

ẢNH HƯỞNG CỦA TƯ THẾ VỆ TINH ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC PPP KHI DÙNG SẢN PHẨM CODE

NGUYỄN NGỌC LÂU^(1,2), NGUYỄN THỊ THANH HƯƠNG⁽³⁾

⁽¹⁾Bộ môn Địa Tin Học, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

⁽²⁾Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁽³⁾Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Tóm tắt:

Trong gói sản phẩm của CODE hỗ trợ cho PPP-AR GPS+GALILEO có thông tin quỹ đạo vệ tinh với tần suất 5 phút và thông tin về tư thế vệ tinh với tần suất 15 phút. Tuy nhiên dùng những sản phẩm này không cho chúng tôi độ chính xác PPP tốt nhất [18]. Để tìm hiểu xem sự cố này có phải là do tư thế vệ tinh gây ra, 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 thay thế file tư thế vệ tinh của CODE: dùng mô hình thông thường và file tư thế vệ tinh của GFZ với tần suất 30 giây. Kết quả cho thấy độ chính xác PPP của 2 phương án là như nhau và cải thiện hơn khi dùng file tư thế vệ tinh của CODE lần lượt là (12, 27, 8)% tương ứng theo hướng Bắc, Đông và Độ cao. Độ chính xác cũng tương đồng với khi dùng sản phẩm của CNES. Vì vậy chúng tôi kết luận việc dùng file tư thế vệ tinh với tần suất 15 phút là không phù hợp vì nó làm giảm độ chính xác của PPP.

Từ khóa: ITRF2014, ITRF2020, PPP, CORS, Việt Nam.

1. Giới thiệu

Hiện nay Trung tâm Xác định Quỹ đạo Châu Âu (Center for Orbit Determination in Europe - CODE) cung cấp gói sản phẩm cho định vị chính xác cao (Precise Point Positioning - PPP) gồm 4 loại, được cho ở bảng 1 [9, 11]. Trong đó vị trí của vệ tinh được cho với tần suất 5 phút, cao hơn gấp 3 lần so với chuẩn IGS quy định là 15 phút. Tuy nhiên thông tin về tư thế vệ tinh (Satellite Attitude - ATT) thì lại được cung cấp với tần suất 15 phút. Trong khi đó một trung tâm phân tích khác của IGS là Trung tâm Nghiên cứu Không

gian Quốc gia Pháp (Centre National d'Etudes Spatiales - CNES) cung cấp quỹ đạo vệ tinh với tần suất 15 phút và ATT là 30 giây, còn số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh và sai số trị đo OSB thì được cung cấp tần suất giống nhau.

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

Sản phẩm	Tần số cập nhật
Quỹ đạo vệ tinh	5 phút
Số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh	30 giây
Tư thế vệ tinh (satellite attitude - ATT)	15 phút

Ngày nhận bài: 15/2/2023, ngày chuyển phản biện: 20/2/2023, ngày chấp nhận phản biện: 25/2/2023, ngày chấp nhận đăng: 1/3/2023

Sai số hệ thống trị đo (Observable specific Signal Bias - OSB)	24h
--	-----

Nghiên cứu gần đây nhất của Loyer và nnk [1], Liu và nnk [17] đã chỉ ra rằng nếu người sử dụng nội suy file ATT của CODE với 30 giây, thì sai số nội suy ở góc nghiêng vệ tinh có thể lên đến 90° .

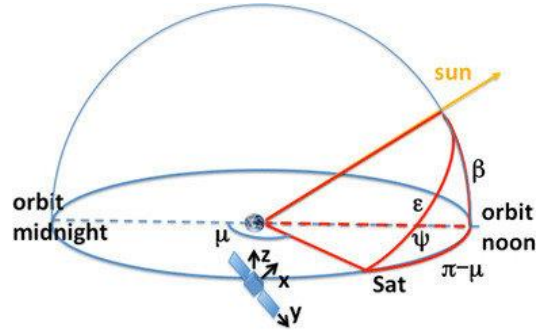
Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Ngọc Lâu năm 2022 [18] khi dùng 2 loại sản phẩm của CODE và CNES trên cùng 1 tập dữ liệu gồm 4 trạm đo trong 90 ngày cho thấy rằng độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO 24 giờ dùng CNES tốt hơn CODE, cụ thể có thể cải thiện độ chính xác (12, 27, 8)% tương ứng theo hướng Bắc, Đông và độ cao. Tỷ lệ giải tham số đa trị CNES là 97.0% cao hơn CODE là 94.4%. Chúng tôi phỏng đoán 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.

