

TÍNH CHUYỂN TỌA ĐỘ TỪ CÁC PHIÊN BẢN ITRF CŨ SANG ITRF2020

Nguyễn Văn Sáng¹, Phạm Văn Tuyên^{2*}¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất²Trường Đại học Thành Đông

*Tác giả liên hệ: pvtuyen45@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu tính chuyển tọa độ từ các phiên bản Khung quy chiếu trái đất quốc tế (International Terrestrial Reference Frames - ITRF) cũ sang phiên bản mới nhất ITRF2020. Để tính chuyển, công thức 14 tham số đã được nghiên cứu, ứng dụng. Các tham số chuyển đổi từ các phiên bản ITRF cũ sang ITRF2020 cũng đã được nghiên cứu. Để tự động hóa việc tính toán, chương trình tính chuyển tọa độ đã được xây dựng, có tên là TransITRF. Thực nghiệm được thực hiện với 11 điểm GNSS trên khu vực Hà Nội và một số tỉnh lân cận. Kết quả tính toán thực nghiệm được so sánh với kết quả tính kiểm tra. Chênh lệch tọa độ là rất nhỏ, ở mức 10-5m, cho thấy tính chính xác của chương trình. Nghiên cứu này sẽ giúp cho việc tính chuyển tọa độ từ các ITRF cũ sang ITRF2020 được nhanh chóng và thuận tiện.

Từ khóa: Khung quy chiếu trái đất quốc tế; Tính chuyển tọa độ; 14 tham số.

TRANSFORMATION OF THE COORDINATES FROM THE PAST ITRF VERSIONS TO ITRF2020

ABSTRACT

This paper studies the transformation of the coordinates from the past International Terrestrial Reference Frames (ITRF) versions to the latest version (ITRF2020). For transformation, the 14-parameter formula has been studied and applied. The transformation parameters from the past ITRF versions to ITRF2020 also have been studied. To automate calculation, a program of coordinate transformation has been developed, called Trans ITRF. The experiment was carried out with 11 GNSS points in the Hanoi area and some neighboring provinces. The experimental results were compared with the test results. The coordinate differences were very small, at 10-5m, showing the accuracy of the program.

Keyword: International Terrestrial Reference Frame; Coordinate transformation; 14 parameters.

Ngày nhận bài: 17/01/2025 Ngày nhận bài sửa: 21/04/2025 Ngày duyệt đăng bài: 26/05/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trái đất liên tục thay đổi hình dạng. Để quan trắc chuyển động của lớp vỏ Trái đất thì cần có hệ quy chiếu động. Để thực hiện nhiệm vụ này, Dịch vụ hệ thống tham chiếu và quay Trái đất quốc tế (International Earth Rotation and Reference System Service – IERS) đã được thành lập vào năm 1987. Mục tiêu chính của IERS là phục vụ cộng đồng thiên văn, trắc địa

và địa vật lý bằng cách cung cấp dữ liệu và tiêu chuẩn liên quan đến sự quay của Trái đất và hệ quy chiếu. ITRS (International Terrestrial Reference System) là hệ quy chiếu trái đất quốc tế động. Trong hệ quy chiếu này, vị trí của các điểm trên bề mặt của Trái đất có tọa độ thay đổi nhỏ theo thời gian, do các hiệu ứng địa vật lý (biến dạng kiến tạo hoặc triều ...). Khung quy chiếu trái đất quốc tế (International

Terrestrial Reference Frames - ITRF) là một tập hợp các điểm trên mặt đất có tọa độ được xác định chính xác trong một hệ tọa độ cụ thể được gắn vào Hệ quy chiếu ITRS. Như vậy, ITRF được coi là hiện thực hóa của ITRS. ITRF có vai trò vô cùng quan trọng trong nghiên cứu địa động học, vì nó cung cấp một hệ thống tọa độ và tốc độ thay đổi tọa độ của các điểm trên quy mô toàn cầu, mô tả vị trí và chuyển động của các điểm trên bề mặt Trái đất theo thời gian. Các lưới GNSS quan trắc địa động quốc gia hoặc khu vực sẽ liên kết với các điểm này để xử lý, tính toán ra tọa độ và tốc độ dịch chuyển của các điểm của lưới trong ITRF tương ứng. Ngày nay, bốn kỹ thuật trắc địa chính được sử dụng để tính toán tọa độ chính xác là: GPS, VLBI, SLR và DORIS. Do đó, ITRF liên tục được cập nhật. 11 phiên bản ITRF đã được thiết lập từ năm 1988 là: ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014 và mới nhất là ITRF2020. Các phiên bản ITRF khác nhau gắn liền với các mô hình chuyển động toàn cầu và khu vực khác nhau (NNR-NUVEL1A, PB2002, GSRM, REVEL...) để nghiên cứu địa động học hiện đại. Ví dụ: ITRF94, ITRF96 sử dụng mô hình NNR-NUVEL1A là mô hình chuyển động mảng toàn cầu cổ điển không quay dựa trên dữ liệu địa chất và VLBI; Phiên bản ITRF2008 sử dụng mô hình GSRM v1/v2 là mô hình vận tốc và biến dạng toàn cầu, được xây dựng từ số liệu quan trắc của hàng ngàn trạm GNSS trên toàn cầu; Phiên bản ITRF2014 sử dụng mô hình GSRM v2.1/ITRF-NNR là mô hình tích hợp phi tuyến (hậu động đất, chu kỳ mùa) nâng cao phân tích nội mảng. ITRF2020 là hệ quy chiếu trái đất tiên tiến, được thiết kế để mô hình hóa chính xác các chuyển động phi tuyến của các trạm đo đạc. Điểm nổi bật của ITRF2020 là việc cải thiện mô hình hóa các tín hiệu chu kỳ (hàng năm và nửa năm) và sự biến dạng sau động đất (Post-Seismic Deformation - PSD) tại các trạm chịu ảnh hưởng bởi động đất lớn. ITRF2020 đạt độ chính xác cao với độ dịch

