

NGHIÊN CỨU LƯỚI TAM GIÁC ĐIỀU HOÀ TRONG BỘ MÔ HÌNH DỰ BÁO SỐ TRỊ NGHIỆP VỤ GME-HRM

ThS. Đỗ Lệ Thủy, ThS. Phạm Thị Thanh Nga
Trung tâm quốc gia dự báo Khí tượng Thủy văn

1. Mở đầu

Bộ mô hình dự báo số trị phân giải cao GME-HRM (Global Model for Europe-High Resolution Regional Model) do Tổng cục thời tiết CHLB Đức (DWD) cung cấp đã được cài đặt trên hệ máy tính song song hiệu năng cao (Hệ điều hành Linux) tại Trung tâm quốc gia dự báo KTTV trong khuôn khổ dự án ứng dụng tiến bộ kỹ thuật năm 2001. Bộ mô hình này bao gồm mô hình HRM (thủy tĩnh, dự báo cho khu vực hạn chế) lồng ghép trong mô hình toàn cầu GME của DWD. GME có độ phân giải $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (khoảng 60 km), số mực theo chiều thẳng đứng là 31, sử dụng lưới tam giác điều hoà (icosahedral-hexagonal). Hệ thống nghiệp vụ GME-HRM đã được đưa vào thử nghiệm tại Trung tâm quốc gia dự báo KTTV từ tháng V năm 2002; thực hiện dự báo thời hạn 72 giờ cho khu vực $5^\circ\text{S} \div 35^\circ\text{N}$, $80^\circ \div 130^\circ\text{E}$, (161x201) nút lưới, với độ phân giải ngang là $0,25^\circ$ (28 km), 20 tầng, bước tích phân theo thời gian 120s. Số liệu đầu vào cho mô hình HRM là các trường phân tích và dự báo của mô hình GME được nhận hàng ngày qua mạng Internet. Trong bài viết này, chúng tôi chỉ trình bày chi tiết về việc nghiên cứu lưới tam giác điều hoà (TGDH) và các ứng dụng của lưới này trong hệ thống GME-HRM. Độc giả quan tâm chi tiết hơn về bộ mô hình, có thể tham khảo trong các báo cáo của Đỗ Lệ Thủy, Kiều Thị Xin và Phan Văn Tân (2000), Kiều Thị Xin và các cộng tác viên (2001, 2002).

2. Nghiên cứu lưới tam giác điều hoà trong bộ mô hình nghiệp vụ GME-HRM

a. Mô tả lưới tam giác điều hoà

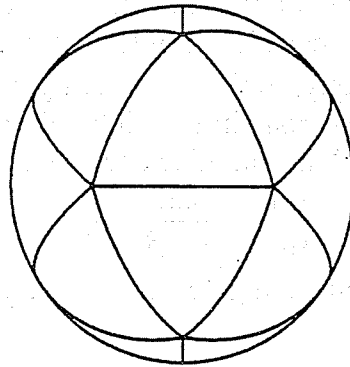
Lưới tam giác điều hoà dựa trên khối 20 mặt, lần đầu tiên được giới thiệu vào cuối những năm 1960 và tiếp tục được nghiên cứu vào những năm 1990 để khắc phục các nhược điểm về vấn đề cực (pole problem) của lưới điều hoà kinh vĩ, do sự hội tụ của các đường kinh tuyến tại 2 cực làm ảnh hưởng đến độ chính xác và hiệu quả của các tính toán bằng phương pháp số. Đến tháng XII năm 1999, DWD chính thức sử dụng lưới TGDH với độ phân giải đồng đều hơn trên toàn bộ quả cầu trong mô hình dự báo nghiệp vụ GME [5, 6].

