

CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI SỐ LIỆU GPS, SỐ LIỆU THỦY CHUẨN VÀ SỐ LIỆU TRỌNG LỰC TRONG ĐO CAO GPS

PHẠM HOÀNG LÂN

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đo cao GPS là một dạng đo cao mới, kết quả của nó là giá trị độ cao điểm xét trong hệ độ cao chuẩn (hay độ cao thường). Nó có những ưu điểm cơ bản so với đo cao thủy chuẩn truyền thống, chẳng những về năng suất, chi phí, mà đáng kể hơn là về giãn cách và điều kiện địa hình giữa các điểm đo. Song thực tế sản xuất ở nước ta còn dè dặt, thậm chí có khi còn hoài nghi khi áp dụng phương pháp này, bởi độ chính xác thực tế đạt được còn hạn chế. Mong muốn của chúng ta là để đo cao GPS ở Việt Nam cũng có thể bảo đảm được độ chính xác cao tương đương thủy chuẩn hạng II như ở Mỹ [2], ở Nga [1], ở Úc [13], hay thấp hơn là tương đương thủy chuẩn hạng III như ở Hungari [5] và chỉ ít cũng phải tương đương thủy chuẩn hạng IV trong mọi điều kiện địa hình của nước ta. Thực tế đo cao GPS ở nước ta cho đến nay, độ chính xác phổ biến tương đương thủy chuẩn kỹ thuật, trong một số trường hợp có thể đạt tới thủy chuẩn hạng IV, nhưng hầu hết là ở vùng đồng bằng.

Vậy điều mong muốn vừa nêu ở trên có khả thi và có sớm trở thành hiện thực không? Để góp phần trả lời câu hỏi này, dưới đây chúng tôi xin đề cập đến các yêu cầu cần đáp ứng đối với các loại số liệu đo đạc cơ bản cần có khi triển khai đo cao GPS.

II. BẢN CHẤT ĐO CAO GPS VÀ CÁC PHƯƠNG ÁN TRIỂN KHAI

1. Bản chất của phương pháp

Ta hãy ký hiệu S là mặt đất thực trên đó có điểm xét M (hình 1).

G là một điểm trên mặt đất thực, nằm sát mặt biển trung bình, được lấy làm điểm gốc độ cao quốc gia.

E là mặt Ellipsoid chuẩn với bốn thông số đặc trưng cho thể trọng trường chuẩn U , cũng chính là mặt đẳng thế trọng trường chuẩn cơ bản với tho $U = U_0 = \text{const}$.

\bar{G} và \bar{M} là hình chiếu dọc theo pháp tuyến vô Ellipsoid chuẩn của G và M .

Ký hiệu thế trọng trường thực của Trái Đất tại M là W_M , ta hãy chọn trên pháp tuyến vô Ellipsoid chuẩn đi qua M một điểm N nào đó sao cho $U_N = W_M$. Khi đó khoảng cách MN chính là độ thường độ cao của điểm M , được ký hiệu là ζ_M . Khoảng cách NM được gọi là độ cao chuẩn của điểm M và được ký hiệu là h_M^{γ} (khái niệm về độ cao chuẩn được M.S. Molodenski đưa ra đầu tiên vào năm 1945 [11] và sau đó được V.F. Eremeev đặt tên là "độ cao chuẩn" vào năm 1951 [3]). Khoảng cách $\bar{M}\bar{M}$ gọi là độ cao trắc địa và được ký hiệu là H_M . Ta có :

$$H_M = h_M^{\gamma} + \zeta_M \quad (1)$$

Ứng với các điểm M khác nhau trên bề mặt tự nhiên của Trái Đất ta có các điểm N . Các điểm N hợp thành một bề mặt, M.S. Molodenski gọi là bề mặt phụ trợ hay xấp xỉ bậc nhất của bề mặt Trái Đất, còn Hirvonen (1960) [10] đặt tên là mặt teluroid. Trên hình vẽ 1 nó được ký hiệu là Σ .

