

SỰ KHÁC BIỆT GIỮA TỌA ĐỘ VUÔNG GÓC PHẪNG UTM VỚI HỆ TỌA ĐỘ VUÔNG GÓC PHẪNG ĐỊA DIỆN CHÂN TRỜI

NCS. LÊ VĂN HÙNG

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong thực tế việc bình sai tính toán mạng lưới trắc địa được thực hiện hoàn toàn trên bề mặt Elipsoid sau đó để có thể sử dụng trong trắc địa công trình, chúng được tính chuyển về tọa độ địa diện chân trời hoặc về tọa độ vuông góc UTM. Việc khảo sát sự khác biệt giữa hệ tọa độ địa diện chân trời và hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM trong trắc địa công trình là một vấn đề cần lưu ý.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay việc ứng dụng công nghệ định vị toàn cầu (GPS) trong công tác lập lưới trắc địa được sử dụng khá phổ biến. Kết quả đo GPS sẽ xác định được tọa độ không gian Xi, Yi, Zi hoặc tọa độ trắc địa Bi, Li, Hi của các điểm trong hệ tọa độ WGS-84 hoặc trong hệ quy chiếu quốc gia VN2000.

Để sử dụng chúng trong trắc địa công trình cần phải tính chuyển tọa độ trắc địa B, L về hệ tọa độ vuông góc phẳng x,y theo phép chiếu hình trụ ngang giữ góc (UTM). Nếu như độ cao của khu đo không quá lớn và việc chọn kinh tuyến trục của phép chiếu UTM hợp lý thì biến dạng chiều dài khá nhỏ, nhưng đối với trường hợp chọn kinh tuyến trục không phù hợp và độ cao khu vực xét khá lớn thì biến dạng chiều dài là đáng kể.

Trong thực tế, ngoài hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM người ta có thể sử dụng hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời cho các công trình tập trung trên một diện tích không lớn [1,2]. Để thiết lập hệ tọa độ này, cần chọn 1 điểm quy chiếu, tại đó thiết lập ma trận xoay R và điểm đó cũng chính là điểm gốc của hệ tọa độ địa diện.

Có thể tính toán khảo sát biến dạng chiều dài trong các trường hợp độ cao (H) của khu đo khác nhau và sự khác biệt giữa hai hệ tọa độ địa diện chân trời và hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM. Trên cơ sở đó có thể đưa ra kết luận về khả năng ứng dụng của từng hệ tọa độ trong trắc địa công trình.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Tọa độ vuông góc phẳng theo phép chiếu hình trụ ngang giữ góc UTM

Theo phép chiếu UTM, vị trí của một điểm trên mặt Ellipsoid được xác định qua tọa độ phẳng X, Y theo công thức sau [1, 2]:

$$\begin{aligned} x = m_0 [& X_0 + N \sin B \frac{1^2}{2} \cos B + N \sin B \cdot \frac{1^4}{24} \cos^3 B (4\psi^2 + \psi - t^2) + \\ & N \sin B \frac{1^6}{720} \cdot \cos^5 B \{ 8\psi^4 (11 - 24t^2) - 28\psi^3 (1 - 6t^2) + \psi^2 (1 - 32t^2) - \\ & \psi (2t^2) + t^4 \} + N \sin B \frac{1^8}{40320} \cos^7 B (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6)] \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó, X_0 là chiều dài cung kinh tuyến từ xích đạo đến vĩ độ B.