chuyển của điểm gốc (origin) khoảng 5 mm và tốc độ thay đổi thời gian dưới 0,5 mm/năm, cung cấp các tín hiệu chu kỳ của tọa độ trạm trong hai hệ quy chiếu: Center of Mass (CM) và Center of Figure (CF), cho phép người dùng lựa chọn phù hợp với ứng dụng cụ thể, như xác định quỹ đạo vệ tinh chính xác hay nghiên cứu biến dạng bề mặt trái đất. ITRF2020 là bước tiến lớn trong lĩnh vực hệ quy chiếu địa lý quốc tế, với sự cải thiện đáng kể về độ chính xác và khả năng mô hình hóa các hiện tượng phi tuyến (Altamimi & cộng sự, 2023).

Việt Nam đã có nhiều công trình nghiên cứu xác định dịch chuyển vỏ Trái đất bằng công nghệ GNSS. Tùy vào thời điểm khác nhau, lưới GNSS được xử lý trong các phiên bản ITRF khác nhau, ví dụ như: Trong tài liệu (Hà Minh Hoà, 2005), các tác giả đã xây dựng lưới GPS gồm 5 điểm (NGA1, LEM1, DON1, TAU2, và HAM1) để xác định chuyển dịch vỏ Trái đất trên khu vực đứt gãy Lai Châu - Điện Biên. Lưới này được xử lý trong ITRF2000. Năm 2007, trong tài liệu (Nguyễn Tuấn Anh, 2007), đã xây dựng hệ thống các điểm trắc địa sử dụng công nghệ GPS độ chính xác cao phục vụ quan trắc biến dạng lớp vỏ Trái đất và cảnh báo thiên tai khu vực Miền Bắc Việt Nam. Xử lý số liệu lưới này được thực hiện bằng phần mềm Bernese 5.0 trong ITRF2005. Trong tài liệu (Tran & cộng sự, 2013), các tác giả đã xử lý số liệu lưới GPS tại đứt gãy sông Hồng quan trắc từ năm 1994 đến 2007 trong ITRF2005. Trong tài liệu (Bui, 2013), đã công bố vận tốc dịch chuyển của các điểm trong lưới Châu Á - Thái Bình Dương trong ITRF2008. Năm 2014, số liệu của 5 trạm GNSS quan trắc liên tục ở Việt Nam từ năm 2005 đến 2013 đã được xử lý với các trạm IGS quốc tế trong ITRF2005 (Lê Huy Minh & cộng sự, 2014). Trong tài liệu Nguyễn Việt Quân, Vũ Đức Trung, và Thân Văn Nam (2021), các tác giả đã xử lý số liệu lưới VNGEONET trong ITRF2014 bằng phần mềm BERNESE. Hiện nay, thế giới đã công bố ITRF2020 (Altamimi & cộng sự, 2023). Để có tọa độ các điểm GNSS của các lưới cũ trong

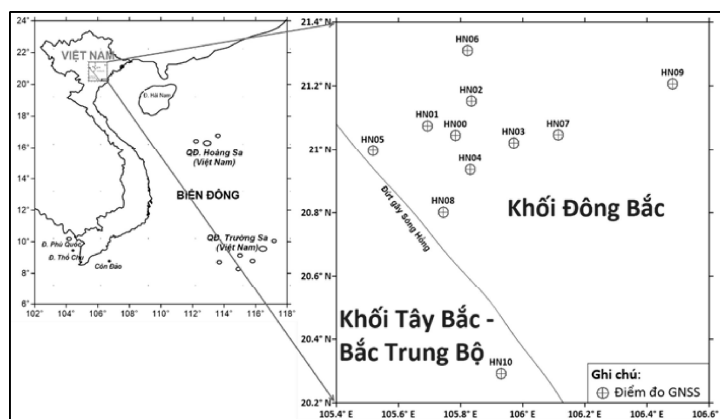
ITRF2020, chúng ta có thể xử lý lại lưới này trong ITRF mới này. Tuy nhiên, công việc này sẽ mất nhiều công sức và nhiều khi không thể thực hiện được nếu số liệu của các lưới GNSS cũ không còn được lưu trữ đầy đủ. Một cách khác hiệu quả hơn là tính chuyển tọa độ của các điểm GNSS trong các phiên bản ITRF cũ sang ITRF2020. Đây chính là vấn đề mà bài báo tập trung nghiên cứu.

