

PHƯƠNG PHÁP ĐỒNG HÓA SỐ LIỆU NUDGING CHO QUAN TRẮC RADAR VÀ TÁC ĐỘNG TỚI DỰ BÁO MƯA LỚN TRÊN KHU VỰC BẮC BỘ

Trần Hồng Thái - Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia

Võ Văn Hòa - Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng Bắc Bộ

Dư Đức Tiến, Lưu Khánh Huyền - Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương

Một trong những nguyên nhân gây ra sai số dự báo của mô hình số dự báo thời tiết là sai số trường ban đầu sinh ra, bắt nguồn từ thiếu hụt quan trắc, sai số nội suy và sai số quan trắc. Phương pháp phổ biến hiện nay để giảm thiểu sai số trường ban đầu là đồng hóa số liệu trong đó phương pháp đồng hóa giảm dư động lực nudging được ứng dụng chủ yếu cho các mô hình phân giải cao. Nghiên cứu sẽ trình bày thử nghiệm đồng hóa số liệu radar trên khu vực Bắc Bộ bằng phương pháp nudging trong hệ thống mô hình phân giải cao bất thủy tĩnh COSMO – kết quả hợp tác giữa Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia và Tổng cục Khí tượng Đức trong những năm vừa qua.

Từ khóa: đồng hóa số liệu radar, đồng hóa giảm dư động lực.

1. Sự cần thiết của việc cập nhật quan trắc radar vào mô hình số và các phương pháp đồng hóa số liệu radar

1.1 Sự cần thiết của việc cập nhật quan trắc radar vào mô hình số

Độ tin cậy của trường phân tích ban đầu đóng vai trò hết sức quan trọng đến chất lượng dự báo của mô hình số dự báo thời tiết. Với sự phát triển vượt bậc của các mô hình quy mô lớn (độ phân giải đã phổ biến ở mức 10 - 20 km tại Nhật, Mỹ và Châu Âu), việc ứng dụng các mô hình số trị ở quy mô khu vực đòi hỏi cần thiết cập nhật số liệu thám sát địa phương đặc biệt là số liệu quan trắc từ radar. So với các loại số liệu quan trắc thì số liệu radar Doppler đặc biệt có ý nghĩa quan trọng trong bài toán nâng cao chất lượng đầu vào cho mô hình số hiện nay do đây là một nguồn số liệu quan trắc với mật độ không gian và thời gian cao. Rất nhiều kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc đồng hóa số liệu radar Doppler cho mô hình khu vực đã giúp tăng được chất lượng dự báo các hiện tượng mưa lớn liên quan đến các ổ dông, đường tố, mây đối lưu sâu ở thời đoạn dự báo đến 24 tiếng. Điều này được giải thích do quá

trình đồng hóa số liệu đã làm giảm bớt được thời gian thích ứng (spin up time) của mô hình đối với những hiện tượng liên quan đến các cơ chế đối lưu bắt nguồn từ tác động yếu có quy mô synop [2, 3]. Bài báo sẽ giới thiệu các phương pháp đang được áp dụng hiện nay trong nghiệp vụ đối với vấn đề đồng hóa số liệu. Ngoài ra, bài báo sẽ trình bày thử nghiệm đồng hóa số liệu radar trên khu vực Bắc Bộ bằng phương pháp nudging trong hệ thống mô hình phân giải cao bất thủy tĩnh COSMO – một kết quả hợp tác giữa Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia và Tổng cục Khí tượng Đức trong những năm vừa qua.

1.2 Các phương pháp đồng hóa số liệu radar

1.2.1. Phương pháp đồng hóa biến phân

Phương pháp đồng hóa biến phân xác định trường phân tích tối ưu thông qua chênh lệch giữa giá trị nền (giá trị khởi tạo – trường mô hình chưa được hiệu chỉnh bằng số liệu quan trắc địa phương) và giá trị quan trắc. Nếu kí hiệu x là vectơ đặc trưng cho trạng thái khí quyển, trường phân tích tối ưu là nghiệm của giá trị cực tiểu của hàm chi phí $J(x)$ có dạng như sau [1, 2]:

$$J(x) = \frac{1}{2} (x - x^d)^T B^{-1} (x - x^d) + \frac{1}{2} [H(x) - y^o]^T O^{-1} [H(x) - y^o]$$

