

XỬ LÝ SỐ LIỆU HỖN HỢP GPS/GLONASS/GALILEO/ BEIDOU

Bùi Thị Hồng Thắm

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou của lưới GNSS khu vực xã Liên Hà, huyện Đông Anh, thành phố Hà Nội được tập hợp đầy đủ và được xử lý tính toán bình sai trong hệ tọa độ VN 2000, kinh tuyến trục $105^{\circ} 15'$, hệ độ cao Nhà nước. Kết quả cho thấy, sau bình sai, độ chính xác tọa độ điểm yếu nhất là 0.008 m, độ chính xác độ cao điểm yếu nhất là 0.015 m. Khi so sánh kết quả bình sai này với kết quả bình sai chỉ sử dụng số liệu GPS cho thấy, tọa độ và độ cao của điểm cần xác định của lưới có độ tin cậy và độ chính xác cao hơn. Như vậy, tọa độ và độ cao của các điểm GNSS sau bình sai hoàn toàn đáp ứng được cho việc đo vẽ bản đồ tỷ lệ lớn tại khu vực thực nghiệm. Với lần đầu tiên số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou được tính toán bình sai thành công tại Việt Nam, nghiên cứu này sẽ góp phần vào việc làm chủ công nghệ, đồng thời đưa dạng số liệu này vào ứng dụng thực tiễn.

Từ khóa: GNSS; Số liệu hỗn hợp; GPS

Abstract

Processing of GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou mixed data

GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou mixed data from GNSS network about Lien Ha commune, Dong Anh district, Hanoi city are fully compiled, processed and adjusted in VN 2000 coordinate system, $105^{\circ} 15'$ meridian, national height system. The results show that after the adjustment, the accuracy of the coordinates of the weakest point is 0.008 m, the height accuracy of the weakest point is 0.015 m. The result of this adjustment is compared with the correction results using only GPS data. It shows that the coordinates and levelling of GNSS points are more reliable and accurate. Therefore, this result is suitable for large scale mapping in the experimental area. This is the first time that GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou mixed data was successfully adjusted. The research results can be applied in various fields in Vietnam.

Keywords: GNSS; Mixed data; GPS

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, rất nhiều loại máy thu GNSS của các hãng có khả năng thu được tín hiệu đa hệ của các hệ thống vệ tinh dẫn đường. Vì vậy, nghiên cứu xử lý được số liệu hỗn hợp của các hệ thống định vị vệ tinh là vấn đề thiết yếu bởi nó giúp chúng ta không những khai thác, ứng dụng được các nguồn dữ liệu đa dạng, độ chính xác cao mà còn khẳng định sự làm chủ về mặt công nghệ.

Ở Việt Nam, trong thời gian qua, việc xử lý số liệu hỗn hợp cũng đã được các nhà khoa học quan tâm, nghiên cứu và công bố, cụ thể:

- Số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS được xử lý bằng phần mềm khoa học Berness 5.0 vào năm 2014 [6], 2017 [7]. Số liệu hỗn hợp dạng này được xử lý bằng phần mềm thương mại Trimble Business Center 3.5 vào năm 2015 [5].

Nghiên cứu

- Số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/BeiDou được xử lý bằng phần mềm Trimble Business Center 3.5 vào năm 2018 [3].

Các kết quả nghiên cứu nêu trên đã chỉ ra rằng, độ chính xác vị trí các điểm của lưới sau bình sai đều có chất lượng tốt. Các dạng số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS, GPS/GLONASS/BeiDou hoàn toàn đáp ứng tốt yêu cầu của công việc.

Qua các thống kê nêu trên cho thấy, chưa có công bố về nghiên cứu xử lý số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou. Vì vậy, trong nghiên cứu này, số liệu hỗn hợp nêu trên sẽ được nghiên cứu và tính toán bình sai. Bên cạnh đó, kết quả tính toán bình sai của số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou cũng được so sánh với kết quả tính toán bình sai số liệu đơn hệ GPS - là dạng số liệu thường được sử dụng ở nước ta - nhằm đánh giá hiệu quả của việc sử dụng số liệu đa hệ.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Khái quát về các hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu

Hệ thống định vị vệ tinh là hệ thống

sử dụng các vệ tinh để xác định vị trí không gian địa lý. Các máy thu tín hiệu hệ thống định vị vệ tinh có khả năng xác định vị trí với độ chính xác cỡ mét bằng cách sử dụng tín hiệu thời gian truyền bằng sóng radio từ vệ tinh đến máy thu. Hệ thống cho phép xác định vị trí điểm, định vị hoặc theo dõi, giám sát đối tượng. Các tín hiệu cũng cho phép các máy thu tính toán thời gian với độ chính xác cao cũng như việc đồng bộ hóa về thời gian.

Hệ thống định vị vệ tinh có độ phủ sóng trên toàn cầu gọi là hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu (GNSS - Global Navigation Satellite System). Tính từ tháng 10 năm 2018, hệ thống định vị toàn cầu của Mỹ, GLONASS của Nga là các hệ thống GNSS hoạt động đầy đủ. Hệ thống Galileo và BeiDou đang trong giai đoạn hoàn thiện.

Độ bao phủ của mỗi hệ thống thường đạt được bằng một chòm sao quỹ đạo tầm trung (MEO) bao gồm khoảng 18 đến 30 vệ tinh nằm trên vài mặt phẳng quỹ đạo. Các hệ thống thực tế rất khác nhau nhưng nhìn chung đều có độ nghiêng quỹ đạo lớn hơn 55° và thời gian quỹ đạo khoảng 12 giờ (ở độ cao khoảng 20000 km).