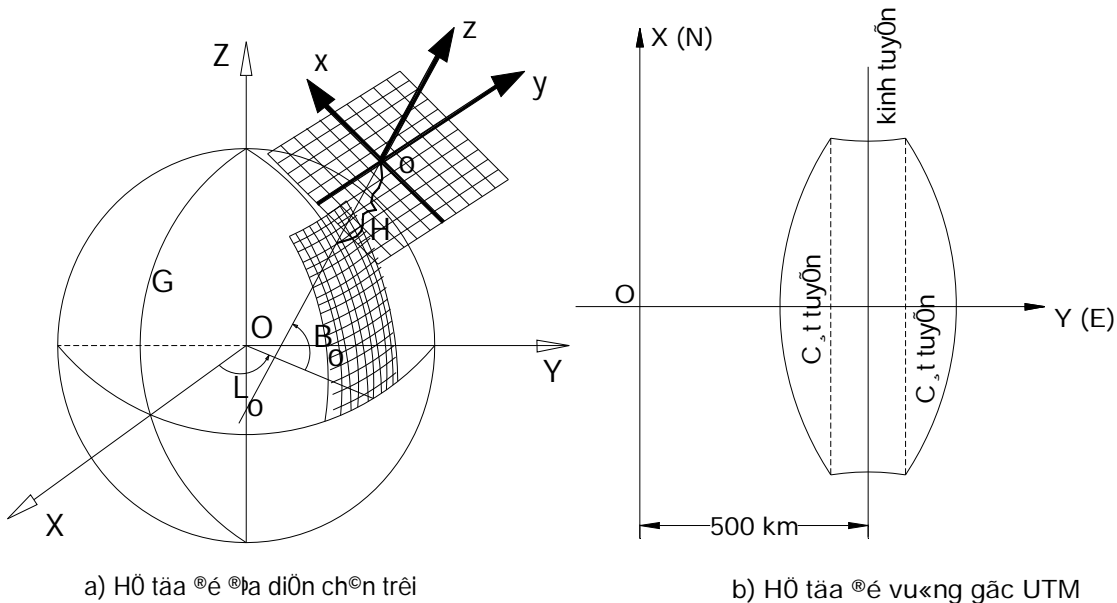
$$y = m_0 \left[N \cdot l \cos B + N \frac{1^3}{6} \cos^3 B (\psi - t^2) + N \frac{1^5}{120} \cos^5 B \{ 4\psi^3 (1 - 6t^2) + \psi^2 (1 + 8t^2) - 2\psi \cdot t^2 + t^4 \} + N \frac{1^7}{5040} \cos^7 B (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \right] \quad (2)$$

trong đó hiệu độ kinh $l = L - L_0$, với L_0 là độ kinh của kinh tuyến trung ương;

$$t = \operatorname{tg} B \quad (3)$$

$$\psi = \frac{N}{M} = \frac{(1 - e^2 \sin^2 B)}{(1 - e^2)}; \quad M = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 B)^3}} \quad (4)$$

Trong các công thức tính đổi tọa độ (1), (2), giá trị m_0 là tỷ lệ biến dạng chiều dài trên kinh tuyến trung ương của múi chiếu. Nếu là phép chiếu Gauss-Krieger thì $m_0 = 1$, nếu là phép chiếu UTM theo múi 6° thì $m_0 = 0,9996$, và nếu là phép chiếu UTM theo múi 3° thì $m_0 = 0,9999$ [4].



Hình 1. Hệ tọa độ địa diện chân trời và hệ tọa độ vuông góc UTM

Hiện nay theo quy định của nhà nước các bản đồ tỷ lệ nhỏ và lớn đều sử dụng hệ tọa độ VN2000, phép chiếu UTM múi 6° hoặc múi 3° .

2.2 Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời

Hệ tọa độ địa diện chân trời được sử dụng trong trắc địa vệ tinh, trắc địa thiên văn, chủ yếu là liên quan đến điểm quan sát vệ tinh, thiên văn. Hệ tọa độ này được thiết lập dựa vào một điểm quy chiếu B_0, L_0, H_0 hoặc x, y, z trên mặt đất (mang tính địa phương). Quan hệ giữa tọa độ vuông góc không gian địa tâm và hệ tọa độ không gian địa diện chân trời được biểu diễn thông qua các công thức dưới đây[2]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ Y - (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ Z - [N_0(1 - e^2) + H_0] \cdot \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Trong đó:

X, Y, Z - tọa độ vuông góc không gian địa tâm;

B_0, L_0, H_0 - tọa độ trắc địa của điểm trọng tâm lưới (hay góc tọa độ của hệ tọa độ địa diện);

N_0 - bán kính cong vòng thẳng đứng thứ nhất đi qua hệ tọa độ địa tâm.

$$N_0 = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 B_0 + b^2 \sin^2 B_0}} \quad (6)$$

a, b - bán trục lớn và bán trục nhỏ của Ellipsoid WGS 84;

e - tâm sai thứ nhất của Ellipsoid.

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (7)$$

3. Tính toán khảo sát sai khác giữa hai hệ tọa độ

Sau khi bình sai GPS sẽ xác định được tọa độ không gian X_i, Y_i, Z_i hoặc tọa độ trắc địa B_i, L_i, H_i của các điểm trong hệ tọa độ WGS-84 và để sử dụng chúng trong trắc địa công trình cần phải tính chuyển về hệ tọa độ địa diện chân trời hoặc về hệ tọa độ vuông góc UTM. Muốn chuyển tọa độ của một điểm bất kỳ từ mặt cong (mặt Ellipsoid WGS 84) về mặt phẳng (địa diện hoặc UTM) đều gây ra biến dạng về chiều dài và diện tích. Chúng ta tiến hành khảo sát để xác định được giá trị biến dạng này.

