

SO SÁNH ĐỘ CHÍNH XÁC ĐỊNH VỊ ĐIỂM KHI DÙNG SẢN PHẨM VỆ TINH CỦA CNES VÀ CODE

NGUYỄN NGỌC LÂU

Bộ môn Địa Tin Học, Trường Đại học Bách khoa TP. HCM
Đại học Quốc gia TP. HCM

Tóm tắt:

CNES và CODE là 2 trong số những Trung tâm phân tích của IGS. Hiện nay cả 2 Trung tâm này đều cung cấp các sản phẩm vệ tinh chính xác hỗ trợ cho PPP-AR GPS và GALILEO. Để tìm hiểu về độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO cho giải pháp 24h, chúng tôi đã xử lý PPP 90 ngày dữ liệu từ 01/01/2022 đến 31/03/2022 của 4 trạm GNSS thường trực tại khu vực Đông Nam Á theo 2 phương án: dùng sản phẩm của CNES và CODE. Kết quả cho thấy dùng sản phẩm của CNES cho tỷ lệ giải đa trị tốt hơn (97.0% so với 94.4%), và độ chính xác định vị đạt (2.8, 3.1, 10.4) mm cải thiện hơn CODE lần lượt là (12, 30, 8)% tương ứng theo hướng Bắc, Đông và Độ cao.

1. Giới thiệu

Định vị điểm chính xác cao (Precise Point Positioning – PPP) đã trở thành phương pháp định vị GNSS phổ biến nhất, được sử dụng cho nhiều lĩnh vực khoa học và ứng dụng thương mại ngày nay. Kỹ thuật này xử lý các trị đo mã và pha trên nhiều tần số của một máy thu duy nhất cung cấp kết quả định vị có độ chính xác cao và ổn định. Đặc điểm của PPP là phải sử dụng các sản phẩm vệ tinh chính xác và áp dụng các mô hình trị đo chính xác [6, 7].

Trong những năm gần đây độ chính xác PPP đã được cải thiện một cách đáng kể nhờ vào khả năng giải tham số đa trị (Ambiguity Resolution-AR) và việc xử lý kết hợp nhiều hệ thống vệ tinh định vị [6,7]. Điều này phải cảm ơn đến các Trung tâm cung cấp sản phẩm vệ tinh chính xác có hỗ trợ giải đa trị và đa hệ thống vệ tinh. Trong số đó có thể kể ra như Trung tâm Nghiên cứu Không gian Quốc gia

Pháp (Centre National d'Etudes Spatiales – CNES) và Trung tâm Xác định Quỹ đạo Châu Âu (Center for Orbit Determination in Europe - CODE). CNES và CODE là 2 trong số vài Trung tâm phân tích cung cấp sản phẩm vệ tinh chính xác cho tổ chức IGS. Trên cơ sở đó, IGS tính toán, cung cấp quỹ đạo và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh chính xác nhất và miễn phí cho người sử dụng.

Sản phẩm vệ tinh chính xác của CNES và CODE có sự tương tự về nguyên tắc tạo ra, định dạng các file sản phẩm và đều hỗ trợ cho giải đa trị vệ tinh GPS và GALILEO. Vì vậy có thể dễ dàng áp dụng vào cùng một chương trình xử lý. Sự khác nhau chủ yếu ở chất lượng thông tin và số lượng thời điểm cung cấp thông tin. Ví dụ CNES cung cấp vị trí vệ tinh trên quỹ đạo cách nhau 15 phút, còn CODE là 5 phút.

Ngày nhận bài: 1/11/2022, ngày chuyển phản biện: 5/11/2022, ngày chấp nhận phản biện: 9/11/2022, ngày chấp nhận đăng: 18/11/2022

Chính vì những điểm khác biệt trên dẫn đến độ chính xác PPP nhận được khi dùng các sản phẩm của CNES và CODE cũng sẽ khác nhau. Các tác giả trong bài báo [8] đã sử dụng các sản phẩm vệ tinh từ CNES, CODE và vài Trung tâm khác vào PPP-AR GPS+GALILEO rồi so sánh thời gian hội tụ của nghiệm cố định. Kết quả cho thấy sản phẩm vệ tinh của CODE thực hiện tốt nhất, còn CNES xếp thứ 5 kè cuối. Độ chính xác định vị 2D có thể đạt tốt hơn 5cm với thời gian hội tụ trung bình khoảng 6 phút.

