

Ứng dụng kết quả định vị chính xác cao 1 giây để phát hiện thời điểm ảnh hưởng của động đất vào trạm đo GNSS thường trực

Nguyễn Ngọc Lâu^{1*}

Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOÁ

GNSS
Định vị điểm chính xác cao
Trạm đo thường trực
Thời điểm động đất
Động đất Noto

TÓM TẮT

Việc xác định chính xác thời điểm sóng địa chấn tác động vào các vị trí khác nhau trong khu vực có động đất sẽ giúp cho chúng ta hiểu rõ hơn về cơ chế động đất và cấu trúc vỏ trái đất. Nếu trong khu vực động đất có cài đặt các trạm đo GNSS thường trực, về nguyên tắc, dựa trên chuỗi tọa độ ta có thể xác định được thời điểm ảnh hưởng. Chúng tôi xem xét việc xử lý định vị điểm chính xác cao cho dữ liệu đo của các trạm GNSS có tốc độ thu 1 giây và thử nghiệm xử lý cho 4 trạm đo ở trận động đất Noto (Nhật Bản) ngày 1-1-2024. Chuỗi tọa độ kết quả từ phần mềm PPPC của chúng tôi, và từ dịch vụ xử lý trực tuyến CSRS-PPP của Bộ Tài nguyên Canada là hoàn toàn tương đồng với nhau. Dựa vào những chuỗi này, chúng ta có thể xác định chính xác thời điểm trạm đo bị động đất ảnh hưởng. Hơn thế nữa, chúng còn đảm bảo tính chính xác cho việc xác định độ dịch chuyển tức thời của trạm đo ngay sau khi bị động đất tác động.

KEYWORDS

GNSS
PPP
CORS
Earthquake time
Noto Earthquake

ABSTRACT

Determining the exact time when seismic waves impact different locations in an earthquake area will help us better understand the earthquake mechanism and the structure of the earth's crust. If permanent GNSS stations are installed in the earthquake area, in principle, based on their coordinate series, we can determine the time of impact. We consider the processing of precise point positioning for data of GNSS stations with an interval of 1-second and test the processing for 4 stations at the Noto earthquake (Japan) on January 1, 2024. The coordinate series resulting from our PPPC software and from the online processing service CSRS-PPP of the Ministry of Natural Resources of Canada are completely similar to each other. Based on these series, we can accurately determine the time when the station was affected by the earthquake. Moreover, they also ensure the accuracy of determining the instantaneous displacement of the station immediately after the earthquake.

1. Giới thiệu

Sóng xung kích động đất, hay sóng địa chấn, là do động đất gây ra và nhờ vào tác động rung chuyển mặt đất của nó mà ta biết có động đất xuất hiện. Có bốn loại sóng xung kích động đất: Sóng P, Sóng S, Sóng Rayleigh và Sóng Love. Trong đó sóng P là sóng địa chấn nhanh nhất, là sóng nén lan truyền bên trong lòng Trái đất. Sóng S chậm hơn sóng P, chỉ lan truyền trong chất rắn hoặc thể vô định hình gần rắn và làm rung chuyển mặt đất.

Các nhà địa chấn học nghiên cứu sóng địa chấn bằng máy đo địa chấn, thủy âm hoặc máy đo gia tốc. Khoảng thời gian giữa sóng P và sóng S trên địa chấn đồ có thể giúp các nhà khoa học xác định động đất cách xa bao xa. Họ thường sử dụng ít nhất 3 máy đo địa chấn để xác định vị trí chính xác của tâm chấn bằng phương pháp tam giác. Biên độ, tần số và thời gian lan truyền của sóng địa chấn cung cấp cho ta thông tin về Trái đất và cấu trúc bên dưới bề mặt của nó.

Nếu trên khu vực động đất có cài đặt các trạm GNSS thường trực, sóng địa chấn lan truyền đến vị trí trạm đo sẽ làm cho ăng ten rung lắc

và dịch chuyển. Về nguyên tắc, ta có thể dựa vào chuỗi tọa độ theo thời gian trạm đo để xác định chính xác thời điểm trạm đo này bị động đất ảnh hưởng (nếu có). Có hai đòi hỏi cơ bản để dùng được phương pháp này trong thực tế: độ chính xác tọa độ càng cao thì việc phát hiện dịch chuyển bất thường trên chuỗi thời gian càng tin cậy, và tốc độ thu dữ liệu càng cao thì thời điểm phát hiện càng chính xác.

