

## Thiết kế tối ưu lưới trắc địa công trình theo mức trị đo thừa

Nguyễn Quang Phúc<sup>1,\*</sup>, Hoàng Thị Minh Hương<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 25/6/2016

Chấp nhận 26/7/2016

Đăng online 30/8/2016

Từ khóa:

Trắc địa công trình

Thiết kế tối ưu

Mức đo thừa

Ma trận độ tin cậy

Tối ưu loại một

### TÓM TẮT

Thiết kế tối ưu là phương pháp thiết kế hiện đại. Hiệu quả mà nó mang lại thường rất to lớn nên được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống. Thế kỷ XX, khi phương pháp và phương tiện đo đạc cũng như tính toán Trắc địa còn hạn chế, thiết kế tối ưu được sử dụng để thiết kế các mạng lưới khống chế tọa độ vì trong bối cảnh đó, khả năng để đạt được chỉ tiêu độ chính xác hoặc chỉ tiêu giá thành đối với một mạng lưới khống chế trắc địa là rất khó khăn. Ngày nay, thiết kế tối ưu chỉ còn được áp dụng chủ yếu đối với các mạng lưới chuyên dùng độ chính xác cao của Trắc địa công trình vì ở đó, có những vấn đề cực trị cần phải giải quyết. Trong bài báo này, các tác giả nghiên cứu một giải pháp thiết kế tối ưu lưới chuyên dùng của Trắc địa công trình: giải pháp thiết kế tối ưu theo mức đo thừa của các trị đo. Đã khảo sát thực nghiệm trên một số dạng lưới Trắc địa công trình để khẳng định hiệu quả của giải pháp thiết kế này.

© 2016 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

### 1. Đặt vấn đề

Lưới khống chế trắc địa công trình, ở đây nói về lưới thi công và lưới quan trắc biến dạng, là những lưới chuyên dùng của công trình, có yêu cầu độ chính xác cao. Để bảo đảm tiến độ và độ chính xác cho thi công xây dựng công trình cũng như để có thể phát hiện sớm chuyển dịch biến dạng, các loại lưới này đòi hỏi phải được thiết kế theo những yêu cầu đặc biệt. Từ trước đến nay, việc thiết kế các mạng lưới trắc địa ở Việt Nam chủ yếu được thực hiện theo phương pháp truyền thống. Cách làm như vậy mới chỉ bảo đảm tính khả thi của việc lập lưới. Cần phải nhận thấy rằng, nếu như đối với lưới

đo vẽ bản đồ, người ta chỉ quan tâm đến độ chính xác đồng đều trong toàn lưới thì trong trắc địa công trình, nhiều khi chúng ta phải xem xét sai số vị trí các điểm lưới trên những hướng đặc biệt nào đó, hoặc phải thi công lưới trong khoảng thời gian ngắn nhất để bảo đảm tính thời sự của các kết quả quan trắc với độ chính xác cho trước của lưới được thiết kế và của máy móc thiết bị đo (Nguyễn Quang Phúc, 2006). Thực tế này cho thấy khi thiết kế lưới trắc địa công trình, chúng ta cần phải áp dụng kỹ thuật và phương pháp thiết kế tối ưu.

### 2. Một số vấn đề về thiết kế tối ưu lưới trắc địa

#### 2.1. Bài toán tối ưu tổng quát

\*Tác giả liên hệ.

E-mail: [nguyenquangphuc@humg.edu.vn](mailto:nguyenquangphuc@humg.edu.vn)

Lý thuyết quy hoạch toán học ra đời và phát triển nhằm đáp ứng yêu cầu thực hiện các chỉ tiêu tối ưu như: Nhiều nhất, ít nhất, nhanh nhất, rẻ nhất, tốt nhất... Bài toán tối ưu vì thế còn được gọi là bài toán quy hoạch toán học. Mỗi một lĩnh vực khác nhau của đời sống đều có một loại bài toán tối ưu nhưng nhìn chung, dạng tổng quát của bài toán tối ưu được đặt ra như sau (<https://www.math.ucla.edu/~tom/>):