Xuất phát từ khái niệm *khối 20 mặt đều* (icosahedron), nếu coi quả đất là 1 hình cầu thì khối icosahedron này nội tiếp trong hình cầu quả đất, tiếp xúc tại 12 đỉnh (đỉnh của icosahedron):

- 2 đỉnh ở hai cực,
- 5 đỉnh tại đường tròn vĩ tuyến $26,565^\circ\text{N}$,
- 5 đỉnh tại đường tròn vĩ tuyến $26,565^\circ\text{S}$.

12 đỉnh đặc biệt này được nối với nhau bởi các cung tròn lớn tạo thành 20 tam giác cầu chính (*major spherical triangles*) (Hình 1). Mỗi đỉnh của 12 đỉnh này được bao quanh bởi 5 tam giác cầu chính, do vậy góc giữa hai cạnh của những tam giác chính sẽ bằng $2\pi/5$ tức 72° . Từ một lưới tam giác ban đầu ứng với số khoảng cách trên cạnh chính $n_r=1$, lưới tam giác mới với độ phân giải mịn hơn được tạo thành bằng cách nối trung điểm của các cạnh tam giác bằng các đường tròn lớn. Bằng phương pháp chia đôi (*bisection*) liên tục như vậy, một lưới với độ phân giải thích hợp có thể

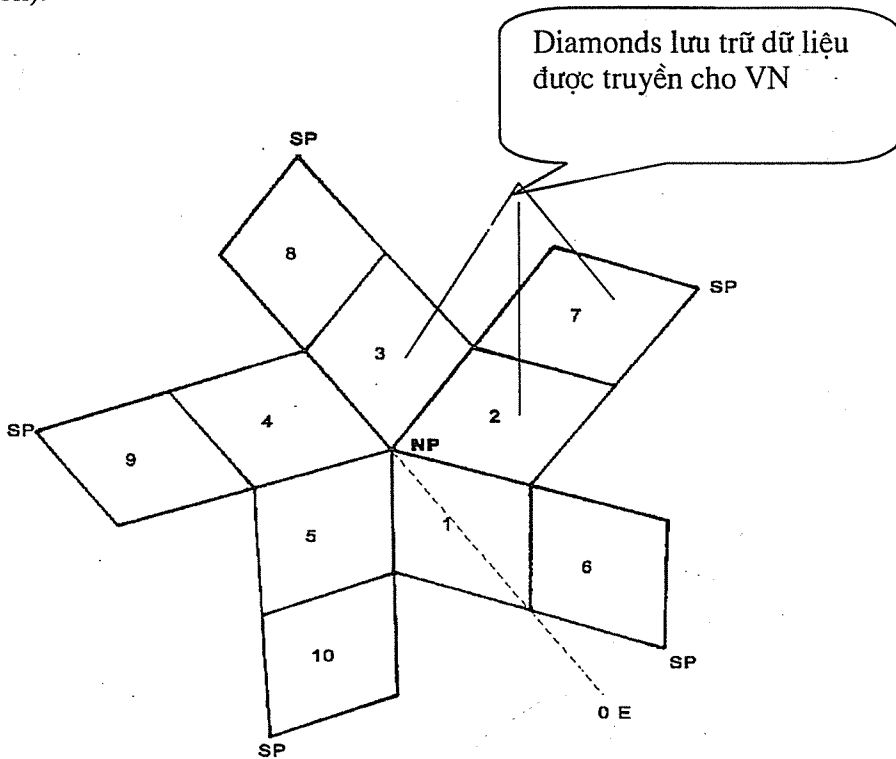
được tạo ra, như lưới với $n_i=128$ đang được sử dụng trong mô hình GME. Cũng có thể làm tinh lưới ban đầu bằng phương pháp chia ba (*trisection*).



$n_i=1$

Hình 1. Lưới tam giác ban đầu với $n_i=1$

Khi tích phân hệ phương trình cơ bản, các đại lượng vật lý được tính tại các nút lưới là các đỉnh của các tam giác cầu. Như vậy, mỗi một nút lưới là tâm của một hình lục giác (hexagon). Riêng 12 đỉnh đặc biệt ban đầu là tâm của các ngũ giác (pentagon).



