

BÌNH SAI KẾT HỢP SỬ DỤNG DỮ LIỆU ĐO GPS, THỦY CHUẨN VÀ ĐỘ CAO GEOID TRÊN KHU VỰC CẨM PHẢ-MÔNG DƯƠNG, QUẢNG NINH

ThS. BÙI KHẮC LUYỀN
Trưởng Đại học Mỏ-Địa chất

1. Đặt vấn đề

Trong những thập kỷ đã qua, kể từ khi xuất hiện hệ thống đạo hàng vệ tinh toàn cầu GNSS, vấn đề bình sai kết hợp các thành phần độ cao trắc địa xác định từ kết quả đo GNSS với các giá trị độ cao thủy chuẩn nhận được từ kết quả đo thủy chuẩn truyền thống và độ cao geoid từ mô hình thế trọng trường toàn cầu ngày càng trở nên quan trọng. Việc xem xét về khía cạnh khoa học của sự kết hợp các hệ thống độ cao này được đề cập chủ yếu trong vấn đề lập mô hình và thể hiện thành phần trị dư độ cao ở các điểm mà tại đó tồn tại các trị đo GNSS/thủy chuẩn và độ cao geoid. Sự khác biệt giữa các thành phần này được giải thích là do sự khác biệt về mặt quy chiếu, các sai số độ cao geoid do ảnh hưởng của thành phần bước sóng dài và phần còn lại là các sai số ngẫu nhiên tồn tại trong các thành phần độ cao kể trên.

Trong hầu hết các trường hợp, sự khác biệt này được lý giải do sự không đồng nhất trong các thành phần độ cao geoid trọng lực bởi ảnh hưởng của sự không phù hợp cả về độ phân giải và độ chính xác của cơ sở dữ liệu trọng lực đo được cùng sự thiếu vắng của các trị đo vệ tinh phục vụ cho việc nâng cao số bậc và hạng của hàm điều hòa. Ngược lại, các trị đo GNSS và thủy chuẩn được cho là có ảnh hưởng ít đến độ lệch tổng hợp bởi độ chính xác cao của kỹ thuật đo GNSS tương đối tĩnh cũng như của kết quả đo thủy chuẩn.

Theo đó, việc sử dụng kết hợp các thành phần độ cao trắc địa xác định từ kết quả đo GNSS, độ cao thủy chuẩn xác định từ kết quả đo thủy chuẩn truyền thống và độ cao geoid có được từ mô hình thế trọng trường toàn cầu là phục vụ cho các mục đích: đánh giá độ chính xác mô hình geoid trọng lực, xây dựng các bề mặt hiệu chỉnh trên các khu vực thực nghiệm mà ở đó có sử dụng đến việc chuyển đổi qua lại giữa ba thành phần độ cao kể

trên và ứng dụng kỹ thuật đo thủy chuẩn GNSS để xác định độ cao thủy chuẩn từ kết quả đo GNSS kết hợp với mô hình geoid trọng lực thay cho phương pháp đo thủy chuẩn truyền thống.

Ở đây cần phải xem xét theo hai khía cạnh khác nhau, về mặt khoa học và ứng dụng thực tế như đã đề cập ở trên. Xét về khía cạnh khoa học, người ta quan tâm nhiều hơn đến độ lệch tuyệt đối giữa ba thành phần độ cao sử dụng kỹ thuật thống kê về biên độ độ lệch, độ lệch trung bình và độ lệch chuẩn phục vụ cho việc đánh giá khả năng ứng dụng của các mô hình geoid trọng lực hoặc mô hình thế trọng trường toàn cầu. Độ lệch tương đối cũng rất quan trọng, tuy vậy nó chỉ đóng vai trò hỗ trợ bổ sung cho việc đánh giá độ chính xác kể trên.

Ngược lại, để phục vụ cho các ứng dụng hàng ngày của công tác đo đạc, các cặp máy thu GPS được sử dụng với trạm cơ sở được đặt tại điểm mốc đã có độ cao, theo đó yêu cầu về độ chính xác tuyệt đối là không cần thiết. Điều này là bởi vì thành phần bước sóng dài và các nguồn sai số khác trong độ cao geoid có thể được loại trừ bằng cách tính toán chênh cao giữa điểm đo với điểm cơ sở được đặt tại mốc đã biết độ cao.