Cho các số thực  $b_i, c_j, a_{ij}$ , với  $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ , tìm các số thực  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sao cho hàm số:

$$Z = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \quad (1)$$

đạt cực đại (hoặc cực tiểu), đồng thời thoả mãn các điều kiện:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Người ta gọi (1) là hàm mục tiêu, (2) là các điều kiện ràng buộc, các số  $x_1, x_2, \dots, x_n$  được gọi là các biến thiết kế. Miền thoả mãn các điều kiện ràng buộc gọi là miền nghiệm. Tập hợp các giá trị  $x_1, x_2, \dots, x_n$  thoả mãn điều kiện ràng buộc gọi là một phương án. Phương án làm cho hàm mục tiêu đạt giá trị cực trị được gọi là nghiệm hay phương án tối ưu. Giá trị hàm mục tiêu của phương án tối ưu được gọi là giá trị tối ưu.

Rõ ràng có sự khác biệt đáng kể giữa thiết kế truyền thống và thiết kế tối ưu. Trong thiết kế tối ưu có 2 nhiệm vụ phải giải quyết đồng thời:

+ Một nhiệm vụ được viết dưới dạng hàm mục tiêu (1)

+ Một nhiệm vụ được viết dưới dạng các điều kiện ràng buộc (2).

Trong thiết kế truyền thống, người ta không đặt ra mục tiêu của thiết kế, kết quả của thiết kế chỉ cần thoả mãn một hoặc một số ràng buộc nào đó mà thôi.

## 2.2. Bài toán thiết kế tối ưu lưới trắc địa

Trắc địa là một ngành khoa học có lịch sử phát triển lâu đời và tối ưu cũng đã được ứng dụng trong thiết kế các mạng lưới khống chế, đặc biệt là đối với các mạng lưới trắc địa mặt

bằng. Như đã biết, phương trình cơ bản của thiết kế có dạng:

$$(A^T P A)^{-1} \cdot \Delta = Q_x \quad (3)$$

trong đó:

A là ma trận cấu hình, tùy thuộc vị trí các điểm lưới và đại lượng đo giữa các điểm lưới;

P là ma trận trọng số các trị đo, tùy thuộc chương trình đo;

$Q_x$  là ma trận hệ số trọng số, tùy thuộc hình dạng lưới, chương trình đo và hệ tham khảo.

Ký hiệu  $(\ )^{-1} \cdot \Delta$  là ký hiệu tổng quát, tùy thuộc vào hệ tham khảo. Đối với lưới có số khuyết  $d=0$ , ký hiệu đó là  $(\ )^{-1}$ , còn với lưới có số khuyết  $d>0$ , ký hiệu đó là  $(\ )^{\sim}$ .

Dựa vào (3), người ta chia bài toán thiết kế tối ưu lưới trắc địa thành 4 loại (Grafarend, E. W., 1974):

+ Thiết kế loại không: A, P cố định,  $Q_x$  có thể thay đổi, tức là lựa chọn ma trận nghịch đảo tổng quát.

+ Thiết kế loại một: P,  $Q_x$  cố định, chọn A, tức là thiết kế cấu hình lưới, bao gồm bố trí tối ưu vị trí các điểm lưới và lựa chọn tối ưu các trị đo.

+ Thiết kế loại hai: A,  $Q_x$  cố định, chọn P, tức là thiết kế độ chính xác đo. Đây là trường hợp đồ hình lưới đã xác định, cần phân phối trọng số cho từng trị đo hay nói cách khác là xác định ma trận trọng số của các trị đo để độ chính xác của ẩn là cao nhất.

+ Thiết kế loại ba:  $Q_x$  cố định, một phần của A, P có thể thay đổi, tức vấn đề cải tiến và tăng dày lưới khống chế đã có. Với lưới đã có người ta thêm bớt điểm, thay đổi trị đo hoặc thay đổi độ chính xác đo để nâng cao độ chính xác của lưới cũ. Bài toán này, ở một mức độ nào đó có thể xem là sự kết hợp của bài toán tối ưu loại một và loại hai.

Trên thực tế, phần lớn các bài toán thiết kế tối ưu thường là sự kết hợp các bài toán thiết kế tối ưu không cùng loại. Do đó, các loại bài toán thiết kế tối ưu không thể được phân chia một cách tuyệt đối.

