

XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO LẬP GÓC – CẠNH ĐỂ XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ BIẾN DẠNG

Đào Xuân Lộc

Trường ĐH Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 23 tháng 9 năm 2003)

TÓM TẮT: Bài báo trình bày tính các tham số biến dạng: véc tơ dịch chuyển, nén, giãn quay, thay đổi diện tích bề mặt qua chương trình tính CTT1 xử lý số liệu đo lập trong lưới đo góc – cạnh. Ngoài ra, đánh giá độ tin cậy của chúng. Chương trình tính này có thể áp dụng dùng xử lý số liệu đo lập trắc địa trên các bãi địa động học hoặc biến dạng công trình thủy lợi, thủy điện.

Để nghiên cứu chuyển động hiện đại vỏ trái đất trên các bãi địa động học, hoặc biến dạng của các hồ chứa nước hệ thống thủy lợi, thủy điện thường lập lưới GPS hoặc lưới góc cạnh rồi tiến hành đo lập theo các chu kỳ. Từ xử lý số liệu đo, tính véc tơ chuyển dịch các điểm quan trắc, biến dạng nén, giãn, quay bề mặt trong phạm vi từng tam giác bao trùm khu vực quan trắc.

Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi giới thiệu kết quả tính toán, xử lý lưới đo lập góc – cạnh qua 1 chương trình tính có tên là 'CTT1'.

1. Tóm tắt cơ sở lý thuyết:

Trên cơ sở đánh giá độ chính xác đo góc theo sai số khép hình các tam giác và sai số khép của lưới đo toàn cạnh tính được sai số trung phương đo góc m_β và m_s (trong trường hợp trong lưới chỉ đo một số cạnh, m_s được lấy theo kết quả kiểm nghiệm trên bãi kiểm định, hoặc theo lý lịch máy), thiết lập trọng số trị đo góc P_β và trị đo cạnh P_s , tiến hành bình sai lưới góc – cạnh như là lưới tự do để có được tọa độ bình sai X, Y và sai số trung phương vị trí điểm riêng biệt từng chu kỳ đo. Có X, Y các điểm lưới của 2 chu kỳ j và $j+1$ tính được véc tơ chuyển dịch $\Delta x, \Delta Y$ và độ tin cậy của chúng.

Trong phạm vi từng tam giác, khi đã có $\Delta X, \Delta Y$, để tính các tenxơ biến dạng, chọn 1 đỉnh bất kỳ làm gốc tọa độ (ví dụ đỉnh 1), tính dịch chuyển 2 đỉnh còn lại (có số hiệu 2,3)
 $U_2 = \Delta X_2 - \Delta X_1$, $V_2 = \Delta Y_2 - \Delta Y_1$, $U_3 = \Delta X_3 - \Delta X_1$, $V_3 = \Delta Y_3 - \Delta Y_1$ và các số gia tọa độ: $x_2 = X_2 - X_1$, $y_2 = Y_2 - Y_1$, $x_3 = X_3 - X_1$, $y_3 = Y_3 - Y_1$.

Từ các số liệu nêu trên, tính tenxơ biến dạng theo các công thức [1],[2],[3] đã được chứng minh sau:

$$\left. \begin{aligned} e_{11} &= \frac{y_3 u_2 - y_2 u_3}{x_2 y_3 - x_3 y_2} & e_{21} &= \frac{y_3 v_2 - y_2 v_3}{x_2 y_3 - x_3 y_2} \\ e_{12} &= \frac{-x_3 u_2 + x_2 u_3}{x_3 y_2 - x_2 y_3} & e_{22} &= \frac{-x_3 v_2 + x_2 v_3}{x_2 y_3 - x_3 y_2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$e_{11} = \frac{\partial u}{\partial x}$, $e_{12} = \frac{\partial u}{\partial y}$; $e_{21} = \frac{\partial v}{\partial x}$; $e_{22} = \frac{\partial v}{\partial y}$, mà bản chất của chúng là đặc trưng cho sự thay đổi u, v theo trục x, y .