Cả hai đòi hỏi trên hiện nay đều có thể giải quyết được. Để nâng cao độ chính xác định vị điểm tức thời, ta có thể kết hợp xử lý trị đo đa hệ thống vệ tinh kết hợp với giải đa trị. Hiện nay đã có các sản phẩm hỗ trợ giải đa trị cho vệ tinh GPS và GALILEO. Tốc độ thu dữ liệu phổ biến của các trạm GNSS thường trực là 15 giây hoặc 30 giây. Nhưng hiện nay đã xuất hiện ngày càng nhiều các trạm thu có tốc độ 1 giây. Điều này cho phép ta xem xét thời điểm bị ảnh hưởng động đất của trạm đo chính xác đến từng giây!

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ xem xét việc áp dụng xử lý PPP tức thời trạm đo có dữ liệu GNSS 1 giây, nhằm xác định chính xác thời điểm mà trạm đo này bị ảnh hưởng của động đất (nếu có). Chúng tôi

*Liên hệ tác giả: nnlau@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 17/04/2025, sửa xong ngày 04/06/2025, chấp nhận đăng ngày 05/06/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2025.925>

thử nghiệm điều này cho trận động đất Noto (Nhật Bản) xảy ra vào ngày 1-1-2024.

2. Phương pháp xử lý PPP động 1giây, đa hệ thống vệ tinh và giải đa trị

Định vị điểm chính xác cao được áp dụng lần đầu tiên vào năm 1997 [1]. Phương pháp này xử lý trị đo pha và mã của 1 máy thu GNSS duy nhất có kết hợp với thông tin về bản lịch chính xác và số hiệu chỉnh đồng hồ chính xác của vệ tinh GNSS. Ban đầu PPP chỉ xử lý trị đo của vệ tinh GPS và không có giải đa trị cho trị đo pha. Do đó độ chính xác PPP tĩnh 24h ở giai đoạn này chỉ đạt vài cm [1], còn PPP động có độ chính xác thấp ở mức dm.

Cảm ơn những nỗ lực không ngừng nghỉ của các nhà khoa học và tổ chức đã nghiên cứu và cung cấp miễn phí các sản phẩm bản lịch và đồng hồ vệ tinh hỗ trợ cho việc giải đa trị trên trị đo pha (Ambiguity Resolution – AR). Từ cuối năm 2009, Trung tâm Nghiên cứu Không gian Quốc gia Pháp (Centre National d'Etudes Spatiales – CNES) đã bắt đầu cung cấp các sản phẩm PPP-AR cho vệ tinh GPS [10]. Không dừng lại ở đó, từ 12/2018 (GPS week 2034), CNES tiếp tục cung cấp thêm sản phẩm PPP-AR cho các vệ tinh GALILEO. Tương tự như CNES, Trung tâm Xác định Quỹ đạo Châu Âu (Center for Orbit Determination in Europe - CODE) cung cấp các sản phẩm PPP-AR cho các vệ tinh GPS và GALILEO bắt đầu từ 6/2018 [9, 11].

Nhờ các sản phẩm PPP-AR trên, các nhà nghiên cứu đã bắt đầu xử lý PPP tích hợp GPS + GALILEO với việc giải đa trị và công bố những kết quả khả quan về độ chính xác đạt được cho định vị tĩnh và động. Glaner và Weber 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 vị trí áp chót thứ 5. Độ chính xác định vị 2D có thể đạt tốt hơn 5 cm với thời gian hội tụ trung bình khoảng 6 phút. Katsigiani và nnk [12] đã xử lý động PPP-AR với sản phẩm của CNES và kết luận độ chính xác định vị khi chỉ dùng trị đo GALILEO tương đương với khi chỉ dùng trị đo GPS và đạt khoảng 14 mm theo mặt bằng và 31 mm theo độ cao. Khi xử lý kết hợp GPS + GALILEO, độ chính xác định vị được cải thiện khoảng 30 %.

Tại Việt Nam, chúng tôi đã nghiên cứu và sử dụng PPP từ năm 2010 [4]. Chúng tôi đã tự viết ra phần mềm xử lý PPP bằng ngôn ngữ lập trình C, có tên là PPPC. Sau nhiều lần cải tiến và nâng cấp, hiện PPPC có khả năng xử lý đo tĩnh lẫn đo động. PPPC có thể xử lý tích hợp trị đo của các vệ tinh GPS, GALILEO, BEIDOU và GLONASS. Khi sử dụng sản phẩm của CNES hay CODE, PPPC có khả năng giải đa trị cho trị đo pha của vệ tinh GPS và GALILEO [6, 7]. Khi dùng PPPC xử lý tích hợp trị đo 30s của GPS + GALILEO + GLONASS, độ chính xác định vị tĩnh 24h là (2,1; 2,1; 5,8) mm, còn định vị động đạt (6,6; 6,2; 20,2) mm ở các thành phần hướng Bắc, Đông và độ cao [7].