### 2.3. Tiêu chuẩn chất lượng của lưới trắc địa

Để đánh giá chất lượng của lưới trắc địa, người ta đưa ra 4 loại tiêu chuẩn là giá thành, độ chính xác, độ tin cậy và độ nhạy (Mohammad Amin Alizadeh Khameneh, 2015).

Tiêu chuẩn độ chính xác được quan tâm nhiều nhất trong thiết kế lưới trắc địa. Tuy thuộc cách thức sử dụng ma trận  $Q_x$  mà độ chính xác của lưới được chia ra thành độ chính xác cục bộ và độ chính xác tổng thể. Độ chính xác cục bộ dựa trên việc sử dụng một phần thông tin của ma trận  $Q_x$ , theo đó có các chỉ tiêu như độ chính xác chiều dài cạnh, phương vị cạnh, tương hỗ vị trí điểm... Độ chính xác tổng thể được xem xét dựa trên các chỉ tiêu phản ánh kết cấu tổng thể của ma trận  $Q_x$ , theo đó có các chỉ tiêu như vết của ma trận ( $trQ_x$ ), định thức của ma trận ( $detQ_x$ ) và trị riêng của ma trận ( $\lambda Q_x$ ). Căn cứ vào các chỉ tiêu này có các bài toán tối ưu loại A, D và E (J. L. Berne, S. Baselga, 2004).

Tiêu chuẩn độ tin cậy có liên quan đến số lượng trị đo thừa. Trong mạng lưới trắc địa, ngoài các trị đo cần thiết còn có các trị đo thừa. Số lượng trị đo thừa càng nhiều thì khả năng phát hiện sai số thô càng lớn, độ tin cậy của lưới càng cao.

Tiêu chuẩn độ nhạy được áp dụng đối với các mạng lưới quan trắc biến dạng (Mohammad Amin Alizadeh Khameneh, 2015). Khi thiết kế lưới quan trắc biến dạng, ngoài độ chính xác và độ tin cậy, người ta còn quan tâm đến lưới có độ nhạy cao, tức là khả năng phát hiện được vector biến dạng có giá trị nhỏ nhất.

Trong thiết kế tối ưu lưới trắc địa, các tiêu chuẩn này được sử dụng để xây dựng các hàm mục tiêu hoặc các điều kiện ràng buộc.

## 3. Áp dụng thiết kế tối ưu loại một lưới trắc địa công trình theo mức trị đo thừa

### 3.1. Sự cần thiết phải thiết kế tối ưu lưới trắc địa công trình

Khi thiết kế lưới Trắc địa công trình, nhiều vấn đề cực trị cần phải được quan tâm giải

quyết. Ví dụ: Khi thành lập lưới khống chế thi công cầu vượt, người ta mong muốn sao cho các điểm lưới nằm trên đường tim cầu có sai số vị trí điểm theo hướng trục cầu là nhỏ nhất; khi thành lập lưới quan trắc chuyển dịch ngang tuyến đập thủy điện, người ta lại mong muốn sao cho các điểm quan trắc có sai số vị trí điểm theo hướng áp lực là nhỏ nhất, hoặc việc đo lưới phải được thực hiện trong khoảng thời gian ngắn nhất để bảo đảm tính thời sự của các kết quả quan trắc... Vì vậy, áp dụng kỹ thuật và phương pháp thiết kế tối ưu trong những trường hợp này là rất cần thiết. Các kết quả nghiên cứu (Nguyễn Quang Phúc, 2005), (Nguyễn Quang Phúc, 2006) đã cho thấy rằng, thiết kế tối ưu loại một, trong đó lựa chọn tối ưu trị đo, bao gồm lựa chọn tối ưu số lượng, chủng loại và vị trí các trị đo là có ý nghĩa thực tế nhất.

### 3.2. Khái niệm về mức đo thừa của các trị đo

Trong thực tế đo đạc, ngoài sai số ngẫu nhiên là chủ yếu, còn có sai số thô. Tất cả các sai số thô của các trị đo đều ảnh hưởng đến số hiệu chỉnh của chính nó và của các trị đo khác, và mức ảnh hưởng của chúng phụ thuộc vào mức trị đo thừa.

