

## KHẢO SÁT ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ GPS ĐỂ THÀNH LẬP LƯỚI QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG CÁC TUYẾN ĐẬP THỦY ĐIỆN

NGUYỄN VIỆT HÀ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tóm tắt:** Bài báo có nội dung khảo sát việc thiết kế lưới quan trắc chuyển dịch ngang các tuyến đập thủy điện bằng công nghệ GPS. Đã đề xuất biện pháp thiết kế, thành lập lưới GPS một cấp để quan trắc dịch chuyển với việc ứng dụng thuật toán bình sai tự do để thiết kế và đánh giá độ chính xác các yếu tố trong lưới.

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay ở nước ta lưới quan trắc công trình thủy điện thường được thực hiện theo công nghệ đo đạc mặt đất. Vì nhiều lý do, công nghệ GPS mặc dù đã được ứng dụng hiệu quả trong nhiều lĩnh vực trắc địa, nhưng vẫn chưa được triển khai ứng dụng cho mục đích quan trắc biến dạng công trình. So với công nghệ đo đạc mặt đất thì công nghệ GPS có một loạt những ưu điểm nổi bật như: cho phép lựa chọn đồ hình lưới linh hoạt, có điều kiện lựa chọn các điểm khống chế ở những vị trí ổn định, không cần thông hướng, không hạn chế về điều kiện thời tiết, thời gian thi công.... Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS để quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình thủy là cần thiết, có ý nghĩa cả về khoa học và thực tiễn. Trong bài báo này sẽ khảo sát một số vấn đề về thiết kế lưới quan trắc chuyển dịch ngang công trình bằng công nghệ GPS.

### 2. Cơ sở lý thuyết

#### 2.1. Thiết kế đồ hình lưới

Khi quan trắc biến dạng bằng công nghệ đo đạc mặt đất, lưới khống chế thường được thành lập theo 2 bậc là bậc lưới cơ sở và lưới quan

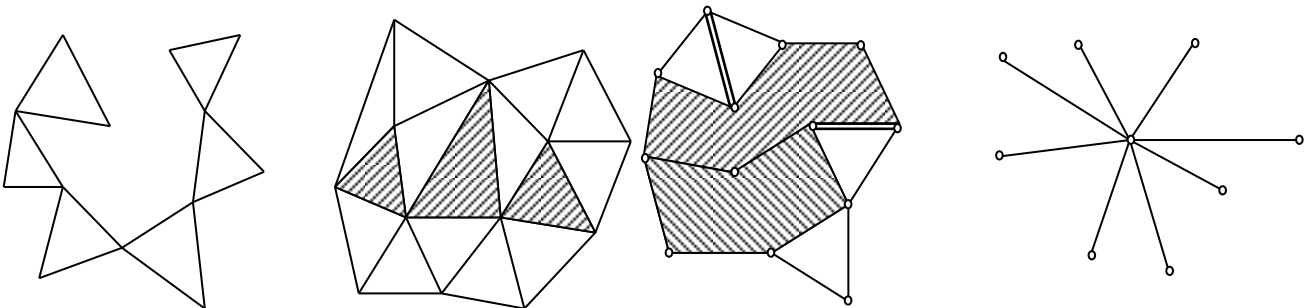
trắc [2]. Với công nghệ GPS, do đặc điểm công nghệ trong quá trình tổ chức đo đạc và xử lý số liệu, cũng như do công nghệ GPS rất khó đảm bảo độ chính xác xây dựng lưới cơ sở khi quan trắc biến dạng, bởi vậy có thể gộp 2 bậc đó thành một bậc lưới duy nhất và như vậy lưới quan trắc biến dạng bằng công nghệ GPS là mạng lưới tự do.

Khi thiết kế lưới GPS, căn cứ vào mục đích sử dụng, thường có 4 phương thức liên kết cơ bản để thành lập lưới là: liên kết điểm, liên kết cạnh, liên kết lưới, liên kết hỗn hợp - cạnh - điểm. Ngoài ra còn có thể liên kết hình sao, liên kết đường chuyền, liên kết chuỗi tam giác như hình vẽ (hình 1).

Nếu lưới có  $n$  điểm, được đo với  $N$  máy thu và số lần đặt máy trung bình ở mỗi điểm là  $m$  thì số ca đo được tính theo công thức:

$$C = \frac{n.m}{N} \quad (1)$$

Dựa theo công thức trên và điều kiện thực tế của địa hình cũng như yêu cầu kỹ thuật đối với các điểm cơ sở, các điểm quan trắc để lựa chọn vị trí và đồ hình quan trắc.



