

XÂY DỰNG MÔ HÌNH MẶT ĐỊA HÌNH BIỂN ĐỘNG LỰC TRUNG BÌNH TỪ SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH TRÊN BIỂN ĐÔNG

TS. NGUYỄN VĂN SÁNG⁽¹⁾, KS. VŨ TRUNG THÀNH⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Mở - Địa chất

⁽²⁾Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Tóm tắt:

Độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình (MDT: Mean Dynamic Topography) là khoảng cách từ mặt Geoid đến mặt biển trung bình. Bằng số liệu đo cao vệ tinh có thể xác định được MDT tại các điểm đo cao vệ tinh. Để thuận lợi cho việc sử dụng thì từ số liệu này cần phải xây dựng mô hình dạng lưới ô vuông mặt địa hình biển động lực trung bình. Công việc này được thực hiện bằng phương pháp nội suy dự đoán tuyến tính tối ưu. Từ đó đã xây dựng được chương trình nội suy MDT có tên là "MDT INTERPOLATION". Kết quả thực nghiệm đã xây dựng được mô hình mặt địa hình biển động lực trung bình trên Biển Đông từ số liệu đo cao vệ tinh ENVISAT ở chu kỳ thứ 81. Kết quả khảo sát cho thấy khi nội suy MDT chỉ cần sử dụng các điểm trong vòng tròn bán kính 1° xung quanh điểm xét mà không cần sử dụng tất cả các điểm trên khu vực xét.

1. Đặt vấn đề

Từ khi có công nghệ đo cao vệ tinh, bằng các kết quả quan sát, các nhà khoa học thế giới đã nhận thấy rằng mặt biển trung bình không trùng với Geoid mà chênh lệch với Geoid hàng mét [3]. Chính sự khác nhau này là nguyên nhân gây nên các dòng hải lưu. Từ đó, các nhà khoa học tập trung nghiên cứu xây dựng mô hình mặt địa hình biển động lực trung bình ký hiệu là MDT (Mean Dynamic Topography). Đã có một số mô hình MDT được công bố trên thế giới như: DNSC08MDT do Trung tâm không gian quốc gia Đan Mạch xây dựng năm 2008; DTU10MDT, DTU12MDT do Trường Đại học kỹ thuật Đan Mạch xây dựng năm 2010 và năm 2012. CMDT RIO05, CNES-CLS09, CNES-CLS11 và CNES-CLS13 do Cơ quan nghiên cứu vũ trụ Pháp xây dựng vào những năm 2005, 2009, 2011 và 2013 [2]. Ở Việt Nam cho đến nay, chưa có công trình nào nghiên cứu xây dựng mô hình MDT cho Biển Đông. Gần đây, có một số

công trình khai thác sử dụng các mô hình MDT do thế giới xây dựng trên Biển Đông, tuy nhiên các kết quả khảo sát cho thấy các mô hình MDT của thế giới không phù hợp lắm với Biển Đông [2]. Từ những lý do trên, thấy rằng việc nghiên cứu xây dựng mô hình MDT cho Biển Đông là cần thiết. Trong các nghiên cứu [7], [8], đã đưa ra phương pháp xác định độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình từ số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông. Trong bài báo này sẽ trình bày phương pháp và kết quả xây dựng mô hình MDT trên Biển Đông dựa vào độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình của các điểm đo cao vệ tinh bằng phương pháp nội suy dự đoán tuyến tính tối ưu.

2. Cơ sở của phương pháp dự đoán tuyến tính tối ưu

Giả sử tại khu vực xét có n điểm có giá trị độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình là h_{MDT} với tọa độ là (B_i, L_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ gọi là véc tơ độ cao. Khi đó độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình của điểm P

Ngày nhận bài: 31/8/2015

Ngày chấp nhận đăng: 07/9/2015

trong khu vực xét được xác định theo công thức:

$$\tilde{h}_{MDT_p} = \sum_{i=1}^n a_{P_i} \cdot h_{MDT_i} = a_p \cdot y \quad (1)$$

trong đó:

a_p là véc tơ hệ số $a_p = (a_{P1}, a_{P2}, \dots, a_{Pn})$ là nghiệm của hệ phương trình đại số tuyến tính

$$K \cdot a_p^T = K_p \quad (2)$$

K và K_p – ma trận hệ số tương quan:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}_{n,n} \quad \begin{matrix} k_{ij} = K_y(i,j) \\ i, j = 1, 2, \dots, n; \end{matrix} \quad (3)$$

$$K_p = \begin{bmatrix} k_{P1} \\ k_{P2} \\ \dots \\ k_{Pn} \end{bmatrix}; \quad k_{Pi} = K_y(P, i); \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$K_y(i,j)$ и $K_y(P,i)$ – các hiệp phương sai độ cao.