Trong vế phải của hàm $J(x)$, giá trị y^0 là giá trị quan trắc và $H(x)$ được gọi là toán tử quan trắc. Đối với số liệu từ radar Doppler gồm hai loại số liệu độ phản hồi (reflectivity) và gió hướng tâm (radial velocity) ta sẽ phải xây dựng hai toán tử tương ứng là toán tử mô phỏng độ phản hồi và toán tử mô phỏng gió hướng tâm. Khi áp dụng cho số liệu radar, chúng ta cần xây dựng toán tử quan trắc cho số liệu độ phản hồi và gió hướng tâm thu được từ radar Doppler. Chi tiết cùng các kết quả áp dụng phương pháp biến phân cho số liệu radar Doppler tại trạm Đông Hà và ảnh hưởng của nó đến dự báo mưa lớn trên khu vực miền Trung có thể tham khảo chi tiết tại [2].

1.2.2 Phương pháp đồng hóa giảm dư động lực nudging

Kỹ thuật nudging xuất hiện vào các năm 1974 -1977 với các tác giả Anthes (1974), Hoke và Anthes (1976), Davies và Turner (1977) [5]. Phương pháp này còn có tên gọi giảm dư động lực hay giảm dư Newton. Khác với cách thực hiện của các phương pháp phân tích khách quan trước đó, nudging đưa thêm một số hạng dưới dạng một lực mới vào các phương trình động lực. Số hạng này bao gồm chênh lệch giữa thám sát với mô hình được nhân với một hệ số. Lực này có tác động giống như một lực cản đưa giá trị mô hình dần về giá trị thám sát. Nhìn chung thì đây là một dạng hiệu chỉnh giống như phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp nhưng có được ưu điểm đã bao hàm động lực của mô hình dự báo trong quá trình phân tích. Người ta thường sử dụng kỹ thuật nudging trong đồng hóa số liệu quy mô nhỏ như số liệu radar khi phương pháp nội suy tối ưu không thể thực hiện được do các hàm thống kê không thể xác định. Điều này giải thích tại sao ngày nay nudging vẫn được sử dụng trong đồng hóa số liệu tương tự như phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp. Viết lại tổng quát nhất sự thay đổi theo thời gian t của một biến dự báo (prognostic) ψ trong mô hình động lực theo không gian x có dạng:

$$\frac{\partial}{\partial t} \psi(x, t) = F(\psi, x, t) + G_{\psi} \sum_{k \in (obs)} W_k [\psi_k - \psi(x_k, t)]$$

Trong đó: F ký hiệu tổng hợp cho các thành phần tác động động lực và tham số hóa vật lý, ψ_k là giá trị quan trắc thứ k ảnh hưởng đến điểm lưới x tại thời điểm t , x_k là vị trí quan trắc, thành phần G_{ψ} là hằng số/hệ số nudging và W_k là trọng số phụ thuộc quan trắc có giá trị từ 0 đến 1.

1.3 Cơ sở lý thuyết về đồng hóa số liệu radar của Tổng cục khí tượng Đức

1.3.1. Ước lượng tốc độ mưa quan trắc từ số liệu radar

Sử dụng quan hệ thực nghiệm dựa độ phản hồi và tốc độ mưa của Marshall-Palmer ta có thể ước lượng được cường độ mưa R (mm/h) từ độ phản hồi vô tuyến của mục tiêu Z (mm^6/m^3) của radar như sau $Z=AR^B$ trong đó A, B là các tham số thực nghiệm, giá trị điển hình là $A=200$ và $B=1.6$. Sử dụng quan hệ giữa $Z'=10\lg Z$ với Z' (dBZ) là độ phản hồi của radar ta có phương trình cho ước lượng cường độ mưa như sau $R=C10^{0.2Z}$.