Hình 2. Mười (10) hình thoi chính của lưới tam giác

Hai tam giác cầu chính kề nhau tạo thành một hình thoi (Diamond). Lưới toàn cầu có thể được coi như sự ghép nối của 10 hình thoi, 5 hình thoi có chung 1 đỉnh cực bắc, được đánh số từ 1 đến 5, và hình thoi số 1 có đường chéo dọc đi qua kinh tuyến

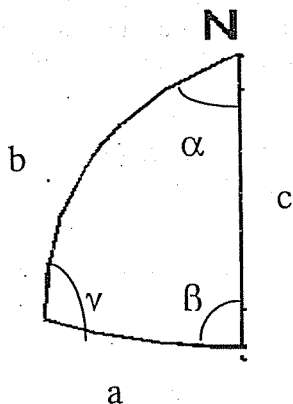
Hai tam giác cầu chính kê nhau tạo thành một hình thoi (Diamond). Lưới toàn cầu có thể được coi như sự ghép nối của 10 hình thoi, 5 hình thoi có chung 1 đỉnh cực Bắc, được đánh số từ 1 đến 5, và hình thoi số 1 có đường chéo dọc đi qua kinh tuyến gốc Greenwich. Năm (5) hình thoi khác có chung đỉnh cực Nam, hình thoi số 6 của Nam bán cầu là hình thoi kê với hình thoi số 1. Số thứ tự của hình thoi tăng theo hướng Đông và các đỉnh chính của các hình thoi (theo thứ tự 1,6,2,7,3,8,4,9,5,10) được dịch đi một góc $2\pi/5$ (72°). Bằng quy ước đó, lưới tam giác cầu cái đã được chỉ số hoá. Đó là cơ sở ban đầu của việc chỉ số hoá khi làm tinh lưới tam giác cầu (Hình 2).

Bằng sử dụng các qui tắc tam giác cầu (Hình 3(I))

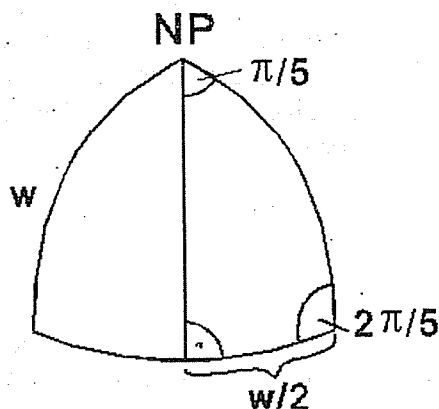
$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin b}{\sin \beta} = \frac{\sin c}{\sin \gamma} \quad (1)$$

độ dài cung của một cạnh của tam giác cầu chính được suy ra (Hình 3(II)) như sau:

(I)



(II)



Hình 3. Quy tắc tam giác cầu (I) ; Một tam giác cầu chính ở cực Bắc (II)

$$\cos \frac{1}{2} w = \frac{\cos \frac{\pi}{5}}{\sin 2 \frac{\pi}{5}} = \frac{1}{2 \sin \frac{\pi}{5}} \quad (2)$$

trong đó w là cung của tam giác cầu chính; suy ra,

$$w = 2 \arccos \left(\frac{1}{2 \sin \pi / 5} \right) \quad (3)$$

Theo công thức (3) tính ra $w \sim 1.107149$ ($\sim 63.435^\circ$). Trên quả cầu đơn vị, w chính bằng $(\pi/2 - \varphi)$ với φ là vĩ độ của góc dưới của tam giác. Do vậy, w có thể sử dụng để đo vĩ độ của các đỉnh góc dưới của tam giác cầu như trong hình 3 (II).

Như vậy, 10 đỉnh ban đầu của các hình thoi chính sẽ có tọa độ kinh vĩ (φ, λ) trên quả cầu đơn vị như trong bảng 1.

