

PHƯƠNG PHÁP LOẠI BỎ THÀNH PHẦN ĐỊA HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC TRONG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH TRÊN BIỂN ĐÔNG

NGUYỄN VĂN SÁNG, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất

Tóm tắt: Đo cao vệ tinh xác định được độ cao mặt biển so với ellipsoid. Trong độ cao này chứa độ cao geoid, địa hình mặt biển trung bình động học và địa hình động lực học. Để loại bỏ thành phần địa hình động lực học từ số liệu đo cao vệ tinh thì kỹ thuật bình sai giao cắt được áp dụng theo các bước: Xác định vị trí điểm giao cắt; Mô hình hóa độ cao địa hình động lực học bằng các tham số độ nghiêng và độ lệch; Bình sai giao cắt để xác định các tham số mô hình. Các tính toán thực nghiệm được thực hiện trên Biển Đông với số liệu của vệ tinh đo cao ENVISAT chu kỳ 81. Kết quả thực nghiệm cho thấy kỹ thuật bình sai giao cắt đã loại bỏ được thành phần độ cao địa hình động lực học trong số liệu đo cao vệ tinh.

1. Đặt vấn đề

Đo cao vệ tinh (altimetry) là một công nghệ mới của trắc địa vệ tinh được ứng dụng rộng rãi và hiệu quả trên thế giới, trong các lĩnh vực như: xác định geoid biển; xác định dị thường trọng lực biển; nghiên cứu địa vật lý biển; thành lập bản đồ và giám sát băng v.v... [0]. Các vệ tinh đo cao bay trên mặt biển, phát tín hiệu sóng rada xuống mặt biển. Tín hiệu này phản xạ trở lại vệ tinh. Bằng cách đo thời gian lan truyền tín hiệu hai chiều sẽ xác định được khoảng cách (h) từ vệ tinh đến mặt biển. Vị trí của vệ tinh trên quỹ đạo được xác định bằng hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) hoặc

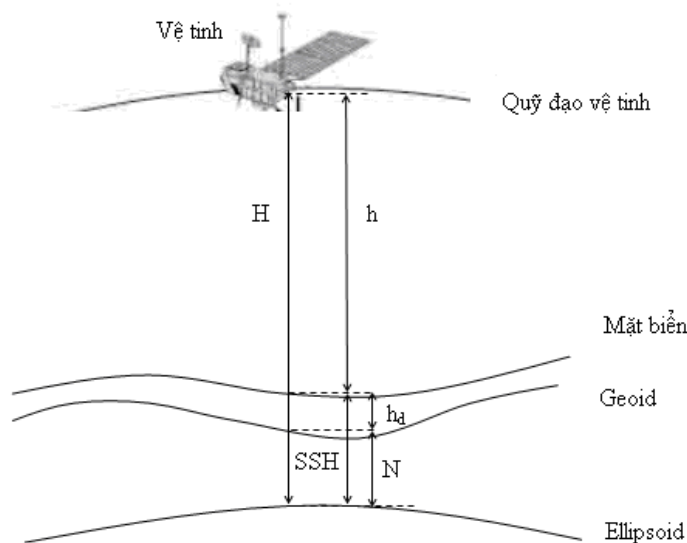
các phương pháp khác như DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), SLR (Satellite Laser Ranging), nghĩa là xác định được độ cao (H) của vệ tinh so với ellipsoid qui chiếu (hình 1). Độ cao của mặt biển (SSH – Sea Surface Height) được xác định bằng công thức [0]:

$$SSH = H - h + h_{corr}, \quad (1)$$

trong đó: h_{corr} – các số hiệu chỉnh.

Độ cao mặt biển xác định được biểu diễn thông qua độ cao geoid (N) và độ cao địa hình mặt biển động học (h_d) theo công thức (xem hình 1):

$$SSH = N + h_d. \quad (2)$$



Hình 1. Biểu diễn độ cao mặt biển

Độ cao địa hình mặt biển động học được chia thành 2 phần là: địa hình mặt biển trung bình động học (Mean Dynamic Topography - h_{MDT}) và địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian h_t (còn gọi là địa hình động lực học)[0]. Khi đó độ cao mặt biển được biểu diễn bằng công thức:

$$SSH = N + h_{MDT} + h_t . \quad (3)$$

Độ cao geoid N cũng được chia thành 2 thành phần: Độ cao geoid tính theo mô hình N_{EGM} và phần dư độ cao geoid ΔN .

