

ĐỊNH VỊ ĐIỂM CHÍNH XÁC TÍCH HỢP TRỊ ĐO GPS VÀ GLONASS

PGS. TS. NGUYỄN NGỌC LÂU
 Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt:

Để nâng cao độ chính xác định vị điểm, chúng tôi đã nghiên cứu phương pháp xử lý tích hợp GPS và GLONASS sao cho có thể khắc phục sai số giữa hai hệ thống và sự khác nhau về sai số trị đo. Khi áp dụng phương pháp xử lý này cho 17 điểm IGS, độ chính xác hướng Đông và độ cao cải thiện so với GPS khoảng 11% và 23%. Với ca đo 60 phút, độ chính xác định vị có thể đạt được 2 cm mặt bằng và độ cao. Kết quả xử lý của chúng tôi tốt hơn phần mềm khác khoảng 1.5 lần ở thành phần mặt bằng và 1.3-2.0 lần ở thành phần độ cao.

1. Giới thiệu

Để nâng cao độ chính xác định vị điểm đơn (Precise Point Positioning-PPP), một trong những biện pháp hiệu quả nhất là xử lý tích hợp trị đo từ các hệ thống vệ tinh định vị (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) khác nhau hiện nay như GPS và GLONASS. Khi tích hợp, số lượng vệ tinh quan sát được nâng lên đáng kể làm gia tăng số trị đo thừa, dẫn đến cải thiện độ chính xác.

Việc tích hợp đòi hỏi giải quyết hàng loạt vấn đề liên quan sự khác nhau giữa các GNSS như hệ tọa độ và thời gian, bản lịch vệ tinh, độ chính xác trị đo, các nguồn sai số hệ thống, v.v... Trong nghiên cứu trước đây [5], chúng tôi đã chỉ ra rằng dùng bản lịch vệ tinh của tổ chức IGS [3] có thể giải quyết vấn đề về hệ thống tọa độ và thời gian. Chỉ còn lại vấn đề quan trọng nhất cần giải quyết là sai số trị đo và sai số hệ thống giữa các GNSS (Inter-System Bias – ISB).

Trong bài báo này chúng tôi sẽ trình bày phương pháp khắc phục sai số giữa các hệ thống (ISB) ở mục 2. Khảo sát và chọn lựa mô hình sai số cho trị đo pha và mã của GPS và GLONASS ở mục 3. Chúng tôi cũng chứng minh khả năng cải thiện độ chính xác khi tích hợp GPS+GLONASS ở mục 4.

2. Phương pháp khắc phục ISB trong xử lý tích hợp GPS và GLONASS

Tương tự như GPS, phương trình trị đo pha GLONASS trên 2 tần số từ máy thu i đến vệ tinh k ở thời điểm t có thể biểu diễn bằng các phương trình sau [1, 2]

$$L_{i,1}^k(t) = \lambda_1^k \phi_{i,1}^k(t) = \rho_i^k(t) + c [dt_i(t) - dT^k(t)] - I_{i,1}^k(t) + T_i^k(t) + \lambda_1^k N_{i,1}^k + \lambda_1^k [\phi_{i,1}(t_0) - \phi_1^k(t_0)] + e_{i,1}^k(t) \quad (1)$$

$$L_{i,2}^k(t) = \lambda_2^k \phi_{i,2}^k(t) = \rho_i^k(t) + c [dt_i(t) - dT^k(t)] - I_{i,2}^k(t) + T_i^k(t) + \lambda_2^k N_{i,2}^k + \lambda_2^k [\phi_{i,2}(t_0) - \phi_2^k(t_0)] + e_{i,2}^k(t) \quad (2)$$

Người phân biên: PGS. TSKH. Hà Minh Hòa

Trong đó:

$\rho_i^k(t)$ là khoảng cách hình học từ máy thu i đến vệ tinh k ở thời điểm t

f_1^k và λ_1^k là tần số và bước sóng sóng tải L_1 của vệ tinh k

$dt_i(t)$ và $dT^k(t)$ là sai số đồng hồ máy thu i và vệ tinh k ở thời điểm t

$I_{i,1}^k(t)$ là độ trễ điện ly trên tần số L_1 ở thời điểm t

$T_i^k(t)$ là độ trễ đối lưu ở thời điểm t

$N_{i,1}^k$ là tham số đa trị trên tần số L_1 ở thời điểm t

$\phi_{i,1}(t_0)$ và $\phi_1^k(t_0)$ là pha ban đầu của máy thu i và vệ tinh k

$\varepsilon_{i,1}^k(t)$ bao gồm sai số do đa đường và độ nhiễu đo đạc trên tần số L_1 ở thời điểm t

Để khử đi ảnh hưởng của tầng điện ly có mặt trong các phương trình, người ta thường sử dụng trị đo kết hợp L_3 có dạng sau:

$$L_{i,3}^k(t) = \alpha_1 L_{i,1}^k(t) - \alpha_2 L_{i,2}^k(t) = \rho_i^k(t) + c[dt_i(t) - dT^k(t)] + T_i^k(t) + b_{i,3}^k + e_{i,3}^k(t) \quad (3)$$

Trong đó:
$$\alpha_1 = \frac{(f_1^k)^2}{(f_1^k)^2 - (f_2^k)^2} \quad \text{và} \quad \alpha_2 = \frac{(f_2^k)^2}{(f_1^k)^2 - (f_2^k)^2}$$

Các vệ tinh GLONASS thỏa mãn điều kiện $\frac{f_2^k}{f_1^k} = \frac{7}{9}$ [3]. Do đó dễ dàng chứng minh

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 - 49/81} = 2.53125 \quad \text{và} \quad \alpha_2 = \frac{1}{81/49 - 1} = 1.5313 \quad \text{không phụ thuộc vào vệ tinh}$$

và $b_{i,3}^k = \alpha_1 \lambda_1^k N_{i,1}^k - \alpha_2 \lambda_2^k N_{i,2}^k + \alpha_1 \lambda_1^k [\phi_{i,1}(t_0) - \phi_1^k(t_0)] - \alpha_2 \lambda_2^k [\phi_{i,2}(t_0) - \phi_2^k(t_0)]$ là sai số hệ thống không phụ thuộc thời gian.

Để xử lý kết hợp với GPS, theo [5], chúng ta cần thêm sai số ISB vào phương trình (3)

$$L_{i,3}^k(t) = \alpha_1 L_{i,1}^k(t) - \alpha_2 L_{i,2}^k(t) = \rho_i^k(t) + c[dt_i(t) - dT^k(t)] + T_i^k(t) + b_{i,3}^k + c.ISB(t) + e_{i,3}^k(t) \quad (4a)$$

Tương tự chúng ta cũng có phương trình cho trị đo giả cự ly

$$P_{i,3}^k(t) = \alpha_1 P_{i,1}^k(t) - \alpha_2 P_{i,2}^k(t) = \rho_i^k(t) + c[dt_i(t) - dT^k(t)] + T_i^k(t) + c.ISB(t) + \bar{e}_{i,3}^k(t) \quad (4b)$$

Các phương trình (4) vẫn còn chứa đựng các sai số đồng hồ và sai số ISB. Để khử chúng đi người ta thường thành lập các phương trình ở dạng hiệu đơn giữa các vệ tinh GLONASS k và l như sau:

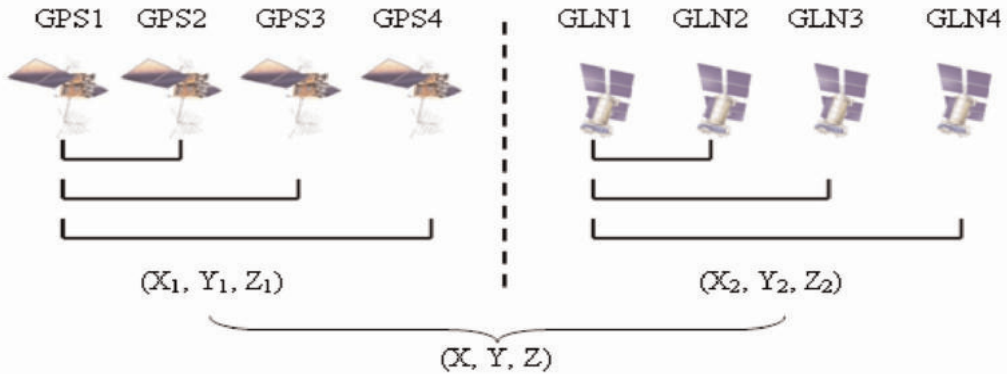
$$L_{i,3}^{kl}(t) = \rho_i^{kl}(t) - c.dT^{kl}(t) + T_i^{kl}(t) + b_{i,3}^{kl} + e_{i,3}^{kl}(t) \quad (5a)$$

$$P_{i,3}^{kl}(t) = \rho_i^{kl}(t) - c.dT^{kl}(t) + T_i^{kl}(t) + \bar{e}_{i,3}^{kl}(t) \quad (5b)$$

Các phương trình (5) đã loại bỏ hoàn toàn sai số đồng hồ máy thu và ISB, chỉ còn lại hiệu sai số đồng hồ vệ tinh, độ trễ đối lưu và các nguồn sai số hệ thống khác.

Với việc xử lý kết hợp GPS và GLONASS trên cơ sở sử dụng các phương trình (5), chúng ta có hai sơ đồ kết hợp sau:

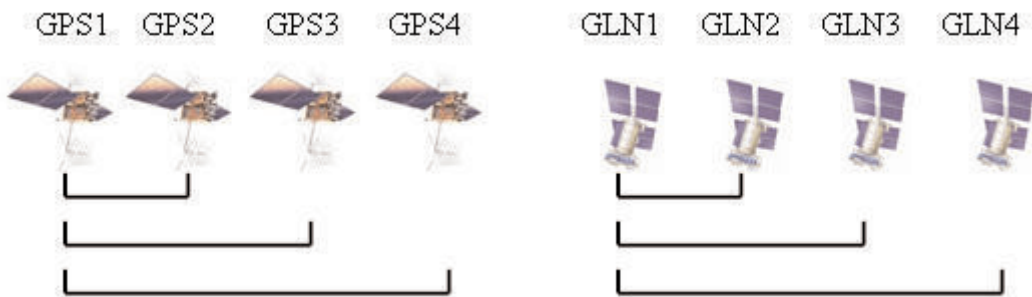
- Xử lý riêng biệt GPS và GLONASS rồi sau đó kết hợp nghiệm với nhau.



Hình 1: Kết hợp nghiệm xử lý riêng ở hai hệ thống

Vì xử lý riêng nên phương pháp này có ưu điểm là không cần quan tâm đến sự khác nhau về độ chính xác giữa trị đo GPS và GLONASS. Chương trình xử lý trị đo GPS có thể chuyển đổi sang xử lý GLONASS chỉ với vài sự thay đổi nhỏ. Nhược điểm của phương pháp là khi số lượng vệ tinh của từng hệ thống nhỏ hơn 4 thì không thể cho nghiệm tương ứng.