Để xác minh nghi vấn trên, trong bài báo này chúng tôi tiếp tục dùng sản phẩm PPP của CODE nhưng thay đổi thông tin về tư thế vệ tinh trong các phương án xử lý khác nhau. Từ việc so sánh độ chính xác giữa các phương án, chúng tôi sẽ kết luận về vai trò của tư thế vệ tinh khi xử lý PPP dùng sản phẩm của CODE.

2. Tư thế và góc nghiêng của vệ tinh

Vị trí của vệ tinh cho trong file quỹ đạo vệ tinh là trọng tâm của vệ tinh. Nhưng trị đo khoảng cách (pha và mã) đo được bằng GNSS lại tham khảo đến tâm pha ăng ten của vệ tinh. Để chuyển tọa độ trọng tâm vệ tinh sang tọa độ tâm pha ăng ten vệ tinh, ta cần phải có thông tin về tư thế vệ tinh (satellite attitude - ATT). Mặt khác chúng ta còn cần đến ATT để tính toán số hiệu chỉnh xoắn pha (phase wind-

up corrections) trong trị đo pha do sự định hướng tương đối giữa ăng ten vệ tinh và máy thu thay đổi [16].



Hình 1: Khung tọa độ tham khảo gắn với vệ tinh (tham khảo từ [14])

Để xác định tư thế của vệ tinh, IGS đã sử dụng một hệ quy chiếu cố định thân vệ tinh, RBF, IGS, bắt đầu với các vệ tinh GPS block IIR và GLONASS. Góc của hệ tọa độ đặt tại trọng tâm của vệ tinh. Các trục của RBF, IGS hoàn toàn song song (hoặc gần song song) với các trục hình học của nhà sản xuất cụ thể khung RBF và tạo thành một hệ tọa độ vuông góc, phải. Tuy nhiên, sự lựa chọn và ký hiệu cụ thể của các trục riêng lẻ cho phép mô tả nhất quán về tư thế lệch hướng trên các chòm vệ tinh khác nhau và bản thân vệ tinh trong một chòm:

- Trục $+z_{BF, IGS}$ là trục cơ thể chính gần nhất với hướng phát tín hiệu của anten (tức là hướng có cường độ chùm tia cực đại).

- Trục $y_{BF, IGS}$ song song với trục quay của tấm pin năng lượng mặt trời. Chiều dương của $y_{BF, IGS}$ được xác định thông qua hướng trục $+x_{BF, IGS}$ tương ứng.

- Hướng $+x_{BF, IGS}$ được chọn sao cho $+x_{IGS}$ của tấm pin năng lượng được chiếu sáng ổn định trong thời gian kiểm soát bay, trong khi $-x_{IGS}$ của tấm pin năng lượng nằm hoàn toàn trong vùng tối.

Khi vệ tinh bay trong điều kiện hệ thống lái có kiểm soát (nominal yaw steering) thì

trục z luôn luôn hướng về trọng tâm trái đất. Trục x hướng về phía mặt trời, và trục y sẽ tạo với trục x và z thành 1 hệ tọa độ phải. Nếu ta biết được tọa độ của vệ tinh và tọa độ của mặt trời trong cùng 1 khung tham khảo thì có thể dễ dàng xác định sự định hướng của các trục. Thông tin từ các file ATT cũng cho phép người sử dụng tính chuyển thành các thành phần định hướng của các trục này [4, 5].

Mặt khác IGS cũng cung cấp giá trị tọa độ của tâm pha ăng ten vệ tinh trong hệ thống này. Trong đó do tính đối xứng của vệ tinh, thành phần y thường bằng không. Giá trị các thành phần x và z thay đổi tùy thuộc vào loại vệ tinh. Từ đó người sử dụng có thể tính toán chính xác tọa độ của tâm pha ăng ten vệ tinh vào thời điểm phát tín hiệu.