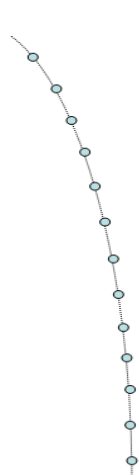
Từ công thức (3) ta thấy: nếu biết được địa hình mặt biển trung bình động học thì có thể xác định được geoid biển, đây là vấn đề mà các nhà trắc địa quan tâm; ngược lại nếu biết được geoid biển thì sẽ xác định được địa hình mặt biển trung bình động học, đây là vấn đề mà các nhà hải dương học quan tâm. Vấn đề đặt ra trong cả hai bài toán trên là phải loại bỏ được thành phần địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian h_t . Vấn đề này sẽ được giải quyết

bằng kỹ thuật bình sai giao cắt (crossover adjustment).

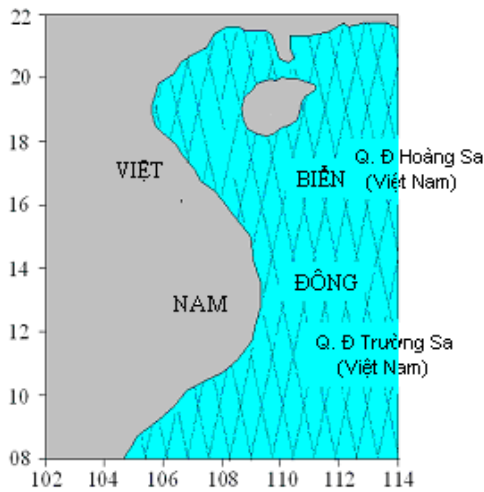
2. Sự phân bố trị đo của đo cao vệ tinh trên biển

Tập hợp các trị đo của đo cao vệ tinh tạo thành các vết đo (còn gọi là các cung) trên biển (hình 2a). Tùy thuộc vào hướng chuyển động của vệ tinh mà các vết đo chia làm các vết đo thẳng (cung thẳng) và vết đo giáng (cung giáng). Cung thẳng và cung giáng cắt nhau tạo thành điểm giao cắt (hình 2b).

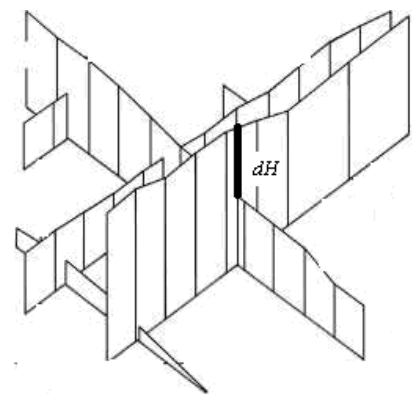
Do có địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian nên tại điểm giao cắt, độ cao trên cung thẳng và cung giáng lệch nhau một lượng là dH (hình 2c) [0]. Cơ sở của kỹ thuật bình sai giao cắt là dựa vào chính đại lượng dH này để xác định địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian. Các điểm giao cắt thường không trùng với các điểm đo nên việc đầu tiên trong kỹ thuật bình sai giao cắt là xác định vị trí điểm giao cắt và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt.



Hình 2a. Các điểm đo cao vệ tinh



Hình 2b. Các điểm giao cắt trong đo cao vệ tinh



Hình 2c. Chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt

3. Xác định vị trí điểm giao cắt và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt

Việc xác định vị trí điểm giao cắt và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt có thể thực hiện bằng 3 phương pháp: Phương pháp mô phỏng đa thức bậc hai; Phương pháp véc tơ không gian (hay còn gọi là phương pháp tọa độ không gian) và phương pháp xác định trực tiếp tọa độ điểm giao cắt. Trong đó, hai phương pháp đầu thực

hiện xác định vị trí điểm giao cắt qua 2 bước: bước 1 – xác định vị trí gần đúng của điểm giao cắt; bước 2 – xác định vị trí chính xác vị trí điểm giao cắt. Phương pháp thứ 3 cho phép xác định trực tiếp vị trí chính xác điểm giao cắt mà không cần thông qua bước xác định vị trí gần đúng của điểm giao cắt. Các phương pháp này đã được trình bày trong các tài liệu [0], [0] và [0].

4. Bình sai giao cắt để loại bỏ thành phần địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian

Đối với khu vực như Biển Đông (chiều dài vết đo nhỏ hơn 2000 km) thì địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian h_t được mô hình hóa bằng các tham số độ lệch a và độ nghiêng b . Khi đó chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt của cung thẳng i và cung giáng j được biểu diễn bằng công thức [0]:

$$dH_{ij} = (a_i + b_i \cdot \mu_j) - (a_j + b_j \cdot \mu_i) + v_{ij}, \quad (4)$$

trong đó: a_i, a_j là các tham số độ lệch; b_i, b_j là các tham số độ nghiêng; μ_i, μ_j - độ kinh tương đối so với độ kinh trung bình của vết đo i và j .