Giả sử một mạng lưới trắc địa được bình sai theo phương pháp gián tiếp. Hệ phương trình số hiệu chỉnh được viết dưới dạng ma trận:

$$V=AX+L \quad (4)$$

Trong đó,  $V_{n \times 1}$  là vector số hiệu chỉnh của các trị đo,  $A_{n \times t}$  là ma trận hệ số của hệ phương trình số hiệu chỉnh,  $X_{t \times 1}$  là vector tham số,  $L_{n \times 1}$  là vector số hạng tự do,  $n$  là tổng số trị đo và  $t$  số trị đo cần thiết. Trong trường hợp  $n > t$ , vector tham số  $X$  được xác định theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất ( $V^T P V = \min$ ), cụ thể là:

$$X=-(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (5)$$

với  $P = \text{diag}(p_1, p_2, \dots, p_n)$  là ma trận trọng số của các trị đo.

Thay (5) vào (4) sẽ có:

$$V = -A(A^T P A)^{-1} A^T P L + L \quad (6)$$

Hay viết gọn hơn:

$$V = [E - A(A^T P A)^{-1} A^T P] L$$

với E là ma trận đơn vị.

$$\text{Ký hiệu: } R = E - A(A^T P A)^{-1} A^T P \quad (7)$$

R được gọi là ma trận độ tin cậy (A. R. Amiri-Simkooei, M.ASCE, J. Asgari, F. Zangeneh-Nejad, and S. Zaminpardaz 2012). Các phần tử  $r_{ii}$  (với  $i=1 \div n$ ) trên đường chéo chính của ma trận R đặc trưng cho mức đo thừa của các trị đo. Tìm vết của ma trận R, ta có:

$$\text{tr}(R) = \text{tr}(E) - \text{tr}[A(A^T P A)^{-1} A^T P] \quad (8)$$

và được:  $\sum r_{ii} = n - t = r$  với r là tổng số trị đo thừa trong lưới.

Công thức (8) cho thấy tổng số trị đo thừa r của lưới đã được phân phối cho từng trị đo với mức  $r_{ii}$ , viết tắt là  $r_i$ . Mức đo thừa  $r_i$  của mỗi trị đo có giá trị trong khoảng từ 0 đến 1 ( $0 \leq r_i \leq 1$ ). Nếu  $r_i$  càng nhỏ thì tác dụng của trị đo i trong lưới càng lớn và ngược lại. Khi  $r_i \approx 0$ , trị đo này không thể thiếu, còn khi  $r_i \approx 1$ , trị đo này không cần thiết phải đo.

Số trị đo thừa trong lưới càng nhiều thì khả năng phát hiện sai số thô càng lớn, độ tin cậy của lưới càng cao. Tuy nhiên, khi trị đo thừa tăng đến một mức nào đó thì độ chính xác của lưới không thể tăng thêm được nữa. Thực tế, nếu  $r=(0,5 \div 0,7)t$  thì khả năng phát hiện ra sai số thô lớn hơn 4 lần độ lệch chuẩn là 80%, khả năng phát hiện ra sai số thô lớn hơn 3 lần độ lệch chuẩn là 60% (A. R. Amiri-Simkooei, M.ASCE, J. Asgari, F. Zangeneh-Nejad, and S. Zaminpardaz 2012). Áp dụng bài toán tối ưu loại một, người thiết kế sẽ căn cứ

vào mức đo thừa của các trị đo để quyết định phương án thiết kế hợp lý, sao cho vừa đảm bảo độ tin cậy, vừa đảm bảo độ chính xác cho lưới được thiết kế.

### 3.3. Các tính toán thực nghiệm

Để minh họa cho nội dung lý thuyết đã nêu ở trên, trong phần này sẽ tính toán thực nghiệm cho 2 dạng lưới khống chế mặt bằng và độ cao.

**Thực nghiệm 1.** Lưới thực nghiệm là mạng lưới mặt bằng tự do có số khuyết  $d=0$  với điểm gốc B2 và phương vị khởi đầu giả thiết trên cạnh B2-A1 (Hình 1). Số lượng trị đo có thể trong lưới là 6 cạnh và 8 góc với độ chính xác đo đạc dự kiến là  $m_\beta=2''$ ,  $m_s=2+2\text{ppm}$ . Tọa độ sơ bộ của các điểm cho trong Bảng 1.

