

HỆ TỌA ĐỘ VUÔNG GÓC KHÔNG GIAN ĐỊA DIỆN CHÂN TRỜI VÀ ỨNG DỤNG TRONG TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH

NGUYỄN QUANG PHÚC, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời (sau đây gọi tắt là Hệ tọa độ địa diện chân trời) có nhiều đặc điểm rất thuận lợi trong việc thành lập các mạng lưới Trắc địa công trình (TĐCT) cũng như trong nghiên cứu các biến cố của công trình khi đo bằng công nghệ GPS. Nội dung bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về hệ tọa độ địa diện chân trời và khả năng ứng dụng nó trong một số dạng công tác TĐCT ở nước ta khi đo bằng công nghệ GPS. Trên cơ sở đó, rút ra những kết luận và kiến nghị cần thiết.

1. Đặt vấn đề

Công nghệ GPS có mặt ở nước ta từ những năm 80 của thế kỷ trước. Đến nay, công nghệ GPS đã có những bước tiến dài và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của Trắc địa-Bản đồ. Trong TĐCT, GPS được ứng dụng chủ yếu nhờ kỹ thuật đo tương đối-tính để thành lập các mạng lưới khống chế tọa độ có độ chính xác cao, phục vụ cho cả 3 giai đoạn: khảo sát, thi công xây dựng và khai thác sử dụng công trình.

Kỹ thuật đo tương đối-tính cho phép xác định các thành phần số gia tọa độ vuông góc không gian ΔX , ΔY , ΔZ và ma trận tương quan tương ứng của các vector baseline trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm quốc tế WGS-84. Chúng được xem là các dữ liệu đầu vào và được xử lý để tính ra giá trị tọa độ phẳng phục vụ cho các mục đích của Trắc địa-Bản đồ nhờ các phần mềm bán kèm theo máy (như GPSurvey 2.35 hay TBC). Kết quả sẽ thu được tọa độ phẳng của các điểm đo GPS trong hệ tọa độ người dùng, phép chiếu hình trụ ngang đồng góc và mặc định trên bề mặt của elipsoid quy chiếu.

Hệ tọa độ công trình-bao gồm gốc tọa độ và độ cao mặt chiếu hệ tọa độ-là một dạng của hệ tọa độ độc lập, được lựa chọn phù hợp với đặc điểm và vị trí địa lý của từng công trình, sao cho bảo đảm điều kiện lưới ít bị biến dạng nhất, hay nói cách khác, lưới chỉ bị biến dạng trong giới hạn cho phép so với kích thước thật của nó trên bề mặt đất.

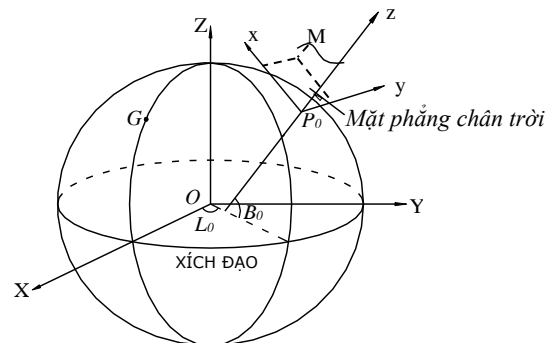
Hệ tọa độ địa diện chân trời có nhiều ưu điểm hơn hẳn so với hệ tọa độ phẳng trong phép

chiếu hình trụ ngang, đáp ứng được các yêu cầu nói trên của hệ tọa độ công trình, lại có liên hệ toán học đơn giản nhưng chặt chẽ với hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm-là hệ tọa độ được sử dụng trong đo đạc vệ tinh. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong TĐCT khi đo bằng công nghệ GPS là rất cần thiết, góp phần nâng cao độ chính xác và hiệu quả ứng dụng của công nghệ GPS trong TĐCT.

Trước hết, hãy xem xét một số đặc điểm của hệ tọa độ địa diện chân trời.

2. Hệ tọa độ địa diện chân trời

Trên hình 1, P_0 là điểm trạm đo, O là tâm của elipsoid. $O-XYZ$ là hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm. Thành lập hệ tọa độ địa diện chân trời theo quy tắc bàn tay phải, lấy điểm P_0 tâm trạm đo làm điểm gốc, pháp tuyến với mặt elipsoid qua điểm P_0 làm trục z (hướng thiên đỉnh là hướng dương), lấy hướng kinh tuyến làm trục x (hướng Bắc là hướng dương), trục y vuông góc với trục x và z (hướng Đông là hướng dương). P_0-xyz được gọi là hệ tọa độ địa diện chân trời [4].



