

# NGHIÊN CỨU CÁC PHƯƠNG ÁN XỬ LÝ KẾT HỢP SỐ LIỆU CỦA NHIỀU HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ VỆ TINH TRONG MẠNG LƯỚI GNSS

Vũ Đình Chiêu<sup>a</sup>, Vũ Ngọc Quang<sup>b,\*</sup>, Lương Ngọc Dũng<sup>a</sup>, Hà Thị Hằng<sup>a</sup>, Trần Đình Trọng<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,

55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>b</sup>Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải,

54 đường Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20/9/2021, Sửa xong 13/10/2021, Chấp nhận đăng 27/10/2021

## Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu sự ảnh hưởng của việc kết hợp số liệu từ các hệ thống định vị khác nhau tới độ chính xác lời giải cạnh khi các loại máy thu có khả năng thu nhận số liệu từ nhiều hệ thống vệ tinh, nhiều kênh thu và nhiều tần số. Nghiên cứu sử dụng phần mềm Trimble Business Center 5.0 ở chế độ không can thiệp nhằm cho ra lời giải khách quan nhất. Mẫu thử nghiệm là 02 mạng lưới có quy mô nhỏ, cạnh ngắn, xuất hiện phổ biến trong công tác trắc địa xây dựng và 01 mạng lớn có chiều dài cạnh từ 40 km đến 80 km với số liệu từ máy thu Trimble R8s và R9s. Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy sự cải thiện cũng như sự ảnh hưởng giữa các hệ thống vệ tinh đến độ chính xác của mạng lưới, mang lại những lựa chọn mới trong xử lý mạng lưới GNSS nhằm đáp ứng các mục tiêu cụ thể.

*Từ khoá:* lưới không chế; định vị; hệ thống vệ tinh; đo GNSS tĩnh; xử lý mạng lưới.

RESEARCH ON PROCESSING OPTIONS COMBINING DATA OF MULTI-SATELLITE POSITIONING SYSTEMS IN GNSS NETWORK

## Abstract

Paper studies on influence of data combination from different satellite systems on the accuracy of baseline processing when many types of receiver have ability to get data from multi-satellite systems, multi-channels and frequencies. The study is performed using Trimble Business Center 5.0 at default processing mode for the most objective results. Testing samples are two small networks that are popular in engineering geodesy and one big scale network that has a range of baseline length from 40 km to 80 km with data from Trimble R8s and R9s. Results of the study showed improvement and influence of satellite systems on elements to assess the accuracy of the networks. This brings new options in the processing control network to meet specific targets.

*Keywords:* control network; positioning; satellite systems; static GNSS; network processing.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(7V\)-14](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-14) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Trong lĩnh vực trắc địa phục vụ xây dựng các công trình dạng tuyến, công trình xây dựng dân dụng hay lĩnh vực quan trắc bất kể là phương pháp thủ công hay tự động, GPS đã trở nên quen thuộc và trở thành phương pháp chính ở tất cả các cấp độ, quy mô của mạng lưới như mạng lưới quốc gia [1], mạng lưới GNSS phục vụ trong trắc địa công trình [2] hay các tiêu chuẩn ngành trong công trình giao thông [3]. Về độ chính xác, trong bất kể lĩnh vực đo đạc nào dù là không chế khảo sát địa hình

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [quangvn@utt.edu.vn](mailto:quangvn@utt.edu.vn) (Quang, V. N.)

hay không chế bố trí thi công công trình thì lưới khống chế cũng là hạng mục yêu cầu độ chính xác cao nhất. Trong một thời gian rất dài kể từ khi được áp dụng vào lĩnh vực đo đạc, các mạng lưới khống chế các cấp hạng quốc gia, khu vực và đo vẽ, GPS là hệ thống có vị thế độc tôn, được xem là hạt nhân của hệ thống định vị toàn cầu. Tuy nhiên, với sự phát triển của khoa học và công nghệ, sự cạnh tranh giữa các nước, các khu vực và quan trọng hơn đó là khẳng định vị thế trong chiếm lĩnh và làm chủ không gian, các hệ thống định vị khác lần lượt được ra đời như Glonass (Nga), Galileo (Châu Âu), Bắc Đẩu (Trung Quốc), IRNSS (Ấn Độ), QZSS (Nhật Bản). Thuật ngữ “GNSS” ra đời đã thể hiện đầy đủ ý nghĩa và bao hàm toàn bộ các hệ thống định vị đang được vận hành đầy đủ hoặc đang trong quá trình hoàn thiện và cũng có thể là hình thành trong tương lai [4]. Trong đó, sự xuất hiện của hệ thống Bắc Đẩu toàn cầu 3 đã mang tới sự bổ sung hơn 30 vệ tinh vào các chòm sao vệ tinh trên bầu trời [5] và đòi hỏi cần có sự nghiên cứu khi xử lý kết hợp số liệu giữa các chòm sao đã tồn tại với sự xuất hiện mới này.