Tuy nhiên, trong thời gian vệ tinh đi vào vùng tối do bị trái đất che khuất ánh sáng mặt trời (eclipse season). Góc β giữa mặt phẳng quỹ đạo vệ tinh và mặt trời (xem hình 1) thường nhỏ hơn 14^0 . Tốc độ nghiêng của vệ tinh sẽ diễn ra không giống với điều kiện bình thường. Ngoài ra, các vệ tinh bị mất sự định hướng về phía mặt trời, làm cho vệ tinh xoay lệch với tốc độ tối đa của nó [13]. Tất cả các những hiệu ứng này dẫn đến tư thế vệ tinh thực tế lệch khỏi tư thế thông thường. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành trong hơn hai thập kỷ qua đã chỉ ra rằng mô hình tư thế vệ tinh thông thường đã cho kết quả kém đi khi vệ tinh đi vào vùng tối, và các tác giả đã đề xuất vài mô hình mới để cải thiện [12, 13, 14,

15]. Đây cũng chính là lý do vì sao gói sản phẩm PPP nên có thông tin về tư thế vệ tinh, trong khi chúng ta hoàn toàn có thể tính toán tư thế thông thường (nominal satellite attitude).

Như thể hiện trong Hình 1, góc nghiêng vệ tinh (yaw angle) Ψ là góc giữa trục $X_{BF, IGS}$ và mặt phẳng quỹ đạo vệ tinh. Nó có dấu ngược với góc β [13]. Đa số các nghiên cứu đều tập trung vào việc mô hình tốc độ thay đổi của góc này trong vùng tối. Đây là công việc khó khăn và phức tạp vì mỗi loại vệ tinh khác nhau sẽ hành xử rất khác nhau khi đi vào vùng tối [1, 2].

Cần chú ý rằng khoảng thời gian vệ tinh đi vào vùng tối chỉ kéo dài 1 giờ cho mỗi chu kỳ 12 giờ của nó. Đối với định vị PPP 24 giờ thì dữ liệu bị ảnh hưởng bởi eclipse season là không lớn. Hơn nữa không phải tất cả các vệ tinh đều bị ảnh hưởng. Do đó có thể dự báo trước rằng kết quả PPP dùng ATT thông thường với ATT có mô hình vùng tối sẽ không có sự khác biệt nhiều.

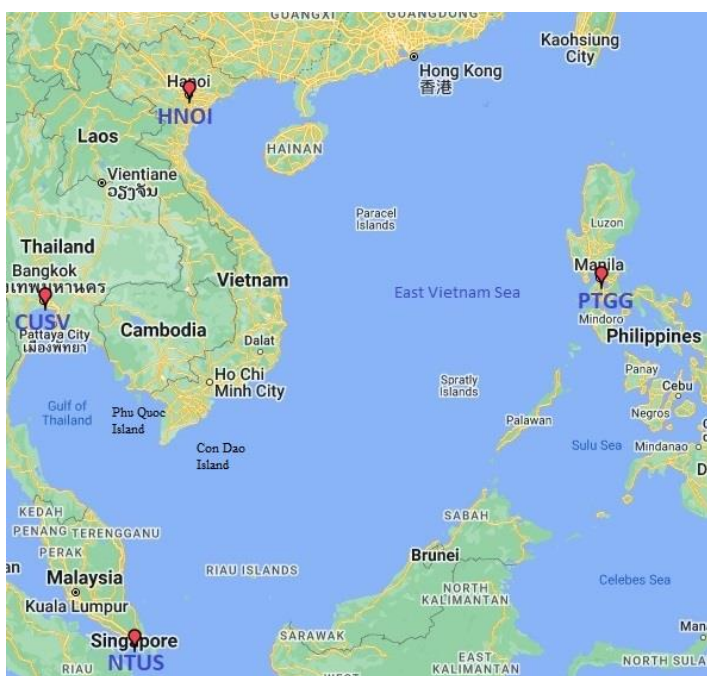
3. Nguồn dữ liệu thực nghiệm

Để thuận tiện cho việc so sánh, bộ dữ liệu trong [18] đã được sử dụng lại trong nghiên cứu này. Dữ liệu thu thập trong thời gian 90 ngày 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. Vị trí của các trạm đo được chỉ ra ở Hình 2.