Bảng 1. Một số thông số cơ bản của các hệ thống định vị vệ tinh [8]

Hệ thống	BeiDou	Galileo	GLONASS	GPS
Nước sở hữu	Trung Quốc	Liên minh Châu Âu	Nga	Mỹ
Phủ sóng	Khu vực (toàn cầu vào năm 2020)			Toàn cầu
Mã hóa	CDMA			
Độ cao	21150 km	23222 km	19130 km	20180 km
Thời gian quỹ đạo	12 giờ 50 phút	14 giờ 05 phút	11 giờ 15 phút	11 giờ 58 phút
Số lượng vệ tinh hoạt động	35	22	24	31
Góc nghiêng quỹ đạo	55°	56°	64.8°	55°
Tần số	1.561098 GHz (B1) 1.589742 GHz (B1-2) 1.20714 GHz (B2) 1.26852 GHz (B3)	1.559 - 1.592 GHz (E1) 1.164 - 1.215 GHz (E5a/b) 1.260 - 1.300 GHz (E6)	1.593 - 1.610 GHz (G1) 1.237 - 1.254 GHz (G2) 1.189 - 1.214 GHz (G3)	1.563 - 1.587 GHz (L1) 1.215 - 1.2396 GHz (L2) 1381.05 MHz (L3) 1379.913 MHz (L4) 1.164 - 1.189 GHz (L5)
Độ chính xác định vị tuyệt đối	10 m 0.1 m (mã hóa)	01 m 0.01 m (mã hóa)	4.5 m - 7.4 m	5 m - 0.03 m

Các thông số nêu trên được cập nhật tại thời điểm cuối năm 2018.

2.2. Cơ sở lý thuyết xử lý số liệu GNSS

Việc tính toán bình sai lưới được thực hiện sau khi kết quả giải cạnh của lưới đạt yêu cầu tức là sai số khép lưới GNSS nằm trong hạn sai cho phép. Về bản chất, lưới GNSS là lưới không gian 3D cho nên lưới GNSS cần được bình sai trong hệ tọa độ 3D. Tương tự như các mạng lưới trắc địa khác, lưới GNSS cũng được bình sai theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, tức là thỏa mãn điều kiện [PVV] nhỏ nhất. Lưới GNSS được trình sai trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm X, Y, Z hoặc trong hệ tọa độ trắc địa B, L, H. Trong trường hợp bình sai lưới trong hệ tọa độ trắc địa, các trị đo sẽ là các giá số tọa độ trắc địa ΔB_{ij} , ΔL_{ij} , ΔH_{ij} . Phần tiếp theo sẽ trình bày về thuật toán bình sai lưới GNSS trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm.

Mỗi điểm trong lưới GNSS sẽ có 3 ẩn số là X, Y, Z. Nếu lưới có m điểm cần xác định thì sẽ có 3 m ẩn số. Với mỗi cạnh đo giữa 2 điểm i, j tương ứng với 3 trị đo là ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔZ_{ij} và ma trận hiệp phương sai M_{XYZ} . Các phương trình số hiệu chỉnh được lập có dạng như sau [4]:

$$\begin{aligned} V\Delta_{X_{ij}} &= -dX_i + dX_j + (X_j^0 - X_i^0) - \Delta X_{ij} \\ V\Delta_{Y_{ij}} &= -dY_i + dY_j + (Y_j^0 - Y_i^0) - \Delta Y_{ij} \quad (1) \\ V\Delta_{Z_{ij}} &= -dZ_i + dZ_j + (Z_j^0 - Z_i^0) - \Delta Z_{ij} \end{aligned}$$

trong đó: $X_i^0, Y_i^0, Z_i^0, X_j^0, Y_j^0, Z_j^0$ là tọa độ gần đúng của các điểm i, j; d_x, d_y, d_z là các số hiệu chỉnh tọa độ.

Trong công thức (1), ký hiệu:

$$\begin{aligned} l_{X_{ij}} &= (X_j^0 - X_i^0) - \Delta X_{ij}; \\ l_{Y_{ij}} &= (Y_j^0 - Y_i^0) - \Delta Y_{ij}; \quad (2) \\ l_{Z_{ij}} &= (Z_j^0 - Z_i^0) - \Delta Z_{ij} \end{aligned}$$

$l_{X_{ij}}, l_{Y_{ij}}, l_{Z_{ij}}$ được gọi là các số hạng

tự do. Từ các phương trình số hiệu chỉnh ta có hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$V = A.\Delta X + L \quad (3)$$

trong đó:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & +1 & \dots \\ 0 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} l_X \\ l_Y \\ l_Z \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}$$

Hệ phương trình chuẩn có dạng:

$$A^T P A \Delta X + A^T P L = 0 \quad (5)$$

trong đó ma trận trọng số có dạng:

$$P = \begin{bmatrix} M_1^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_n^{-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

trong đó các ma trận hiệp phương sai M_i ($i = 1 \div n$) nhận được khi giải cạnh GNSS là ma trận có kích thước 3 x 3.

Kết quả bình sai được đánh giá độ chính xác qua các công thức sau:

- Sai số trung phương đơn vị trọng số:

$$\mu = \sqrt{\frac{[PVV]}{3(n-m)}} \quad (7)$$

- Sai số vị trí điểm trong hệ tọa độ vuông góc không gian được xác định thông qua ma trận hiệp phương sai tọa độ:

$$M_{P_i} = \mu \sqrt{Q_{X_{P_i}} + Q_{Y_{P_i}} + Q_{Z_{P_i}}} \quad (8)$$

với $Q_{X_{P_i}}, Q_{Y_{P_i}}, Q_{Z_{P_i}}$ là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận nghịch đảo tổng quát.