Kết luận của [8] có ích cho PPP với thời gian đo ngắn chỉ vài phút nhưng sẽ có thể rất khác với PPP 24h. Trong bài báo này chúng thực hiện nghiên cứu độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO cho dữ liệu 24h. Chúng tôi muốn tìm hiểu xem về độ chính xác PPP 24h khi dùng các sản phẩm của CNES và CODE khác nhau như thế nào? Và chúng có độ chính xác bao nhiêu? Độ chính xác này thay đổi theo loại máy thu như thế nào?

2. Tóm tắt về sản phẩm PPP-AR của CNES và CODE

Từ cuối năm 2009, CNES đã bắt đầu cung cấp các sản phẩm PPP-AR cho vệ tinh GPS. Các sản phẩm của CNES dựa trên phương pháp đồng hồ khôi phục nguyên (Integer Recovery Clock - IRC) [10]. Do đó, người sử dụng chỉ cần áp dụng số hiệu chỉnh vào tham số đa trị dải rộng (Wide-lane Satellite Bias - WSB), chứa đựng trong header của file đồng hồ. Chi tiết về cách áp dụng này xin tham khảo thêm tài liệu [7]. Từ 12/2018 (GPS week 2034), CNES bắt đầu cung cấp thêm sản phẩm PPP-AR cho các vệ tinh GALILEO.

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra sự cần thiết phải có thông tin về vị trí tương đối các trục cơ bản của vệ tinh so với trái đất (chúng tôi tạm gọi là tư thế vệ tinh) nhằm nâng cao tỷ lệ

giải đa trị và độ chính xác cho PPP. Khi vệ tinh đi vào vùng tối do bị che khuất bởi chính trái đất, sự chuyển động các trục cơ bản của vệ tinh trở nên bất thường, có thể gây ra sai số vị trí tâm pha ăng ten của vệ tinh. Tình huống này sẽ càng xấu hơn khi chúng ta xử lý trị đo kết hợp nhiều hệ thống vệ tinh định vị khác nhau [1,2,3]. Điều này dẫn đến ra đời thêm sản phẩm tư thế vệ tinh (satellite ATTitude -ATT) trong gói PPP-AR. Các file ATT được thiết kế theo định dạng ORBEX (ORBit EXchange format) [4,5]. CNES bắt đầu cấp các file ATT từ 01/2021. Gần đây nhất vào 5/2021, CNES cung cấp thêm các file sai số trị đo (Observable specific Signal Bias - OSB) nhằm thống nhất định dạng với các Trung tâm khác. Với việc có thêm các file OSB, người sử dụng có thể lựa chọn áp dụng theo cách cũ (dùng số hiệu chỉnh WSB), hoặc theo cách mới là dùng các số hiệu chỉnh trong file OSB để hiệu chỉnh trực tiếp vào các trị đo mã và pha của GPS và GALILEO.

Giống như CNES, CODE cũng sử dụng phương pháp IRC để tạo ra các sản phẩm PPP-AR cho GPS và GALILEO [11]. Nhưng khác với CNES, ngay từ đầu CODE cung cấp các sản phẩm của mình dưới dạng 4 loại file: quỹ đạo vệ tinh, số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh, ATT và OSB. Lịch sử ra đời các sản phẩm vệ tinh chính xác của CODE được tóm tắt như sau [9]:

- Các sản phẩm đồng hồ CODE tuân theo thuộc tính IRC đã được đệ trình cho IGS từ tháng 1/2018

- Bắt đầu từ ngày 03/06/2018 (GPS week 2004) cung cấp bản lịch final, xem xét GPS / GLONASS.