Như vậy, các tenơ biến dạng tính được trên cơ sở tọa độ 3 đỉnh tam giác và vectơ chuyển dịch của chúng.

2. Các đặc trưng biến dạng quay(ω), giãn, nén(E_1, E_2), diện tích bề mặt (Δ) thực chất là hàm các tenơ biến dạng với các công thức tính như sau :

$$w = \frac{1}{2}(e_{21} - e_{12}) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \left(\Delta \pm \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} \right) \quad (3)$$

$$\Delta = e_{11} + e_{22} \quad (4)$$

với $\gamma_1 = e_{11} - e_{22}$ là độ chuyển dịch thuần túy ; tham số phụ $\gamma_2 = e_{12} + e_{21}$
và $\gamma^2 = \gamma_1^2 + \gamma_2^2$

Biến dạng E_1 ứng với θ_0 - là phương vị mà theo hướng đó giá trị biến dạng đạt cực trị

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \arctg \left(-\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right) \pm \begin{cases} 90^\circ \\ 0^\circ \end{cases} \quad (5)$$

Nếu $\gamma > |\Delta|$ ta có $E_1 > 0$, do đó E_1 là trục giãn cực đại còn vuông góc với E_1 là E_2 - trục nén cực đại.

Khi $\Delta > 0$ và $\Delta > \gamma$ thì E_1 là trục giãn cực đại và E_2 là trục giãn cực tiểu.

Kết hợp các công thức nêu trên có:

$$\gamma_1 = \frac{(-x_2 v_3 - y_2 u_3 + x_3 v_2 + y_3 u_2)}{(x_2 y_3 - x_3 y_2)} ; \quad \gamma_2 = \frac{(x_2 u_3 - y_2 v_3 - x_3 u_2 + y_3 v_2)}{(x_2 y_3 - x_3 y_2)}$$

$$\Delta = \frac{(x_2 u_3 + y_2 v_3 - y_3 u_2 - x_3 v_2)}{(x_2 y_3 - x_3 y_2)} ; \quad \omega = \frac{(x_2 v_3 - y_2 u_3 - x_3 v_2 + y_3 u_2)}{(x_2 y_3 - x_3 y_2)}$$

(6)

Nói tóm lại, ta sẽ xác định được giãn, nén cực đại cực tiểu tại bất kì điểm nào trong tam giác 1,2,3 nếu biết tọa độ x, y của điểm đó. Tuy nhiên, hướng giãn nén cực trị là hướng chúng ta quan tâm nhất. Do đó, khi tính E_1, E_2 cho mỗi tam giác thì biểu diễn 2 yếu tố này tại trọng tâm của tam giác vừa tính.

Trên đây là các công thức tính các đặc trưng biến dạng (đtbd) trong phạm vi bề mặt giới hạn bởi 3 đỉnh tam giác. Cũng có thể xác định các đtbd dựa vào số liệu đo lập trực tiếp góc β , cạnh s và phương vị cạnh của từng tam giác:

Nếu gọi các số hiệu chỉnh vào phương vị, góc, cạnh tương ứng là $(\delta\theta)$, $(\delta\beta)$, và (e) ta sẽ có phương trình hiệu chỉnh sau :

$$(\delta\theta) = \frac{1}{2}\gamma_1 \sin 2\theta + \frac{1}{2}\gamma_2 \cos 2\theta + \omega - d\theta \quad (7)$$

$$(e) = -\frac{1}{2}\gamma_1 \cos 2\theta + \frac{1}{2}\gamma_2 \sin 2\theta + \frac{1}{2}\Delta - e \quad (8)$$

$$(\delta\beta) = [\gamma_1 \cos(\theta_{ik} + \theta_{ij}) - \gamma_2 \sin(\theta_{ik} + \theta_{ij}) \sin \beta_i - \delta\beta_i] \quad (9)$$

k, i, j là số hiệu 3 đỉnh của tam giác k, i, j. Các số hạng tự do $d\theta$, e , $\delta\beta$ phải được biểu thị ở đơn vị tương đối và radian.