Hệ phương trình đại số tuyến tính (1) là một dạng của hệ phương trình Wiener – Hopf. Có thể chứng minh rằng ma trận K trong (1) luôn luôn chuẩn (đối xứng và xác định dương), và như vậy (1) luôn tồn tại nghiệm [8]. Giải hệ phương trình này ta được

$$a_p^T = K^{-1} K_p. \quad (5)$$

Khi đó \tilde{h}_{MDT_p} được tính theo công thức:

$$\tilde{h}_{MDT_p} = K_p^T K^{-1} y. \quad (6)$$

Hay có thể viết dưới dạng:

$$\tilde{h}_{MDT_p} = K_p^T \cdot b^T = b \cdot K_p, \quad (7)$$

trong đó

$$K^{-1} y = b^T \quad (8)$$

Rõ ràng rằng b^T là véc tơ cột n chiều chứa lời giải của hệ phương trình

$$Kb^T = y \quad (9)$$

không phụ thuộc vào điểm cụ thể P và tổng quát cho tất cả các điểm cần nội suy.

Trên thực tế, giá trị đầu vào là độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình thường không đảm bảo điều kiện $\tilde{h}_{MDT_{TB}} = \sum_{i=1}^n h_{MDT_i} = 0$ do đó, số liệu đầu vào cần phải trừ đi giá trị trung bình trước khi đưa vào tính toán nội suy.

Vì vậy, nội suy độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình thực hiện theo các bước sau:

1. Loại bỏ giá trị trung bình $\tilde{h}_{MDT_{TB}}$ từ số liệu độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình đầu vào.
2. Thành lập ma trận chuẩn K theo số liệu đầu vào và hàm tương quan của nó $K_y(\ell)$.

3. Giải hệ n phương trình chuẩn (9), vế phải của nó là những giá trị đầu vào y , kết quả nhận được véc tơ b .

4. Tính \tilde{h}_{MDT_p} đối với bất kỳ điểm P nào được tính theo công thức (7), ở đây các thành phần của véc tơ cột K_p^T bao gồm các giá trị tương quan hàm $K_y(\ell_{iP})$, trong đó ℓ_{iP} là khoảng cách từ điểm P đến điểm i . Do đó, K_p chỉ phụ thuộc vào khoảng cách liên hệ giữa các điểm có số liệu và điểm nội suy.

5. Khôi phục lại giá trị trung bình $\tilde{h}_{MDT_{TB}}$ cho các điểm nội suy.

Khi nội suy bằng phương pháp này, ta phải giải hệ phương trình chuẩn có số ẩn số bằng số điểm số liệu đầu vào. Khi số liệu các điểm đầu vào lớn, sẽ gặp khó khăn trong vấn đề tính toán. Mặt khác, giá trị nội

suy của điểm P sẽ phụ thuộc nhiều vào các điểm có số liệu (điểm nút) ở gần, các điểm nút càng xa điểm nội suy thì ảnh hưởng càng ít. Vì vậy, trong nhiều trường hợp, để nội suy độ cao mặt địa hình biến động lực trung bình của điểm P không cần thiết phải sử dụng hết n điểm trong khu vực xét, mà chỉ cần sử dụng m điểm ($m < n$) nằm trong bán kính R nào đó xung quanh điểm P . Như vậy số lượng ẩn trong phương trình chuẩn giảm đi, nhưng tại mỗi điểm nội suy ta phải giải một phương trình chuẩn.

So sánh công thức nội suy dự đoán tuyến tính tối ưu với công thức nội suy bằng phương pháp Collocation ta thấy các công thức có dạng giống nhau. Điều này đã được lý giải trong [7]: mặc dù với hai cách tiếp cận khác nhau, dự đoán tuyến tính tối ưu dựa trên cơ sở lý thuyết phương sai hàm ngẫu nhiên; Collocation dựa trên cơ sở phân tích phiếm hàm, nhưng trong kết quả cuối cùng thì cả hai phương pháp đều đi đến một kết quả. Tuy nhiên phương pháp Collocation tổng quát hơn, cho phép nội suy với các loại khác nhau. Có thể nói phương pháp dự đoán tuyến tính tối ưu là trường hợp riêng của phương pháp Collocation.