Chọn lưới khảo sát gồm 20 x 20 ô, mỗi ô có kích thước $\Delta B, \Delta L = 10''$. Mỗi mắt lưới có tọa độ B_i, L_i, H_i (có 441 mắt lưới) tại các vùng có độ cao khác nhau. Cụ thể:

- Tại vùng đồng bằng chọn độ cao của các điểm trong mắt lưới đều bằng 6 m và tọa độ trắc địa B, L, H của điểm bên trái phía dưới tương ứng là $21^0 0' 0'', 105^0 45' 0'', 6$ m;

- Tại vùng trung du chọn độ cao của các điểm trong mắt lưới đều bằng 100m và tọa độ trắc địa B, L, H của điểm bên trái phía dưới tương ứng là $21^0 0' 0'', 105^0 45' 0'', 100$ m;

- Tại vùng núi chọn độ cao của các điểm trong mắt lưới đều bằng 700 m và tọa độ trắc địa B, L, H của điểm bên trái phía dưới tương ứng là $21^0 0' 0'', 105^0 45' 0'', 700$ m.

3.1 Xác định khoảng cách $d_{i-g}^{(1)}$ giữa các điểm trong hệ tọa độ không gian X_i, Y_i, Z_i của mắt lưới với điểm quy chiếu

Từ tọa độ của các điểm khảo sát B_i, L_i, H_i tính chuyển về X_i, Y_i, Z_i theo [2,3], sau đó ta tính được khoảng cách theo công thức (8)

$$d_{i-g}^{(1)} = \sqrt{\Delta X_{i-g}^2 + \Delta Y_{i-g}^2 + \Delta Z_{i-g}^2} \quad (8)$$

Chiều dài $d_{i-g}^{(1)}$ là khoảng cách không gian giữa các điểm có cùng độ cao trắc địa, coi là khoảng cách thực.

3.2 Xác định khoảng cách $d_{i-g}^{(2)}$ giữa các điểm trong hệ tọa độ địa diện x_i, y_i của mắt lưới với điểm quy chiếu

Từ tọa độ của các điểm khảo sát B_i, L_i tính chuyển về x_i, y_i , theo [2,3], sau đó ta tính được khoảng cách theo công thức (9)

$$d_{i-g}^{(2)} = \sqrt{\Delta x_{i-g}^2 + \Delta y_{i-g}^2} \quad (9)$$

Chiều dài $d_{i-g}^{(2)}$ là chiều dài trên mặt phẳng nằm ngang (mặt phẳng chân trời) đi qua điểm quy chiếu.

3.3. Xác định khoảng cách $d_{i-g}^{(3)}$ giữa các điểm trong hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM X_i, Y_i của mắt lưới với điểm quy chiếu

Từ tọa độ của các điểm khảo sát Bi, Li tính chuyển về x_i, y_i theo [2,3] sử dụng kinh tuyến trung ương 105° , múi chiếu 3° ($m_0=0,9999$), sau đó ta tính được khoảng cách theo công thức (10)

$$d_{i-g}^{(3)} = \sqrt{\Delta x_{i-g}^2 + \Delta y_{i-g}^2} \quad (10)$$

Trong đó:

i - điểm xét thứ i;

g - điểm quy chiếu (điểm gốc hoặc điểm trọng tâm);

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$; $\Delta x, \Delta y$; $\Delta X, \Delta Y$ - gia số tọa độ giữa điểm xét và điểm quy chiếu.

3.4 Khảo sát biến dạng chiều dài giữa hệ tọa độ địa diện chân trời và hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM

Giá trị biến dạng chiều dài giữa tọa độ vuông góc không gian và tọa độ địa diện.

$$\delta_{i-g}^{(1)-(2)} = d_{i-g}^{(1)} - d_{i-g}^{(2)} \quad (11)$$

Giá trị biến dạng chiều dài giữa tọa độ vuông góc không gian và tọa độ vuông góc UTM

$$\delta_{i-g}^{(1)-(3)} = d_{i-g}^{(1)} - d_{i-g}^{(3)} \quad (12)$$

3.5 Kết quả tính toán

Từ những công thức trên và số liệu khảo sát tiến hành tính toán cho được kết quả dưới đây:

a. Kết quả khảo sát vùng đồng bằng ($h=6$ m)