2. KHU VỰC VÀ SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là khu vực Hà Nội và một số tỉnh lân cận như: Bắc Ninh, Hải Dương,

Ninh Bình. Khu vực này nằm trên đồng bằng châu thổ Sông Hồng (Hình 1). Khu vực nghiên cứu được giới hạn bởi độ vĩ từ 20° đến 21° Bắc, độ kinh từ 105° đến 107° Đông. Khu vực này nằm trên hai khối kiến tạo liền kề, khối Nam Trung Hoa (South China Block) và khối Sundaland (Sundaland Block). Ranh giới của 2 khối này là đứt gãy Sông Hồng. Đây cũng là ranh giới của 2 khối cấu trúc trên lãnh thổ Việt Nam là Khối Đông Bắc và khối Tây Bắc-Bắc Trung Bộ (Tran & cộng sự, 2013). Ngoài ra, trên khu vực còn có các đứt gãy khác như Sông Chảy, Sông Lô, Trung Lương – Hiệp Hòa... (Nguyễn Tuấn Anh, 2007).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí các điểm quan trắc GNSS

Nguồn: Đề xuất của nhóm tác giả

2.2. Số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, tọa độ của lưới GPS độ chính xác cao trong dự án khoa học thử nghiệm đã được sử dụng. Dự án đã xây dựng hệ thống các điểm trắc địa sử dụng công nghệ GPS độ chính xác cao phục vụ quan trắc biến dạng lớp vỏ Trái đất và cảnh báo thiên tai tại khu vực Hà Nội và các tỉnh lân cận. Các mốc này

được phân bố thành 2 vòng xung quanh thành phố Hà Nội, được xây dựng kiên cố. Việc đo đạc trong lưới được thực hiện bằng máy thu GPS 2 tần số độ chính xác cao. Xử lý số liệu được thực hiện bằng phần mềm Bernese 5.0 trong ITRF2005 (Nguyễn Tuấn Anh, 2007). Vị trí của các điểm GNSS được trình bày trên Hình 1. Các số liệu này được trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Tọa độ các điểm GNSS trong ITRF2005

STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	HN00	-1619863.6553	5730708.1532	2276074.5329
2	HN01	-1610501.5738	5732105.6981	2279175.9557
3	HN02	-1623832.3997	5725174.9854	2287081.2549
4	HN03	-1638831.8102	5726295.5341	2273618.1172
5	HN04	-1625804.1313	5733525.6724	2264790.7376

STT	Điểm	X (m)	Y (m)	Z (m)
6	HN05	-1593775.2906	5740119.2613	2271062.1310
7	HN06	-1620831.5666	5719421.4017	2303446.2874
8	HN07	-1652902.0329	5721226.2912	2276168.8205
9	HN08	-1618542.6523	5741086.0081	2250885.0403
10	HN09	-1687879.9327	5704397.8844	2292668.1826
11	HN10	-1642606.1719	5754865.2516	2197993.6903

Nguồn: Tổng hợp từ tài liệu (Nguyễn Tuấn Anh, 2007)

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Phương pháp tính chuyển tọa độ giữa các phiên bản ITRF

ITRF là khung quy chiếu động, do đó, để tính chuyển giữa các phiên bản ITRF cần dùng

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX + dx(t - t_0) \\ dY + dy(t - t_0) \\ dZ + dz(t - t_0) \end{bmatrix} + [1 + d_m + d_m(t - t_0)] R \begin{bmatrix} X_{t_0} \\ Y_{t_0} \\ Z_{t_0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: R là ma trận xoay, được tính như sau:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & [ez + \dot{e}_z(t - t_0)] & -[e_y + \dot{e}_y(t - t_0)] \\ -[ez + \dot{e}_z(t - t_0)] & 1 & [ex + \dot{e}_x(t - t_0)] \\ [e_y + \dot{e}_y(t - t_0)] & -[ex + \dot{e}_x(t - t_0)] & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$X_{t_0}, Y_{t_0}, Z_{t_0}$ là tọa độ vuông góc không gian trong ITRF thứ nhất (đã biết) tại thời điểm quy chiếu t_0 ;

X_t, Y_t, Z_t là tọa độ vuông góc không gian trong ITRF thứ hai (cần tính) tại thời t .