1.3.2 Đại lượng ẩn nhiệt và gia số nhiệt độ của mô hình

Để đồng hóa dữ liệu quan trắc vào mô hình số, mối quan hệ giữa giá trị quan trắc và các biến dự báo của các mô hình dự báo được thiết lập. Điều này rất khó đối với lượng mưa vì mưa được hình thành theo một quá trình phi tuyến phức tạp. Quá trình này được quyết định bởi tương tác giữa các biến trạng thái của các mô hình, trong nhiều trường hợp bao gồm đạo hàm của chúng cùng các giá trị phân kỳ độ ẩm, v.v.. Trên thực tế, khi chuyển pha từ hơi nước thành nước và sau đó là giáng thủy (dạng mưa) sẽ phát sinh ra một dạng năng lượng còn gọi là giải phóng ẩn nhiệt (Latent Heat – LH). Lượng mưa đi tới mặt đất là kết quả của một chu trình phức tạp bao gồm một loạt các quá trình diễn ra từ khi hình thành giọt nước trong mây cho đến khi rơi đến mặt đất và phần lớn đều liên quan đến quá trình giải phóng ẩn nhiệt (ngưng tụ và đóng băng là quá trình giải phóng ẩn nhiệt còn ngược lại bốc hơi và sự tan chảy là quá trình lấy năng lượng từ môi trường). Cường độ mưa (rain rate)

R có thể được giả định tỷ lệ thuận với giải phóng ẩn nhiệt (ΔT_{LHN}) trong đó lượng ẩn nhiệt có thể xác định gián tiếp từ sự thay đổi về nhiệt độ ΔT của khí quyển. Khi xem xét một đường đi l tùy ý một hạt mưa, từ khi hình thành tại l^0 và tới mặt đất tại l_g có thể được xây dựng như phương trình liên hệ với tốc độ giáng thủy như sau:

$$R(l_g) \propto \int_{l^0}^{l_g} \Delta(L_H(z)) dz \quad (1)$$

Đường đi l cũng có mối liên hệ với thời gian t là thời gian lượng mưa đến được mặt đất. Ngay cả khi mô hình không thể mô tả toàn bộ quá trình hình thành mưa, một mối quan hệ như (công thức (1)) có thể mô tả mối qua trình hình thành này. Vì vậy ẩn nhiệt được giải phóng có thể xác định dễ dàng qua gia số (increment) của giá trị nhiệt độ ΔT_{LHN} tăng lên (l) tùy thuộc vào tỷ lệ lượng mưa mô hình theo công thức:

$$\Delta T_{LHN}(z) = (z - 1) \cdot \frac{1}{c_p} \Delta(L_H(z)), \quad \alpha = \left(\frac{R_{obs}}{R_{model}} \right) \quad (2)$$

α là hệ số tỉ lệ giữa lượng mưa quan trắc và lượng mưa từ mô hình (R_{obs} , R_{mod}). Quá trình hình thành một hạt mưa rơi trong khí quyển rất phức tạp, tuy nhiên bằng cách đơn giản hóa thông qua giả định rằng toàn bộ quá trình hạt mưa rơi là bên trong một cột và một bước thời gian duy nhất, khi đó lượng mưa tỷ lệ với tích phân theo chiều thẳng đứng của ẩn nhiệt được giải phóng. Đây là giả định cơ bản của phương pháp đồng hóa giảm dư đại lượng ẩn nhiệt Latent Heat Nudging (LHN) được áp dụng nghiệp vụ tại Tổng cục Khí tượng Đức [5].