Ở đây áp dụng phương pháp bình sai các đại lượng tương quan (phụ thuộc) vì

Nghiên cứu

ma trận P không phải là ma trận đường chéo. Công việc bình sai được thực hiện qua các bước: Lập hệ phương trình chuẩn; Giải hệ phương trình chuẩn; Tính tọa độ X, Y, Z sau bình sai; Tính giá số tọa độ ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔZ_{ij} sau bình sai; Đánh giá độ chính xác sau bình sai.

Các hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou có hệ tọa độ tương ứng là WGS 84, PZ - 90.02, GTRF, CGCS 2000; hệ thống thời gian tương ứng là GPST, GLONASST hoặc UTC, GST và BDT. Mối quan hệ giữa các hệ thống thời gian là:

$$\begin{aligned} \text{UTC} &= \text{GPST} - \Delta t\text{LS} \\ \text{GPST} &= \text{GST} = \text{UTC} + \Delta t\text{LS} \\ \text{BDT} &= \text{UTC} + \Delta t\text{LS}_{\text{BDS}} \end{aligned} \quad (9)$$

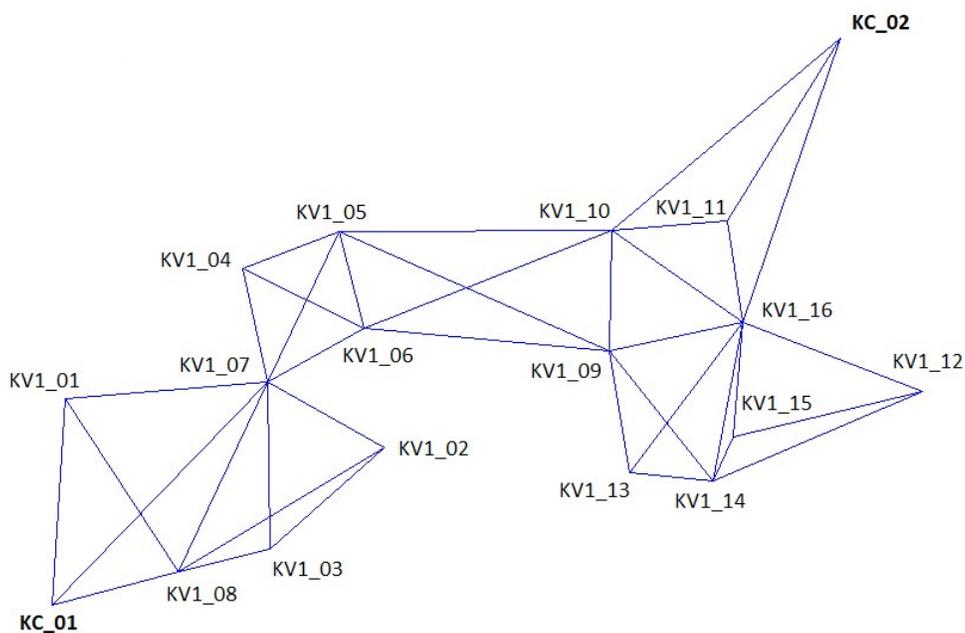
trong đó $\Delta t\text{LS}$ là độ chênh lệch về thời gian giữa GPST và UTC do giây bước nhảy được truyền bởi các vệ tinh GPS trong niên giám (2005: $\Delta t\text{LS} = 13$, 2006: $\Delta t\text{LS} = 14$, 2008: $\Delta t\text{LS} = 15$ và 2012: $\Delta t\text{LS} = 16$); $\Delta t\text{LS}_{\text{BDS}}$ là độ chênh lệch về thời gian giữa BDT và UTC do giây bước nhảy

được truyền bởi các vệ tinh BDS trong niên giám (2006: $\Delta t\text{LS}_{\text{BDS}} = 0$, 2008: $\Delta t\text{LS}_{\text{BDS}} = 1$ và 2012: $\Delta t\text{LS}_{\text{BDS}} = 2$).

Các hệ thống tọa độ và thời gian của các hệ thống là không đồng nhất. Do vậy, về cơ bản quy trình xử lý số liệu hỗn hợp của các hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu giống như bài toán xử lý số liệu đơn hệ GPS. Tuy nhiên, bài toán xử lý số liệu hỗn hợp phức tạp hơn do phải tính đến sự khác nhau giữa các hệ tọa độ và hệ thời gian giữa các hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu.

3. Dữ liệu thực nghiệm

Lưới thực nghiệm được đo đạc tại khu vực thuộc xã Liên Hà nằm ở phía Đông của huyện Đông Anh, Hà Nội. Lưới gồm 02 điểm là điểm gốc, 16 điểm GNSS cần xác định tọa độ và độ cao (hình 1). Lưới được đo vào ngày 04 tháng 8 năm 2018 bằng máy thu Trimble R2 có khả năng thu được tín hiệu đồng thời của các hệ thống định vị vệ tinh GPS, GLONASS, Galileo và BeiDou. Số liệu gốc và số liệu đo được trình bày trong các bảng sau:



Hình 1: Sơ đồ lưới thực nghiệm

* Số liệu gốc

Bảng 2. Số liệu gốc

STT	Tên điểm	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Độ cao h (m)
1	KC_01	2339650.849	591915.864	5.934
2	KC_02	2340616.563	593267.303	7.088