Với việc sử dụng các vệ tinh đo trọng lực CHAMP, GRACE và GOCE, các mô hình thế trọng trường toàn cầu có được gần đây đã được triển khai với số bậc và hạng rất cao mà theo đó độ chính xác đã được nâng lên. Mô hình EGM2008 là một ví dụ với số bậc và hạng của hàm điều hòa cầu thế trọng trường lên đến 2159. Với việc có được các mô hình thế trọng trường này đã mở ra khả năng mới trong việc đánh giá độ chính xác các giá trị độ cao chính đã có và hiệu chỉnh sai số thô trong các cơ sở dữ liệu thủy chuẩn. Điều này là đặc biệt quan trọng đối với các quốc gia có mạng lưới cơ sở độ cao được thực hiện thông qua mạng lưới các mốc thủy chuẩn đã không được bình sai

trong một hệ thống thống nhất hay ở các khu vực khác nhau của một quốc gia có giá trị độ cao của các mốc thủy chuẩn đã được xác định theo hướng sao cho phù hợp nhất với trạm nghiệm triều tại khu vực đó.

Mục đích của bài báo này gồm:

❖ Xác định khoảng chênh giữa ba thành phần độ cao kể trên ở khu vực Cẩm Phả-Mông Dương.

❖ Đánh giá mức độ phù hợp của một số mô hình toán học được sử dụng để chính xác hóa các đại lượng khoảng chênh đó,

❖ Đánh giá độ chính xác trong việc sử dụng các mô hình toán học đã khảo sát trong việc xác định giá trị độ cao thủy chuẩn từ kết quả đo GPS kết hợp với mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008.

2. Cơ sở toán học

Nếu cho các thành phần độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid tại một điểm ta có thể viết được véc-tơ trị đo l_i và phương trình trị đo trong bình sai kết hợp như sau:

$$l_i = H_i - h_i - N_i^{gr} = N_i^{GPS/Lev} - N_i^{gr} \quad \text{và} \quad (1)$$

$$l_i = a_i^T x_i + v_i. \quad (2)$$

Trong đó: các thành phần a_i^T của ma trận thiết kế A và ẩn số x_i phụ thuộc vào mô hình được lựa chọn để mô tả khoảng chênh giữa ba thành phần độ cao. Trong công thức (1) và (2), các thành phần H_i , h_i , và N_i^{gr} biểu thị các giá trị độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid tương ứng đã có ở điểm i , và $N_i^{GPS/Lev} = (H_i - h_i)$ được gọi là độ cao geoid GPS/thủy chuẩn. Với mục đích nghiên cứu kể trên, chúng tôi đã sử dụng các mô hình khác nhau, lần lượt là mô hình 4 tham số, mô hình 5 tham số, đa thức bậc nhất và đa thức bậc hai, được thể hiện trong các công thức từ (3) đến (6) dưới đây.

$$a_i^T x = a_0 + a_1 \cos \varphi_i \cos \lambda_i + \quad (3)$$

$$a_2 \cos \varphi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \varphi_i,$$

$$a_i^T x = a_0 + a_1 \cos \varphi_i \cos \lambda_i + \quad (4)$$

$$a_2 \cos \varphi_i \sin \lambda_i + a_3 \sin \varphi_i + a_4 \sin^2 \varphi_i,$$

$$a_i^T x = a_0 + a_1 x + a_2 y, \quad (5)$$

$$a_i^T x = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 y^2. \quad (6)$$

Ở dạng ma trận, hệ phương trình trên và lời giải được viết như sau:

$$b = Ax + v \quad \text{và} \quad (7)$$

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P b. \quad (8)$$

Trong công thức (8), P là ma trận trọng số, nghĩa là nghịch đảo của ma trận phương sai-hiệp phương sai C của trị đo. Trong các thực nghiệm

sau đây, chúng tôi đã giả thiết rằng ở các thành phần độ cao khác nhau, các trị đo, các thành phần sai số của nó là không có tương quan và trong cùng một thành phần độ cao không có sự tương quan giữa các điểm đo. Vì vậy, ma trận trọng số tương ứng có dạng:

$$P = (C_{H^{GPS}} + C_{h^{lev}} + C_{N^{grav}})^{-1} \quad \text{và} \quad (9)$$

$$v_{H^{GPS}}^T C_{H^{GPS}}^{-1} v_{H^{GPS}} + v_h^T C_h^{-1} v_h + \quad (10)$$

$$v_{N^{grav}}^T C_{N^{grav}}^{-1} v_{N^{grav}} = \min$$

Trong đó v và C biểu thị cho ma trận phần dư và ma trận phương sai - hiệp phương sai của các trị đo độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid trọng lực. Dựa vào công thức (8) có thể tính toán được các trị đo sau bình sai $\hat{H}, \hat{h}, \hat{N}_{grav}$ cũng như là phần dư sau bình sai \hat{v} và ma trận phương sai - hiệp phương sai sau bình sai $\hat{C}_H, \hat{C}_h, \hat{C}_N$.