Thách thức khi xử lý PPP dữ liệu GNSS 1giây của các trạm thường trực là file dữ liệu đo 24h quá lớn. Điều này làm cho thời gian xử lý kéo dài. Tuy nhiên nếu cắt ngắn dữ liệu thì có thể sẽ ảnh hưởng

đến khả năng giải đa trị, dẫn đến làm giảm độ chính xác định vị, đặc biệt là khi xử lý động. Để đảm bảo cho việc giải đa trị thành công khi xử lý PPP động cho ứng dụng động đất, chúng tôi dùng dữ liệu GNSS 2h trước và 2h sau thời điểm xảy ra động đất.

3. Thử nghiệm ở trận động đất Noto (Nhật bản) ngày 1-1-2024

Trận động đất M7.5 ngày 1- 1- 2024 ở bờ biển phía tây Nhật Bản, trên đảo Honshu, xảy ra do đứt gãy ngược ở lớp vỏ Trái đất. Các giải pháp cơ chế trọng tâm cho trận động đất chỉ ra rằng đứt gãy xảy ra trên một đứt gãy ngược có độ dốc vừa phải tấn công về phía tây nam hoặc đông bắc. Trận động đất này xảy ra ở nơi biến dạng vỏ trái đất tạo ra bởi chuyển động của các mảng rộng hơn tạo nên các đứt gãy nông. Động đất nông gây ra nhiều thiệt hại hơn so với động đất có độ sâu trung bình và lớn vì năng lượng do các sự kiện nông tạo ra được giải phóng gần bề mặt hơn và do đó tạo ra rung lắc mạnh hơn so với động đất xảy ra sâu hơn trong lòng Trái đất. Trận động đất ven biển này vừa tạo ra rung lắc mạnh trên đất liền vừa tạo ra sóng thần [2].



Hình 1. Vị trí của tâm chấn trận và các trạm GNSS thường trực trong vùng bị ảnh hưởng (tham khảo từ [5]).

Một nghiên cứu về trận động đất Noto do nhóm tác giả Gotou Hideaki tại Đại học Hiroshima thực hiện [13]. Nghiên cứu này chủ yếu sử dụng ảnh hàng không, chụp sau trận động đất Noto ngày 1-1-2024 trên một khu vực rộng khoảng 50 km dọc theo bờ biển đông bắc của Bán đảo Noto. Kết quả cho thấy trận động đất ngày 1-1-2024 đã khiến mặt đất bị nâng lên tại hầu hết bờ biển đông bắc của Bán đảo Noto và mở rộng ra khu vực ven biển. Ở quận Kawaura, thành phố Suzu (trên bán đảo Noto), có một vùng ven biển mở rộng thêm 175 m. Theo nhóm của Hideaki, tổng cộng, khu vực Bán đảo Noto đã mở rộng khoảng 2.4 km² sau trận động đất. Một số cảng ở phía bắc của bán đảo đã gần như khô cạn do mặt đất bị nâng lên.

Nằm cách tâm chấn khoảng 250km, có một số trạm GNSS thường trực. Các trạm này hiện đang tham gia vào mạng lưới Dịch vụ GNSS quốc tế (IGS) toàn cầu. Với tác động khủng khiếp của trận động đất được đề cập ở trên, các trạm này có khả năng bị ảnh hưởng. Mối quan tâm của chúng tôi trong bài báo này là kiểm tra xem các trạm GNSS đó có bị ảnh hưởng hay không và sau đó xác định chính xác thời điểm bị ảnh hưởng của chúng. Có 4 trạm có dữ liệu GNSS 1 giây gồm: USUD, CHOF, TSK2 và ISHI. Vị trí của các trạm này được thể hiện trên hình 1. Trong đó USUD ở gần tâm chấn nhất (179 km) và TSK2 ở xa nhất (294 km).

Chúng tôi dùng phần mềm PPPC để xử lý động dữ liệu GNSS 1 giây của 4 trạm đo trên. Phương án xử lý PPP được trình bày trong Bảng 1.

