

QUY TRÌNH ĐO ĐẠC VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA THIẾT BỊ ĐỊNH VỊ GNSS ĐỘNG THỜI GIAN THỰC (GNSS - RTK)

TS. TRẦN NGỌC ĐÔNG, NCS. DIÊM CÔNG TRANG, ThS. TRẦN MẠNH TUẦN,
KS. NGUYỄN VĂN NGHĨA

Viện KHCN Xây dựng

TS. NGUYỄN HÀ

Trường Đại học Mở - Địa chất

ThS. ĐÀO XUÂN VƯƠNG

Công ty CP dịch vụ thương mại khảo sát Hà Đông

Tóm tắt: Bài báo có nội dung trình bày các quy trình đo đạc hiện trường và phân tích đánh giá độ chính xác của thiết bị định vị GNSS động thời gian thực (GNSS – RTK) theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 17123-8:2015. Trong bài báo đã tiến hành thử nghiệm đo đạc và xác định độ chính xác công nghệ định vị GNSS-RTK của thiết bị định vị vệ tinh Trimble R8s vào ngày 29 tháng 5 năm 2020. Kết quả thử nghiệm theo tiêu chuẩn ISO 17123-8:2015 cho thấy sử dụng thiết bị định vị vệ tinh GNSS-RTK Trimble R8s đáp ứng độ không đảm bảo đo cho các phép đo RTK theo công bố của nhà sản xuất thiết bị.

Từ khóa: Tiêu chuẩn ISO, định vị, GNSS động thời gian thực, độ chính xác

Abstract: This paper presents the procedure of field measurement and assessment of accuracy of real-time kinematic positioning (GNSS - RTK) according to international standard ISO 17123-8: 2015. In the article, we conducted a trial measurement and determined the accuracy of GNSS-RTK positioning technology of Trimble R8s satellite positioning device on May 29, 2020. Test results are based on ISO 17123- 8: 2015 shows that using the GNSS-RTK Trimble R8s satellite positioning device meets the uncertainty needed measurement for the device manufacturer's RTK measurements.

Key words: ISO standard, positioning, GNSS real-time kinematic, accuracy

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển không ngừng của công nghệ định vị vệ tinh GNSS đã mang lại nhiều thay đổi lớn cho nghề trắc địa. Một trong những thay đổi đó là việc sử dụng công nghệ GNSS động thời gian thực

(RTK). Trước khi bắt đầu công tác khảo sát, để đảm bảo rằng thiết bị, bộ thu GNSS và ăng ten có đủ độ chính xác cho yêu cầu của nhiệm vụ khảo sát thì các thiết bị cần được kiểm tra độ không đảm bảo đo cho các phép đo RTK theo công bố của nhà sản xuất thiết bị. Công tác kiểm tra độ không đảm bảo đo cho các phép đo RTK cần thực hiện theo các quy định của Tiêu chuẩn quốc tế ISO 17123-8:2015, đây là tiêu chuẩn quốc tế đã chỉ định các quy trình đo đạc hiện trường được áp dụng để xác định và đánh giá độ chính xác của hệ thống định vị GNSS theo thời gian thực (RTK) và thiết bị phụ trợ của chúng được sử dụng trong xây dựng, khảo sát và đo đạc công trình.

2. Quy trình đo đạc và đánh giá độ chính xác của thiết bị định vị GNSS động thời gian thực (GNSS-RTK) theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 17123-8:2015

2.1 Yêu cầu chung

- Thử nghiệm nên áp dụng điển hình cho một bộ máy thu và ăng ten GNSS liệt kê trong hướng dẫn sử dụng của nhà sản xuất. Trong trường hợp sử dụng mạng lưới RTK, tính nhất quán của các mẫu ăng ten (ví dụ: thông số hiệu chỉnh ăng ten) phải được đảm bảo;

- Máy thu, ăng ten và thiết bị phụ trợ của chúng cho các điểm máy thu phải được kiểm tra ở các điều kiện đảm bảo theo các phương pháp được chỉ định trong hướng dẫn sử dụng;

- Người sử dụng phải tuân theo các quy định trong hướng dẫn sử dụng tham khảo của nhà sản xuất cho các yêu cầu định vị như số lượng vệ tinh tối thiểu, hệ số suy giảm độ chính xác vị trí vệ tinh (PDOP), thời gian quan sát tối thiểu và có thể là các điều kiện cần thiết khác;

- Độ chính xác định tâm và đo chiều cao ăng ten trong thử nghiệm tại hiện trường phải đạt được 1 mm;

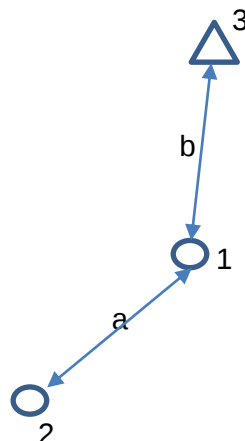
- Kết quả của thử nghiệm bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố, chẳng hạn như cấu hình vệ tinh có thể nhìn thấy tại các điểm, điều kiện tầng điện ly và tầng đối lưu, môi trường đa đường dẫn xung quanh các điểm, độ chính xác của thiết bị và chất lượng của phần mềm chạy trong thiết bị đầu thu hoặc trong hệ thống tạo dữ liệu truyền từ điểm gốc.