* Số liệu đo

Bảng 3. Số liệu đo

Số hiệu máy	Tên điểm	Tên tệp số liệu	Cao anghen	Số hiệu máy	Tên điểm	Tên tệp số liệu	Cao anghen
5628S04534	KC_01	KC010980.T02	2.042	5630S04703	KV1_01	V1010984.T02	1.369
	KV1_05	V1050981.T02	1.600		KV1_06	V1060985.T02	1.375
	KV1_16	V1160982.T02	1.545		KV1_11	V1110986.T02	1.481
	KV1_02	V1020983.T02	1.554		KV1_14	V1140988.T02	1.545
	KV1_16	V1160984.T02	1.503		KV1_03	V1030989.T02	1.495
5629S04601	KV1_08	V1080982.T02	1.432	KV1_14	V114098A.T02	1.584	
	KV1_04	V1040983.T02	1.392	5708R15658	KV1_07	V1070980.T02	1.574
	KV1_09	V1090984.T02	1.429		KV1_10	V1100981.T02	1.471
	KC_02	KC020985.T02	1.433		KV1_13	V1130982.T02	1.515
	KV1_09	V109098D.T02	1.410		KV1_07	V1070983.T02	1.533
	KV1_08	V108098F.T02	1.410		KV1_12	V1120984.T02	1.52
	KV1_15	V115098G.T02	1.405				

Một phần của 1 tệp số liệu đo được chuyển về dạng Rinex được thể hiện tại bảng 4.

Bảng 4. Một phần của tệp KC010980.18o

```

3.03      OBSERVATION DATA Mixed(MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
cnvtToRINEX 3.09.11 convertToRINEX OPR 02-Mar-19 02:10 UTC PGM / RUN BY / DATE
----- COMMENT
KC_01      MARKER NAME
KC_01      MARKER NUMBER
GEODETIC   MARKER TYPE
GNSS Observer Trimble      OBSERVER / AGENCY
5628S04534 TRIMBLE R2      5.14      REC # / TYPE / VERS
          TRMR2      NONE      ANT # / TYPE
-1629059.2684 5723825.8938 2286731.2996      APPROX POSITION XYZ
          -0.1120      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
G 4 C1C C2W L1C L2W      SYS / # / OBS TYPES
R 4 C1C C2C L1C L2C      SYS / # / OBS TYPES
C 4 C2I C7I L2I L7I      SYS / # / OBS TYPES
J 4 C1C C2X L1C L2X      SYS / # / OBS TYPES
E 4 C1X C8X L1X L8X      SYS / # / OBS TYPES
          5.000      INTERVAL
2018 4 8 0 25 20.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
2018 4 8 1 40 35.0000000 GPS      TIME OF LAST OBS
          0      RCV CLOCK OFFS APPL
7 R01 1 R02 -4 R08 6 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2      GLONASS SLOT / FRQ #
R L2C -0.25000      SYS / PHASE SHIFT
    
```

Nghiên cứu

```
J L2X -0.25000                SYS / PHASE SHIFT
18                             LEAP SECONDS
35                             # OF SATELLITES
C01 893 893 893 893          PRN / # OF OBS
C02 887 887 887 887          PRN / # OF OBS
.....
C14 895 895 895 895          PRN / # OF OBS
E01 887 887 887 887          PRN / # OF OBS
E04 481 481 481 481          PRN / # OF OBS
.....
E24 899 899 899 899          PRN / # OF OBS
G10 904 904 904 904          PRN / # OF OBS
G12 469 469 469 469          PRN / # OF OBS
.....
G31 899 899 899 899          PRN / # OF OBS
G32 899 899 899 899          PRN / # OF OBS
J01 899 899 899 899          PRN / # OF OBS
R01 902 902 902 901          PRN / # OF OBS
R02 902 902 902 901          PRN / # OF OBS
.....
R13 893 892 893 891          PRN / # OF OBS
DBHZ                           SIGNAL STRENGTH UNIT
                                END OF HEADER
> 2018 04 08 00 25 30.0000000 0 5
G10 20222793.164 8 20222798.109 7 106271491.87218 82808974.94117
R01 20136635.109 7 20136639.016 7 107641853.62917
R02 23064458.078 7 23064461.125 7 123076364.71317
R11 20090155.375 8 20090158.340 8 107355695.54818
R12 19542931.250 8          104394829.42018
```

Từ bảng 4 cho thấy, đây là dạng số liệu đa hệ hay còn gọi là số liệu hỗn hợp (mixed). Máy thu này thu được tín hiệu của các hệ thống định vị vệ tinh đó là GPS (có ký hiệu là G tại dòng 12), GLONASS (có ký hiệu là R tại dòng 13), BeiDou (có ký hiệu là C tại dòng 14), QZSS (có ký hiệu là J tại dòng 15) và Galileo (có ký hiệu là E tại dòng 16). Như vậy, số liệu này hoàn toàn đủ điều kiện phục vụ cho nghiên cứu này.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Lưới GNSS thực nghiệm được bình sai bằng phần mềm Trimble Business

Center phiên bản 3.5 của hãng Trimble. Lưới được tính toán trong hệ tọa độ VN 2000, kinh tuyến trục 105° 15', hệ độ cao Nhà nước. Mô hình Geoid sử dụng là mô hình EGM 2008. Quá trình tính toán được thực hiện như sau:

- Kiểm tra chất lượng số liệu GNSS trước bình sai.
- Thiết lập hệ tọa độ địa phương tại khu vực thực nghiệm.
- Nhập số liệu vào phần mềm.
- Giải cạnh và kiểm tra chất lượng giải cạnh.

- Bình sai sơ bộ.
- Bình sai chính xác.
- Phân tích, đánh giá kết quả thực nghiệm.