14 tham số tính chuyển tọa độ gồm:

03 tham số về dịch chuyển gốc tọa độ là dX, dY, dZ và 03 tham số tốc độ dịch chuyển gốc tương ứng dx, dy, dz ;

03 tham số góc xoay Euler là e_x, e_y, e_z và 03 tham số tốc độ góc xoay tương ứng là $\dot{e}_x, \dot{e}_y, \dot{e}_z$;

công thức 14 tham số. Trong đó, 7 tham số chuyển đổi và 7 tốc độ thay đổi của các tham số tương ứng. Theo (Đặng Nam Chinh, 2013), để chuyển tọa độ vuông góc không gian từ ITRF thứ nhất sang ITRF thứ hai, chúng ta sử dụng công thức sau

01 tham số tỷ lệ dài d_m và 01 tham số tốc độ tỷ lệ dài tương ứng là \dot{d}_m .

3.2. Tham số tính chuyển tọa độ từ các ITRF cũ sang ITRF2020

Dịch vụ hệ thống tham chiếu và quay Trái đất quốc tế (International Earth Rotation and Reference System Service – IERS) đã cung cấp 14 tham số để chuyển tọa độ từ các phiên bản ITRF cũ sang phiên bản mới nhất ITRF2020. Trên Bảng 2 là trích giới thiệu các tham số chuyển từ ITRF2005 sang ITRF2020 ở thời điểm tham chiếu 2015 (Altamimi & cộng sự, 2023).

Bảng 2. Các tham số chuyển từ ITRF2005 sang ITRF2020

Tham số	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	dm (ppb)	e_x (.001")	e_y (.001")	e_z (.001")	t_0
Tốc độ	dX (mm/năm)	dY (mm/năm)	dZ (mm/năm)	dm (ppb/năm)	\dot{e}_x (.001"/năm)	\dot{e}_y (.001"/năm)	\dot{e}_z (.001"/năm)	
ITRF2014	1.4	0.9	-1.4	0.42	0	0	0	2015
	0	0.1	-0.2	0	0	0	0	
ITRF2008	-0.2	-1	-3.3	0.29	0	0	0	2015
	0	0.1	-0.1	-0.03	0	0	0	
ITRF2005	-2.7	-0.1	1.4	-0.65	0	0	0	2015
	-0.3	0.1	-0.1	-0.03	0	0	0	
ITRF2000	0.2	-0.8	34.2	-2.25	0	0	0	2015
	-0.1	0	1.7	-0.11	0	0	0	
ITRF97	-6.5	3.9	77.9	-3.98	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF96	-6.5	3.9	77.9	-3.98	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF94	-6.5	3.9	77.9	-3.98	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF93	65.8	-1.9	71.3	-4.47	3.36	4.33	-0.75	2015
	2.8	0.2	2.3	-0.12	0.11	0.19	-0.07	
ITRF92	-14.5	1.9	85.9	-3.27	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF91	-26.5	-12.1	91.9	-4.67	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF90	-24.5	-8.1	107.9	-4.97	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF89	-29.5	-32.1	145.9	-8.37	0	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	
ITRF88	-24.5	3.9	169.9	-11.47	-0.1	0	-0.36	2015
	-0.1	0.6	3.1	-0.12	0	0	-0.02	

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả từ IERS

3.3. Giải pháp tính toán

Việc tính chuyển tọa độ bằng 14 tham số cho thời điểm t theo các công thức trong phần 3.1 khá phức tạp. Để thuận tiện hơn trong tính toán nên thực hiện theo giải pháp sau:

- Dựa vào giá trị của 7 tham số ở thời điểm t_0 và tốc độ thay đổi của chúng, tính ra giá trị của 7 tham số tương ứng ở thời điểm t theo công thức:

$$\left\{ \begin{array}{l} dX_t = dX_{t_0} + dx(t - t_0) \\ dY_t = dY_{t_0} + dy(t - t_0) \\ dZ_t = dZ_{t_0} + dz(t - t_0) \\ e_{x_t} = e_{x_{t_0}} + \dot{e}_x(t - t_0) \\ e_{y_t} = e_{y_{t_0}} + \dot{e}_y(t - t_0) \\ e_{z_t} = e_{z_{t_0}} + \dot{e}_z(t - t_0) \\ dm_t = dm_{t_0} + dm(t - t_0) \end{array} \right. \quad (3)$$

- Tính chuyển tọa độ dựa vào 7 tham số ở thời điểm t theo công thức:

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dX_t \\ dY_t \\ dZ_t \end{bmatrix} + (1 + dm_t)R_t \begin{bmatrix} X_{t_0} \\ Y_{t_0} \\ Z_{t_0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