4. Phân tích kết quả

Kết quả xử lý PPP 1 giây của 4 trạm GNSS bằng phần mềm PPPC được hiển thị trong Hình 2. Quan sát chuỗi tọa độ của các trạm, ta thấy tất cả các trạm đều có sự dao động và dịch chuyển từ thời điểm khoảng 7:11 trở đi. Theo thông báo của Cục Khảo sát Địa chất Mỹ (United States Geological Survey – USGS) [2], trận động đất Notoon xảy ra vào lúc 2024-01-01 7:10:09 UTC, tức là khoảng 7:10:27 GPST. Tuy nhiên, khi xem xét chuỗi tọa độ PPP 1 giây trong Hình 2, chúng ta thấy thời điểm bị ảnh hưởng đầu tiên là khoảng 7:11:30 tại USUD, 7:11:52 tại CHOF, và 7:12:00 tại ISHI và TSK2. Điều đó có nghĩa là có sự chậm trễ 1-2 phút so với thời gian tại tâm chấn. Thời gian lan truyền có tỷ lệ thuận với khoảng cách từ tâm chấn. Tất cả các trạm đều có sự dịch chuyển ngay lập tức sau trận động đất với giá trị ước tính ở mặt bằng được cho ở Bảng 2, còn thành phần độ cao không thể ước lượng chính xác do độ nhiễu cao. Kết quả này dựa trên chuỗi tọa độ PPP 1 giây trước và sau thời điểm động đất 20 phút.

Các tác giả trong [5] đã dùng dịch vụ trực tuyến CSRS-PPP của Bộ Tài nguyên Canada xử lý PPP 24h cho dữ liệu GNSS 1 năm trước và 5 tháng sau thời điểm động đất Noto. Dựa trên chuỗi tọa độ PPP, họ xác định được độ dịch chuyển của các trạm đo, cho ở Bảng 3. So sánh Bảng 3 và Bảng 2, ta thấy các độ lệch mặt bằng chỉ chênh nhau vài mm. Điều này chứng tỏ độ chính xác PPP 1 giây xử lý bằng PPPC là khá tốt. Và dưới tác động của sóng địa chấn, các trạm đo bị dịch chuyển gần như tức thời ở thời điểm xảy ra động đất.

Bảng 1. Các cài đặt khi xử lý PPP động bằng PPPC.

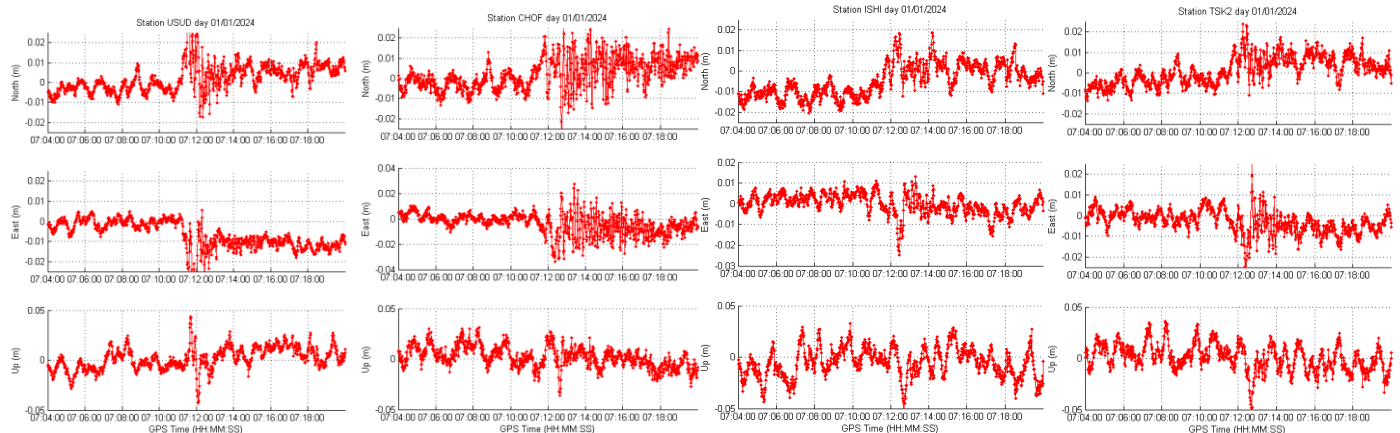
Nội dung	Giá trị
Bản lịch và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh chính xác	Sản phẩm CODE [11]
Trị đo	L3 và P3 của GPS, GALILEO và GLONASS
Giải đa trị	Giải đa trị cho trị đo pha GPS và GALILEO
Góc cao vệ tinh giới hạn	5 độ
Hàm ánh xạ đối lưu	VMF3/GPT3 [3]
Trọng số trị đo	$\sin \varepsilon$, với ε là góc cao vệ tinh
Chiều dài dữ liệu GNSS	2h trước và 2h sau động đất

Bảng 2. Dịch chuyển mặt bằng do động đất của 4 trạm đo dựa trên kết quả PPP 1 giây.