3. Xác định hàm tương quan thực nghiệm của độ cao mặt địa hình biến động lực trung bình

Để xác các hệ số tương quan k trong ma trận tương quan K và K_p thì cần phải xác định được tương quan thực nghiệm. Đối với độ cao mặt địa hình biến động lực trung bình, giá trị tương quan thực nghiệm được tính theo công thức [8]:

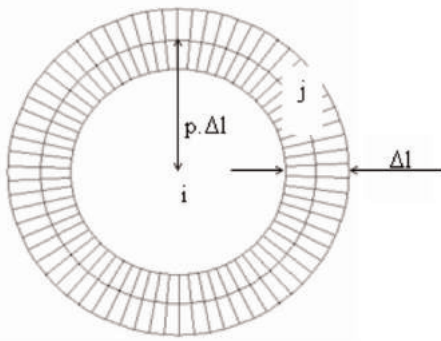
$$\left\{ \begin{array}{l} K(0) = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} h_{MDT_i}^2 \\ K(1.\Delta l) = \frac{1}{n_1} \sum_{m=1}^{n_1} h_{MDT_i} \cdot h_{MDT_j} \\ K(2.\Delta l) = \frac{1}{n_2} \sum_{m=1}^{n_2} h_{MDT_i} \cdot h_{MDT_j} \\ \dots \\ K(k.\Delta l) = \frac{1}{n_k} \sum_{m=1}^{n_k} h_{MDT_i} \cdot h_{MDT_j} \\ \dots \\ K(p.\Delta l) = \frac{1}{n_p} \sum_{m=1}^{n_p} h_{MDT_i} \cdot h_{MDT_j} \end{array} \right. \quad (10)$$

với điều kiện

$$k.\Delta l - \frac{\Delta l}{2} < |l_{ij}| \leq k.\Delta l + \frac{\Delta l}{2}, \quad (11)$$

ở đây l_{ij} – khoảng cách giữa hai điểm i và j ; Δl – khoảng cách gần nhất giữa các điểm. Trong trường hợp này chính là khoảng cách gần nhất giữa các điểm đo cao vệ tinh, đối với số liệu vệ tinh ENVISAT nên lấy $\Delta l = 4'$; p – là một số tự nhiên dương phụ thuộc vào độ rộng của khu vực nghiên cứu, đối với Biển Đông $p = 30$; n_k ($k = 1, 2, \dots, p$) – số lượng cặp điểm i và j thỏa mãn điều kiện (11); n_0 chính là số điểm có độ cao mặt địa hình biến động lực trung bình trong khu vực xét.

Điều kiện (11) được biểu diễn trên Hình 1. Từ đây ta thấy, giá trị tương quan thực nghiệm tính theo công thức (10) chỉ sử dụng những điểm j nằm trên phần gạch chéo.



Hình 1: Sơ đồ tính hàm tương quan thực nghiệm

Đối với số liệu độ cao mặt địa hình biến động lực trung bình h_{MDT} trên khu vực Biển Đông, đồ thị kết quả tính tương quan thực nghiệm hay còn gọi là hiệp phương sai thực

thực nghiệm tại chu kỳ 81 của vệ tinh ENVISAT được thể hiện trên Hình 2.

4. Xấp xỉ các giá trị của hàm tương quan thực nghiệm với hàm lý thuyết

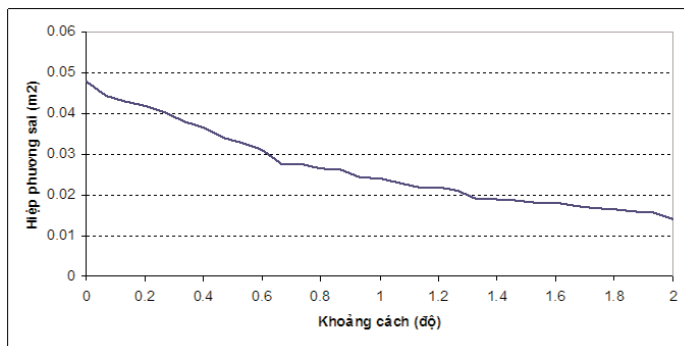
Với đồ thị của hiệp phương sai thực nghiệm như trên thì hàm hiệp phương sai lý thuyết nên chọn là hàm bậc hai có dạng:

$$K(l) = \theta.l^2 + \alpha.l + \beta \quad (12)$$

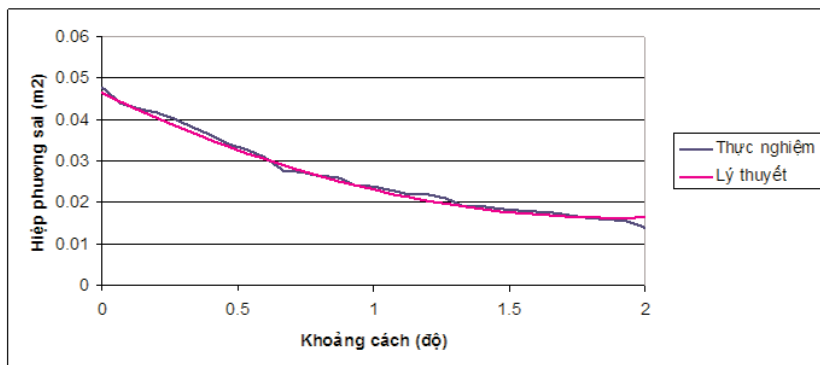
trong đó:

l – khoảng cách giữa các điểm; θ, α, β – các tham số sẽ được xác định bằng phương pháp số bình phương nhỏ nhất.

Kết quả xấp xỉ hàm hiệp phương sai lý thuyết với giá trị hiệp phương sai thực nghiệm tại chu kỳ 81 số liệu vệ tinh ENVISAT thể hiện trên Hình 3:



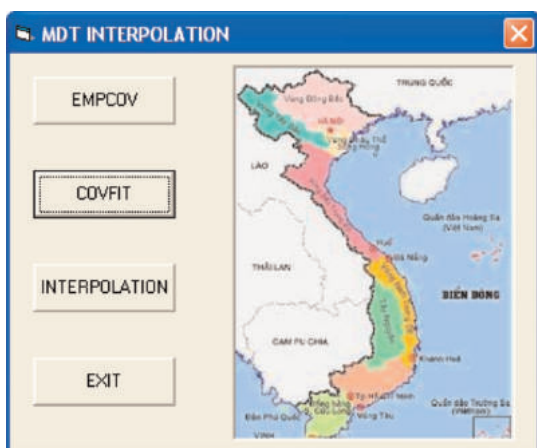
Hình 2: Hiệp phương sai thực nghiệm của độ cao mặt địa hình biển động lực trung bình tại chu kỳ 81 của vệ tinh ENVISAT



Hình 3: Kết quả xấp xỉ hàm hiệp phương sai lý thuyết với giá trị hiệp phương sai thực nghiệm chu kỳ 81 ($\theta = 0.008398$; $\alpha = -0.031835$; $\beta = 0.046583$)

5. Một số kết quả thực nghiệm

Trên cơ sở lý thuyết trình bày ở trên, chúng tôi tiến hành xây dựng chương trình nội suy MDT có tên là “*MDT INTERPOLATION*”. Chương trình có giao diện như Hình 4. Chương trình có 3 modul chính: *Empcov* để tính giá trị hiệp phương sai thực nghiệm; *Covfit* để làm khớp hàm hiệp phương sai lý thuyết với các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm; *Interpolation* để nội suy MDT cho các điểm mắt lưới ô vuông hoặc cho các điểm bất kỳ trong khu vực Biển Đông.



Hình 4: Giao diện chương trình nội suy MDT

Sử dụng chương trình “*MDT INTERPOLATION*” tính toán thực nghiệm xây dựng mô hình MDT cho vùng Biển Đông (vĩ độ: từ 08° đến 22° , kinh độ: từ 105° đến 114°) với lưới ô vuông $10' \times 10'$ từ số liệu MDT của 4109 điểm đo cao vệ tinh ENVISAT chu kỳ 81. Kết quả được lưu trong file *GRID_MDT_c81_10min.txt*.

Để đánh giá độ chính xác nội suy, từ 4109 điểm có giá trị MDT (các điểm đo cao vệ tinh), lựa chọn ra 410 điểm phân bố đều trên khu vực làm điểm kiểm tra. Sử dụng 3699 điểm còn lại để nội suy MDT cho 410 điểm. Kết quả nội suy được so sánh với giá trị MDT đã có cho thấy sai số trung phương độ lệch đạt là $\pm 3,3$ cm.