- Bắt đầu từ ngày 17/06/2018 (GPS week 2006) cung cấp bản lịch kết hợp tổng cộng 5

GNSS, cụ thể là GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou / QZSS

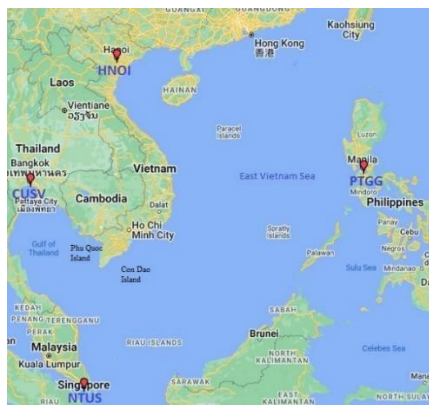
Các sản phẩm vệ tinh chính xác của CNES và CODE đều dựa trên việc xử lý các loại trị đo mã C1C, C1W và C2W của GPS; C1C và C5Q của GALILEO. Do vậy khi dùng PPP với các sản phẩm vệ tinh để xử lý các trị đo trên sẽ cho kết quả tốt nhất. Ngoài sự khác nhau về chất lượng thông tin trong sản phẩm, CNES và CODE còn khác nhau về số lượng thời điểm cung cấp thông tin. Điều này được chỉ ra ở Bảng 1.

Bảng 1: So sánh các sản phẩm vệ tinh của CNES và CODE

Sản phẩm	Tần số cập nhật	
	CNES	CODE
Quy đạo vệ tinh	15 phút	5 phút
Số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh	30 giây	30 giây
Tư thế vệ tinh (satellite attitude - ATT)	30 giây	15 phút
Sai số hệ thống trị đo (Observable specific Signal Bias - OSB)	24h	24h

Bảng 2: Đặc điểm máy thu và ăng ten tại các trạm GNSS

STT	Trạm GNSS	Địa điểm	Máy thu	Antenna	Interval (sec)	Trị đo GPS	Trị đo GALILEO
1	CUSV	Thailand	JAVAD TRE_3 DELTA	JAVRINGANT_DM NONE	30	C1W, L1W C2W, L2W	C1X, L1X, C5X, L5X
2	HNOI	Việt Nam	TRIMBLE NETR9	TRM55971.00 NONE	15	C1C, L1C, C2X, L2X	C1X, L1X, C5X, L5X
3	NTUS	Singapore	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	30	C1C, L1C, C2W, L2W	C1C, L1C, C5Q, L5Q
4	PTGG	Philippines	SEPT POLARX5	TRM59800.00 SCIS	30	C1C, L1C, C2W, L2W	C1C, L1C, C5Q, L5Q



Hình 1: Vị trí các trạm GNSS dùng trong khảo sát

3. Nguồn dữ liệu thực nghiệm

Để cho kết quả khảo sát phản ảnh tương đối khách quan, chúng tôi chọn dữ liệu tại 4 trạm GNSS thường trực ở khu vực Đông Nam Á có trang bị các máy thu và ăng ten khác loại nhau. Đặc điểm kỹ thuật của chúng được cho ở Bảng 2. Trong đó cần lưu ý là trạm HNOI được trang bị ăng ten thông thường, không phải là loại chống nhiễu cao ChokeRing như các trạm còn lại. Vị trí của các trạm đo được chỉ ra ở Hình 1.

Thời gian thu thập dữ liệu là 90 ngày từ 01/01/2022 đến 31/03/2022. Với độ dài dữ liệu như vậy đủ để tính sai số trung phương tương đối tin cậy. Tuy nhiên cần chú ý đến ảnh hưởng của dịch chuyển mảng kiến tạo vào tọa độ PPP của trạm đo.

4. Kết quả xử lý và so sánh

Những dữ liệu GNSS trên được xử lý bằng phần mềm PPP, do chúng tôi phát triển từ năm 2010. Phần mềm PPP có khả năng xử lý dữ liệu GNSS ở cả hai chế độ tĩnh và động và cho nhiều hệ thống vệ tinh khác nhau như GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU và QZSS. Gần đây nhất, chúng tôi đã nâng cấp PPP với khả năng giải đa trị cho GPS và GALILEO khi dùng các sản phẩm IRC của

CNES và CODE [6,7]. Một số cài đặt chung khi xử lý bằng PPPC được cho trong Bảng 3.