Hình 1. Hệ tọa độ địa diện chân trời

Quan hệ giữa tọa độ vuông góc không gian và tọa độ địa diện chân trời được biểu diễn theo công thức [4]:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix}, (1)$$

trong đó:

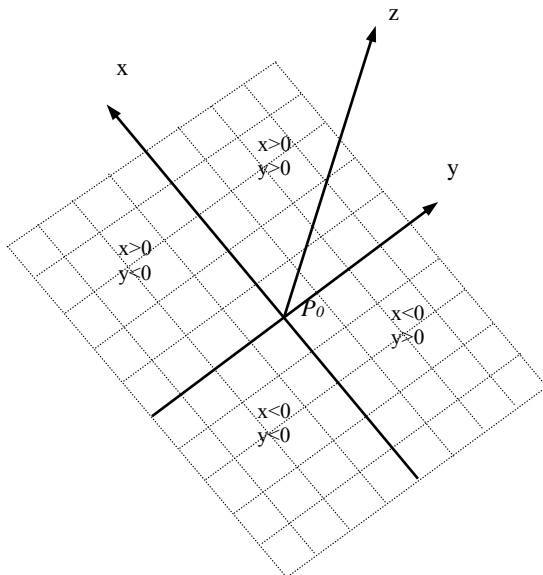
X_i, Y_i, Z_i và x_i, y_i, z_i – là tọa độ không gian và tọa độ địa diện của điểm cần tính chuyển;

X_0, Y_0, Z_0 và B_0, L_0 – là tọa độ không gian và tọa độ trắc địa của điểm gốc hệ tọa độ địa diện.

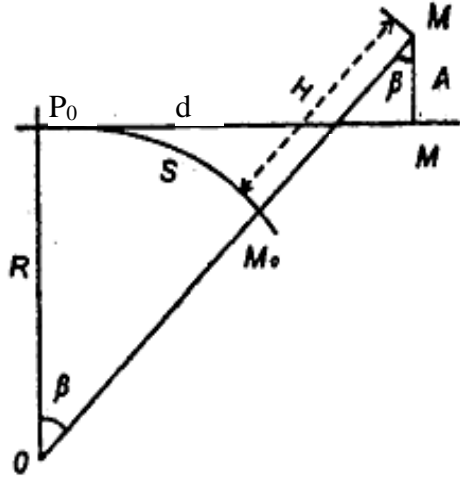
Xem xét hệ tọa độ địa diện chân trời có thể rút ra một số nhận xét sau đây:

1- Trong công thức (1) không có sự tham gia của thành phần độ cao trắc địa H_i . Vì thế, tọa độ phẳng x, y của các điểm trên mặt phẳng địa diện chân trời không phụ thuộc vào độ cao trắc địa của chúng.

2- Điểm gốc P_0 của hệ tọa độ địa diện chân trời có thể chọn là điểm trọng tâm hoặc một điểm cụ thể nào đó gần với trọng tâm của mạng lưới. Vì vậy, tùy theo vị trí tương đối của các điểm trạm đo so với điểm gốc mà tọa độ phẳng trên bề mặt địa diện chân trời của các điểm có dấu khác nhau (hình 2).



Hình 2. Xét dấu tọa độ trên mặt phẳng địa diện chân trời



Hình 3. Xét ảnh hưởng của độ cong Trái đất

3- Hướng trục x của hệ tọa độ địa diện chân trời là hướng Bắc của kinh tuyến đi qua điểm gốc P_0 , trong khi đó hướng trục x của hệ tọa độ phẳng trong phép chiếu trụ ngang UTM (hay Gauss-Kruger) là hướng Bắc của kinh tuyến trục. Như vậy, định hướng của 2 hệ thống tọa độ này hoàn toàn khác hẳn nhau. Chỉ có duy nhất một trường hợp, khi điểm gốc của hệ tọa độ địa diện được chọn nằm trên kinh tuyến trục thì định hướng của 2 hệ thống này trùng khít lên nhau. Đây là điểm rất đáng lưu ý để người dùng có phương án bảo đảm trùng hợp tốt nhất giữa hệ tọa độ địa diện chân trời và hệ tọa độ của công trình hay hệ tọa độ của Nhà nước.