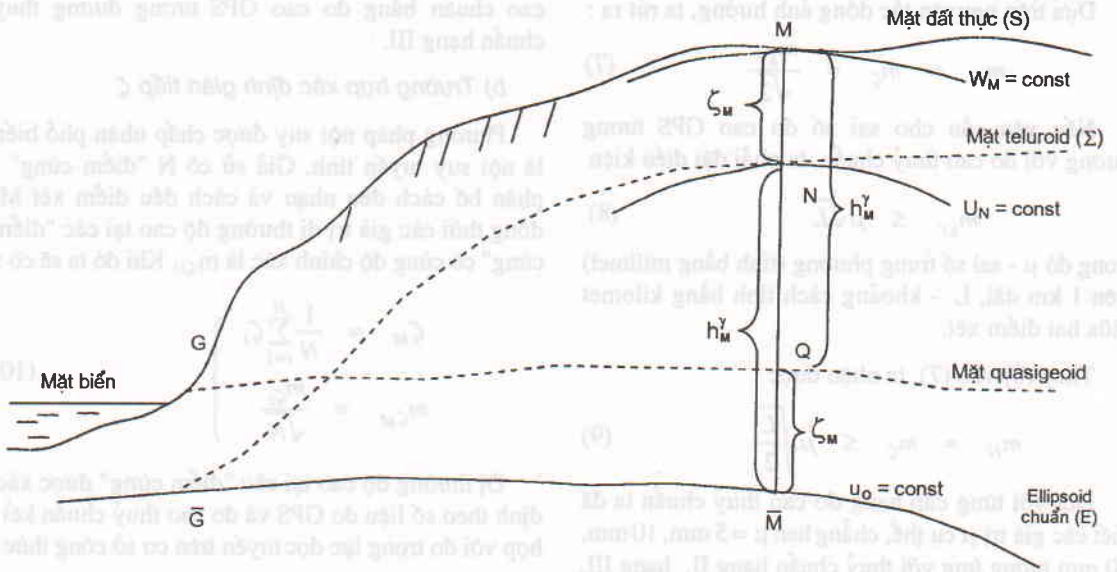
Từ (1) có thể rút ra :

$$h_M^{\gamma} = H_M - \zeta_M \quad (2)$$

Như vậy, độ cao chuẩn của điểm xét có thể được xác định, nếu biết độ cao trắc địa và độ thường độ cao. Độ cao trắc địa của điểm xác định từ kết quả đo GPS. Chính vì lý do này, phương pháp đo cao theo công thức (2) gọi là đo cao GPS [6].

2. Các phương án triển khai

Các phương án đo cao GPS đều dựa trên dạng số liệu cơ bản chung là độ cao trắc địa H được xác



Hình 1. Các thành phần độ cao

định từ kết quả đo GPS. Chúng chỉ khác nhau ở cách xác định thành phần thứ hai của công thức (2) - đại lượng ζ .

a) Trong trường hợp xác định trực tiếp ζ

Số liệu được sử dụng là các giá trị dị thường trọng lực trên phạm vi toàn cầu.

$$\Delta g = g_s - \gamma_\Sigma \quad (3)$$

trong đó g_s - giá trị trọng lực thực đo trên bề mặt tự nhiên (bề mặt vật lý) của Trái Đất, γ_Σ - giá trị trọng lực chuẩn tính được trên mặt teluroid. Dị thường trọng lực (3) gọi là dị thường trọng lực chân không. Nó cần được cho trên toàn bộ bề mặt biên trị Σ . Giá trị dị thường độ cao ζ tại điểm xét, được xác định trên cơ sở giải bài toán biên trị của lý thuyết thế theo cách đặt vấn đề của M.S. Molodenski. Lời giải cuối cùng ở dạng xấp xỉ bậc nhất đảm bảo thoả mãn yêu cầu độ chính xác cao của thực tế, cả ở vùng có bề mặt địa hình biến đổi phức tạp như vùng núi, có dạng [10]:

$$\zeta(B, L, h^\gamma) = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint (\Delta g + G_1) S(\Psi) d\omega \quad (4)$$

$$G_1 = \frac{R^2}{2\pi} \iint \frac{h^\gamma - h^\gamma_\rho}{r_0^3} \Delta g d\omega \quad (5)$$

trong đó R , γ - bán kính trung bình và giá trị trọng lực chuẩn trung bình của Trái Đất, r_0 - khoảng cách tính theo dây cung giữa điểm xét và điểm chạy trên mặt cầu, $d\omega$ - phần tử góc nhìn.

G_1 chính là ảnh hưởng của bề mặt địa hình trong giá trị dị thường trọng lực, có thể làm giá trị dị thường độ cao ζ thay đổi tới 5-7 cm. Chính vì vậy, khi cần đạt độ chính xác cao cũng như ở vùng núi, nhất thiết phải tính đến ảnh hưởng này. Trong trường hợp ngược lại có thể sử dụng công thức Molodenski ở dạng xấp xỉ bậc 0, đó chính là công thức Stokes đã được biết đến từ rất lâu.

b) Trong trường hợp xác định gián tiếp ζ

Trong trường hợp này cần có số liệu đo GPS và số liệu đo cao thủy chuẩn kết hợp với số liệu trọng lực dọc tuyến đo cao. Khi đó sẽ tính được hiệu $\zeta = (H - h')$ cho một số ít "điểm cứng", chẳng hạn N điểm. Bằng cách sử dụng các phương pháp nội suy khác nhau như: bằng đa thức, hàm spline, kriging, collocation..., có thể nội suy các số liệu đó từ "điểm cứng" sang cho điểm xét bất kỳ được bao quanh bởi các "điểm cứng" [10].

Ngoài số liệu đo GPS và đo cao thủy chuẩn, còn có thể sử dụng các số liệu bổ sung như: số liệu dị thường trọng lực trong một phạm vi hạn chế nào đó, số liệu độ cao địa hình. Chúng có khả năng "làm nhẵn" mặt quasigeoid, do vậy cho phép đơn giản hoá quá trình nội suy để có thể đạt tới độ chính xác cao hơn.

3. Yêu cầu về độ chính xác đối với số liệu đo

a) Trường hợp xác định trực tiếp ζ

Ứng với (2) theo lý thuyết sai số ta có:

$$m_{h^\gamma}^2 = m_H^2 + m_\zeta^2 \quad (6)$$

Dựa trên nguyên tắc đồng ảnh hưởng, ta rút ra :

$$m_H = m_{\zeta} = \frac{m_{h\gamma}}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

Nếu yêu cầu cho sai số đo cao GPS tương đương với đo cao thủy chuẩn, ta phải đặt điều kiện

$$m_{h\gamma} \leq \mu\sqrt{L} \quad (8)$$

trong đó μ - sai số trung phương (tính bằng milimet) trên 1 km dài, L - khoảng cách tính bằng kilomet giữa hai điểm xét.

Thay (8) vào (7), ta nhận được :

$$m_H = m_{\zeta} \leq \mu\sqrt{\frac{L}{2}} \quad (9)$$

Đối với từng cấp hạng đo cao thủy chuẩn ta đã biết các giá trị μ cụ thể, chẳng hạn $\mu = 5$ mm, 10 mm, 20 mm tương ứng với thủy chuẩn hạng II, hạng III, hạng IV. Gọi khoảng cách giữa các "điểm cứng" và điểm xét là L , ứng với các giá trị L và các cấp hạng thủy chuẩn khác nhau ta có các giá trị trong *bảng 1* :

Bảng 1. Giá trị sai số độ cao trắc địa và dị thường độ cao cần đảm bảo tại điểm xét