Bảng 3: Các tham số cài đặt trong xử lý PPP bằng PPPC

Nội dung	Giá trị
Bản lịch và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh chính xác	CNES và CODE
Mô hình tư thế vệ tinh ATT	CNES và CODE
Sai số trị đo OSB	CNES và CODE
Trị đo	P_3 và Φ_3 ở dạng hiệu giữa các vệ tinh GPS và GALILEO
Góc ngưỡng vệ tinh	5°
Sai số trị đo	$\text{Exp}(-\varepsilon/9^\circ)$, ε là góc cao vệ tinh
Xử lý độ trễ đối lưu	1 tham số TZD cho mỗi 2 giờ và 2 gradient cho mỗi 12 giờ
Hàm ánh xạ đối lưu	VMF3+GPT3
Giải đa trị	Giải đa trị dải rộng trước, dải hẹp sau cho GPS và GALILEO

Mỗi file dữ liệu GNSS theo ngày ở định dạng RINEX V3.02 được xử lý theo 2 phương án: phương án 1 dùng sản phẩm của CNES và phương án 2 dùng sản phẩm của CODE. Đối với từng trạm đo, sau khi có đủ tọa độ PPP-AR của 90 ngày của cùng 1 phương án, chúng tôi hiệu chỉnh chuyển dịch mảng kiến tạo cho thành phần mặt bằng, rồi tính sai số trung phương theo công thức sau

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{90} (X_i - \bar{X})^2}{89}} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{90} X_i}{90} \quad (1)$$

Trong đó X ký hiệu cho thành phần tọa độ hướng Bắc, Hướng Đông và Độ cao. Kết quả tính sai số trung phương được cho ở Bảng 4 và 5

Bảng 4: Kết quả xử lý PPP dùng sản phẩm CNES

STT	Trạm GNSS	Sai số trung phương vị trí (mm)			Tỷ lệ giải đa trị (%)
		Bắc	Đông	Độ cao	
1	CUSV	2.5	3.4	10.1	97.0
2	HNOI	2.8	3.3	11.5	96.8
3	NTUS	3.0	3.4	10.2	97.7
4	PTGG	2.7	2.2	9.6	96.4
Trung bình		2.8	3.1	10.4	97.0

Bảng 5: Kết quả xử lý PPP dùng sản phẩm CODE

STT	Trạm GNSS	Sai số trung phương vị trí (mm)			Tỷ lệ giải đa trị (%)
		Bắc	Đông	Độ cao	
1	CUSV	3.0	4.4	11.1	94.4
2	HNOI	3.2	4.3	12.7	94.4
3	NTUS	3.3	4.6	11.2	95.1
4	PTGG	3.1	4.4	10.0	93.7
Trung bình		3.2	4.4	11.3	94.4