2. Thử nghiệm

2.1 Mô hình bất thủy tĩnh phân giải cao COSMO

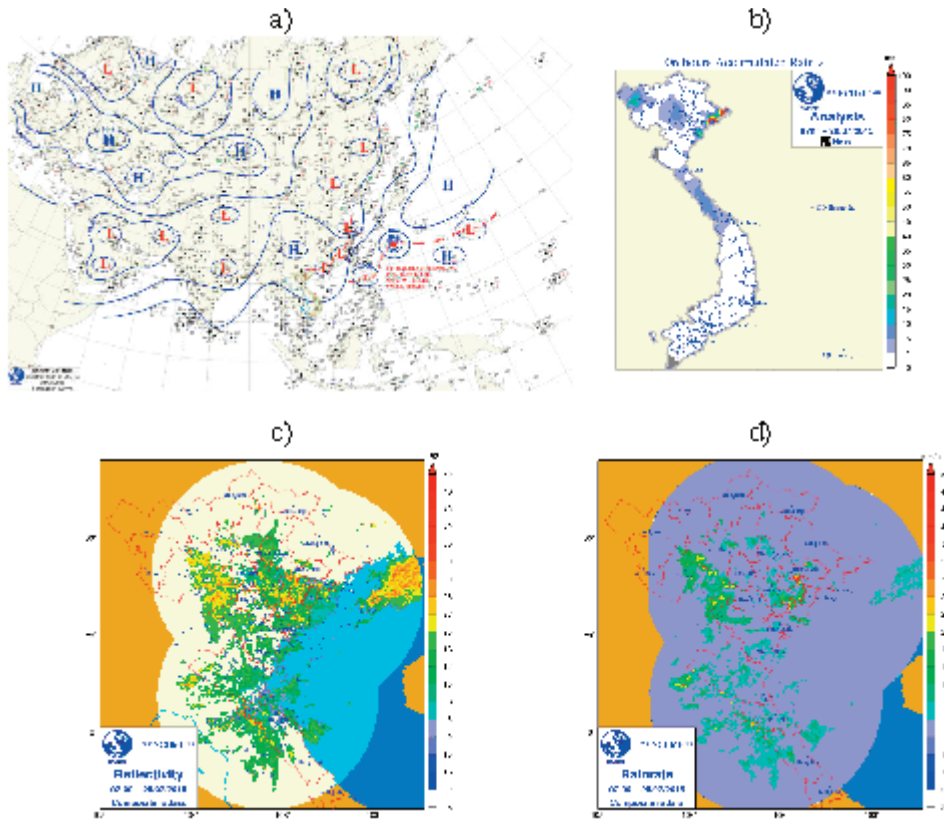
Đầu những năm 1990 cơ quan thời tiết Đức (DWD) cho thấy rằng nhu cầu về dự báo thời tiết trong tương lai sẽ phải giải quyết yêu cầu mô phỏng thời tiết với quy mô đối lưu. Điều này yêu cầu kích thước lưới nhỏ hơn mà không thể đạt được bằng cách sử dụng mô hình Deutschland (DM), mô hình hoạt động tại thời điểm đó. DM là một mô hình thủy tĩnh và có nhiều hạn

chế bởi các lý do vật lý và kích thước lưới lớn. Vì vậy DWD quyết định phát triển một mô hình phi thủy tĩnh mới, Lokal model (LM). LM thay thế DM là mô hình dự báo thời tiết hoạt động vào tháng 12 năm 1999 và sau một số cải tiến một số khía cạnh đã đáp ứng được sự mong đợi. Mô hình COSMO là mô hình khu vực hạn chế phi thủy tĩnh mô phỏng thời tiết. Nó được thiết kế cho cả hai hoạt động dự báo thời tiết số và các ứng dụng khoa học cho quy mô meso α , β . Mô hình COSMO dựa trên phương trình nguyên thủy thủy nhiệt động lực học mô tả dòng chảy nén trong khí quyển ẩm. Các quá trình vật lý được đưa vào để tham số hóa. Bên cạnh mô hình dự báo, có một số thành phần được bổ sung như đồng hóa số liệu, nội suy điều kiện biên từ mô hình chính và hậu xử lý các hệ thống phụ để chạy các mô hình số trị, mô hình khí hậu hoặc cho các trường hợp nghiên cứu.