Để khảo sát xem bán kính nội suy cần thiết là bao nhiêu, chúng tôi cho thay đổi bán kính khu vực nội suy theo các giá trị: $0,5^{\circ}$, $1,0^{\circ}$, $1,5^{\circ}$, $2,0^{\circ}$ các kết quả nội suy này được so sánh với kết quả sử dụng tất cả các điểm trong khu vực để nội suy. Kết quả so sánh được thống kê trên bảng sau: (Xem bảng 1)

Từ kết quả ở bảng 1 ta thấy khi nội suy MDT chỉ cần sử dụng các điểm trong vòng tròn bán kính $R = 1^{\circ}$ xung quanh điểm cần nội suy là đủ. Như vậy sẽ giảm được thời gian tính toán.

6. Kết luận

Hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp dự đoán tuyến tính tối ưu để nội suy và xây dựng mô hình MDT từ các giá trị MDT tại các điểm đo.

Khi nội suy MDT không cần phải sử dụng hết tất cả các điểm trong khu vực xét mà chỉ cần sử dụng các điểm trong vòng tròn bán kính 1° xung quanh điểm cần nội suy. Điều này sẽ giảm được thời gian tính toán.

Từ kết quả đo cao vệ tinh ENVISAT chu kỳ thứ 81 đã xây dựng được mô hình MDT cho Biển Đông với kích thước lưới ô vuông là $10' \times 10'$.

Bảng 1: Kết quả khảo sát bán kính vùng nội suy cần thiết

	$R = 0,5^{\circ}$	$R = 1,0^{\circ}$	$R = 1,5^{\circ}$	$R = 2,0^{\circ}$
Max (m)	0,069	0,003	0,003	0,003
Min (m)	-0,014	-0,005	-0,004	-0,002
RMS (m)	0,005	0,000	0,000	0,000

Tài liệu tham khảo

[1]. AVISO (2010). DT CorSSH and DT SLA Product Handbook, Aviso Altimetry, 8-10 rue Hermès, 31520 Ramonville St Agne, France, 17 pp.

[2]. Dương Chí Công và nnk (2015). Báo cáo kết quả đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: “Nghiên cứu đánh giá và đề xuất sử dụng mô hình mặt biển tự nhiên MDT (Mean Dynamic Topography) ở Việt Nam”, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Hà Nội.

[3]. Fu, L.-L., and A. Cazenave (2001). Satellite Altimetry and Earth Sciences, ACADEMIC PRESS, San Diego – San Francisco – New York – Boston – London – Sydney –Tokyo, 463 pp.

[4]. Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Văn Lâm (2014). Sử dụng số liệu đo cao từ vệ tinh để

xác định bề mặt tự nhiên động lực trung bình trên Biển Đông, Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học và công nghệ Trắc địa và bản đồ vì hội nhập quốc tế (tr 46 – 53), Viện khoa học đo đạc và bản đồ, Hà Nội. ISBN: 978-604-904-255-3.

[5]. Nguyễn Văn Sáng (2015). Xác định mặt địa hình biển động lực trung bình trên vùng biển Việt Nam bằng số liệu đo cao vệ tinh. Tạp chí trắc địa và chụp ảnh hàng không (số 1-2015 tr 09 – 14), Matxcova (tiếng Nga). ISSN: 0536 – 101X.

[6]. Amans, V., and H. Laur (2008). Access to Envisat data, European Space Agency, 64 pp.

[7]. Hofmann-Wellendof, B., and H. Moritz (2005). Physical Geodesy, SpringerWien NewYork, 403 pp.

[8]. Neiman. Y. M., (1976). Toán học tính toán, Hedra, Matxcova (Tiếng Nga).○

Summary

Determination of Mean Dynamic Topography Model from Altimetry data in the East Sea

Dr. Nguyen Van Sang, Hanoi University of Mining and Geology

Eng. Vu Trung Thanh, Vietnam Institute of Geodesy and Cartography

The height of Mean Dynamic Topography (MDT) is a distance of Mean Sea Surface from the Geoid. MDT (heights) can be estimated using altimetry data at track points. For further and easy use of MDT it's heights must be recalculated (interpolated) at a certain resolution grids as so-called MDT models. This process can be done with interpolation based on Linear Prediction. As practice of this one program named “MDT INTERPOLATION” was written and applied for the ENVISAT 81st cycle data in order to determine MDT in the East Sea. The results of interpolation show that it is adequate to use only track points within 1° radius circle surrounding the checked point (not all the observed point in considered region).○