Việc tính toán bình sai lưới thực nghiệm được thực hiện đối với 2 dạng số liệu: số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/

Galileo/BeiDou (gọi là phương án 1) và số liệu đơn hệ GPS (gọi là phương án 2). Một số kết quả tiêu biểu được trình bày cụ thể như sau:

* Kết quả tính toán bình sai số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou

Bảng 5. Chiều dài cạnh, phương vị và sai số

Điểm đầu	Điểm cuối	Chiều dài (m)	m_s (m)	m_s/S	Phương vị (° ‘ ‘‘)	m_a (‘‘)	dh (m)	m_{dh} (m)
KC 01	KV1 01	352.349	0.003	1/128906	3 34 24	1.94	1.387	0.008
KC 01	KV1 07	529.682	0.003	1/188717	44 06 17	1.15	1.136	0.008
KC 01	KV1 08	224.466	0.003	1/71108	75 32 20	2.30	0.461	0.008
KC 02	KV1 10	511.329	0.003	1/146484	230 11 19	1.30	0.324	0.010
KC 02	KV1 11	366.324	0.004	1/96917	211 52 22	1.99	-0.355	0.011
KV1 01	KV1 07	347.868	0.003	1/100641	85 16 13	1.63	-0.252	0.009
KV1 02	KV1 03	261.012	0.002	1/107651	228 32 40	2.02	-0.175	0.006
KV1 02	KV1 07	230.570	0.003	1/71376	299 05 59	2.27	0.788	0.007
KV1 02	KV1 08	411.642	0.003	1/138022	238 58 32	1.42	0.113	0.007
KV1 03	KV1 07	284.993	0.002	1/117837	358 49 29	2.34	0.963	0.007
KV1 04	KV1 06	231.135	0.003	1/69107	115 49 35	2.69	-1.101	0.010
KV1 04	KV1 07	196.947	0.004	1/52500	167 50 09	4.37	-0.786	0.012
KV1 05	KV1 04	175.939	0.003	1/53355	249 14 50	3.41	0.303	0.010
KV1 05	KV1 06	168.745	0.002	1/81632	165 03 09	2.67	-0.798	0.006
KV1 05	KV1 07	283.006	0.003	1/97151	205 46 00	2.63	-0.483	0.010
KV1 05	KV1 09	506.455	0.004	1/127113	113 39 34	1.64	-0.470	0.010
KV1 05	KV1 10	466.999	0.003	1/135721	89 37 05	1.62	-0.140	0.009
KV1 06	KV1 07	190.189	0.003	1/58971	241 07 43	3.51	0.315	0.010
KV1 06	KV1 10	454.893	0.003	1/140002	68 34 38	1.55	0.658	0.009
KV1 08	KV1 01	354.350	0.003	1/109111	326 32 010	2.04	0.927	0.009
KV1 08	KV1 03	161.991	0.003	1/59193	75 56 14	2.75	-0.289	0.007
KV1 08	KV1 07	357.848	0.002	1/151599	25 00 36	1.67	0.675	0.007
KV1 09	KV1 06	422.279	0.004	1/119360	275 27 49	1.85	-0.328	0.010
KV1 09	KV1 10	206.378	0.004	1/58823	0 51 41	3.41	0.330	0.010
KV1 09	KV1 13	209.641	0.005	1/43324	170 52 11	4.60	-0.915	0.012
KV1 09	KV1 14	283.030	0.004	1/76405	141 32 35	2.36	-0.980	0.010
KV1 11	KV1 10	200.014	0.004	1/52436	265 19 38	3.29	0.679	0.010
KV1 14	KV1 12	391.429	0.004	1/93149	66 51 42	2.12	0.858	0.010
KV1 14	KV1 13	143.508	0.004	1/37533	275 51 32	5.43	0.065	0.010
KV1 15	KV1 12	333.613	0.005	1/73139	76 26 11	2.91	0.412	0.012
KV1 15	KV1 14	83.551	0.003	1/25973	205 14 43	7.76	-0.446	0.009
KV1 16	KC 02	512.543	0.003	1/149313	19 13 23	1.45	-0.177	0.010
KV1 16	KV1 09	232.520	0.003	1/74148	257 38 21	2.66	-0.182	0.009
KV1 16	KV1 10	273.323	0.003	1/91497	304 57 04	2.31	0.148	0.008
KV1 16	KV1 11	174.627	0.003	1/56305	351 52 33	4.43	-0.531	0.010
KV1 16	KV1 12	330.467	0.004	1/90856	110 50 44	2.74	-0.304	0.009
KV1 16	KV1 13	321.728	0.003	1/92662	217 03 15	2.79	-1.097	0.010
KV1 16	KV1 14	276.179	0.002	1/134548	190 39 50	1.64	-1.162	0.005
KV1 16	KV1 15	196.448	0.003	1/59757	184 31 02	3.34	-0.716	0.009

Nghiên cứu

Bảng 6. Thành quả tọa độ và độ cao sau bình sai số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou

STT	Tên điểm	Tọa độ		Độ cao h (m)	Sai số vị trí điểm (m)			
		X (m)	Y (m)		m _x	m _y	m _z	m _h
1	KV1_01	2340002.513	591937.825	7.321	0.003	0.003	0.004	0.008
2	KV1_02	2339919.064	592485.974	6.282	0.003	0.004	0.005	0.010
3	KV1_03	2339746.264	592290.354	6.106	0.003	0.004	0.005	0.010
4	KV1_04	2340223.722	592243.009	7.855	0.004	0.005	0.006	0.013
5	KV1_05	2340286.064	592407.533	7.553	0.004	0.004	0.006	0.011
6	KV1_06	2340123.029	592451.058	6.754	0.003	0.004	0.005	0.010
7	KV1_07	2340031.197	592284.508	7.070	0.003	0.003	0.004	0.008
8	KV1_08	2339706.903	592133.218	6.395	0.002	0.003	0.004	0.008
9	KV1_09	2340082.823	592871.419	7.082	0.004	0.004	0.006	0.012
10	KV1_10	2340289.178	592874.522	7.412	0.003	0.004	0.005	0.010
11	KV1_11	2340305.472	593073.871	6.733	0.003	0.004	0.005	0.011
12	KV1_12	2340015.001	593407.385	6.961	0.006	0.006	0.008	0.014
13	KV1_13	2339875.838	592904.685	6.167	0.005	0.005	0.007	0.014
14	KV1_14	2339861.189	593047.443	6.102	0.004	0.005	0.006	0.011
15	KV1_15	2339936.76	593083.077	6.549	0.005	0.005	0.007	0.013
16	KV1_16	2340132.598	593098.549	7.265	0.003	0.004	0.005	0.010

* Kết quả tính toán bình sai số liệu đơn hệ GPS

Bảng 7. Chiều dài cạnh, phương vị và sai số

Điểm đầu	Điểm cuối	Chiều dài (m)	m _s (m)	m _s /S	Phương vị (° ‘ ‘‘)	m _a (‘‘)	dh (m)	m _{dh} (m)
KC 01	KV1_01	352.352	0.003	1/135070	3 34 24	1.86	1.391	0.009
KC 01	KV1_07	529.683	0.003	1/199381	44 06 17	1.07	1.133	0.008
KC 01	KV1_08	224.468	0.003	1/77270	75 32 20	2.13	0.458	0.009
KC 02	KV1_10	511.327	0.003	1/152041	230 11 19	1.25	0.318	0.010
KC 02	KV1_11	366.321	0.004	1/91720	211 52 22	2.10	-0.365	0.012
KV1_01	KV1_07	347.869	0.003	1/111781	85 16 13	1.50	-0.258	0.009
KV1_02	KV1_03	261.011	0.003	1/95703	228 32 39	2.00	-0.177	0.006
KV1_02	KV1_07	230.569	0.003	1/78788	299 05 59	2.24	0.787	0.007
KV1_02	KV1_08	411.640	0.003	1/127572	238 58 31	1.38	0.112	0.007
KV1_03	KV1_07	284.993	0.002	1/123670	358 49 29	2.24	0.964	0.007
KV1_04	KV1_06	231.134	0.004	1/55761	115 49 35	2.68	-1.101	0.010
KV1_04	KV1_07	196.946	0.004	1/53426	167 50 10	4.49	-0.782	0.011
KV1_05	KV1_04	175.940	0.004	1/46921	249 14 49	3.92	0.300	0.010
KV1_05	KV1_06	168.745	0.002	1/71210	165 03 10	2.97	-0.801	0.006
KV1_05	KV1_07	283.006	0.003	1/101418	205 46 01	2.58	-0.482	0.009
KV1_05	KV1_09	506.459	0.005	1/100790	113 39 36	2.09	-0.471	0.012
KV1_05	KV1_10	467.000	0.003	1/139402	89 37 05	1.68	-0.143	0.009
KV1_06	KV1_07	190.189	0.003	1/60917	241 07 43	3.45	0.319	0.009
KV1_06	KV1_10	454.894	0.003	1/146960	68 34 38	1.61	0.658	0.008
KV1_08	KV1_01	354.353	0.003	1/117175	326 32 09	1.92	0.933	0.009
KV1_08	KV1_03	161.989	0.003	1/55338	75 56 13	2.67	-0.289	0.007
KV1_08	KV1_07	357.848	0.002	1/154479	25 00 35	1.55	0.675	0.007
KV1_09	KV1_06	422.282	0.004	1/96494	275 27 51	2.54	-0.330	0.012
KV1_09	KV1_10	206.384	0.005	1/40760	0 51 41	3.98	0.328	0.011

Điểm đầu	Điểm cuối	Chiều dài (m)	m_s (m)	m_s/S	Phương vị (° ‘ ‘‘)	m_a (‘‘)	dh (m)	m_{dh} (m)
KV1_09	KV1_13	209.636	0.007	1/30744	170 52 09	5.82	-0.925	0.015
KV1_09	KV1_14	283.028	0.006	1/46207	141 32 31	3.97	-0.992	0.014
KV1_11	KV1_10	200.014	0.003	1/57306	265 19 37	2.84	0.683	0.009
KV1_14	KV1_12	391.428	0.004	1/94794	66 51 42	2.14	0.863	0.010
KV1_14	KV1_13	143.510	0.004	1/40719	275 51 32	5.05	0.068	0.009
KV1_15	KV1_12	333.614	0.005	1/69359	76 26 11	3.30	0.420	0.012
KV1_15	KV1_14	83.551	0.005	1/16794	205 14 38	8.19	-0.443	0.010
KV1_16	KC_02	512.540	0.004	1/144392	19 13 23	1.54	-0.166	0.010
KV1_16	KV1_09	232.522	0.005	1/50096	257 38 16	4.87	-0.176	0.013
KV1_16	KV1_10	273.324	0.003	1/100018	304 57 03	2.15	0.152	0.007
KV1_16	KV1_11	174.628	0.003	1/62715	351 52 32	4.26	-0.531	0.010
KV1_16	KV1_12	330.468	0.004	1/93077	110 50 44	2.72	-0.305	0.009
KV1_16	KV1_13	321.729	0.003	1/100236	217 03 15	2.63	-1.101	0.009
KV1_16	KV1_14	276.179	0.003	1/104977	190 39 48	1.81	-1.168	0.006
KV1_16	KV1_15	196.448	0.005	1/39751	184 31 02	3.74	-0.725	0.010