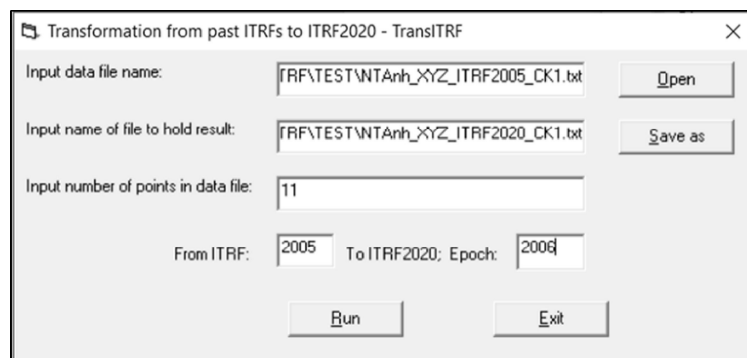
Trong đó, ma trận xoay ở thời điểm t là R_t là:

$$R_t = \begin{bmatrix} 1 & e_{z_t} & -e_{y_t} \\ -e_{z_t} & 1 & e_{x_t} \\ e_{y_t} & -e_{x_t} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.4. Chương trình tính chuyển tọa độ từ các ITRF cũ sang ITRF2020

Trên cơ sở lý thuyết và các tham số tính chuyển trình bày ở trên, để tự động hóa việc tính toán, chúng tôi xây dựng chương trình máy tính tính chuyển tọa độ từ các phiên bản

ITRF cũ sang ITRF2020. Chương trình có tên là **TransITRF**. Giao diện của chương trình như Hình 2.



Hình 2. Giao diện của chương trình tính chuyển tọa độ từ các phiên bản ITRF cũ sang ITRF2020

Nguồn: Đề xuất của nhóm tác giả

Để thực hiện tính toán, chúng ta cần:

- Nhập tên file số liệu vào mục Input data file name. File số liệu có định dạng như sau:

+) dòng đầu tiên là dòng tiêu đề

+) các dòng tiếp theo chứa số liệu, mỗi dòng tương ứng với một điểm, bao gồm 4 cột

+) cột 1 là số thứ tự điểm

+) cột 2 là tọa độ X, đơn vị là m

+) cột 3 là tọa độ Y, đơn vị là m

+) cột 4 là tọa độ Z, đơn vị là m

Trên Hình 3 minh họa định dạng file số liệu.

STT	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	-1619863.6553	5730708.1532	2276074.5329
2	-1610501.5738	5732105.6981	2279175.9557
3	-1623832.3997	5725174.9854	2287081.2549
4	-1638831.8102	5726295.5341	2273618.1172
5	-1625804.1313	5733525.6724	2264790.7376
6	-1593775.2906	5740119.2613	2271062.1310
7	-1620831.5666	5719421.4017	2303446.2874
8	-1652902.0329	5721226.2912	2276168.8205
9	-1618542.6523	5741086.0081	2250885.0403
10	-1687879.9327	5704397.8844	2292668.1826
11	-1642606.1719	5754865.2516	2197993.6903

Hình 3. Minh họa định dạng file số liệu đầu vào

Nguồn: Đề xuất của nhóm tác giả

- Nhập tên file kết quả vào mục Input name of file to hold result
- Tại mục From ITRF nhập phiên bản ITRF, ví dụ: 88, 2005, 2008 vv...
- Tại mục Epoch, nhập thời điểm t, ví dụ: 2005.0, 2006.8, 2020.0 vv...
- Chọn nút Run để chạy chương trình và nút Exit để thoát khỏi chương trình.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Kết quả tính chuyển tọa độ từ ITRF2005 sang ITRF2020

Từ số liệu trong Bảng 2, các tham số chuyển đổi tọa độ ở thời điểm 2006 giữa các phiên bản ITRF sang ITRF2020 được tính toán. Kết quả được trình bày trên Bảng 3

Bảng 3. Các tham số chuyển tọa độ từ ITRFs sang ITRF2020 ở thời điểm 2006

Tham số	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	dm (ppb)	ex (.001")	ey (.001")	ez (.001")
ITRF2014	1.4	0	0.4	0.42	0	0	0
ITRF2008	-0.2	-1.9	-2.4	0.56	0	0	0
ITRF2005	0	-1	2.3	-0.38	0	0	0
ITRF2000	1.1	-0.8	18.9	-1.26	0	0	0
ITRF97	-5.6	-1.5	50	-2.9	0	0	-0.18
ITRF96	-5.6	-1.5	50	-2.9	0	0	-0.18
ITRF94	-5.6	-1.5	50	-2.9	0	0	-0.18
ITRF93	40.6	-3.7	50.6	-3.39	2.37	2.62	-0.12
ITRF92	-13.6	-3.5	58	-2.19	0	0	-0.18
ITRF91	-25.6	-17.5	64	-3.59	0	0	-0.18
ITRF90	-23.6	-13.5	80	-3.89	0	0	-0.18
ITRF89	-28.6	-37.5	118	-7.29	0	0	-0.18
ITRF88	-23.6	-1.5	142	-10.39	-0.1	0	-0.18

Nguồn: Tổng hợp và tính toán của nhóm tác giả

Sử dụng chương trình *TransITRF* tính thời điểm 2006. Kết quả tính chuyển được trình bày trên Bảng 4

