài. Với rất nhiều EPS từ các trung tâm dự báo khác nhau như trên, cộng đồng khí tượng đang hướng đến một dự báo siêu tổ hợp, kết hợp tất cả thông tin dự báo từ các EPS thông qua chương trình TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) [13, 14]. Thành công bước đầu của TIGGE được thể hiện qua hệ thống dự báo tổ hợp Bắc Mỹ NAEFS kết hợp hai hệ thống GEFS của NCEP và CEFS của CMC [13, 14].

Tại Việt Nam, EF cũng đang ở trong giai đoạn bước đầu tìm hiểu và chủ yếu tập trung vào các nghiên cứu lý thuyết, dự báo tổ hợp quỹ đạo bão dựa trên cách tiếp cận đa trung tâm và nhiều động trường ban đầu cho mô hình chính áp [1, 2]. Các kết quả nghiên cứu nói trên đã cho thấy tính khả thi và hiệu quả của việc ứng dụng EF để nâng cao chất lượng dự báo quỹ đạo bão tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương. Năm 2008, Võ Văn Hòa và cộng sự đã nghiên cứu phát triển một EPS cho một số trường khí tượng quy mô synopt hạn ngắn hay được tham khảo trong công tác dự báo bão dựa trên cách tiếp cận đa mô hình toàn cầu. Từ năm 2009 đến nay, nhóm tác giả này tiếp tục thực hiện nghiên cứu EF dựa trên cách tiếp cận đa mô hình đa phân tích để dự báo thời tiết cho khu vực Việt Nam nhưng nghiên cứu này chỉ tập trung vào dự báo hạn ngắn (đến hạn dự báo 60 giờ), được gọi là hệ thống SREPS và hiện nay được chạy nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn

Trung ương [2].

Bên cạnh các nghiên cứu EF tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương, hướng nghiên cứu ứng dụng và phát triển các hệ thống EF cũng được triển khai thực hiện tại Trường đại học Khoa học tự nhiên (sử dụng phương pháp BGM), và Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường (tích hợp các sơ đồ tham số hóa) [1, 2, 3]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này cũng chỉ tập trung cho bài toán dự báo bão và dự báo các hiện tượng thời tiết hạn ngắn. Như vậy, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào hướng tới phát triển hệ thống dự báo tổ hợp các trường khí tượng hạn vừa hoặc ứng dụng các sản phẩm EF hạn vừa trên thế giới.

Từ thực trạng nêu trên cho thấy sự cần thiết của việc nghiên cứu phát triển hệ thống dự báo tổ hợp cho các trường khí tượng hạn vừa (từ 3 đến 10 ngày) cho khu vực Việt Nam. Hệ thống sẽ bao gồm hai hệ thống tương ứng với hạn dự báo trước vừa từ 3 đến 5 ngày và hạn vừa từ 5 đến 10 ngày. Hệ thống hướng tới hạn dự báo 5-10 ngày dựa trên việc tổ hợp các sản phẩm từ hệ thống tổ hợp toàn cầu GEFS và hệ thống tổ hợp toàn cầu Var_EPS của ECMWF (Châu Âu), gọi tắt là hệ thống NAEFS và sẽ được giới thiệu chi tiết trong phần 2 của bài báo. Hệ thống hướng tới hạn dự báo 3-5 ngày được xây dựng dựa trên mô hình khu vực giới hạn HRM và điều kiện biên điều khiển là các thành phần từ hệ thống tổ hợp toàn cầu GEFS của NCEP (Mỹ), gọi tắt là hệ thống LEPS và sẽ được giới thiệu chi tiết trong phần 3 của bài báo.