Bảng 1. Tọa độ kinh vĩ của các đỉnh của 10 hình thoi chính

DIAMOND	1	2	3	4	5
φ	$\pi/2-w$	$\pi/2-w$	$\pi/2-w$	$\pi/2-w$	$\pi/2-w$
λ	$-\pi/5$	$\pi/5$	$3\pi/5$	$5\pi/5$	$-3\pi/5$
DIAMOND	6	7	8	9	10
φ	$w-\pi/2$	$w-\pi/2$	$w-\pi/2$	$w-\pi/2$	$w-\pi/2$
λ	0	$2\pi/5$	$4\pi/5$	$-4\pi/5$	$-2\pi/5$

Nếu một hệ tọa độ đề-các được đặt vào trong quả cầu đơn vị với tọa độ gốc tại trung tâm của quả cầu, trục Z hướng đến cực bắc và trục X hướng về phía kinh tuyến gốc Greenwich, thì tọa độ đề-các (x,y,z) của một điểm trên quả cầu đơn vị được tính như sau:

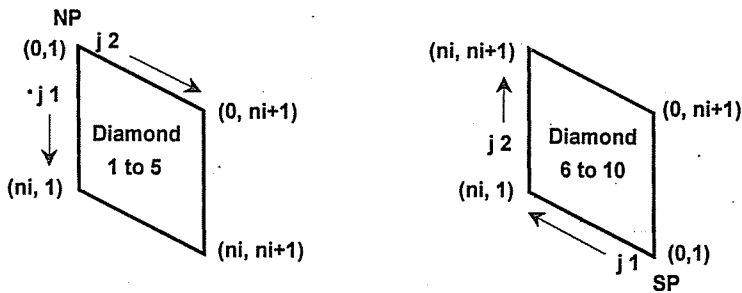
$$\begin{aligned} x &= \cos \lambda \cos \varphi = \cos \lambda \sin w \\ y &= \sin \lambda \cos \varphi = \sin \lambda \sin w \\ z &= \sin \varphi = \cos w \end{aligned} \quad (4)$$

Hai đỉnh cực có tọa độ đề-các tương ứng là (0,0,1) và (0,0,-1).

Như vậy, tọa độ kinh vĩ của một điểm trên quả cầu đơn vị có tọa độ đề-các (x,y,z) có thể suy ra từ (4).

$$\begin{aligned} \lambda &= \arctan \frac{y}{x} \\ \varphi &= \arcsin z \end{aligned} \quad (5)$$

Trong từng hình thoi chính, các số liệu tại các nút lưới được xếp theo 1 ma trận vuông, bao gồm $(n_i+1)^2$ điểm lưới trong mỗi *diamond*, tuy nhiên chỉ có $n_i \cdot n_i$ điểm là xác định riêng cho mỗi *diamond*, một hàng và một cột thêm ra là để chia sẻ giữa các *diamond*. Hình 4 mô tả qui tắc lưu trữ số liệu trên.



Hình 4. Chỉ số của các điểm lưới cho các diamond bắc (trái) và nam (phải) bán cầu

Kích thước lưới Δ (*mesh size*) được định nghĩa là khoảng cách giữa 2 điểm lưới lân cận. Kích thước lưới của lưới tam giác với n_i khoảng bằng nhau trên một cạnh của tam giác chính không phải là hằng số mà thay đổi khoảng 20% đối với các giá trị n_i khác nhau và được tính theo công thức (5). Trong trường hợp lưới của mô hình GME với $n_i=128$, kích thước lưới thay đổi từ 55 đến 66 km.