Ở Việt Nam, mạng lưới có chiều dài cạnh lên tới hàng trăm, hàng ngàn km đã có thể thực hiện được, sai số tương đối chiều dài cạnh lên tới phần triệu và sai số vị trí điểm tiền tới mm đã có thể đạt được [6, 7]. Cũng trong nghiên cứu [6, 7], tác giả đã nghiên cứu xử lý mạng lưới quan trắc địa động với sự kết hợp số liệu từ hệ thống vệ tinh GPS và Glonass. Đây cũng là nghiên cứu đáng lưu ý nhất và sự kết hợp giữa các hệ thống định vị khác là chưa có. Theo thời gian, các máy thu GPS một tần số đến GPS hai tần số đã trở thành các máy thu GNSS một tần rồi đa tần số, đa kênh thu [8, 9]. Trong trắc địa, nguyên tắc “trị đo càng nhiều, độ chính xác càng cao” [10] luôn luôn là mục tiêu. Gần đây nhất, hãng CHC navigation đã công bố firmware mới nhất vào tháng 5/2021 có thể thu số liệu của cả 6 hệ thống vệ tinh hiện tại, hay tháng 7/2021 hãng Comnav đã công bố nền tảng main K8 mới nhất lên tới 1198 kênh thu. Với cả hai, đây có thể coi là cuộc cách mạng trong nâng cấp khả năng đo đạc. Về thời gian theo dõi của vệ tinh, do sự phân bố vệ tinh trên mỗi quỹ đạo, góc nghiêng và độ cao quỹ đạo của mỗi hệ thống là khác nhau [11], các vệ tinh GPS cũng không còn chiếm vị trí hạt nhân nữa, ít nhất là về mặt số lượng và thời gian theo dõi tín hiệu. Trong [11] cũng chỉ ra rằng thời gian quan sát của các vệ tinh Bắc Đẩu ở quỹ đạo vệ tinh địa tĩnh là dài nhất. Công tác khảo sát, đo đạc với công nghệ GNSS có thể được tiến hành trong mọi điều kiện thời tiết, tại mọi vị trí trên Trái đất với độ chính xác rất cao và mang lại những lợi ích kinh tế lớn [12, 13].

Trên thế giới, các nghiên cứu về xử lý kết hợp các hệ thống định vị có thể kể đến các công trình [14–16] với GPS và Bắc Đẩu. Nghiên cứu [6, 7] sử dụng phương pháp đo GNSS tĩnh, [14, 15] sử dụng phương pháp định vị điểm đơn (single point positioning-SPP) và phương pháp định vị điểm chính xác (Precise Point Positioning-PPP). Theo [1–3], chỉ có phương pháp GNSS tĩnh là cho phép được sử dụng trong thành lập lưới khống chế GNSS, các phương pháp khác chưa được phép sử dụng. Hiện tại, các vệ tinh GPS, Glonass, Galileo và Bắc Đẩu là các vệ tinh chính đảm bảo số lượng, thời gian khi quan sát để có thể sử dụng vào tính toán, bình sai mạng lưới. Nghiên cứu về giới hạn độ chính xác của các hệ thống này và ứng dụng có thể tham khảo trong [17, 18].

Có thể thấy rằng xu hướng là nghiên cứu xử lý hỗn hợp các trị đo GNSS đang chiếm ưu thế trong các nghiên cứu kể trên. Đây cũng là xu hướng chung trong xu thế hợp tác toàn cầu nói chung và nghiên cứu định vị không gian trong trắc địa nói riêng. Với mạng lưới cạnh ngắn và trung bình ở Việt Nam, việc nghiên cứu xử lý kết hợp số liệu của các hệ thống định vị là chưa có. Do đó, cần phải tiếp tục có những nghiên cứu đánh giá độ chính xác định vị của các hệ GNSS khác nhau và kết hợp một trong số các hệ với nhau (có thể là hai, ba hay thậm chí là 4 hệ nếu có thể) để đánh giá ảnh hưởng của chúng tới kết quả cuối cùng. Đồng thời, cũng xem xét sự kết hợp tối ưu của các hệ thống khi tính đến độ chính xác của từng thành phần như sai số cạnh, sai số chênh cao, sai số mặt bằng và độ cao. Đặc biệt, hệ định vị toàn cầu Bắc Đẩu 3 đã được triển khai toàn diện vào đầu năm 2020.

## 2. Dữ liệu và phương pháp

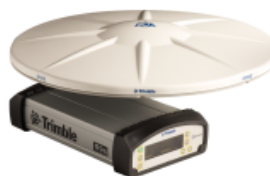
Với mục tiêu đánh giá độ chính xác của mạng lưới khi sử dụng từng hệ thống định vị và sự kết hợp giữa chúng, nghiên cứu sử dụng số liệu đo tĩnh của ba mạng lưới với ba nhiệm vụ khác nhau. Một là mạng lưới khống chế phục vụ đo đạc, thành lập bản đồ địa hình, hai là mạng lưới khống chế phục vụ thi công công trình dạng tuyến, có yếu tố trải dài về khoảng cách tuyến đo, ba là mạng lưới khống chế phục vụ mục đích quan trắc địa động và hệ tham chiếu hoạt động liên tục, các điểm cách nhau với khoảng cách lớn, các trạm đo hoạt động theo phương thức liên tục.

### 2.1. Thiết bị

Số liệu trong nghiên cứu được thu bằng máy thu Trimble R8s (Hình 1(a)) với anten tích hợp bên trong phù hợp với thành lập các mạng lưới khống chế có thời gian thu số liệu ngắn và Trimble R9s (Hình 1(b)) có anten rời dùng để thu số liệu với thời gian cả ngày hoặc cả tuần. Cả hai đều là máy thu có khả năng thu số liệu nhiều hệ thống vệ tinh (GPS, Glonass, Galileo, Bắc Đẩu) và có 440 kênh thu. Máy thu trimble cũng là máy thu đáp ứng toàn bộ các tiêu chí về máy thu trong [2].