2. Thiết kế hệ thống dự báo tổ hợp hạn 5-10 ngày (NAEFS)

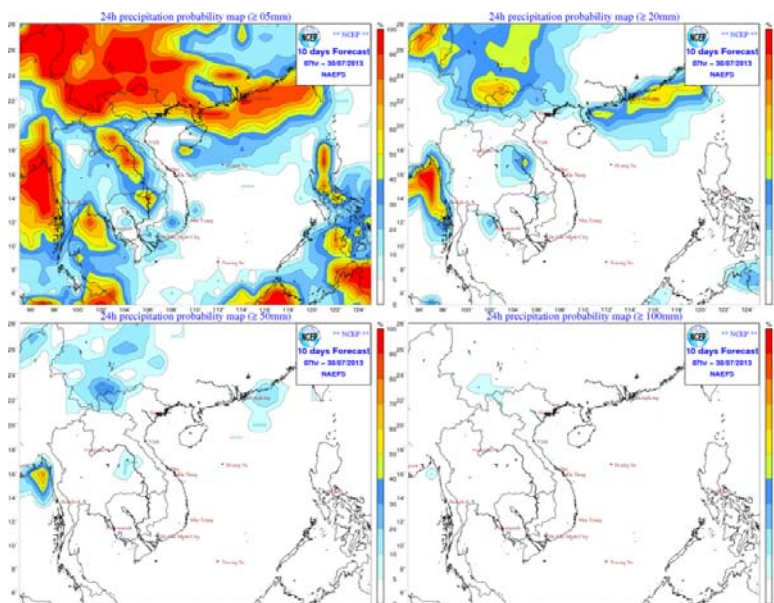
Như đã phân tích ở trên, dự báo tổ hợp hạn ngắn hoàn toàn khác dự báo tổ hợp hạn vừa, sự khác biệt chủ yếu ở cách thức tạo ra các thành phần dự báo tổ hợp. Đối với dự báo tổ hợp hạn ngắn, do độ bất định có thể bắt nguồn từ sự chưa hoàn chỉnh trong động lực và vật lý của mô hình, sai số trong trường ban đầu, trường biên, ... Trong khi đó, đối với dự báo hạn vừa, hạn dài, độ bất định trong trường ban đầu quan trọng hơn so với trong mô hình và điều kiện biên, đặc biệt là cho các hạn dự báo hạn dài. Đây chính là lý do tại sao các EPS toàn

cầu lại sử dụng các tiếp cận tác động lên trường ban đầu để tạo ra các dự báo thành phần

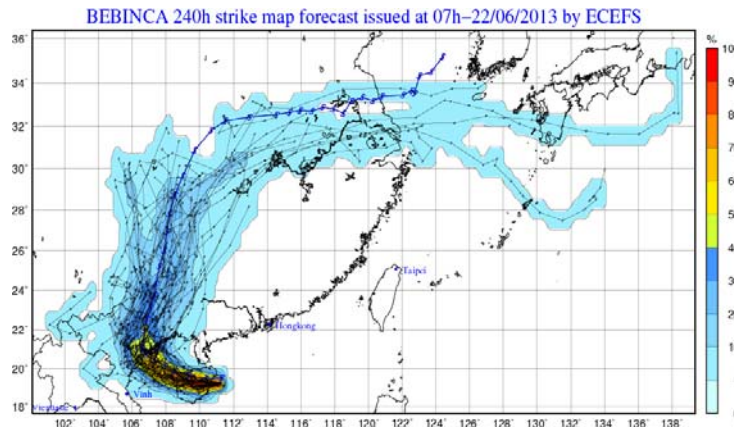
Đối với điều kiện Việt Nam hiện nay có hai nguồn EPS toàn cầu có thể được đưa vào ứng dụng nghiệp vụ gồm: số liệu dự báo từ hệ thống GEFS của NCEP (miễn phí) và số liệu dự báo từ hệ thống Var_EPS của ECMWF (Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương đã bắt đầu mua từ cuối năm 2011). Các dự báo EPS khác trên thế giới như Nhật Bản hay của ECMWF, về cơ bản không được cung cấp miễn phí số liệu mà chỉ cung cấp một số sản phẩm dưới dạng đồ họa nhưng rất hạn chế. Các sản phẩm dưới dạng đồ họa có thể trợ giúp tốt cho dự báo viên khi quan sát quá trình quy mô lớn nhưng không thể cung cấp dự báo chi tiết khi hướng đến dự báo trên khu vực Việt Nam hay dự báo điểm. GEFS dù là một hệ thống dự báo toàn cầu mở nhưng các sản phẩm đồ họa chỉ phục vụ cho khu vực Bắc Mỹ mà không phục vụ cho các khu vực khác. Do đó, việc nghiên cứu và ứng dụng một hệ thống dự báo tổ hợp các trường khí tượng hạn vừa sử dụng số liệu dự báo từ một số EPS như GEFS và Var_EPS cho khu vực Việt Nam là cần thiết. Ngoài ra, một trong những điều kiện đủ để có thể thiết lập một hệ thống dự báo tổ hợp từ hai nguồn số liệu GEFS và ECMWF là hiện nay tại Trung tâm Dự báo