Trạm đo	Thời điểm ảnh hưởng	Dịch chuyển mặt bằng (mm)	
		North	East
USUD	7:11:30	+ 18	-10
CHOF	7:11:52	+ 10	-10
ISHI	7:12:00	+ 12	-5
TSK2	7:12:00	+ 10	-5

Bảng 3. Dịch chuyển do động đất Noto của 4 trạm đo (tham khảo từ [5]).

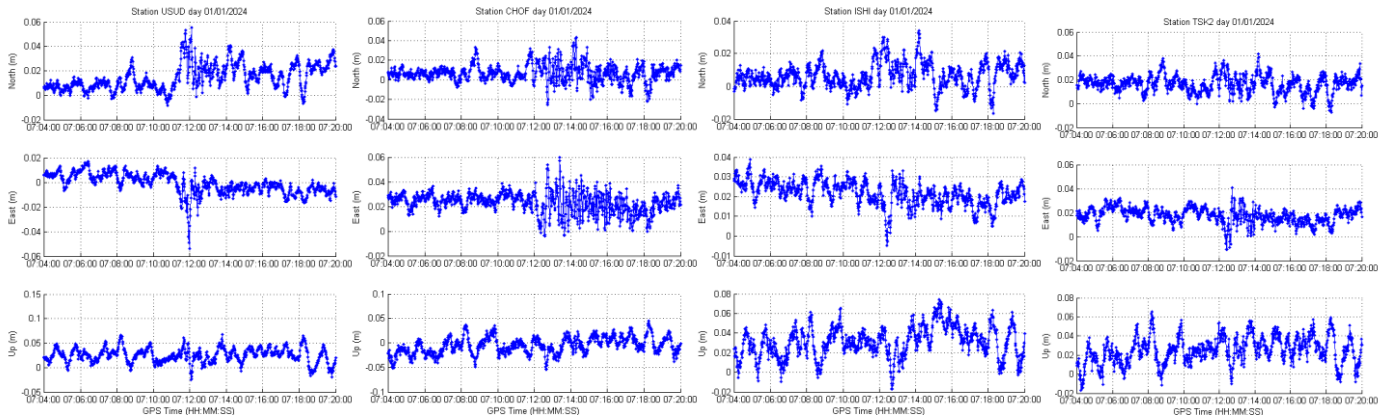
Trạm đo	Độ dịch chuyển (mm)		
	North	East	Up
USUD	+ 22,9	-15,5	+ 1,8
CHOF	+ 7,8	-5,2	+ 3,7
ISHI	+ 7,5	-8,6	+ 1,1
TSK2	+ 10,8	-8,4	-0,4



Hình 2. Chuỗi tọa độ PPP 1 giây của 4 trạm GNSS, xử lý bằng PPPC.

Chúng tôi tiếp tục kiểm tra kết quả PPP 1 giây của mình, bằng cách gửi dữ liệu GNSS 1 giây đến dịch vụ xử lý trực tuyến CSRS-PPP của Bộ Tài nguyên Canada. Kết quả xử lý của CSRS-PPP được hiển thị ở Hình 3. Quan sát trên các chuỗi tọa độ 1 giây của CSRS-PPP trên Hình

3, ta thấy thời điểm đầu tiên mà trạm đo bị ảnh hưởng cũng giống như Hình 2. Ngoài ra độ lệch tọa độ mặt bằng do động đất cũng được nhìn thấy rõ rệt tại USUD, CHOF và ISHI. Chỉ có TSK2 là không rõ ràng do độ nhiễu tọa độ khá lớn.



Hình 3. Chuỗi tọa độ PPP 1 giây của 4 trạm GNSS, xử lý bằng CSRS-PPP.

5. Kết luận

Khi một trận động đất xảy ra, người ta rất quan tâm đến sự lan truyền sóng địa chấn từ tâm chấn đến khu vực xung quanh, đặc biệt là sóng S vì nó lan truyền trong môi trường rắn, gây ra chấn động và những hậu quả khủng khiếp khác. Hiểu biết chính xác hơn về biên độ, tần số và thời gian lan truyền của sóng địa chấn sẽ giúp cho ta hiểu biết nhiều hơn về Trái đất và cấu trúc bên dưới bề mặt của nó.