Bảng 4. Kết quả tính chuyển tọa độ từ ITRF2005 sang ITRF2020 thời điểm 2006

STT	Điểm	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	HN00	-1619863.65468	5730708.15002	2276074.53434
2	HN01	-1610501.57319	5732105.69492	2279175.95713
3	HN02	-1623832.39908	5725174.98222	2287081.25633

STT	Điểm	X(m)	Y(m)	Z(m)
4	HN03	-1638831.80958	5726295.53092	2273618.11864
5	HN04	-1625804.13068	5733525.66922	2264790.73904
6	HN05	-1593775.28999	5740119.25812	2271062.13244
7	HN06	-1620831.56598	5719421.39853	2303446.28882
8	HN07	-1652902.03227	5721226.28803	2276168.82194
9	HN08	-1618542.65168	5741086.00492	2250885.04174
10	HN09	-1687879.93206	5704397.88123	2292668.18403
11	HN10	-1642606.17128	5754865.24841	2197993.69176

Nguồn: Kết quả tính toán của nhóm tác giả

4.2. Kiểm tra kết quả tính toán

Để kiểm tra tính chính xác của lý thuyết cũng như chương trình. Chúng tôi tiến hành tính toán kiểm tra thủ công bằng excel đối với bộ số liệu trên và so sánh với kết quả tính bằng

chương trình. Kết quả so sánh được trình bày trên Bảng 5. Từ bảng này cho thấy: chênh lệch giữa kết quả tính bằng chương trình và tính kiểm tra rất nhỏ, ở mức 10^{-5} m. Như vậy, chứng tỏ các công thức, tham số và chương trình tính toán chính xác.

Bảng 5. Chênh lệch giữa kết quả tính bằng chương trình và tính kiểm tra

STT	Điểm	$\Delta X (10^{-5} \text{ m})$	$\Delta Y (10^{-5} \text{ m})$	$\Delta Z (10^{-5} \text{ m})$
1	HN00	0.45	-0.23	0.49
2	HN01	-0.20	-0.18	-0.39
3	HN02	0.29	-0.44	-0.09
4	HN03	-0.28	-0.40	0.40
5	HN04	0.22	-0.13	0.06
6	HN05	0.44	0.12	0.30
7	HN06	0.41	0.34	-0.47
8	HN07	0.19	0.41	0.49
9	HN08	0.50	0.16	-0.47
10	HN09	-0.14	-0.23	0.12
11	HN10	-0.42	-0.32	-0.48

Nguồn: Kết quả phân tích của nhóm tác giả

4.3. Kết quả tính chuyển ở các thời điểm khác nhau

Đối với việc tính chuyển tọa độ trong hệ tọa độ động thì việc xác định thời điểm tính chuyển là rất quan trọng. Thời điểm khác nhau sẽ làm cho 7 tham số chuyển đổi tọa độ khác

nhau và dẫn đến tọa độ khác nhau. Để làm rõ điều này, chúng tôi tiến hành tính toán với bộ số liệu nghiên cứu ở một số thời điểm khác nhau và so sánh kết quả tính với nhau. Trên Bảng 6 là kết quả tính chuyển cho các điểm thực nghiệm từ ITRF2005 sang ITRF 2020 vào thời điểm 2016 ($t = 2016,0$).

Bảng 6. Kết quả tính chuyển tọa độ từ ITRF2005 sang ITRF2020 thời điểm 2016

STT	Điểm	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	HN00	-1619863.65720	5730708.14930	2276074.53265
2	HN01	-1610501.57570	5732105.69420	2279175.95545
3	HN02	-1623832.40160	5725174.98151	2287081.25464
4	HN03	-1638831.81209	5726295.53021	2273618.11695
5	HN04	-1625804.13319	5733525.66850	2264790.73736

STT	Điểm	X(m)	Y(m)	Z(m)
6	HN05	-1593775.29252	5740119.25740	2271062.13076
7	HN06	-1620831.56850	5719421.39781	2303446.28713
8	HN07	-1652902.03478	5721226.28731	2276168.82025
9	HN08	-1618542.65420	5741086.00420	2250885.04007
10	HN09	-1687879.93455	5704397.88052	2292668.18234
11	HN10	-1642606.17378	5754865.24769	2197993.69011

Nguồn: Kết quả tính toán của nhóm tác giả

Kết quả so sánh tọa độ trong ITRF2020 ở thời điểm 2016 ($t = 2016,0$) và thời điểm 2006 ($t = 2006,0$) được trình bày trên Bảng 7.