Khí tượng Thủy văn Trung ương đã gia nhập mạng Nghiên cứu và Đào tạo Việt Nam (VinaREN) với tốc độ hiện nay lên tới hơn 600Mbps ra quốc tế, qua đó cho phép thu nhận kịp thời gần như thời gian thực hai nguồn số liệu này, điều mà việc sử dụng mạng Internet thông thường là không thể do dung lượng từ hai hệ thống này là rất lớn, khoảng hơn 100Gb trên một ổ dữ liệu dự báo.

Dựa trên hai nguồn số liệu GEFS và Var_EPS này có thể được khai thác để tạo ra các sản phẩm dự báo tổ hợp có hạn dự báo từ 3-10 ngày, gọi tắt là hệ tổ hợp NAEFS. Trong hai hệ thống tổ hợp GEFS và Var_EPS được sử dụng là 21 thành phần dự báo, như vậy hệ thống NAEFS sẽ gồm tổng cộng 42 thành phần tổ hợp khi kết hợp từ hai hệ thống GEFS và Var_EPS. Độ phân giải ngang của hai hệ thống này là 1.0 x 1.0 độ kinh vĩ. Về sản phẩm từ các hệ dự báo tổ hợp toàn cầu, ngoài việc cung cấp các trường dự báo trung bình tổ hợp hay dự báo từ các thành phần khác nhau, các sản phẩm dưới dạng xác suất cũng được đưa vào khai thác như bản đồ xác suất xảy ra mưa tại các ngưỡng mưa khác nhau (minh họa trong hình 1) hoặc chiết suất các thông tin về dự báo bão từ các hệ thống này (minh họa trong hình 2).



Hình 1. Bản đồ xác suất mưa tích lũy 24h với thời hạn dự báo 10 ngày từ hệ thống NAEFS tại các ngưỡng mưa 5 mm, 20 mm, 50 mm và 100 mm



Hình 2. Bản đồ dự báo xác suất vị trí cơn bão đi qua (trên) cho cơn bão BEBINCA năm 2013 từ hệ thống dự báo tổ hợp

3. Thiết kế hệ thống dự báo tổ hợp hạn 3-5 ngày (LEPS)

Như đã nêu ở trên, các EPS hạn vừa đã được triển khai vào dự báo nghiệp vụ tại rất nhiều trung tâm dự báo lớn trên thế giới và dựa trên các mô hình toàn cầu. Tuy nhiên việc sử dụng các hệ thống tổ hợp từ các mô hình toàn cầu còn gặp nhiều kết quả hạn chế đặc biệt cho thời hạn trước 5 ngày. Một trong những nghiên cứu điển hình trong vấn đề xây dựng hệ thống tổ hợp cho hạn 3-5 ngày kể trên là của Molteni và cộng sự (2001) [5, 10]. Trong [10], Molteni bắt đầu những nghiên cứu lý thuyết cho phép thực hiện EF trên các mô hình khu vực với độ phân giải cao hơn so với mô hình toàn cầu với tên gọi LEPS (Limited-area Ensemble Prediction System). LEPS hướng đến dự báo từ 2 cho đến 5 ngày (trước hạn vừa). Với mục tiêu như vậy, nhiễu động điều kiện biên sẽ trở nên quan trọng hơn so với nhiễu động điều kiện ban đầu. Hệ thống được thực hiện đơn giản bằng cách tích phân mô hình khu vực LM lồng trong các thành phần của EPS toàn cầu tại ECMWF. Sau những thử nghiệm đầu tiên tại ARPA-SIM, hệ thống với tên gọi COSMO-LEPS đã được thực hiện tại ECMWF vào năm 2003 [5, 10]. Đánh giá hệ thống này đã cho thấy kỹ năng dự báo từ hệ thống này cao hơn so với kỹ năng tương ứng từ hệ thống dự báo tổ hợp toàn cầu mà LM chạy lồng trong đó. Ngoài ra, một trong những kết quả quan trọng được rút ra là khả năng mô tả và dự báo được tốt hơn các giá trị cực trị mưa của hệ COSMO-

LEPS so với hệ tổ hợp 51 thành phần của ECMWF cho thấy vai trò của việc hạ quy mô động lực trong hệ dự báo tổ hợp có sử dụng mô hình khu vực phân giải cao [5, 10, 12].