Với mục đích nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành theo trình tự các bước:

❖ Tính toán khoảng chênh giữa ba thành phần độ cao kể trên cho các mốc GPS/thủy chuẩn trên khu vực Cẩm Phả-Mông Dương, Quảng Ninh.

❖ Sử dụng các mô hình toán học đã trình bày ở trên để so sánh mức độ phù hợp với khu vực thực nghiệm.

❖ Lựa chọn ra một số điểm song trùng để tính toán các tham số cho các mô hình lựa chọn được sau đó dùng các tham số đó tính ra độ cao thủy chuẩn cho các điểm còn lại, các điểm còn lại đóng vai trò làm điểm kiểm tra.

3. Bình sai kết hợp dữ liệu độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid

Trong thực nghiệm này, chúng tôi đã sử dụng 9 điểm song trùng GPS thủy chuẩn khu vực Cẩm Phả-Mông Dương, Quảng Ninh với 4 mô hình toán học kể trên. Các điểm song trùng có độ cao trắc địa được xác định từ kết quả đo GPS hạng IV, độ cao thủy chuẩn tương đương hạng III nhà nước, độ cao geoid được xác định từ mô hình thể trọng trường toàn cầu EGM2008.

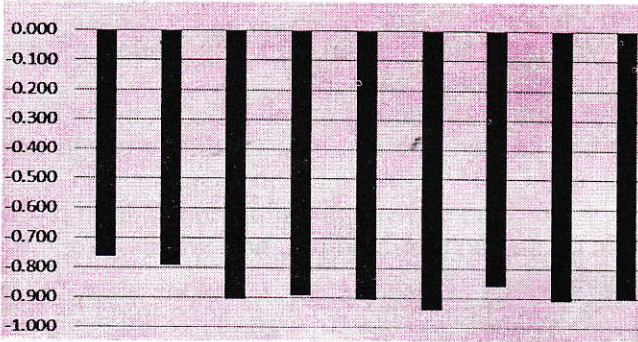
Bốn mô hình toán học với 4 tham số, 5 tham số, đa thức bậc nhất và đa thức bậc hai đã được sử dụng để kiểm tra mức độ phù hợp với khoảng chênh độ cao geoid trên khu vực Cẩm Phả - Mông Dương. Trong thực nghiệm này đã giả thiết tất cả các thành phần độ cao có độ chính xác như nhau, nghĩa là có trọng số bằng nhau. Dữ liệu được thể hiện trên hình 1 cho thấy khoảng chênh độ cao geoid trên khu vực Cẩm Phả-Mông Dương là

tương đối tuyến tính với độ lệch lớn nhất là -0.764 m và nhỏ nhất là -0.941 m, tương ứng với biên độ là 0.177 m. Mặt khác, số lượng điểm song trùng là không nhiều, chính vì vậy cả bốn mô hình toán học

được sử dụng có mức độ phù hợp tương đương nhau, với độ lệch chuẩn đạt được lớn nhất là 0.878 m và nhỏ nhất là 0.873 m tương ứng với mô hình 5 tham số và mô hình 4 tham số.

Bảng 1. Tọa độ, độ cao các điểm song trùng

Tên điểm	Độ vĩ T.địa (độ)	Độ kinh T.địa (độ)	N^{grav} (m)	H (m)	H (m)	l_i (m)
107406	21.005853	107.257279	-23.894	-20.679	2.451	-0.764
IV-01	21.077006	107.282176	-23.929	6.770	29.906	-0.793
IV-02	21.047390	107.358494	-23.723	-0.874	21.945	-0.904
IV-06	21.077726	107.336984	-23.818	0.059	22.985	-0.892
IV-09	21.042929	107.285742	-23.881	79.644	102.621	-0.904
IV-12	21.042654	107.316612	-23.813	118.677	141.549	-0.941
IV-14	21.015537	107.291332	-23.830	24.997	47.965	-0.862
IV-16	21.022649	107.325347	-23.761	80.169	103.021	-0.909
IV-18	21.001292	107.327751	-23.718	-19.581	3.234	-0.903