2.2 Số liệu quan trắc, điều kiện biên và trường hợp thử nghiệm

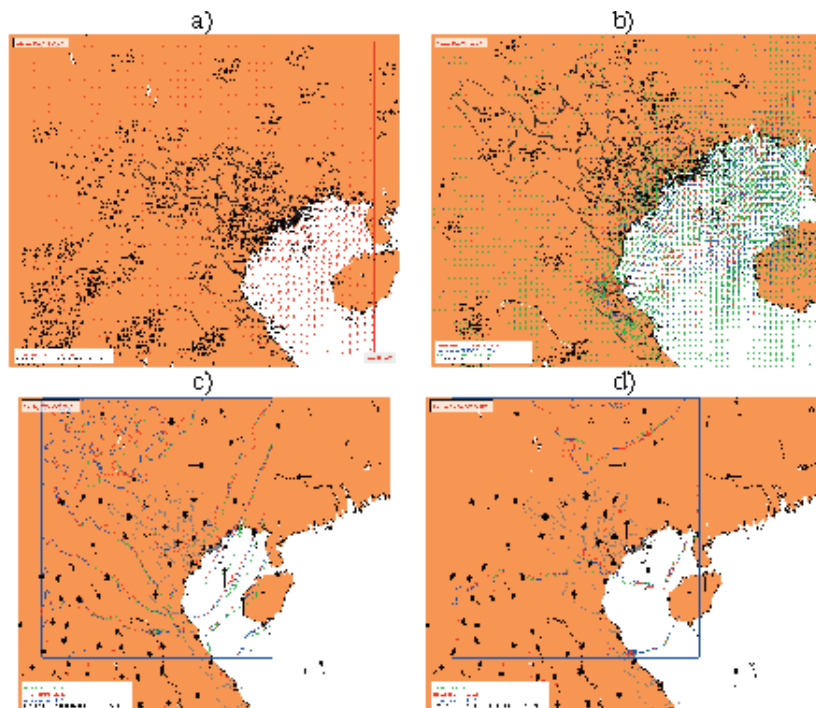
Số liệu quan trắc được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các quan trắc bề mặt tại Việt Nam (180 trạm Synop). Số liệu điều kiện ban đầu và điều kiện biên được lấy từ phân tích và dự báo của mô hình ICON của DWD (thay thế cho mô hình GME từ năm 2013). Trường hợp nghiên cứu là ộp dự báo 00Z ngày 25 tháng 7 năm 2015 trên khu vực Quảng Ninh. Đây là đợt mưa lớn lịch sử xảy ra tại Quảng Ninh nói riêng và là đợt mưa lớn diện rộng diễn ra ở hầu hết các tỉnh Bắc Bộ. Sự tồn tại của một vùng thấp trên khu vực biển Đông Bắc (hình 1a) dẫn tới hệ quả mưa rất to trên khu vực này trong nhiều ngày liên tiếp. Mặc dù các mô hình số trị quy mô toàn cầu đến khu vực đến dự báo được mưa giai đoạn này tuy nhiên lượng mưa dự báo được đều thấp hơn rất nhiều so với quan trắc trên khu vực Đông Bắc.

Về cấu hình thử nghiệm, độ phân giải của mô hình COSMO được thiết lập ~ 0.0625 (7km) theo chiều ngang và gồm 51 mực theo phương thẳng đứng. Ba trường hợp thử nghiệm bao gồm chưa có đồng hóa (control), chỉ đồng hóa số liệu Synop (lấy cả ộp 00z và 06z) và đồng hóa kết hợp đồng thời Synop và radar (số liệu quan trắc từ 3 radar phía bắc: Việt Trì, Phù Lỗ và Vinh) đã được thực hiện.



Hình 1. Bản đồ phân tích synop bề mặt (a), quan trắc mưa tích lũy 6 tiếng (b), số liệu radar miền bắc (c) và tốc độ mưa ước lượng từ radar (d) đưa vào thử nghiệm đồng hóa ổ áp 00Z ngày 25/7/2016