Bảng 7. So sánh kết quả tính chuyển tọa độ trong ITRF2020 thời điểm 2016 với 2006

STT	Điểm	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$
1	HN00	-2.52	-0.72	-1.69
2	HN01	-2.51	-0.72	-1.68
3	HN02	-2.52	-0.71	-1.69
4	HN03	-2.51	-0.71	-1.69
5	HN04	-2.51	-0.72	-1.68
6	HN05	-2.53	-0.72	-1.68
7	HN06	-2.52	-0.72	-1.69
8	HN07	-2.51	-0.72	-1.69
9	HN08	-2.52	-0.72	-1.67
10	HN09	-2.49	-0.71	-1.69
11	HN10	-2.50	-0.72	-1.65
Trung bình		-2.51	-0.72	-1.68

Nguồn: Kết quả tính toán của nhóm tác giả

Từ Bảng 7 cho thấy: Tọa độ của cùng 1 điểm ở thời điểm 2016 so với thời điểm 2006 (10 năm) khác nhau về tọa độ X khoảng -2,51 mm, về tọa độ Y là -0,72 mm, về tọa độ Z là -1,68 mm.

Trên Bảng 8 là kết quả tính chuyển cho các điểm thực nghiệm từ ITRF2005 sang ITRF 2020 vào thời điểm 2025.

Bảng 8. Kết quả tính chuyển tọa độ từ ITRF2005 sang ITRF2020 thời điểm 2025

STT	Điểm	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	HN00	-1619863.65946	5730708.14866	2276074.53114
2	HN01	-1610501.57797	5732105.69355	2279175.95393
3	HN02	-1623832.40386	5725174.98086	2287081.25313
4	HN03	-1638831.81434	5726295.52956	2273618.11544
5	HN04	-1625804.13546	5733525.66785	2264790.73585
6	HN05	-1593775.29479	5740119.25675	2271062.12924
7	HN06	-1620831.57076	5719421.39717	2303446.28561
8	HN07	-1652902.03703	5721226.28666	2276168.81874
9	HN08	-1618542.65646	5741086.00355	2250885.03856
10	HN09	-1687879.93680	5704397.87988	2292668.18082
11	HN10	-1642606.17604	5754865.24703	2197993.68861

Nguồn: Kết quả tính toán của nhóm tác giả

Kết quả so sánh tọa độ trong ITRF2020 ở thời điểm 2025 và thời điểm 2016 được trình bày trên Bảng 9.

Bảng 9. So sánh kết quả tính chuyển tọa độ trong ITRF2020 thời điểm 2025 với 2016

STT	Điểm	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$
1	HN00	-2.26	-0.64	-1.51
2	HN01	-2.27	-0.65	-1.52
3	HN02	-2.26	-0.65	-1.51
4	HN03	-2.25	-0.65	-1.51
5	HN04	-2.27	-0.65	-1.51
6	HN05	-2.27	-0.65	-1.52
7	HN06	-2.26	-0.64	-1.52
8	HN07	-2.25	-0.65	-1.51
9	HN08	-2.26	-0.65	-1.51
10	HN09	-2.25	-0.64	-1.52
11	HN10	-2.26	-0.66	-1.50
Trung bình		-2.26	-0.65	-1.51

Nguồn: Kết quả phân tích của nhóm tác giả

Từ Bảng 9 cho thấy: Tọa độ của cùng 1 điểm ở thời điểm 2025 so với thời điểm 2016 (chênh lệch 9 năm) khác nhau về tọa độ X khoảng -2,26 mm, về tọa độ Y là -0,65 mm, về tọa độ Z là -1,51 mm.

Kết quả so sánh tọa độ trong ITRF2020 ở thời điểm 2025 và thời điểm 2006 được trình bày trên Bảng 10.

Bảng 10. So sánh kết quả tính chuyển tọa độ trong ITRF2020 thời điểm 2025 với 2006

STT	Điểm	$\Delta X(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$\Delta Z(\text{mm})$
1	HN00	-4.78	-1.36	-3.20
2	HN01	-4.78	-1.37	-3.20
3	HN02	-4.78	-1.36	-3.20
4	HN03	-4.76	-1.36	-3.20
5	HN04	-4.78	-1.37	-3.19
6	HN05	-4.80	-1.37	-3.20
7	HN06	-4.78	-1.36	-3.21
8	HN07	-4.76	-1.37	-3.20
9	HN08	-4.78	-1.37	-3.18
10	HN09	-4.74	-1.35	-3.21
11	HN10	-4.76	-1.38	-3.15
Trung bình		-4.77	-1.37	-3.19

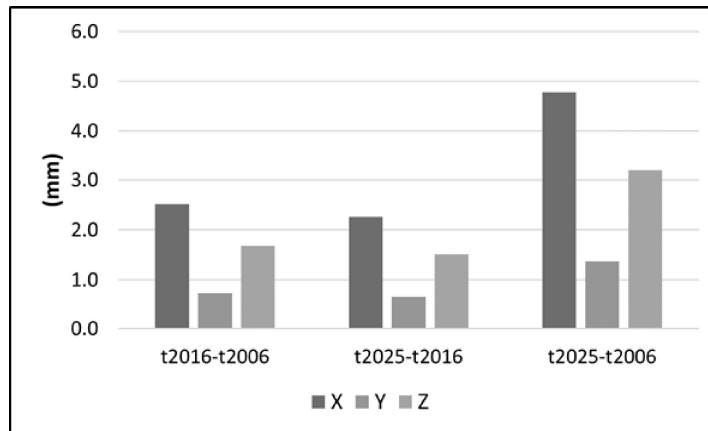
Nguồn: Kết quả phân tích của nhóm tác giả

Từ Bảng 10 cho thấy: Tọa độ của cùng 1 điểm ở thời điểm 2025 so với thời điểm 2006 (chênh lệch 19 năm) khác nhau về tọa độ X khoảng -4,77 mm, về tọa độ Y là -1,37 mm, về tọa độ Z là -3,19 mm.