2.2 Khái niệm về quy trình kiểm tra

Quy trình thử nghiệm gồm có quy trình thử nghiệm đơn giản và quy trình thử nghiệm đầy đủ. Khu vực thử nghiệm bao gồm một điểm trạm Base và hai điểm máy thu (Rover). Vị trí của các điểm máy thu sẽ gần với khu vực của nhiệm vụ liên quan. Khoảng cách hai điểm máy thu tối thiểu là 2m và không vượt quá 20m. Vị trí của hai điểm máy có thể được chọn một cách thuận tiện trong khu vực thử nghiệm (hình 1). Khoảng cách ngang và chênh cao giữa hai điểm máy thu phải được xác định bằng các phương pháp có độ chính xác cao hơn 3mm và khác với đo RTK. Các giá trị này được coi là giá trị danh nghĩa và được sử dụng trong bước đầu tiên của cả hai quy trình thử nghiệm. Khoảng cách ngang và chênh cao được tính từ tọa độ đo trong mỗi bộ đo RTK phải được so sánh với các giá trị danh nghĩa để đảm bảo rằng các phép đo không bị bỏ qua từ bất kỳ ngoại lệ nào. Tuy nhiên, các giá trị danh nghĩa không được sử dụng trong các thử nghiệm thống kê.

Một loạt các phép đo bao gồm năm bộ phép đo, mỗi bộ phép đo bao gồm các phép đo liên tiếp tại các điểm máy thu 1 và 2. Thời gian trễ giữa các bộ đo liên tiếp là khoảng 5 phút. Yêu cầu này làm cho khoảng thời gian của một chuỗi các phép đo là khoảng 25 phút và năm bộ đo ở cả hai điểm máy thu sẽ được phân phối đồng đều trong khoảng này. Thời gian bắt đầu cho mỗi chuỗi đo liên tiếp phải cách nhau ít nhất 90 phút. Do đó, nhiều chuỗi đo có xu hướng phản ánh các ảnh hưởng như thay đổi cấu hình vệ tinh và các biến đổi trong điều kiện tầng điện ly và tầng đối lưu. Độ lệch chuẩn được tính

trên tất cả các phép đo sẽ đại diện cho một phép đo định lượng về độ chính xác được sử dụng, bao gồm hầu hết các ảnh hưởng điển hình trong định vị vệ tinh.



- 1, 2 - điểm máy thu 1 và 2 (Rover);
- 3 - điểm trạm Base;
- a - tối thiểu 2 m và không quá 20 m;
- b - khoảng cách tương ứng theo nhiệm vụ liên quan.

Hình 1. Cấu hình của mạng lưới thử nghiệm hiện trường

Quy trình thực nghiệm đơn giản chỉ chứa một chuỗi phép đo và do đó chỉ liên quan đến phát hiện độ lệch và không có đánh giá thống kê. Ngược lại, quy trình kiểm tra đầy đủ bao gồm ba chuỗi đo và ngoài ra cho phép ước tính độ lệch chuẩn và kiểm tra thống kê.

2.3. Quy trình thực nghiệm đơn giản

a. Phép đo

Quy trình thực nghiệm đơn giản bao gồm một chuỗi các phép đo và đưa ra ước tính giá trị độ chính xác của thiết bị đang sử dụng có nằm trong độ lệch cho phép được chỉ định hay không. Quy trình thực nghiệm đơn giản dựa trên số lượng trị đo giới hạn. Do đó, độ lệch chuẩn đáng kể không thể đạt được và các thực nghiệm thống kê không được áp dụng. Nếu cần đánh giá chính xác hơn về thiết bị, nên áp dụng quy trình thực nghiệm đầy đủ nghiêm ngặt hơn như được nêu trong 2.4. Đối với quy trình thực nghiệm đơn giản, phải thực hiện một chuỗi các phép đo, trong đó người quan sát phải thu được năm bộ đo tại hai điểm máy thu. Trình tự các phép đo được thể hiện trong bảng 1, trong đó cột "STT" chỉ rõ ràng trình tự của phép đo.

Bảng 1. Trình tự các phép đo cho một chuỗi

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm máy thu	Trị đo		
	i	j	k	x	y	h
1	1	1	1	$x_{1,1,1}$	$y_{1,1,1}$	$h_{1,1,1}$
2	1	1	2	$x_{1,1,2}$	$y_{1,1,2}$	$h_{1,1,2}$
3	1	2	1	$x_{1,2,1}$	$y_{1,2,1}$	$h_{1,2,1}$
4	1	2	2	$x_{1,2,2}$	$y_{1,2,2}$	$h_{1,2,2}$
5	1	3	1	$x_{1,3,1}$	$y_{1,3,1}$	$h_{1,3,1}$
6	1	3	2	$x_{1,3,2}$	$y_{1,3,2}$	$h_{1,3,2}$
7	1	4	1	$x_{1,4,1}$	$y_{1,4,1}$	$h_{1,4,1}$
8	1	4	2	$x_{1,4,2}$	$y_{1,4,2}$	$h_{1,4,2}$
9	1	5	1	$x_{1,5,1}$	$y_{1,5,1}$	$h_{1,5,1}$
10	1	5	2	$x_{1,5,2}$	$y_{1,5,2}$	$h_{1,5,2}$

Một tập hợp các phép đo cụ thể được biểu thị dưới dạng $x_{i,j,k}$, $y_{i,j,k}$ và $h_{i,j,k}$ trong đó x, y và h là tọa độ của hệ tọa độ cục bộ. Chỉ số i thể hiện chuỗi đo, chỉ số j cho số bộ đo và chỉ số k cho số điểm máy thu. Ví dụ $x_{1,3,2}$ là thành phần x của bộ đo thứ ba tại điểm 2 đặt máy trong chuỗi đo đầu tiên.

b. Tính toán

$$\left. \begin{aligned} D_{i,j} &= \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2} \\ \Delta h_{i,j} &= h_{i,j,2} - h_{i,j,1} \\ \varepsilon_{Di,j} &= D_{i,j} - D^* \\ \varepsilon_{hi,j} &= h_{i,j} - h^* \end{aligned} \right\} i = 1, j = 1, \dots, 5 \quad (1)$$

trong công thức (1):

$x_{i,j,k}, y_{i,j,k}, h_{i,j,k}$ - các trị đo x, y và h tương ứng trong bộ đo j tại điểm máy thu k trong chuỗi i;

D^*, h^* - giá trị danh nghĩa khoảng cách ngang và chênh cao tương ứng;

$\varepsilon_{Di,j}, \varepsilon_{hi,j}$ - độ lệch khoảng cách ngang và độ lệch chênh cao tương ứng.