3. Kết quả thử nghiệm

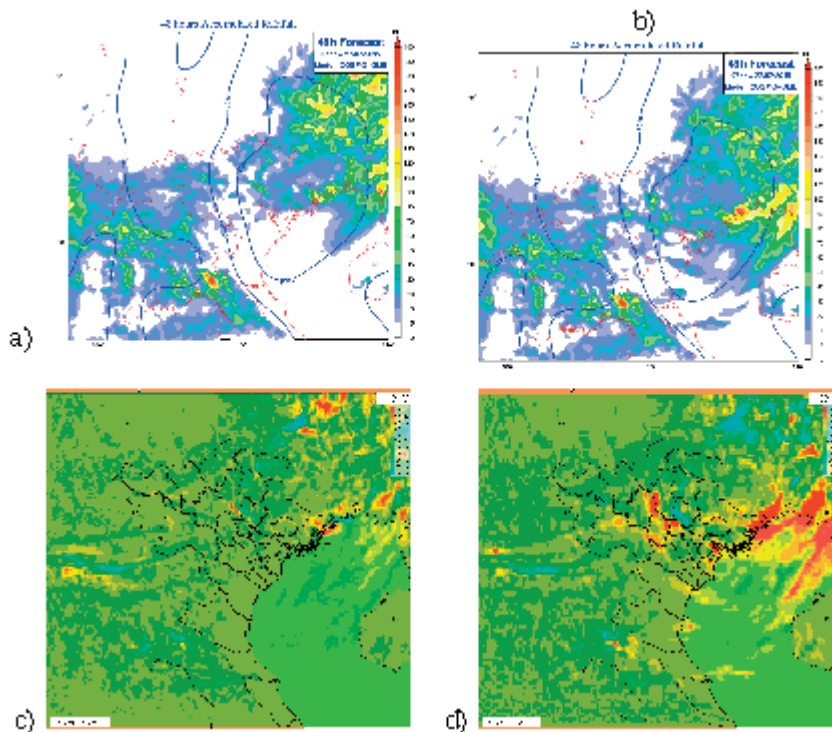


Hình 2. Trường gió mô hình ban đầu (a) khi chưa có đồng hóa (control, đỏ) và sau 24h (b) có đồng hóa số liệu synop (xanh da trời) và có đồng hóa cả số liệu radar (xanh lá cây). Minh họa tương tự cho trường địa thế vị mực 850hPa (c) và mực 500hPa (d)

Trong hình 2 minh họa trường gió của mô hình ba đầu khi chưa có đồng hóa và sau 24h tích phân. Ta thấy rõ được tác động của đồng hóa của từng loại số liệu đến trường gió sát bề mặt trong hình 2 (b) với màu xanh da trời là trường hợp đồng hóa số liệu Synop và màu xanh lá cây khi kết hợp cả hai loại số liệu quan trắc. Trong hình 2d cho thấy khả năng lan truyền thông tin của từng loại quan trắc từ mực 850hPa đến mực cao hơn 500hPa trong mô hình sau 12h tích phân.

Trong hình 3 đưa ra lượng mưa tích lũy 48h trong hai trường hợp đồng hóa số liệu quan trắc Synop và kết hợp số liệu radar và hiệu của hai trường dự báo này với trường hợp không sử

dụng quan trắc (control). Ta thấy rằng hiệu ứng của số liệu quan trắc radar thể hiện rất rõ thông qua việc tăng lượng mưa tích lũy trên khu vực phía Đông Bắc từ 50-80mm/48h. Đây cũng là những thay đổi tích cực. Ngoài ra có thể thấy, với việc cập nhật trực tiếp trường mô hình bằng số liệu quan trắc và radar đã cho thấy hiệu ứng tác động đến dự báo có thể kéo dài đến hạn 24h - 48h trong những thử nghiệm ban đầu và khá khác so với các phương pháp đồng hóa biên phân với những hiệu ứng do quan trắc đưa vào thường bị mờ đi sau khoảng 12 - 24h tích phân của mô hình.



Hình 3. Dự báo mưa 48h sử dụng số liệu synop (a) và radar (b) và hiệu giữa sử dụng riêng số liệu quan trắc bề mặt và không có quan trắc (c) và số liệu quan trắc radar và không có quan trắc (d)

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày chi tiết phương pháp đồng hóa số liệu radar cho mô hình bất thủy tĩnh phân giải cao COSMO đang được áp dụng trong nghiệp vụ tại Tổng cục khí tượng Liên Bang Đức (DWD) và ứng dụng dự báo mưa trên khu vực Bắc Bộ.