Hình 1. Liên kết điểm, liên kết cạnh, liên kết đường chuyền và liên kết sao

## 2.2. Ước tính độ chính xác lưới GPS theo thuật toán bình sai tự do

Khi ước tính độ chính xác lưới GPS, có thể sử dụng chiều dài cạnh  $D_{ik}$  và góc phương vị  $\alpha_{ik}$  được tính từ baseline như là các trị đo. Theo thuật toán bình sai tự do, bài toán ước tính lưới GPS được thực hiện theo trình tự sau [1, 2]:

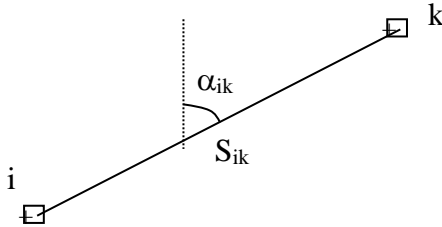
1- Chọn ẩn số: trong lưới GPS mặt bằng ẩn số được chọn là số hiệu chỉnh tọa độ của tất cả các điểm trong lưới

$$\delta x = (dx_1, dy_1, dx_2, dy_2 \dots dx_n, dy_n)^T.$$

2- Lập ma trận hệ số (A) của hệ phương trình số hiệu chỉnh

$$A \cdot \delta X + L = V \quad (2)$$

Đối với trị đo GPS, phương trình số hiệu chỉnh được xác định theo công thức cụ thể sau:



Hình 2. Cạnh và phương vị đo

- Phương trình số hiệu chỉnh phương vị

$$v_{ik} = a_{ik} \delta x_k + b_{ik} \delta y_k - a_{ik} \delta x_i - b_{ik} \delta y_i + l_{ik} \quad (3)$$

$$\text{trong đó: } \begin{bmatrix} a_{ik} \\ b_{ik} \end{bmatrix} = \frac{\rho}{S_{ik}} \times \begin{bmatrix} -\text{Sin} \alpha_{ik} \\ \text{Cos} \alpha_{ik} \end{bmatrix} \quad (4)$$

- Phương trình số hiệu chỉnh cạnh

$$v_{ik} = a_{ik} \delta x_k + b_{ik} \delta y_k - a_{ik} \delta x_i + b_{ik} \delta y_i + l_{ik} \quad (5)$$

$$\text{trong đó: } \begin{bmatrix} a_{ik} \\ b_{ik} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Cos} \alpha_{ik} \\ \text{Sin} \alpha_{ik} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3- Lập ma trận hệ số (R) của hệ phương trình chuẩn ( $R \cdot \delta X + b = 0$ )

$$R = A^T \cdot P \cdot A \quad (7)$$

Trong công thức trên P là ma trận trọng số của các trị đo, thực tế giữa cạnh ngang và phương vị của mỗi baseline GPS có mối quan hệ tương quan, tuy vậy trong ước tính độ chính xác có thể coi gần đúng hai trị đo trên độc lập nhau. Trọng số của các trị đo đó được xác định trên cơ sở sai số  $m_D$  và  $m_\alpha$ , tính theo công thức sau [3]:

$$\left. \begin{aligned} m_D &= \sqrt{a^2 + (b \cdot D)^2} \text{ (mm)} \\ m_\alpha &= \frac{m_D}{D} \rho \text{ ("} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

4- Tính ma trận giả nghịch đảo

Cũng như đối với mạng lưới tự do khác, ma trận nghịch đảo trong lưới GPS tự do được tính theo công thức sau:

$$R^- = (CC^T + R)^{-1} - TT^T \quad (9)$$

$$\text{trong đó: } T = B(C^T B)^{-1} \quad (10)$$

Đối với mạng lưới GPS ma trận B có dạng [1]:

$$B_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ma trận định vị C được xác định theo quy tắc

$$\begin{cases} C_i = B_i \text{ với } i \text{ là điểm cơ sở} \\ C_i = 0 \text{ với } i \text{ là điểm quan trắc} \end{cases} \quad (12)$$

5- Tính toán các yếu tố sai số của mạng lưới

$$\text{- Sai số vị trí điểm } m_p = \mu \cdot \sqrt{R^-_{xx} + R^-_{yy}} \quad (13)$$