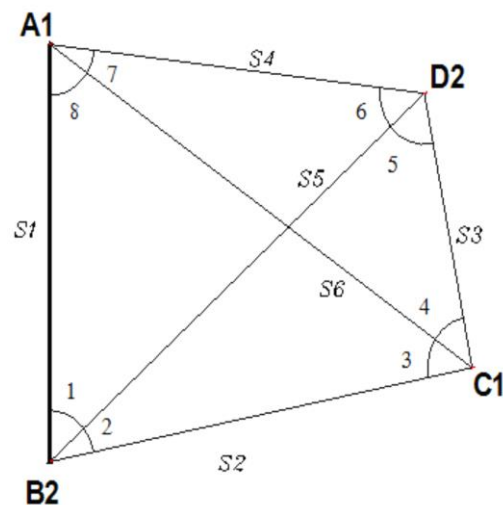
Để tiện theo dõi, thứ tự các góc và cạnh trong lưới được sắp xếp như trong Bảng 2.

Theo (7), đã xác định được ma trận độ tin cậy R như trong Bảng 3. Các phần tử trên đường chéo chính của bảng này chính là mức đo thừa của trị đo thứ i tương ứng.

Sắp xếp các trị đo theo mức đo thừa từ lớn đến bé, ta có kết quả như ở Bảng 4. Từ bảng 3, có  $\text{tr}(R) = \sum r_{ii} = 9$ . Trong lưới có tất cả 9 trị đo thừa. Trong khi đó, số trị đo thừa có thể bảo đảm độ tin cậy cho lưới theo lý thuyết là  $r=0,7.t=4,2 \approx 4$  trị đo. Về nguyên tắc, có thể loại bỏ bớt 5 trị đo có mức đo thừa lớn nhất là  $\beta_2, \beta_7, \beta_3, \beta_6$  và  $\beta_1$ .

Bảng 1- Tọa độ sơ bộ của các điểm

Điểm	X (m)	Y (m)
C1	2086.10	2411.28
D2	2314.20	2369.85
A1	2359.00	2000.00
B2	2000.00	2000.00



Hình 1. Lưới thực nghiệm 1

Bảng 2- Thứ tự sắp xếp các góc và cạnh đo dự kiến trong lưới

Thứ tự	Tên trị đo	Thứ tự	Tên trị đo	Thứ tự	Tên trị đo
1	$\beta_1$	6	$\beta_6$	11	S <sub>3</sub>
2	$\beta_2$	7	$\beta_7$	12	S <sub>4</sub>
3	$\beta_3$	8	$\beta_8$	13	S <sub>5</sub>
4	$\beta_4$	9	S <sub>1</sub>	14	S <sub>6</sub>
5	$\beta_5$	10	S <sub>2</sub>	15	$\alpha_{B2-A1}$

Bảng 3- Các phần tử của ma trận độ tin cậy R

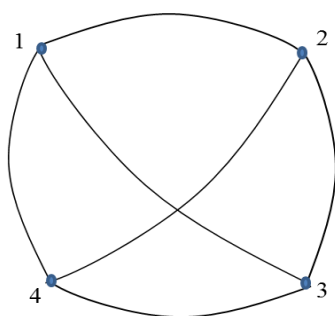
<b>0.701</b>	0.011	0.120	-0.095	-0.036	0.023	0.109	0.167	0.074	0.072	0.083	-0.188	0.097	-0.107	0.001
0.011	<b>0.805</b>	0.075	0.116	0.005	0.007	-0.128	0.109	0.051	0.053	-0.229	0.054	0.048	-0.063	0.000
0.120	0.075	<b>0.768</b>	0.004	0.153	-0.177	0.020	0.036	-0.195	0.046	0.070	0.056	-0.039	0.067	0.000
-0.095	0.116	0.004	<b>0.607</b>	0.273	0.172	-0.052	-0.024	0.071	0.055	0.081	-0.158	-0.099	0.080	0.000
-0.036	0.005	0.153	0.273	<b>0.569</b>	-0.002	0.160	-0.122	0.074	-0.154	0.078	0.048	0.091	-0.084	0.000
0.023	0.007	-0.177	0.172	-0.002	<b>0.735</b>	0.095	0.147	-0.200	0.061	0.055	0.049	0.065	-0.034	-0.001
0.109	-0.128	0.020	-0.052	0.160	0.095	<b>0.797</b>	-0.001	0.055	0.039	-0.214	0.061	-0.057	0.037	0.001
0.167	0.109	0.036	-0.024	-0.122	0.147	-0.001	<b>0.687</b>	0.070	-0.171	0.077	0.078	-0.106	0.104	-0.001
0.138	0.094	-0.361	0.131	0.137	-0.370	0.102	0.130	<b>0.513</b>	-0.075	0.015	-0.056	-0.157	-0.120	0.000
0.145	0.107	0.093	0.111	-0.311	0.122	0.078	-0.345	-0.082	<b>0.589</b>	-0.020	-0.074	-0.247	-0.134	0.001
0.125	-0.348	0.106	0.123	0.119	0.084	-0.325	0.116	0.012	-0.015	<b>0.463</b>	0.040	-0.096	-0.149	-0.001
-0.354	0.102	0.106	-0.298	0.090	0.093	0.115	0.146	-0.057	-0.069	0.050	<b>0.571</b>	-0.123	-0.234	0.000
0.214	0.105	-0.087	-0.219	0.200	0.144	-0.125	-0.233	-0.187	-0.271	-0.140	-0.144	<b>0.600</b>	-0.049	0.000
-0.240	-0.140	0.149	0.180	-0.188	-0.075	0.083	0.231	-0.145	-0.148	-0.219	-0.277	-0.050	<b>0.593</b>	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>