- Xử lý cùng lúc các trị đo GPS-GPS và GLONASS-GLONASS



Hình 2: Xử lý chung trị đo GPS-GPS và GLONASS-GLONASS

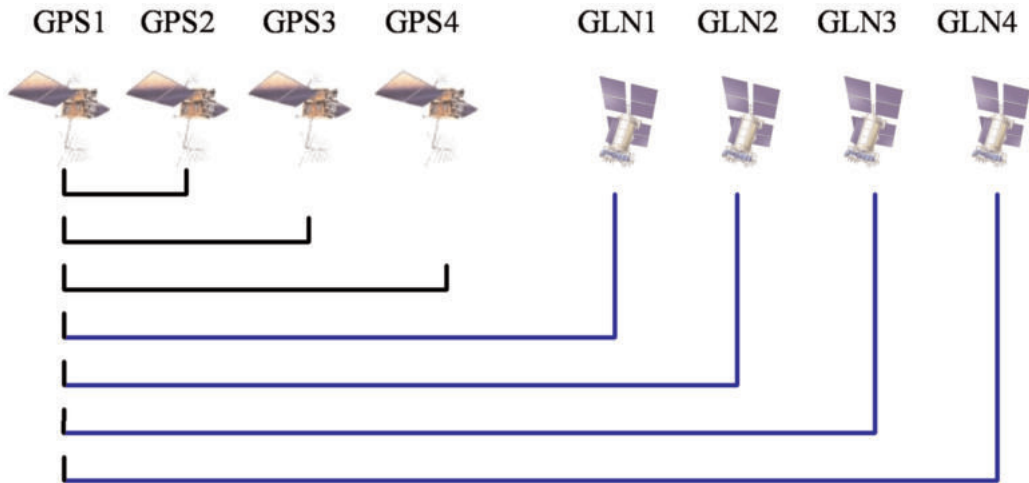
Chỉ cần số vệ tinh của một hệ thống ≥ 3 , hệ thống kia ≥ 2 thì cách thức này vẫn cho nghiệm. Tuy nhiên vì xử lý đồng thời các trị đo hiệu GPS-GPS và GLONASS-GLONASS, nên cần phải giải quyết vấn đề khác biệt về độ chính xác giữa hai loại trị đo. Việc lập trình cũng tương đối phức tạp do phải thành lập hiệu trong từng hệ thống. Ngoài ra nếu hệ thống nào đó chỉ có một vệ tinh, thì trị đo tương ứng cũng phải bỏ qua một cách lãng phí.

- Nếu vệ tinh k là GPS, vệ tinh l là GLONASS, thì phương trình (4) sẽ có dạng

$$L_{i,3}^{kl}(t) = \rho_i^{kl}(t) - c \cdot dT^{kl}(t) + T_i^{kl}(t) + b_{i,3}^{kl} - c \cdot ISB(t) + e_{i,3}^{kl}(t) \quad (6a)$$

$$P_{i,3}^{kl}(t) = \rho_i^{kl}(t) - c.dT^{kl}(t) + T_i^{kl}(t) - c.ISB(t) + \bar{e}_{i,3}^{kl}(t) \quad (6b)$$

Khi xử lý kết hợp GPS và GLONASS trên cơ sở sử dụng các phương trình (6), chúng ta có sơ đồ kết hợp sau:



Hình 3: Xử lý đồng thời trị đo GPS-GPS và GPS-GLONASS

Đây là cách kết hợp cho số lượng trị đo nhiều nhất, khai thác được trị đo khi chỉ có một vệ tinh trong hệ thống. Với một chương trình xử lý PPP dùng trị đo GPS đã có thì việc mở rộng để xử lý hỗn hợp GPS+GLONASS theo mô hình trên sẽ không quá phức tạp. Mặt khác vì trị đo GPS chính xác hơn GLONASS, nên trị đo hiệu GPS-GLONASS sẽ chính xác hơn GLONASS-GLONASS, cho phép chúng ta cải thiện độ chính xác định vị.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ chọn phương án trên để xử lý tích hợp GPS và GLONASS. Sai số ISB được xem là ẩn số bổ sung, được khảo sát cùng với các ẩn số tọa độ. Vì tham số này biến động theo thời gian [7], chúng tôi xử lý nó theo bước ngẫu nhiên (random walk) với tần suất cập nhật 15 phút/1 lần.

3. Xây dựng mô hình sai số cho các trị đo GPS và GLONASS

Để khảo sát mô hình sai số các trị đo, chúng tôi dùng dữ liệu của 17 trạm đo IGS vào ngày 26-04-2012. Máy thu tại các trạm đo này đều thu được tín hiệu GPS và GLONASS. Tọa độ của chúng được cho trong hệ ITRF2008 với độ chính xác vài mm. Để cho kết quả tương đối khách quan, chúng tôi cố gắng chọn nhiều loại máy thu khác nhau (xem bảng 1). Dữ liệu đo của các trạm này ở dạng RINEX, được sửa chữa trượt chu kỳ pha theo thuật toán Blewitt [6]. (Xem bảng 1)