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

STT	Trạm GNSS	Địa điểm	Máy thu	Antenna	Interval (sec)	GNSS
1	CUSV	Thailand	JAVAD TRE_3 DELTA	JAVRINGANT_DM NONE	30	GPS+GALILEO
2	HNOI	Việt Nam	TRIMBLE NETR9	TRM55971.00 NONE	15	GPS+GALILEO

3	NTUS	Singapore	LEICA GR50	LEIAR20	LEIM	30	GPS+GALILEO
4	PTGG	Philippines	SEPT POLARX5	TRM59800.00 SCIS		30	GPS+GALILEO



Hình 2: Vị trí các trạm GNSS dùng trong khảo sát

4. Kết quả xử lý và so sánh

Để xử lý những dữ liệu GNSS đề cập ở trên, chúng tôi dùng phần mềm PPPC do chúng tôi phát triển từ năm 2010. Hiện nay phần mềm PPPC đã nâng cấp để có khả năng giải đa trị cho GPS và GALILEO khi dùng các sản phẩm PPP-AR của CNES và CODE [6, 7]. Một số cài đặt chung khi xử lý bằng PPPC được cho trong Bảng 3. Trong đó, đáng lưu ý là chúng tôi không sử dụng file ATT 15 phút của CODE, mà thay thế nó bằng 2 phương án khác nhau.

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

Nội dung	Giá trị
Bản lịch và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh chính xác	CODE
Mô hình tư thế vệ tinh ATT	Phương án 1: thông thường Phương án 2: ATT của GFZ
Sai số trị đo OSB	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 khác nhau như sau:

- Phương án 1: dùng mô hình tư thế vệ tinh thông thường tính toán cho mỗi thời điểm đo. Phương án này có ưu điểm là không tồn tại sai số nội suy thông tin ATT. Nhưng nó có nhược điểm là bỏ qua tác động của eclipse season.

- Phương án 2: dùng file ATT của Trung tâm Nghiên cứu Khoa học Trái đất của Đức (German Research Centre for Geosciences - GFZ). Đây cũng là một trong số các trung tâm phân tích của IGS. GFZ hiện cung cấp các file ATT với tần suất 30 giây. Ưu điểm của phương án này là ATT đã có tích hợp mô hình góc nghiêng vệ tinh cho vùng tối. Sai số nội suy thông tin ATT với tần suất 30 giây là rất

nhỏ. Tuy nhiên có thể xuất hiện sự không đồng nhất giữa file ATT này với quỹ đạo vệ tinh, số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh và sai số trị đo OSB 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 dùng cùng những công thức của [18] để đánh giá độ chính xác

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

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 bảng 5.

Bảng 4: Kết quả xử lý PPP dùng sản phẩm CODE và mô hình ATT thông thường

STT	Trạm GNSS	Sai số trung phương vị trí (mm)			Tỷ lệ giải đa trị
		Bắc	Đông	Độ cao	
1	CUSV	2.6	2.9	11.1	96.6
2	HNOI	3.2	3.4	10.4	96.5
3	NTUS	2.8	3.5	11.7	97.2
4	PTGG	2.8	3.2	10.0	95.6
Trung bình		2.8	3.2	10.8	96.5

Bảng 5: Kết quả xử lý PPP dùng sản phẩm CODE và file ATT của GFZ

STT	Trạm GNSS	Sai số trung phương vị trí (mm)			Tỷ lệ giải đa trị
		Bắc	Đông	Độ cao	
1	CUSV	2.7	3.0	10.7	96.6
2	HNOI	3.0	3.4	9.7	96.6
3	NTUS	2.8	3.4	11.4	96.9
4	PTGG	2.7	3.1	9.8	95.7
Trung bình		2.8	3.2	10.4	96.5

So sánh bảng 4 và bảng 5 ta thấy kết quả trung bình của 4 trạm đo ở 2 phương án hầu như trùng nhau. Phương án dùng file ATT của GFZ chỉ cho sự cải thiện độ chính xác rất nhỏ ở thành phần độ cao 10.4 mm so với 10.8 mm ở phương án 1. Điều này có thể thấy ảnh hưởng của eclipse season vào độ chính xác PPP 24 giờ trong trường hợp này là rất nhỏ, không đáng kể.

So sánh với độ chính xác PPP khi dùng file ATT 15 phút của CODE là (3.2, 4.0, 11.3) mm với tỷ lệ giải đa trị 94% [18], ta thấy có sự cải thiện độ chính xác xác định thành phần hướng Bắc là $(3.2-2.8)/3.2 = 12\%$, hướng Đông là $(4.4-3.2)/4.4 = 27\%$ và độ cao là $(11.3-10.4)/11.3 = 8\%$.

