



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Đánh giá độ chính xác số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa

Nguyễn Văn Sáng *, Vũ Văn Trí

Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 15/08/2017
 Chấp nhận 18/10/2017
 Đăng online 30/10/2017

Từ khóa:

Đo cao vệ tinh
 Độ chính xác
 Quần đảo Trường Sa

TÓM TẮT

Mục đích của bài báo là nghiên cứu phương pháp đánh giá độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh. Độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh được xác định dựa vào chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt của vết đo thẳng và vết đo giáng. Phương pháp đánh giá độ chính xác ở đây được xây dựng dựa theo phương pháp Gauss và phương pháp Betxen. Các tính toán thực nghiệm được thực hiện dựa vào số liệu của 18676 điểm đo bằng vệ tinh Cryosat-2 từ chu kỳ 31 đến chu kỳ 43 trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa. Kết quả là đã xây dựng được công thức đánh giá độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh trong trường hợp không có sai số hệ thống và trường hợp có sai số hệ thống. Các kết quả thực nghiệm cho thấy số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2 trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa không chứa sai số hệ thống và đạt độ chính xác $\pm 0,035m$.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới, trong những năm gần đây, đo cao vệ tinh (Altimetry) phát triển rất mạnh mẽ, được ứng dụng hiệu quả trong các lĩnh vực Trắc Địa, Địa Vật Lý, Hải Dương Học, Khí Tượng và Môi Trường. Trong Trắc Địa, số liệu đo cao vệ tinh cho phép xác định địa hình mặt biển trung bình động lực, geoid biển, dị thường trọng lực biển và địa hình đáy biển v.v (Lee-Lueng Fu, Anny Cazenave, 2001), (Smith, W.H.F., 2015), (Zhang, S., Sandwell, D.T., 2016). Trong Địa Vật Lý, số liệu đo cao vệ tinh cho phép nghiên cứu được cấu trúc, thành phần vật chất của lớp vỏ trái đất dưới đáy biển. Bằng số

liệu đo cao vệ tinh, lần đầu tiên người ta thành lập được bản đồ băng trên biển và giám sát được hiện tượng băng tan do nóng lên toàn cầu. Số liệu đo cao vệ tinh cũng được sử dụng để nghiên cứu các dòng hải lưu, bản đồ sóng biển v.v... Cho đến nay, đo cao vệ tinh là công cụ duy nhất cung cấp số liệu đo về biển trên toàn cầu với độ chính xác đồng đều, kịp thời và với chi phí thấp (Lee-Lueng Fu, Anny Cazenave, 2001), (Andersen, Ole Baltazar, Per Knudsen, 2016).

Ở Việt Nam, ứng dụng đo cao vệ tinh để nghiên cứu biển mới được thực hiện vài năm gần đây. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc ứng dụng các sản phẩm của thế giới (Dương Chí Công, 2014), (Hà Minh Hòa, 2015). Một số ít các nghiên cứu sâu về xử lý số liệu đo cao vệ tinh như: Tính các số hiệu chỉnh trong đo cao vệ tinh

*Tác giả liên hệ

E-mail: nguyenvansang@humg.edu.vn

(Nguyễn Văn Sáng, 2011); Xác định dị thường trọng lực từ số liệu vệ tinh (Nguyễn Văn Sáng, 2012); Xây dựng mô hình MDT từ số liệu đo cao vệ tinh (Nguyễn Văn Sáng, 2016).

Trước khi sử dụng số liệu đo cao vệ tinh cần phải đánh giá độ chính xác của số liệu. Trên thế giới, công việc này được đánh giá tại các trạm hiệu chuẩn. Trên Biển Đông, chúng ta không có trạm hiệu chuẩn để thực hiện công việc này. Trong điều kiện đó, bài báo này sẽ đưa ra phương pháp đánh giá độ chính xác số liệu đo cao vệ tinh dựa vào chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt của các vết đo.