H.1. Khoảng chênh độ cao geoid GPS/Thủy chuẩn và độ cao geoid mô hình EGM2008 trên các điểm song trùng

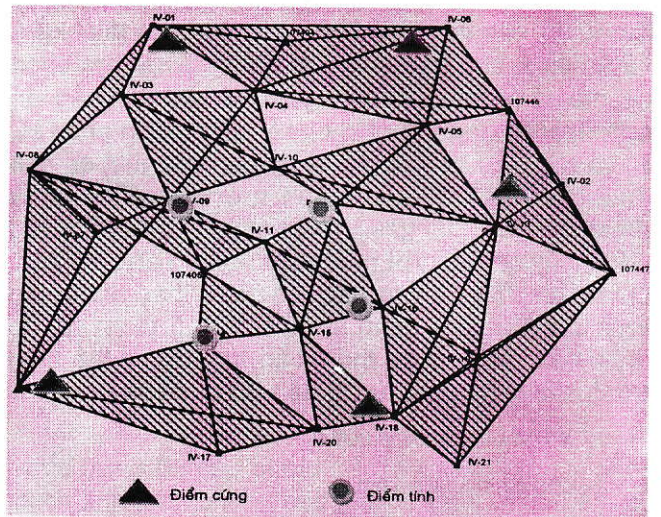
Bảng 2. Khoảng chênh độ cao geoid GPS/thủy chuẩn với độ cao geoid trên mô hình EGM2008 trước và sau khi sử dụng các mô hình toán học

Thông số	max	min	mean	std
Trước	-0.764	-0.941	-0.875	0.876
4-T.Số	-0.752	-0.926	-0.871	0.873
5-T.Số	-0.760	-0.932	-0.877	0.878
Đ.thức bậc 1	-0.811	-0.941	-0.875	0.876
Đ.thức bậc 2	-0.795	-0.935	-0.875	0.876

4. Tính toán độ cao thủy chuẩn từ số liệu đo song trùng GPS/Thủy chuẩn kết hợp mô hình trọng trường toàn cầu EGM2008

Trong tổng số 9 điểm song trùng kể trên, chúng tôi chọn ra 05 điểm được phân bố tương đối đều và bao quanh khu vực thực nghiệm với vai trò làm các điểm cứng dùng vào việc tính toán các tham số

cho mô hình toán học lựa chọn, sơ đồ phân bố các điểm được thể hiện trên hình H.2.



H.2. Sơ đồ phân bố điểm cứng và điểm tính

Các tham số tính được sẽ được sử dụng vào mục đích tính toán độ cao thủy chuẩn cho 04 điểm còn lại dùng làm kết quả kiểm tra. Độ lệch về kết quả tính toán và số liệu ban đầu phản ánh độ chính xác của việc tính toán. Khác với phần thực nghiệm ở trên, ở nội dung thực nghiệm này, mức độ phù hợp của các mô hình toán học đã được thể hiện rõ ràng hơn. Kết quả trên Bảng 3 và Bảng 4 cho thấy mô hình đa thức bậc hai cho độ chính xác tốt nhất, trong khi đó mô H.5 tham số cho độ chính xác kém nhất, với độ lệch chuẩn tương ứng là 0.008 m và 0.131 m. Mặt khác, do sự phân bố vị trí các điểm (hình H.2) nên điểm IV-09 cho kết quả tính toán với độ chính xác kém nhất

trên cả bốn mô hình, tuy nhiên mô hình đa thức bậc hai không những cho kết quả tốt hơn mà còn có sự đồng đều cao hơn, với độ lệch lớn nhất và nhỏ nhất tương ứng là 0.009 m (điểm IV-09 và IV-12) và 0.007 m (điểm IV-14).