$$\Delta \approx \frac{wR_E}{n_i} \quad (6)$$

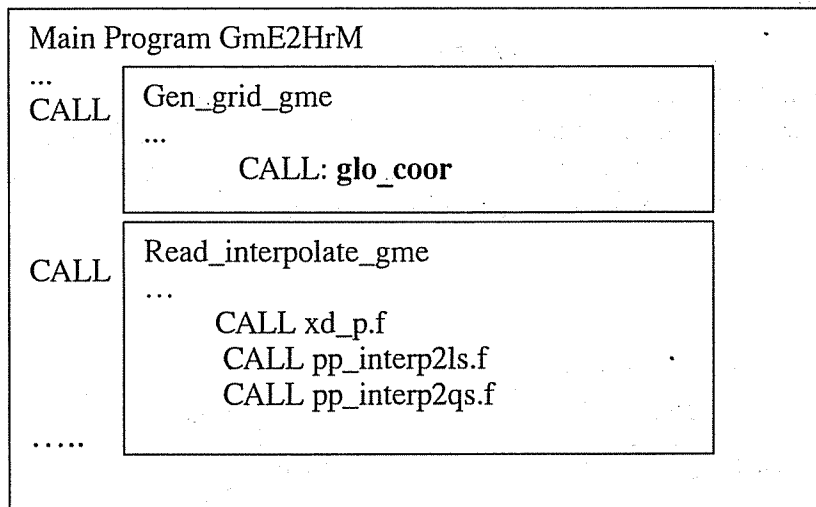
Trong đó, κ_E là bán kính qua tâm.

Rõ ràng, với ưu điểm khắc phục được vấn đề cực khi sử dụng phương pháp điểm lưới trong các mô hình toàn cầu, lưới tam giác điều hoà với độ phân giải ngang tương đối đồng đều đã được áp dụng thành công trong mô hình nghiệp vụ GME. Hiện nay, mô hình khu vực phân giải cao HRM đang được chạy nghiệp vụ tại Trung tâm quốc gia dự báo KTTV với điều kiện ban đầu và biên ngang được cung cấp từ mô hình toàn cầu GME. Trong qui trình chạy nghiệp vụ HRM, bước đầu tiên là phải thực hiện chương trình *GmE2HrM* - chuyển đổi số liệu trên lưới tam giác điều hoà của GME sang lưới kinh vĩ của HRM. Phần 2 của mục này sẽ giới thiệu kỹ về cấu trúc của toàn bộ dữ liệu nhận được từ mô hình GME để chuẩn bị cho đầu vào của mô hình HRM chạy cho khu vực Việt Nam. Trên cơ sở đó, có thể khai thác bộ số liệu của GME không những cho mô hình HRM mà cả các mô hình khác.

b. Sử dụng lưới TGDH trong mô hình

Để hiểu được cấu trúc dữ liệu được lưu trữ trong lưới tam giác được truyền về từ DWD, chúng tôi đã hiển thị khu vực chứa dữ liệu đó, trước khi chúng được nội suy sang lưới kinh vĩ của HRM.

Sau khi lưới tam giác được tạo thành bằng phương pháp chia đôi như lưới được sử dụng trong mô hình GME ($n_T=128$), tọa độ kinh vĩ của mỗi điểm nút lưới trong mỗi diamond sẽ được tính dựa trên công thức (4) và (5) đã trình bày ở phần trên. Hình 5 mô tả sơ đồ khối rút gọn của chương trình chuyển đổi *GmE2HrM*, trong đó gọi tới chương trình con tính tọa độ kinh vĩ của các điểm nút của lưới tam giác trên toàn bộ quả cầu.



Hình 5. Chương trình chính *GmE2HrM* gọi tới các chương trình con.