Cấp hạng thủy chuẩn tương đương	Khoảng cách L(km)		
	20	40	60
Hạng II	15,8 mm	22,4 mm	27,4 mm
Hạng III	31,6 mm	44,7 mm	54,8 mm
Hạng IV	63,2 mm	89,4 mm	109,5 mm

Dị thường độ cao cần được xác định trực tiếp theo số liệu trọng lực trên cơ sở sử dụng các công thức đã nhắc tới ở mục 2. Với mục đích này, toàn bộ bề mặt Trái Đất thường được chia thành 2 vùng : đó là vùng gần trực tiếp bao quanh điểm xét và vùng xa là toàn bộ phần còn lại. Sai số xác định thành phần dị thường độ cao theo số liệu trọng lực trong vùng gần đã được chúng tôi đánh giá trong [7]. Theo đó, nó có trị số không lớn hơn 0,03 m nếu vùng gần có bán kính xấp xỉ 200 km và mật độ điểm trọng lực trong đó không thấp hơn 1 điểm/100 km². Ảnh hưởng của vùng xa được nội suy tuyến tính từ các "điểm cứng" sang cho điểm xét với sai số không vượt quá 0,02 m [9], nếu các "điểm cứng" nằm cách nhau không quá 50 - 60 km. Tổng hợp lại, sai số của dị thường độ cao theo số liệu trọng lực trong các điều kiện vừa nêu sẽ có trị số nhỏ hơn 0,04 m. Đối chiếu với số liệu nêu trong *bảng 1*, ta thấy độ chính xác này tương ứng với yêu cầu xác định độ

cao chuẩn bằng đo cao GPS tương đương thủy chuẩn hạng III.

b) Trường hợp xác định gián tiếp ζ

Phương pháp nội suy được chấp nhận phổ biến là nội suy tuyến tính. Giả sử có N "điểm cứng" i phân bố cách đều nhau và cách đều điểm xét M , đồng thời các giá trị dị thường độ cao tại các "điểm cứng" có cùng độ chính xác là m_{ζ_i} . Khi đó ta sẽ có :

$$\left. \begin{aligned} \zeta_M &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \zeta_i \\ m_{\zeta_M} &= \frac{m_{\zeta_i}}{\sqrt{N}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Dị thường độ cao tại các "điểm cứng" được xác định theo số liệu đo GPS và đo cao thủy chuẩn kết hợp với đo trọng lực dọc tuyến trên cơ sở công thức :

$$\zeta_i = H_i - h_i^{\gamma} \quad (11)$$

Sai số trung phương tương ứng bằng :

$$m_{\zeta_i} = \sqrt{m_{H_i}^2 + m_{h_i^{\gamma}}^2} \quad (12)$$

Cũng theo nguyên tắc đồng ảnh hưởng, sau khi thay $m_{\zeta_i} = m_{\zeta_M} \sqrt{N}$ từ (10) vào (12), ta có :

$$m_{H_i} = m_{h_i^{\gamma}} = m_{\zeta_M} \sqrt{\frac{N}{2}} \quad (13)$$

Độ cao chuẩn của điểm xét M sẽ nhận được theo biểu thức :

$$h_M^{\gamma} = H_M - \zeta_M \quad (14)$$

Đặt yêu cầu $m_{h_M^{\gamma}} \leq \mu\sqrt{L}$ với L là khoảng cách từ điểm xét M tới "điểm cứng" i , ta có :

$$m_{h_M^{\gamma}}^2 = m_{H_M}^2 + m_{\zeta_M}^2 \leq \mu^2 L \quad (15)$$

Cũng theo nguyên tắc đồng ảnh hưởng, suy ra :

$$m_{H_M} = m_{\zeta_M} \leq \mu\sqrt{\frac{L}{2}} \quad (16)$$

Sau khi thay (16) vào (13), ta sẽ rút ra :

$$m_{H_i} = m_{h_i^{\gamma}} \leq \frac{\mu}{2} \sqrt{N.L} \quad (17)$$

Cho $N = 4$, ứng với các giá trị L cụ thể, ta sẽ có các số liệu tính theo (17) nêu trong *bảng 2*.