4- Việc lấy mặt phẳng địa diện chân trời thay cho mặt cong của elipsoid đã gây ra những biến dạng nhất định về khoảng cách và độ cao của các điểm. Trên hình 3, M là một điểm trên mặt đất. Trên một phạm vi hẹp, có thể thay mặt elipsoid bằng một mặt cầu bán kính R. H và A là độ cao của điểm M so với mặt cầu và mặt phẳng địa diện. $P_0M_0 = S$ là khoảng cách trên mặt cong từ điểm gốc địa diện đến điểm xét. $P_0M'_0 = d$ là khoảng cách tương ứng trên mặt phẳng địa diện. $M_0M'_0 = \Delta h$ và $d - S = \Delta S$ là những đại lượng đặc trưng cho sai lệch độ cao và khoảng cách khi thay mặt cong bằng mặt phẳng địa diện. Các giá trị này được xác định theo công thức [6]:

$$\Delta S = \frac{d^3}{3R^2} \quad \text{và} \quad \Delta h = \frac{d^2}{2R} \quad (2)$$

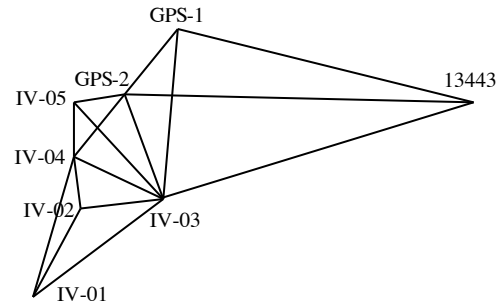
Để nhận thấy rằng, khi khoảng cách d càng lớn thì các sai lệch này càng lớn. Vì vậy, cần phải căn cứ vào yêu cầu độ chính xác đối với khoảng cách và chênh cao để xác định phạm vi sử dụng mặt địa diện (giới hạn bởi vòng tròn tâm P_0 , bán kính d) một cách hợp lý. Khi đó, phép chiếu xuyên tâm có thể được xem là phép chiếu trực giao bề mặt elipsoid lên mặt phẳng [6].

3. Sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong trắc địa công trình

Không như phép chiếu hình trụ ngang đồng góc, phép chiếu lên mặt địa diện chân trời cho phép tính chuyển tọa độ lưới GPS về mặt phẳng công trình khá đơn giản, giúp hạn chế đáng kể suy giảm độ chính xác của lưới do các bước tính chuyển gây ra. Những năm vừa qua, chúng tôi đã nghiên cứu sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong một số dạng công tác TĐCT khi đo bằng công nghệ GPS như: thành lập lưới khống chế thi công, quan trắc chuyển dịch ngang công trình, kiểm tra độ thẳng đứng công trình...

3.1. Sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong thành lập lưới khống chế thi công

Mạng lưới được lấy làm nghiên cứu là lưới thi công thủy điện Nước Nát nằm trên sông Nước Nát, thuộc địa phận xã Trà Bui, huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam [1]. Mạng lưới gồm 08 điểm (hình 4) được đo bằng công nghệ GPS, trong đó các điểm 13443, GPS-1, GPS-2 là các điểm đo nối, đã có tọa độ mặt đất. Sau khi đo đạc, lưới được bình sai theo hệ quy chiếu không gian với Ellipsoid chọn là WGS-84 quốc tế.



Hình 4. Sơ đồ lưới khống chế thi công thủy điện Nước Nát

Các điểm đo nối 13443, GPS-1 và GPS-2 đã có tọa độ công trình, được xác định trong hệ tọa độ VN-2000, múi chiếu 3^0 , kinh tuyến trung ương $107^0 30' 00''$, độ cao mặt công trình 260m. Trước hết, tính chuyển tọa độ GPS của các điểm về hệ tọa độ địa diện chân trời, với điểm gốc của hệ địa diện chọn là điểm trọng tâm của mạng lưới. Sau đó, sử dụng các điểm song trùng là 13443, GPS-1 và GPS-2 để tính chuyển tọa độ địa diện chân trời của các điểm về tọa độ công trình nhờ phép chuyển đổi Helmert.

Sử dụng máy toàn đạc điện tử TC-805L với độ chính xác đo cạnh $m_s=2\text{mm}+2\text{ppm}$ để đo kiểm tra một số cạnh. So sánh chiều dài cạnh đo bằng máy TC-805L với chiều dài cạnh của lưới sau tính chuyển, kết quả thống kê trong Bảng 2.

Các kết quả ở Bảng 2 cho thấy, chiều dài cạnh sau tính chuyển rất phù hợp với chiều dài thực của chúng trên mặt đất. Sự sai khác này nằm trong giới hạn sai số đo, đảm bảo được tính chất quan trọng là lưới ít bị biến dạng (trung bình vào khoảng 1:150.000), đồng thời lưới được xác định tọa độ trong hệ tọa độ phù hợp với công trình.