Bảng 8. Thành quả tọa độ và độ cao sau bình sai số liệu GPS

STT	Tên điểm	Tọa độ		Độ cao h (m)	Sai số vị trí điểm (m)			
		X (m)	Y (m)		m_x	m_y	m_p	m_h
1	KV1_01	2340002.516	591937.824	7.325	0.003	0.003	0.004	0.009
2	KV1_02	2339919.066	592485.973	6.280	0.003	0.004	0.005	0.010
3	KV1_03	2339746.266	592290.354	6.103	0.003	0.004	0.005	0.010
4	KV1_04	2340223.723	592243.010	7.849	0.004	0.005	0.006	0.013
5	KV1_05	2340286.066	592407.534	7.549	0.004	0.004	0.006	0.010
6	KV1_06	2340123.031	592451.058	6.748	0.003	0.004	0.005	0.010
7	KV1_07	2340031.199	592284.508	7.067	0.003	0.003	0.004	0.008
8	KV1_08	2339706.904	592133.220	6.392	0.002	0.003	0.004	0.009
9	KV1_09	2340082.819	592871.421	7.078	0.005	0.005	0.007	0.014
10	KV1_10	2340289.180	592874.524	7.406	0.003	0.003	0.004	0.010
11	KV1_11	2340305.475	593073.873	6.723	0.004	0.004	0.006	0.012
12	KV1_12	2340015.003	593407.389	6.949	0.006	0.006	0.008	0.014
13	KV1_13	2339875.839	592904.688	6.153	0.005	0.005	0.007	0.014
14	KV1_14	2339861.190	593047.448	6.086	0.005	0.005	0.007	0.012
15	KV1_15	2339936.762	593083.080	6.529	0.006	0.006	0.008	0.015
16	KV1_16	2340132.600	593098.552	7.254	0.003	0.004	0.005	0.010

* So sánh kết quả tính toán bình sai theo phương án 1 và phương án 2

Từ các kết quả tính toán tại bảng 5 và bảng 7 sẽ tính được độ chênh về sai số phương vị m_a và sai số chênh cao m_{dh} giữa phương án 1 và phương án 2.

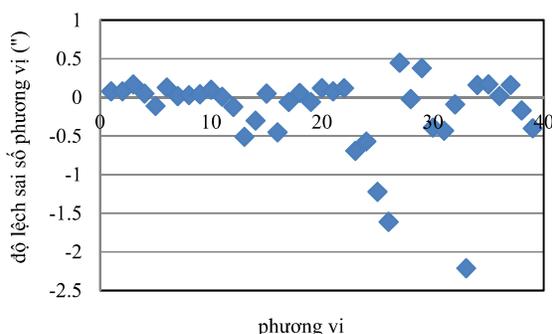
Bảng 9. Độ chênh sai số phương vị và sai số chênh cao

STT	Điểm đầu	Điểm cuối	dm_a (‘‘)	dm_{dh} (m)	STT	Điểm đầu	Điểm cuối	dm_a (‘‘)	dm_{dh} (m)
1	KC_01	KV1_01	0.08	-0.001	21	KV1_08	KV1_03	0.08	0
2	KC_01	KV1_07	0.08	0	22	KV1_08	KV1_07	0.12	0
3	KC_01	KV1_08	0.17	-0.001	23	KV1_09	KV1_06	-0.69	-0.002
4	KC_02	KV1_10	0.05	0	24	KV1_09	KV1_10	-0.57	-0.001
5	KC_02	KV1_11	-0.11	-0.001	25	KV1_09	KV1_13	-1.22	-0.003
6	KV1_01	KV1_07	0.13	0	26	KV1_09	KV1_14	-1.61	-0.004
7	KV1_02	KV1_03	0.02	0	27	KV1_11	KV1_10	0.45	0.001

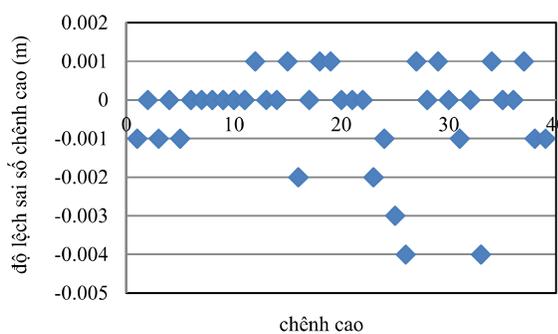
Nghiên cứu

STT	Điểm đầu	Điểm cuối	dm_a (")	dm_{dh} (m)	STT	Điểm đầu	Điểm cuối	dm_a (")	dm_{dh} (m)
8	KV1_02	KV1_07	0.03	0	28	KV1_14	KV1_12	-0.02	0
9	KV1_02	KV1_08	0.04	0	29	KV1_14	KV1_13	0.38	0.001
10	KV1_03	KV1_07	0.10	0	30	KV1_15	KV1_12	-0.39	0
11	KV1_04	KV1_06	0.01	0	31	KV1_15	KV1_14	-0.43	-0.001
12	KV1_04	KV1_07	-0.12	0.001	32	KV1_16	KC_02	-0.09	0
13	KV1_05	KV1_04	-0.51	0	33	KV1_16	KV1_09	-2.21	-0.004
14	KV1_05	KV1_06	-0.30	0	34	KV1_16	KV1_10	0.16	0.001
15	KV1_05	KV1_07	0.05	0.001	35	KV1_16	KV1_11	0.17	0
16	KV1_05	KV1_09	-0.45	-0.002	36	KV1_16	KV1_12	0.02	0
17	KV1_05	KV1_10	-0.06	0	37	KV1_16	KV1_13	0.16	0.001
18	KV1_06	KV1_07	0.06	0.001	38	KV1_16	KV1_14	-0.17	-0.001
19	KV1_06	KV1_10	-0.06	0.001	39	KV1_16	KV1_15	-0.40	-0.001
20	KV1_08	KV1_01	0.12	0					