(a) Trimble R8s



(b) Trimble R9s

Hình 1. Thiết bị thu số liệu đo tĩnh

### 2.2. Dữ liệu và phương pháp

Dữ liệu trong tính toán là số liệu đo GNSS theo phương pháp đo tĩnh, với thời gian đo đáp ứng tiêu chuẩn. Sử dụng định dạng số liệu chuẩn T02 của hãng sau khi kết thúc đo đạc hoặc có thể chuyển đổi sang định dạng rinex để xử lý trên bất kỳ phần mềm nào khác. Các thông tin của số liệu với từng mạng lưới cũng như các thông số chế độ xử lý mạng lưới được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin cơ bản về lưới GNSS

Lưới	PP đo	Thời gian đo	Thiết bị đo	Chế độ xử lý
1	Tĩnh	24 giờ 00 phút	Trimble R9s	Mặc định
2	Tĩnh	01 giờ 00 phút	Trimble R8s	Mặc định
3	Tĩnh	01 giờ 50 phút	Trimble R8s	Mặc định

Phần mềm xử lý là phần mềm Trimble Business Center 5.0 (TBC 5.0) của hãng trimble với quy trình chi tiết được trình bày trong [19]. Để xem xét độ chính xác của các mạng lưới sau tiến hành giải cạnh khi sử dụng từng hệ thống vệ tinh, mạng lưới thứ nhất, có cạnh dài, thời gian đo dài nhất sẽ được tính toán với từng hệ thống định vị vệ tinh và kết hợp giữa chúng. Với mạng lưới thứ hai và thứ ba có thời gian đo ngắn hơn, số lượng vệ tinh của từng hệ Glonass và Galileo sẽ không đủ để tính toán riêng

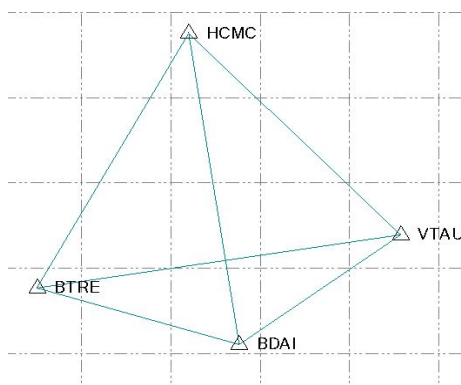
nên sẽ xem xét độ chính xác khi kết hợp các hệ thống. Các tham số đầu vào của từng lưới khi đưa vào xử lý với các hệ thống định vị cũng sẽ giống nhau như góc ngưỡng là 10 độ, tần suất lấy mẫu là 1 giây. Các tiêu chí giá đánh giá bao gồm sai số mặt bằng, sai số chênh cao (m).

### 3. Kết quả và thảo luận

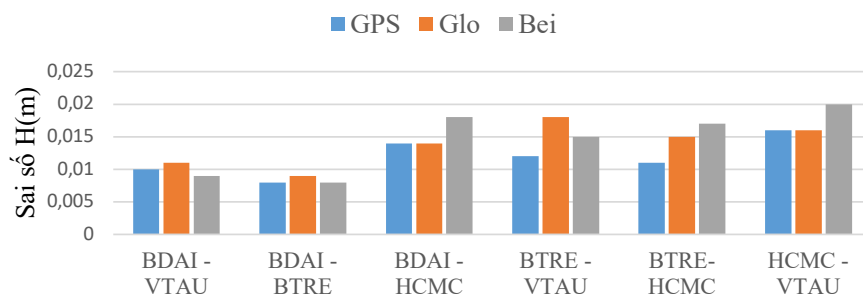
#### 3.1. Lưới thứ nhất

Lưới thứ nhất bao gồm 04 điểm (Hình 2), thu liên tục trong 24 giờ đồng hồ ngày 15/04/2021. Chiều dài cạnh lớn nhất là hơn 82 km, cạnh nhỏ nhất là hơn 44 km. Kết quả xử lý cạnh với mạng lưới thứ nhất bao gồm 6 cạnh, các giá trị sai số thành phần của từng cạnh tương ứng với từng hệ thống vệ tinh được thể hiện trong Hình 3. Trong đó, hệ thống định vị Galileo không thể cho ra lời giải cạnh fix của toàn bộ các cạnh trong lưới nên không thể hiện ở đây.

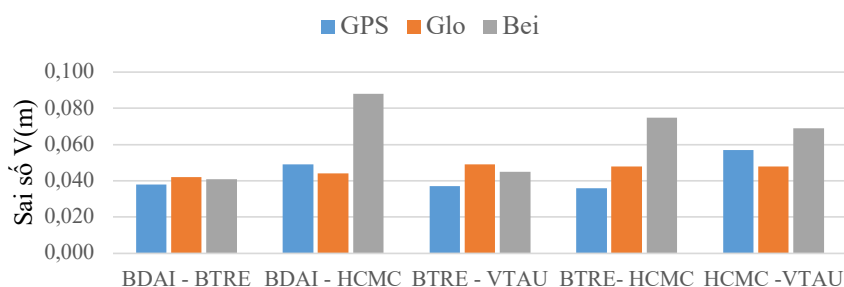
Kết quả xử lý kết hợp các hệ thống định vị vệ tinh được xử lý theo trình tự sử dụng tất cả các hệ thống sau đó loại bỏ dần từng hệ thống. Với hệ thống Galileo, do không đảm bảo lời giải fix tất cả các cạnh như đã trình bày ở trên nên không có sự kết hợp giữa Galileo với một hệ thống khác ở đây. Các kết quả được trình bày trong Hình 4.