- Elip sai số: Các tham số của elip sai số gồm có: các kích thước của bán trục lớn, bán trục nhỏ, hướng của bán trục lớn [1, 2]. Bán trục lớn E và bán trục nhỏ F được tính theo công thức [4]:

$$E = \mu \sqrt{\frac{R^-_{xx} + R^-_{yy}}{2} + \sqrt{\frac{(R^-_{xx} - R^-_{yy})^2 + 4R^-_{xy}{}^2}{4}}} \quad (14)$$

$$F = \mu \sqrt{\frac{R^-_{xx} + R^-_{yy}}{2} - \sqrt{\frac{(R^-_{xx} - R^-_{yy})^2 + 4R^-_{xy}{}^2}{4}}}$$

Hướng bán trục lớn của elip sai số ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{1}{2} \text{Arctg} \frac{2R^-_{xy}}{R^-_{xx} - R^-_{yy}} \quad (15)$$

- Sai số chuyển dịch theo hướng

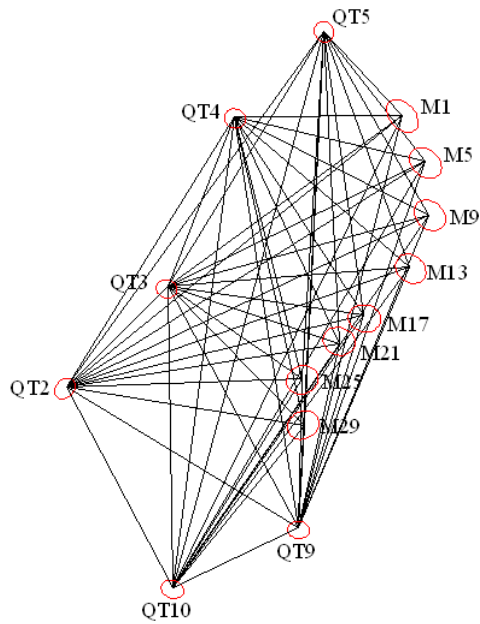
Sai số vị trí của điểm quan trắc theo hướng cho trước ( $\varphi$ ) được tính theo công thức:

$$m_\varphi = \mu \sqrt{E \cdot \cos^2 \varphi + F \cdot \sin^2 \varphi} \quad (16)$$

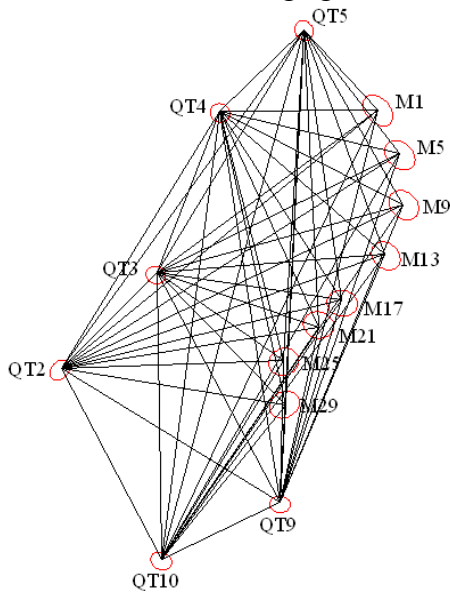
trong đó: E, F tương ứng là các bán trục lớn và nhỏ của Elip sai số.

## 3. Thực nghiệm thiết kế lưới quan trắc chuyển dịch tuyến đập nhà máy thủy điện Ialy

Để minh chứng cho khả năng ứng dụng công nghệ GPS vào mục đích quan trắc chuyển dịch ngang công trình, chúng tôi đã triển khai tính toán thiết kế mạng lưới quan trắc tuyến đập nhà máy thủy điện IALY. Trong thực tế công ty tư vấn xây dựng điện I đã xây dựng mạng lưới quan trắc dịch chuyển ngang công trình này theo công nghệ đo đạc mặt đất với đồ hình đưa ra ở hình 3. Nếu tiến hành đo đạc mạng lưới đã nêu bằng công nghệ GPS với 4 máy thu thì số ca đo tính theo công thức (1) sẽ là 14 ca đo và đồ hình lưới có dạng đưa ra ở hình 4.



Hình 3. Lưới thiết kế theo công nghệ đo đạc mặt đất



Hình 4. Lưới thiết kế theo công nghệ GPS

Để so sánh độ chính xác của cả hai phương án thành lập lưới, chúng tôi đã thực hiện ước tính độ chính xác theo quy trình như đã nêu ở mục 2.2.

Đối với lưới mặt đất (lưới đo góc – cạnh) được thiết kế đo 19 góc với sai số trung phương đo góc  $m_p = 2''$ , đo 61 cạnh với sai số trung phương đo cạnh  $m_D = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ .

Đối với mạng lưới GPS thiết kế 62 baseline có sai số trung phương đo cạnh  $m_D = \sqrt{a^2 + (b.D)^2}$  (mm), sai số trung phương đo

phương vị  $m_\alpha = \frac{m_D}{D} \rho''$  (") (đối với các máy GPS một tần số đã có ở Việt Nam thì hệ số  $a=5$ ;  $b=1$ ).

Từ giá trị tọa độ thiết kế, dự kiến đo cạnh và phương vị theo bảng 1. Kết quả ước tính độ chính xác lưới GPS bao gồm sai số vị trí điểm, elips sai số vị trí điểm được đưa ra trong bảng 2. Kết quả ước tính độ chính xác lưới mặt đất được đưa ra trong bảng 3.

Bảng 1. Ký hiệu cạnh và phương vị thiết kế

TT	Đ.Đầu – Đ. Cuối	Chiều dài (m)	TT	Đ.Đầu – Đ. Cuối	Chiều dài (m)
1	QT10 QT9	356.76	32	QT9 M9	877.69
2	QT9 QT5	1282.67	33	QT5 M13	646.45
3	QT5 QT10	1486.76	34	QT4 M13	594.32
4	QT9 QT2	696.91	35	QT3 M13	623.64
5	QT10 QT2	585.78	36	QT2 M13	933.45
6	QT10 QT3	778.31	37	QT10 M13	1027.09
7	QT9 QT3	708.15	38	QT9 M13	731.74
8	QT10 QT4	1230.47	39	QT5 M17	742.84
9	QT9 QT4	1077.40	40	QT4 M17	615.46
10	QT2 QT3	366.83	41	QT3 M17	510.16
11	QT3 QT4	475.06	42	QT2 M17	784.38
12	QT4 QT5	312.33	43	QT10 M17	854.52
13	QT3 QT5	769.90	44	QT9 M17	570.87
14	QT2 QT4	824.83	45	QT5 M21	798.99
15	QT5 M1	290.22	46	QT4 M21	639.56
16	QT4 M1	425.76	47	QT3 M21	461.08
17	QT3 M1	748.59	48	QT2 M21	708.11
18	QT2 M1	1112.75	49	QT10 M21	766.24
19	QT10 M1	1358.28	50	QT9 M21	493.92
20	QT9 M1	1102.85	51	QT5 M25	896.48
21	QT5 M5	422.30	52	QT4 M25	700.31
22	QT4 M5	500.05	53	QT3 M25	419.41
23	QT3 M5	736.51	54	QT2 M25	605.10
24	QT2 M5	1090.02	55	QT10 M25	634.44
25	QT10 M5	1278.78	56	QT9 M25	386.35
26	QT9 M5	1002.75	57	QT5 M29	1014.98
27	QT5 M9	541.80	58	QT4 M29	816.60
28	QT4 M9	557.13	59	QT3 M29	498.22
29	QT3 M9	696.35	60	QT2 M29	614.84
30	QT2 M9	1031.62	61	QT10 M29	538.35
31	QT10 M9	1167.85	62	QT9 M29	267.69

Bảng 2. Kết quả ước tính độ chính xác lưới GPS

Số TT	Tên điểm	Tọa độ thiết kế (m)		Sai số vị trí (mm)			Elip sai số (mm)		
		X	Y	$m_x$	$m_y$	$m_p$	E	F	$\phi^\circ$
1	M1	1575262.10	806058.85	2.3	2.5	3.4	2.8	1.9	130.13
2	M5	1575140.08	806119.44	2.3	2.4	3.3	2.7	2.0	130.34
3	M9	1575002.85	806129.17	2.3	2.4	3.3	2.5	2.1	129.27
4	M13	1574865.07	806080.34	2.2	2.3	3.2	2.4	2.1	125.22
5	M17	1574736.88	805962.95	2.2	2.3	3.2	2.4	2.1	115.01
6	M21	1574674.36	805897.97	2.1	2.3	3.2	2.3	2.1	103.76
7	M25	1574577.54	805804.73	2.1	2.3	3.1	2.3	2.1	73.90
8	M29	1574458.71	805807.40	2.1	2.3	3.1	2.4	2.1	64.42
9	QT2	1574554.50	805200.07	1.5	1.5	2.1	1.6	1.4	47.00
10	QT3	1574814.61	805458.74	1.3	1.5	2.0	1.5	1.3	112.33
11	QT4	1575256.50	805633.13	1.4	1.5	2.0	1.5	1.3	120.51
12	QT5	1575472.39	805858.83	1.4	1.6	2.1	1.6	1.4	116.57
13	QT9	1574191.32	805794.86	1.3	1.5	2.0	1.5	1.3	104.04
14	QT10	1574036.44	805473.48	1.4	1.5	2.0	1.6	1.3	117.09