Tên điểm	Tọa độ trắc địa			Tọa độ không gian		
	B(° ' ")	L(° ' ")	H(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
22	21 00 10.00	105 45 0.00	6	-1616960.0552	5733307.8876	2271684.287
36	21 00 10.00	105 47 20.00	6	-1620851.1030	5732209.0730	2271684.287
98	21 00 40.00	105 47 10.00	6	-1620483.2161	5731969.3716	2272545.6091
176	21 01 20.00	105 46 10.00	6	-1618695.8828	5732015.9181	2273693.9646
219	21 01 40.00	105 46 20.00	6	-1618913.7926	5731725.0619	2274268.1109
220	21 01 40.00	105 46 30.00	6	-1619191.6725	5731646.5680	2274268.1109
221	21 01 40.00	105 46 40.00	6	-1619469.5487	5731568.0606	2274268.1109
Tên điểm	Tọa độ địa diện			Tọa độ UTM		
	x(m)	y(m)	z(m)	X(m)	Y(m)	
22	-2768.1841	-2887.5346	1.2573	2323334.9885	577970.2265	
36	-2767.9733	1155.0139	0.7084	2323354.4501	582013.3135	
98	-1845.3123	866.2604	0.3272	2324275.6427	581719.9826	
176	-615.1196	-866.2604	0.0886	2325497.3605	579981.3995	
219	-0.0100	-577.5069	0.0261	2326113.8308	580267.1797	
220	-0.0025	-288.7535	0.0065	2326115.2298	580555.9237	
221	0.0000	0.0000	0.0000	2326116.6338	580844.6679	

b. Kết quả khảo sát vùng trung du ($h=100$ m)

Tên điểm	Tọa độ trắc địa			Tọa độ không gian		
	B(° ' ")	L(° ' ")	H(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
22	21 00 10.00	105 45 0.00	100	-1616983.8754	5733392.3478	2271717.9780
36	21 00 10.00	105 47 20.00	100	-1620874.9805	5732293.5170	2271717.9780
98	21 00 40.00	105 47 10.00	100	-1620507.0882	5732053.8121	2272579.3127
176	21 01 20.00	105 46 10.00	100	-1618719.7286	5732100.3592	2273727.6853
219	21 01 40.00	105 46 20.00	100	-1618937.6416	5731809.4987	2274301.8400
220	21 01 40.00	105 46 30.00	100	-1619215.5256	5731731.0036	2274301.8400
221	21 01 40.00	105 46 40.00	100	-1619493.4059	5731652.4951	2274301.8400

Tên điểm	Tọa độ địa diện			Tọa độ UTM	
	x(m)	y(m)	z(m)	X(m)	Y(m)
22	-2768.2251	-2887.5772	1.2573	2323334.9885	577970.2265
36	-2768.0143	1155.0309	0.7084	2323354.4501	582013.3135
98	-1845.3397	866.2732	0.3272	2324275.6427	581719.9826
176	-615.1287	-866.2732	0.0886	2325497.3605	579981.3995
219	-0.0100	-577.5155	0.0261	2326113.8308	580267.1797
220	-0.0025	-288.7577	0.0065	2326115.2298	580555.9237
221	0.0000	0.0000	0.0000	2326116.6338	580844.6679

c. Kết quả khảo sát vùng núi (h=700 m)

Tên điểm	Tọa độ trắc địa			Tọa độ không gian		
	B(° ' ")	L(° ' ")	H(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
22	21 00 10.00	105 45 0.00	700	-1617135.9195	5733931.4554	2271933.0260
36	21 00 10.00	105 47 20.00	700	-1621027.3905	5732832.5212	2271933.0260
98	21 00 40.00	105 47 10.00	700	-1620659.4635	5732592.7936	2272794.4420
176	21 01 20.00	105 46 10.00	700	-1618871.9358	5732639.3449	2273942.9233
219	21 01 40.00	105 46 20.00	700	-1619089.8692	5732348.4569	2274517.1324
220	21 01 40.00	105 46 30.00	700	-1619367.7794	5732269.9545	2274517.1324
221	21 01 40.00	105 46 40.00	700	-1619645.6858	5732191.4386	2274517.1324