Hình 2. Sơ đồ lưới 1

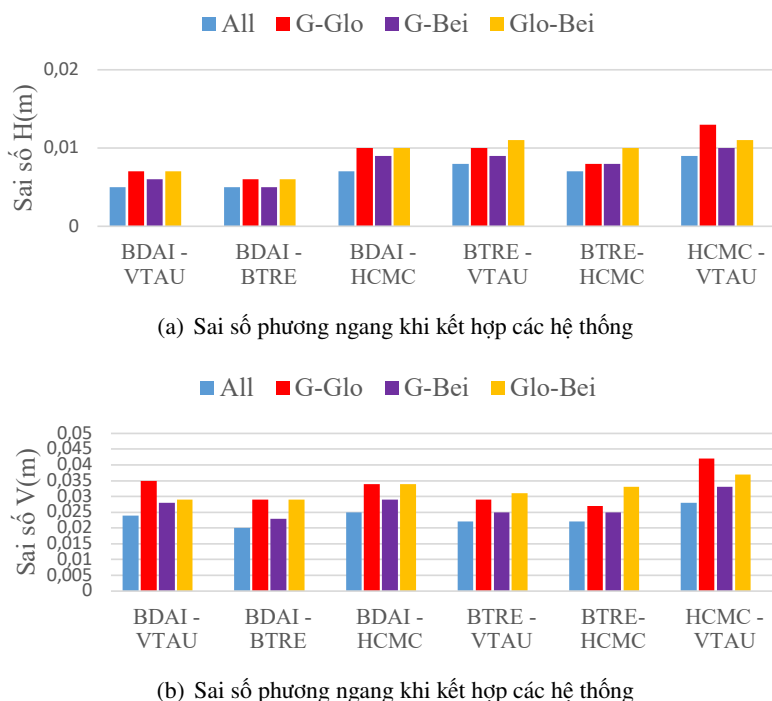


(a) Sai số phương ngang (H)



(b) Sai số phương đứng (V)

Hình 3. Sai số phương ngang và phương đứng của từng cạnh lưới 1 khi sử dụng từng hệ thống vệ tinh



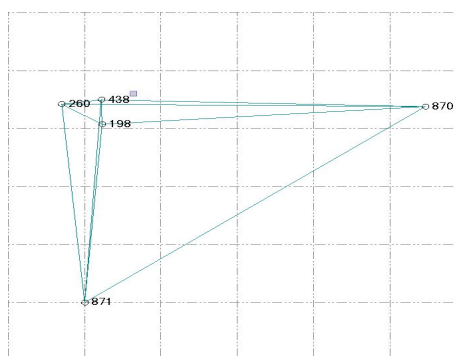
Hình 4. Sai số phương ngang và phương đứng của từng cạnh lưới 1 sử dụng kết hợp các hệ thống vệ tinh

Kết quả thể hiện trong Hình 3, cho thấy khi sử dụng từng hệ thống để tính toán, giải cạnh thì sai số mặt bằng của hệ thống GPS đang tốt nhất. Hệ thống Bắc Đẩu và Glonass đang có kết quả tương đương về mặt tỉ lệ khi có số lượng 3/6 cạnh có sai số mặt bằng lớn nhất (50%). Về mặt giá trị độ lớn, hệ Bắc Đẩu đang có giá trị sai số lớn hơn. Về sai số phương đứng, Bắc Đẩu chiếm 50%, Glonass chiếm 33% và GPS có tỉ lệ thấp nhất là 17%. Tổng hợp lại, hệ thống GPS đang có kết quả tốt nhất khi sử dụng riêng rẽ.

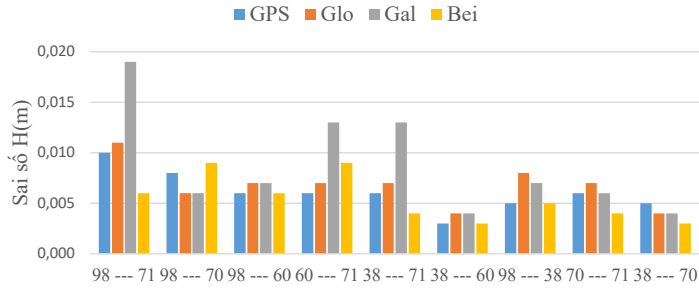
Kết quả khi sử dụng kết hợp các hệ thống vệ tinh cho thấy khi có mặt của các vệ tinh Glonass trong bất kỳ sự kết hợp nào cũng cho ra kết quả kém hơn. Trong đó sự kết hợp giữa GPS-Glonass và Glonass-Bắc Đẩu có ba lần sai số tương đương nhau, hai lần GPS-Bắc Đẩu có sai số mặt bằng lớn hơn và một lần nhỏ hơn. Về sai số phương đứng, sự kết hợp giữa GPS-Glonass và Glonass-Bắc Đẩu cũng cho giá trị lớn nhất. Ngược lại sự có mặt của các vệ tinh GPS cho kết quả tốt hơn và đang đóng vai trò trung hòa giữa các hệ thống để giảm thiểu sai số.