Bảng 4- Sắp xếp các trị đo theo mức đo thừa  $r_i$

Trị đo	Tên trị đo	Mức đo thừa	Trị đo	Tên trị đo	Mức đo thừa
2	$\beta_2$	0.805	14	S <sub>6</sub>	0.593
7	$\beta_7$	0.797	10	S <sub>2</sub>	0.589
3	$\beta_3$	0.768	12	S <sub>4</sub>	0.571
6	$\beta_6$	0.735	5	$\beta_5$	0.569
1	$\beta_1$	0.701	9	S <sub>1</sub>	0.513
8	$\beta_8$	0.687	11	S <sub>3</sub>	0.463
4	$\beta_4$	0.607	15	$\alpha_{B2-A1}$	0.000
13	S <sub>5</sub>	0.600	---	---	---

Thực nghiệm 2. Lưới thực nghiệm là mạng lưới độ cao tự do có số khuyết  $d > 0$  (Hình 2), bao gồm 4 điểm với số lượng trị đo có thể là 6. Thông tin về các trị đo dự kiến và thứ tự sắp xếp các trị đo cho trong Bảng 5. Theo (7), đã

xác định được ma trận độ tin cậy R của lưới như trong Bảng 6. Sắp xếp các trị đo theo mức đo thừa từ lớn đến bé, ta có kết quả như trong Bảng 7.



Hình 2. Lưới thực nghiệm 2

Bảng 5- Thứ tự sắp xếp các trị đo dự kiến và số trạm máy

Thứ tự	Tên trị đo	Số trạm máy	Thứ tự	Tên trị đo	Số trạm máy
1	h <sub>12</sub>	2	4	h <sub>41</sub>	4
2	h <sub>23</sub>	4	5	h <sub>13</sub>	8
3	h <sub>34</sub>	5	6	h <sub>42</sub>	3

Bảng 6- Các phần tử của ma trận độ tin cậy R

<b>0,312</b>	0,124	0,014	0,202	-0,110	-0,188
0.248	<b>0.478</b>	0.279	0.049	-0.199	0.230
0.035	0.349	<b>0.532</b>	0.218	0.183	0.314
0.405	0.049	0.175	<b>0.531</b>	0.126	-0.356
-0.440	-0.398	0.293	0.251	<b>0.691</b>	0.042
-0.283	0.173	0.188	-0.267	0.016	<b>0.455</b>

Bảng 7- Sắp xếp các trị đo theo mức đo thừa r<sub>i</sub>

Trị đo	Tên trị đo	Mức đo thừa	Trị đo	Tên trị đo	Mức đo thừa
5	h <sub>13</sub>	0.691	2	h <sub>23</sub>	0.478
3	h <sub>34</sub>	0.532	6	h <sub>42</sub>	0.455
4	h <sub>41</sub>	0.531	1	h <sub>12</sub>	0,312