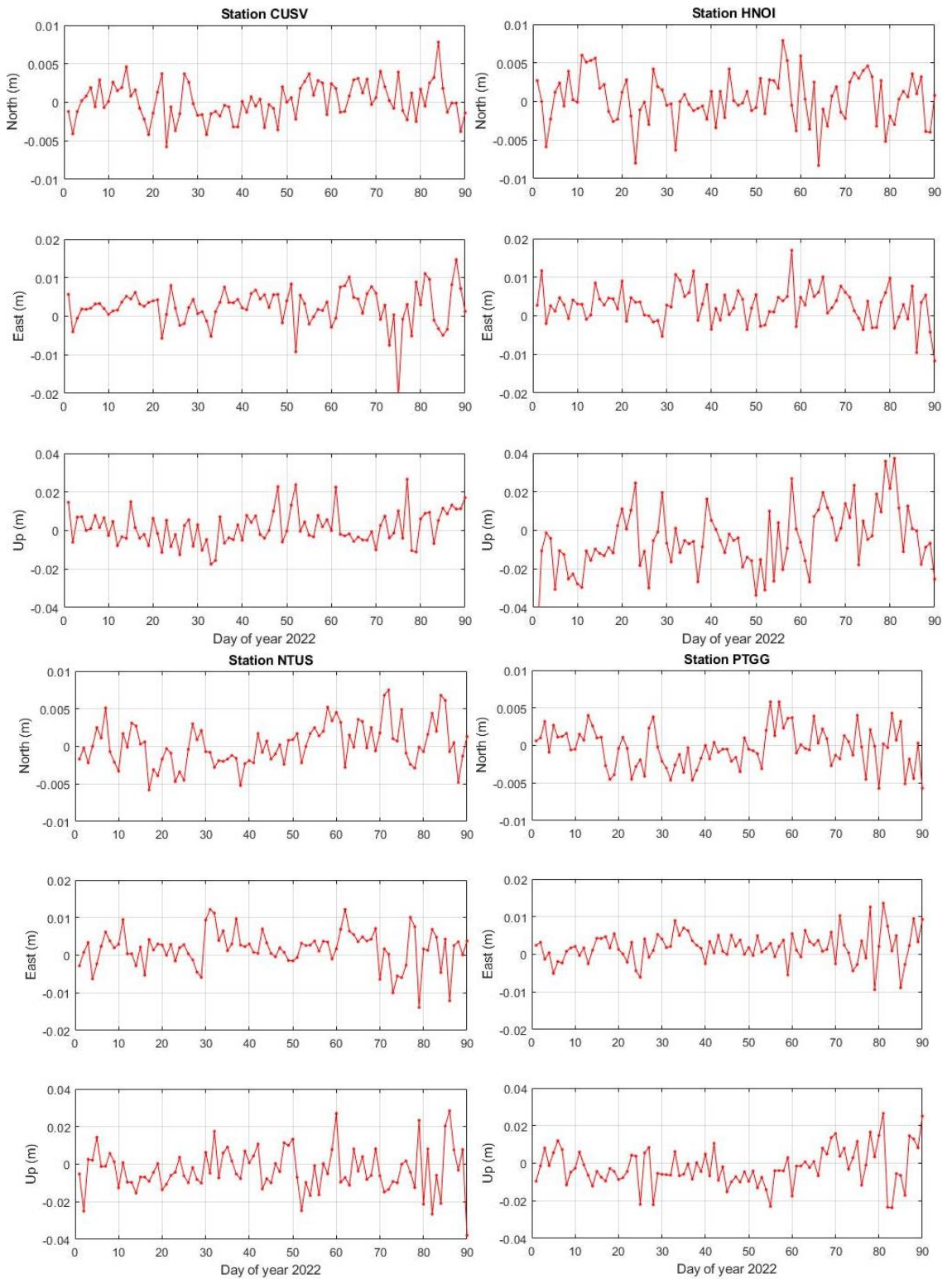
Để tìm hiểu sự khác nhau giữa kết quả PPP khi dùng CNES và CODE, chúng tôi tính hiệu tọa độ giữa 2 phương án theo từng ngày, rồi sau đó dùng chúng tính sai số trung phương độ lệch tọa độ cho từng trạm GNSS. Kết quả cho ở Bảng 6 và Hình 2. Bảng 7 cung cấp độ lệch tọa độ trung bình cho 90 ngày giữa CNES và CODE.

Bảng 6: Sai số trung phương độ lệch theo ngày giữa CNES và CODE

STT	Trạm GNSS	Sai số trung phương độ lệch (mm)		
		Bắc	Đông	Độ cao
1	CUSV	2.9	4.0	8.4
2	HNOI	3.8	5.4	17.1
3	NTUS	3.1	7.0	12.6
4	PTGG	2.6	5.6	9.5
Trung bình		3.1	5.5	11.9

Bảng 7: Độ lệch tọa độ giữa CNES và CODE ở kết quả PPP trung bình cho 90 ngày

STT	Trạm GNSS	Độ lệch tọa độ (mm)		
		Bắc	Đông	Độ cao
1	CUSV	+0.9	-3.7	+1.6
2	HNOI	-0.6	-1.3	+8.3
3	NTUS	+0.6	+1.0	+5.7
4	PTGG	-0.6	+0.0	+4.8
SSTP		0.6	2.0	5.6