### 3.2. Lưới thứ hai

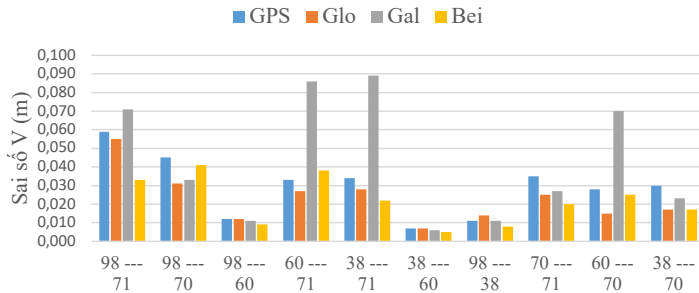
Lưới thứ hai bao gồm 05 điểm (Hình 5), thời gian thu trung bình liên tục, đồng thời của các máy thu là 01 giờ đồng hồ ngày 06/07/2021. Kết quả xử lý cạnh với mạng lưới thứ hai bao gồm 10 cạnh, các giá trị sai số thành phần bao gồm phương ngang, phương đứng của từng cạnh tương ứng với từng hệ thống được thể hiện trong Hình 6 và với sự kết hợp (09 trường hợp) của các hệ thống vệ tinh được thể hiện trong Hình 7.



Hình 5. Sơ đồ lưới 2

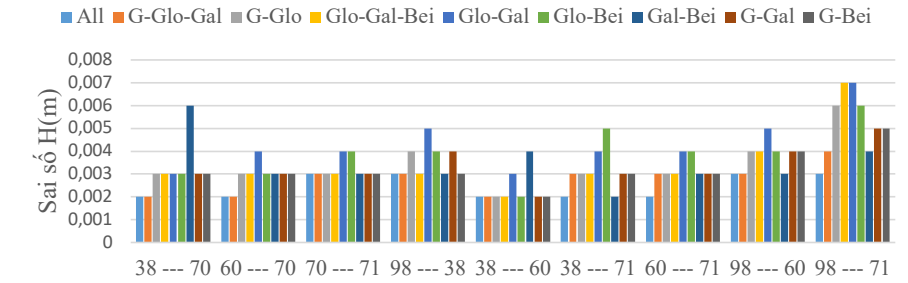


(a) Sai số phương ngang (H)

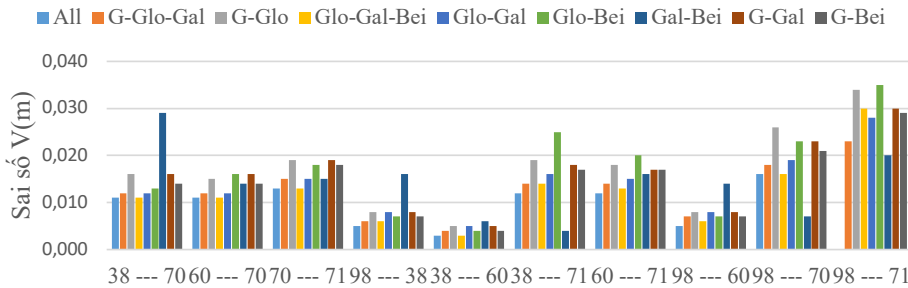


(b) Sai số phương đứng (V)

Hình 6. Sai số phương ngang và phương đứng của từng cạnh lưới 2 sử dụng từng hệ thống vệ tinh



(a) Sai số phương ngang (H)



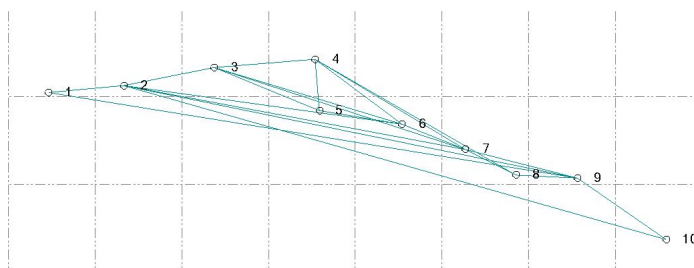
(b) Sai số phương đứng (V)

Hình 7. Sai số phương ngang và phương đứng của từng cạnh lưới 2 khi kết hợp các hệ thống vệ tinh

Khi sử dụng từng hệ thống định vị, về sai số mặt bằng Hình 6(a) cho thấy hệ thống Galileo chiếm tỉ lệ lớn nhất với 5/10 cạnh (50%), Glonass 3/10 cạnh (30%), GPS và Beidou mỗi hệ thống có tỉ lệ 10%. Về sai số phương đứng hình 6(b), hệ thống Galileo có 4/10 cạnh (40%), GPS có 3/10 cạnh (30%) và Glonass có 3/10 cạnh (30%). Khi kết hợp các hệ thống, Hình 7(a) cho thấy sự kết hợp giữa Glonass và Galileo cho ra kết quả kém nhất với 7/10 (70%) cạnh có sai số mặt bằng là cao nhất. Sự có mặt của các vệ tinh Glonass trong sự kết hợp giữa GPS-Glonass, Glonass-Bắc Đẩu lần lượt có tỉ lệ 20% và 40%.