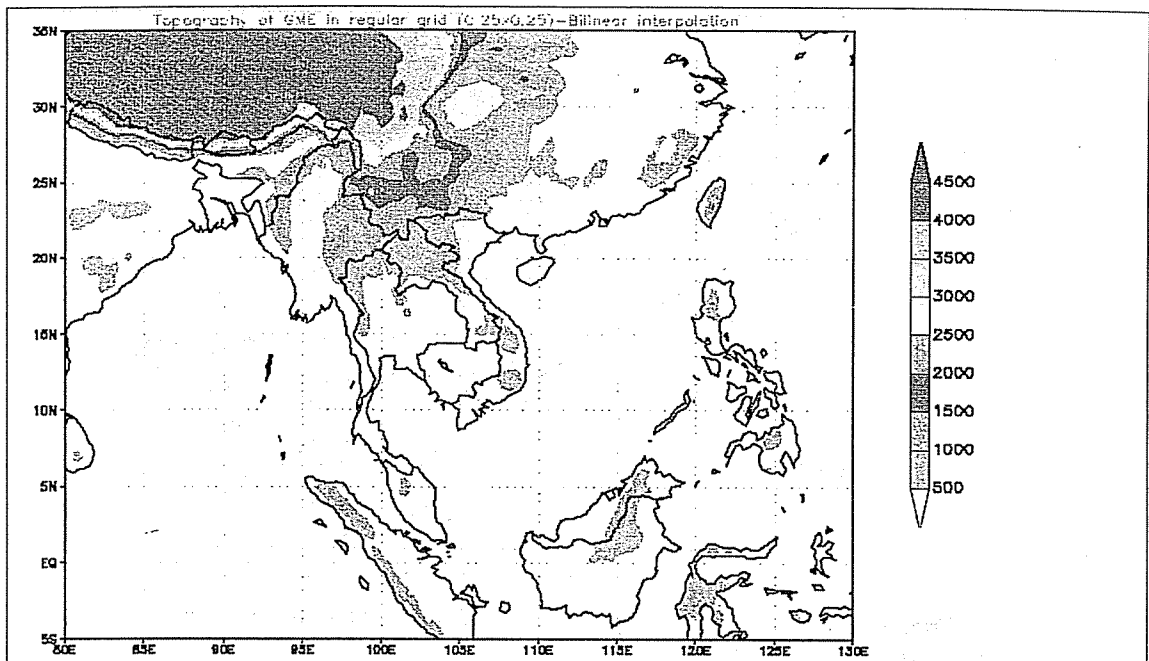
Từ chương trình con *Gen_grid_gme.f* (*CALL glo_coor.f*) lấy ra được tọa độ (Lat, Lon) của tất cả các điểm thuộc lưới tam giác điều hoà trong 10 diamond. Tất cả các tọa độ này được lưu trữ cho từng diamond riêng biệt (Bảng 2).