2. Khu vực nghiên cứu và số liệu sử dụng

Khu vực nghiên cứu phương pháp đánh giá độ chính xác số liệu đo cao vệ tinh là vùng biển thuộc quần đảo Trường Sa có giới hạn: độ vĩ từ 6°00' đến 12°30', độ kinh từ 111°30' đến 118°00'. Số liệu đo cao vệ tinh được đánh giá độ chính xác là 18676 điểm đo của vệ tinh Cryosat-2 đo ở chế độ trắc địa (Geodetic Mission - GM) từ chu kỳ 31 đến chu kỳ 43 trên vùng biển thuộc Quần đảo Trường Sa. Các điểm đo có tọa độ trắc địa trong hệ tọa độ quốc tế WGS-84 và độ cao mặt biển SSH (Sea Surface Height). Các số liệu này được cung cấp bởi AVISO (AVISO, 2014). Các số liệu này đã được tính toán các số hiệu chỉnh như ảnh hưởng của triều, tầng đối lưu, tầng điện ly vv... (Nguyễn Văn Sáng, 2011)

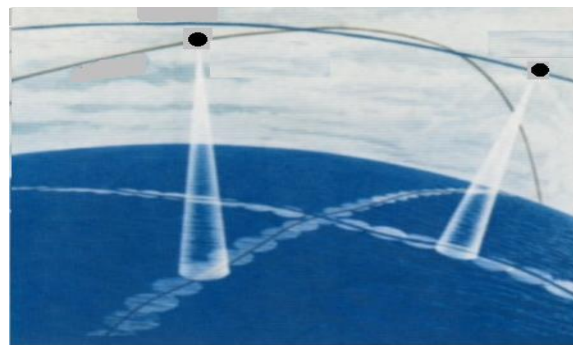
Vệ tinh đo cao được thiết kế sao cho tập hợp các điểm đo cao từ vệ tinh xuống mặt biển tạo thành các vết quét trên mặt biển (còn gọi là các cung), xem Hình 1. Các cung cắt nhau tạo thành các điểm giao cắt (Hình 2).

3. Phương pháp đánh giá độ chính xác số liệu đo cao vệ tinh

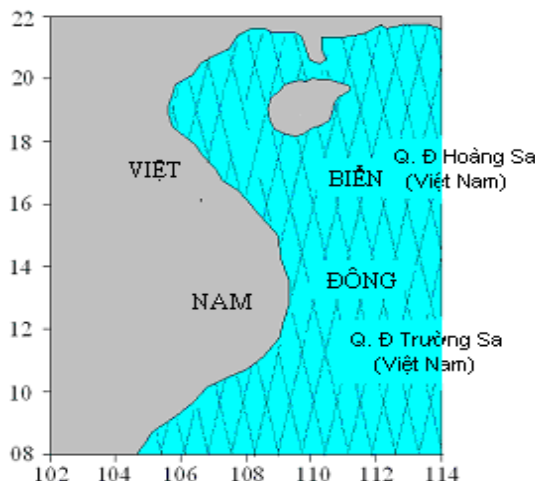
3.1. Xác định vị trí giao cắt và tính chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt

Các điểm giao cắt thường không trùng với các điểm đo, vì vậy mà việc đầu tiên, quan trọng trong xử lý số liệu đo cao vệ tinh là xác định vị trí điểm giao cắt và tính chênh lệch độ cao mặt biển tại điểm giao cắt. Việc xác định vị trí điểm giao cắt và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt có thể được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng đa thức bậc 2 như sau (Nguyễn Văn Sáng, 2013):

Giả sử trên cung (thẳng hoặc giáng) có *i* điểm có tọa độ là (*B_i*, *L_i*). Cung này sẽ được mô phỏng



Hình 1. Vết quét đo cao vệ tinh (AVISO, 2014).