Kết quả khảo sát cho thấy sai số trị đo pha L_3 và trị đo mã P_3 của GPS được xấp xỉ bằng công thức:

$$\sigma_{phase}^{GPS} = 0.0046 \left(0.1 + \frac{1}{\sin \varepsilon} \right) \quad ; \quad \sigma_{code}^{GPS} = 0.3203 \left(0.1 + \frac{1}{\sin \varepsilon} \right) \quad (7)$$

Sai số trị đo pha L_3 và trị đo mã P_3 của GLONASS được xấp xỉ bằng công thức:

Bảng 1: Tọa độ ITRF2008 của một số trạm đo IGS ngày 26-04-2012

STT	Trạm đo	X	Y	Z	Receiver/antenna
1	ALIC	-4052052.4375	4212836.0313	-2545105.0041	LEICA GRX1200GGPRO/LEIAR25.R3
2	AUCK	-5105681.3473	461564.0137	-3782181.2441	TRIMBLE NETR9/TRM55971.00
3	BAKO	-1836969.3060	6065617.0150	-716257.8760	LEICA GRX1200GGPRO/LEIAT504GG
4	CAS1	-901776.1423	2409383.2805	-5816748.4848	LEICA GRX1200GGPRO/AOAD/M_T
5	CEDU	-3753472.8740	3912741.0142	-3347960.0829	TRIMBLE NETR8/AOAD/M_T
6	DARW	-4091359.3326	4684606.5294	-1408579.5750	LEICA GRX1200GGPRO/ASH700936D_M
7	DAV1	486854.5704	2285099.2198	-5914955.6939	LEICA GRX1200GGPRO/LEIAR25.R3
8	GUUG	-5070465.2010	3576460.2796	1472093.8149	TRIMBLE NETR5/TRM55971.00
9	HOB2	-3950071.9619	2522415.3118	-4311637.7284	LEICA GRX1200GGPRO/AOAD/M_T
10	LHAZ	-106941.7816	5549269.8267	3139215.1117	TPS E_GGD/ASH701941.B
11	MAC1	-1508023.014	6195576.603	148799.362	LEICA GRX1200+GNSS/AOAD/M_T
12	NTUS	-1508023.0140	6195576.6030	148799.3620	LEICA GRX1200GGPRO/LEIAT504GG
13	TIXI	-1264873.3403	1569455.7703	6031003.4087	JPS EGGDT/TPSCR3_GGD
14	TOW2	-5054583.1672	3275504.2328	-2091538.8891	LEICA GRX1200GGPRO/LEIAR25.R3
15	URUM	193030.4017	4606851.3022	4393311.5127	TPS NETG3/TPSCR3_GGD
16	WUHN	-2267749.6575	5009154.2355	3221290.6291	TRIMBLE NETR8/TRM59800.00
17	XMIS	-1696344.4400	6039590.0150	-1149275.5050	LEICA GRX1200GGPRO/ASH1945C_M

$$\sigma_{phase}^{GLN} = k_1 \cdot \sigma_{phase}^{GPS} \quad \text{và} \quad \sigma_{code}^{GLN} = k_2 \cdot \sigma_{code}^{GPS} \quad (8)$$

Trong đó $k_1 = \sigma_{phase}^{GLN} / \sigma_{phase}^{GPS} = 1.2$; $k_2 = \sigma_{code}^{GLN} / \sigma_{code}^{GPS} = 3.5$

Điều này chỉ ra rằng trị đo pha GPS chính xác hơn GLONASS 1.2 lần. Nhưng trị đo mã GLONASS lại kém chính xác hơn GPS đến 3.5 lần.