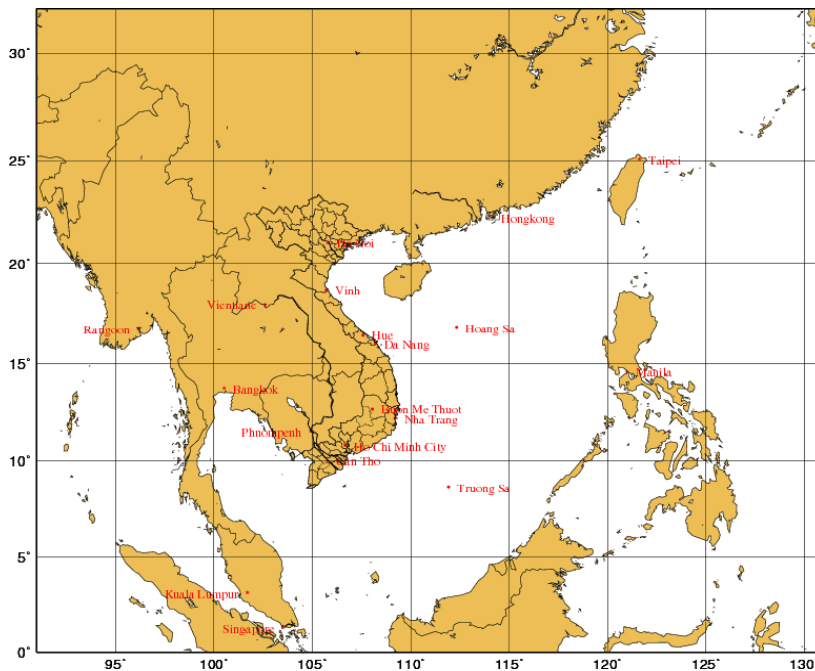
Như vậy, có thể thấy rằng, để tăng khả năng nắm bắt các quy mô vừa chuyển tiếp giữa hạn ngắn và hạn vừa, cách tiếp cận sử dụng mô hình một mô hình khu vực để tăng độ phân giải và chạy với các đầu vào từ các thành phần dự báo của EPS toàn cầu được thực hiện cho hạn dự báo 3-5 ngày. Dựa trên những nghiên cứu này chúng tôi đề xuất xây dựng một hệ LEPS hướng tới dự báo tổ hợp cho hạn 3-5 ngày cho khu vực Việt Nam thông qua việc chạy lồng ghép một chiều một mô hình khu vực đã được thử nghiệm cho Việt Nam với trường điều khiển là các thành phần của một EF toàn cầu thu nhận được. Việc lựa chọn mô hình cho hệ thống LEPS cũng như các cấu hình liên quan phụ thuộc nhiều vào năng lực tính toán cho phép và tính ổn định trong chất lượng dự báo mà mô hình khu vực mang lại.

Trong thời gian triển khai nghiên cứu, hệ thống tính toán hiệu năng cao HPC tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương được áp dụng thử nghiệm cho hệ LEPS bao gồm 8 nodes tính toán trong đó có tổng cộng 32 bộ vi xử lý được sử dụng để vận hành hệ thống. Đối với số liệu làm trường đầu vào từ hai nguồn GEFS và Var_EFS có khả năng thu nhận tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương, hệ thống GEFS với dung lượng bằng khoảng 1/3 so với Var_EFS và số lượng thành phần

nhỏ hơn sẽ bước đầu được áp dụng với điều kiện tính toán hiện này của hệ HPC 8 nodes.