Trong bảng 9, giá trị dm_a , dm_{dh} là hiệu của giá trị m_a , m_{dh} theo phương án 1 trừ đi m_a , m_{dh} tương ứng theo phương án 2. Cũng từ bảng này ta có đồ thị như sau:



Hình 2: Đồ thị độ lệch sai số phương vị



Hình 3: Đồ thị độ lệch sai số chênh cao

Bảng 10. Độ chênh sai số tọa độ và độ cao

STT	Tên điểm	dm_p (m)	dm_h (m)	STT	Tên điểm	dm_p (m)	dm_h (m)
1	KV1_01	0	-0.001	9	KV1_09	-0.001	-0.002
2	KV1_02	0	0	10	KV1_10	0.001	0
3	KV1_03	0	0	11	KV1_11	-0.001	-0.001
4	KV1_04	0	0	12	KV1_12	0	0
5	KV1_05	0	0.001	13	KV1_13	0	0
6	KV1_06	0	0	14	KV1_14	-0.001	-0.001
7	KV1_07	0	0	15	KV1_15	-0.001	-0.002
8	KV1_08	0	-0.001	16	KV1_16	0	0

Khi so sánh độ chính xác với phương vị cạnh giữa 2 phương án cho thấy, xét về số lượng cạnh thì giữa phương án 1 và phương án 2 có thể coi là tương đương (số lượng cạnh theo phương án 1 có độ chính xác cao hơn phương án 2 là 18, thấp hơn là 21). Tuy nhiên, đối với độ chính xác chênh cao thì khi sử dụng số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou thì có sự khác

biệt lớn so với sử dụng số liệu đơn hệ GPS. Số lượng chênh cao có độ chính xác cao hơn khi sử dụng số liệu đa hệ cao gấp 3.75 lần so với khi chỉ sử dụng số liệu đơn hệ.

Trong bảng 10, giá trị dm_p , dm_h là hiệu của giá trị m_p , m_h theo phương án 1 trừ đi m_p , m_h tương ứng theo phương án 2. Từ bảng 10 cho thấy, chỉ có 1 điểm (KV1_05) trong số 16 điểm có độ chính

xác về tọa độ hoặc độ cao so kém hơn so khi so sánh phương án 1 với phương án 2. Điều này chứng tỏ, độ chính xác tọa độ và độ cao của điểm khi sử dụng số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou cao hơn khi chỉ sử dụng số liệu GPS.

5. Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu, một số kết luận được rút ra như sau:

- Số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou của lưới GNSS thực nghiệm được tập hợp đầy đủ, được tính toán bình sai dựa trên một cơ sở lý thuyết chặt chẽ và phần mềm chuyên ngành có thương hiệu. Lưới được tính toán bình sai trong hệ tọa độ VN 2000, hệ độ cao Nhà nước. Kết quả tính toán bình sai rất đáng tin cậy do bởi tính nhất quán của số liệu lưới thực nghiệm thể hiện ở chỗ tại tất cả các điểm đo GNSS số liệu đều ở dạng hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou.

- Khi sử dụng số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou (phương án 1) để bình sai lưới, độ chính xác tọa độ và độ cao sau bình sai có độ tin cậy cao hơn so với khi chỉ sử dụng số liệu GPS (phương án 2) do bởi số lượng tín hiệu vệ tinh của phương án 1 nhiều hơn phương án 2. Không những vậy, độ chính xác tọa độ và độ cao sau bình sai của phương án 1 cũng cao hơn so với phương án 2.

Như vậy, lần đầu tiên số liệu GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou được xử lý tính toán bình sai thành công tại Việt Nam. Nghiên cứu này góp phần vào việc làm chủ công tác khai thác và sử dụng được các nguồn dữ liệu không gian nói chung và số liệu GNSS nói riêng. Đây là việc rất có ý nghĩa trong giai đoạn hiện nay khi mà khoa học công nghệ phát triển, việc khai thác và ứng dụng được đa dạng các nguồn số liệu trong thực tiễn là hết sức cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bùi Thị Hồng Thắm (2015). *Giáo trình Xử lý số liệu trắc địa nâng cao*. Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

[2]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2014). *Thông tư số 25/2014/TT-BTNMT quy định về bản đồ địa chính*.

[3]. Bùi Thị Hồng Thắm (2018). *Xử lý số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS/BeiDou*. Kỷ yếu Hội thảo GIS toàn quốc năm 2018.

[4]. Đặng Nam Chinh, Đỗ Ngọc Đường (2012). *Định vị vệ tinh*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.

[5]. Tống Mạnh Cường (2015). *Nghiên cứu phương pháp xử lý số liệu GPS kết hợp GLONASS trong thành lập lưới trắc địa*. Đồ án tốt nghiệp, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

[6]. Vy Quốc Hải (2014). *Xử lý số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS*. Tạp chí các khoa học về Trái đất, số 36(1).

[7]. Vy Quốc Hải and Bùi Thị Hồng Thắm (2017). *GPS/GLONASS mixed data processing*. International Conference: Geo-Spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017), Publishing house for Science and Technology, ISBN: 978-604-913-618-4.

[8]. https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation.

BBT nhận bài: 05/6/2019; Phản biện
xong: 14/6/2019