Tiếp tục so sánh với độ chính xác PPP khi dùng các sản phẩm PPP-AR của CNES là (2.8, 3.1, 10.4) mm với tỷ lệ giải đa trị 97% [18], ta thấy chúng hoàn toàn tương đương với nhau. Tỷ lệ giải đa trị khi dùng ATT của GFZ có thấp hơn một chút.

5. Kết luận

Để tìm hiểu nguyên nhân tại sao độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO 24 giờ khi dùng sản phẩm vệ tinh chính xác của CODE lại kém hơn của CNES trong nghiên cứu [18], chúng tôi đã xử lý lại tập dữ liệu của 4 trạm GNSS nằm ở khu vực Đông Nam Á trong thời gian 90 ngày theo 2 phương án dùng ATT khác nhau: dùng mô hình ATT thông thường và dùng file ATT 30 giây của GFZ. Dựa trên kết quả so sánh, chúng tôi có những kết luận sau:

- Độ chính xác PPP-AR GPS+GALILEO 24 giờ khi dùng mô hình ATT thông thường và khi dùng file ATT của GFZ hoàn toàn tương đồng với nhau. Trong trường hợp này ảnh hưởng của vùng tối vào độ chính xác PPP 24 giờ là rất nhỏ, không đáng kể.

- Dùng file ATT 30 giây của GFZ cho sự cải thiện về độ chính xác so với khi dùng file ATT 15 phút CODE là (12, 27, 8)% tương ứng theo hướng Bắc, Đông và độ cao. Tỷ lệ giải tham số đa trị GFZ là 96.5% cao hơn CODE là 94.4%.

- Dùng mô hình ATT thông thường hay dùng file ATT 30 giây của GFZ cũng cho độ chính xác PPP tương đương với khi dùng các sản phẩm PPP-AR của CNES.

Vì vậy chúng tôi kết luận rằng cho rằng nguyên nhân làm cho sai số PPP tăng lên khi dùng các sản phẩm chính xác của CODE là nằm ở các file ATT. Khoảng thời gian 15 phút giữa 2 thời điểm cung cấp thông tin ATT của CODE là quá dài. Nó gây ra sai số nội suy lớn và ảnh hưởng đến độ chính xác PPP. Để khắc phục yếu điểm đó, chúng ta có thể thay thế file ATT của CODE bằng mô hình ATT thông thường, hoặc sử dụng file ATT của Trung tâm khác có khoảng thời gian cập nhật ngắn hơn, ví dụ như GFZ.○

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]. Sylvain 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, 2020. 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>.

[12]. Monterbruck O., R. Schmid, F. Mercier, P. Steigenberger, C. Noll, R. Fatkulin, S. Kogure, A.S. Ganeshan, 2015, GNSS satellite geometry and attitude models, *Advances in Space Research*, 56, 1015-1029.

[13]. Bar-Sever, Y.E., 1996, A new model for GPS yaw attitude, *Journal of Geodesy*, 70 (11), 714 – 723.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00867149>.

[14]. Da Kuang, Shailen Desai, Aurore Sibois, 2017, Observed features of GPS Block IIF satellite yaw maneuvers and corresponding modeling, *GPS Solutions*, April 2017, DOI: 10.1007/s10291-016-0562-9.

[15]. Sebastian Strasser, Simon Banville, Andreas Kvas, Sylvain Loyer, Torsten Mayer-Gürr, 2021, Comparison and generalization of GNSS satellite attitude models, *EGU General Assembly* 2021.
<https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7825>.

[16]. Wu JT, Wu SC, Hajj GA, Bertiger WI, Lichten SM, 1993, Effects of antenna orientation on GPS carrier phase, *Manuscr Geod* 18:91–98.

[17]. Tianjun Liu, Hua Chen, Weiping Jiang, Denis Laurichesse, Xingyu Zhou, Yan Chen, Fengyu X, 2022, Assessing the exchanging satellite attitude quaternions from CNES/CLS and their application in the deep eclipse season, *GPS Solutions*, 26:11,
<https://doi.org/10.1007/s10291-021-01197-w>.

[18]. Nguyễn Ngọc Lôu, 2022, So sánh độ chính xác định vị điểm khi dùng sản phẩm vệ tinh của CNES và CODE, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 54, 10-16pp. ○

(Xem tiếp trang 26)