Từ Bảng 6, có  $\text{tr}(R) = \sum r_{ii} = 3$ . Trong lưới có tất cả 3 trị đo thừa. Trong khi đó, số trị đo thừa có thể bảo đảm độ tin cậy cho lưới theo lý thuyết là  $r=0,7.t=2,1 \approx 2$  trị đo. Có thể loại bỏ bớt 1 trị đo có mức đo thừa lớn nhất là h<sub>13</sub>.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm như đã trình bày trong bài báo, có thể rút ra một số kết luận và kiến nghị:

+ Thiết kế tối ưu lưới trắc địa công trình theo mức đo thừa của các trị đo là một giải pháp rất đơn giản và hiệu quả, giúp người thiết kế loại bỏ được những trị đo thừa không cần thiết để rút ngắn thời gian đo lưới, trên cơ sở phải bảo đảm độ tin cậy và tính hợp lý của phương án thiết kế. Giải pháp thiết kế này đặc biệt hiệu quả đối với những mạng lưới lớn, có nhiều trị đo.

+ Nếu thiết kế tối ưu loại một theo mức trị đo thừa cho phép lựa chọn tối ưu các trị đo thì thiết kế tối ưu loại hai cho phép lựa chọn tối ưu trọng số các trị đo. Do đó, khi thiết kế tối ưu lưới theo mức trị đo thừa cũng cần kết hợp với bài toán tối ưu loại hai để vừa bảo đảm độ tin cậy, vừa bảo đảm độ chính xác cho lưới được thiết kế. Giải pháp thiết kế này cũng có thể áp dụng được đối với các mạng lưới trắc địa công trình đo bằng công nghệ GPS (Mualla YALÇINKAYA and Kamil TEKE, 2006).

+ Các tổ chức, đơn vị có tiến hành các công tác trắc địa công trình cần áp dụng kỹ thuật thiết kế tối ưu theo mức đo thừa của các trị đo để chọn phương án xây dựng lưới một cách hợp lý.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Amiri-Simkooei, A., Asgari, J., Zangeneh-Nejad, F., and Zaminpardaz, S. (2012). Basic Concepts of Optimization and Design of Geodetic Networks. *Journal of surveying engineering*, 138:172-183.
- Berne, J. L., and Baselga, S. (2004). First-order design of geodetic networks using the simulated annealing method. *Journal of Geodesy*, 78:47-54.
- Ferguson, T. S. (2008). Linear Programming: A Concise Introduction. Electronic Texts, <https://www.math.ucla.edu/~tom/>.
- Grafarend, E. W. (1974). Optimization of Geodetic Networks. *Bollettino di geodesia e scienze affini*, 33(4):351-406.
- Mohammad, A. A. K. (2015). *On optimization and design of geodetic networks*. Licentiate Thesis in Geodesy, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.
- Nguyễn Quang Phúc (2005). Nghiên cứu phương pháp thiết kế tối ưu lưới khống chế mặt bằng trong trắc địa công trình. *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo)*, mã số B2003-36-52.
- Nguyễn Quang Phúc (2006). *Nghiên cứu tối ưu hóa thiết kế hệ thống lưới quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Thư viện Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội.
- YALÇINKAYA, M., and Teke, K. (2006). Optimization of GPS Networks with Respect to Accuracy and Reliability Criteria. *PS 5.1 - RTK/CORS, XXIII FIG Congress - Munich, Germany*, pp. 8-13.

## ABSTRACT

### Optimal design of control network for engineering surveying according to the redundant degree of measurements

Phuc Quang Nguyen<sup>1</sup>, Huong Minh Thi Hoang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geolog, Vietnam

Optimal design is a modern design method and have been applied in many engineering problems. In the last century, methods and means of measurement and calculation are limited, design optimization is used to design the horizontal control network due to the context at that time. The ability to achieve precision indicators or price targets for a geodetic network is very difficult. Nowadays, optimal design is only applied primarily to the high accuracy specialized network of engineering surveying. There are extreme problems needed to be addressed. In this paper, the authors propose an optimal design solution for specialized network of engineering surveying: optimal design according to the redundant degree of measurements. Experimental computations were conducted to confirm the effectiveness of the proposed solution.