Đối với mô hình khu vực dùng để hạ quy mô từ trường GEFS, thông qua đánh giá kết quả dự báo từ các mô hình khu vực trong nhiều năm tại TTDBTU từ năm 2000 chúng tôi đề xuất sử dụng mô hình HRM trong hệ thống LEPS cho khu vực Việt Nam do mô hình HRM có chi phí tính toán thấp nhất so với các mô hình khu vực khác có tính ổn định cao [2, 4]. Ngoài ra để đảm bảo kịp thời gian nghiệp vụ, mô hình HRM sẽ được chạy với 21 thành phần từ hệ GEFS của ộp dự báo 12z trước đó. Với mục tiêu dự báo thời tiết cho toàn bộ lãnh thổ Việt Nam, đặc biệt là các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như bão,

ATNĐ, mưa lớn, ..., trong nghiên cứu này chúng tôi định hướng lựa chọn miền dự báo bao phủ miền địa lý như được thấy trong hình 3. Cụ thể là vùng từ 0°N-32°N và 91°E-131°E. Độ phân giải cho mô hình khu vực HRM là 22 km. Cấu hình chi tiết cho mô hình HRM trong hệ LEPS được đưa ra trong bảng 1. Về cơ bản các sản phẩm từ hệ dự báo LEPS đều giống so với các lớp sản phẩm từ hệ thống NAEFS đã được giới thiệu trong phần 2 nhưng vùng miền hiển thị chỉ tập trung vào khu vực Việt Nam và biển Đông. Trong hình 4 minh họa sản phẩm dự báo lượng mưa tích lũy 24h từ 21 thành phần của hệ thống LEPS.

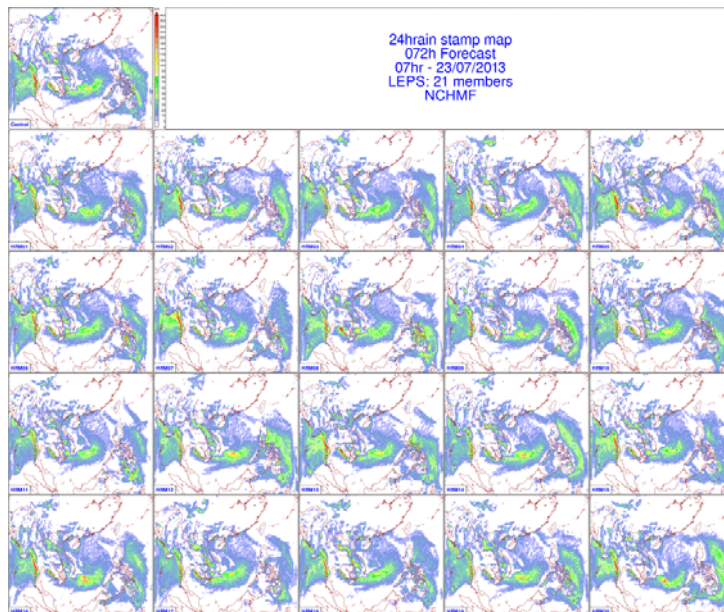


Hình 3. Miền tính cho hệ thống LEPS

Bảng 1. Cấu hình cho mô hình HRM trong hệ thống LEPS

Động lực		Hệ phương trình nguyên thủy, dạng thủy tĩnh
Lọc số		Có
Tham số hóa vật lý	Đổi lưu	Sơ đồ Tiedtke
	Bức xạ sóng ngắn	Geleyn
	Bức xạ sóng dài	Geleyn
	Lớp biên hành tinh	Sơ đồ Monin-Obukhov
	Đất	Mô hình 7 lớp
Bề mặt		Sơ đồ khuếch tán 2 lớp

Hệ tọa độ thẳng đứng	sigma (σ)	
Lưới sai phân ngang	Arakawa C	
Độ phân giải ngang (độ hoặc km)	0.2°×0.2°	
Số nút lưới/Độ rộng (độ)	201 × 161	
Điểm lưới góc Tây Nam/Tâm lưới	91°E, 0°N	
Số mực thẳng đứng	31	
Bước thời gian tích phân (giây)	90	
Điều kiện ban đầu	Khí tượng	5 mô hình toàn cầu nói trên
	Địa hình	USGS 1km
	Đất	FAO 8 km
Điều kiện biên	21 thành phần từ hệ thống GEFS, cập nhật biên 6 giờ	
Hạn dự báo	120 giờ	
Khoảng thời gian giữa các sản phẩm đầu ra	3 giờ	



Hình 4. Dự báo 72h trường mưa tích lũy 24h từ các thành phần tổ hợp khác nhau trong hệ thống LEPS