Hình 2: Độ lệch tọa độ PPP giữa CNES và CODE

So sánh Bảng 4 và Bảng 5, chúng ta thấy tất cả các chỉ số thông kê của CNES đều tốt hơn CODE. Theo đó tỷ lệ giải thành công tham số đa trị là 94.4% với CODE và tăng lên 97.0% với CNES. Dùng CNES cho phép cải thiện độ chính xác xác định thành phần hướng Bắc là $(3.2-2.8)/3.2=12\%$, hướng Đông là $(4.4-3.1)/4.4=30\%$ và độ cao là $(11.3-10.4)/11.3=8\%$.

Bảng 6 cho thấy sai số trung phương độ lệch tọa độ giữa CNES và CODE là (3.1, 5.5, 11.9) mm theo hướng Bắc, Đông và độ cao. Sai số này là hợp lý vì nó xấp xỉ $\sqrt{2}$ lần sai số định vị của PPP ở các nghiên cứu trước đây [6,7]. Giá trị độ lệch của tọa trung bình trong 90 ngày giữa 2 phương án là rất nhỏ ở thành phần mặt bằng (0.6, 2.0, 5.6) mm (xem Bảng 7). Tuy nhiên về độ cao có tồn tại sai số hệ thống khoảng 5mm giữa kết quả PPP dùng CNES và CODE.

Bảng 4 và Bảng 5 cũng cho thấy sai số PPP có giá trị gần như tương tự ở các trạm GNSS dù chúng sử dụng máy thu và ăng ten khác loại. Trong đó cho kết quả tốt nhất là PTGG và kém nhất là HNOI. Đây cũng là điều đã dự báo trước vì máy thu tại PTGG cung cấp các trị đo C1C và C2W cũng là những trị đo đã dùng để sinh ra sản phẩm vệ tinh. Còn máy thu tại HNOI cung cấp trị đo khác loại. Ngoài ra ăng ten trang bị tại HNOI là loại thông thường không có khả năng chống nhiễu tốt như những trạm còn lại.

Hình 2 thể hiện độ lệch tọa độ PPP giữa CNES và CODE. Các độ lệch này có độ lớn tương tự ở tất cả 4 trạm. Thành phần độ lệch hướng Bắc dao động trong giới hạn ± 5 mm, hướng Đông là ± 10 mm, và độ cao là ± 20 mm.

5. Kết luận

Dựa trên kết quả so sánh PPP theo 2 phương án dùng sản phẩm của CNES và sản

phẩm của CODE, chúng tôi có những kết luận sau:

- Độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO 24h khi dùng sản phẩm của CNES tốt hơn sản phẩm của CODE, cụ thể có thể cải thiện độ chính xác (12, 30, 8)% tương ứng theo hướng Bắc, Đông và độ cao. Tỷ lệ giải tham số đa trị CNES là 97.0% cao hơn CODE là 94.4%.

- Sai số trung phương độ lệch tọa độ PPP khi dùng sản phẩm của CNES và CODE là (3.1, 5.5, 11.9) mm theo hướng Bắc, Đông và độ cao. Sai số này là hợp lý vì nó xấp xỉ $\sqrt{2}$ lần sai số định vị của PPP. Giá trị độ lệch của tọa trung bình trong 90 ngày là rất nhỏ ở thành phần mặt bằng (0.6, 2.0) mm, nhưng tồn tại sai số hệ thống khoảng 5 mm giữa kết quả PPP dùng CNES và CODE.

- Không có sự chênh lệch lớn về độ chính xác định vị khi dùng những máy thu và ăng ten khác nhau. Tuy nhiên kết quả định vị tốt nhất xảy ra ở các máy thu có thể cung cấp trị đo mã C1C và C2W.