Các yêu cầu về sai số độ cao trắc địa cần đảm bảo tại điểm xét hoàn toàn giống như đã nêu trong *bảng 1*.

[9] PHẠM HOÀNG LÂN, 2003 : Sai số nội suy độ cao geoid có dùng đến số liệu trọng lực và khả năng nâng cao độ chính xác đo cao GPS ở Việt Nam. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, 4, 81-84.

[10] PHẠM HOÀNG LÂN, 2007 : Nghiên cứu các giải pháp nâng cao độ chính xác đo cao GPS trong điều kiện Việt Nam. Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội. 216 trang.

[11] M.S. MOLODENSKI, 1945 : Các vấn đề cơ bản của trọng lực trắc địa. Các công trình của Viện nghiên cứu trung ương về trắc địa, đo chụp hàng không và bản đồ, tập 42, Geodezizdat, Moskva. 106 trang (Nga văn).

[12] M.S. MOLODENSKI, V.F. EREMEEV, M.I. IURKINA, 1960 : Các phương pháp nghiên cứu trọng trường bên ngoài và hình dạng Trái Đất, Nxb Tài liệu Trắc địa, Moskva, (Nga văn). 251 trang.

[13] M.B. PEARSE, A.H. KEARSLEY, B. MORGAN, 1997 : Height comparison on the Australian national GPS network. International association of geodesy symposia 113.

SUMMARY

Requirements to GPS, levelling and gravimetric data for providing GPS - levelling with accuracy of traditional levelling

Based on the conception of GPS - levelling, the author considers two different variants for its realization. In one variant the height anomaly is proposed to be determined directly by use of gravimetric data, and in the other case - to be interpolated from the points with known geodetic and normal height values. Accordingly there are recommended requirements to GPS, levelling and gravimetric data for providing GPS - levelling with accuracy of traditional levelling of fourth to second order.

There is shown that GPS levelling with an accuracy of 3rd order traditional levelling in Vietnam is quite realizable now. In this case GPS points should have known geodetic and normal height values with same accuracy no lower than 4 cm and evenly enough located at the distance of 50-60 km around a considered point. In addition, within an about 200 km cap size there should be provided gravity anomalies with density no less than 1 point/100 km².

Ngày nhận bài : 14-11-2007

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

[1] T. WENZEL, G. TROJAN, K. R. RAY, 1984 : The precise computation of geoid undulations differences with comparison to results obtained from GPS. Submitted GRI, May 1984.

[2] V.F. EREMEEV, 1951 : Lý thuyết độ cao chính, độ cao động học và độ cao chuẩn (1951). Các công trình của Viện nghiên cứu trung ương về trắc địa, đo chụp hàng không và bản đồ, tập 86, Geodezizdat, Moskva, 96 trang (Nga văn).

[3] W.A. HILDEBRAND and H. MORTON, 1957 : Physical Geodesy. Freeman W.H. San Francisco.

[4] A. KEMERDZ, 1999 : Technology development for GPS heighting in Hungary. Paper presented at the 2nd International seminar on GPS in central Europe, 2-7 May 1999, Hungary.

[5] PHẠM HOÀNG LÂN, 2003 : Công nghệ GPS ứng dụng trong công tác học ngành trắc địa ĐH Mỏ - Địa chất Hà Nội. 68 trang.

[6] PHẠM HOÀNG LÂN, 2007 : Kiến trúc hệ thống xác định đường độ cao trọng lực. Tập tài liệu chính. Tổng cục Trắc địa, 9, 20-25.

[7] PHẠM HOÀNG LÂN, 2007 : Sai số nội suy độ cao geoid không dùng đến số liệu trọng lực ở Việt Nam. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, 4, 81-84.