Nếu bất kỳ sai lệch nào không thỏa mãn một trong hai điều kiện trong công thức (2), bao gồm một độ lệch (hoặc nhiều độ lệch) trong các phép đo tương ứng bị nghi ngờ thì lặp lại quy trình kiểm tra [2].

$$\left\{ \begin{aligned} |\varepsilon_{Di,j}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy} \\ |\varepsilon_{hi,j}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

trong công thức (2):

Các phép đo riêng lẻ được so sánh trực tiếp với các giá trị danh nghĩa có sẵn để phát hiện bất kỳ phép đo nào có sai số thô.

Với mỗi bộ đo j (j=1...5) trong chuỗi i (i= 1), tính khoảng cách ngang và chênh cao giữa hai điểm máy thu. Sau đó, tính toán độ lệch của chúng với các giá trị danh nghĩa theo công thức (1) [2].

s_{xy} và s_h là độ lệch chuẩn được xác định trước theo quy trình thực nghiệm đầy đủ hoặc các giá trị được chỉ định bởi nhà sản xuất.

2.4 Quy trình thực nghiệm đầy đủ

a. Các phép đo

Quy trình thực nghiệm đầy đủ phải được thông qua để xác định độ chính xác đo đạc tốt nhất có thể đạt được của thiết bị đang sử dụng. Quy trình thực nghiệm đầy đủ bao gồm ba chuỗi phép đo.

Quy trình thực nghiệm đầy đủ nhằm xác định độ lệch chuẩn thực nghiệm cho một phép đo tọa độ và độ cao. Hơn nữa, quy trình này có thể được sử dụng để xác định như sau:

- Thước đo độ chính xác của thiết bị trong các điều kiện nhất định (bao gồm các ảnh hưởng ngắn và dài hạn điển hình);

- Thước đo độ chính xác của thiết bị được sử dụng trong các khoảng thời gian khác nhau hoặc trong các điều kiện khác nhau (đa điều kiện);

- Thước đo khả năng so sánh giữa độ chính xác khác nhau của thiết bị có thể đạt được trong các điều kiện tương tự.

Các thực nghiệm thống kê sẽ được áp dụng để xác định xem mẫu thử từ thực nghiệm có thuộc cùng một tập hợp như độ lệch chuẩn lý thuyết hay không và để xác định xem hai mẫu thử từ các thực nghiệm khác nhau có thuộc cùng một tập hợp hay không.

Đối với quy trình thực nghiệm đầy đủ, ba chuỗi đo sẽ được thực hiện. Trình tự các phép đo trong mỗi chuỗi giống hệt với trường hợp thực nghiệm đơn giản. Thời gian bắt đầu của chuỗi liên tiếp phải cách nhau ít nhất 90 phút.

b. Tính toán

* Tổng quát:

Tính toán được thực hiện trong hai bước. Trong bước đầu tiên, các phép đo riêng lẻ so sánh trực

$$\left. \begin{aligned} r_{xi,j,k} &= \bar{X}_k - x_{i,j,k} \\ r_{yi,j,k} &= \bar{Y}_k - y_{i,j,k} \\ r_{hi,j,k} &= \bar{h}_k - h_{i,j,k} \end{aligned} \right\} \quad k = 1, 2, j = 1 \dots 5, i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

Các số dư ở trên đều được bình phương và tính tổng, bao gồm các phép đo cho tất cả các chỉ số điểm $k = 1$ và $k = 2$ cho x , y và h riêng biệt như công thức (5) [2]:

$$\left. \begin{aligned} \sum r_x^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{xi,j,k}^2 \\ \sum r_y^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{yi,j,k}^2 \\ \sum r_h^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{hi,j,k}^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Bậc tự do cho x , y và h là giống hệt nhau và được tính như sau [2]:

$$v_x = v_y = v_h = (m \cdot n - 1) \cdot p = (3 \times 5 - 1) \times 2 = 28 \quad (6)$$

trong đó: m - số của chuỗi đo, $m = 3$;

n - số của bộ đo trong một chuỗi, $n = 5$;

p - số của điểm máy thu, $p = 2$.

tiếp với các giá trị danh nghĩa có sẵn để phát hiện bất kỳ phép đo nào có sai số thô. Các giá trị thống kê mong muốn được tính trong bước thứ hai.

* Kiểm tra đo đạc sơ bộ:

Quy trình tương tự được mô tả trước đây trong quy trình đơn giản sẽ được áp dụng cho tất cả các phép đo trong cả ba chuỗi đối với quy trình thực nghiệm đầy đủ.