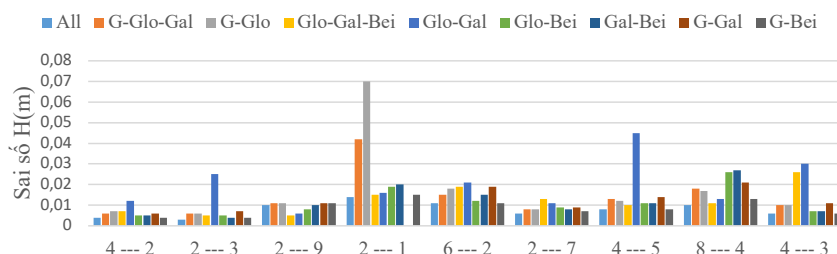
### 3.3. Lưới thứ ba

Mạng lưới thứ 3 (Hình 8) bao gồm 10 điểm với 18 cạnh đo, khu đo của mạng lưới này khác biệt so với hai mạng lưới ở trên. Mạng lưới được thành lập trong khu đô thị phục vụ xây dựng hạ tầng giao thông, có nhiều nhà cao tầng xung quanh và trải dài trên khu đo. Thời gian đo trung bình đồng thời là khoảng 2 giờ đồng hồ.

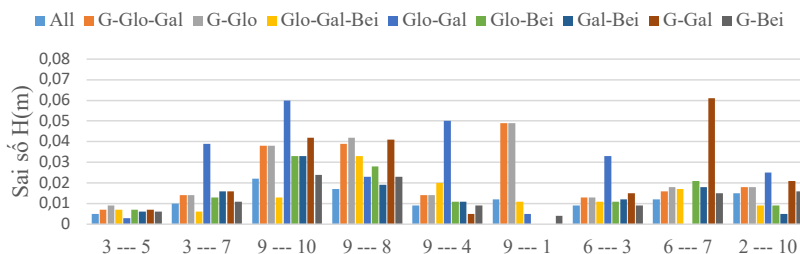


Hình 8. Sơ đồ lưới 3

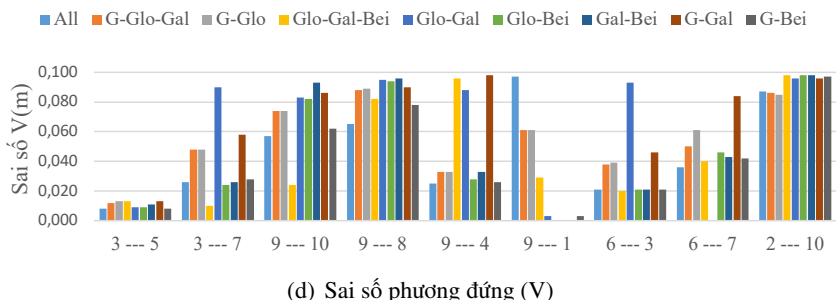
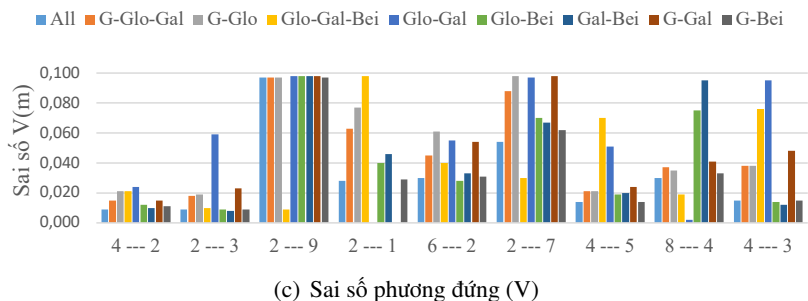
Do đặc điểm của khu đo là trong khu đô thị có mật độ nhà cao tầng lớn, việc sử dụng đơn lẻ các hệ thống định vị để cho ra lời giải fix chỉ thực hiện được với các vệ tinh GPS nên kết quả sẽ chỉ được so sánh khi kết hợp giữa chúng với nhau. Các kết quả trong Hình 9(a)–(d).



(a) Sai số phương ngang (H)



(b) Sai số phương ngang (H)



Hình 9. Sai số phương ngang và phương đứng của từng cạnh khi kết hợp các hệ thống vệ tinh

Với mức độ khó khăn lớn hơn, sự kết hợp giữa các vệ tinh Glonass-Galileo, Glonass-Bắc Đẩu, Galileo-Bắc Đẩu, trong mỗi trường hợp đều có một cạnh không cho ra lời giải fix (cạnh 6---7, 9---1, 9---1 tương ứng) và sự kết hợp giữa các vệ tinh GPS-Galileo có hai cạnh không cho ra lời giải fix