4. Kết quả thử nghiệm và phân tích

Chúng tôi áp dụng phương pháp xử lý tích hợp đã trình bày ở mục 2 và mô hình sai số các trị đo ở mục 3 để viết ra phần mềm định vị điểm chính xác PPPC. Để xem xét mức độ cải thiện khi tích hợp GPS và GLONASS, chúng tôi dùng PPPC xử lý tọa độ của 17 điểm IGS ở bảng 1, rồi so sánh với tọa độ chính xác của nó. Đối với mỗi điểm, chúng tôi chia dữ liệu 24h thành các phân đoạn 0.5h, 1, 2, 3, 4, 6, 12, 24h và xử lý riêng biệt theo 3 phương án:

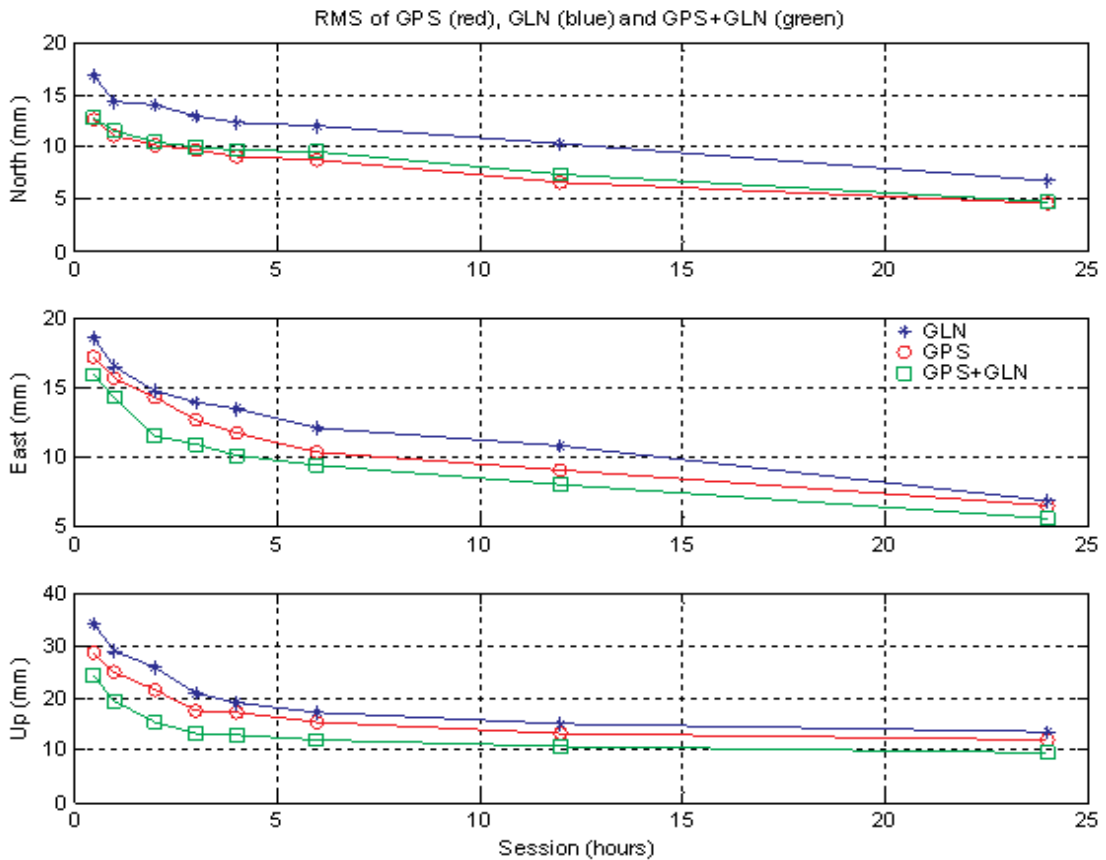
- Chỉ dùng trị đo GPS
- Chỉ dùng trị đo GLONASS
- Dùng trị đo GPS và GLONASS

Kết quả so sánh được trình bày ở hình 4 cho thấy độ chính xác định vị luôn tăng theo chiều dài của ca đo. Cùng một ca đo, GLONASS cho kết quả kém hơn GPS và GPS+GLONASS. Sự cải thiện của GPS+GLONASS so với GPS rõ nét nhất là ở thành phần hướng Đông (~11%) và độ cao (~23%). Trong khi ở thành phần hướng Bắc, GPS lại cho kết quả tốt hơn chút ít so với GPS+GLONASS. (Xem hình 4)