* Tính toán các giá trị thống kê:

Thứ nhất, áp dụng phương pháp số bình phương nhỏ nhất cho các phép đo tổng thể trong tất cả các chuỗi, các ước tính của x , y và h cho mỗi điểm máy thu k ($k = 1, 2$) được tính như sau [2]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{i,j,k} \\ \bar{y}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{i,j,k} \\ \bar{h}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{i,j,k} \end{aligned} \right\} \quad k = 1, 2 \quad (3)$$

Sau đó, số dư của x , y và h cho tất cả các phép đo trong ba chuỗi được tính như sau [2]:

Cuối cùng, độ lệch chuẩn thực nghiệm của một trị đo x , y và h được tính theo công thức sau [2]:

$$\left. \begin{aligned} s_x &= \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v_x}} = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{28}} \\ s_y &= \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v_y}} = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{28}} \\ s_h &= \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v_h}} = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{28}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

và do đó độ lệch chuẩn thực nghiệm của một vị trí thực địa (x, y) là [2]:

$$s_{xy} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (8)$$

c. Kiểm tra thống kê

* Tổng quát:

Kiểm tra thống kê là có thể thực hiện cho quy trình thực nghiệm đầy đủ.

Để giải thích kết quả, các kiểm tra thống kê phải được thực hiện bằng cách sử dụng độ lệch chuẩn s_{xy} và s_h thu được từ các phép đo và bậc tự do tương ứng của chúng để trả lời các câu hỏi sau:

(1) Độ lệch chuẩn thực nghiệm được tính s_{xy} , của một vị trí x, y, nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị tương ứng σ_{xy} , σ_{xy} theo nhà sản xuất hoặc là một giá trị định trước khác?

(2) Độ lệch chuẩn thực nghiệm tính toán s_h , của một chênh cao h, nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị tương ứng σ_h , σ_h theo nhà sản xuất hoặc một giá trị định trước khác?

(3) Hai độ lệch chuẩn thực nghiệm s_{xy} và $\tilde{s}_{xy}$, của một vị trí (x, y) được xác định từ hai mẫu đo khác nhau có thuộc cùng một tập hợp hay không,

giả sử rằng cả hai mẫu có cùng số bậc tự do $v_x + v_y$ và $\tilde{v}_x + \tilde{v}_y$ tương ứng với s_{xy} và $\tilde{s}_{xy}$?

(4) Hai độ lệch chuẩn thử nghiệm s_h và $\tilde{s}_h$, có cùng độ cao h, được xác định từ hai mẫu đo khác nhau thuộc cùng một tập hợp hay không, giả sử rằng cả hai mẫu có cùng số bậc tự do, v_h và $\tilde{v}_h$ tương ứng với s_h và $\tilde{s}_h$?

Các độ lệch chuẩn thử nghiệm s và $\tilde{s}$, có thể được lấy từ các mục sau:

- Hai mẫu đo bởi cùng một thiết bị;
- Hai mẫu đo bởi các thiết bị khác nhau.

Đối với các thử nghiệm sau đây, mức độ tin cậy $1 - \alpha = 0,95$ và bậc tự do $v_x + v_y = 56$ hoặc $v_h = 28$ được giả định theo thiết kế của phép đo.

Bảng 2. Thử nghiệm thống kê

Câu hỏi	Giả thuyết H_0	Giả thuyết thay thế H_1
a	$s_{xy} \leq \sigma_{xy}$	$s_{xy} > \sigma_{xy}$
b	$s_h \leq \sigma_h$	$s_h > \sigma_h$
c	$\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$	$\sigma_{xy} \neq \tilde{\sigma}_{xy}$
d	$\sigma_h = \tilde{\sigma}_h$	$\sigma_h \neq \tilde{\sigma}_h$

*** Câu hỏi (1)**

Giả thuyết H_0 nêu ra rằng độ lệch chuẩn thử nghiệm s_{xy} , của một vị trí x, y nhỏ hơn hoặc bằng giá trị lý thuyết hoặc giá trị định trước σ_{xy} không bị loại bỏ nếu đáp ứng điều kiện sau [2]:

$$s_{xy} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_x + v_y)}{v_x + v_y}} \quad (9)$$

$$s_{xy} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(56)}{56}} \quad (10)$$

$$\chi_{0,95}^2(56) = 74,47 \quad (11)$$

$$s_{xy} \leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{74,47}{56}} = \sigma_{xy} \times 1,15 \quad (12)$$

Mặt khác, giả thuyết H_0 bị loại bỏ.

*** Câu hỏi (2)**

Giả thuyết H_0 nêu ra rằng độ lệch chuẩn thử nghiệm s_h , của một vị trí x, y nhỏ hơn hoặc bằng

giá trị lý thuyết hoặc giá trị định trước σ_h không bị loại bỏ nếu đáp ứng điều kiện sau [2]:

$$s_h \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_h)}{v_h}} \quad (13)$$

$$s_h \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(28)}{28}} \quad (14)$$

$$\chi_{0,95}^2(28) = 41,34 \quad (15)$$

$$s_h \leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{41,34}{28}} = \sigma_h \times 1,22 \quad (16)$$

Mặt khác, giả thuyết H_0 bị loại bỏ.

*** Câu hỏi (3)**

Trong trường hợp có hai mẫu đo khác nhau, thực nghiệm cho biết liệu độ lệch chuẩn thực nghiệm s_{xy} và $\tilde{s}_{xy}$, của một vị trí (x, y) thuộc cùng một tập hợp. Giả thuyết H_0 tương ứng $\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$, không bị loại bỏ nếu đáp ứng điều kiện sau [2]:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2} \tilde{v}_x + \tilde{v}_y, v_x + v_y} \leq \frac{s_{xy}^2}{\tilde{s}_{xy}^2} \leq F_{1-\alpha/2} v_x + v_y, \tilde{v}_x + \tilde{v}_y \quad (17)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(56,56)} \leq \frac{S_{xy}^2}{\bar{S}_{xy}^2} \leq F_{0,975}(56,56) \quad (18)$$

$$F_{0,975}(56,56) = 1,70 \quad (19)$$

$$0,59 \leq \frac{S_{xy}^2}{\bar{S}_{xy}^2} \leq 1,70 \quad (20)$$

Mặt khác, giả thuyết H_0 bị loại bỏ.