Bảng 2. Tên các file lưu trữ tọa độ trên lưới tam giác điều hoà của GME

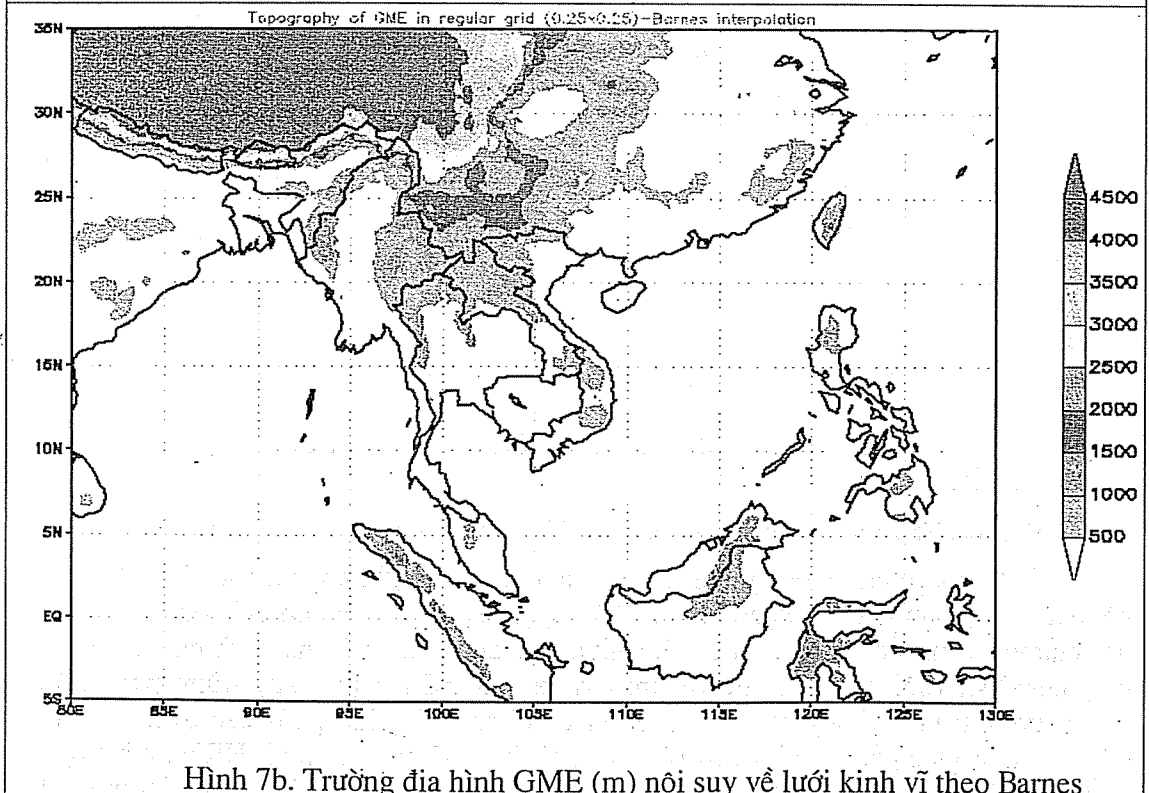
Diamond	Tên File		Ghi chú
	Vĩ độ	Kinh độ	
1	LatD1.DDD	LonD1.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D1
2	LatD2.DDD	LonD2.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D2
3	LatD3.DDD	LonD3.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D3
4	LatD4.DDD	LonD4.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D4
5	LatD5.DDD	LonD5.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D5
6	LatD6.DDD	LonD6.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D6
7	LatD7.DDD	LonD7.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D7
8	LatD8.DDD	LonD8.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D8
9	LatD9.DDD	LonD9.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D9
10	LatD10.DDD	LonD10.DDD	Kinh, vĩ độ của các điểm trong D10

Vì dung lượng số liệu các trường phân tích và dự báo của mô hình GME rất lớn (với độ phân giải $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ mỗi diamond bao gồm $129 \times 129 = 16641$ điểm $\times 3$ diamond = 49923 điểm) nếu Trung tâm quốc gia dự báo KTTV nhận toàn bộ số liệu của cả 3 diamond thì không thể đảm bảo chạy mô hình HRM với thời gian thực. Vì miền dự báo cho mô hình HRM được chọn trong khu vực $80^\circ \div 130^\circ \text{E}$, $5^\circ \text{S} \div 35^\circ \text{N}$ nên để tiết kiệm thời gian truyền qua Internet, DWD chỉ truyền cho Trung tâm quốc gia dự báo KTTV số liệu trong khu vực này. Số điểm được truyền dữ liệu là 9026 điểm, trong đó 3398 điểm thuộc Diamond2 (D2), 2528 điểm thuộc D3 và 3100 điểm thuộc D7. D2 và D3 có chung 21 điểm dọc theo kinh tuyến 108°E , D2 có chung 78 điểm với D7 (từ điểm có tọa độ $26,2^\circ$, $107,7^\circ$ đến điểm có tọa độ $-5,9^\circ$, $86,3^\circ$ và D3 có chung 78 điểm với D7 (từ điểm có tọa độ $26,2^\circ$, $108,3^\circ$ đến điểm có tọa độ $-5,9^\circ$, $129,7^\circ$ (Bảng 3). Tổng số các điểm có số liệu là 9026 điểm, trong đó có 177 điểm trùng (chúng tôi đã loại 99 điểm ở D2 và 78 điểm ở D3), do đó chỉ có 8849 điểm số liệu được sử dụng để làm đầu vào cho mô hình HRM.