$$e = \frac{\Delta S}{S} \cdot 10^6; d\theta = \frac{d\theta''}{\rho''} \cdot 10^6; \delta\beta = \frac{d\beta''}{\rho''} \cdot 10^6 \quad (10)$$

Bây giờ xét các trường hợp sau đây:

- Nếu trong tam giác chỉ đo lập phương vị:

Trong trường hợp này ta theo phương trình hiệu chỉnh (7), để tìm được các tham số $\gamma_1, \gamma_2, \omega$ chúng ta phải cần 3 phương trình số hiệu chỉnh phương vị độc lập 3 hướng của ba cạnh tam giác:

- Trong trường hợp chỉ đo lập góc ta có:

3 phương trình số hiệu chỉnh (9), nhưng nếu các góc được bình sai theo điều kiện hình trước khi tính số hạng tự do $\delta\beta$ thì trong 3 phương trình chỉ có hai phương trình độc lập. Từ 2 phương trình hiệu chỉnh 2 góc, giải ra ta sẽ có:

$$\gamma_1 = [\delta\beta_j \sin \beta_j \sin(\theta_{ij} + \theta_{ik}) - \delta\beta \sin \beta_i \sin(\theta_{ji} + \theta_{ik})] / \sin \beta_k$$

$$\gamma_2 = [\delta\beta_j \sin \beta_j \cos(\theta_{ij} + \theta_{ik}) - \delta\beta \sin \beta_i \cos(\theta_{ji} + \theta_{ik})] / \sin \beta_k$$

- Sử dụng đo dài để tính tsbd:

Nếu trong tam giác đo lập 3 cạnh thì chúng ta có 3 phương trình số hiệu chỉnh dạng (8), mà các ẩn là $\gamma_1, \gamma_2, \Delta$. Như vậy khi đo lập trong tam giác 3 cạnh, giải 3 phương trình (8) để tìm $\gamma_1, \gamma_2, \Delta$.

- Trong trường hợp có đo lập cạnh, góc thì từ 3 phương trình (8) và 3 phương trình (9) giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất ta sẽ có $\gamma_1, \gamma_2, \Delta$

Như vậy, từ xử lý số hiệu đo lập trực tiếp, muốn tìm tham số quay ω phải đo lập ít nhất 1 phương vị. Khi có số liệu đo lập góc, cạnh, phương vị thì kết hợp bình sai để tìm các tham số biến dạng $\gamma_1, \gamma_2, \Delta$ trong phạm vi lãnh thổ từng tam giác.

3. Đánh giá độ chính xác các đtbđ:

Từ bình sai lưới đo góc cạnh ta có ma trận trọng số đảo Q, mà các đtbđ là hàm véc tơ chuyển dịch như là hiệu tọa độ 2 chu kỳ, do đó không khó khăn ta tính được trọng số đảo của các đtbđ. Trong trường hợp sử dụng số liệu đo lập trực tiếp góc, cạnh, phương vị của mỗi tam giác để tính các đtbđ, trọng số đảo của chúng cũng được tính tương tự.

4. Kết quả xử lý số liệu đo lập qua chương trình CTT1.for:

Để chạy chương trình CTT1.for cần tạo file dữ liệu hung1.pas, còn kết quả tính nằm trong file kqbs.in (chi tiết hai file hung1.pas, kqbs.in mô tả trong phần phụ lục). Dưới đây là kết quả tính toán cho lưới ở hình 1 và số liệu đo 2 chu kỳ ở bảng 1: Khi bình sai trọng số trị đo hướng nhận bằng 1, còn trọng số trị đo cạnh $P_s = \frac{\mu^2}{m_s^2}$, với $m_s = 2 + 2 \times 0.000001$ S và μ lấy từ kết quả đánh giá độ chính xác đo góc.