Tên điểm	Tọa độ địa diện			Tọa độ UTM	
	x(m)	y(m)	z(m)	X(m)	Y(m)
22	-2768.4869	-2887.8487	1.2575	2323334.9885	577970.2265
36	-2768.2761	1155.1395	0.7085	2323354.4501	582013.3135
98	-1845.5142	866.3546	0.3272	2324275.6427	581719.9826
176	-615.1869	-866.3546	0.0886	2325497.3605	579981.3995
219	-0.0100	-577.5698	0.0261	2326113.8308	580267.1797
220	-0.0025	-288.7849	0.0065	2326115.2298	580555.9237
221	0.0000	0.0000	0.0000	2326116.6338	580844.6679

d. Bảng kết quả khảo sát biến dạng chiều dài:

STT	Tên điểm			Khoảng cách khảo sát (m)			Chênh lệch khoảng cách (m)		Vùng khảo sát
	Đầu	-	Cuối	Không gian (KG)	Địa diện (DD)	UTM	KG - DD	KG - UTM	
1	221	-	22	4000.0876	4000.0874	3999.9955	0.0002	0.0921	Vùng đồng bằng (h=6m)
2	221	-	36	2999.2889	2999.2888	2999.2319	0.0001	0.0570	
3	221	-	98	2038.5251	2038.5251	2038.4858	0.0000	0.0394	
4	221	-	176	1062.4402	1062.4402	1062.4178	0.0000	0.0224	
5	221	-	219	577.5069	577.5069	577.4950	0.0000	0.0120	
6	221	-	220	288.7535	288.7535	288.7476	0.0000	0.0059	
7	221	-	221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
1	221	-	22	4000.1467	4000.1465	3999.9955	0.0002	0.1512	Vùng trung du (h=100m)
2	221	-	36	2999.3333	2999.3332	2999.2319	0.0001	0.1015	
3	221	-	98	2038.5553	2038.5553	2038.4858	0.0000	0.0696	
4	221	-	176	1062.4559	1062.4559	1062.4178	0.0000	0.0381	
5	221	-	219	577.5155	577.5155	577.4950	0.0000	0.0205	
6	221	-	220	288.7577	288.7577	288.7476	0.0000	0.0102	
7	221	-	221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
1	221	-	22	4000.5239	4000.5237	3999.9955	0.0002	0.5284	Vùng núi (h=700m)
2	221	-	36	2999.6167	2999.2319	2998.9862	0.0001	0.3849	
3	221	-	98	2038.7479	2038.7479	2038.4858	0.0000	0.2622	
4	221	-	176	1062.5560	1062.5560	1062.4178	0.0000	0.1382	
5	221	-	219	577.5698	577.5698	577.4950	0.0000	0.0748	
6	221	-	220	288.7849	288.7849	288.7476	0.0000	0.0373	
7	221	-	221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

4. Kết luận

Qua các kết quả tính toán ở trên có thể thấy rằng:

- Trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời, mặt phẳng x,y của hệ tọa độ đi qua điểm quy chiếu có độ cao xấp xỉ độ cao trung bình của khu vực khảo sát, do đó độ cao khu đo không ảnh hưởng đến biến dạng chiều dài cạnh khi chiếu lên mặt phẳng như trong phép chiếu UTM;

- Tại các vùng có độ cao khác nhau, khoảng cách của các điểm sau khi chuyển về hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời gần như trùng với khoảng cách thực, xét cho bán kính tới trên 4 km;

- Khoảng cách của các điểm sau khi chuyển về hệ tọa độ vuông góc UTM đối với vùng đồng bằng, trung du và vùng núi có sự khác biệt rõ rệt. Đối với vùng trung du và vùng núi, ảnh hưởng của độ cao đến biến dạng chiều dài là khá lớn;

- Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời có thể sử dụng cho các công trình có hình thể không kéo dài mà nằm gọn trong một diện tích gần vuông hoặc gần tròn với bán kính không quá 5km.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ĐẶNG NAM CHINH, ĐỖ NGỌC ĐUỜNG, "Giáo trình Định vị vệ tinh (A)", *Trường Đại học Mỏ địa chất, Hà Nội, 2012.*
2. ĐẶNG NAM CHINH, "Hệ quy chiếu trắc địa", *Bài giảng cao học, Trường Đại học Mỏ địa chất, Hà Nội, 2009.*
3. GS.TSKH HOÀNG NGỌC HÀ, "Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS", *Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 2006.*
4. TCXDVN 309:2004, Công tác trắc địa trong xây dựng - Yêu cầu chung.