Như vậy, toàn bộ liệu từ DWD truyền về chỉ bao gồm trong 3 diamond (D2, D3 và D7), chúng ta có thể chiết xuất bất kỳ loại dữ liệu nào (khí áp, thành phần gió,...), tại các điểm nút lưới của 3 Diamond này.



Hình 7a. Trường địa hình GME(m) nội suy về lưới kinh vĩ bằng chương trình Gme2Hrm



Hình 7b. Trường địa hình GME (m) nội suy về lưới kinh vĩ theo Barnes

Từ hình 6b thấy vị trí của các nút lưới nằm trên đỉnh các tam giác đều. Mỗi một điểm là tâm của một hình lục giác, trừ 12 điểm đặc biệt là tâm của hình ngũ giác như đã trình bày trong phần 2 a. Điểm trung tâm và 6 điểm xung quanh này tạo

thành một ô cơ bản nhất để thực hiện rời rạc hóa các phép tính Gradient và Laplace trong lưới tam giác đều hòa.

3. Kết luận

Việc nghiên cứu lưới tam giác đều hòa trong bộ mô hình GME-HRM đã giúp chúng tôi nắm được cách tổ chức của số liệu cung cấp cho mô hình khu vực lồng ghép trong mô hình toàn cầu, đặc biệt là các số liệu đầu vào cho mô hình HRM chạy cho khu vực Việt Nam nhận được từ mô hình GME thuộc các diamond 2, 3, 7 của lưới tam giác đều hòa, bao gồm 8849 điểm với các tọa độ kinh vĩ tương ứng. Từ đó, có thể chủ động chuyển đổi các số liệu trên loại lưới đặc biệt này về lưới kinh vĩ bằng các công cụ khác nhau như:

- a) Nội suy song tuyến tính (bilinear) hoặc nội suy trùng phương (biquadratic) như trong chương trình chuyển đổi Gme2Hrm (phục vụ chạy nghiệp vụ mô hình HRM).
- b) Nội suy đơn giản hơn theo hàm khoảng cách (Barnes, 1973).

Để minh họa cho 2 phương pháp trên, chúng tôi hiển thị trường địa hình của GME được nội suy về lưới kinh vĩ cho khu vực $5^{\circ}\text{S}-35^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}-130^{\circ}\text{E}$ (nội suy song tuyến tính hình 7a) và (nội suy theo Barnes hình 7b). So sánh hai trường địa hình, có thể nhận thấy rằng chúng gần như đồng nhất.

Tài liệu tham khảo

1. Đỗ Lệ Thủy, Kiều Thị Xin và Phan Văn Tân, 2000. Thử nghiệm dự báo đợt mưa lớn đầu tháng XI năm 1999 tại các tỉnh miền Trung bằng mô hình số phân giải cao High Resolution Regional Model (HRM). Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học Khí tượng cao không lần thứ V, tr, 154-159.
2. Kiều Thị Xin, Lê Công Thành, Phan Văn Tân, Đỗ Lệ Thủy và Nguyễn Văn Sáng, 2001. Mô hình dự báo số phân giải cao HRM và thử nghiệm áp dụng dự báo thời tiết khu vực Đông Nam Á - Việt Nam.- Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số 8(488)/2001, Tổng cục KTTV, tr. 36-44.
3. Kiều Thị Xin và các cộng tác viên, 2002. Nghiên cứu ứng dụng bộ mô hình số trị khu vực cho dự báo chuyển động của bão ở Việt Nam.- Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, 184 tr.
4. Barnes, S.L., 1973. Mesoscale objective map analysis using weighted function time-series observations. NOAA Tech. Memo. ERLTM-NSSL-62, 60 pp).
5. Majewski, D., 1998. The new global icosahedral-hexagonal grid point model GME of Deutscher Wetterdienst, ECMWF, Seminar Proceedings, Recent development in numerical methods for atmospheric modelling, pp 173-201.
6. Majewski, D., D. Liermann, P. Prohl and B. Ritter, 1999. The global icosahedral-hexagonal grid point model GME-Operational version and high resolution tests.