Bảng 1: Số liệu đo hướng và cạnh chu kỳ 1 và 2

Điểm đo	Tên hướng đo	Trị hướng chu kỳ 1 N'_{ik}	ΔN_{ik}^{1-2}	Trị cạnh đo chu kỳ 1 S_{ik} (m)	ΔS_{ik}^{1-2} (m)
I	I - II	0° 0' 0"	0"	1068,318	-0.002
	I - DC ₂	8 20 47,4	1,6	859,321	-0.025
	I - DC ₁	30 53 43,8	1,2	1047,860	-0.035
	I - III	68 23 11,8	-2,3	793,095	0,000
II	II - I	0 0 0	0		
	II - DC ₁	287 27 07,4	9,4	564,003	0.005
	II - III	316 28 13,0	-0,2	1070,581	-0,020
	II - DC ₂	330 14 7,0	1,9	251,246	0,016
III	III - I	0 0 0	0		
	III - DC ₂	63 56 52,9	-4,0	828,688	-0,024
	III - II	68 05 06,0	-1,4		
	III - DC ₁	93 26 22,8	-5,6	638,905	-0,027
DC ₁	DC ₁ - III	0 0 0	0		
	DC ₁ - I	49 04 13,9	5,5		
	DC ₁ - DC ₂	101 25 11,5	6,1	416,203	-0,016
	DC ₁ - II	125 37 36,4	14,9		
DC ₂	DC ₂ - II	0 0 0	0		
	DC ₂ - DC ₁	113 00 35,9	-0,9		
	DC ₂ - III	162 05 53,8	-5,4		
	DC ₂ - I	218 06 36,0	3,5		
I - II	Góc định hướng	35°28'30"	0,1		0.1

Kết quả bình sai chu kỳ 1:

Bảng 2: Toạ độ bình sai lưới và sai số đơn vị trọng số $\mu=1.56$

điểm	X gần đúng	ΔX	X Bình sai	Y gần đúng	ΔY	Y Bình sai	M_x	M_y	M	$\Delta X'$	$\Delta Y'$
I			1305880.000			721420.000					
II	1306750.000	-0.008	1306750.008	722040.000	.002	722039.998	.002	.002	.003	0.000	0.000
III	1305690.000	-0.001	1305690.001	722190.000	.000	722190.000	.003	.003	.005	-0.002	0.001
DC1	1306300.000	-0.006	1306300.006	722380.000	.001	722379.999	.003	.002	.004	-0.001	0.001
DC2	1306500.000	-0.006	1306500.006	722015.000	.001	722014.999	.003	.002	.003	-0.002	0.001

Ghi chú: $\Delta X', \Delta Y'$ là hiệu toạ độ khi bình sai theo [5] và theo ctt1

Kết quả đánh giá độ chính xác cạnh và phương vị cho bất kỳ cạnh hoặc phương vị quan tâm, ví dụ đối với cạnh DC1-DC2 có $M_s = 0.002$ m, $M_\alpha = 1,1''$; đối với cạnh II-DC1 có $M_s = 0.002$ m, $M_\alpha = 1,0''$;

Kết quả bình sai chu kỳ 2:

Bảng 3: Toạ độ bình sai lưới và sai số đơn vị trọng số $\mu=1.04$ "

điểm	X gần đúng	ΔX	X Bình sai	Y gần đúng	ΔY	Y Bình sai	M_x	M_y	M
I			1305880.000			721420.000			
II	1306750.008	.007	1306750.001	722039.998	.005	722039.993	.002	.001	.002
III	1305690.001	-.004	1305690.005	722190.000	-.001	722190.001	.002	.002	.003
DC1	1306300.006	.020	1306299.986	722379.999	.024	722379.975	.002	.002	.003
DC2	130650.006	.025	1306499.981	722014.999	.008	722014.990	.002	.001	.002

Bảng 4: Tính véc tơ chuyển dịch R

điểm	R (mm)	M_R (mm)	α_R (độ)
II	.008	.004	215.5
III	.004	.003	9.6
DC1	.031	.004	230.0
DC2	.027	.004	198.5