Bảng 2. Số lần xuất hiện sai số lớn nhất và nhỏ nhất theo phương ngang

Cạnh	All	G-Glo-Gal	G-Glo	Glo-Gal-Bei	Glo-Gal	Glo-Bei	Gal-Bei	G-Gal	G-Bei
4---2	0,004	0,006	0,007	0,007	0,012	0,005	0,005	0,006	0,004
2---3	0,003	0,006	0,006	0,005	0,025	0,005	0,004	0,007	0,004
2---9	0,010	0,011	0,011	0,005	0,006	0,008	0,010	0,011	0,011
2---1	0,014	0,042	0,070	0,015	0,016	0,019	0,020	-	0,015
6---2	0,011	0,015	0,018	0,019	0,021	0,012	0,015	0,019	0,011
2---7	0,006	0,008	0,008	0,013	0,011	0,009	0,008	0,009	0,007
4---5	0,008	0,013	0,012	0,010	0,045	0,011	0,011	0,014	0,008
8---4	0,010	0,018	0,017	0,011	0,013	0,026	0,027	0,021	0,013
4---3	0,006	0,010	0,010	0,026	0,030	0,007	0,007	0,011	0,006
3---5	0,005	0,007	0,009	0,007	0,003	0,007	0,006	0,007	0,006
3---7	0,010	0,014	0,014	0,006	0,039	0,013	0,016	0,016	0,011
9---10	0,022	0,038	0,038	0,013	0,060	0,033	0,033	0,042	0,024
9---8	0,017	0,039	0,042	0,033	0,023	0,028	0,019	0,041	0,023
9---4	0,009	0,014	0,014	0,020	0,050	0,011	0,011	0,005	0,009
9---1	0,012	0,049	0,049	0,011	0,005	-	-	-	0,004
6---3	0,009	0,013	0,013	0,011	0,033	0,011	0,012	0,015	0,009
6---7	0,012	0,016	0,018	0,017	-	0,021	0,018	0,061	0,015
2---10	0,015	0,018	0,018	0,009	0,025	0,009	0,005	0,021	0,016
Số lần min	10	0	0	3	1	0	1	1	6
Số lần max	0	2	5	1	10	0	1	2	1



(các cạnh 2---1, 9---1). Để có cái nhìn chi tiết hơn về số lần xuất hiện sai số lớn nhất và nhỏ nhất theo cả hai phương đứng, ngang khi kết hợp các hệ thống, kết quả được thống kê trong Bảng 2, 3.

Bảng 2 cho thấy số lần xuất hiện sai số nhỏ nhất theo phương ngang có số lượng nhiều nhất khi sử dụng tất cả các hệ thống định vị (10 lần), thứ hai là kết hợp giữa các vệ tinh GPS-Bắc Đẩu. Số lần xuất hiện sai số lớn nhất thuộc về sự kết hợp giữa các vệ tinh Glonass-Galileo, tiếp theo là GPS-Glonass. Số lần xuất hiện sai số lớn nhất theo phương ngang khi có mặt các vệ tinh Bắc Đẩu chỉ là 3 lần, có mặt của các vệ tinh Glonass là 18 lần. Với sai số nhỏ nhất, sự kết hợp của hai hay ba hệ thống định vị thì số lần xuất hiện sai số nhỏ nhất khi có các vệ tinh Glonass là 4 lần (trong đó 3 lần có sự tham gia cùng của các vệ tinh Bắc Đẩu), của vệ tinh Bắc Đẩu là 10 lần.

Bảng 3. Số lần xuất hiện sai số lớn nhất và nhỏ nhất theo phương đứng

Cạnh	All	G-Glo-Gal	G-Glo	Glo-Gal-Bei	Glo-Gal	Glo-Bei	Gal-Bei	G-Gal	G-Bei
4--2	0,009	0,015	0,021	0,021	0,024	0,012	0,010	0,015	0,011
2--3	0,009	0,018	0,019	0,010	0,059	0,009	0,008	0,023	0,009
2--9	0,097	0,097	0,097	0,009	0,098	0,098	0,098	0,098	0,097
2--1	0,028	0,063	0,077	0,098	0,030	0,040	0,046	-	0,029
6--2	0,030	0,045	0,061	0,040	0,055	0,028	0,033	0,054	0,031
2--7	0,054	0,088	0,098	0,030	0,097	0,070	0,067	0,098	0,062
4--5	0,014	0,021	0,021	0,070	0,051	0,019	0,020	0,024	0,014
8--4	0,012	0,037	0,035	0,019	0,032	0,075	0,095	0,041	0,033
4--3	0,015	0,038	0,038	0,076	0,095	0,014	0,012	0,048	0,015
3--5	0,008	0,012	0,013	0,013	0,009	0,009	0,011	0,013	0,008
3--7	0,026	0,048	0,048	0,010	0,090	0,024	0,026	0,058	0,028
9--10	0,057	0,074	0,074	0,024	0,083	0,082	0,093	0,086	0,062
9--8	0,065	0,088	0,089	0,082	0,095	0,094	0,096	0,090	0,078
9--4	0,025	0,033	0,033	0,096	0,088	0,028	0,033	0,098	0,026
9--1	0,097	0,061	0,061	0,029	0,003	-	-	-	0,003
6--3	0,021	0,038	0,039	0,020	0,093	0,021	0,021	0,046	0,021
6--7	0,036	0,050	0,061	0,040	-	0,046	0,043	0,084	0,042
2--10	0,087	0,086	0,085	0,098	0,096	0,098	0,098	0,096	0,097
Số lần min	8	0	1	5	1	1	2	0	3
Số lần max	1	1	3	4	6	2	5	5	0

Với sai số phương đứng, khi sử dụng tất cả các hệ thống định vị thì số lần có sai số nhỏ nhất là 8 lần, với sự kết hợp của hai hay ba hệ thống định vị thì số lần có sai số nhỏ nhất khi có mặt các vệ tinh Bắc Đẩu là 11 lần, con số này là 8 lần (trong đó có 6 lần là có sự tham gia cùng của các vệ tinh Bắc Đẩu) với các vệ tinh Glonass. Số lần xuất hiện sai số lớn nhất khi kết hợp hai hay ba hệ thống định vị với sự có mặt của các vệ tinh Glonass là 16 lần, 11 lần với Bắc Đẩu. Sự có mặt của các vệ tinh Glonass và Galileo là cho kết quả kém nhất về phương đứng.