Bảng 3. Độ lệch giữa khoảng chênh độ cao geoid nội suy với khoảng chênh độ cao geoid tính được từ độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid trên mô hình EGM2008 tại các điểm kiểm tra (Đơn vị: mét)

Tên điểm	4-T.Số	5-T.Số	Đ.thức bậc 1	Đ.thức bậc 2
IV-09	0.056	0.170	0.033	0.009
IV-12	0.041	0.151	0.026	0.009
IV-14	0.003	0.094	0.031	0.007
IV-16	-0.002	0.090	0.024	0.008

Bảng 4. Thống kê khoảng chênh độ cao geoid nội suy với khoảng chênh độ cao geoid tính được từ độ cao trắc địa, độ cao thủy chuẩn và độ cao geoid trên mô hình EGM2008 tại các điểm kiểm tra (Đơn vị: mét)

Thông số	max	min	mean	std
4-T.Số	0.056	-0.002	0.025	0.035
5-T.Số	0.170	0.090	0.127	0.131
Đ.thức bậc 1	0.033	0.024	0.029	0.029
Đ.thức bậc 2	0.009	0.007	0.008	0.008

5. Nhận xét và kết luận

Từ các kết quả tính toán, phân tích, đánh giá đối với các dữ liệu thực nghiệm, chúng tôi rút ra một số kết luận như sau:

a. Với sự ra đời của Hệ thống định vị toàn cầu GNSS, vấn đề bình sai kết hợp các thành phần độ cao trắc địa xác định từ kết quả đo GPS với các giá trị độ cao thủy chuẩn nhận được từ kết quả đo thủy chuẩn truyền thống và độ cao geoid từ mô hình thế trọng trường toàn cầu là rất cần thiết cả về khía cạnh khoa học và ứng dụng thực tế.

b. Do sự khác biệt về mật độ vật chất trong lòng Trái đất ở các khu vực khác nhau dẫn đến sự khác biệt về bề mặt geoid ở các khu vực đó. Chính vì vậy, vấn đề xác định mô hình toán học phù hợp nhất với từng khu vực là việc làm có ý nghĩa rất quan trọng trong vấn đề bình sai kết hợp được nói đến trong bài báo này. Tuy nhiên để có thể xác định được mô hình toán học phù hợp nhất đòi hỏi phải có đủ cơ sở dữ liệu, nghĩa là các điểm song trùng, sao cho các dữ liệu đó phản ánh đầy đủ và chính xác quy luật biến đổi của bề mặt geoid cục bộ trên khu vực đó, cũng có nghĩa là phản ánh đầy đủ và chính xác quy luật biến

đổi của khoảng chênh giữa độ cao geoid cục bộ được xác định từ kết quả đo GPS/thủy chuẩn với độ cao geoid toàn cầu lấy từ mô hình thế trọng trường toàn cầu. Trong bài báo này, đó là mô hình thế trọng trường toàn cầu EGM2008.

c. Với sự ra đời của các mô hình thế trọng trường toàn cầu với số bậc và hạng rất cao như hiện nay, vấn đề xác định độ cao thủy chuẩn sử dụng kết hợp số liệu đo song trùng GPS/thủy chuẩn với mô hình thế trọng trường toàn cầu là hoàn toàn khả thi. Việc làm này cho phép tận dụng tối đa các kết quả có được từ số liệu đo được tích hợp trong mô hình thế trọng trường toàn cầu như số liệu đo trọng lực mặt đất, trọng lực hàng không, trọng lực vệ tinh, số liệu đo cao từ vệ tinh cũng như số liệu đo song trùng GPS/thủy chuẩn và nhiều loại số liệu khác trên phạm vi toàn cầu.

d. Tương tự như vấn đề bình sai kết hợp các loại số liệu như đã đề cập ở trên, việc lựa chọn mô hình toán học phù hợp trong bài toán xác định độ cao thủy chuẩn từ kết quả đo song trùng GPS/thủy chuẩn kết hợp mô hình thế trọng trường toàn cầu cũng đóng vai trò then chốt và quyết định đến độ chính xác đạt được. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. C. Kotsakis, M.G. Sideris, 1999. "On the adjustment of combined GPS/levelling/geoid networks". University of Calgary, Alberta, Canada.
2. I.N. Tziavos, G.S. Vergos, V.N. Grigoriadis, V.D. Andritsanos. "Adjustment of collocated GPS, geoid and orthometric height observations in Greece. Geoid or orthometric height improvement?". Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
3. Isioye, O.A. and T.T. Youngu. Global geoid modeling and height determination for engineering applications.

Người biên tập: Nguyễn Xuân Thuý

SUMMARY

The paper deals with the results of computing the differences between the ellipsoidal heights derived from GPS observations, the normal heights from conventional levelling and geoid heights interpolated by earth gravitational model EGM2008, and the application of earth gravitational model integrated with ellipsoidal height calculated by GPS observations on determination of normal heights for the purpose of replacement of traditional levelling.