Đối với chu kỳ 2 ,kết quả đánh giá độ chính xác đối với cạnh DC1-DC2 có $M_s=0.001$ m, $M_\alpha=0,75''$; đối với cạnh II-DC1 có $M_s=0.002$ m, $M_\alpha=0,65''$;

Bảng 5: Tính tham số biến dạng theo véc tơ chuyển dịch các đỉnh tam giác theo kết quả bình sai 2 chu kỳ đo

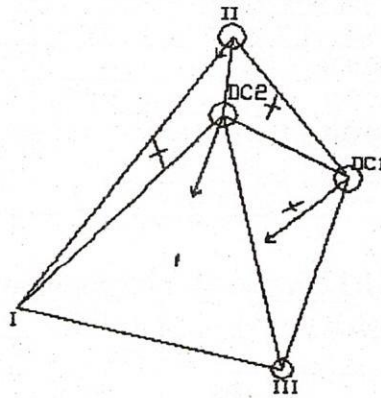
STT	Tam giác	γ_1	γ_2	Δ	m_{γ_1}	ω	m_ω	E_1	E_2	m_e	$\theta_c(o'')$
1	I,II,III	9.5	-2.3	-10.2	2.9	-4.1	3.1	-.2	-10.0	2.6	96 41
2	I,II,DC2	-119.9	-115.5	54.6	8.6	75.5	9.5	110.5	-55.9	8.7	-21 57
3	I,III,DC2	35.1	-15.4	-39.0	3.1	-4.0	3.2	-.3	-38.7	2.6	101 51
4	II,III,DC2	42.4	354.9	120.5	15.6	-171.1	21.9	239.0	-118.4	15.9	48 24
5	II,DC1,DC2	-101.2	69.6	36.2	7.1	-17.0	6.7	79.5	-43.3	6.4	17 14
6	II,III,DC1	-57.9	-81.0	-96.8	5.3	24.4	5.5	1.4	-98.2	2.3	-27 13
7	III,DC1,DC2	-17.2	-29.6	-92.5	4.6	-8.3	4.7	-29.1	-63.4	2.4	-29 52
8	I,III,DC1	30.0	-41.7	-46.7	3.8	-16.8	3.9	2.3	-49.1	3.0	117 6
9	I,II,DC1	-43.0	-7.7	-22.2	3.3	21.6	3.4	10.7	-32.9	2.6	-5 5
10	I,DC1,DC2	3.0	12.3	-68.1	4.5	11.5	4.4	-27.7	-40.4	1.8	51 47

Bảng 6: Tính tham số biến dạng theo số liệu đo trực tiếp

STT	Tam giác	Ssk	γ_1	m_{γ_1}	γ_2	m_{γ_2}	Δ	m_Δ	ω	m_ω	E_1	E_2	θ_e
1	I,II,III	-2.2	15.8	5.	5.9	5.	-12.1	5.	-8.0	3.	2.4	-14.5	79 47
2	I,II,DC2	-3.2	-107.0	14.	-110.3	15.	56.6	13.	69.0	8.	105.1	-48.5	-22 56
3	I,III,DC2	1.5	36.3	5.	-21.7	5.	-36.9	5.			2.7	-39.6	105 27
4	II,III,DC2	-.5	47.0	23.	302.8	35.	100.8	24.			203.6	-102.8	49 24
5	II,DC1,DC2	1.2	-98.1	10.	67.2	9.	41.9	10.			80.4	38.5	17 12
6	II,III,DC1	1.0	-51.9	9.	-84.4	9.	-94.2	9.			2.5	-96.6	-29 13
7	III,DC1,DC2	-.7	-19.2	7.	-24.2	7.	-86.1	7.			-27.6	-58.5	-25 48
8	I,III,DC1	-2.5	22.7	6.	-43.7	6.	-44.7	6.			2.2	-47.0	121 17
9	I,II,DC1	1.3	-57.0	6.	-11.7	6.	-14.1	6.	29.3	3.	22.0	-36.1	-5 49
10	I,DC1,DC2	3.3	7.0	7.	12.9	8.	-75.4	7.			-30.4	-45.0	59 16