Hình 2. Điểm giao cắt trong đo cao vệ tinh trên biển Đông (Nguyễn Văn Sáng, 2016).

bằng đa thức bậc hai:

$$L = aB^2 + bB + c \tag{1}$$

Trong (1), *a*, *b*, *c* là các tham số cần xác định. Để xác định 3 tham số này thì trên cung cần có 3 điểm biết tọa độ (chính là các điểm đo cao). Nếu số điểm này là *n* nhiều hơn 3 thì các tham số được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

Nếu cung thẳng được mô phỏng bằng đa thức $L = a_g B^2 + b_g B + c_g$. Và cung giáng được mô phỏng bằng đa thức $L = a_g B^2 + b_g B + c_g$ thì vị trí của điểm giao cắt là nghiệm của hệ phương trình:

$$\begin{cases} L = a_g B^2 + b_g B + c_g, \\ L = a_g B^2 + b_g B + c_g \end{cases} \tag{2}$$

Hệ phương trình (2) sẽ có 2 nghiệm, nghĩa là sẽ có 2 điểm giao cắt. Hai điểm giao cắt này nằm ở hai nửa của đồ thị parabol của đa thức bậc hai mô phỏng cung thẳng và cung giáng. Điểm giao cắt hợp lý sẽ là điểm nằm trên đoạn cung thẳng và đoạn cung giáng. So sánh hai điểm này với điểm

đầu và điểm cuối của cung thẳng hoặc cung giáng sẽ tìm ra điểm giao cắt phù hợp.

Vị trí điểm giao cắt tìm được chưa phải là vị trí chính xác mà chỉ là vị trí gần đúng. Sau khi tìm được điểm giao cắt gần đúng, so sánh tọa độ điểm này với các điểm trên cung thẳng và cung giáng sẽ tìm được 4 điểm lân cận của điểm giao cắt là $i, i+1, j$ và $j+1$ (Hình 3). Dựa vào 4 điểm này sẽ xác định được vị trí điểm giao cắt chính xác hơn (c).

Sau khi có vị trí điểm giao cắt, độ cao mặt biển tại điểm giao cắt tính theo cung thẳng (SSH_t^c) và theo cung giáng (SSH_g^c) sẽ được nội suy từ các điểm đo lân cận. Chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt được tính theo công thức:

$$dH = SSH_t^c - SSH_g^c \quad (3)$$

3.2. Đánh giá độ chính xác số liệu đo cao vệ tinh dựa vào chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt

SSH_t^c và SSH_g^c là độ cao mặt biển của cùng 1 điểm giao cắt c, được đo theo cung thẳng và cung giáng. Nếu không có sai số thì hai giá trị này bằng nhau và $dH = 0$. Trên thực tế, giá trị $dH \neq 0$ là do có sai số. Do đó, dựa vào giá trị dH tại các điểm giao cắt có thể đánh giá được độ chính xác đo cao vệ tinh:

Coi dH_i là trị đo tại điểm giao cắt thứ i . Trên khu vực nghiên cứu ta sẽ có dãy trị đo (dH_1, dH_2, \dots, dH_m). Trị thực của các trị đo này bằng 0, sai số thực chính bằng trị đo. Kỳ vọng toán học của dãy trị đo này được tính bằng công thức:

$$E(dH) = d\bar{H} = \frac{[dH]}{m} \quad (4)$$

+) Nếu kỳ vọng toán học $E(dH) = 0$ thì trong dãy trị đo không có sai số hệ thống, khi đó sai số trung phương của trị đo được xác định bằng công thức Gauss (Hoàng Ngọc Hà và Trương Quang Hiếu, 2003):

$$m_{dH} = \pm \sqrt{\frac{[dH \cdot dH]}{m}} \quad (5)$$

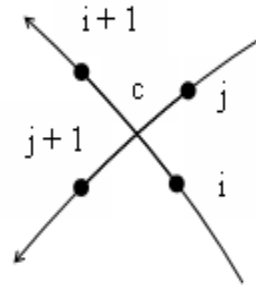
Theo nguyên tắc đồng ảnh hưởng, từ công thức (3) ta có:

$$m_{dH}^2 = m_t^2 + m_g^2 = 2m_{do}^2 \quad (6)$$

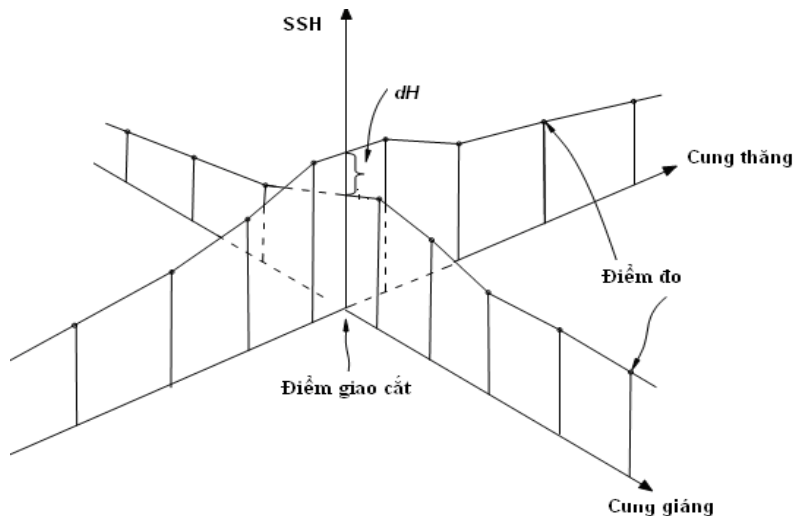
Thay vào (5) ta có:

$$m_{do} = \frac{m_{dH}}{\sqrt{2}} = \pm \sqrt{\frac{[dH \cdot dH]}{2m}} \quad (7)$$

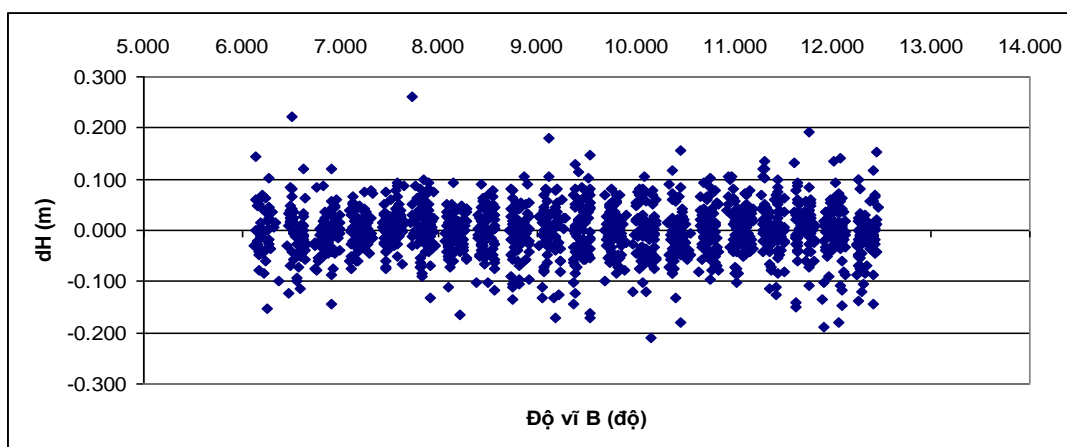
+) Nếu kỳ vọng toán học $E(dH) \neq 0$ thì trong dãy trị đo có sai số hệ thống, khi đó sai số trung phương của trị đo được xác định theo độ lệch chuẩn bằng công thức Betxen (Hoàng Ngọc Hà và Trương Quang Hiếu, 2003):



Hình 3. Vị trí điểm giao cắt chính xác.



Hình 4. Chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt.



Hình 5. Phân bố chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt theo độ vĩ.

$$m_{dH} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{m-1}}$$

Trong đó: v là số hiệu chỉnh được tính:

$$v = dH - d\bar{H} \tag{8}$$

Khi đó độ chính xác đo cao được xác định bằng công thức:

$$m_{đo} = \frac{m_{dH}}{\sqrt{2}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{2(m-1)}} \tag{9}$$

4. Tính toán thực nghiệm

Từ cơ sở lý thuyết đã trình bày ở trên, chúng tôi tiến hành thực nghiệm trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa với 18676 điểm số liệu vệ tinh Cryosat-2, đã tính được 1474 điểm giao cắt, giá trị chênh lệch độ cao lớn nhất $dH_{max} = 0,262m$, giá trị nhỏ nhất $dH_{min} = -0,211m$, giá trị trung bình $= -0,001m$. Sự phân bố giá trị dH theo độ vĩ được thể hiện trên Hình 5.