Bảng 2. So sánh chiều dài cạnh sau khi tính chuyển

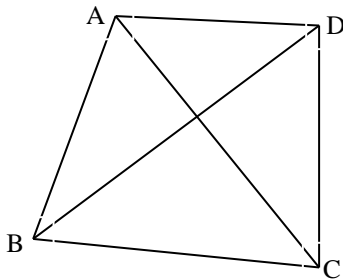
Tên cạnh	Cạnh đo bằng máy TC-805L	Cạnh sau tính chuyển	Sai khác (Δ_s) (mm)	$\frac{ \Delta_s }{S}$
IV-02 - IV-01	862.898	862.904	-6	1:143.800
IV-02 - IV-03	1070.871	1070.864	+7	1:153.000
IV-03 - IV-04	655.516	655.520	-4	1:163.700
IV-03 - IV-05	998.415	998.411	+4	1:249.600

3.2. Sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình

Để đánh giá khả năng sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình bằng công nghệ GPS, đã thực nghiệm quan trắc trên mô hình chuyển dịch thực mạng lưới thực nghiệm 4 điểm như hình 5 trên địa bàn huyện Từ Liêm, thành phố Hà Nội. Đã tiến hành 2 thực nghiệm. Thực nghiệm 1 tạo ra chuyển dịch thực của điểm C theo trục x là 10mm, theo trục y là -10mm. Thực nghiệm 2 tạo ra chuyển dịch thực của điểm C theo trục x là 4mm, theo trục y là -4mm. Chuyển dịch tổng hợp của điểm C trong 2 thực nghiệm tương ứng là 14,2mm và 5,7mm [3].

Sau khi đo đạc, bình sai lưới như một lưới GPS tự do trong hệ tọa độ không gian WGS-84. Thực hiện tính chuyển tọa độ các điểm GPS về hệ tọa độ địa diện chân trời nhận điểm A làm gốc. Từ đó xác định các thông số chuyển dịch các điểm trong mặt phẳng địa diện chân trời. Kết quả thu được như ở bảng 3 [3].

Từ các kết quả tính toán và tổng hợp ở bảng 3 có thể thấy, bằng công nghệ GPS và thuật toán xử lý số liệu hợp lý, kết hợp với việc áp dụng hệ tọa độ địa diện chân trời đã cho phép xác định đúng giá trị chuyển dịch của các điểm. Tuy nhiên, hướng chuyển dịch chưa đạt được kết quả mỹ mãn mà theo chúng tôi, nguyên nhân chính là do la bàn có độ chính xác thấp.

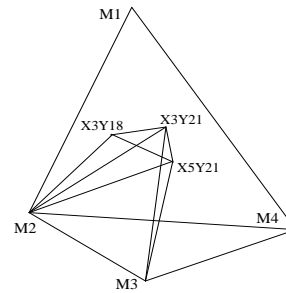


Hình 5. Sơ đồ lưới

3.3 Sử dụng hệ tọa độ địa diện chân trời xác định độ thẳng đứng công trình

Áp dụng hệ tọa độ địa diện chân trời, chúng tôi đã thực nghiệm xác định độ thẳng đứng của công trình tháp A thuộc tổ hợp toà tháp Keangnam Hà Nội trong quá trình thi công tại các chu kỳ 13 và 14, tương ứng với các tầng 40 và 43. Để xác định độ thẳng đứng của công trình này, đơn vị thi công đã xây dựng hệ thống lưới khống chế GPS bao gồm 4 điểm từ M1 đến M4 (Hình 6). Các điểm X3Y18, X3Y21 và X5Y21- giao điểm của các trục cùng tên của công trình- là các điểm được chiếu lên từ sàn tầng 1 bằng máy chiếu đứng lazer và cũng là điểm dùng cho việc kiểm tra. Trong từng chu kỳ, sử dụng 4 máy thu tín hiệu Trimble R3 tiến hành đo tại các điểm của lưới khống chế và tại các điểm kiểm tra, tạo thành đồ hình lưới như ở hình 6.

Để xác định độ nghiêng của công trình trong các chu kỳ, đã xác lập một hệ tọa độ địa diện chân trời cho công trình, nhận điểm X3Y18 làm gốc tọa độ [2]. Sau khi tính chuyển tọa độ bình sai các điểm GPS về tọa độ địa diện chân trời theo thuật toán (1), đã xác định các thông số chuyển dịch của các điểm kiểm tra ngay trên mặt phẳng địa diện chân trời quy chiếu tại điểm X3Y18. Kết quả thu được như ở bảng 4.