*** Câu hỏi (4)**

Giả thuyết cho rằng hai độ lệch chuẩn thực nghiệm s_h và $\tilde{s}_h$, có cùng độ cao h , thuộc cùng một tập hợp, không bị loại bỏ nếu đáp ứng điều kiện sau:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2, \tilde{v}_h, v_h}} \leq \frac{s_h^2}{\tilde{s}_h^2} \leq F_{1-\alpha/2, v_h, \tilde{v}_h} \quad (21)$$

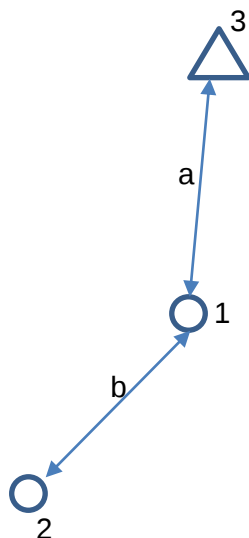
$$\frac{1}{F_{0,975}(28,28)} \leq \frac{s_h^2}{\tilde{s}_h^2} \leq F_{0,975}(28,28) \quad (22)$$

$$F_{0,975}(28,28) = 2,13 \quad (23)$$

$$0,47 \leq \frac{s_h^2}{\tilde{s}_h^2} \leq 2,13 \quad (24)$$

Mặt khác, giả thuyết H_0 bị loại bỏ.

3. Thực nghiệm



Hình 2. Đồ hình thực nghiệm

3.1 Đồ hình thực nghiệm và thiết bị sử dụng

Quá trình thực nghiệm được thực hiện đo đạc với đồ hình như hình 2 vào ngày 29/5/2020 và ngày

30/5/2020 tại Quận Hà Đông, Tp.Hà Nội. Chiều dài cạnh từ điểm 1 đến điểm 2 được đo bằng máy toàn đạc điện tử TCR 1201⁺ với sai số đo cạnh là $m_s = (1\text{mm} + 1,5\text{ppm.D})$, chiều dài cạnh đo được là $S_{1,2} = 18.656\text{m}$; chênh cao giữa 2 điểm 1 và 2 được xác định bằng máy thủy chuẩn NA2 có độ chính xác đo chênh cao là $\pm 0.3\text{mm/km}$ đo đi và đo về, giá trị chênh cao đo được là $h_{1,2} = 0.004\text{m}$. Giá trị đo cạnh bằng máy toàn đạc điện tử và đo chênh cao bằng máy thủy chuẩn sẽ là giá trị danh nghĩa để đánh giá kết quả đo GNSS – RTK.

Máy thu để tiến hành đo GNSS-RTK là máy thu Trimble R8s (số hiệu máy tại trạm Base: R8s, 5825R91128; số hiệu máy tại trạm Rover: R8s, 5745R00142) có sai số trung phương định vị về vị trí mặt bằng và độ cao theo GNSS-RTK là:

- Về mặt bằng: $(8\text{mm} + 1,0\text{ppm.D})$;
- Về độ cao: $(15\text{mm} + 1,0\text{ppm.D})$, D đơn vị là km.

3.2 Đo đạc thực nghiệm và tính toán kết quả

Để thực hiện các phép đo GNSS - RTK, trạm Base là điểm được định vị trong hệ tọa độ và độ cao nhà nước (hệ tọa độ VN-2000, múi chiếu 3 độ, kinh tuyến trục là 105 độ), mô hình Geoid sử dụng là mô hình Geoid toàn cầu EGM2008, công tác định tâm máy và đo chiều cao ăng ten đảm bảo đạt độ chính xác là 1mm. Quá trình đo thực nghiệm gồm 2 phiên đo. Phiên đo đầu tiên (chứa 3 chuỗi với 5 bộ số đo) được tổ chức từ 13h00' đến 18h30' ngày 29/5/2020 và phiên đo thứ hai (chứa 3 chuỗi với 5 bộ số đo) được tổ chức từ 06h00' đến 11h45' ngày 30/5/2020, thời gian cho một giá trị đo là 5 giây. Kết quả đo và tính toán đối với phiên đo thứ nhất được thể hiện ở bảng 3 và bảng 4, phiên đo thứ hai được thể hiện trong bảng 5 và bảng 6.

Bảng 3. Các phép đo và độ lệch so với dữ liệu danh nghĩa (phiên đo đầu tiên)

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Khoảng cách	Chênh cao	Độ lệch so với chuẩn	
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	Di,j (m)	$\Delta h_{i,j}$ (m)	$\varepsilon_{Di,j}$ (m)	$\varepsilon_{hi,j}$ (m)
1	1	1	1	2319185.347	579996.684	9.126				
2	1	1	2	2319171.775	579983.897	9.117	18.647	-0.009	-0.009	-0.013
3	1	2	1	2319185.345	579996.680	9.119				
4	1	2	2	2319171.769	579983.899	9.124	18.646	0.005	-0.010	0.001
5	1	3	1	2319185.334	579996.690	9.117				