Từ Hình 5 ta thấy phân bố của dH đều về phía trên trục hoành, tương ứng với giá trị trung bình $\approx 0,000m$. Điều này chứng tỏ trong dãy trị đo không còn chứa sai số hệ thống. Độ chính xác của trị đo được đánh giá theo công thức (8):

$$m_{đo} = \pm \sqrt{\frac{3,6541}{2 \times 1474}} = \pm 0,035m \tag{10}$$

5. Kết luận

- Độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh có thể được xác định dựa vào chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt theo công thức (8) trong trường hợp không có sai số hệ thống hoặc công thức (10) trong trường hợp có sai số hệ thống.

- Số liệu đo cao của vệ tinh Cryosat-2 từ chu kỳ 31 đến chu kỳ 43 trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa không còn chứa sai số hệ thống và đạt độ chính xác $\pm 0,035m$.

Tài liệu tham khảo

Andersen O. B, Knudsen P, 2009. The DNSCO8 mean sea surface and mean dynamic topography. *J. Geophys. Res.*, 114, C11, doi:10.1029/2008JC005179.

Andersen, Ole Baltazar, Per Knudsen., 2016. Deriving the DTU15 Global high resolution marine gravity field from satellite altimetry. *ESA Living Planet Symposium 2016 - Prague, Czech Republic.*

AVISO, 2014. *Altimetry Mission.* <http://www.avisooceanobs.com>.

Dương Chí Công, 2014. *Nghiên cứu đánh giá và đề xuất sử dụng mô hình mặt biển tự nhiên MDT (Mean Dynamic Topography) ở Việt Nam.* Đề tài cấp Bộ. Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội.

Hà Minh Hòa, 2015. *Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt "0" độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu.* Mã số: KC.09.19/11-15. Viện Khoa học - Đo đạc và Bản đồ, Hà Nội.

Hoàng Ngọc Hà và Trương Quang Hiếu, 2003. *Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa,* Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.

- Lee-Lueng Fu, Anny Cazenave, 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences*. Academic Press, San Diego - San Francisco - New York - Boston - London - Sydney - Tokyo.
- Nguyễn Văn Sáng, 2011. Tính toán độ cao mặt biển từ số liệu đo cao vệ tinh ENVISAT trên vùng biển Việt Nam, *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất* 35. 81-85.
- 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 sĩ khoa học kỹ thuật*. Trường đại học tổng hợp Trắc địa và Bản đồ Matxcova, Liên Bang Nga (tiếng Nga).
- 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* 41. 43 - 47.
- 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* 41. 43 - 47.
- Nguyễn Văn Sáng, 2016. Nghiên cứu phương pháp xác định độ cao địa hình mặt biển bằng số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông. *Đề tài cấp bộ - B2014-02-18*, Bộ giáo dục và đào tạo.
- Per Knudsen., Ole Baltazar Andersen and Nikolai A Maximenko., 2016. The updated geodetic mean dynamic topography model - DTU15MDT. *Ocean Sciences Meeting*, USA.
- Smith, W.H.F., 2015. Resolution of seamount geoid anomalies achieved by the SARAL/AltiKa and Envisat RA2 satellite radar altimeters. *Mar. Geod.* 38 (sup1): 644-671. <http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2015.1014950>
- Zhang, S., Sandwell, D.T., 2016. Retracking of SARAL/AltiKa radar altimetry waveforms for optimal gravity field recovery. *Mar. Geod.* <http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2016.1265032>.

ABSTRACT

Evaluation of accuracy of the altimetry data in the sea area around the Truong Sa Archipelago

Sang Van Nguyen, Tri Van Vu

Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

This paper focuses on studying a new method to evaluate the accuracy of satellite altimetry data which is determined on the different height at cross-over points between ascending and descending tracks. This method bases on the Gauss and Bexen methods. In this paper, we conducted the experiment by using 18676 observations of Cryosat-2 satellite from cycle 31 to cycle 43 in the sea area around the Truong Sa Archipelago. From these results, the authors proposed a new formula to evaluate the accuracy of satellite altimetry data in the case with and without systematic errors. The experimental results showed that, the altimetry data from Cryosat-2 on the sea around the Truong Sa Archipelago does not contain systematic error and obtains the accuracy at $\pm 0.035\text{m}$.