Hình 6. Sơ đồ lưới thực nghiệm

Bảng 3. Tổng hợp kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm	Tên điểm	Chuyển dịch thực		Chuyển dịch xác định được trên bề mặt địa diện		Sai lệch (mm) (5) - (3)
		Trị số (mm)	Hướng chuyển dịch	Trị số (mm)	Hướng chuyển dịch	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	C	14.2	Tây- Bắc	14.2	335 ⁰ 22'58''	0.0
2	C	5.7	Tây-Bắc	6.5	357 ⁰ 13'57''	0.8

Bảng 4. Kết quả xác định độ nghiêng tại các điểm kiểm tra

T.	TEN	L E C H T O A D O		LECH
T	DIEM	HUONG x (m)	HUONG y (m)	TOAN PHAN(m)
CK13	X3Y18	-0.008	-0.009	0.012
	X3Y21	-0.003	0.014	0.014
	X5Y21	-0.012	0.006	0.013
CK14	X3Y18	-0.019	-0.012	0.023
	X3Y21	-0.023	0.005	0.023
	X5Y21	-0.022	0.002	0.022

Các kết quả tính toán trên đây hoàn toàn phù hợp với các kết luận của [5].

4. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu nêu trên, có thể rút ra một số kết luận và kiến nghị sau đây:

4.1. Hệ tọa độ địa diện chân trời có nhiều ưu điểm hơn hẳn so với hệ tọa độ phẳng trong phép chiếu trụ ngang, đáp ứng được yêu cầu lựa chọn hệ tọa độ độc lập cho công trình, lại có liên hệ toán học đơn giản nhưng chặt chẽ với hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm. Đây là điều kiện thuận lợi để triển khai ứng dụng nó trong TĐCT khi đo bằng công nghệ GPS.

4.2. Trục x của hệ tọa độ phẳng trong phép chiếu trụ ngang là *hướng của kinh tuyến trục*, còn trục x của hệ tọa độ phẳng trong phép chiếu mặt địa diện là *hướng của kinh tuyến thực*. Vì vậy, khi cần có sự liên hệ tọa độ địa diện chân trời với tọa độ công trình hay tọa độ Nhà nước, nhất thiết phải sử dụng phép biến đổi xoay. Công cụ hữu hiệu nhất trong trường hợp này là phép biến đổi đồng dạng hệ tọa độ của Helmert với số điểm song trùng không ít hơn 2.

4.3. Công nghệ GPS nói riêng và công nghệ định vị vệ tinh GNSS (*Global Navigation Satellite System*) đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong TĐCT. Vì vậy, cần phải triển khai áp dụng và tiếp tục nghiên cứu ứng

dụng hệ tọa độ này trong các công tác TĐCT khi đo bằng công nghệ GPS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Khuất Minh Hằng, 2012. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật: Nghiên cứu lựa chọn hệ quy chiếu hợp lý cho lưới khống chế Trắc địa công trình. Thư viện Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội, tr.83-87.
- [2]. Trần Thùy Linh, 2012. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong thi công xây dựng công trình nhà cao tầng ở Việt Nam, Thư viện Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội, tr.80-83.
- [3]. Hoàng Anh Thế, 2010. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật: Nghiên cứu phương pháp thành lập và xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc chuyển dịch ngang công trình đo bằng công nghệ GPS, Thư viện Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội, 2010, tr.82-90.
- [4]. Nguyễn Quang Phúc, Hoàng Thị Minh Hương và nnk, 2010. Ứng dụng công nghệ GPS xác định chuyển dịch và biến dạng công trình do ảnh hưởng của quá trình khai thác mỏ. Báo cáo tại Hội nghị Quốc tế KHKT Mỏ, tổ chức tại Hạ Long-Việt Nam, 2010, tr.576-581.
- [5]. Vietnam Institute of Building Science and Technology. Report of tilt monitoring for block residence A of the Keangnam landmark tower project. Hanoi, April-2010.
- [6]. В.Е. Новак и др. Курс инженерной геодезии. Изд. “Недра”, Москва, 1989, с. 28-29.

SUMMARY

Using local topocentric coordinate system in engineering surveying

Nguyen Quang Phuc, Hanoi University of Mining and Geology

Local topocentric coordinate system has many advantages in creating engineering surveying networks as measured by the Global Positioning System (GPS). The report presents several results of applying this coordinate system in some tasks of engineering surveying. On this basis, important conclusions and necessary recommendations are drawn.