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Khoảng cách	Chênh cao	Độ lệch so với chuẩn	
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	Di,j (m)	$\Delta h_{i,j}$ (m)	$\epsilon_{Di,j}$ (m)	$\epsilon_{hi,j}$ (m)
6	1	3	2	2319171.774	579983.893	9.131	18.645	0.014	-0.011	0.010
7	1	4	1	2319185.342	579996.687	9.119				
8	1	4	2	2319171.779	579983.887	9.128	18.649	0.009	-0.007	0.005
9	1	5	1	2319185.333	579996.701	9.127				
10	1	5	2	2319171.772	579983.892	9.117	18.654	-0.010	-0.002	-0.014
11	2	1	1	2319185.339	579996.689	9.102				
12	2	1	2	2319171.778	579983.887	9.114	18.649	0.012	-0.007	0.008
13	2	2	1	2319185.338	579996.698	9.117				
14	2	2	2	2319171.764	579983.894	9.127	18.660	0.010	0.004	0.006
15	2	3	1	2319185.344	579996.686	9.117				
16	2	3	2	2319171.773	579983.890	9.132	18.652	0.015	-0.004	0.011
17	2	4	1	2319185.342	579996.697	9.135				
18	2	4	2	2319171.773	579983.891	9.145	18.658	0.010	0.002	0.006
19	2	5	1	2319185.341	579996.698	9.139				
20	2	5	2	2319171.772	579983.888	9.139	18.660	0.000	0.004	-0.004
21	3	1	1	2319185.344	579996.699	9.135				
22	3	1	2	2319171.769	579983.891	9.123	18.663	-0.012	0.007	-0.016
23	3	2	1	2319185.343	579996.696	9.136				
24	3	2	2	2319171.772	579983.887	9.133	18.661	-0.003	0.005	-0.007
25	3	3	1	2319185.343	579996.696	9.125				
26	3	3	2	2319171.765	579983.898	9.118	18.659	-0.007	0.003	-0.011
27	3	4	1	2319185.341	579996.696	9.133				
28	3	4	2	2319171.764	579983.898	9.125	18.658	-0.008	0.002	-0.012
29	3	5	1	2319185.342	579996.699	9.124				
30	3	5	2	2319171.769	579983.892	9.128	18.661	0.004	0.005	0.000
Giới hạn của mỗi độ lệch									±28	±53

Bảng 4. Các phép đo, số dư và độ lệch chuẩn thử nghiệm (phiên đo đầu tiên)

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Độ lệch (mm)			Bình phương độ lệch (mm ²)		
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	r_x	r_y	r_h	r_x^2	r_y^2	r_h^2
1	1	1	1	2319185.347	579996.684	9.126	-6	9	-1	34	82	2
2	1	1	2	2319171.775	579983.897	9.117	-4	-5	10	14	22	95
3	1	2	1	2319185.345	579996.680	9.119	-4	13	6	14	171	33
4	1	2	2	2319171.769	579983.899	9.124	2	-7	3	5	45	7
5	1	3	1	2319185.334	579996.690	9.117	7	3	8	52	9	60
6	1	3	2	2319171.774	579983.893	9.131	-3	-1	-4	8	1	18
7	1	4	1	2319185.342	579996.687	9.119	-1	6	6	1	37	33
8	1	4	2	2319171.779	579983.887	9.128	-8	5	-1	61	28	2
9	1	5	1	2319185.333	579996.701	9.127	8	-8	-2	67	63	5
10	1	5	2	2319171.772	579983.892	9.117	-1	0	10	1	0	95
11	2	1	1	2319185.339	579996.689	9.102	2	4	23	5	17	517
12	2	1	2	2319171.778	579983.887	9.114	-7	5	13	46	28	162
13	2	2	1	2319185.338	579996.698	9.117	3	-5	8	10	24	60
14	2	2	2	2319171.764	579983.894	9.127	7	-2	0	52	3	0
15	2	3	1	2319185.344	579996.686	9.117	-3	7	8	8	50	60
16	2	3	2	2319171.773	579983.890	9.132	-2	2	-5	3	5	28
17	2	4	1	2319185.342	579996.697	9.135	-1	-4	-10	1	15	105
18	2	4	2	2319171.773	579983.891	9.145	-2	1	-18	3	2	334
19	2	5	1	2319185.341	579996.698	9.139	0	-5	-14	0	24	204
20	2	5	2	2319171.772	579983.888	9.139	-1	4	-12	1	18	150

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Độ lệch (mm)			Bình phương độ lệch (mm ²)		
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	r _x	r _y	r _h	r _x ²	r _y ²	r _h ²
21	3	1	1	2319185.344	579996.699	9.135	-3	-6	-10	8	35	105
22	3	1	2	2319171.769	579983.891	9.123	2	1	4	5	2	14
23	3	2	1	2319185.343	579996.696	9.136	-2	-3	-11	3	9	127
24	3	2	2	2319171.772	579983.887	9.133	-1	5	-6	1	28	39
25	3	3	1	2319185.343	579996.696	9.125	-2	-3	0	3	9	0
26	3	3	2	2319171.765	579983.898	9.118	6	-6	9	38	33	76
27	3	4	1	2319185.341	579996.696	9.133	0	-3	-8	0	9	68
28	3	4	2	2319171.764	579983.898	9.125	7	-6	2	52	33	3
29	3	5	1	2319185.342	579996.699	9.124	-1	-6	1	1	35	1
30	3	5	2	2319171.769	579983.892	9.128	2	0	-1	5	0	2
Trị đo trung bình			1	2319185.341	579996.693	9.125						
			2	2319171.771	579983.892	9.127						
Tổng độ lệch bình phương										501	836	2404
Độ lệch chuẩn của đo đặc kiểm tra				s _x = 4.229	s _y = 5.464	s _h = 9.266	s _{xy} = 6.909					

Bảng 5. Các phép đo và độ lệch so với dữ liệu danh nghĩa (phiên đo thứ hai)