Phương trình được viết ở dạng ma trận:

$$L = A \cdot x + V, \quad (5)$$

trong đó: x là ma trận ẩn số chứa các tham số a và b ; V là ma trận số hiệu chỉnh; L là ma trận số hạng tự do chứa dH .

Có thể viết hệ phương trình này ở dạng thường gặp:

$$V = A \cdot x - L. \quad (6)$$

Đây là hệ phương trình khuyết thiếu. Để giải hệ phương trình này có thể sử dụng phương pháp cố định hai cung. Tuy nhiên, các cung trong đo cao vệ tinh có độ chính xác tương đương nhau nên khó khăn trong việc chọn hai cung nào làm cung cố định. Người ta cũng có thể giải hệ phương trình (6) theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất $V^T P V = \min$ kèm điều kiện chuẩn nhỏ nhất $x^T P_x x = \min$. Khi đó ta có nghiệm tối ưu được xác định theo công thức:

$$x = (A^T P A + P_x)^{-1} A^T P L. \quad (7)$$

Tuy nhiên, hai phương pháp trên đều có nhược điểm là mặt biển trung bình xác định được sau bình sai giao cắt không phù hợp với geoid. Để khắc phục điều này, người ta mô hình hóa độ cao địa hình mặt biển tại các điểm đo cao trên vết quét k bằng các tham số độ lệch (a_k^0) và độ nghiêng (b_k^0) và làm khớp các vết đo với mô hình geoid. Khi đó, ta có phương trình số hiệu chỉnh cho điểm i_1 trên vết đo k :

$$SSH'_{k i_1} = a_k^0 + b_k^0 \cdot \mu_{k i_1} + V_{k i_1}. \quad (8)$$

trong đó: $\mu_{k i_1}$ - độ kinh tương đối của điểm i_1 ; $V_{k i_1}$ - số hiệu chỉnh độ cao của điểm i_1 ; $SSH'_{k i_1}$ - độ cao mặt biển sau khi đã loại bỏ độ cao geoid và địa hình mặt biển trung bình động học.

Các tham số a_k^0 và b_k^0 của vết đo thứ k được xác định theo nguyên lý số bình phương

nhỏ nhất theo điều kiện $\sum_{i_1=1}^{n_1} V_{k i_1}^2 = \min$, n_1 - là số điểm đo trên vết đo k .

Việc làm này có thể thực hiện đồng thời với việc bình sai giao cắt. Khi đó, $a^0 = a$, $b^0 = b$ và hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$\begin{cases} v_{ij} = (a_i + b_i \cdot \mu_j) - (a_j + b_j \cdot \mu_i) - dH_{ij} \\ V_{k i_1} = (a_k + b_k \cdot \mu_{k i_1}) - SSH'_{k i_1} \end{cases}. \quad (9)$$

Các tham số a và b được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất với điều kiện:

$$\sum v_{ij}^2 + w \sum V_{k i_1}^2 = \min. \quad (10)$$

trong đó: w là trọng số tương quan.