4. Kết luận

Với mục đích triển khai ứng dụng nghiệp vụ các sản phẩm dự báo tổ hợp phục vụ công tác dự báo thời tiết hạn vừa đến 10 ngày tại TTDBTƯ, chúng tôi đã nghiên cứu và lựa chọn giải pháp xây dựng hệ thống dựa trên hai hệ thống LEPS hướng tới dự báo

tổ hợp thời tiết hạn 3-5 ngày và hệ thống NAEFS hướng tới dự báo hạn 5-10 ngày cho khu vực Việt Nam. Hệ thống đã được thiết lập thành công và chạy nghiệp vụ trên hệ thống tính toán hiệu năng cao tại TTDBTƯ từ năm 2010 đến nay. Trong các phần 2 và 3 của bài báo, những đánh giá chi tiết đối

với sản phẩm dự báo tổ hợp trung bình và dự báo xác suất từ các hệ thống này sẽ được thực hiện.

Ngoài ra, để triển khai hiệu quả các sản phẩm dự báo tất định và xác suất có thể được tạo ra từ hệ thống LEPS và NAEFS, chúng tôi đã tích hợp tất cả sản phẩm dự báo này vào trong hệ thống phần mềm nghiệp vụ đang được sử dụng tại TTDBTU để dự báo viên có thể tham khảo trong quá trình tác nghiệp, đó là Hệ thống thu thập và xử lý số liệu KTTV (gọi tắt là MHDARS). Trong đó, hệ thống MH-

DARS về cơ bản dựa trên nền tảng Web và đang triển khai trong mạng nội bộ của TTDBTU và sẽ được chia sẻ ra Internet trong thời gian sắp tới. Các sản phẩm dự báo từ hai hệ thống NAEFS và LEPS đã được triển khai thử nghiệm trong dự báo nghiệp vụ qua hệ thống MHDARS tại TTDBTU từ năm 2011. Ngoài việc tham khảo trên trang web MHDARS, các sản phẩm từ hệ thống LEPS và NAEFS có thể được sử dụng dưới dạng số làm đầu vào cho các hệ thống dự báo thủy văn và hải văn khác cũng được chạy nghiệp vụ tại TTDBTU.

Tài liệu tham khảo

1. Võ Văn Hòa và các cộng tác viên, 2008: Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp cho một số trường khí tượng dự báo bão. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 117tr.
2. Võ Văn hòa và các cộng tác viên, 2012: Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp thời tiết hạn ngắn cho khu vực Việt Nam dựa trên cách tiếp cận đa mô hình đa phân tích, Phần I: phương pháp luận. Tạp chí KTTV, số 615, tr 47-53;
3. Võ Văn Hòa, 2013: Kết nối mạng VinaREN để nâng cao hiệu quả dự báo khí tượng thủy văn tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương, Phụ trương chuyên đề 2013, trang 38-41, Tạp chí Thông tin và tư liệu
4. Dư Đức Tiến và các cộng tác viên, 2013: Nghiên cứu phát triển hệ thống dự báo tổ hợp hạn vừa cho khu vực Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ.
5. COSMO Newsletter, 7-2006, No. 6, Deutscher Wetterdienst (DWD)
6. David H. Wolpert, 2008: "Physical limits of inference". *Physica D* 237 (9): 1257–1281
7. Houtekamer, P. L., J. Lefaiivre, J. Derome, H. Ritchie, 1996: A system simulation approach to ensemble prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1225-1242.
8. Lorenz, E. N., 1963: Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, 130-141.
9. Lorenz, E. N., 1965: A study of predictability of 28-variable atmospheric model. *Tellus*, 17, 321-333.
10. Montani, A., Marsigli, C., Nerozzi, F., Paccagnella, T., and Buizza, R., 2001: Performance of ARPA-SMR Limited-area Ensemble Prediction System: two flood cases, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 8, 387–399.
11. Palmer, T. N., F. Monteni, R. Mureau, R. Buizza, P. Chapelet, and J. Tribbia, 1992: Ensemble prediction. *ECMWF Technical Memorandum*, 188.
12. Stensrud D. J., J. Bao, and T. T. Warner, 2000: Using initial conditions and model physics perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2077–2107.
13. Talagrand O., Vautard R., and Strauss B., 1997: Evaluation of probabilistic predictions systems. *Proceedings of the ECMWF workshop on predictability, 20-22 October 1997, ECMWF, Shinfield Park, Reading, UK*, p. 157-166.
14. Toth, Z., and E. Kalnay, 1997: Ensemble forecasting at NCEP and the Breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 3297-3319