#### 4. Kết luận

Kết quả giải cạnh của ba mạng lưới GNSS, đại diện cho mạng lưới quan trắc liên tục có quy mô lớn, mạng lưới phục vụ thi công công trình giao thông và mạng lưới không chế dành cho khảo sát thành lập bản đồ địa hình với sự kết hợp các vệ tinh của các hệ thống định vị, có một số kết luận như sau:

Các vệ tinh GPS không còn giữ vị trí “hạt nhân” về thời gian theo dõi liên tục hay số lượng vệ tinh nữa nhưng vẫn giữ vị trí “hạt nhân” về chất lượng lời giải cạnh khi kết hợp số liệu của các vệ tinh

trong tính toán các mạng lưới theo phương pháp đo tĩnh và giữ vai trò trung tâm trong sự kết hợp tính toán các mạng lưới GNSS nhất là trong các vị trí khó khăn;

Với khả năng hiển thị dài trên quỹ đạo, cho phép thời gian thu số liệu liên tục dài nhất, trị đo từ các vệ tinh Bắc Đẩu cho ra kết quả rất tốt khi xử lý kết hợp hai hay ba hệ thống vệ tinh và tính toán lời giải cạnh của các mạng lưới;

Sự kết hợp của các hệ thống định vị trong đó có sự tham gia của trị đo từ các vệ tinh GPS hay Bắc Đẩu tham gia vào tính toán cho ra kết quả tốt nhất cả về mặt sai số mặt bằng và độ cao;

Sự kết hợp của các trị đo từ vệ tinh Glonass và Galileo với trị đo từ vệ tinh của các hệ thống khác có kết quả kém nhất, với mạng lưới có yêu cầu về yếu tố độ cao và được phép thực hiện bằng công nghệ GNSS, phương pháp đo tĩnh như trong tiêu chuẩn nên cân nhắc sử dụng trị đo từ các vệ tinh của hệ thống này.

## Lời cảm ơn

Các tác giả cảm ơn Công ty cổ phần thiết bị khoa học công nghệ Tường Anh đã cung cấp số liệu đo liên tục của mạng lưới cạnh dài để phục vụ tính toán.

## Tài liệu tham khảo

- [1] QCVN 06/2009. *Quy định về quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng lưới tọa độ*. Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, Việt Nam.
- [2] TCVN 9401:2012. *Kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình*. Viện Khoa Học Công Nghệ, Bộ Xây Dựng, Việt Nam.
- [3] TCN 263 (2020). *Quy trình khảo sát đường ô tô*. Bộ Giao Thông Vận Tải, Việt Nam.
- [4] Langley, R. B., Teunissen, P. J. G., Montenbruck, O. (2015). *Introduction to GNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and Other Global Navigation Satellite Systems*. Second edition, Springer Handbooks. NovAtel Inc, Calgary, Alberta, Canada.
- [5] Yang, Y., Mao, Y., Sun, B. (2020). [Basic performance and future developments of BeiDou global navigation satellite system](#). *Satellite Navigation*, 1(1).
- [6] Vy, Q. H. (2014). Xử lý số liệu hỗn hợp gps/glonass. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 36:14–20.
- [7] Hải, V. Q. (2013). So sánh kết quả xử lý số liệu GPS và GLONASS. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 35:60–65.
- [8] Nik, S. A., Petovello, M. G. (2008). Multichannel dual frequency GLONASS software receiver. *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)*, 1719–1729.
- [9] Nik, S. A., Petovello, M. G. (2010). [Implementation of a Dual-Frequency GLONASS and GPS L1 C/A Software Receiver](#). *Journal of Navigation*, 63(2):269–287.
- [10] Kennie, T. J. M. (1989). [Engineering Surveying](#). *Civil Engineer's Reference Book*, fourth edition, Elsevier, 6/1–6/29.
- [11] Li, X., Zhang, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., Schuh, H. (2015). [Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou](#). *Scientific Reports*, 5(1).
- [12] Charles, D. G., Paul, R. W. F. (2015). *Elementary surveying - introduction to geomatics*. Aging, Albany, NY.
- [13] Chen, H.-C., Huang, Y.-S., Chiang, K.-W., Yang, M., Rau, R.-J. (2009). [The performance comparison between GPs and BeiDou-2/compass: A perspective from Asia](#). *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 32(5):679–689.
- [14] Cai, C., Gao, Y., Pan, L., Dai, W. (2014). [An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions](#). *Advances in Space Research, COSPAR*, 54(5):818–829.

- [15] Ma, X., Yu, K., He, X., Montillet, J.-P., Li, Q. (2020). [Positioning Performance Comparison Between GPS and BDS With Data Recorded at Four MGEX Stations](#). *IEEE Access*, 8:147422–147438.
- [16] Abdulmajed, R. I., Abbak, R. A. (2017). Accuracy comparison between GPS only and GPS plus GLONASS in RTK and static methods. *Asian Journal of Science and Technology*, 8:6697–6703.
- [17] Lohan, E. S., Borre, K. (2016). [Accuracy limits in multi-GNSS](#). *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 52(5):2477–2494.
- [18] Sơn, P. V. H., Khởi, N. V. T. (2021). [Ứng dụng công nghệ định vị GPS trên smart phone để quản lý an toàn lao động trong quản lý xây dựng](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 15(2V):155–170.
- [19] Department of Transport and Main Road (2019). *Trimble Business Center v5.0*. Processing and Adjusting GNSS Survey Control Networks. Queensland.