Để đánh giá độ chính xác của PPPC, chúng tôi so sánh kết quả xử lý 24h với một số các dịch vụ định vị điểm chính xác có xử lý tích hợp GPS và GLONASS, bao gồm:

- Phần mềm **magicGNSS** phát triển bởi GMV tại trang web <http://magicgnss.gmv.com/>
- Phần mềm **CSRS-PPP** được phát triển bởi Cục Đo đạc thuộc Bộ Tài nguyên Canada tại trang web http://www.geod.nrcan.gc.ca/index_e.php

Độ lệch tọa độ giữa kết quả xử lý từ ba phần mềm so với tọa độ chính xác của 17 điểm IGS được tóm tắt ở bảng 2. Theo đó độ chính xác định vị của CSRS-PPP và magicGNSS tương đương nhau với 11mm ở thành phần mặt bằng và 12-19mm ở thành phần độ cao. Tức là độ chính xác độ cao kém hơn mặt bằng từ 1.5 đến 2 lần. PPPC cho độ chính xác mặt bằng 7 mm và độ cao 9.4mm, tốt hơn các phần mềm kia 1.5 lần ở mặt bằng và 1.3-2.0 lần ở thành phần độ cao. (Xem bảng 2)



Hình 4: Độ chính xác định vị theo chiều dài ca đo

5. Kết luận

Chúng tôi đã trình bày phương pháp xử lý tích hợp trị đo GPS và GLONASS để khắc phục sai số hệ thống ISB và sự khác nhau về sai số trị đo. Dùng phần mềm PPPC do chúng tôi viết ra để xử lý dữ liệu đo của 17 trạm IGS. Kết quả xử lý cho thấy:

Độ chính xác khi xử lý trị đo GPS và GLONASS tốt hơn GPS chủ yếu ở thành phần hướng Đông và độ cao với mức độ cải thiện trung bình là 11% và 23%. Với ca đo 60 phút, độ chính xác định vị có thể đạt được 2 cm mặt bằng lẫn độ cao.

PPPC cho độ chính xác tốt hơn các phần mềm CSRS-PPP và magicGNSS khoảng 1.5 lần ở thành phần mặt bằng và 1.3-2.0 lần ở thành phần độ cao.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (VNU-HCM) trong đề tài mã số B2012-20-33.○