Hình 4 là biểu đồ thể hiện trực quan giá trị tuyệt đối thay đổi tọa độ theo thời điểm trong ITRF2020. Từ các Bảng 6, Bảng 9, Bảng 10 và Hình 4 cho thấy: Tốc độ thay đổi tọa độ tỷ lệ thuận với mức độ khác nhau về thời điểm tính. Thời điểm tính càng khác nhau nhiều thì khác

nhau về tọa độ càng lớn; Sự thay đổi về tọa độ X có giá trị lớn nhất (khoảng 2,25 mm/năm),

sau đó là tọa độ Z (khoảng 0,17 mm/năm), nhỏ nhất là tọa độ Y (0,07 mm/năm).



Hình 4. Biểu đồ thể hiện giá trị tuyệt đối thay đổi tọa độ theo thời điểm tính

Nguồn: Đề xuất của nhóm tác giả

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu phương pháp tính chuyển tọa độ giữa các phiên bản ITRF khác nhau. Để tính chuyển, cần phải dùng đến công thức 14 tham số. Bài báo cũng đã tìm hiểu các tham số chuyển đổi tọa độ từ các phiên bản ITRF cũ sang ITRF2020 do IERS cung cấp, đưa ra giải pháp quy về 7 tham số ở thời điểm t để tính chuyển tọa độ.

Từ lý thuyết và các tham số, chương trình tính chuyển tọa độ từ các phiên bản ITRF cũ sang ITRF2020 đã được xây dựng. Thực nghiệm đã tính chuyển tọa độ cho 11 điểm GNSS từ ITRF2005 sang ITRF2020. So sánh với kết quả tính kiểm tra cho thấy chênh lệch tọa độ là rất nhỏ, ở mức 10^{-5} m, chứng tỏ chương trình là chính xác.

Trong tính chuyển tọa độ trong hệ tọa độ động thì thời điểm tính ảnh hưởng đến giá trị tọa độ. Thời điểm tính càng khác nhau lớn thì khác nhau về tọa độ càng lớn, theo tỷ lệ thuận. Điều này thể hiện tính động của hệ tọa độ. Do đó, việc xác định thời điểm tính toán là yêu tố quan trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bui, T. H. T. (2013). Transformation coordinates between international

terrestrial reference frames. *Journal of Mining and Earth Sciences*, 41, 53-57.

Đặng Nam Chinh (2013). *Hệ quy chiếu trắc địa. Bài giảng cao học*. Trường Đại học Mở - Địa chất.

Hà Minh Hoà (2005). *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS để xác định chuyển dịch vỏ Trái đất trên khu vực đứt gãy Lai Châu - Điện Biên*. Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật, Viện nghiên cứu địa chính, Hà Nội.

Lê Huy Minh, Frédéric Masson, Alain Bourdillon, Rolland Fleury, Far-Ching Hu, Vũ Tuấn Hùng, Lê Trường Thanh, Nguyễn Chiến Thắng, & Nguyễn Hà Thành (2014). Chuyển động hiện đại vỏ trái đất theo số liệu GPS liên tục tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, 36(1), 1-13.

Nguyễn Tuấn Anh (2007). *Xây dựng hệ thống các điểm trắc địa sử dụng công nghệ GPS độ chính xác cao trong việc quan trắc biến dạng lớp vỏ Trái đất và cảnh báo thiên tai khu vực Việt Nam*. Báo cáo tổng kết kết quả thực hiện dự án khoa học thử nghiệm. Viện nghiên cứu địa chính, Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Nguyễn Việt Quân, Vũ Đức Trung, & Thân Văn Nam (2021). Ứng dụng mạng lưới trạm định vị vệ tinh quốc gia (VNGEONET) trong hoạt động đo đạc bản đồ, nghiên cứu khoa học trái đất và một số lĩnh vực khác trong thời kỳ chuyển đổi số. *Hội nghị khoa học toàn quốc: Công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường*, Hà Nội.

Tran, D. T., Nguyen, T. Y., Duong, C. C., Vy, Q. H., Witold, Z., Nguyen, Q. C., &

Nguyen, V. N. (2013). Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data. *Journal of Geodynamics*, 69, 5-10.

Altamimi, Z., Rebischung, P., Collilieux, X., Métivier, L., & Chanard, K. (2023). ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *Journal of Geodesy*, 97(47), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>