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Khoảng cách	Chênh cao	Độ lệch so với chuẩn	
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	Di,j (m)	Δh _{i,j} (m)	ε _{Di,j} (m)	ε _{hi,j} (m)
1	1	1	1	2319185.340	579996.691	9.118				
2	1	1	2	2319171.772	579983.895	9.113	18.650	-0.005	-0.006	-0.009
3	1	2	1	2319185.343	579996.693	9.119				
4	1	2	2	2319171.768	579983.899	9.115	18.654	-0.004	-0.002	-0.008
5	1	3	1	2319185.341	579996.693	9.123				
6	1	3	2	2319171.768	579983.901	9.122	18.651	-0.001	-0.005	-0.005
7	1	4	1	2319185.341	579996.691	9.129				
8	1	4	2	2319171.767	579983.901	9.116	18.650	-0.013	-0.006	-0.017
9	1	5	1	2319185.339	579996.688	9.127				
10	1	5	2	2319171.767	579983.894	9.121	18.652	-0.006	-0.004	-0.010
11	2	1	1	2319185.337	579996.686	9.125				
12	2	1	2	2319171.770	579983.903	9.113	18.641	-0.012	-0.015	-0.016
13	2	2	1	2319185.344	579996.680	9.115				
14	2	2	2	2319171.770	579983.903	9.119	18.641	0.004	-0.015	0.000
15	2	3	1	2319185.341	579996.683	9.107				
16	2	3	2	2319171.770	579983.901	9.123	18.643	0.016	-0.013	0.012
17	2	4	1	2319185.341	579996.684	9.115				
18	2	4	2	2319171.771	579983.894	9.121	18.647	0.006	-0.009	0.002
19	2	5	1	2319185.342	579996.683	9.117				
20	2	5	2	2319171.772	579983.891	9.125	18.649	0.008	-0.007	0.004
21	3	1	1	2319185.344	579996.688	9.129				
22	3	1	2	2319171.773	579983.892	9.127	18.652	-0.002	-0.004	-0.006
23	3	2	1	2319185.341	579996.687	9.130				
24	3	2	2	2319171.772	579983.891	9.130	18.651	0.000	-0.005	-0.004
25	3	3	1	2319185.345	579996.687	9.134				
26	3	3	2	2319171.772	579983.887	9.133	18.657	-0.001	0.001	-0.005
27	3	4	1	2319185.342	579996.690	9.133				
28	3	4	2	2319171.770	579983.891	9.132	18.655	-0.001	-0.001	-0.005
29	3	5	1	2319185.340	579996.701	9.138				
30	3	5	2	2319171.769	579983.890	9.131	18.663	-0.007	0.007	-0.011
Giới hạn của mỗi độ lệch									±28	±53

Bảng 6. Các phép đo, số dư và độ lệch chuẩn thử nghiệm (phiên đo thứ hai)

STT	Chuỗi	Bộ	Điểm Rover	Trị đo			Độ lệch (mm)			Bình phương độ lệch (mm ²)		
	i	j	k	X(m)	Y(m)	H(m)	r _x	r _y	r _h	r _x ²	r _y ²	r _h ²
1	1	1	1	2319185.340	579996.691	9.118	1	-3	6	2	7	35
2	1	1	2	2319171.772	579983.895	9.113	-2	1	10	4	0	95
3	1	2	1	2319185.343	579996.693	9.119	-2	-5	5	3	22	24
4	1	2	2	2319171.768	579983.899	9.115	2	-3	8	4	12	60
5	1	3	1	2319185.341	579996.693	9.123	0	-5	1	0	22	1
6	1	3	2	2319171.768	579983.901	9.122	2	-5	1	4	30	1
7	1	4	1	2319185.341	579996.691	9.129	0	-3	-5	0	7	26
8	1	4	2	2319171.767	579983.901	9.116	3	-5	7	9	30	45
9	1	5	1	2319185.339	579996.688	9.127	2	0	-3	6	0	9
10	1	5	2	2319171.767	579983.894	9.121	3	2	2	9	2	3
11	2	1	1	2319185.337	579996.686	9.125	4	2	-1	19	5	1
12	2	1	2	2319171.770	579983.903	9.113	0	-7	10	0	56	95
13	2	2	1	2319185.344	579996.680	9.115	-3	8	9	7	69	80
14	2	2	2	2319171.770	579983.903	9.119	0	-7	4	0	56	14
15	2	3	1	2319185.341	579996.683	9.107	0	5	17	0	28	287
16	2	3	2	2319171.770	579983.901	9.123	0	-5	0	0	30	0
17	2	4	1	2319185.341	579996.684	9.115	0	4	9	0	19	80
18	2	4	2	2319171.771	579983.894	9.121	-1	2	2	1	2	3
19	2	5	1	2319185.342	579996.683	9.117	-1	5	7	0	28	48
20	2	5	2	2319171.772	579983.891	9.125	-2	5	-2	4	21	5
21	3	1	1	2319185.344	579996.688	9.129	-3	0	-5	7	0	26
22	3	1	2	2319171.773	579983.892	9.127	-3	4	-4	9	12	18
23	3	2	1	2319185.341	579996.687	9.130	0	1	-6	0	2	37
24	3	2	2	2319171.772	579983.891	9.130	-2	5	-7	4	21	53
25	3	3	1	2319185.345	579996.687	9.134	-4	1	-10	13	2	101
26	3	3	2	2319171.772	579983.887	9.133	-2	9	-10	4	73	105
27	3	4	1	2319185.342	579996.690	9.133	-1	-2	-9	0	3	82
28	3	4	2	2319171.770	579983.891	9.132	0	5	-9	0	21	86
29	3	5	1	2319185.340	579996.701	9.138	1	-13	-14	2	160	198
30	3	5	2	2319171.769	579983.890	9.131	1	6	-8	1	31	68
Trị đo trung bình			1	2319185.341	579996.688	9.124						
			2	2319171.770	579983.896	9.123						
Tổng độ lệch bình phương										113	771	1686
Độ lệch chuẩn của đo đặc kiểm tra				S _x = 2.005	S _y = 5.248	S _h = 7.759	S _{xy} = 5.618					