Để giám sát động đất ở những khu vực có nhiều khả năng xảy ra, các tổ chức khoa học đã cài đặt một số trạm GNSS thường trực. Tốc độ thu dữ liệu của những trạm này hiện đã tăng lên 1 giây. Ngoài ra máy thu GNSS đều là loại đa hệ thống vệ tinh, có thể thu tín hiệu từ GPS, GLONASS, GALILEO, ... Đây chính là điều kiện thuận lợi để chúng ta xử lý và sử dụng kết quả PPP 1 giây nhằm xác định chính xác thời điểm sóng chấn động tác động đến ăng ten trạm đo.

Chúng tôi đã dùng phần mềm tự viết PPPC và dịch vụ xử lý trực tuyến CSRS-PPP của Bộ Tài nguyên Canada để xử lý dữ liệu GNSS 1 giây của 4 trạm đo nằm trong vùng ảnh hưởng của trận động đất Noto (Nhật Bản) ngày 01-01-2024. Chuỗi tọa độ PPP 1 giây xuất ra từ 2 phần mềm rất tương tự như nhau, và đủ độ chính xác để xác định đúng thời điểm bị ảnh hưởng ở từng trạm đo. Hơn thế nữa, chúng ta còn có thể xác định được độ dịch chuyển tọa độ của từng trạm đo xảy ra gần như ngay sau thời điểm bị ảnh hưởng. Kết quả này đã được khẳng định là tin cậy khi so sánh với một nghiên cứu khác dùng chuỗi tọa độ PPP 24h với 1 năm trước và 5 tháng sau động đất.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., "Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks". *J. Geophys. Res.*, 102, 5005–5017, 1997.
- [2]. Adam Voiland, "Earthquake Lifts the Noto Peninsula", *NASA Earth Observatory*, January 2, 2024, <https://earthobservatory.nasa.gov/images/152350/earthquake-lifts-the-noto-peninsula>.
- [3]. Daniel Landskron, Johannes Böhm, "VMF3/GPT3: refined discrete and empirical troposphere mapping functions", *Journal of Geodesy*, 92:349–360, 2018, <https://doi.org/10.1007/s00190-017-1066-2>.
- [4]. Nguyễn Ngọc Lâu, Trần Trọng Đức, Dương Tuấn Việt, Đặng Văn Công Bằng, "Automatic GPS precise point processing via internet". *Báo cáo đề tài cấp Bộ B2010-30-33*, 107 trang, 2010.
- [5]. Nguyen Ngoc Lau and Trinh Dinh Vu, "Determine the displacement of some IGS permanent GNSS stations due to the 1 January 2024 Noto (Japan) earthquake", *accepted for ICSCEA2025*, 2025.
- [6]. Nguyễn Ngọc Lâu, "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, 2020.
- [7]. Nguyễn Ngọc Lâu và Nguyễn Thị Thanh Hương, "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, 2021.
- [8]. Marcus Glaner, Robert Weber, "PPP with integer ambiguity resolution for GPS and Galileo using satellite products from different analysis centers", *GPS Solution*, 25:102, 2021.
- [9]. S. Schaer, A. Villiger, D. Arnold, R. Dach, L. Prange, A. Jaggi, "The CODE ambiguity-fixed clock and phase bias analysis products: generation, properties, and performance", *Journal of Geodesy*, 95:81, 2021.
- [10]. Katsigianni G, Loyer S, Perosanz F, Mercier F, Zajdel R, Sośnica K, "Improving Galileo orbit determination using zero-difference ambiguity fixing in a Multi-GNSS processing", *Adv Space Res*, 63(9):2952–2963, 2019, <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, "CODE product series for the IGS MGEX project", *Published by Astronomical Institute, University of Bern*; <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE>, 2020, <https://doi.org/10.7892/boris.75882.3>
- [12]. Georgia Katsigianni, Sylvain Loyer and Felix Perosanz, "PPP and PPP-AR Kinematic Post-Processed Performance of GPS-Only, Galileo-Only and Multi-GNSS", *Remote Sens.*, 11(21), 2477, 2019, <https://doi.org/10.3390/rs11212477>.
- [13]. Yomiuri Shimbun, "Noto Peninsula Earthquake Exposes 200 Meters of New Coastline", *The Japan News*, January 7, 2024.