Về việc tại sao CODE lại cho kết quả PPP kém hơn CNES dù CODE cung cấp quỹ đạo vệ tinh 5 phút, gấp 3 lần của CNES (15 phút), chúng tôi cho rằng vấn đề có thể nằm ở các file ATT. CODE cung cấp ATT 15 phút vì vậy cần phải tiến hành nội suy tư thế vệ tinh ở các thời điểm đo giữa 2 thời điểm chuẩn cách nhau 15 phút, gây ra sai số lớn hơn so với CNES chỉ có 30 giây. Tuy nhiên cần có những nghiên cứu tiếp theo để khẳng định vấn đề này. ○

Tài liệu tham khảo

[1]. Sylvian Loyer, Simon Banville, Jianghui Geng, Sebastian Strasser, 2021, Exchanging satellite attitude quaternions for improved GNSS data processing consistency, Advances in Space Research, Volume 68, Issue 6, Pages 2441-2452.

- [2]. Songfeng Yang, Qiyuan Zhang, Xi Zhang and Donglie Liu, 2021, Impact of GPS/BDS satellite attitude quaternions on Precise Point Positioning with Ambiguity resolution, *Remote Sensing*, 13, 3035
- [3]. Tianjun Liu, Hua Chen, Qusen Chen, Weiping Jiang, Denis Laurichesse, Xiangdong An, Tao Geng, 2021, Characteristics of phase bias from CNES and its application in multi-frequency and multi-GNSS precise point positioning with ambiguity resolution, *GPS Solution*, 25-58.
- [4]. S. Loyer, S. Banville, F. Perosanz, F. Mercier, 2019, GNSS attitude quaternions exchange ORBEX (version 30/04/2019), 6pp.
- [5]. Sylvian Loyer, Oliver Monterbruck, Stephen Hilla, 2019, ORBEX – The Orbit exchange Format Draft version 0.09, 42pp.
- [6]. Nguyễn Ngọc Lôu, 2020, Định vị điểm chính xác cao dùng vệ tinh GALILEO có giải đa trị, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 46, 1-6pp.
- [7]. Nguyễn Ngọc Lôu và Nguyễn Thị Thanh Hương, 2021, Định vị điểm chính xác cao có giải đa trị và xử lý kết hợp đa hệ thống vệ tinh định vị, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 49, 1-7pp.
- [8]. Marcus Glaner, Robert Weber, 2021, PPP with integer ambiguity resolution for GPS and Galileo using satellite products from different analysis centers, *GPS Solution*, 25:102
- [9]. S. Schaer, A. Villiger, D. Arnold, R. Dach, L. Prange, A. Jaggi, 2021, The CODE ambiguity-fixed clock and phase bias analysis products: generation, properties, and performance, *Journal of Geodesy*, 95:81.
- [10]. Katsigianni G, Loyer S, Perosanz F, Mercier F, Zajdel R, Sośnica K, 2019, Improving Galileo orbit determination using zero-difference ambiguity fixing in a Multi-GNSS processing. *Adv Space Res* 63(9):2952–2963. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.08.035>
- [11]. Prange L, Arnold D, Dach R, Kalarus M, Schaer S, Stebler P, Villiger A, Jaggi A (2020a). CODE product series for the IGS MGEX project. Published by Astronomical Institute, University of Bern; <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE>; <https://doi.org/10.7892/boris.75882.3> ○

Summary

Comparing PPP-AR GPS+GALILEO accuracy when using cnes and code satellite products

Nguyen Ngoc Lau, Department of Geomatics Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

CNES and CODE are two of the IGS Analysis Centers. Both Centers currently provide precision satellite products supporting PPP-AR GPS and GALILEO. To determine the accuracy of PPP-AR GPS+GALILEO for 24h solution, we processed PPP in 90 days of GNSS data from 01/01/2022 to 31/03/2022 of 4 permanent GNSS stations in the South East Asia region in two options: using products of CNES and CODE. The results show that using the CNES product gives a better success rate of ambiguity resolution (97.0% vs. 94.4%), and the positioning accuracy of (2.8, 3.1, 10.4) mm is better than the CODE (12, 30, 8)%, respectively in North, East and Up components ○