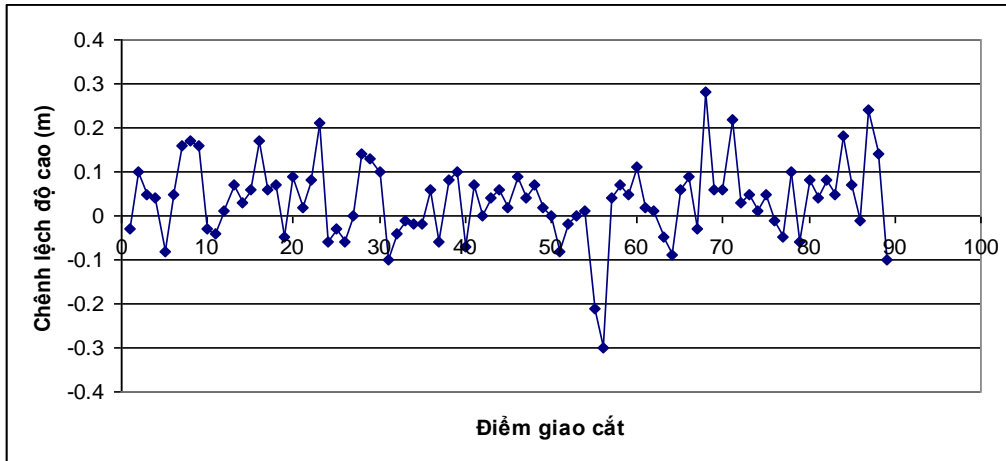
5. Tính toán thực nghiệm

Bảng 1. Các hệ số của các tham số a và b

Vết đo	a(m)	b(m/rad)	Vết đo	a(m)	b(m/rad)	Vết đo	a(m)	b(m/rad)	Vết đo	a(m)	b(m/rad)
21	-0.62	0.00	36	-0.03	-0.07	49	0.13	0.02	64	-0.06	0.15
107	0.88	0.00	122	-0.01	0.18	135	0.10	0.00	150	-0.09	0.17
221	0.01	-0.06	236	-0.35	0.21	279	-0.06	0.05	307	-0.10	-0.03
322	0.04	-0.35	350	0.05	-0.53	365	-0.03	-0.11	393	-0.05	-0.16
408	0.10	-0.15	436	0.02	0.06	479	-0.36	0.81	494	-0.01	-0.16
507	0.12	-0.10	522	0.02	0.05	565	0.11	0.00	580	-0.10	0.08
593	0.00	-0.11	608	0.00	0.12	651	0.18	0.34	666	0.07	0.01
679	0.02	-0.03	694	-0.13	0.11	737	0.05	0.12	765	-0.01	0.05
780	-0.04	-0.05	823	0.00	-0.02	851	0.01	-0.04	866	0.05	-0.07
894	0.08	0.07	909	0.10	0.00	937	-0.16	-0.11	952	-0.05	-0.14
965	0.07	-0.85	980	0.02	0.00						

Trên cơ sở lý thuyết trình bày ở trên, chúng tôi tiến hành tính toán thực nghiệm cho số liệu đo cao vệ tinh ENVISAT trên Biển Đông ở chu kỳ 81. Chu kỳ này có 4109 điểm đo, chia làm 42 vết đo. Số liệu được cung cấp bởi AVISO [0, 0]. Trên bảng 1 là kết quả xác định các tham số a và b .

Để kiểm tra hiệu quả của bài toán bình sai giao cắt trong việc loại bỏ thành phần địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian, chúng tôi tiến hành so sánh chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt trước và sau bình sai giao cắt. Trên hình 3 là đồ thị biểu diễn chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt trước bình sai.

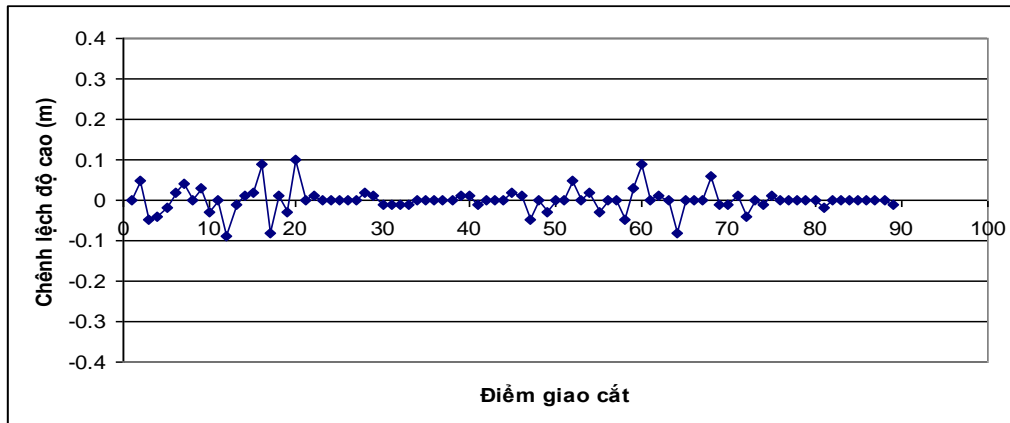


Hình 3. Đồ thị biểu diễn chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt trước bình sai giao cắt

Giá trị trung bình chênh lệch độ cao dH_{TB}^T trước khi bình sai giao cắt tính được theo công thức:

$$dH_{TB}^T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dH_i = 0,035 \text{ m}, \quad (11)$$

trong đó dH_i – chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt trước khi bình sai giao cắt.



Hình 4. Đồ thị biểu diễn chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt sau bình sai giao cắt

Hình 4 là đồ thị biểu diễn chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt sau bình sai giao cắt.