3.3 Kết quả kiểm tra thống kê

a) Kiểm tra thống kê theo câu hỏi (1)

Phiên đo đầu tiên: $s_{xy} = 6.909$ mm, $\sigma_{xy} = 8.0$ mm.

$$6.909 < 1.15 \times 8.0$$

$$6.909 < 9.200$$

Phiên đo thứ 2: $s_{xy} = 5.618$ mm, $\sigma_{xy} = 8.0$ mm.

$$5.618 < 1.15 \times 8.0$$

$$5.618 < 9.200$$

Kết quả kiểm tra thống kê theo câu hỏi a) cho thấy độ lệch chuẩn s_{xy} của một vị trí (x, y) tính được từ thử nghiệm nhỏ hơn độ lệch chuẩn σ_{xy} của thiết bị được nhà sản xuất công bố.

b) Kiểm tra thống kê theo câu hỏi (2)

Phiên đo đầu tiên: $s_h = 9.266$ mm, $\sigma_h = 15.0$ mm.

$$9.266 < 1.22 \times 15.0$$

$$9.266 < 18.300$$

Phiên đo thứ 2: $s_h = 7.759$ mm, $\sigma_{xy} = 15.0$ mm.

$$7.759 < 1.22 \times 15.0$$

$$7.759 < 18.300$$

Kết quả kiểm tra thống kê theo câu hỏi b) cho thấy độ lệch chuẩn s_h của một độ cao (h) tính được từ thử nghiệm nhỏ hơn độ lệch chuẩn σ_h của thiết bị được nhà sản xuất công bố.

c) Kiểm tra thống kê theo câu hỏi (3)

$$s_{xy} = 6.909 \text{ mm}, \tilde{S}_{xy} = 5.681, \sigma_{xy} = 8.0 \text{ mm}$$

$$0.59 \leq \frac{6.909^2}{5.618^2} \leq 1.70$$

$$0.59 \leq 1.513 \leq 1.70$$

Kết quả kiểm tra thống kê theo câu hỏi c) cho thấy điều kiện thử nghiệm được đáp ứng, giả thuyết H_0 cho biết độ lệch chuẩn thử nghiệm s_{xy} và $\tilde{s}_{xy}$ thuộc cùng một tập hợp không bị loại bỏ ở mức độ tin cậy 95%.

d) Kiểm tra thống kê theo câu hỏi (4)

$$s_h = 9.266 \text{ mm}, \tilde{s}_h = 7.759 \quad \sigma_h = 15.0 \text{ mm.}$$

$$0.47 \leq \frac{9.266^2}{7.759^2} \leq 2.13$$

$$0.47 \leq 1.426 \leq 2.13$$

Kết quả kiểm tra thống kê theo câu hỏi d) cho thấy điều kiện thử nghiệm được đáp ứng, giả thuyết H_0 cho biết độ lệch chuẩn thử nghiệm s_h và $\tilde{s}_h$ thuộc cùng một tập hợp không bị loại bỏ ở mức độ tin cậy 95%. Có thể kết luận rằng phép đo vị trí ba chiều thu được từ các mẫu khác nhau và được phân tách thành vị trí xy và độ cao h không bị ảnh hưởng bởi bất kỳ sai lệch nào.

4. Kết luận

Kết quả thử nghiệm với thiết bị Trimble R8s mang lại kết quả về độ chính xác vị trí mặt bằng với độ lệch chuẩn là 6.909 mm cho phiên đo đầu tiên và 5.618 mm cho phiên đo thứ hai. Về độ cao đạt được độ chính xác với độ lệch chuẩn là 9.266 mm cho phiên đo đầu tiên và 7.759 mm cho phiên đo thứ hai. Giả thuyết H_0 đã được chấp nhận trong các thử nghiệm thống kê theo câu hỏi a), b), c) và d). Do đó, kết luận là hệ thống đo lường Trimble R8s đáp ứng

độ không đảm bảo đo cho các phép đo RTK theo công bố của nhà sản xuất thiết bị.

Bài báo đã nêu chi tiết quy trình đo đạc hiện trường cũng như quy trình tính toán để đánh giá độ chính xác của thiết bị định vị GNSS động thời gian thực (GNSS-RTK) theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 17123-8: 2015.

Kiểm tra độ chính xác và hiệu chuẩn các thiết bị đo đạc khảo sát là việc làm hết sức cần thiết để đánh giá thiết bị dự kiến sử dụng có đáp ứng được yêu cầu độ chính xác đề ra theo công bố của nhà sản xuất thiết bị hay không. Đối với các thiết bị định vị GNSS động thời gian thực (GNSS-RTK) áp dụng tiêu chuẩn quốc tế ISO 17123-8: 2015 để thực hiện đo đạc hiện trường và đánh giá độ chính xác là phù hợp, dễ thực hiện và cho kết quả đáng tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Nam Chinh, Đỗ Ngọc Đường (2012). Định vị vệ tinh, *Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật*, Hà Nội.
2. BS ISO 17123-8:2015, Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, *Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)*.
3. California Department of Transportation (CALTRANS), (2012). Chapter 6 of SURVEY MANUAL – Global Positioning System (GPS) Survey Specifications.

Ngày nhận bài: 03/6/2020.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 18/6/2020.