Bảng 2: So sánh kết quả định vị của PPPC và các phần mềm khác

STT	Trạm đo	North (mm)	East (mm)	Up (mm)	Phần mềm
	ALIC	-2.7	+4.1	+3.6	CSRS-PPP
		-1.3	+13.2	-20.9	magicGNSS
		+3.2	+7.2	-5.9	PPPC
	AUCK	-11.3	-0.6	+18.1	CSRS-PPP
		-7.1	+10.4	-16.0	magicGNSS
		-1.2	-0.5	-0.2	PPPC
	BAKO	-4.1	-18.7	+34.7	CSRS-PPP
		+5.6	-6.4	+2.7	magicGNSS
		+0.5	-7.6	-3.0	PPPC
	CASI	+0.1	-6.7	+13.4	CSRS-PPP
		-3.6	-1.9	+20.0	magicGNSS
		+3.4	-3.9	-2.0	PPPC
	CEDU	-3.6	-0.4	+9.6	CSRS-PPP
		-4.7	+0.2	-5.6	magicGNSS
		+2.8	+0.7	+2.0	PPPC
	DARW	-11.8	-3.4	+29.1	CSRS-PPP
		-13.4	+7.8	-5.8	magicGNSS
		-0.8	+4.0	-3.1	PPPC
	DAVI	-5.7	-4.6	+29.0	CSRS-PPP
		-1.4	-7.0	+15.5	magicGNSS
		-3.2	-5.3	+1.6	PPPC
	GUUG	-8.3	+9.3	-3.7	CSRS-PPP
		-2.1	+18.0	-14.7	magicGNSS
		-2.8	+11.2	-23.1	PPPC
	HOB2	-8.8	-2.9	+7.6	CSRS-PPP
		-10.2	+0.3	-1.9	magicGNSS
		-2.7	+0.9	-16.8	PPPC
	LHAZ	+8.5	-4.6	+3.9	CSRS-PPP
		-1.8	-0.4	+1.7	magicGNSS
		-2.0	-0.1	+6.5	PPPC
	MAC1	-6.4	-9.7	+31.8	CSRS-PPP
		-14.4	-4.9	+6.9	magicGNSS
		-1.9	-8.2	+6.2	PPPC
	NTUS	+13.7	+12.2	+13.6	CSRS-PPP
		+8.0	+7.3	-19.5	magicGNSS
		+10.5	+9.3	+3.3	PPPC
	TIXI	+6.4	-4.3	+19.3	CSRS-PPP
		+9.6	-6.3	-0.3	magicGNSS
		+1.5	-7.1	-10.2	PPPC
	TOW2	+2.2	+0.3	+0.0	CSRS-PPP
		+5.8	+9.4	-18.7	magicGNSS
		+9.9	+1.3	-16.4	PPPC
	URUM	+2.1	+2.0	+12.7	CSRS-PPP
		+2.8	+7.1	-0.5	magicGNSS
		-5.2	+1.9	-3.4	PPPC
	WUHN	-1.0	+2.1	-10.3	CSRS-PPP
		+1.9	+5.7	-8.2	magicGNSS
		+2.5	+2.1	-8.6	PPPC
	XMIS	-3.5	-10.9	+25.0	CSRS-PPP
		+4.7	-6.7	+2.4	magicGNSS
		+7.8	-1.3	+8.4	PPPC
	RMS	8.1	7.5	18.9	CSRS-PPP
		7.2	8.0	12.1	magicGNSS
		4.7	5.5	9.4	PPPC

Tài liệu tham khảo

- [1]. Teunissen, P.J.G., and A. Kleusberg, (1996), "GPS Observations and Positioning Concepts", in GPS for Geodesy, edited by A. Kleusberg and P. J. G. Teunissen, Springer-Verlag, pp. 175-217.
- [2]. Heinz Habrich, (1999), "Geodetic application of the global navigation satellite system (GLONASS) and of GLONASS/GPS combination", University of Bern, 51pp.
- [3]. GLONASS, (2002), "Interface Control Document version 5.0", coordinate scientific information center.
- [4]. International GNSS Service (IGS) có địa chỉ trang web <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>.
- [5]. Nguyễn Ngọc Lâu, (2012), "Nghiên cứu sử dụng sản phẩm bản lịch và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh GLONASS cho định vị điểm đơn chính xác tích hợp GPS và GLONASS", Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ "Trắc địa và Bản đồ vì sự nghiệp Tài nguyên và Môi trường" do Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ phối hợp với Hội Trắc địa-Bản đồ-Viễn thám tổ chức tại Hà Nội, 10-2012, pp. 17-26.
- [6]. Nguyễn Ngọc Lâu và Nguyễn Văn Tuấn, (2013), "Khảo sát thuật toán Blewitt trong phát hiện trượt chu kỳ trên trị đo pha GPS và GLONASS", Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Số 15-3/2013.
- [7]. S. Schaer, R. Dach, (2010), "Biases in GNSS analysis", IGS Workshop, Newcastle, England, 28 June - 2 July 2010.○

Summary

POINT PRECISE POSITIONING USING GPS AND GLONASS MEASUREMENTS

Assoc. Prof. Dr. Nguyen Ngoc Lau

Hochiminh City University of Technology

To improve accuracy of precise point positioning, we research a method for processing mixed GPS and GLONASS measurements. This method is able to overcome inter-system biases and measurement errors. Processing 17 ISG stations, the results show that North and Up accuracies are improved about 11% and 23% compared with GPS only. For 60 minutes session, the positional accuracy can be 2cm in the horizontal and the vertical component. Our results are better than other software packages about 1.5 times in the horizontal and 1.3-2.0 times in the vertical component.○

Ngày nhận bài: 10/12/2012.