Bảng 3. Kết quả ước tính độ chính xác lưới mặt đất

Số TT	Tên điểm	Tọa độ thiết kế (m)		Sai số vị trí (mm)			Elip sai số (mm)		
		X	Y	$m_x$	$m_y$	$m_p$	E	F	$\varphi^\circ$
1	M1	1575262.10	806058.85	2.2	1.9	2.9	2.2	1.9	346.79
2	M5	1575140.08	806119.44	2.2	2.0	3.0	2.3	2.0	351.88
3	M9	1575002.85	806129.17	2.2	2.0	3.0	2.2	2.0	347.45
4	M13	1574865.07	806080.34	2.1	2.1	2.9	2.1	2.0	125.29
5	M17	1574736.88	805962.95	1.9	2.2	2.9	2.2	1.9	101.31
6	M21	1574674.36	805897.97	1.8	2.2	2.8	2.2	1.8	94.14
7	M25	1574577.54	805804.73	1.7	2.3	2.9	2.3	1.6	84.21
8	M29	1574458.71	805807.40	1.6	2.4	2.9	2.4	1.6	84.83
9	QT2	1574554.50	805200.07	1.3	1.0	1.7	1.3	1.0	350.97
10	QT3	1574814.61	805458.74	1.1	1.1	1.5	1.1	1.0	324.57
11	QT4	1575256.50	805633.13	1.2	1.3	1.8	1.4	1.1	56.47
12	QT5	1575472.39	805858.83	1.2	1.6	2.0	1.8	0.9	56.39
13	QT9	1574191.32	805794.86	0.9	1.1	1.4	1.2	0.8	110.86
14	QT10	1574036.44	805473.48	1.1	1.1	1.6	1.3	0.9	131.84

Phân tích so sánh kết quả thiết kế lưới theo hai phương án đo đạc mặt đất và GPS cho thấy về độ chính xác tương đương nhau cả về sai số trung phương vị trí điểm cả về elip sai số.

Về tổ chức đo đạc lưới GPS có độ hình chặt chẽ hơn do không đòi hỏi sự thông hướng giữa các điểm, ngoài ra công nghệ GPS có ưu điểm hơn hẳn lưới mặt đất là có thể thi công trong mọi điều kiện thời tiết và ở mọi thời điểm trong ngày.

#### 4. Kết luận

1. Thông qua việc ước tính thử nghiệm cho công trình IALY và một số thực nghiệm khác ở Việt Nam (Hòa Bình, Tuyên Quang...) chúng tôi nhận thấy rằng sai số vị trí điểm quan trắc được xác định có giá trị nằm trong khoảng từ 3-5mm, vì vậy với công nghệ này có thể áp dụng để quan trắc chuyển dịch các tuyến đập thủy điện với yêu cầu về sai số chuyển dịch  $\geq \pm 5\text{mm}$ .

2. Khi ứng dụng công nghệ GPS để thành lập lưới quan trắc dịch chuyển ngang có thể coi lưới này là lưới tự do một bậc.

3. Khi thành lập lưới quan trắc dịch chuyển ngang các tuyến đập thủy điện bằng công nghệ

GPS có thể vận dụng được những ưu điểm nổi bật của công nghệ như cho phép lựa chọn đồ hình lưới linh hoạt, có điều kiện lựa chọn các điểm khống chế ở những vị trí ổn định, không cần thông hướng, hiệu quả kinh tế cao, có thể thi công trong mọi điều kiện thời tiết và ở mọi thời điểm trong ngày.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Khánh, Nghiên cứu phương pháp bình sai kết nối lưới mặt đất và lưới GPS trong trắc địa công trình. Tạp chí "Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất", số 6, 4-2004
- [2]. Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc, Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình. Nhà xuất bản giao thông vận tải, Hà nội -2010.
- [3]. TCXDVN 364: 2006. Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình, Hà Nội.
- [4]. Markyze.Iu.I. Thuật toán và chương trình bình sai lưới trắc địa. NXB "Nhedra", Moskva-1988 (tiếng Nga).

#### SUMMARY

#### Survey technology application for establishment of GPS network monitoring direction deformation hydroelectric dam

Nguyen Viet Ha, University of Mining and Geology

This paper surveys the content monitoring network design horizontal transfer routes damby GPS technology. Proposed design measures, establishing a GPS network to monitorfor movement with the adjustment application algorithms freedom to design and evaluatethe accuracy of elements in the mesh.