Giá trị trung bình chênh lệch độ cao dH_{TB}^S sau khi bình sai giao cắt tính được theo công thức:

$$dH_{TB}^S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dH'_i = 0,000 \text{ m}, \quad (12)$$

trong đó dH'_i – chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt sau khi bình sai giao cắt.

Nhận xét: Từ đồ thị trên hình 2, hình 3 và kết quả tính giá trị trung bình chênh lệch độ cao

trước và sau bình sai trong công thức (11) và (12) ta thấy:

- Giá trị của các chênh lệch độ cao trước bình sai giao cắt lớn hơn nhiều so với sau bình sai. Như vậy bình sai giao cắt đã làm giảm đáng kể chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt.

- Trước bình sai, đồ thị các chênh lệch độ cao nằm lệch về phía trên trục hoành, giá trị trung bình là 0,035m chứng tỏ trong chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt có chứa sai số hệ thống.

- Sau bình sai, đồ thị các chênh lệch độ cao phân bố đều về hai phía của trục hoành, giá trị trung bình là 0,000m chứng tỏ trong chênh lệch độ cao tại các điểm giao cắt không còn sai số hệ thống.

- Sau khi bình sai giao cắt, chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt là rất nhỏ, điều này chứng tỏ thành phần địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian đã được loại bỏ đáng kể.

6. Kết luận

- Thành phần địa hình mặt biển động học biến đổi theo thời gian đã được loại bỏ đáng kể khỏi độ cao mặt biển bằng phương pháp bình sai giao cắt.

- Bình sai giao cắt đã làm giảm chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt và loại bỏ sai số hệ thống trong chênh lệch độ cao này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Andersen O.B., 2010. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geodetic Department, DTU – Space, Juliane Maries Vej 30, DK – 2100, Denmark.
[2]. AVISO, 2010. DT CorSSH and DT SLA Product Handbook, Toulouse – France.

[3]. Gunter Seeber, 2003. Satellite Geodesy. Berlin, Germany.

[4]. Lee-Lueng Fu, Anny Cazenave, 2001. Satellite Altimetry and Earth Sciences. ACADEMIC PRESS, San Diego – San Francisco – New York – Boston – London – Sydney –Tokyo.

[5]. Nguyễn Văn Sáng, 2012. Xác định dị thường trọng lực cho vùng biển Việt Nam bằng kết quả đo cao vệ tinh. Luận án tiến sỹ khoa học kỹ thuật. Trường đại học tổng hợp Trắc địa và Bản đồ Matxcova, Liên Bang Nga (tiếng Nga).

[6]. Nguyễn Văn Sáng, 2013. Xác định vị trí điểm giao cắt trong xử lý số liệu đo cao vệ tinh bằng cách mô phỏng đa thức bậc hai. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ – Địa Chất (số 41, tr 43 – 47), trường Đại học Mỏ – Địa Chất, Hà Nội. ISSN: 1859 – 1469.

[7]. Nguyễn Văn Sáng, Đặng Xuân Kỳ, Nguyễn Quốc Đảo, Hồ Việt Dũng, 2014. Xác định vị trí điểm giao cắt của các vết quét đo cao vệ tinh trên Biển Đông. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ – Địa Chất (số 45, tr 90 – 93), trường Đại học Mỏ – Địa Chất, Hà Nội. ISSN: 1859 – 1469.

[8]. Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Văn Lâm, Phạm Văn Tuyên, 2015. Khảo sát một số phương pháp xác định vị trí điểm giao cắt trong xử lý số liệu đo cao vệ tinh. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ – Địa Chất (số 49, tr 105 – 108), trường Đại học Mỏ – Địa Chất, Hà Nội. ISSN: 1859 – 1469.

[9]. Rosmorduc V., 2009. Basic Radar Altimetry Toolbook practical. Bergen, Norway.

[10]. Veronique Amans, Henri Laur, 2007. Access to Envisat data, European Space Agency.

ABSTRACT

Method to remove the dynamic ocean topography from altimetry data in the East Sea

Nguyen Van Sang, Hanoi University of Mining and Geology

The relative rough sea surface height above the reference ellipsoid can be determined from altimetry data. The calculated height value contains geoid height, the mean dynamic topography and the dynamic ocean topography. In order to remove the dynamic ocean topography from altimetry data the crossover adjustment technique was applied through the following steps: (1) determination of crossover locations, and modeling the temporal change of dynamic sea surface topography with bias and tilt parameters; (2) crossover adjustment for determining the parameters of model. The approach was experimentally tested on ENVISAT satellite altimetry data of cycle 81st on the East Sea. The experimental results show the capability of crossover adjustment technique for removing the dynamic ocean topography from altimetry data.