Ssk- là sai số khép hình tam giác;

sai số trung phương đo hướng tính theo sai số khép hình $\mu=0,8''$



Hình 1

Kết quả bình sai riêng biệt các chu kỳ đo so với [5] là không đáng kể 1-2 mm (xem bảng 2) nói rằng chương trình tính đúng đắn. Nếu như các phần mềm bình sai lưới trắc địa thông dụng khác chỉ dừng lại ở việc cho kết quả bình sai tọa độ và độ tin cậy của chúng thì khi chạy chương trình ctt1, ngoài việc tính véc tơ chuyển dịch (R), độ tin cậy M_R còn tính các tsbd và độ tin cậy của chúng qua véc tơ chuyển dịch các điểm trong lưới và qua các số liệu đo lập trực tiếp góc cạnh. Kết quả lệch nhau giữa các tham số biến dạng theo hai cách trên cũng nằm trong giới hạn 2-3 lần sai số trung phương xác định chúng. Khi véc tơ dịch chuyển 2 điểm DC1,DC2 có giá trị lớn hơn 6-8 lần sai số trung phương xác định chúng thì các tam giác liên quan đến các điểm này cũng có các tham số biến dạng-với độ tin cậy cao (xem các tam giác có đỉnh là DC1 hoặc DC2). Đặc biệt độ tin cậy các tham số biến dạng phụ thuộc vào hình dạng của tam giác, tam giác càng có dạng gần tam giác đều thì sai số biến dạng càng nhỏ, tam giác càng khác tam giác đều thì sai số lớn, chính vì vậy khi vẽ sơ đồ biến dạng bề mặt nên chọn các tam giác gần đều nhất, tạo thành hệ thống lưới bao phủ toàn bộ bề mặt khu vực khảo sát. Như trên hình 1 dựa vào véc tơ chuyển dịch II,III,DC1,DC2 và các giá trị E_1 E_2 và θ_e vẽ được sơ đồ biến dạng các tam giác số 2,3,5,7. Dựa vào sơ đồ biến dạng các tam giác và véc tơ dịch chuyển các điểm trong lưới có thể phân tích sự dịch chuyển các điểm trên mặt đất (như khi quan trắc dịch chuyển vỏ trái đất trên bãi địa động học) hoặc biến dạng công trình (nếu các điểm nằm trên công trình-như các hồ chứa nước của các công trình thủy điện, thủy lợi).

ROCESSING DATA IN ANGLE- DISTANCE REPEATED MEASUREMENT TO DEFINE DEFORMATION PARAMETERS

Dao Xuan Loc

University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: This paper presents a method for calculating deformation parameters : offset vectors, compression, extension, rotation and dilatation. This method is applied to a computer program which processes data in angle-distance repeated measurement grids and

quality control. The program can be used for analysing crustal displacements or engineering deformations such as hydro-power plants.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. International association of geodesy, commission on recent crustal movements. Procedures for monitoring recent crustal movements. Part 2. Praha 1989
2. Donald L. Turcotte. GEODYNAMIC, Applications of Continuum physics to geological Problems, John Wiley and Sons, 1982.
3. ĐÀO XUÂN LỘC, TRẦN TRỌNG ĐỨC, NGUYỄN NGỌC LÂU Nghiên cứu thiết kế lưới trắc địa trên bản đồ số – Đề tài cấp bộ B99-20-59, TP.HCM, 10/2001.
4. ĐÀO XUÂN LỘC, NGUYỄN VĂN ĐỨC, CHU QUỐC QUYỀN, NGUYỄN NGỌC LÂU. Nghiên cứu biến dạng công trình thủy điện Trị An bằng phương pháp đo lặp trắc địa, đề tài cấp bộ B91-52-09. TPHCM 1993.
5. Hãng Leica Software Liscad-Plus ; SEE 4.1