Các thử nghiệm nudging số liệu thám sát địa phương cho thấy khá nhạy với các biến trường của mô hình và cả mưa dự báo. Trong 6h tích

phân dự báo ban đầu, các thử nghiệm với số liệu radar cho thấy vùng mưa của mô hình liên hệ chặt chẽ với các vùng mưa quan trắc từ radar. Mưa dự báo (từ hạn 6h đến 48h) thay đổi rõ trong thử nghiệm với số liệu radar thay vì chỉ sử dụng số liệu bề mặt đơn thuần. Với việc bổ sung các radar Doppler thế hệ mới cho khu vực Bắc Bộ trong giai đoạn 2015 - 2020 sẽ cho phép ứng dụng WRFDA để nghiên cứu đồng hóa vào mô hình phân giải cao. Ngoài ra hoàn toàn có khả

năng tận dụng các số liệu quan trắc radar hiện có ở miền bắc để đưa vào cải thiện chất lượng.

Một trong những hướng nghiên cứu có khả năng mở rộng với Tổng cục Khí tượng Đức là vấn đề thử nghiệm đồng hóa số liệu mưa ước lượng từ vệ tinh (ví dụ số liệu GSMaP của JAXA – Nhật Bản) vào mô hình COSMO. Một hạn chế chính của số liệu mưa ước lượng từ vệ tinh là tần số thưa hơn rất nhiều so với radar (trung bình 1h từ vệ tinh so với 5 - 10p từ radar). Tuy nhiên khi vệ tinh Himawari đã đưa vào nghiệp vụ từ năm

2016 sẽ cho phép tang được tần số ước lượng mưa lên 10p và hoàn toàn khả thi khi đưa vào mô hình thông qua phương pháp Nudging. Bên cạnh đó, việc bổ sung siêu máy tính trong giai đoạn 2017 - 2020 sẽ ứng dụng được các mô hình khu vực ở quy mô đối lưu (dưới 2 km) và cho phép đưa được nhiều thông tin quan trắc phân giải cao như radar cho mô hình, qua đó tăng khả năng nắm bắt, dự báo được mưa lớn, mưa lớn cục bộ.

Lời cảm ơn: Bài báo này được hoàn thành dựa trên sự hỗ trợ từ Đề tài NCKH cấp Nhà nước “Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu tới sự xâm nhập của các đợt lạnh và nóng ẩm bất thường trong mùa đông ở khu vực miền núi phía Bắc phục vụ phát triển kinh tế - xã hội” thuộc chương trình BDKH/16-20.

Tài liệu tham khảo

1. Bouttier. F. and Courtier. P. (1999): *Data assimilation concepts and methods, ECMWF meteorological training course lecture series.*
2. Du Đức Tiên, Bùi Minh Tăng, Võ Văn Hòa, Phùng Thị Vui, Trần Anh Đức, Nguyễn Thanh Tùng, (2013): *Nghiên cứu đồng hóa số liệu radar Đông Hà để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn cho khu vực miền Trung.* Tạp chí KTTV, số 632, p12-19;
3. Li, X., and J. R. Mecikalski, (2010): *Assimilation of the dual-polarization Doppler radar data for a convective storm with a warm-rain radar forward operator.* J. Geophys. Res., 115
4. Nguyễn Hương Điền, (2009): *Công thức thực nghiệm tính toán cường độ mưa từ độ phản hồi vô tuyến quan trắc bởi radar cho khu vực Bắc Trung Bộ.* Tạp chí Khoa học, ĐHQG Hà Nội, tập 25, số 3S, tr. 390-396.
5. Stephan, K., Klink, S. and Schraff, C. (2008): *Assimilation of radar-derived rain rates into the convective-scale model COSMO-DE at DWD.* Q.J.R. Meteorol. Soc., 134: 1315–1326. doi:10.1002/qj.269

ASSIMILATING RADAR DATA WITH NUDGING SCHEME AND ITS APPLICATION FOR HEAVY RAINFALL OVER THE NORTH OF VIETNAM

Tran Hong Thai - National Hydro-Meteorological Service

Vo Van Hoa - Hydrometeorological Observatory Northern Delta Region

Du Duc Tien, Luu Khanh Huyen - National Center of Hydro-Meteorological Forecasting

One of main sources causing errors of numerical weather models is initial condition and can be eliminated by data assimilation. This study presents nudging scheme for assimilating radar data to cloud resolved model COSMO (the operational model of Germany Weather Service) and its application to Vietnam areas.

Keyword: radar assimilation, nudging method.